



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,**  
**TELECOMUNICACIONES Y REDES**

**DISEÑO EXPERIMENTAL DE SISTEMA DE MONITOREO**  
**METEOROLÓGICO SATELITAL A TRAVÉS DE SISTEMA SDR –**  
**USRP.**

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y**  
**REDES.**

**AUTOR:** CRISTIAN DANIEL MONAR HERRERA.

**TUTOR:** ING. HUGO OSWALDO MORENO AVILÉS.

**Riobamba – Ecuador**

**2017**

**©2017, Cristian Daniel Monar Herrera**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

**ESCUELA DE INGENIERIA EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y REDES.**

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: “DISEÑO EXPERIMENTAL DE SISTEMA DE MONITOREO METEOROLÓGICO SATELITAL A TRAVÉS DE SISTEMA SDR – USRP.”, de responsabilidad del señor Cristian Daniel Monar Herrera, ha sido minuciosamente revisada por los Miembros del Tribunal, quedando autorizada su presentación.

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Washington Luna, M.Sc <b>DECANO FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA</b>	_____	_____
Ing. Franklin Moreno <b>DIRECTOR DE ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES</b>	_____	_____
Ing. Hugo Moreno, Ph.D <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	_____	_____
Ing. Wilson Baldeón M.Sc <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	_____	_____
Ing. Mónica Zabala M.Sc <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	_____	_____

**NOTA**\_\_\_\_\_

“Yo, Cristian Daniel Monar Herrera soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”

---

Cristian Daniel Monar Herrera

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación, marca el final de mi carrera; pero este no es un fin, sino el principio de una nueva y emocionante vida, con nuevas experiencias, con nuevos retos, he llegado a culminar mi vida profesional; hay muchas personas que, me han apoyado en los buenos y malos momentos, de manera especial al doctor Marco Solano; ya que, desde temprana edad me inculcó el amor por las ciencias, que, como se puede ver ha rendido ya sus primeros frutos, y me ha convertido en la persona que soy ahora. A mis padres, que tuvieron la paciencia, la dedicación de inculcarme buenos valores y apoyarme en todo momento. A mis hermanos que ven en mí un ejemplo de lo que se puede lograr con esfuerzo, por último dedico a mi tía Agripina Solano que a pesar que ya no está entre nosotros siempre la llevo en mi corazón.

**Cristian**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco en primer lugar a Dios por haberme concedido la sabiduría y la fuerza para concluir mi carrera, de igual manera al Ing. Hugo Moreno, al Ing. Oswaldo Baldeón y a la Ing. Mónica Zabala quienes han sido excelentes guías durante el proceso de elaboración del presente trabajo de titulación, además, quiero extender mi agradecimiento a todos los maestros que he tenido durante mi paso por esta prestigiosa institución, porque me han adoctrinado en saberes necesarios para ejercer mi profesión de la mejor manera posible.

Por ultimo a mis familiares y amigos que de una u otra manera me han apoyado gracias infinitas.

**Cristian**

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>ACRÓNIMO</b>	<b>DESCRIPCIÓN.</b>
<b>AM</b>	Amplitud Modulada
<b>APT</b>	Automatic Picture Transmission
<b>ASK</b>	Amplitude Shift Keying (Modulación por Desplazamiento de Amplitud)
<b>AVHRR</b>	Advanced Very High Resolution Radiometer (Radiómetro avanzado de muy alta resolución)
<b>BPS</b>	Bits por segundo
<b>BPSK</b>	Binary phase shift keying (Modulación Binaria por Desplazamiento de Fase)
<b>CCITT</b>	Comitte of the International Telephone & Telegraph ( Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico)
<b>CPU</b>	Central processing unit (Unidad central de proceso) Cuadratura)
<b>dB</b>	Decibelio Definición)
<b>DPSK</b>	Differential Phase Shift Keying ( modulación por desplazamiento diferencial de fase)
<b>DSP</b>	Digital Signal Processing (Procesamiento Digital de Señales)
<b>FFT</b>	Fast Fourier Transform (Transformada Rápida de Fourier)
<b>FM</b>	Frecuencia Modulada
<b>FPGA</b>	Field Programmable Gate Array (Arreglos de Compuertas Frecuencia)
<b>FSK</b>	Frequency Shift Keying (Modulación por Desplazamiento de
<b>Gbps</b>	Gigabits por segundo
<b>GEO</b>	Geostationary Orbit (órbita geoestacionaria)
<b>GHz</b>	Gigahercio
<b>GIF</b>	Graphics Interchange Format (Formato de Intercambio de Gráficos)
<b>GMSK</b>	Gaussian minimum shift keying (Modulación por desplazamiento mínimo gaussiano)
<b>GPIO</b>	General Purpose Input/Output (Entrada/Salida de Propósito General)

<b>GPL</b>	General Public License (Licencia general publica)
<b>GPU</b>	Graphics Processor Unit (unidad de procesamiento gráfico)
<b>HDMI</b>	High-Definition Multimedia Interface (Interfaz Multimedia de Alta
<b>HEO</b>	Highly Elliptical Orbit (órbita altamente elíptica)
<b>HRPT</b>	High-resolution picture transmission
<b>Hz</b>	Hercios
<b>ISO</b>	International Standarization Organization (Organización internacional de estandarización)
<b>JPEG</b>	Joint Photographic Expert Group (Grupo Conjunto de Expertos en Fotografía)
<b>Kbps</b>	Kilobits por segundo
<b>kHz</b>	Kilohercio
<b>LEO</b>	Low Earth Orbit (órbita baja terrestre)
<b>Mbps</b>	Megabits por segundo
<b>MEO</b>	Medium Earth Orbit (órbita media terrestre)
<b>MHz</b>	Megahercio
<b>MIMO</b>	Multiple-input Multiple-output (Múltiple entrada múltiple salida)
<b>MPSK</b>	M-ary phase shift keying (Modulacion M-veces por Desplazamiento de Fase)
<b>MSK</b>	Mínimum-shift keying (Modulación por desplazamiento mínimo)
<b>NOAA</b>	National Oceanic and Atmospheric Administration (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica)
<b>PAM</b>	Pulse-amplitude modulation (modulación por amplitud de pulsos)
<b>PCM</b>	Pulse Code Modulation (modulación por impulsos codificados)
<b>PM</b>	Modulación de Fase
<b>PNG</b>	Portable Networks Graphics (Gráficos de Red Portátiles)
<b>PPM</b>	Pulse Position Modulation (modulación por Posición de Pulso Programables en Campo)
<b>PSK</b>	Phase Shift Keying (Modulación por Desplazamiento de Fase)
<b>PSK</b>	Phase-shift keying (Modulación por Desplazamiento de Fase)
<b>PWM</b>	Pulse-width modulation (modulación por ancho de pulsos)



<b>QAM</b>	Quadrature Amplitude Modulation (Modulación de Amplitud en cuadratura)
<b>QPSK</b>	Quaternary phase shift keying (Modulación en cuadratura por desplazamiento de Fase)
<b>RAM</b>	Random Access Memory (Memoria de acceso aleatorio)
<b>RPI</b>	Raspberry Pi
<b>SCP</b>	Security copy protocol (Protocolo de copia segura)
<b>SDR</b>	Software Defined Radio (Radio Definida por Software)
<b>SoC</b>	System on a chip (sistema en chip)
<b>SPAN</b>	Ventana de visualización horizontal
<b>SSH</b>	Secure Shell (intérprete de órdenes seguro)
<b>TDF</b>	Transformada Discreta de Fourier
<b>TELNET</b>	Telecommunication Network (red de telecomunicación)
<b>TIF</b>	Tag Image File Format (Formato de archivo de imagen con etiquetas)
<b>UIT</b>	Unión Internacional de las Telecomunicaciones
<b>UNOSAT</b>	Operational Satellite Applications Programme
<b>USB</b>	Universal Serial Bus (Bus Universal en Serie)
<b>USRP</b>	Universal Software Radio Peripheral (Periférico universal de radio por software)

## TABLA DE CONTENIDO

<i>DEDICATORIA</i> .....	<i>v</i>
<i>AGRADECIMIENTO</i> .....	<i>vi</i>
<i>ÍNDICE DE ABREVIATURAS</i> .....	<i>vii</i>
<i>INDICE DE TABLAS</i> .....	<i>xv</i>
<i>INDICE DE FIGURAS</i> .....	<i>xvii</i>
<i>INDICE DE GRAFICOS</i> .....	<i>xix</i>
<i>RESUMEN</i> .....	<i>xx</i>
<i>SUMMARY</i> .....	<i>xxi</i>
<i>INTRODUCCIÓN</i> .....	<i>1</i>
<i>CAPÍTULO I</i>	
<i>1. MARCO TEORICO REFERENCIAL</i> .....	<i>5</i>
<i>1.1 Comunicaciones satelitales</i> .....	<i>5</i>
<i>1.1.1 Introducción</i> .....	<i>5</i>
<i>1.1.2 Definición de satélite</i> .....	<i>6</i>
<i>1.1.3 Órbitas satelitales</i> .....	<i>6</i>
<i>1.1.4 Clasificación de los satélites</i> .....	<i>7</i>
<i>1.1.5 Bandas de operación</i> .....	<i>7</i>
<i>1.1.6 Los satélites meteorológicos</i> .....	<i>8</i>
<i>1.1.7 Imágenes satelitales</i> .....	<i>9</i>
<i>1.1.8 Arquitectura de satélites NOAA</i> .....	<i>9</i>
<i>1.1.9 Sensor AVHRR</i> .....	<i>10</i>
<i>1.2 Raspberry Pi</i> .....	<i>11</i>
<i>1.2.1 Introducción</i> .....	<i>11</i>
<i>1.2.2 Modelos</i> .....	<i>11</i>
<i>1.2.3 Raspberry Pi modelo 2</i> .....	<i>11</i>
<i>1.2.4 Cámara Pi NoIR</i> .....	<i>12</i>

<i>1.3</i>	<i>Aplicaciones y protocolos de red.....</i>	<i>13</i>
<b>1.3.1</b>	<b>Escaneo de redes utilizando NMAP.....</b>	<b>13</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Protocolo SSH.....</b>	<b>14</b>
<b>1.3.3</b>	<b>Protocolo SCP.....</b>	<b>16</b>
<i>1.4</i>	<i>Procesamiento de imágenes .....</i>	<i>16</i>
<b>1.4.1</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>16</b>
<b>1.4.2</b>	<b>Formatos de imágenes.....</b>	<b>16</b>
<b>1.4.3</b>	<b>Formato JPEG.....</b>	<b>18</b>
<b>1.4.4</b>	<b>Codificación de Huffman.....</b>	<b>18</b>
<b>1.4.5</b>	<b>Digitalización de imágenes .....</b>	<b>19</b>
<b>1.4.6</b>	<b>Tasa de error de bit (BER).....</b>	<b>20</b>
<i>1.5</i>	<i>Comunicación de datos .....</i>	<i>21</i>
<b>1.5.1</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>21</b>
<b>1.5.2</b>	<b>Modulación y demodulación .....</b>	<b>21</b>
<b>1.5.3</b>	<b>Clasificación de las modulaciones.....</b>	<b>23</b>
<b>1.5.4</b>	<b>Modulación de fase.....</b>	<b>23</b>
<b>1.5.5</b>	<b>Modulación/ demodulación GMSK.....</b>	<b>25</b>
<i>1.6</i>	<i>Sistemas SDR .....</i>	<i>26</i>
<b>1.6.1</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>26</b>
<b>1.6.2</b>	<b>GNU radio.....</b>	<b>27</b>
<b>1.6.3</b>	<b>Arquitectura USRP.....</b>	<b>28</b>
<b>1.6.4</b>	<b>ETTUS b210 .....</b>	<b>28</b>
 <b><i>CAPÍTULO II</i></b>		
<i>2.1</i>	<i>Diseño de prototipo.....</i>	<i>30</i>
<b>2.1.1</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>30</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Consideraciones para el diseño.....</b>	<b>31</b>
<b>2.1.2.1</b>	<b>Comparativa entre el sistema propuesto en relación a tecnología HRPT. ....</b>	<b>31</b>
<b>2.1.2.2</b>	<b>Consideraciones para el dispositivo USRP.....</b>	<b>32</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Diagrama de bloques del dispositivo propuesto .....</b>	<b>33</b>

2.2	<i>Adquisición de imágenes</i> .....	33
2.2.1	<b>Introducción</b> .....	33
2.2.2	<b>Conexión física Raspberry Pi</b> .....	34
2.2.3	<b>Conexión SSH</b> .....	34
2.2.4	<b>Captura de imágenes utilizando PI NoIR</b> .....	35
2.3	<i>Procesamiento previo a transmisión</i> .....	36
2.3.1	<b>Adquisición de imagen mediante protocolo SCP</b> .....	36
2.3.2	<b>Digitalización de imagen jpeg mediante matlab</b> .....	36
2.3.3	<b>Exportar datos desde MATLAB a archivos de texto</b> .....	39
2.4	<i>Transmisor SDR</i> .....	39
2.4.1	<b>Diagrama de bloques transmisor USRP en GNU radio</b> .....	39
2.4.2	<b>Importación de datos</b> .....	40
2.4.3	<b>Codificación de archivo de texto GNU radio</b> .....	41
2.4.4	<b>Modulación GMSK en GNU radio</b> .....	42
2.4.5	<b>Configuración de TX USRP ETTUS b210</b> .....	43
2.5	<i>Receptor SDR</i> .....	44
2.5.1	<b>Diagrama de bloques receptor USRP</b> .....	44
2.5.2	<b>Configuración de RX USRP ETTUS b210</b> .....	45
2.5.3	<b>Demodulación GMSK en GNU radio</b> .....	47
2.5.4	<b>Decodificación de datos en GNU radio</b> .....	47
2.5.5	<b>Exportación de datos en GNU radio</b> .....	48
2.6	<i>Procesamiento de datos</i> .....	49
2.6.1	<b>Introducción</b> .....	49
2.6.2	<b>Importar datos desde archivo de texto mediante MATLAB</b> .....	49
2.6.3	<b>Decodificación de datos</b> .....	51
2.6.4	<b>Cálculo de tasa de error de bit</b> .....	52
 <b>CAPÍTULO III</b>		
3.	<b>MARCO DE RESULTADOS</b> .....	53
3.1	<b>Comparación entre sensor AVHRR y PI NoIR</b> .....	53

3.2	<i>Evaluación de control.</i>	53
3.2.1	Consideraciones iniciales.	53
3.2.2	Respuesta espectral.	54
3.2.3	Resultados prueba de control.	56
3.2.4	Error de bits entre imagen original y la recibida.	57
3.3	<i>Evaluación variando el tiempo.</i>	58
3.3.1	Introducción	58
3.3.2	Respuesta de ejecución de 5 minutos.	59
3.3.3	Respuesta de ejecución de 15 minutos.	59
3.3.4	Respuesta de ejecución de 25 minutos.	60
3.4	<i>Evaluación variando la resolución.</i>	62
3.4.1	Evaluación con resoluciones pequeñas.	62
3.4.1.1	Consideraciones iniciales	62
3.4.1.2	Resultados	63
3.4.2	Evaluación con resoluciones medianas.	64
3.4.2.1	Consideraciones iniciales.	64
3.4.3	Evaluación con resoluciones grandes	64
3.4.3.1	Consideraciones iniciales	64
3.4.3.2	Resultados	65
3.5	<i>Otros resultados.</i>	67
3.5.1	<b>Transmisión con malas condiciones de iluminación</b>	67
3.5.1.1	Consideraciones iniciales	67
3.5.1.2	Resultados	68
3.5.2	<b>Codificación y decodificación de datos.</b>	69
3.5.2.1	Consideraciones iniciales	69
3.5.2.2	Resultados	70
3.6	<b>Resumen de resultados</b>	71
3.7	<b>Alcances y limitaciones del proyecto de titulación.</b>	71
3.7.1.1	<i>Alcances</i>	71

<i>3.7.1.2 Limitaciones</i> .....	70
<b>CONCLUSIONES</b> .....	73
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	75
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Bandas de Operación satelital.....	8
Tabla 2-1: comparativa entre sistema APT con tecnología HRPT .....	9
Tabla 3-1: Sensores AVHRR.....	10
Tabla 4-1: modelos Raspberry Pi.....	11
Tabla 5-1 Técnicas de escaneo en NMAP .....	14
Tabla 6-1: Especificaciones de sintaxis SCP.....	16
Tabla 7-1: Resumen de formatos de imágenes digitales.....	17
Tabla 8-1: Reducción de Huffman 1 .....	18
Tabla 9-1: Reducción de Huffman 2.....	19
Tabla 10-1: Ejemplo para el cálculo de BER.....	20
Tabla 11-1: Resumen de modulaciones digitales.....	24
Tabla 1-2: comparativa entre sistema propuesto con tecnología HRPT .....	31
Tabla 2-2: Parámetros USRP.....	32
Tabla 3-2: Parámetros adicionales para el comando raspistill.....	35
Tabla 4-2: Configuración de Bits/símbolo con sus correspondientes modulaciones.....	41
Tabla 5-2: Parámetros adicionales para el comando textread.....	50
Tabla 1-3: comparación de resultados entre sensor AVHRR y PI NoIR .....	53
Tabla 2-3: Variables en prueba de control.....	54
Tabla 3-3: Tabla de resultados para la prueba de control.....	57
Tabla 4-3: Variables en pruebas con variación de tiempo.....	58
Tabla 5-3: Tabla de resultados para la prueba de 5 minutos.....	59
Tabla 6-3: Tabla de resultados para la prueba de 15 minutos.....	60
Tabla 7-3: Tabla de resultados para la prueba de 25 minutos.....	61
Tabla 8-3: Variables en pruebas con una resolución pequeña.....	62
Tabla 9-3: Tabla de resultados para la prueba con imagen pequeña.....	63
Tabla 10-3: Variables en pruebas con resolución mediana.....	64
Tabla 11-3: Variables en pruebas con variación de tiempo.....	64
Tabla 12-3: Tabla de resultados para imágenes con resoluciones grandes .....	66
Tabla 13-3: Variables en pruebas sin iluminación.....	67
Tabla 14-3: Tabla de resultados para la prueba con baja iluminación.....	69
Tabla 15-3: Variables en pruebas con codificación de datos.....	70
Tabla 16-3: Tabla de resultados con codificación.....	71

Tabla 17-3: Resumen de resultados ..... 71



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: ÓRBITAS SATELITALES.....	6
Figura 2-1: Cuadro de clasificación de satélites.....	7
Figura 3-1: Imagen APT .....	9
Figura 4-1: Imagen H RTP.....	9
Figura 5-1: Arquitectura Raspberry Pi.....	12
Figura 6-1: Cámara Pi NoIR. ....	12
Figura 7-1: Comparación entre una captura convencional con captura mediante Pi NoIR. ....	13
Figura 8-1: Parámetros del protocolo SSH. ....	15
Figura 9-1: Ilustración de pixel. ....	19
Figura 10-1: Diagrama de funcionamiento de un sistema de comunicaciones. ....	21
Figura 11-1: Clasificación de modulaciones.....	23
Figura 12-1: Diagrama de bloques de modulador GMSK. ....	25
Figura 13-1: Diagrama de bloques de Demodulador GMSK.....	26
Figura 14-1: Diagrama de bloques del USRP.....	28
Figura 15-1: Placa ETTUS b210.....	29
Figura 1-2: Conexión Física entre USRP.....	32
Figura 2-2: Conexiones del Raspberry Pi. ....	34
Figura 3-2: Imágenes Parciales RGB. ....	37
Figura 4-2: Composición de imágenes RGB. ....	37
Figura 5-2: Representacion matricial de imagen RGB. ....	38
Figura 6-2: Diagrama de bloques TX GNU radio.....	40
Figura 7-2: Bloque file source y sus propiedades. ....	40
Figura 8-2: Bloque packet encoder y sus propiedades. ....	41
Figura 9-2: Bloque modulador GMSK y sus propiedades. ....	42
Figura 10-2: Bloque amplificador y sus propiedades.....	43
Figura 11-2: Bloque USRP Sink y sus propiedades.....	43
Figura 12-2: Bloque de visualización FFT y sus propiedades. ....	44
Figura 13-2: Diagrama de bloques RX GNU radio.....	45
Figura 14-2: Bloque USRP Source y sus propiedades.....	45
Figura 15-2: Bloque de Filtro pasa bajo y sus propiedades. ....	46
Figura 16-2: Señal GMSK en el dominio de la frecuencia. ....	46

Figura 17-2: Bloque demodulación GMSK y sus propiedades.....	47
Figura 18-2: Bloque decodificador de paquetes y sus propiedades. ....	48
Figura 19-2: Bloque File Sink y sus propiedades. ....	48
figura 1-3: Respuesta espectral en el transmisor GMSK. ....	55
Figura 2-3: Respuesta espectral en el receptor GMSK 1 .....	55
Figura 3-3: Respuesta espectral en el receptor GMSK 2. ....	56
Figura 4-3: Imagen original. ....	56
Figura 5-3: Imagen recibida. ....	57
Figura 6-3: Imagen original. ....	58
Figura 7-3: Imagen recibida durante 5 minutos. ....	59
Figura 8-3: Imagen recibida durante 15 minutos. ....	60
Figura 9-3: Imagen recibida durante 25 minutos. ....	61
Figura 10-3: Imagen pequeña original. ....	62
Figura 11-3: Imagen pequeña recibida.....	63
Figura 12-3: Imagen original grande.....	65
Figura 13-3: Imagen grande recibida. ....	66
Figura 14-3: Imagen sin iluminación original.....	67
Figura 15-3: Imagen recibida dañada.....	68
Figura 16-3: Imagen sin iluminación Recibida. ....	69
Figura 17-3: resultado al aplicar codificación previo a la transmisión .....	70

## **INDICE DE GRAFICOS**

Gráfico 1-2: Diagrama de bloques del sistema propuesto.....	33
---	----

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de titulación, fue diseñar un prototipo para un sistema de transmisión de imágenes digitales, mediante la utilización de tecnología Radio Definido por Software (SDR) específicamente el dispositivo Periférico Universal de Radio Definido por Software (USRP). Se adquirieron las imágenes utilizando un Raspberry Pi que, conectado a una cámara infrarroja conocida como PI NoIR para poder capturar las imágenes, fue necesario interconectar una computadora con el módulo Raspberry Pi por medio del protocolo intérprete de órdenes seguro (SSH), las imágenes capturadas se transfieren al computador, utilizando el Protocolo de Copia Segura (SCP). El computador que, recibe las imágenes actuó como transmisor, luego se digitalizaron los datos de la imagen, para ello, fue importante la utilización del software MATLAB; además, esta información se almacenó en un archivo de texto. El proceso de transmisión, se realizó utilizando la aplicación GNU Radio para el diseño del sistema de comunicación con Modulación por Desplazamiento Mínimo Gaussiano (GMSK); para lo cual se importó el archivo de texto generado y luego se transmitió con el dispositivo USRP a través de un cable coaxial estos datos, los cuales se reciben en otro dispositivo USRP que, está conectado a una nueva computadora que, actuará como receptor, la información se procesa nuevamente en GNU radio; de ahí, atraviesa el demodulador y se almacena en un archivo de texto. Por último, se debe importar los datos del archivo de texto, utilizando MATLAB donde esta información se decodifica dando como resultado la visualización de la imagen que fue capturada en el Raspberry Pi luego del proceso de transmisión; por lo tanto, se concluye que, es posible la transmisión de imágenes utilizando dispositivos USRP dado a las prestaciones que otorga la tecnología SDR. Se recomienda mejorar la sincronización para que el proceso sea más ágil.

**PALABRAS CLAVE:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>. <TELECOMUNICACIONES>, <RASPERRY PI (SOFTWARE-HARDWARE)>. <PI NOIR (HARDWARE)>. <USRP (HARDWARE)>. <RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE (SDR)>. <MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO MÍNIMO GAUSSIANO (GMSK)>. <MATLAB (SOFTWARE)>. <GNU RADIO (SOFTWARE)>.

## SUMMARY

The objective of the present titling work, to design a prototype for a digital image transmission system, using Software Defined Radio (SDR) technology, specifically the Universal Peripheral Software Defined Radio (USRP) device. Images were acquired using a Raspberry Pi through the Secure Order Interpreter (SSH) protocol, captured images are transferred to the computer using the Secure Copy Protocol (SCP). The computer that received the images acted as transmitter, then the image data were digitized, for this, it was important to use MATLAB software; In addition, this information is stored in a text file. The transmission process was performed using the GNU Radio application for the design of the communication system with Gaussian Minimum Displacement Modulation (GMSK); For which the generated text file was imported and then this data was transmitted with the USRP device through a coaxial cable, which data are received in another USRP device, through a coaxial cable this data, which data are received in another USRP device, which is connected to a new computer that, acting as receiver, the information is processed again in GNU radio; From there, through the demodulator and stored in a text file. Finally, you must import the data from the text file, using MATLAB where this information is decoded resulting in the display of the image that was captured in the Raspberry PI after the transmission process; Therefore, it was concluded that it is possible to transmit images using USRP devices given the presentations provided by the SDR technology. It is recommended to improve synchronization to make the process more agile.

**KEYWORDS:** <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCE>. <TELECOMMUNICATIONS>. <RASPBERRY PI (SOFTWARE-HARDWARE)>. <PI NOIR (HARDWARE)>. <USRP (HARDWARE)>. <RADIO DEFINED BY SOFTWARE (SDR)>. <GAUSSIAN MINUS DISPLACEMENT MODULATION>. <MATLAB (SOFTWARE)>. <GNU RADIO (SOFTWARE)>.

## **INTRODUCCIÓN**

### **ANTECEDENTES/PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La necesidad parha poner en funcionamiento este dispositivo en la actualidad, es porque existen muchas aplicaciones para el monitoreo satelital, un ejemplo de esto es la prevención de desastres naturales; ya que, los planes de emergencia y prevención dependen de ello. También en el país, es una valiosa herramienta en la agricultura, puesto que, ayudaría a planificar una agricultura sostenible de mejor manera en función de las condiciones climáticas. Además, dada la actual actividad volcánica en el país puede ayudar en el diseño de planes para prevención de desastres y en caso de erupción inminente ayudar en planes de emergencia.

El Ecuador actualmente no posee ningún sistema de monitoreo meteorológico propio y depende de servicios privados.

De no contar con este dispositivo, el Ecuador que depende de servicios privados para la adquisición de imágenes satelitales, los mismos que son costosos y necesarios de actualizar diariamente. El estado invertiría mucho dinero en la contratación de este servicio, de ahí la necesidad de implementar el sistema de monitoreo satelital, planteado en el presente proyecto de tesis, por ello, se presenta una alternativa que pueda implementarse a un relativo bajo costo, gracias a la utilización de tecnología (Software Define Radio) SDR que permite la implementación de cualquier sistema de transmisión inalámbrico. Además, deberá actualizar los sistemas para las estaciones terrenas de esta manera se perdería los beneficios de tener un sistema meteorológico de confianza que sea propio.

Actualmente, para el monitoreo meteorológico en el Ecuador se emplea sensores en estaciones terrenas en diferentes puntos del país, el resto de información se obtiene de imágenes satelitales. Este monitoreo se lo utiliza en el país para tomar medidas preventivas ante desastres naturales; además, ayuda durante emergencias nacionales producidas por fenómenos naturales, también es utilizado para la gestión de riesgos en diferentes áreas en las que el clima pueda incidir, tales como: construcciones, petroleras entre otras, es utilizado para el control aeroportuario y marítimo, puede ayudar en el monitoreo de incendios forestales, tala ilegal de bosques, erupciones volcánicas, estado de infraestructuras durante conflictos armados o luego de terremotos. Puede detectar contaminación ambiental, inundaciones entre otras múltiples aplicaciones.

Antes de lo de hoy, se ha empleado el monitoreo satelital en zonas como Centroamérica y Norteamérica, puesto que, su clima es estacional, donde se vea afectado en ciertas estaciones del año, además de otros fenómenos climáticos como huracanes y ciclones. El Ecuador en cambio, se caracteriza por tener un clima muy variado, dando como resultado que, en un mismo día pueda variar el clima significativamente, dificultando el control meteorológico, ya que, la frecuencia de la toma de imágenes satelitales, es diaria. Hasta hoy se utilizan estaciones terrenas y se contratan servicios privados, también existen servicios como el UNOSAT de la Organización de Naciones Unidas, entre otras agencias no gubernamentales.

El Ecuador, ya ha demostrado tener la capacidad de afrontar la carga espacial con proyectos como Pegaso, de modo que la implementación de un sistema meteorológico no es tan descabellada. Se prevé que, a futuro, cada vez vaya reduciéndose los costos de implementación de sistemas de monitoreo satelital.

Con la presente propuesta planteada para implementar este sistema, el trabajo, así como los costos se reducirían significativamente.

## **JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO**

### **JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

La teoría que sustenta la investigación para el presente proyecto se fundamenta en las tecnologías existentes de monitoreo meteorológico como la (Automatic Picture Transmission) **APT** (Stroud & Space, 1963) o (High Resolution Picture Transmission) **HRPT** esta última es la más relacionada; ya que, transmite digitalmente, para adquirir las imágenes se utilizará sistemas de hardware libre Raspberry Pi, puesto que, en esta placa se puede utilizar cámaras con diversas longitudes de ondas, luego mediante un algoritmo de compresión y digitalización de imágenes( Código de Huffman ) se digitalizará las imágenes obtenidas mediante el Raspberry Pi, luego tomando como modelo la tecnología **HRPT** mediante descripción de hardware se puede imitar cada elemento del sistema de comunicación usando el **USRP**. Además, basados en las especificaciones de Satélites **NOAA** que utiliza (ADVANCED VERY HIGH RESOLUTION RADIOMETER)**AVHRR** se diseñará antenas de transmisión y recepción a las mismas frecuencias. Por otro lado, se puede implementar un amplificador de alta frecuencia para utilizar a la salida del **USRP**, debido a que el mismo no posee una gran potencia para transmitir.

Todas estas características están descritas en **AVHRR** que, se lo tomará como referencia para la implementación en el **USRP**, la misma que se desarrollará con la documentación brindada por **ETTUS Y MATLAB**.

Se puede destacar que, la tecnología **SDR** ha ido evolucionando a lo largo del tiempo, siendo ahora una alternativa de bajo costo. El **USRP** trabaja con principios similares a dispositivos **FPGA**, de esta manera puede describir hardware, mediante software brindándole un gran potencial a los sistemas que pueden ser creados, pudiendo añadir bloques y etapas con facilidad. Existen proyectos que usan **USRP**, pero al ser una tecnología nueva hay muy poca información sobre ello.

## JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

La importancia del tema es para el monitoreo meteorológico, lo cual es vital para planificación y control de riesgos.

El proyecto es factible porque, la tecnología **USRP** la que actualmente la institución ha adquirido representa una gran ventaja para la realización del proyecto; gracias a que en el mismo sistema mediante software se puede definir todos los elementos básicos de un sistema de comunicación que, de hacerlo con elementos de hardware representarían una gran inversión y dificultarían la implementación.

Los diseños que, se pretenden utilizar son basados en teorías conocidas, pero todo representado mediante software, de esta manera, el sistema se presenta como una alternativa original y muy versátil a cambios que, se puedan presentar durante el desarrollo del mismo.

La utilización de sistemas de monitoreo meteorológico, puede beneficiar a entidades públicas y privadas, ayuda al estado a desarrollar planes de control de riesgos ante desastres naturales entre otras múltiples aplicaciones.



## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL:**

Proponer una alternativa de monitoreo meteorológico satelital, impulsando el desarrollo tecnológico, para implementar un sistema a través de SDR-USRP.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

- Implementar una técnica de adquisición de imágenes en diferentes espectros de luz para su posterior procesamiento.
  
- Simular e implementar un sistema de antenas de transmisión y recepción satelital, para facilitar la captación y sintonía de la comunicación.
  
- Programar el sistema de recepción y transmisión SDR mediante la placa USRP, para facilitar la sintonía y captación de las imágenes a nivel de comunicación satelital.

## **CAPÍTULO I**

### **1. MARCO TEORICO REFERENCIAL**

#### **1.1 Comunicaciones satelitales**

##### ***1.1.1 Introducción***

Un satélite por definición, es un cuerpo celeste orbitando alrededor de un planeta y es conocido como satélite natural; de ahí, surgió la idea para el desarrollo de satélites artificiales que, no son más que, sistemas de repetición de comunicaciones diseñados para orbitar la tierra brindando múltiples aplicaciones al ser humano.

Las primeras referencias a los satélites, vinieron de la mano de escritores de ciencia ficción como: Arthur C. Clarke, en donde describía con mucha precisión, sistemas similares a los utilizados en la actualidad, anticipando la utilización de un mínimo de 3 satélites para cubrir al planeta; además, dio las bases teóricas de lo que, en la actualidad se conoce como satélites geoestacionarios que orbitan a la misma revolución del planeta, tras el lanzamiento del satélite soviético Sputnik 1 el 4 de octubre de 1957. Diversos proyectos se han desarrollado, destacando entre ellos el Telstar, considerado el primer satélite de comunicaciones.

Gracias al desarrollo tecnológico del siglo XX y a la necesidad de comunicación, se han implementado sistemas de comunicaciones, cada vez más complejos, uno de los avances más significativos fue la implementación de tecnología satelital, éstos permitieron una comunicación de alcance global. Los satélites en la actualidad, sirven para distintos fines, tales como: comunicaciones, militares, meteorológicas entre otras aplicaciones; siendo de esta manera, imprescindibles para el normal funcionamiento de la tecnología actual.

### 1.1.2 Definición de satélite

Los satélites pueden ser satélites naturales o artificiales.

Los satélites naturales, son cuerpos celestes opacos que, orbitan planetas. Los satélites artificiales, son creados por el hombre al igual que, los satélites naturales orbitan el planeta y sirven para diversos fines tecnológicos.

### 1.1.3 Órbitas satelitales

Antes de hablar de la clasificación de los satélites meteorológicos, es importante entender las diferentes órbitas en las que puede operar un satélite.

Órbitas LEO: Estos satélites, generalmente se ubican a una altura entre 600 a 1500 Km pueden ser pueden ser casi circumpolares.

Órbita MEO., Estos satélites, generalmente se ubican a una altura entre 10075 y 20150 Km Aadiferencia de los GEO, su posición relativa respecto a la superficie no es fija.

Órbita GEO, esta orbita tiene como característica principal, ubicarse a una distancia aproximada de 36000 Km; de esta manera, puede viajar a la misma velocidad del planeta, manteniendo su huella satelital, ubicada siempre en un mismo punto.

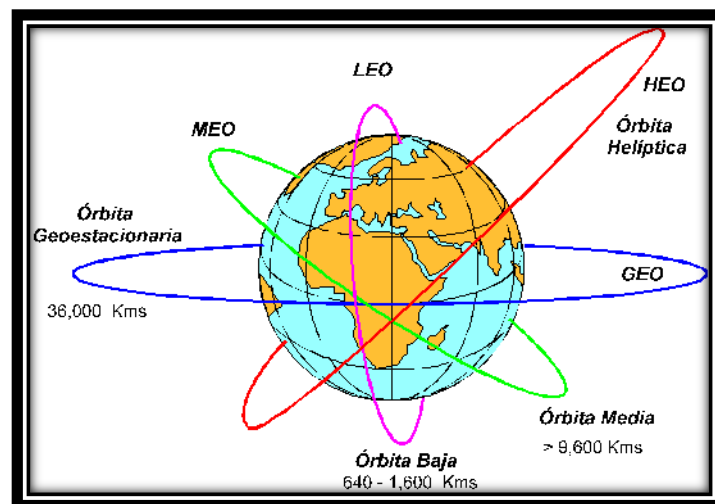
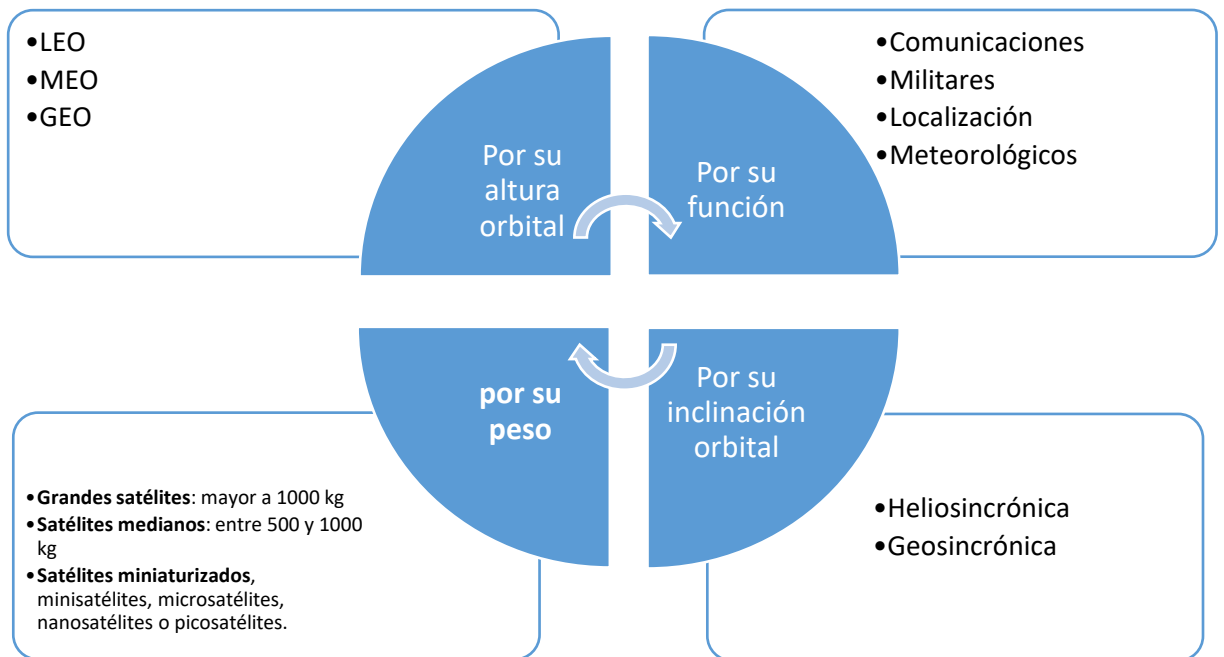


FIGURA 1-1: ÓRBITAS SATELITALES

Fuente: <http://aulasat.wikispaces.com/file/view/intrmov2.gif/437727184/intrmov2.gif>

### 1.1.4 Clasificación de los satélites

La clasificación de los satélites, se puede dar de acuerdo a varios criterios; tales como: su aplicación, su órbita y su altura orbital.



**FIGURA 2-1:** CUADRO DE CLASIFICACIÓN DE SATÉLITES  
**Realizado por:** Monar, C. 2017

### 1.1.5 Bandas de operación

Cada país, posee su propia reglamentación acerca del uso del espectro radioeléctrico, de esta manera, existe ciertas frecuencias asignadas en operación de servicios satelitales, mismas que se resumen en la tabla 1-1.

**TABLA 1-1: BANDAS DE OPERACIÓN SATELITAL**

<b>Banda</b>	<b>Frecuencia Uplink (GHz)</b>	<b>Frecuencia Downlink (GHz)</b>	<b>Ancho de banda (MHz)</b>	<b>Aplicación</b>
L	1.6	1.5	15	Servicio Móvil
S	2.2	1.9	70	Servicio Móvil
C	6.0	4.0	500	Servicio fijo y radiodifusión
X	8.0	7.0	500	Militar
Ku	14.0	11.0	500	Servicio Fijo
Ku	17.0	12.0	500	Servicio de radiodifusión
Ka	30.0	20.0	3500	Servicio fijo inter satélite

**Realizado por:** Monar, C. 2017

### **1.1.6 Los satélites meteorológicos**

Los satélites meteorológicos, fueron diseñados para poder monitorear el clima, en muchos casos, este monitoreo ha servido para la reducción de consecuencias ante desastres naturales, los primeros satélites meteorológicos poseían grandes limitaciones, en la actualidad la tecnología se ha desarrollado y las aplicaciones de las imágenes satelitales se han vuelto indispensables.

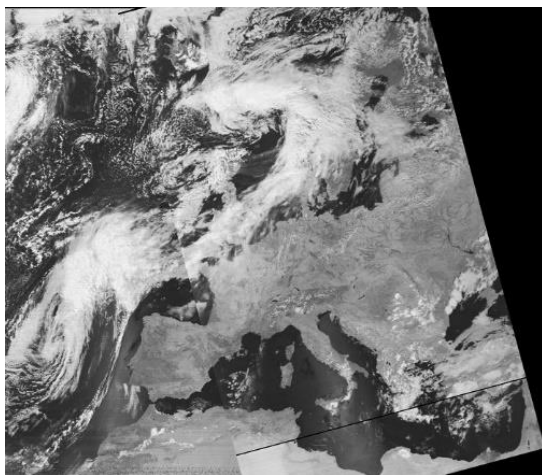
Existen dos tipos de satélites meteorológicos:

De órbita Geoestacionaria. Estos satélites meteorológicos, se encuentran orbitando a una altura de 22,300 millas (35,800 km) De esta manera, pueden orbitar con una velocidad angular aproximada a la velocidad de la Tierra, siempre su huella satelital va a ser fija.

De órbita Polar. Son aquellos que, orbitan del polo Norte a Sur perpendicularmente al plano ecuatorial; por esta razón, la huella satelital describe una espiral que varía a lo largo del día, cubriendo con 1 solo satélite toda la superficie terrestre. (Tomasi, 1998, pp. 798-799).

### 1.1.7 Imágenes satelitales

Los satélites meteorológicos, capturan fotos del planeta para recopilar información del clima. En la actualidad, podemos encontrar varios servicios de imágenes satelitales, por ejemplo: los satélites NOAA, poseen dos formas de transmisión, una analógica conocida como APT (Automatic Picture Transmission) que, funciona mediante una codificación de una imagen en una señal FM, la misma que se transmite al planeta y es decodificada por un software, al ser una señal analógica su calidad no es muy buena; pero, gracias a su facilidad y bajo costo, es una buena opción para adentrarse en el mundo de la recepción de imágenes satelitales. El otro modo de transmisiones de los satélites NOAA, es el HRPT (High Resolution Picture Transmission) Este tipo de transmisión, es digital y utiliza el radiómetro AVHRR (Advanced Very High resolution radiometer) (Gutman & Ignatov, 1998) el mismo que, captura imágenes de alta resolución del planeta. Esta tecnología, puede recibir datos con una resolución de 1.1 Km en su línea media; además, recibe varias frecuencias del espectro electromagnético: la luz visible, los infrarrojos cercanos, medio, térmico. Esta comunicación, se codifica y se transmite de manera digital; es decir que, la información es digital; por lo que, de esta manera la recepción es más compleja para un aficionado en relación de la tecnología APT.



**FIGURA 3-1:** IMAGEN APT

**FUENTE:**

**[HTTP://WWW.DK3WN.INFO/IMAGES/N18\\_26052005\\_2 P.JPG](http://www.dk3wn.info/images/n18_26052005_2.p.jpg)**



**FIGURA 4-1:** IMAGEN HRTP

**Fuente:**

**[http://www.iw2agj.altervista.org/alterpages/hrpt02-04-11orb30226az1254no18\\_-fc-corrected.jpg#gallery](http://www.iw2agj.altervista.org/alterpages/hrpt02-04-11orb30226az1254no18_-fc-corrected.jpg#gallery)**

### 1.1.8 Arquitectura de satélites NOAA

Los satélites meteorológicos NOAA, poseen un sinnúmero de instrumentos especializados para el monitoreo meteorológico, éstos deben cumplir condiciones establecidas con el fin de normalizar el funcionamiento del sistema, de esta manera la arquitectura básica con la que trabajan los satélites NOAA, se puede dividir en dos grupos: aquellos que utilizan transmisión APT y los que utilizan HRPT, estas dos tecnologías están instaladas en el mismo satélite trabajan y funcionan de forma similar, en la actualidad existen varios satélites activos en la constelación de satélites NOAA En la tabla 2-1, se detallan los parámetros de funcionamiento de cada una de estas tecnologías tomando como referencias características en común. (Goodrum, Kidwell y Winston, 1999).

**TABLA 2-1:** COMPARATIVA ENTRE SISTEMA APT CON TECNOLOGÍA HRPT

Parámetros	APT	HRTP
<b>Acrónimo</b>	Automatic Picture Transmission	High-resolution picture transmissions
<b>Modulación</b>	FM	BPSK, QPSK
<b>Señal</b>	Analógica	Digital
<b>Frecuencia de operación</b>	137.5 MHz o 137.67 MHz	1.670 -1.710 GHz
<b>Potencia</b>	5 watts (37 dBm)	6.35 watts (38.03 dBm)
<b>Antena transmisión</b>	Antena APT Antena FM	Parabólica Arreglo microstrip Corneta
<b>Antena recepción</b>	Parabólica Helicoidal Yagi	Parabólica Helicoidal Microstrip Yagi
<b>Resolución</b>	4 Km	1.1 Km
<b>Tasa de líneas canales</b>	120 líneas/minutos	320 líneas/minutos
<b>Tiempo de transmisión</b>	15 minutos	15 minutos
<b>Sensor para captura de imagen</b>	APT camera	AVHRR

Realizado por: Monar, C. 2017

### 1.1.9 Sensor AVHRR

El sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) es un radiómetro diseñado para la observación meteorológica, este sensor está implementado en cada satélite perteneciente a la constelación NOAA; ya que, es la principal fuente de datos para Teledetección, este sensor es capaz de medir la radiación en diferentes espectros electromagnéticos; además, puede capturar la misma imagen en distintas longitudes de onda, estos datos pueden utilizarse para determinar con gran precisión parámetros hidrológicos, oceanográficos y meteorológicos.

Existen diversos modelos de sensores AVHRR 1,2 y 3, éstos difieren de acuerdo a la longitud de onda; puesto que, son capaces de capturar, así se puede citar: el espectro visible, infrarrojo cercano, infrarrojo térmico entre otros, cada una de estas longitudes de onda trabajan utilizando un canal independiente, cuyas diferencias permiten aplicaciones tales como: observar la vegetación, nubes, lagos entre otras estos canales se detallan en la tabla 3-1. (Crepadweb.ccc.inta.es, 2017).

**TABLA 3-1: SENSORES AVHRR.**

Sensor	Resolución espectral	Resolución espacial	Resolución radiométrica
AVHRR/2 (NOAA-14)	5 bandas	1100 m	10 bits
AVHRR/3 (NOAA15,16,17&18)	6 bandas	1100 m	10 bits
Sensor	Resolución espectral - Bandas		
AVHRR/2 (NOAA-14)	Canal 1	-	Visible
	Canal 2	-	Infrarrojo cercano
	Canal 3	-	Infrarrojo medio
	Canal 4	-	Infrarrojo lejano
	Canal 5 - Infrarrojo lejano		
AVHRR/3 (NOAA15,16,17&18)	Canal 1	-	Visible
	Canal 2	- Rojo visible e infrarrojo	cercano
	Canal 3a	-	Infrarrojo cercano
	Canal 3b	-	Infrarrojo medio
	Canal 4	- Infrarrojo lejano o	térmico
Canal 5 - Infrarrojo lejano o térmico			

Realizado por: Monar, C. 2017



## 1.2 Raspberry Pi

### 1.2.1 Introducción

El Raspberry Pi, es una pequeña computadora desarrollada en Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi, en este dispositivo se puede conectar varios periféricos como monitor, teclados, cámaras; además, de pequeños componentes electrónicos como interruptores y sensores, el dispositivo fue desarrollado para el aprendizaje de informática, especialmente a personas de bajos recursos, una de sus principales aplicaciones es el desarrollo de proyectos electrónicos.

### 1.2.2 Modelos

Existen varios modelos de placas Raspberry Pi descritos en la siguiente tabla:

**TABLA 4-1:** MODELOS RASPBERRY PI.

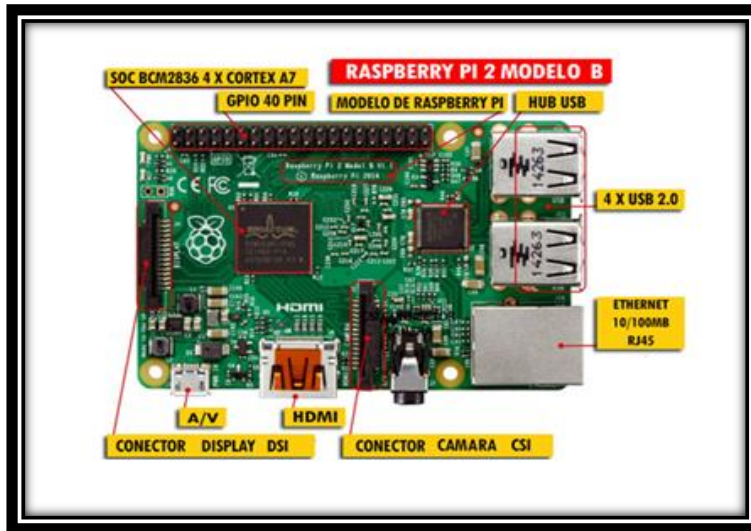
Raspberry Pi	Modelo A	Modelo A+	Modelo B	Modelo B+	2 Modelo B	Zero	2 Modelo B
<b>SoC</b>	Broadcom BCM2835	Broadcom BCM2835	Broadcom BCM2835	Broadcom BCM2835	Broadcom BCM2836	Broadcom BCM2835	Broadcom BCM2837
<b>CPU</b>	700 MHz ARM1176JZF-S	700 MHz ARM1176JZF-S	700 MHz ARM1176JZF-S	700 MHz ARM1176JZF-S	900 MHz ARM Cortex A7	1 GHz ARM1176JZF-S	1.2GHz 64-bit quad-core ARMv8
<b>GPU</b>	VideoCore IV	VideoCore IV	VideoCore IV	VideoCore IV	VideoCore IV	VideoCore IV	VideoCore IV
<b>RAM</b>	256 Mb	256 Mb	512 Mb	512 Mb	1 Gb	512 Mb	1 Gb
<b>USB</b>	1	1	2	4	4	1 Micro USB	4
<b>Video</b>	RCA, HDMI	Jack, HDMI	RCA, HDMI	Jack, HDMI	Jack, HDMI	mini HDMI	Jack, HDMI
<b>Audio</b>	Jack, HDMI	Jack, HDMI	Jack, HDMI	Jack, HDMI	Jack, HDMI	mini HDMI	Jack, HDMI
<b>Boot</b>	SD	Micro SD	SD	Micro SD	Micro SD	Micro SD	Micro SD
<b>Red</b>	-	-	Ethernet 10/100	Ethernet 10/100	Ethernet 10/100	-	Ethernet 10/100, WIFI

**Realizado por:** Monar, C. 2017

**Fuente:** (Raspberry Shop, 2011).

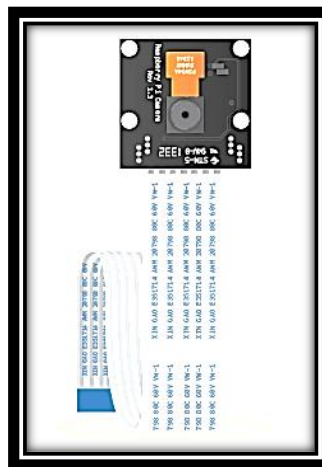
### 1.2.3 Raspberry Pi modelo 2

El Raspberry Pi modelo 2, posee varias características adicionales a su predecesor incluyendo más puertos USB, mayor capacidad de memoria; además de un nuevo procesador, gracias a éste, es compatible con varias distribuciones Linux; también de Windows. En la siguiente figura se puede observar sus componentes:



**FIGURA 5-1:** ARQUITECTURA RASPBERRY PI  
 Realizado por: Monar, C. 2017

### 1.2.4 Cámara Pi NoIR.



**FIGURA 6-1:** CÁMARA PI NOIR.  
 Fuente: <https://www.raspberrypi.org/wp-content/uploads/2014/09/pi-noir-camera-module.png>

Existen una gran variedad de periféricos compatibles para el Raspberry Pi, uno de ellos son las cámaras, existen 2 tipos, principalmente las cámaras normales y las infrarrojas, en este caso el modelo PI NoIR del inglés (No Infrared.). Esta cámara posee un filtro infrarrojo; de esta manera, es posible poder tomar fotos en la oscuridad, gracias a la iluminación infrarroja, en la figura 7-1, se puede ver la diferencia entre una cámara normal y una cámara infrarroja tomada a la luz del día. (Raspberry Pi, 2017)



**FIGURA 7-1:** COMPARACIÓN ENTRE UNA CAPTURA CONVENCIONAL CON CAPTURA MEDIANTE PI NOIR.  
**Fuente:** <http://raspi.tv/2013/pinoir-whats-it-for-comparison-of-raspicam-and-pi-noir-output-in-daylight>

La cámara PI NoIR captura imágenes que, trabajan en el infrarrojo cercano aproximadamente entre 800nm-1000nm y no en otras longitudes de onda; además, requiere un iluminador Infrarrojo para poder ver en la oscuridad.

### **1.3 Aplicaciones y protocolos de red.**

#### ***1.3.1 Escaneo de redes utilizando NMAP***

En la actualidad es indispensable el uso de redes de computadoras e internet; por lo que, estas tecnologías han llegado a alcanzar proporciones gigantes a través de todo el mundo, esta es la ha complicado en gran medida el trabajo para los administradores de red, especialmente si se trata de una red grande; dado que, se han desarrollado múltiples herramientas para facilitar el trabajo de administración de cada uno de los dispositivos de red; en este caso, puntual se tratará acerca del uso de escáneres de red, para el presente trabajo de titulación se utilizó la herramienta NMAP, cuyas principales ventajas radican en su facilidad de uso y la información que puede recopilar: ya que, los dispositivos de red por lo general trabajan utilizando DHCP; por esto sus direcciones de red se encuentran siempre en constante cambio: por lo que, es imprescindible el uso del escáner para la búsqueda de dispositivo en la red de área local; además, puede indicar qué puertos están abiertos en cada dispositivo, ya que, en la siguiente sección se hablará acerca de protocolos de red, esta aplicación es muy útil para saber si los puertos correspondientes a los protocolos, se pueden ejecutar en algún dispositivo en específico. La forma más general para utilizar la herramienta es de la siguiente manera:

```
# nmap [Tipo de escaneo] [Opciones] {Especificación de objetivo}
```

Existe un gran número de opciones que se puede agregar a el escaneo mediante NMAP, tales como: búsqueda de puertos, vulnerabilidades, versiones, detección de sistema operativo, entre otras múltiples opciones adicionales, así también tenemos: las técnicas de escaneo que se especifican en la tabla 5-1. (Marsh, 2010)

**TABLA 5-1 TÉCNICAS DE ESCANEO EN NMAP**

<b>Técnica de escaneo</b>	<b>Sintaxis</b>	<b>Uso</b>
TCP SYN	-sS	Escaneo discreto
TCT connect()	-sT	Escanear sin privilegios de root
FIN	-sF	Escaneo discreto
Xmas	-sX	Escaneo discreto
Null	-sN	Escaneo discreto
Ping	-sP	Identificación de host activos
Detección de versión	-sV	Identificador de servicios
UDP	-sU	Búsqueda de servicios UDP
ACK	-sA	Identificar firewall

**Realizado por:** Monar, C. 2017

### ***1.3.2 Protocolo SSH***

En la actualidad, toda la tecnología para internet, ha llegado a un alcance global; de esta manera, ha ido evolucionando para su mejor desempeño, la mayor parte de las redes de computadoras vienen dados por los protocolos de red, los cuales sirven para aplicaciones específicas. En el presente trabajo de titulación, se dará especial énfasis para entender el funcionamiento del protocolo de red SSH (Secure Shell). (Barrett & Silverman, 2001)

En la actualidad la mayoría de personas, posee un múltiples cuentas personales, tales como: redes sociales, email e incluso las mismas computadoras y teléfonos; también muchos administradores de red, suelen gestionar una gran cantidad de equipos de red, puede significar en muchos casos dificultades para la administración de todos estos equipos, especialmente, si ellos no se encuentran en un mismo lugar; de esta manera se desarrollaron protocolos de red de acceso remoto, de los cuales existen 2, el protocolo TELNET y el protocolo SSH; el protocolo TELNET no es recomendable utilizarse; ya que, tiene múltiples vulnerabilidades, siendo un gran riesgo para toda

la infraestructura de la red, es por eso que, es utilizado el protocolo SSH en su lugar. El protocolo SSH, es más seguro; puesto que, al enviar y recibir datos, éstos se encriptan, de esta manera, son inteligibles, mientras viajan por la red a equipos que, no son sus destinatarios adecuados, al llegar a su correcto destino, los datos se desencriptan; dando como resultado, administrar remotamente equipos de red o cualquier host. El protocolo SSH especifica cómo debe conducir una comunicación segura dentro de la red, tomando en cuenta ciertos parámetros.

### **Autenticación.**

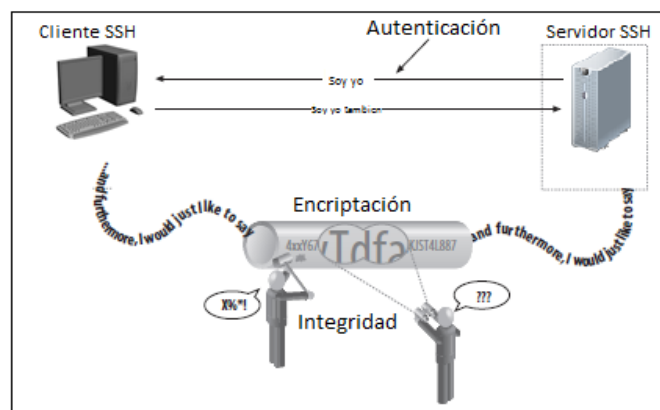
La autenticación determina la identidad de los equipos que solo el administrador de la red debe conocer.

### **Encriptación**

La encriptación desordena o vuelve inteligible excepto al transmisor y receptor; de esta manera, protege la información que pasa por la red.

### **Integridad**

La integridad de la información, es otro aspecto importante que, cubre SSH; lo que, busca es que la información no se altere durante la transmisión. En la figura 8-1 se puede observar estos aspectos de SSH.



**FIGURA 8-1:** PARÁMETROS DEL PROTOCOLO SSH.  
**FUENTE:** (BARRETT & SILVERMAN, 2001, PP. 23-24)  
**Realizado por:** Monar, C. 2017

### 1.3.3 Protocolo SCP

El protocolo SCP (security copy protocol) es un protocolo de transferencia de archivos similar a FTP con la diferencia que SCP utiliza el protocolo SSH; de esta manera, se crea un canal seguro de comunicación. La sintaxis de protocolo SCP en sistemas Linux es:

```
scp usuario@equipo:ruta/de/origen/remota /ruta/de/destino
```

Esta sintaxis, es básica; ya que, al ser por línea de comandos se pueden agregar múltiples opciones adicionales como se especifica en la tabla 6-1.

**TABLA 6-1: ESPECIFICACIONES DE SINTAXIS SCP.**

<b>Campo</b>	<b>Otra sintaxis</b>	<b>Opcional?</b>	<b>Predeterminado para el host local</b>	<b>Predeterminado para host remoto</b>
Nombre de usuario	Seguido por @	SI	Utilizar el nombre de usuario	Utilizar el nombre de usuario
Nombre de equipo	Seguido por:	Solo si el nombre de usuario es omitido el directorio está presente	Ninguno el archivo se accede localmente	N/A
Número de puerto	Seguido por #	Si	22	22
Directorio	N/A	Solo si el nombre del equipo está presente	Directorio actual	Directorio remoto

**Realizado por:** Monar, C. 2017

## 1.4 Procesamiento de imágenes

### 1.4.1 Introducción

Puesto que, las computadoras en su mayoría trabajan con información digital, el procesamiento de imágenes, es un paso importante para que los usuarios puedan interpretar los datos y posteriormente adaptarlos de acuerdo a sus propias necesidades; de esta manera, se puede manipular las imágenes. En el presente trabajo de titulación se realizarán un gran número de procesos para poder transmitir la información.

### 1.4.2 Formatos de imágenes

La mayor parte de datos utilizados por computadoras, están estandarizados, teniendo algunas extensiones propias para cada tipo de archivo en lo correspondiente a las imágenes digitales, hay una gran cantidad de extensiones.

**TABLA 7-1: RESUMEN DE FORMATOS DE IMÁGENES DIGITALES.**

<b>FORMATOS DE IMAGEN</b>				
<b>Formato</b>	<b>Profundidad de Color</b>	<b>Modos Color</b>	<b>Comprime</b>	<b>Comentario</b>
BMP (.bmp)	· 1 (Mapa de bits) · 4-8 bits (Escala grises) · 8 bits (Color Indexado) · 24 bits(RGB)	· Modos RGB · Color Indexado, · Escala de Grises, · Mapa de Bits	NO (excepto en 4 y 8 bits)	· Formato estándar IBM PC, · Uso: fondo escritorio, o imágenes sencillas de hasta 256 colores
GIF Graphics Interchange Format (.gif)	· 8 bits (256 colores)	· Compuserve GIF: Mapa de bits Escala de grises Color indexado · GIF89a (GIF Animado): Color Indexado RGB	SI (LZW)	· Creado por Compuserve en 1987 · Gráficos color indexado · Posibilidad visualización entrelazada (aparición gradual) · Transparencia y Animación · Uso: Internet
JPEG Joint Photographic Expert Group (.jpg; .jpe)	24 bits	· Escala de grises · RGB · CMYK	SI: DIVERSAS CALIDADES (con pérdidas)	· Junto con GIF y PNG el formato de Internet para gráficos y fotografías. · Formato de color verdadero en el que no se produce pérdida de color, aunque si se comprime SI, pues se eliminan datos. Uso: fotografías Internet
PNG Portable Networks Graphics (.png)	24 bits	· Mapa de bits · Escala Grises, · Color Indexado, · RGB	SI (sin pérdidas)	· Mayor capacidad de almacenamiento y capacidades que el GIF · Genera transparencias de fondo sin bordes dentados · No muy extendido, con el tiempo sustituirá al GIF · Uso: Internet
TIF Tag Image File Format (.tif)	32 bits	· Mapa de bits sin canales Alfa · Escala de Grises con canales Alfa y archivos Lab · Color Indexado · RGB con canales Alfa y archivos Lab · CMYK	SI (LZW)  (Se puede especificar si para IBMPC o Mac)	· Desarrollado por Aldus Corporation. · Reconocido por casi todos los programas de Pintura y Vectorización · Compatible IBM PC y Mac Uso: Imprenta e intercambio de archivos

**Realizado por:** Monar, C. 2017

### 1.4.3 Formato JPEG

El formato JPEG, surgió de la colaboración de dos entidades de normalización como son: ISO (International Standardization Organization) y la CCITT (Comitte of the International Telephone & Telegraph). La característica principal de este formato, es la compresión de datos, el principal inconveniente de este estándar, es que utiliza un algoritmo de compresión con pérdidas; por esta razón, una vez comprimida la imagen se pierde información. JPEG, también utiliza la codificación entrópica; es decir, utiliza las limitaciones propias de visualización del ojo humano; ya que, el ojo humano no puede percibir las pequeñas variaciones de color. (Wallace, 1992)

### 1.4.4 Codificación de Huffman

Es importante el uso de la codificación Huffman para la compresión de imágenes en JPEG; puesto que, se trata de una codificación de redundancia que, posee el menor número posible de símbolos de código por símbolos de entrada de acuerdo al primer teorema de Shannon.

Lo primero que se debe hacer, es organizar los símbolos de entrada, de acuerdo a sus probabilidades de mayor a menor, después combinar las más bajas probabilidades en un solo símbolo, reemplazando durante la siguiente reducción y realizando repetidas veces este proceso hasta la reducción total de los símbolos, la figura 8-1 muestra el proceso de reducción.

**TABLA 8-1: REDUCCIÓN DE HUFFMAN 1**

Fuente Original		Reducción de Fuente			
Símbolo	Probabilidad	1	2	3	4
a2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6
a6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4
a1	0.1	0.1	0.2	0.3	
a4	0.1	0.1	0.1		
a3	0.06	0.1			
a5	0.04				

Realizado por: Monar, C. 2017

El segundo paso para el algoritmo, es obtener el código binario de la reducción obtenida en el paso anterior, comenzando de la fuente más pequeña, a la que, se añaden los símbolos de la



derecha; ya que, el valor reducido 0.6 se generó al combinar dos símbolos de fuente a su izquierda, el 0 es usado para codificar este valor y se asigna a ambos símbolos, tanto un 0, como un 1 son anexados cada uno a los dos valores para distinguirse entre ellos, luego estos valores regresan de acuerdo a como fueron sumándose, manteniendo el valor a su derecha anterior a esta operación; entonces, se repite para cada código reducido hasta llegar a la símbolo original; el código resultante se puede observar en la figura 9-1. (Gonzalez, Woods, & Eddins, 2004, pp. 564)

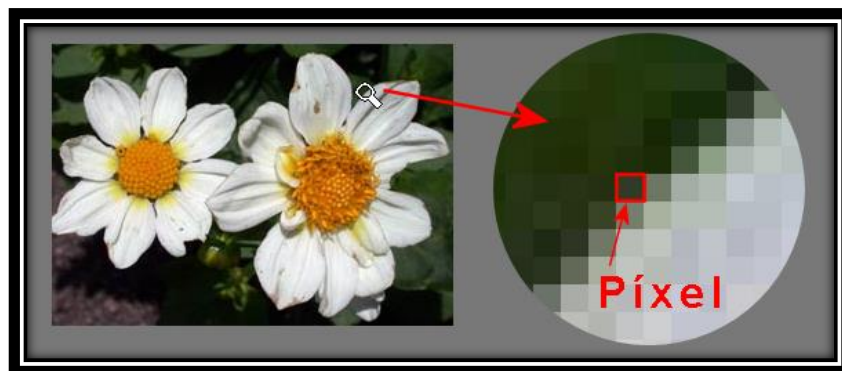
**TABLA 9-1: REDUCCIÓN DE HUFFMAN 2.**

Fuente Original		Reducción de Fuente								
Símbolo	Probabilidad	Código	1	2	3	4	5	6	7	8
a2	0.4	1	0.4	1	0.4	1	0.4	1	0.6	0
a6	0.3	00	0.3	00	0.3	00	0.3	00	0.4	1
a1	0.1	011	0.1	011	0.2	010	0.3	01		
a4	0.1	0100	0.1	0100	0.1	011				
a3	0.06	01010	0.1	0101						
a5	0.04	01011								

Realizado por: Monar, C. 2017

### 1.4.5 Digitalización de imágenes

Las imágenes digitales, se pueden representar mediante una matriz de elementos conocidos como pixeles, cada pixel puede almacenar varios tipos de valores tonales representados por números enteros, que indicarían blanco, negro, escala de grises o valores de color; por esta razón, todos éstos pueden digitalizarse.



**FIGURA 9-1: ILUSTRACIÓN DE PIXEL.**

**Fuente:** <http://www.ite.educacion.es/formacion/materiales/107/cd/imagen/imagen0101.html>

#### 1.4.6 Tasa de error de bit (BER)

En comunicaciones digitales, existen métodos para determinar la integridad de la información recibida en relación a la información original, una de estas formas es la tasa de error de bits que, compara la cantidad de bits dañados o perdidos que posee la información recibida, muchas veces estos datos se dañan por no tener modulaciones muy robustas o por no tener codificación de redundancia cíclica o cualquier otro algoritmo de detección y corrección de errores, otro factor que puede llevar a pérdidas en la información es cuando el canal de transmisión es saturado o que haya mucho ruido en el mismo.

Entonces la utilización de la tasa de error de bit es una excelente manera de cuantificar la calidad de un sistema de comunicaciones digital; entonces, para calcular el BER se debe dividir el número de errores sobre el número total de bits enviados en la tabla 10-1 se puede ver un ejemplo para calcular el BER.

**TABLA 10-1: EJEMPLO PARA EL CÁLCULO DE BER**

<b>Bits transmitidos</b>	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
<b>Bits recibidos</b>	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1
<b>Errores</b>		X	X			X		X		X		X

Realizado por: Monar, C. 2017

$$BER = \frac{\text{número de errores}}{\text{número total de bits enviados}}$$

$$BER = \frac{6}{12}$$

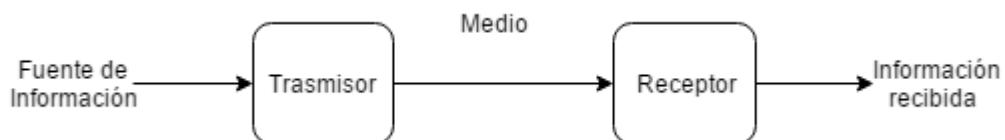
$$BER = 0.5$$

Esta es la manera adecuada para la utilización de la tasa de error de bits.

## 1.5 Comunicación de datos

### 1.5.1 Introducción

Debido a la necesidad de las personas para comunicarse entre sí y gracias a los avances tecnológicos que se han desarrollado en el último siglo; estos sistemas están constantemente evolucionando para mejorar las comunicaciones electrónicas, manteniendo siempre su estructura fundamental.



**FIGURA 10-1:** DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES.

**Realizado por:** Monar, C. 2017

En la figura 10-1 se puede distinguir 3 elementos esenciales como son: el bloque de transmisión, el medio de transmisión y el bloque de recepción. El objetivo principal de un sistema de comunicación es que, la información de origen, llegue a su respectivo destino con el menor número de pérdidas y en el mejor de los casos sin pérdidas; existen dos tipos de datos que son la información analógica (continua) por ejemplo la voz humana o la música; y la información de tipo digital(discreta) por ejemplo datos binarios, esta información es conocida como banda base; por ello, es importante tomar en cuenta que para poder propagar la información de manera apropiada, ésta debe convertirse en energía electromagnética, proceso que es conocido como modulación.

### 1.5.2 Modulación y demodulación

La información en su estado original, suele funcionar en bajas frecuencias, las cuales son ineficaces para transmitir por los medios convencionales; por ello, resulta extremadamente difícil irradiar estas señales mediante una antena, además transmitir toda la información de banda base

en una misma frecuencia, podría ocasionar interferencias entre ellas. El proceso de Modulación de la información, consiste en mezclar la señal original con otra de mayor frecuencia conocida como señal portadora, la modulación puede ser de tipo digital o analógica. Existen 3 propiedades que se pueden variar con una modulación que son la amplitud, la frecuencia y la fase.

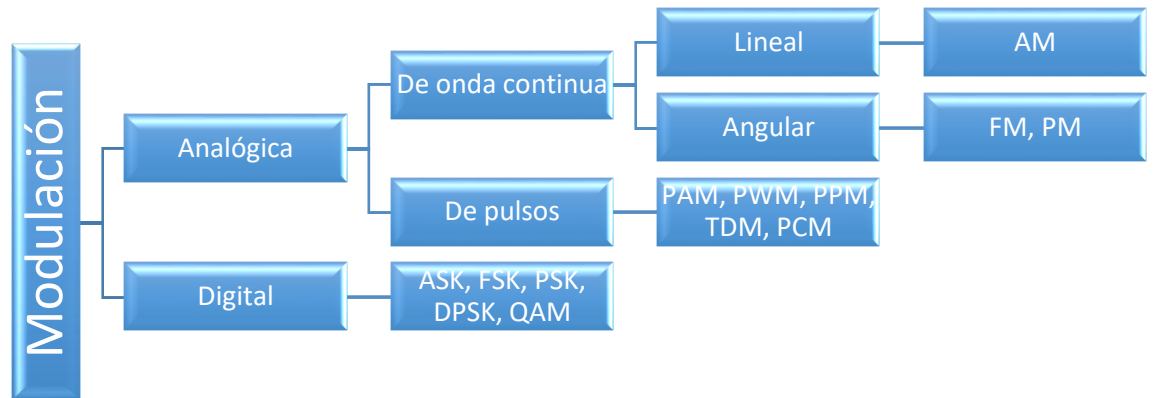
Existen dos tipos básicos de comunicaciones las digitales y las analógicas. Las comunicaciones analógicas, son aquellas que, tanto la información como la portadora son analógicas; es decir señales continuas, tales como una señal sinusoidal; en cambio, las comunicaciones de tipo digital, abarcan una gran cantidad de técnicas de comunicación que pueden ser:

**Transmisión digital.** Es la que, tanto la portadora como la señal original debe ser digital; en caso de que, la información original fuera analógica debe digitalizarse antes de la modulación.

**Radio Digital.** En la radio digital, en cambio la portadora es analógica; mientras que, la señal original es digital.

Las comunicaciones analógicas fueron desarrolladas primero, pero las comunicaciones digitales poseen ventajas con respecto a ellas; debido a que, su información puede ser más fiable que en la comunicación analógica; de esta manera, se dará más énfasis en el presente trabajo de titulación a los sistemas de comunicaciones digitales. El proceso de Demodulación, es inverso a la modulación, toma la señal recibida que, contiene tanto la señal en banda base como la portadora, ésta extrae los datos originales, la demodulación debe hacerse en el receptor. (Tomasi, 1998, pp. 1-47)

### 1.5.3 Clasificación de las modulaciones



**FIGURA 11-1:** CLASIFICACIÓN DE MODULACIONES.  
**Realizado por:** Monar, C. 2017

### 1.5.4 Modulación de fase

Como se pudo ver en la sección anterior, existen varias clases de modulaciones digitales: las modulaciones de fase PM y de frecuencia FM son similares; porque ambas modifican los ángulos. La modulación angular posee ventajas con respecto a la modulación de amplitud AM, así una mejor reducción del ruido, mejor fidelidad de los sistemas y mejor eficiencia de potencia. Sus principales desventajas son que requiere un mayor ancho de banda; además que los circuitos son más complejos tanto en recepción como en transmisión.

Existen varias clases de modulación angular analógica, éstas son: la modulación de frecuencia (FM) que cambia la frecuencia de la señal con respecto al tiempo y la modulación de fase (PM) que varía el ángulo de fase con respecto al tiempo. Cualquiera de las dos modulaciones angulares, puede incidir directa e indirectamente entre sí; por lo que, se lo conoce como:

Modulación directa de frecuencia, ésta incide directamente en la frecuencia e indirectamente en la fase.

Modulación directa de fase: en esta se incide directamente en el ángulo de fase e indirectamente a la frecuencia. (Tomasi, 1998, pp. 228-272)

En comunicaciones digitales, la modulación posee múltiples variaciones en las que, se pueden tener de manera general, aquellas que afectan a la amplitud, frecuencia y fase o una combinación

de estas propiedades; debido a que, en el presente trabajo de titulación, se enfocará el uso de aquellas que afectan de manera angular, por ello se pueden destacar:

La manipulación por desplazamiento de frecuencia (FSK, de frequency-shift keying) que, como indica su propio nombre, ésta varía los valores de su frecuencia, la manipulación por desplazamiento de fase (PSK, por phase-shift keying) esta modulación, es la más común de las comunicaciones digitales; debido a que, es versátil; ya que, a partir de ella, surge un gran número de variaciones dependientes de la cantidad de información de entrada que pueden manejar, por ejemplo tenemos:

La manipulación por desplazamiento binario de fase (BPSK, de binary phase shift keying): en esta modulación solo existe una sola frecuencia portadora binaria, en la que, una fase representa un 1 lógico y la otra representa un 0 lógico

La manipulación por desplazamiento cuaternario de fase (QPSK, por quaternary phase shift keying): en esta modulación es posible 4 fases distintas de salida que, representados por 2 bits de entrada, de esta manera: 00,01,10,11

Se pueden agrupar una cantidad mayor de fases de entrada, lo que, generaría mayor cantidad de bits representados. Esta modulación es conocida como MPSK. En la siguiente tabla se puede ver un resumen de modulaciones digitales de fase. (Tomasi, 1998, pp. 467-522)

**TABLA 11-1: RESUMEN DE MODULACIONES DIGITALES.**

Modulación	Codificación	Ancho de banda (Hz)	Baudios	Eficiencia de ancho de banda (bps/Hz)
<b>FSK</b>	Un bit	$\geq f_b$	$f_b$	$\leq 1$
<b>BPSK</b>	Un bit	$f_b$	$f_b$	1
<b>QPSK</b>	Dibit	$f_b/2$	$f_b/2$	2
<b>8-PSK</b>	Tribit	$f_b/3$	$f_b/3$	3
<b>8-QAM</b>	Tribit	$f_b/3$	$f_b/3$	3
<b>16-PSK</b>	Cuadribit	$f_b/4$	$f_b/4$	4
<b>16-QAM</b>	Cuadribit	$f_b/4$	$f_b/4$	4

Realizado por: Monar, C. 2017

### 1.5.5 Modulación/ demodulación GMSK

La modulación MSK, conocida como modulación de corrimiento mínimo gaussiano, ayuda en la conservación del ancho de banda, manteniendo la amplitud constante, de esta manera, puede amplificarse sin distorsión.

“DEFINICIÓN. La modulación por conocimiento mínimo (MSK, del inglés *minimum-shift keying*) es una FSK de fase continua con un mínimo índice de modulación ( $h=0.5$ ) que producirá una señalización ortogonal.”

El modulador GMSK, es otra forma de modulador MSK ; en la que, se añade un filtro gaussiano, los datos binarios de entrada de este modulador, pasan a través de un filtro gaussiano, antes de la modulación como lo indica la figura 12-1 (Couch, 2008, pp. 363-364)

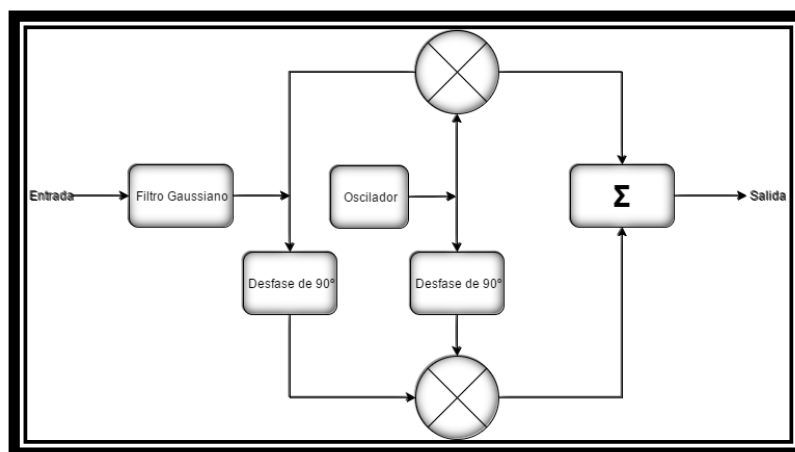
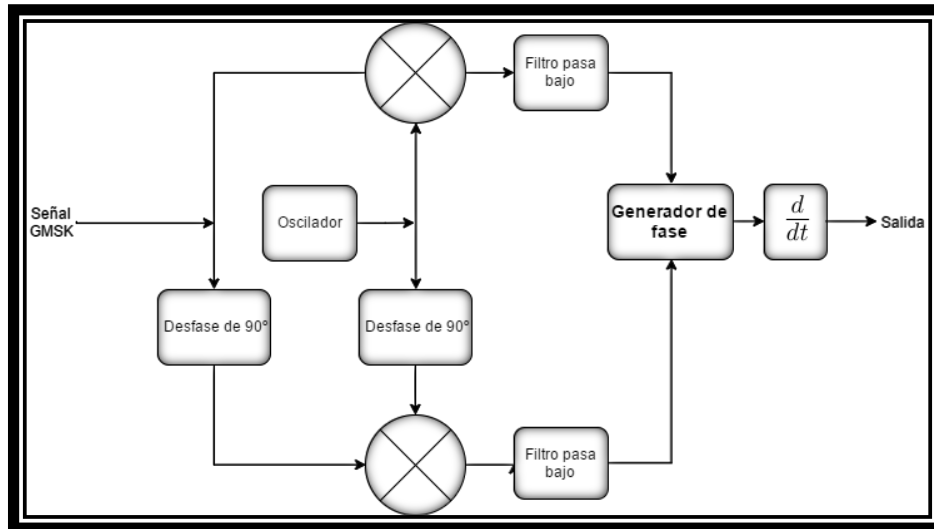


FIGURA 12-1: DIAGRAMA DE BLOQUES DE MODULADOR GMSK.  
Realizado por: Monar, C. 2017

El proceso de demodulación al igual que, cualquier otra comunicación digital, puede ser de tipo coherente o no coherente; por lo tanto, la modulación GMSK posee los dos clases de demoduladores; por lo que, éstos pueden ser implementados con diferentes métodos. Si la señal GMSK, considera las respuestas parciales de señal continua de modulación de fase, ésta se multiplica por la señal portadora, desfasando una de ellas en 90°, luego de esto las señales parciales pasan a través de un filtro pasa bajos, luego atraviesan un generador de fase que, reconstruye las fases originales; por último, la señal resultante pasa por un bloque derivador, dando como resultado final una señal NRZ la figura 13-1 muestra el diagrama de bloques del demodulador GMSK (Nova y Penagos,2008).



**FIGURA 13-1:** DIAGRAMA DE BLOQUES DE DEMODULADOR GMSK.  
**Realizado por:** Monar, C. 2017

## 1.6 Sistemas SDR

### 1.6.1 Introducción

Los sistemas SDR (Software Defined Radio) Radio definida por software, son dispositivos de hardware, en donde se pueden implementar sistemas de comunicaciones; donde los componentes típicamente implementados en hardware:

Como: mezcladores, osciladores, filtros, moduladores/demoduladores, detectores, entre otros son implementados mediante la utilización de un software. El concepto de SDR no es nuevo; pero, gracias a la evolución de los circuitos digitales, ha hecho posible implementar muchos de los procesos que, antes solamente eran conocidos desde el punto de vista enteramente teórico.

Un sistema SDR funciona conectándose a una computadora equipada con un conversor analógico-digital; además, de algún adaptador de radiofrecuencia. Las aplicaciones más desarrolladas mediante sistemas SDR, son el procesamiento de las señales que, utiliza procesadores de propósito general, en lugar de utilizar hardware de propósito específico. Esta configuración, permite cambiar con gran facilidad los protocolos y formas de onda entre otros muchos parámetros simplemente cambiando el software.



Los SDR, son de gran utilidad en muchos campos como son: la telefonía celular, también aplicaciones militares; por lo que, es muy importante, además en el ámbito educativo, gracias a su versatilidad en el desarrollo de aplicaciones que, maneja varios protocolos, algunos en tiempo real, esto conlleva a la necesidad casi constante de modificaciones. El sistema SDR gracias a sus enormes prestaciones, puede convertirse en la tecnología dominante en la creación de sistemas de comunicaciones; puesto que, no requiere la utilización de complejos dispositivos de hardware para poder implementarse.

### **1.6.2 GNU radio**

GNU Radio, es un software de código libre y abierto que, mediante el uso de bloques de procesamiento de señales para implementar sistemas de comunicaciones compatibles a SDR. GNU radio al integrarse con algún dispositivo SDR compatible, puede servir para crear aplicaciones SDR o sin hardware adecuado; puede servir en algunos casos como un entorno de simulación. Es utilizado principalmente en el desarrollo de aplicaciones para aficionados, estudiantes o para uso comercial contribuyendo, tanto en la investigación de comunicaciones inalámbricas, como en el desarrollo sistemas de radiocomunicaciones a bajo costo.

Las aplicaciones en GNU Radio, son desarrolladas en su mayoría, mediante la utilización del lenguaje de programación Python; además algunas herramientas críticas de procesamiento de señales, requieren un alto rendimiento; por este motivo, son implementados con la utilización del lenguaje C++ que, procesa mediante el uso de puntos flotantes cuando se necesite; de este modo, el desarrollador puede implementar, con mayor facilidad, los sistemas de radio de alto rendimiento, los cuales funcionan en tiempo real, de esta manera, se aprovecha el ambiente de desarrollo de GNU radio.

GNU radio no fue creada como herramienta de simulación; pero complementa el desarrollo de algoritmos de procesamiento de señales a partir de datos grabados o generados previamente; así se evita la necesidad de utilizar hardware especializado.

GNU Radio posee una licencia de tipo GNU General Public License (GPL) versión 3. Todo el código fuente, es propiedad de la Fundación del Software Libre. (Gnuradio.org, 2017).

### 1.6.3 Arquitectura USRP

El USRP (Universal Software Radio Peripheral) es un dispositivo periférico que, se interconecta con una computadora a través de un FPGA; permite la realización de aplicaciones SDR. El USRP puede convertir la señal a banda base a energía electromagnética que, puede irradiarse en una antena, utilizando cualquier tipo de modulación tanto analógica como digital y viceversa.

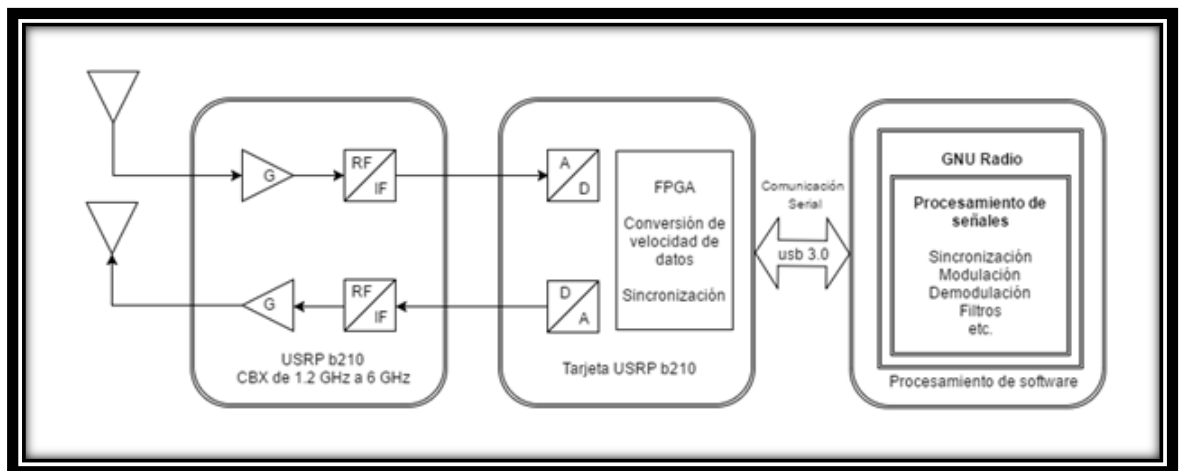


FIGURA 14-1: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL USRP.  
Realizado por: Monar, C. 2017

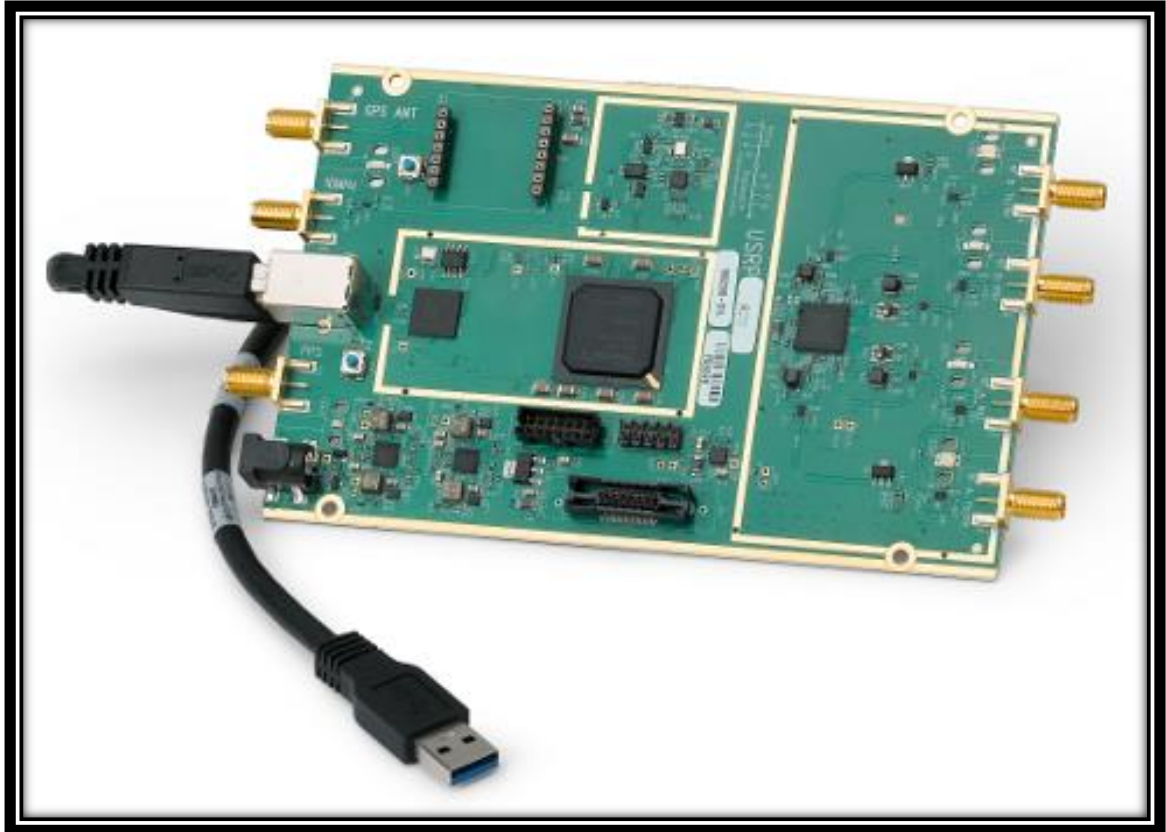
### 1.6.4 ETTUS b210

Todos los dispositivos serie B de USRP de Ettus funcionan mediante conexión usb 3.0 Además, funciona en un rango de frecuencias que, va desde los 70 MHz hasta los 6 GHz las especificaciones completas del dispositivo son las siguientes:

USRP B210 (ettus.com, 2017)

- 2 TX & 2 RX, para comunicaciones Half o Full Duplex
- Capacidad MIMO 2x2 coherente
- FPGA Xilinx Spartan 6 XC6SLX150
- Posee hasta 56 MHz de ancho de banda instantáneo en 1x1
- Posee hasta 30,72 MHz de ancho de banda instantáneo en 2x2

- Puede conectarse a un adaptador externo dc
- Capacidad GPIO para posibles conexiones con sensores externos.



**FIGURA 15-1:** PLACA ETTUS B210.

**Fuente:** [https://www.ettus.com/content/images/B210\\_cbl\\_650x506.png](https://www.ettus.com/content/images/B210_cbl_650x506.png)

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1 Diseño de prototipo.

##### *2.1.1 Introducción*

El dispositivo fue diseñado para poder transmitir imágenes digitales, el diseño propuesto tiene la finalidad de emular de algún modo un sistema de comunicación satelital, siendo el bloque transmisor equivalente a un satélite y el bloque receptor equivalente a una estación terrena; además, considerando su modo de funcionamiento se puede decir que equivaldría al funcionamiento de los satélites meteorológicos NOAA de órbita polar. El diseño de prototipo funciona mediante etapas. De esta manera, en este capítulo se describirá cada una de ellas.

Las imágenes se adquieren, mediante el uso de una cámara PI NoIR conectada a un módulo Raspberry Pi, el proceso de captura se lo realiza con una conexión SSH además es importante relacionar el proceso de adquisición de relación con el radiómetro AVHRR el cual realiza este proceso en los satélites NOAA. Las imágenes adquiridas en Raspberry Pi se transfieren mediante el protocolo SCP.

El procesamiento de las imágenes se lo realiza mediante MATLAB; dado que, es indispensable acomodar los datos digitalizados, previo a el proceso de transmisión y recepción mediante la utilización del USRP en conjunto con GNU radio luego información recibida se procesa nuevamente en MATLAB y de esta manera se establezca la comunicación de la información, así se puede apreciar la gran importancia que brinda la tecnología SDR en el desarrollo de sistemas de comunicaciones.

## 2.1.2 Consideraciones para el diseño

### 2.1.2.1 Comparativa entre el sistema propuesto en relación a tecnología HRPT.

El sistema propuesto, toma como base la tecnología HRPT, por lo que, es importante antes del proceso de implementación en GNU radio, guardar relación entre el diseño propuesto, como en la tecnología en la que está basada para lo cual se detalla en la tabla 1-2. (Vera Mella, 2005)

**TABLA 12-2:** COMPARATIVA ENTRE SISTEMA PROPUESTO CON TECNOLOGÍA HRPT

Parámetros	HRTP	DISEÑO PROPUESTO
Modulación	BPSK, QPSK	GMSK
Señal	Digital	Digital
Frecuencia de operación	1.670 -1.710 GHz	1.6 GHz
Potencia	6.35 watts (38.03 dBm)	2.184 watts (33.40 dBm)
Antena transmisión	Parabólica Arreglo microstrip Corneta	Conexión directa cable coaxial Antenas logarítmicas
Antena recepción	Parabólica Helicoidal Microstrip Yagi	Conexión directa cable coaxial Antenas logarítmicas
Resolución	2048x4096 pixeles	640x480
Tiempo de transmisión	15 minutos	25 minutos
Sensor para captura de imagen	AVHRR	PI NoIR

Realizado por: Monar, C. 2017

El sistema propuesto, utiliza la modulación GMSK a diferencia del diseño original que, emplea la modulación BPSK o QPSK, el uso de esta modulación, se da; ya que, ambas modulaciones tienen similitudes con la única diferencia que, la modulación GMSK posee una mejor eficiencia espectral; además, gracias a la utilización del filtro gaussiano, existe una menor interferencia en relación a la modulación QPSK, una desventaja radica en que, las modulaciones MSK tienen menor eficiencia en su ancho de banda, dado que tienen un mejor desfase.

### 2.1.2.2 Consideraciones para el dispositivo USRP

Gracias a las prestaciones que brinda el dispositivo USRP, en la cual se puede variar con relativa facilidad los parámetros, permitiendo hacer cambios rápidos de acuerdo a las necesidades del sistema; teniendo en cuenta que el diseño es experimental, los parámetros del sistema deben ser controlados, de esta manera el enlace entre el transmisor y el receptor se lo realiza utilizando un cable coaxial como se puede ver en la figura 1-2.

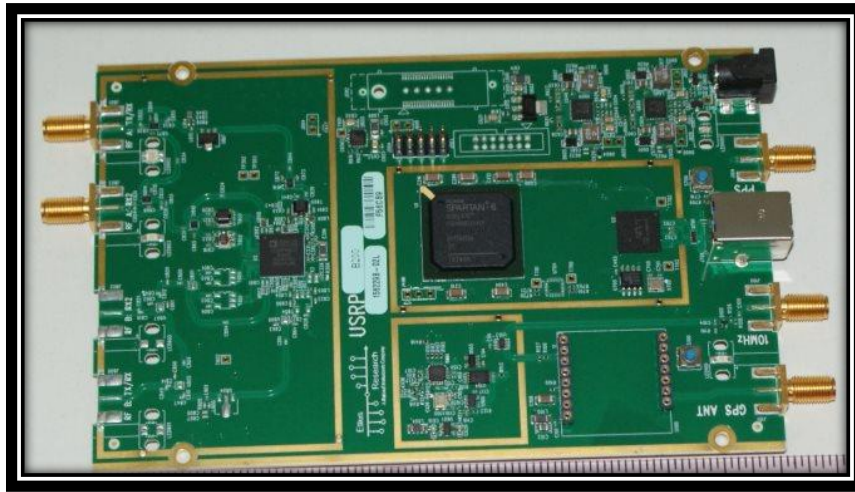


FIGURA 16-2: CONEXIÓN FÍSICA ENTRE USRP.

Los parámetros de configuración del USRP en la tabla 2-2 detallan las configuraciones tanto en el TX como en el RX.

TABLA 13-2: PARÁMETROS USRP EN GNU RADIO.

	<b>Transmisor</b>	<b>Receptor</b>
<b>Frecuencia de operación</b>	1.6 GHz	1.6 GHz
<b>Ganancia</b>	60 dB	20 dB
<b>Puerto</b>	TX/RX	TX/RX

Realizado por: Monar, C. 2017

La frecuencia de operación del USRP se lo realiza a 1.6 GHz tomando como referencia el funcionamiento del sistema HRPT; además, esta frecuencia se encuentra alejada de posibles interferencias como: la telefonía móvil o transmisiones de televisión o radio; La potencia del transmisor, ha sido fijada en 60 dB siguiendo la premisa de imitar sistemas de transmisión convencional, donde el transmisor posee una potencia superior; en tanto, el receptor funciona con

una frecuencia de 20 dB al utilizar estos parámetros el sistema funciona sin mayores complicaciones.

### 2.1.3 Diagrama de bloques del dispositivo propuesto

En la figura 1-2 se puede ver, de manera general la estructura del sistema propuesto que, a lo largo del presente capítulo, se detallará cada una de estas etapas; además, de indicar el proceso realizado para el correcto funcionamiento del sistema

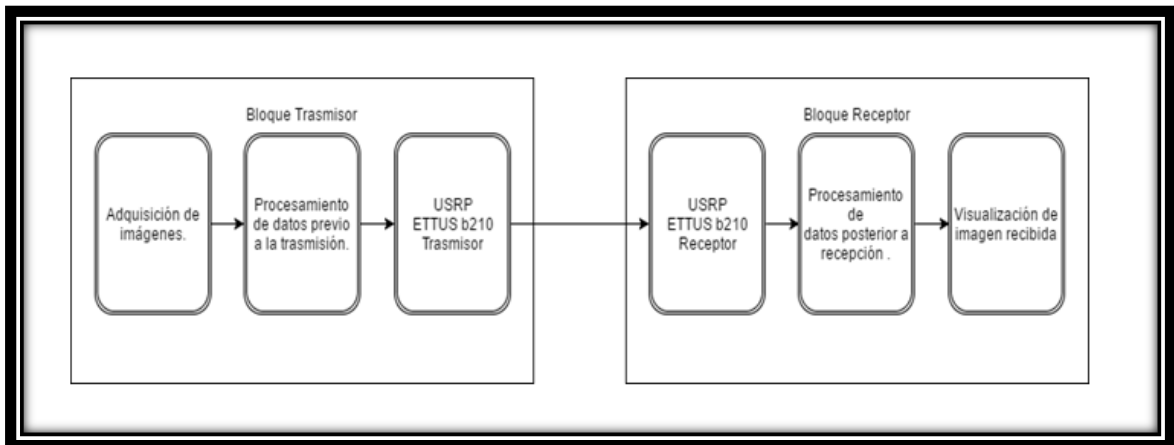


GRÁFICO 17-2: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA PROPUESTO.

Realizado por: Monar, C. 2017

## 2.2 Adquisición de imágenes.

### 2.2.1 Introducción.

Para la adquisición de imágenes, se utilizó un Raspberry Pi; ya que, gracias a sus prestaciones y la facilidad que, brinda para la instalación de periféricos especializados, es una herramienta muy útil para este propósito el Raspberry Pi normalmente funciona como una PC de bajos recursos, a la que, se puede agregar un sistema operativo, en este caso se utilizó el sistema Raspbian; por otro lado, para la adquisición de imágenes se utiliza una cámara PI NoIR; puesto que, ésta posee una característica principal, el poder tomar imágenes infrarrojas.

### 2.2.2 *Conexión física Raspberry Pi*

El Raspberry Pi 2 modelo B posee varias entradas para periféricos, pero es importante destacar que, para la adquisición, no es necesaria la conexión de dispositivos apuntadores, teclados, pantallas, solo es necesario la alimentación y una conexión de red hacia la computadora que se encargará de la transmisión SDR. En la figura 2-2 se puede ver como debe ser la correcta conexión requerida.



FIGURA 18-2: CONEXIONES DEL RASPBERRY PI.

### 2.2.3 *Conexión SSH*

Como se especifica en el punto anterior, no se utilizaron dispositivos periféricos de entrada y salida en el Raspberry Pi para poder utilizarse, es necesario que desde una computadora se establezca una conexión SSH; también, cabe resaltar que para la conexión SSH debe estar habilitado el puerto 22 ; el usuario y la contraseña SSH por defecto en el dispositivo es “pi” y “raspberrypi” respectivamente; además, es necesario conocer la dirección IP del Raspberry Pi; por ello, los comandos en Linux que se necesitan para la conexión son los siguientes . (Raspberrypi.org, 2017).

```
ssh pi@<IP>
```



#### 2.2.4 Captura de imágenes utilizando PI NoIR.

Una vez obtenido el acceso, mediante la conexión SSH, existen varios comandos para la adquisición de fotos; dado que, el modulo cámara es capaz de tomar fotos de alta resolución; pero para objeto del presente proyecto, la resolución de las imágenes debe variarse, la forma más sencilla de tomar una imagen, es utilizando el siguiente comando: el cual utiliza la ruta por defecto /home/pi guardándola como “miimagen.jpg” esperando 5 segundos para realizar la captura de la imagen, este tiempo puede ser cambiado agregándole la opción -t y a continuación expresando el tiempo en segundos.

```
raspistill -o miimagen.jpg
```

Cabe destacar que, al comando “raspistill” es factible añadirle opciones adicionales que, se especifican en la tabla 3-2 algunas de estas opciones son útiles para el presente trabajo.

**TABLA 14-2:** PARÁMETROS ADICIONALES PARA EL COMANDO RASPISTILL.

Opción	Nombre	Descripción
-?	--help	Mediante esta opción se despliega ayuda para el comando
-h	--height	Establece la altura
-w	--width	Establece la anchura
-o	--quality	Establece la calidad de jpeg <0 a 100>
-t	--timeout	Se establece el tiempo (en ms) antes de tomar la fotografía (si no se especifica, el valor por defecto es de 5s)
-tl	--timelapse	Modo de lapso de tiempo. Toma una foto cada <t>ms
-e	--encoding	Formato de salida (jpg, bmp, gif, png)
-p	--preview	Configuración de la ventana de pre visualización <'x,y,w,h'>
-rot	--rotation	Configura la rotación de la imagen (90,180,270)

Realizado por: Monar, C. 2017

De esta manera para el propósito si se desea capturar una imagen con una resolución específica se utilizaría el siguiente comando:

```
raspistill -o miimagen.jpg -w 640 -h 480
```

De esta manera, la imagen tendrá una resolución de 640x480 (Raspberrypi.org, 2017).

## **2.3 Procesamiento previo a transmisión**

### ***2.3.1 Adquisición de imagen mediante protocolo SCP***

Luego del proceso de la adquisición de imágenes atrás del Raspberry Pi, se debe utilizar el protocolo SCP, el cual transfiere archivos desde el RaspBerry hacia la computadora que, se encarga de la transmisión; además, es importante señalar que, SCP es una forma segura de transmisión de datos, porque utiliza el protocolo SSH, el cual como se revisó el capítulo anterior, ofrece ventajas sobre integridad, autenticidad y autenticación, de este modo toda la información transmitida es cifrada, para el presente prototipo se utilizó SCP, mediante el siguiente comando:

```
scp pi@192.168.1.120:/home/pi/captura.jpg /home/mint/Desktop
```

En el comando anterior, es importante especificar la dirección IP del Raspberry Pi; además, saber tanto el nombre como el directorio de la imagen capturada previamente y después especificar la ruta por defecto, en donde deseamos guardar el archivo; puesto que, el protocolo SCP utiliza SSH una vez ingresado el comando anterior va a solicitar la contraseña que es correspondiente a lo indicado en la sección anterior.

### ***2.3.2 Digitalización de imagen JPEG mediante MATLAB***

Gracias a la utilización de Matlab, el manejo de datos, se simplifica en gran medida, en esta tarea, para poder tomar una imagen e iniciar el proceso de digitalización es importante saber que, las imágenes son representadas mediante una serie de puntos conocidos como pixeles, los que dependiendo del tipo de imágenes pueden contener diferentes tipos de información, en el caso puntual de una imagen jpeg de colores, está compuesta por 3 matrices cada una posee información tonal de 3 colores (RGB) Rojo, Verde, azul En la figura 3-2 se puede ver la representación de cada una de estas matrices.



**FIGURA 19-2:** IMÁGENES PARCIALES RGB.

Al sobreponer estas tres imágenes, el resultado es la imagen original como se puede ver en la figura 4-2.



**FIGURA 20-2:** COMPOSICIÓN DE IMÁGENES RGB.

Por eso Matlab es una herramienta de software matemático especializado en el manejo de matrices para el proceso de manejo de imágenes y utiliza el comando:

```
in=imread(nombre del archivo)
```

Al usar ese comando se lee la imagen JPEG y se almacena en un arreglo de matrices de 3 dimensiones, dos dimensiones representan la resolución de la imagen y la última dimensión es igual a 3 que representa cada una de las matrices RGB

$$I_R(m, n, 1) = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad I_G(m, n, 2) = \begin{bmatrix} g_{11} & \cdots & g_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{m1} & \cdots & g_{mn} \end{bmatrix} \quad I_B(m, n, 3) = \begin{bmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{m1} & \cdots & b_{mn} \end{bmatrix}$$

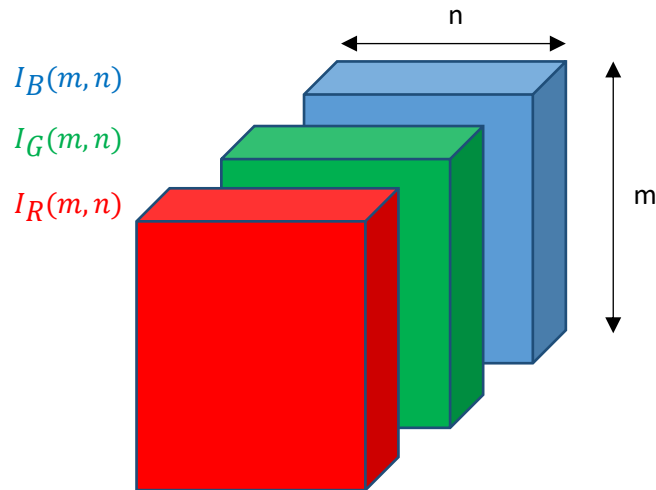


FIGURA 21-2: REPRESENTACION MATRICIAL DE IMAGEN RGB.

Luego de obtener esta matriz de 3 dimensiones, se debe utilizar el comando “reshape” de Matlab, el cual sirve para reorganizar los elementos de una matriz, siempre y cuando se consideren el número de elementos de la matriz original, sea igual al de la matriz reorganizada, se puede usar las siguientes para el proceso de digitalización de la imagen:

```
in2=reshape(in,numel(N),1);
```

Luego de la reorganización de la matriz en un vector columna, podemos observar que, los datos dentro de cada elemento del vector, es de tipo decimal; así que, el siguiente paso para la digitalización es convertir estos valores a binario, para este propósito Matlab posee un comando que, realiza este proceso conocido como “dec2bin” de la siguiente forma:

```
bin=dec2bin(in2,'left-msb');
```

La opción “left-msb“, sirve para ubicar el dígito más significativo a la izquierda, debido a que los valores tonales representados en cada elemento de la matriz van desde el 0 al 255 cada fila resultante va a tener un tamaño máximo de 8 elementos; dado a que  $2^8-1=255$  que en binario es igual “11111111”.

El último paso para el proceso de digitalización, consiste en reorganizar la matriz obtenida en el paso anterior, cabe destacar que, estos datos ya son digitales, para reorganizar se utilizará el comando reshape al igual que en un paso anterior de la siguiente manera:

```
Salida=reshape(bin',Nb,1);
```

La información resultante es un vector columna, el cual posee los valores digitales de la imagen original.

### ***2.3.3 Exportar datos desde MATLAB a archivos de texto.***

El software GNU radio, es capaz de procesar información mediante la utilización de bloques; por lo tanto, es un importante poder, que esta información sea compatible; GNU radio es compatible con archivos de texto los cuales pueden ser transmitidos mediante dispositivos USRP.

La datos digitales de las imágenes obtenidos en la sección anterior; tienen que, guardarse en un archivo de texto; también, el sistema SDR posee errores de sincronización; por ello, es importante especificar una cabecera simple que, indique su posición; además, es importante indicar antes de la transmisión de los datos la resolución de la imagen.

Para facilitar la separación de los datos en el receptor se utilizó caracteres especiales para realizar búsqueda.

## **2.4 Transmisor SDR.**

### ***2.4.1 Diagrama de bloques transmisor USRP en GNU radio.***

Como se ha manifestado antes, la utilización de sistemas SDR, tiene como principal ventaja su versatilidad para el desarrollo de sistemas de comunicaciones. Una de las principales formas de implantarlo, es mediante dispositivos USRP en lo referente al hardware y GNU radio en software, como se puede ver en la figura 6-2 presenta un ejemplo de los bloques necesarios para una transmisión SDR digital, cada bloque se detallará con mayor énfasis más adelante; además, de presentar correctamente cada parámetro que puede ser modificado.

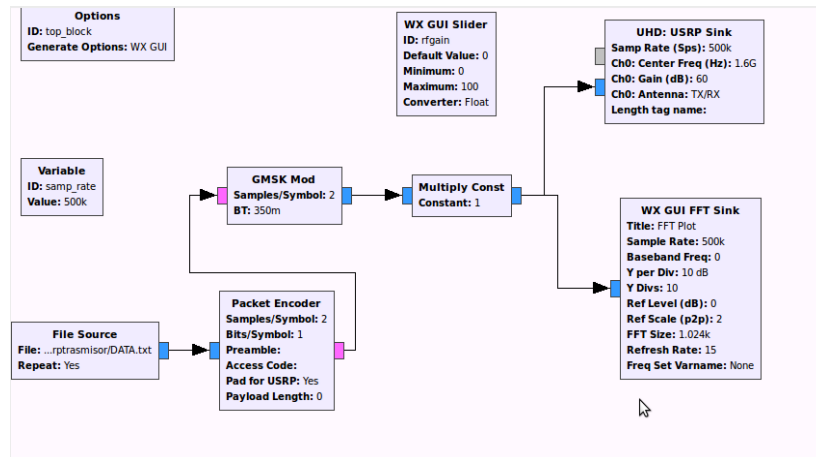


FIGURA 22-2: DIAGRAMA DE BLOQUES TX GNU RADIO.

### 2.4.2 Importación de datos.

GNU radio trabaja utilizando bloques para importar archivos, específicamente el archivo de texto generado en Matlab en la sección anterior, de esta manera el bloque se configura como se indica en la figura 7-2, es importante especificar la ruta del archivo, el tipo de dato con el que se va a manejar los datos la opción de repetición, sirve para que el archivo se transmita de manera recursiva, porque muchas veces se presentan errores de sincronización.

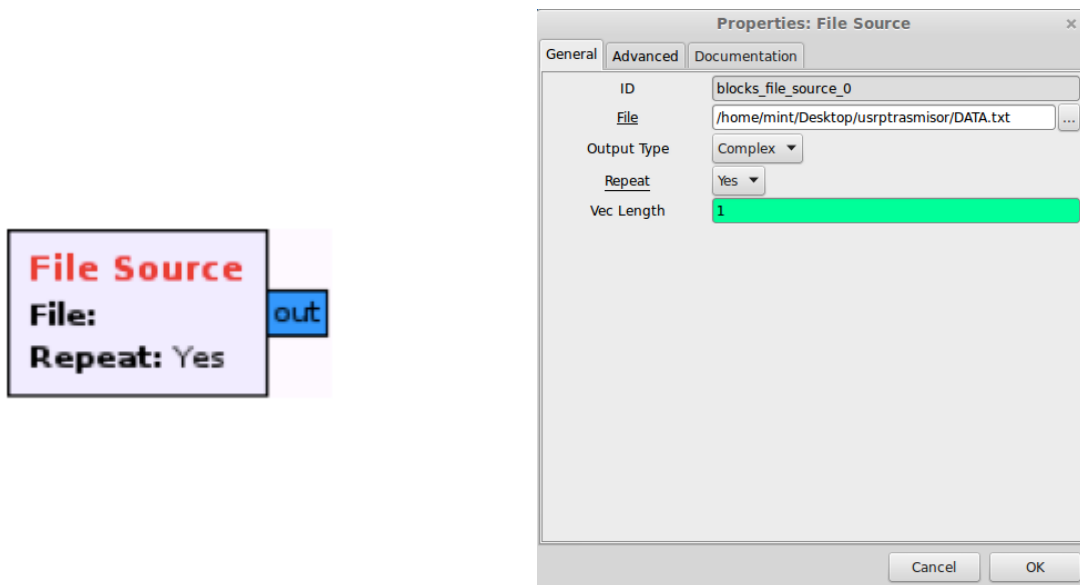


FIGURA 23-2: BLOQUE FILE SOURCE Y SUS PROPIEDADES.

### 2.4.3 Codificación de archivo de texto GNU radio.

Para el proceso de codificación de los datos importados como ya se vio antes GNU radio, posee bloques especializados, la codificación es importante; puesto que, prepara los datos previo a el proceso de modulación; por lo cual, es importante detallar los parámetros necesarios para su buen funcionamiento como se puede ver en la figura 8-2.

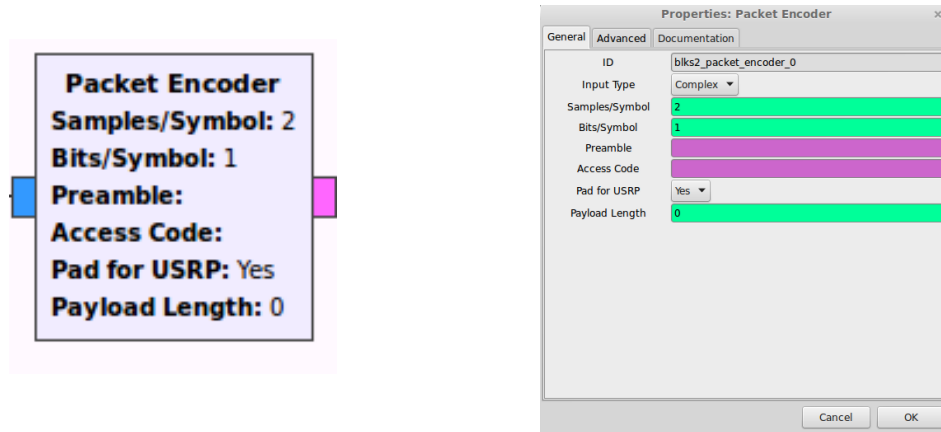


FIGURA 24-2: BLOQUE PACKET ENCODER Y SUS PROPIEDADES.

En la sección anterior, se manejaron datos de tipo complejo; por ello, se debe mantener el mismo tipo de datos; ya que, de no hacerlo implicaría errores en la ejecución del script, se puede indicar las muestras por símbolo que, debe tener un valor mínimo de 2 para igualar la tasa de bits deseada con la velocidad de muestro del dispositivo USRP, debiendo ser igual en todos los bloques para que no se generen errores en su ejecución. Es importante indicar los bits por símbolos; puesto que, estos compatibilizan los datos codificados con el tipo de modulación a utilizarse en el sistema de comunicación, en la tabla 4-2 se detalla los diferentes tipos de modulación con su respectivo bit por símbolo:

TABLA 15-2: CONFIGURACIÓN DE BITS/SÍMBOLO CON SUS CORRESPONDIENTES MODULACIONES.

Modulación	Bits/Símbolo
GMSK	1
DBPSK	1
DQPSK	2
D8PSK	3
QAM8	3
QAM16	4
QAM64	6
QAM256	8°

Realizado por: Monar, C. 2017

Se puede incorporar un código de acceso que encriptaría la información, en el presente proyecto no se lo utilizó, de ser necesario usar este parámetro, es importante mantener tanto en el receptor como en el transmisor, éstos deben ser iguales para que la comunicación pueda establecerse; ya que, uno de las principales funciones de GNU radio es la utilización de dispositivos USRP. Por último, la longitud de la carga útil (Payload Length) sirve para que la transferencia se realice más rápido al poner este valor en 0 se indica que este valor se fija automáticamente de acuerdo al dispositivo de hardware.

#### 2.4.4 Modulación GMSK en GNU radio

A diferencia de la sección anterior, en donde el proceso de codificación de datos es compatible con diferentes tipos de modulación, en esta etapa es más puntal; por lo que, se tiene bloques especializados, en esta implementación se utiliza la modulación GMSK, por lo que, es importante manejar siempre los mismos parámetros que, deben ser iguales a la sección anterior como es el caso del número de muestras que se mantiene con un valor de 2.

El valor de BT (bandwidth-time) indica el ancho de banda normalizado, en este caso se utiliza un valor de 0.35 en la figura 9-2 se puede observar estos parámetros en GNU radio.

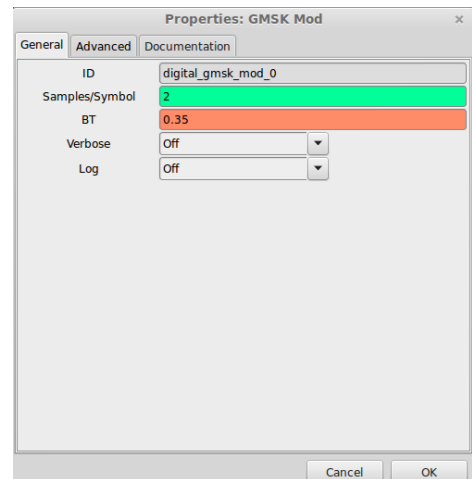
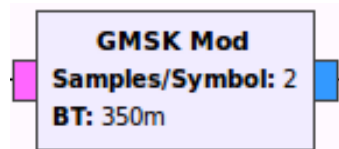


FIGURA 25-2: BLOQUE MODULADOR GMSK Y SUS PROPIEDADES.

La señal resultante ya está modulada, luego de pasar por el bloque anterior; por lo que, es posible enviarla al dispositivo USRP; pero, emulando los sistemas de comunicaciones convencionales y gracias a las facilidades que presentan los sistemas SDR, se puede agregar un bloque amplificador de la señal antes de enviar al bloque encargado de la transmisión, lo más destacable de este bloque



es mantener el tipo de datos que se ha venido utilizando desde el inicio del proceso y especificar la constante de amplificación.

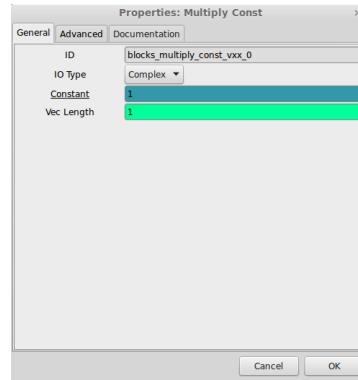
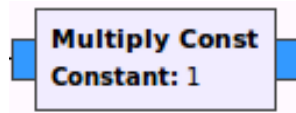


FIGURA 26-2: BLOQUE AMPLIFICADOR Y SUS PROPIEDADES.

#### 2.4.5 Configuración de TX USRP ETTUS b210

El bloque de USRP sink, es el encargado de tomar la información modulada que es de tipo compleja y transmitirla, mediante el dispositivo USRP, algunos de los parámetros especialmente los concernientes al número de serie o la dirección IP del dispositivo USRP, dependen del modelo del USRP. Son importados automáticamente cuando se conecta el dispositivo al computador; pero, otros parámetros tales como: la frecuencia de operación y la ganancia de transmisión, el puerto de salida se deben modificar de acuerdo a lo establecido al inicio de este capítulo, los demás parámetros ya vienen configurados por defecto y conciernen a la sincronización e interpolación; por lo que, no es recomendable modificarlos. En la figura 11-2 se puede ver con mayor detalle la configuración necesaria para el sistema planteado.

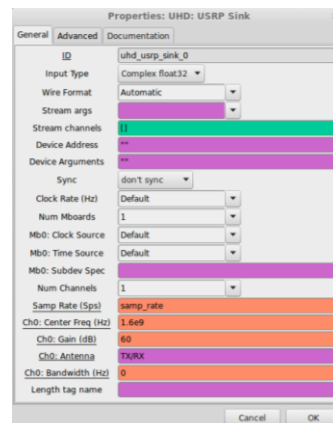
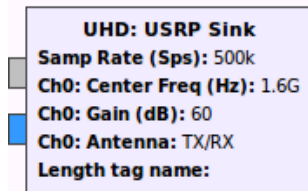


FIGURA 27-2: BLOQUE USRP SINK Y SUS PROPIEDADES.

En GNU radio, es posible visualizar la señal que se va a transmitir en el dominio de la frecuencia; para lo cual, es necesaria la utilización del bloque FFT sink que, muestra la transformada rápida de Fourier, su funcionamiento es similar a un analizador de espectro, debiendo de esta manera configurar los parámetros como la frecuencia de operación y el SPAN.

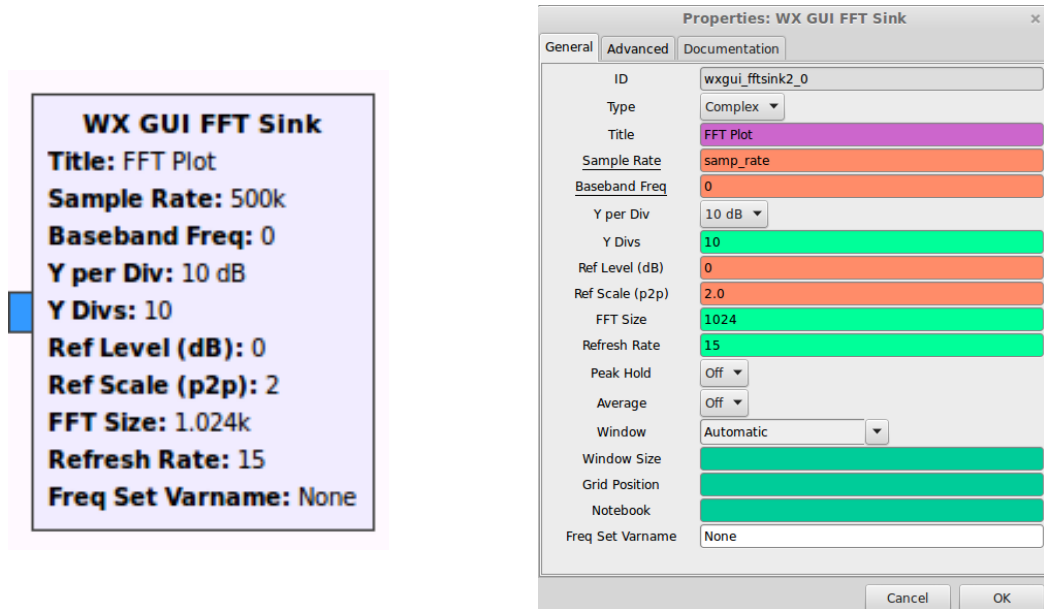


FIGURA 28-2: BLOQUE DE VISUALIZACIÓN FFT Y SUS PROPIEDADES.

## 2.5 Receptor SDR.

### 2.5.1 Diagrama de bloques receptor USRP.

Debido a que, el receptor SDR se basa principio teórico de un receptor de comunicaciones digital, se debe emular un sistema de comunicaciones convencional, de esta manera de acuerdo a lo establecido al principio de este capítulo, en el diagrama presentado en la figura 13-2, donde se puede apreciar los diferentes sistemas necesarios para el correcto funcionamiento del sistema, cabe resaltar que se detallará cada bloque en las siguientes secciones.

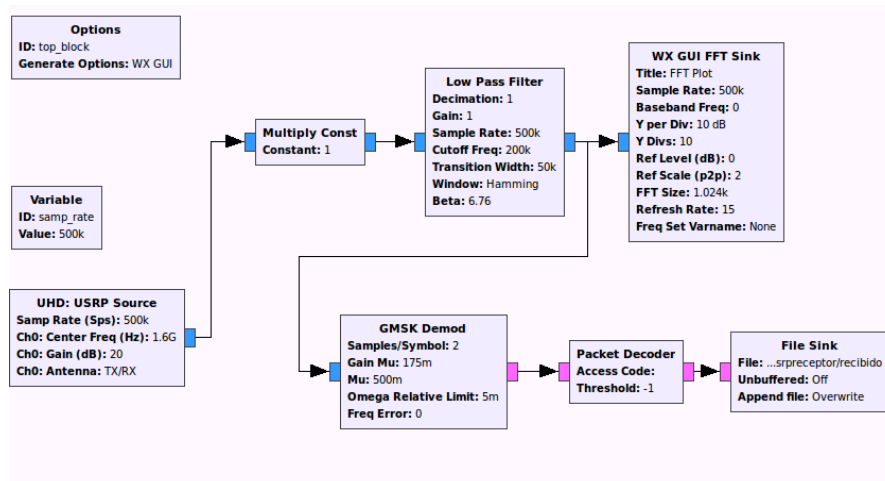


FIGURA 29-2: DIAGRAMA DE BLOQUES RX GNU RADIO.  
Realizado por: Monar, C. 2017

### 2.5.2 Configuración de RX USRP ETTUS b210.

Para que se pueda establecer el enlace entre el transmisor y receptor SDR, ambos deben trabajar en la misma frecuencia de operación. Además, se recomienda que, la potencia del transmisor sea mayor que la de receptor en una relación de al menos 3 veces más; de acuerdo a la relación señal a ruido (SNR), luego de obtener los datos utilizar un bloque amplificador; ya que, durante la transmisión puede ocurrir pérdidas por atenuación en la figura 14-2 se indica los parámetros de receptor USRP

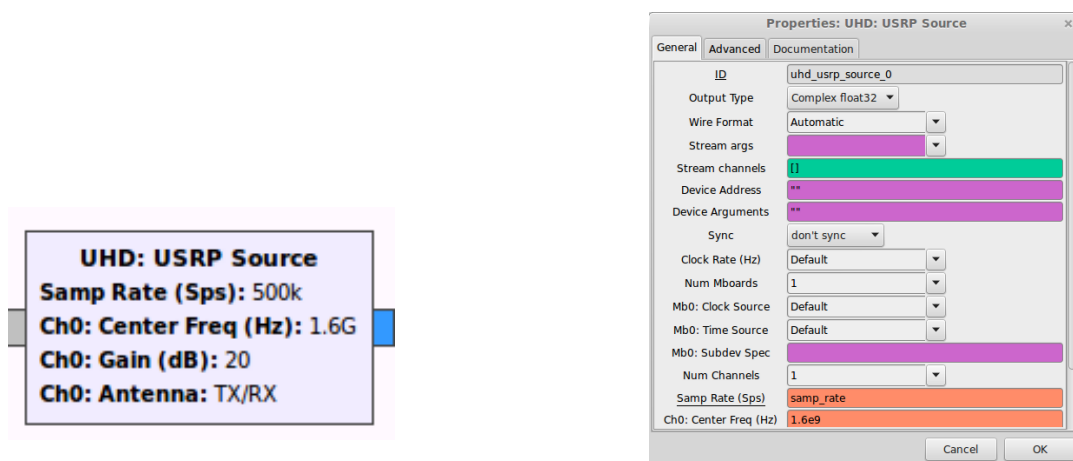


FIGURA 30-2: BLOQUE USRP SOURCE Y SUS PROPIEDADES.

Luego del bloque amplificador, se utiliza un filtro pasa bajo para eliminar señales no deseadas que, pudieron añadirse durante la transmisión, ya sea por intermodulación o ruido propio del canal; por lo que, es necesario la utilización de este bloque. La figura 15-2 se puede ver que es necesario configurar características presentes en un filtro, como es la frecuencia de corte la ganancia del filtro tamaño de transición el tipo de ventana y el valor de beta.

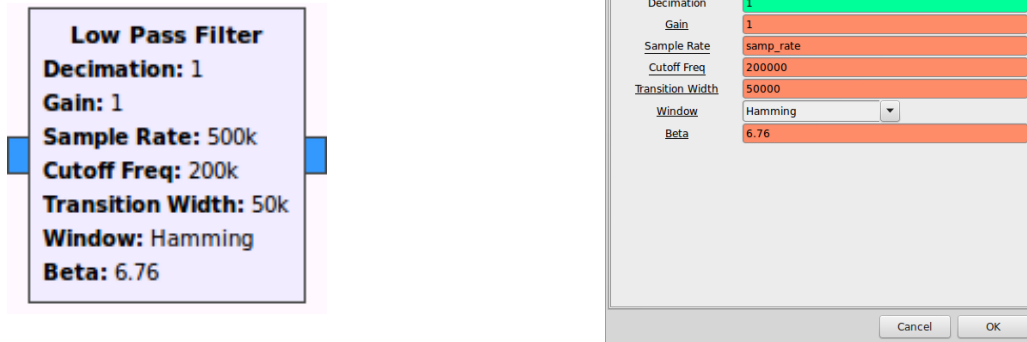


FIGURA 31-2: BLOQUE DE FILTRO PASA BAJO Y SUS PROPIEDADES.

Luego los bloques anteriores, es importante la utilización de bloque de visualización en dominio de la frecuencia para observar los datos recibidos mediante el USRP, de esta manera el dispositivo funciona como un analizador de espectro para la modulación GMSK tiene la forma de onda como la indica la figura 16-2:

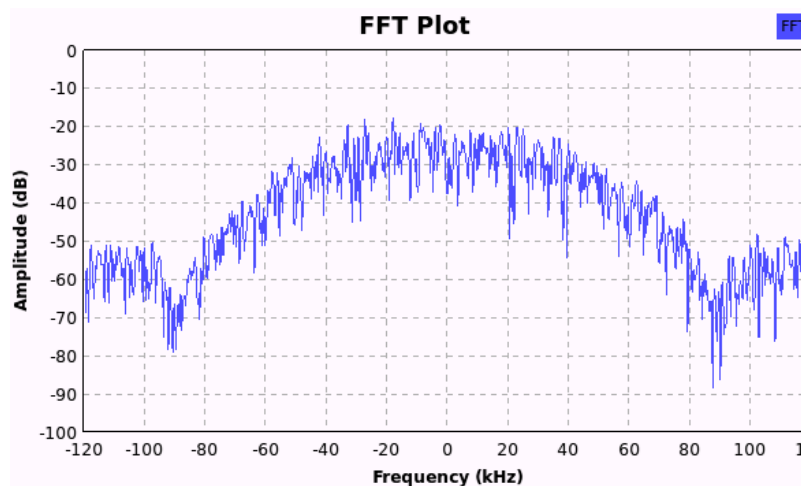


FIGURA 32-2: SEÑAL GMSK EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA.

### 2.5.3 Demodulación GMSK en GNU radio

Al igual que, el proceso de demodulación en GNU radio, existe un bloque especializado para el proceso inverso de demodulación, es importante señalar que, este bloque los datos ingresados son complejos; dado que, el proceso de transmisión fue realizado de esta manera y los datos salientes se convierten en información son un flujo bits en paquetes 1 bit por byte, desde el bit más significativo. Hay que mantener las muestras por símbolo con un valor de 2 al igual que el modulador GMSK los demás parámetros especifican los valores del filtro gaussiano y están establecidos por defecto en GNU radio.

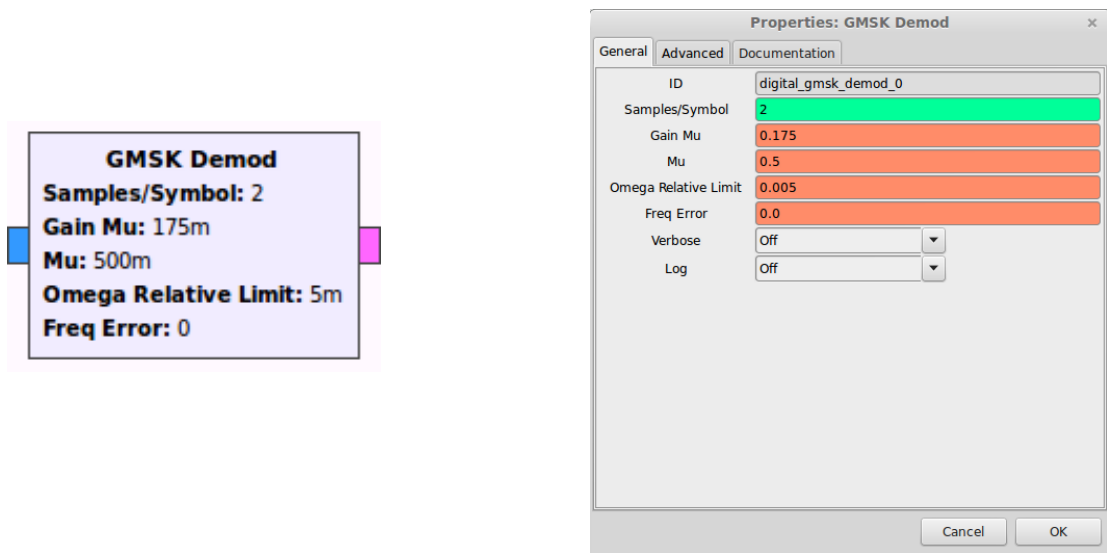


FIGURA 33-2: BLOQUE DEMODULACIÓN GMSK Y SUS PROPIEDADES.

### 2.5.4 Decodificación de datos en GNU radio.

En la sección anterior, la información fue convertida de tipo compleja a binaria; por lo que, hay que especificar esta información durante el proceso de decodificación de paquetes; puesto que, en el bloque transmisor no se especificó ningún código de acceso, este parámetro no debe considerarse para realizar este proceso, el valor del umbral equivale a -1 para que se configure automáticamente la figura 18-2 muestra las propiedades del bloque decodificador de paquetes:

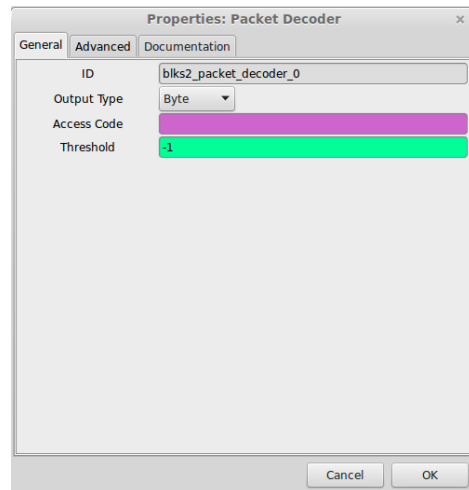


FIGURA 34-2: BLOQUE DECODIFICADOR DE PAQUETES Y SUS PROPIEDADES.

### 2.5.5 Exportación de datos en GNU radio.

El paso final, es guardar esta información recibida; puesto que, la información original es un archivo de texto, esto se mantiene en el receptor con la diferencia que, el texto original se va a sobrescribir secuencialmente; porque así, se especificó su funcionamiento en el transmisor; en este bloque se debe indicar la ruta donde se desea guardar la información; además, existen dos opciones: una de la cuales sobrescribe el archivo resultante y la otra que almacena los datos a continuación del archivo existente, en la figura 19-2 se puede observar los parámetros necesarios para este bloque:

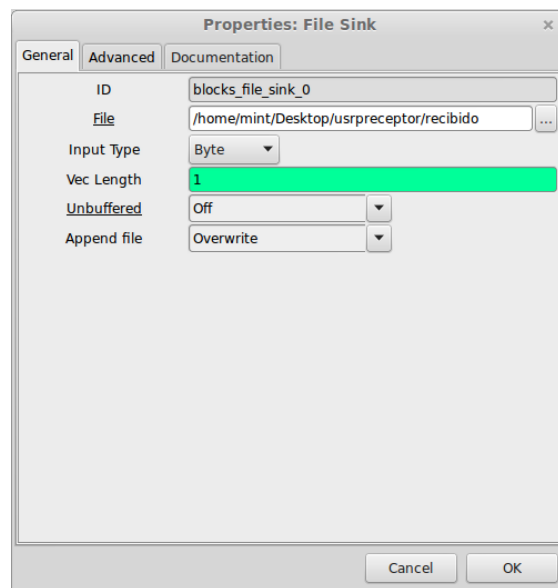


FIGURA 35-2: BLOQUE FILE SINK Y SUS PROPIEDADES.

## 2.6 Procesamiento de datos.

### 2.6.1 *Introducción*

Luego de todo el proceso en GNU radio, al final se tiene un archivo de texto, el cual es necesario que, pase por un proceso adicional en un software de procesamiento matemático como MATLAB; ya que, dada la forma en la que, fue recibido y los problemas que presenta el USRP, suelen existir pérdidas de datos, para poder mejorar la calidad de la datos recibidos, se trabajó con un sistema redundante; por lo que, entre más tiempo se lleve a cabo el proceso, mejor va a ser el resultado final, de esta manera, en algún punto la información final será completamente legible.

### 2.6.2 *Importar datos desde archivo de texto mediante MATLAB*

En primera instancia, hay que leer el archivo de texto e importar esta información en Matlab, para lo cual, se debe utilizar el comando `textread` de la siguiente manera:

```
file = textread('nombre del archivo', '%s', 'delimiter', '\n', 'whitespace', "');
```

Donde se debe especificar: el nombre del archivo, el formato que se desea importar en la tabla 5-2, se puede ver todas las opciones disponible de `textread`, en este ejemplo se utilizó el formato “%s” en donde el resultado fue un cell array, puesto que, este formato puede almacenar cadena de caracteres de diferentes tamaños, en un vector la opción `delimiter` separa cada línea con un carácter en este caso se utiliza un salto de línea “\n” la opción `whitespace` es para separar las palabras con un espacio en blanco.

**TABLA 16-2:** PARÁMETROS ADICIONALES PARA EL COMANDO TEXTREAD.

Formato	Acción	Salida
%d	Leer un valor entero con signo.	Double array
%u	Leer un valor entero.	Double array
%f	Lee un valor de punto flotante.	Double array
%s	Lea un espacio en blanco o un texto delimitador-separado.	Cell array of character vectors
%q	Lea el texto entre comillas, ignorando las comillas.	Cell array of character vectors
%c	Lea caracteres, incluyendo espacios en blanco.	Character array

Realizado por: Monar, C. 2017

Una vez guardado el cell array con el comando anterior, hay que, convertir cada elemento del array en valores que, se puedan operar para el proceso de decodificación. Para poder convertir el cell array en una cadena de caracteres se utiliza el comando cell2mat de la siguiente forma:

```
b=cell2mat(nombre de la variable);
```

Se debe realizar este proceso para cada elemento del cell array; mientras se creaba el archivo original en el transmisor, se colocó caracteres especiales como identificadores; de esta manera, se facilita la búsqueda de la información que se realiza utilizando el siguiente comando:

```
a1=find(b == '#');
```

Que da como resultado: el índice del vector, de esta manera se conoce en donde inicia y en donde finaliza la información. En el presente proyecto, se utilizaron 3 identificadores: 2 para indicar las dimensiones de la imagen, estos datos solo se envían al principio de la transmisión y el último identificador indica la posición y el inicio de los valores codificados de la imagen transmitida, estos valores deben separarse y de acuerdo a su ubicación sobrescribirse a una matriz de ceros previamente creada; debido a que, el proceso posee problemas de sincronización, existe la posibilidad de pérdida de información, pero se puede visualizar parcialmente la imagen; en este caso, gracias a la creación de la matriz de ceros que, remplazarán de alguna manera a los valores perdidos, luego de la lectura de todos los datos recibidos, se utiliza una función para concatenar todos los elementos en un solo vector; ya que, estos valores son de tipo caracteres, para poder procesar se debe convertirlos a un vector entero, el cual ya es apto para el proceso de decodificación.



### 2.6.3 Decodificación de datos.

Luego de haber importado la información, se tiene un vector binario, el cual representa la imagen original para lo cual debe realizarse el proceso inverso para poder visualizar la imagen, en primera instancia, hay que limitar el vector, para esto es importante la cabecera que indica la resolución de la imagen; luego de esto, se debe utilizar el comando reshape para convertir los valores binarios a valores enteros de cada matriz; puesto que, el proceso original tenía como máximo valor el número 255, es necesario dividir la matriz en 8 columnas de la siguiente manera:

```
b1=reshape(output,8,N);
```

Después de eso, se convierte todos los elementos binarios, cada fila se convierte en números enteros con el siguiente comando:

```
dec=bi2de(b1,'left-msb');
```

De aquí se desprende que, se trata de una imagen RGB; por lo que, se debe dividir los valores enteros en las 3 matrices correspondientes, porque ya se conoce la resolución de la imagen; por ello, se utiliza reshape nuevamente para este proceso, sabiendo que, siempre se dividirá en 3 matrices.

```
im=reshape(dec,x,y,z);
```

Donde el valor de 'x' y 'y' indican la resolución de la imagen y el valor de 'z' va a ser igual a tres la matriz resultante se puede ya visualizar en Matlab utilizando el comando:

```
imshow(im)
```

Este es todo el proceso necesario para la decodificación y visualización de la imagen recibida mediante el sistema USRP.

#### ***2.6.4 Cálculo de tasa de error de bit***

Una vez concluido el proceso de transmisión de imagen, es indispensable revisar la integridad de la información recibida, para esto hay que transferir el archivo original al transmisor; por ello, utilizaremos al igual que, en los casos anteriores el protocolo SCP una vez que, ya tengamos, tanto el archivo original como el archivo recibido; hay que, comparar estos dos para conocer cuántos bits se perdieron o se dañaron, para esto se utiliza la Matlab, el cual posee una función que compara los datos digitales e indica el número de errores la función utilizada es “biterr” de la siguiente manera.

```
[errores,tasa] = biterr(A,B)
```

En donde A y B son vectores de datos binarios, entonces el comando tiene 2 salidas 1 la cantidades de errores y la otra la tasa de error de bits, con esta información se puede ver los resultados con información numérica.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS

#### 3.1 Comparación entre sensor AVHRR y PI NoIR.

Los resultados obtenidos mediante la cámara infrarroja PI NoIR indica que, ésta tiene limitaciones en relación con la información conocida del sensor AVHRR, la mayor diferencia radica en que el sensor utilizado no trabaja en múltiples longitudes de ondas; además, es necesario la utilización de iluminación para su correcto funcionamiento, de esta manera la tabla 1-3 indica los parámetros alcanzados mediante el dispositivo implementado.

**TABLA 17-3:** COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE SENSOR AVHRR Y PI NoIR .

<b>Amplitud</b>	<b>Región Espectral (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>AVHRR</b>	<b>PI NoIR</b>
0.58-0.68	Visible rojo	X	X
0.72-1.10	Infrarrojo cercano	X	X
1.58-1.64	Infrarrojo cercano	X	
3.55-3.93	Infrarrojo medio	X	
10.30-11.30	Infrarrojo térmico	X	
11.50-12.50	Infrarrojo térmico	X	

Realizado por: Monar, C. 2017

#### 3.2 Evaluación de control.

##### 3.2.1 Consideraciones iniciales.

Para realizar el proceso de evaluación de resultados, se debe establecer parámetros fijos para ver cómo afectan su variación, para esta primera sección, se establece los valores iniciales de la imagen tal como se especifica en la tabla 2-3.

**TABLA 18-3:** VARIABLES EN PRUEBA DE CONTROL.

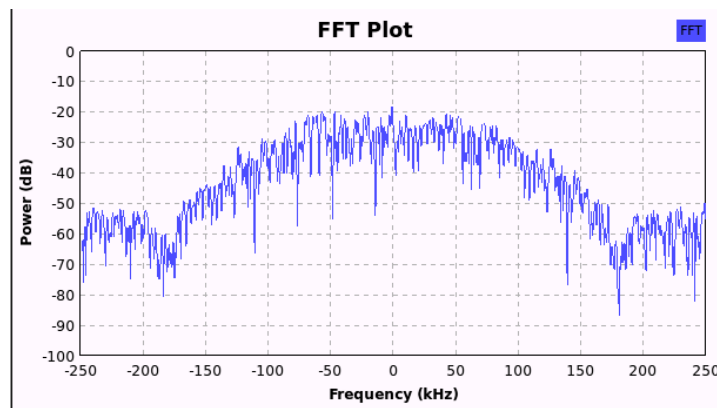
<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>
Formato	jpg
Largo	640
Ancho	480
Iluminación	Luz de día
Codificación	Ninguna
Tiempo de transferencia	20 minutos

**Realizado por:** Monar, C. 2017

En donde se establece que, la prueba de control sirve como guía para poder comparar las diferentes variaciones que, pueden presentarse ante diferentes variables, así: una buena iluminación, la resolución y el tiempo de ejecución del proceso, tanto en el receptor como en el transmisor.

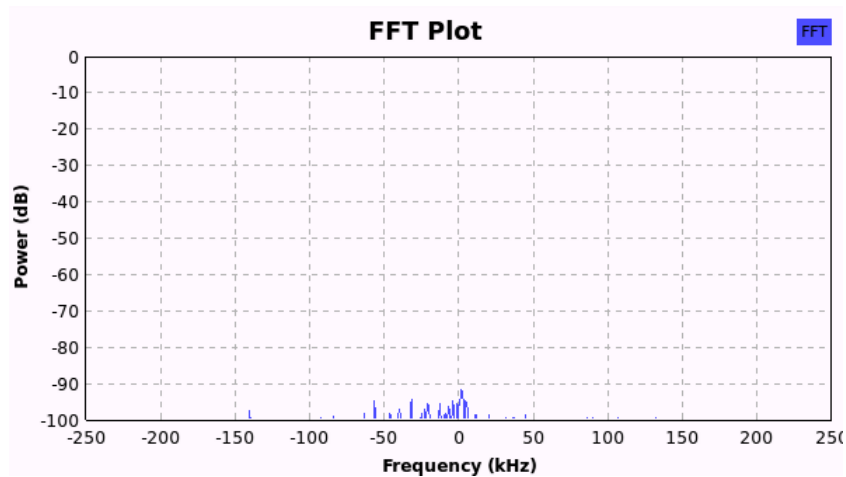
### **3.2.2 Respuesta espectral**

En el diseño planteado, se considera como es la respuesta en el dominio del tiempo, tanto en el transmisor como en el receptor, estas respuestas vienen dadas, gracias a la modulación GMSK utilizada en el presente trabajo de titulación, la cual tiene una mejor eficiencia espectral, comparado con otros tipos de modulaciones digitales utilizando el filtro gaussiano. La desventaja de este sistema es que, tiene una pequeña tasa de interferencia inter-símbolos que, no representa gran problema para la recuperación de la información. En la figura 1-3 se muestra la respuesta espectral en el transmisor; cabe destacar que, la señal graficada se encuentra en banda base; ya que, es tomada antes del proceso de transmisión.(Nova y Penagos,2008).



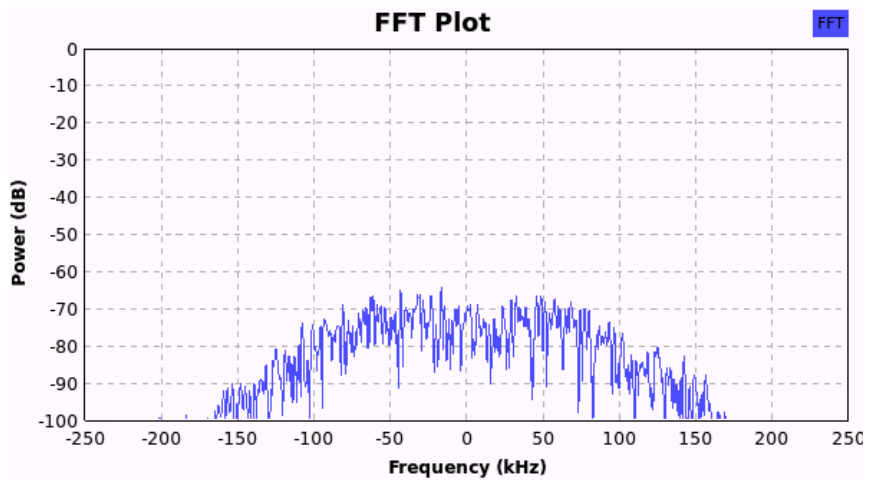
**FIGURA 36-3:** RESPUESTA ESPECTRAL EN EL TRANSMISOR GMSK.  
**Realizado por:** Monar, C. 2017

En el receptor se debe considerar que, mientras no se transmita ninguna señal la respuesta espectral se ve como la indica la figura 2-3.



**FIGURA 37-3:** RESPUESTA ESPECTRAL EN EL RECEPTOR GMSK 1.  
**Realizado por:** Monar, C. 2017

Una vez que, la señal se transmite, la respuesta espectral varía dado que, el sistema no es un analizador de espectro y no recibe la señal en la frecuencia recibida, si no su respuesta en banda base se puede apreciar que, la señal recibida llega con algo de pérdidas.



**FIGURA 3-38:** RESPUESTA ESPECTRAL EN EL RECEPTOR GMSK 2.  
**Realizado por:** Monar, C. 2017

### 3.2.3 *Resultados prueba de control.*

Mediante la utilización de sistema de adquisición de imágenes planteado y considerando la resolución de 640x480 como se puede ver en la figura 4-3.



**FIGURA 39-3:** IMAGEN ORIGINAL.  
**Realizado por:** Monar, C. 2017

Luego que, todo el proceso se complete MATLAB, grafica los datos recibidos, luego se debe considerar los parámetros establecidos en especial el tiempo de transmisión de 20 minutos, posteriormente se puede observar pequeñas diferencias en comparación con la imagen original, estos problemas vienen dados por los problemas de sincronización como se observa en la figura 5-3 .



**FIGURA 40-3:** IMAGEN RECIBIDA.  
Realizado por: Monar, C. 2017

### 3.2.4 Error de bits entre imagen original y la recibida.

En la sección anterior, se podía apreciar visualmente los errores que presentan las imágenes, luego del proceso de transmisión, en esta sección se revisa los valores numéricos de los errores presentes en la imagen recibida, estos resultados obtenidos para la prueba de control poseen una baja tasa de error como se puede ver en la tabla 3-3.

**TABLA 19-3:** TABLA DE RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE CONTROL.

Tabla de Resultados	
Número total de bits	7372800
Bits con errores	12317
Porcentaje de error	0.1671%

Toda esta información, servirá como referencia para la comparación con los resultados obtenidos en las subsiguientes transmisiones:

### 3.3 Evaluación variando el tiempo.

#### 3.3.1 Introducción

En esta sección, se enfocará principalmente de cómo afecta los resultados la variación del tiempo en el proceso de transmisión, para los otros parámetros se fijan de acuerdo a lo mostrado en la tabla 4-3.

**TABLA 20-3:** VARIABLES EN PRUEBAS CON VARIACIÓN DE TIEMPO.

Variable	Descripción
Formato	jpg
Largo	640
Ancho	480
Iluminación	Luz de día
Codificación	Ninguna
Tiempo de transferencia	5,15,25 minutos

**Realizado por:** Monar, C. 2017

Además, se realiza un proceso de comparación entre los datos originales y los recibidos en donde para todos los casos se utiliza la misma imagen presentada en la figura 6-3.



**FIGURA 41-3:** IMAGEN ORIGINAL.  
**Realizado por:** Monar, C. 2017



### 3.3.2 Respuesta de ejecución de 5 minutos.

Como se observa en la figura 7-3, se puede ver que, presenta un gran número de error en la visualización de la imagen cuando el tiempo de transmisión es de 5 minutos; dado que, el proceso de transmisión es redundante entre menos tiempo, el proceso de transmisión menos bits van a ser recibidos.



**FIGURA 42-3:** IMAGEN RECIBIDA DURANTE 5 MINUTOS.  
**Realizado por:** Monar, C. 2017

Cuando se realiza una transmisión con un tiempo de 5 minutos, se puede observar que el porcentaje de error es considerable, tal como se indica en la tabla 5-3, de esta manera se puede ver que, entre menos sea el tiempo de procesamiento mayor va a ser la pérdida de información.

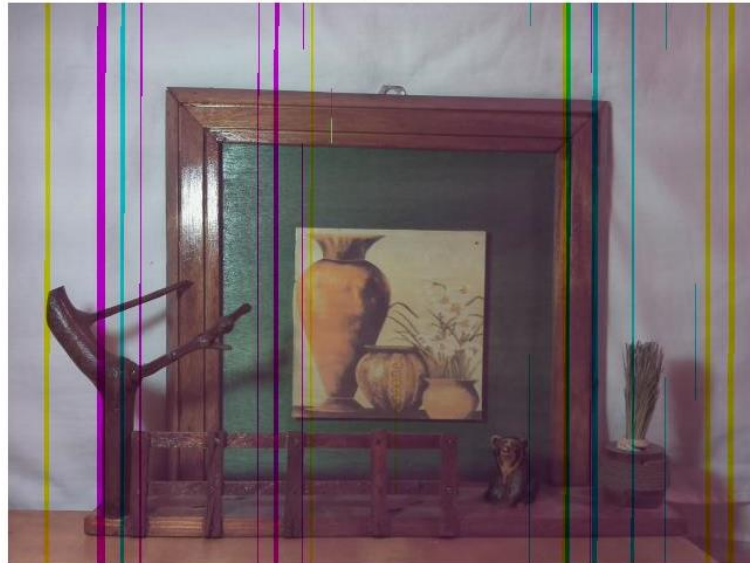
**TABLA 21-3:** TABLA DE RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE 5 MINUTOS.

<b>Tabla de Resultados</b>	
<b>Número total de bits</b>	7372800
<b>Bits con errores</b>	1028078
<b>Porcentaje de error</b>	13.94%

**Realizado por:** Monar, C. 2017

### 3.3.3 Respuesta de ejecución de 15 minutos.

En esta segunda transmisión con una variación de tiempo de 15 minutos, se puede apreciar que, visualmente existe menor presencia de errores en la imagen resultante en comparación que, el caso anterior como se puede ver en la figura 8-3.



**FIGURA 43-3:** IMAGEN RECIBIDA DURANTE 15 MINUTOS.  
**Realizado por:** Monar, C. 2017

En la tabla 6-3 se puede observar que, al aumentar el tiempo de ejecución a 15 minutos mejora la integridad de la información en relación al caso anterior; sin embargo, aún es persiste un porcentaje de pérdida de información.

**TABLA 22-3:** TABLA DE RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE 15 MINUTOS.

<b>Tabla de Resultados</b>	
<b>Número total de bits</b>	7372800
<b>Bits con errores</b>	94288
<b>Porcentaje de error</b>	1.2789%

**Realizado por:** Monar, C. 2017

### **3.3.4 Respuesta de ejecución de 25 minutos.**

Todas las demás evaluaciones realizadas en este capítulo, consideran como base un tiempo de 20 minutos, en esta sección se aumenta este tiempo a 25 minutos, en donde se puede ver menores errores; pero ya que, todas las pérdidas son de carácter aleatoria no garantiza que, las pérdidas sean menores con un tiempo de evaluación menor.



**FIGURA 44-3:** IMAGEN RECIBIDA DURANTE 25 MINUTOS.  
**Realizado por:** Monar, C. 2017

En esta última evaluación, con una variación de tiempo de 25 minutos se puede ver que el porcentaje de pérdidas es relativamente bajo; pero, en comparación con la prueba de control es mayor, esto se da; ya que, la pérdida de datos por sincronización es aleatoria; por lo tanto, tener más tiempo de procesamiento no garantiza menor pérdida de información.

**TABLA 23-3:** TABLA DE RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE 25 MINUTOS.

<b>Tabla de Resultados</b>	
<b>Número total de bits</b>	7372800
<b>Bits con errores</b>	16799
<b>Porcentaje de error</b>	0.227%

**Realizado por:** Monar, C. 2017

### 3.4 Evaluación variando la resolución.

#### 3.4.1 Evaluación con resoluciones pequeñas.

##### 3.4.1.1 Consideraciones iniciales

En esta sección, se variará en cambio la resolución de la imagen, para este primer ejemplo se toma las variables mostradas en la tabla 3-3, en donde esta imagen es más pequeña que la utilizada en la prueba de control y manteniendo el mismo tiempo al igual que la prueba de control cuyo tiempo es 20 minutos.

**TABLA 24-3:** VARIABLES EN PRUEBAS CON UNA RESOLUCIÓN PEQUEÑA.

Variable	Descripción
Formato	jpg
Largo	320
Ancho	240
Iluminación	Luz de día
Codificación	Ninguna
Tiempo de transferencia	20 minutos

Realizado por: Monar, C. 2017

La imagen transferida, tiene una dimensión de 320x240 capturada con iluminación de día sin ninguna codificación y manteniendo el formato jpg como se puede ver en la figura 3-10



**FIGURA 45-3:** IMAGEN PEQUEÑA ORIGINAL.  
Realizado por: Monar, C. 2017

### 3.4.1.2 Resultados

La imagen transmitida, al ser más pequeña, da como resultado un menor número de datos; por esta razón, al recibir esta información, puede tener una muy baja tasa de error o de plano como en el presente caso no puede presentar ningún error visual como se aprecia en la figura 11-3.



**FIGURA 46-3:** IMAGEN PEQUEÑA RECIBIDA.  
**Realizado por:** Monar, C. 2017

Al reducir la resolución de las imágenes, la cantidad de datos, es menor; por consiguiente, manteniendo el tiempo de transmisión de 20 minutos el resultado es que no existe ningún error en la imagen recibida.

**TABLA 25-3:** TABLA DE RESULTADOS PARA LA PRUEBA CON IMAGEN PEQUEÑA.

<b>Tabla de Resultados</b>	
<b>Número total de bits</b>	1843200
<b>Bits con errores</b>	0
<b>Porcentaje de error</b>	0%

**Realizado por:** Monar, C. 2017

### 3.4.2 Evaluación con resoluciones medianas.

#### 3.4.2.1 Consideraciones iniciales.

Es importante destacar que, las condiciones para la transmisión de imágenes medianas, son las mismas que en la prueba de control; por lo tanto, el resultado es similar, estando por demás realizar esta evolución si los parámetros como se puede ver en la tabla 10-3 son los mismos,

**TABLA 26-3:** VARIABLES EN PRUEBAS CON RESOLUCIÓN MEDIANA.

<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>
Formato	jpg
Largo	640
Ancho	480
Iluminación	Luz de día
Codificación	Ninguna
Tiempo de transferencia	20 minutos

**Realizado por:** Monar, C. 2017

### 3.4.3 Evaluación con resoluciones grandes

#### 3.4.3.1 Consideraciones iniciales

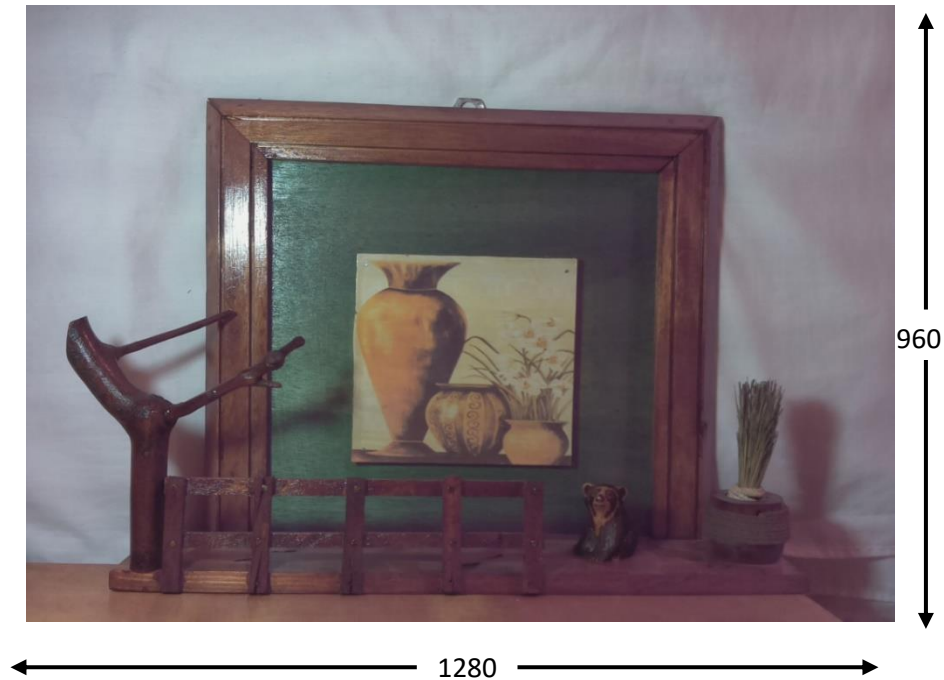
Las condiciones iniciales consideradas para esta transmisión, vienen dadas de acuerdo a lo mostrado en la tabla 11-3, donde se mantiene igual el tiempo de transferencia en comparación a la prueba de control.

**TABLA 27-3:** VARIABLES EN PRUEBAS CON VARIACIÓN DE TIEMPO.

<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>
Formato	jpg
Largo	1280
Ancho	960
Iluminación	Luz de día
Codificación	Ninguna
Tiempo de transferencia	20 minutos

**Realizado por:** Monar, C. 2017

La imagen transferida tiene una dimensión de 1280x960 capturada con iluminación de día sin ninguna codificación y manteniendo el formato jpg como se puede ver en la figura 12-3.



**FIGURA 47-3:** IMAGEN ORIGINAL GRANDE.  
**Realizado por:** Monar, C. 2017

### 3.4.3.2 Resultados

Esta transmisión, es el caso opuesto a la sección inicial; puesto que, ésta aumenta la resolución de la imagen, de esta manera la información a transmitirse aumenta significativamente; por lo que, existe 2 problemas principales: uno de ellos es que, existe una pérdida significativa de información, considerando las variables dadas inicialmente y el otro problema es que, el proceso de decodificación realizado en MATLAB, es bastante lento visualmente, por lo que, se puede apreciar que existe muchos datos corruptos, en relación a la imagen original en el caso que, el tiempo de transmisión aumente la información sería más legible; pero, con el problema que el procesamiento en MATLAB sería mayor.



**FIGURA 48-3:** IMAGEN GRANDE RECIBIDA.  
**Realizado por:** Monar, C. 2017

Los resultados de esta prueba, como se indica en la tabla 11-3 indican que, existe mayor cantidad de pérdidas, entre más grande sea la imagen transmitida, este problema se puede corregir aumentando el tiempo de ejecución de la transmisión; pero, se corre el riesgo de que, la proceso de decodificación de la imagen se entorpezca por esta razón.

**TABLA 28-3:** TABLA DE RESULTADOS PARA IMÁGENES CON RESOLUCIONES GRANDES

<b>Tabla de Resultados</b>	
<b>Número total de bits</b>	29491200
<b>Bits con errores</b>	4137265
<b>Porcentaje de error</b>	14.03%

**Realizado por:** Monar, C. 2017



### 3.5 Otros resultados

#### 3.5.1 Transmisión con malas condiciones de iluminación

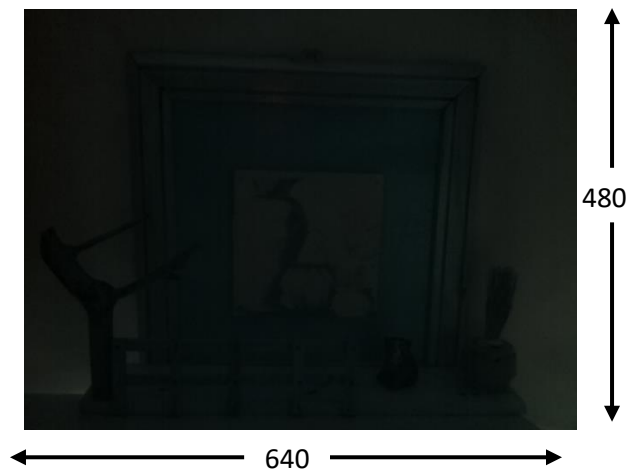
##### 3.5.1.1 Consideraciones iniciales

En esta transmisión, todos los parámetros, se mantienen en relación a la prueba de control, con excepción de las condiciones de iluminación que, se las realizó en la noche. El resto de parámetros equivalen a lo mostrado en la tabla 13-3

**TABLA 29-3:** VARIABLES EN PRUEBAS SIN ILUMINACIÓN.

Variable	Descripción
Formato	jpg
Largo	640
Ancho	480
Iluminación	Ninguna
Codificación	Ninguna
Tiempo de transferencia	20 minutos

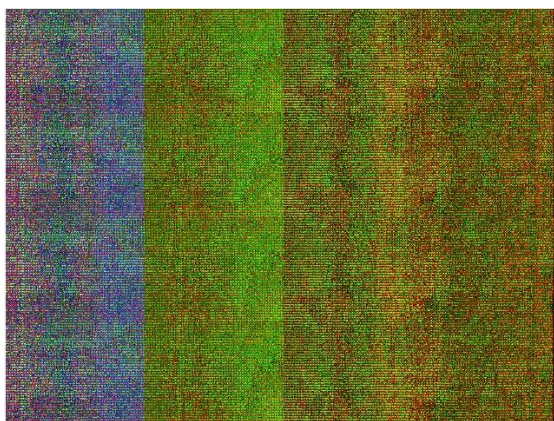
Como se puede observar, la fotografía se la realizó por la noche y a pesar de esto, la imagen capturada se aprecia a pesar de no tener una buena iluminación, gracias a que la cámara PI NoIR puede capturar imágenes en el espectro infrarrojo, por esa razón tiene un tono verdoso.



**FIGURA 49-3:** IMAGEN SIN ILUMINACIÓN ORIGINAL.  
Realizado por: Monar, C. 2017

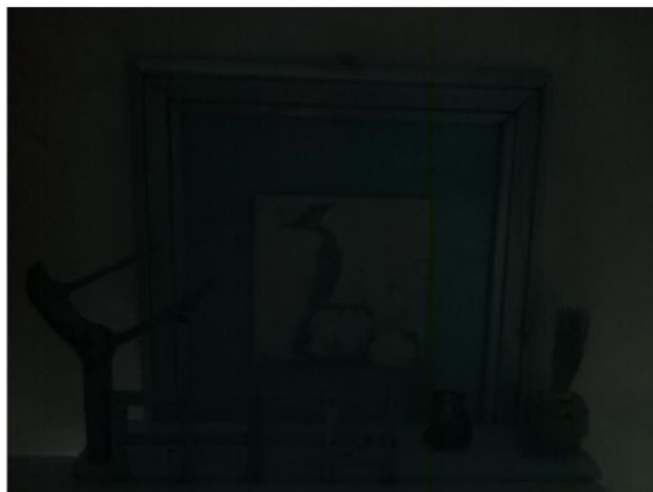
### 3.5.1.2 Resultados

En la primera interacción, el resultado obtenido no fue el esperado, este se puede observar en la figura 15-3, en donde se puede observar que, toda la información se ha corrompido, debido a que la imagen original tiene en su mayoría colores de tonos oscuros; por esta razón, sus valores matriciales no sobrepasan el número 63; por lo que, al realizar el algoritmo de digitalización, utilizado normalmente genera un vector de 8 columnas; dado que, cuando se realiza el proceso para convertir los valores decimales del vector a sus correspondientes números binarios, la función considera el máximo valor decimal de todo el vector y lo representa de acuerdo a la fórmula  $2^n - 1$  en donde n representa al número de elementos que, tendrá cada fila y corresponde al número de columnas que tendrá el vector binario, en este caso puntual, será igual a 6 columnas, puesto que, en la programación original se considera la existencia de 8 columnas, siendo este valor fijo; por lo tanto, el resultado no es el esperado, para poder corregir este error, hay que cambiar este valor de 8 columnas por 6



**FIGURA 50-3: IMAGEN RECIBIDA DAÑADA**  
**Realizado por:** Monar, C. 2017

Una vez corregido este error y por el hecho de que se redujo el número de columnas, la cantidad de datos transferidos es menor y, por consiguiente, estos datos procesados con un tiempo de 20 minutos tienen menos posibilidades de perderse, dando como resultado que la imagen llega con poca pérdida como se puede observar en la figura 16-3.



**FIGURA 51-3:** IMAGEN SIN ILUMINACIÓN RECIBIDA.  
**Realizado por:** Monar, C. 2017

Visualmente, es prácticamente imperceptible distinguir pérdidas de información; por lo que, es importante la comparación utilizando Matlab, de esta manera los resultados son los mostrados en la tabla 14-3.

**TABLA 30-3:** TABLA DE RESULTADOS PARA LA PRUEBA CON BAJA ILUMINACIÓN.

<b>Tabla de Resultados</b>	
<b>Número total de bits</b>	5529600
<b>Bits con errores</b>	4038
<b>Porcentaje de error</b>	0.073%

**Realizado por:** Monar, C. 2017

### **3.5.2 Codificación y decodificación de datos**

#### **3.5.2.1 Consideraciones iniciales**

En esta sección, se agregó una codificación que, antes del proceso de transmisión desorganiza los datos, de esta manera las pérdidas en los datos resultantes serán aleatorias, para esto se considera la misma imagen utilizada en la prueba de control con los parámetros establecidos en la siguiente tabla:

**TABLA 31-3:** VARIABLES EN PRUEBAS CON CODIFICACIÓN DE DATOS.

Variable	Descripción
Formato	jpg
Largo	640
Ancho	480
Iluminación	Luz de día
Codificación	Scramble
Tiempo de transferencia	20 minutos

**Realizado por:** Monar, C. 2017

### 3.5.2.2 Resultados

En todos los resultados anteriores, se puede observar que, las pérdidas vienen dadas de manera secuencial; pero, al realizar la desorganización de los datos previa su transmisión y su posterior reordenamiento, se puede apreciar que, los datos perdidos, son aleatorios y no secuenciales como se observa en la figura 17-3.



**FIGURA 52-3:** RESULTADO AL APLICAR CODIFICACIÓN PREVIO A LA TRANSMISIÓN  
**Realizado por:** Monar, C. 2017

Los resultados numéricos, como se puede observar en la tabla 16-3 para esta prueba, son similares a las pruebas anteriores realizadas, con excepción de la parte visual; ya que, estas son aleatorias.

**TABLA 32-3:** TABLA DE RESULTADOS CON CODIFICACIÓN.

<b>Tabla de Resultados</b>	
<b>Número total de bits</b>	7372800
<b>Bits con errores</b>	138558
<b>Porcentaje de error</b>	1.8793%

Realizado por: Monar, C. 2017

### **3.6 Resumen de resultados**

**TABLA 33-3:** RESUMEN DE RESULTADOS.

<b>Prueba realizada</b>	<b>Número total de bits</b>	<b>Bits con errores</b>	<b>Porcentaje de error</b>
<b>Prueba de control</b>	7372800	12317	0.1671%
<b>Prueba de 5 minutos</b>	7372800	1028078	13.94%
<b>Prueba de 15 minutos</b>	7372800	94288	1.2798%
<b>Prueba de 25 minutos</b>	7372800	16799	0.227%
<b>Prueba con imágenes con resolución de 320x240</b>	1843200	0	0%
<b>Prueba con imágenes resolución de 1280x960</b>	29491200	4137265	14.03%
<b>Prueba con baja iluminación</b>	5529600	4038	0.073%
<b>Prueba con codificación de datos</b>	7372800	138558	1.8793%

Realizado por: Monar, C. 2017

### **3.7 Alcances y limitaciones del proyecto de titulación.**

#### **3.7.1 Alcance.**

Con el diseño planteado en la tabla 1-2 el prototipo de emulación para el monitoreo meteorológico satelital muestra resultados de imágenes en alta calidad con una resolución de 640x480 en tiempo de 25 min a un porcentaje de error 0.227%.

Bajo estas condiciones de diseño y a su vez variando ciertos parámetros como el tiempo y la resolución se obtiene los resultados presentados en la tabla 17-3.

### **3.7.2 Limitaciones.**

EL prototipo implementado no alcanza a la resolución ofrecida por el radiómetro AVHRR de los satélites NOAA debido a la capacidad de la cámara utilizada Pi NoIR ya que esta no puede capturar todas las longitudes de onda que su homologo AVHRR.

Existe problemas de sincronización entre USRP debido a su modo de transmisión mediante cable USB además de la capacidad de procesamiento de los computadores que ejecutan el código debido a esto se genera pérdidas de información lo cual se ve reflejado en el BER.

El proceso para la obtención de las imágenes es manual ya que en cada uno de las etapas es necesaria la configuración y la presencia de un operador a diferencia del sistema HRPT que utiliza los satélites NOAA que constantemente transmite la señal para la obtener las imágenes.

Las características de diseño del prototipo han sido similares a las presentes en los satélites NOAA pero como se explica debido a las condiciones de hardware no se obtiene los mismos resultados pero si similares en menor calidad.

## CONCLUSIONES

- El sistema de monitoreo meteorológico satelital implementado es diseñado en base a los parámetros de funcionamiento del sistema satelital NOAA en el modo HRPT, con excepción de la modulación utilizada que es la GMSK, debido a que, tiene mejor eficiencia espectral que su homóloga la modulación QPSK.
- Las características de la cámara PI NoIR, no se puede equiparar al radiómetro AVHRR; ya que, este puede captar una amplia gama de imágenes en diferentes longitudes de onda; pero se debe, tener en cuenta que el sistema propuesto es de carácter experimental; por lo que, sus resultados satisfacen las necesidades del proyecto.
- Al evaluar y variar los parámetros de tiempo, resolución e iluminación en relación con la prueba de control se puede decir que, la mejor respuesta ofrecida por el prototipo es con una imagen de 640x480 con un tiempo de ejecución de 25 min.
- La tasa de error de bits (BER) obtenido bajo los escenarios de variación de los parámetros establecidos, muestran que, el incremento del mismo depende de la variación de los parámetros de control, en el caso de variar la resolución se puede decir que, con una imagen de 640x480 en un tiempo de 20 minutos se tiene un BER de 0.1671% en relación con otra de 1280x960 en el mismo tiempo que el caso anterior presenta una tasa de error de bits de 14.03% ; por lo que, a través del BER se demuestra que la imagen con la mejor respuesta es aquella con una dimensión de 640x480.
- Gracias a la tecnología del USRP, todo el proceso de comunicación que, incluye la transmisión, generación de señales, amplificación, filtros entre otras, se lo realiza a través del software GNU Radio que, permite la configuración de cada uno de las etapas presentes, en cualquier sistema de comunicación en donde los sistemas se implementan utilizando bajos recursos.

- El proceso de transmisión de la imagen, se inicia desde la obtención de la misma mediante la cámara Pi NoIR en conjunto con la placa Raspberry Pi, el proceso de adquisición de imágenes usa los protocolos SCP, SSH, en tanto el proceso de transmisión y recepción depende, de los dispositivos USRP y GNU radio, la digitalización de la información además del algoritmo de decodificación se lo realiza mediante MATLAB obteniendo los resultados ya establecidos.
- Se comprobó que, el dispositivo USRP b210 utilizado en el presente trabajo de titulación, posee problemas en la sincronización entre dispositivos; lo cual, significa que, de vez en cuando, se pierda ciertas tramas de información, por consiguiente, es importante que la información a transmitirse sea redundante.
- Finalmente, la imagen resultante con la mejor calidad visual, es aquella que, desorganiza la información antes del proceso de transmisión.



## RECOMENDACIONES

- Para mejorar la visualización de imágenes con baja iluminación con este prototipo, es recomendable utilizar iluminación infrarroja que se puede conseguir con diodos LED.
- Se sugiere realizar pruebas con distintas modulaciones digitales o agregando etapas de codificación o incluso codificación para detección de errores, todo esto, podría ayudar para obtener mejores resultados y mejorar la sincronización.
- El algoritmo utilizado para la digitalización de las imágenes, se podría mejorar si se utiliza numeración hexadecimal, en vez de binaria; ya que, esto representaría una reducción significativa a la cantidad de datos transmitidos; por lo tanto, agilizando el proceso de transmisión.
- Se observa que, el procesamiento de información del USRP se ve afectado; dado que, para su ejecución, se utilizan sistemas operativos booteables, tanto en recepción, como en transmisión. Los sistemas al ejecutarse de esta manera, consumen gran cantidad de recursos, los cuales afectan de manera significativa el rendimiento del sistema propuesto.
- GNU radio compila código en Phyton; por lo que, para poder mejorar el sistema de manera significativa, se podría realizar todo el procedimiento realizado, programándolo directamente en Phyton esto optimizaría el procesamiento de los datos.
- Se recomienda el diseño de antenas directivas que, trabajen en la frecuencia establecida de 1.6 GHz para un mejor funcionamiento del sistema propuesto.

## BIBLIOGRAFÍA

1. *b200-b210\_spec\_sheet.pdf* [en línea], [Consulta: 28 marzo 2017]. Disponible en: [https://www.ettus.com/content/files/b200-b210\\_spec\\_sheet.pdf](https://www.ettus.com/content/files/b200-b210_spec_sheet.pdf).
2. **BARRETT, D.J., SILVERMAN, R.E. y BYRNES, R.G.**, *SSH, the secure shell: the definitive guide*. 2nd ed. Sebastopol, CA: O'Reilly. , 2005. ISBN 978-0-596-00895-6. QA76.76.O63 B369 2005
3. **COUCH, L.W.**, *Sistemas de comunicación digitales y analógicos.*, México.: Pearson Educación., 2010.
4. **CREPAD**. Sensores AVHRR [en línea], [Consulta: 28 marzo 2017]. Disponible en: <http://crepadweb.cec.inta.es/es/plataformas/avhrr.html>.
5. **GEOFFREY GOODRUM, WAYNE WINSTON y KATHERINE B. KIDWELL.**, NOAA KLM USER'S GUIDE Table of Contents. [en línea]. 1999. [Consulta: 28 marzo 2017]. Disponible en: [http://webapp1.dlib.indiana.edu/virtual\\_disk\\_library/index.cgi/2790181/FID3711/klm/index.htm](http://webapp1.dlib.indiana.edu/virtual_disk_library/index.cgi/2790181/FID3711/klm/index.htm).
6. GNU Radio. [en línea], [Consulta: 28 marzo 2017]. Disponible en: [https://wiki.gnuradio.org/index.php/Main\\_Page#II-Documentaci%C3%B3n](https://wiki.gnuradio.org/index.php/Main_Page#II-Documentaci%C3%B3n).
7. **GONZALEZ, R.C. y WOODS, R.E.** "Digital Image Processing", Third Edition. *Journal of Biomedical Optics*, vol. 14, no. 2, 2009., pp. 029901-029901-2. ISSN 1083-3668. DOI 10.1117/1.3115362.
8. **GUTMAN, G. y IGNATOV, A.** "The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models". *International Journal of remote sensing*, vol. 19, no. 8, 1998., pp. 1533–1543. Disponible en: <https://www.star.nesdis.noaa.gov/sod/osb/sst/ignatov/peer/GutmanIgnatov-IJRS-1998.pdf>
9. **JAMI CHICAIZA, E. I. & GAIBOR GUASTAY, M. I.**, *Diseño y desarrollo de un algoritmo de predicción de armónicos e intermodulaciones en la banda FM, en Riobamba*. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Informática y Electrónica. Escuela de Ingeniería en Electrónica, Telecomunicaciones y Redes, Riobamba - Ecuador, 2016.

10. **MARSH, N.**, *Nmap Cookbook: The Fat-free Guide to Network Scanning*. Create Space Independent Publishing Platform. 2010. ISBN 978-1-4499-0252-0. Disponible en: [http://index-of.es/Networking/Nmap\\_cookbook-the-fat-free-guide-to-network-scanning.pdf](http://index-of.es/Networking/Nmap_cookbook-the-fat-free-guide-to-network-scanning.pdf)
  
11. **MERCHÁN CUNO, CHRISTIAN VLADIMIR**, *Diseño e implementación de un sistema radar utilizando sistema radar utilizando sistema SDR a través de tecnología USRP para aplicaciones topográficas*. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Informática y Electrónica. Escuela de Ingeniería en Electrónica, Telecomunicaciones y Redes, Riobamba - Ecuador, 2016.
  
12. **NOVA, J.M.T. y PENAGOS, H.P.**, "Estudio y comparación en eficiencia espectral y probabilidad de error de los esquemas de modulación GMSK y DBPSK". *Ingeniería e Investigación*, vol. 28, no. 3, 2008, pp. 75–80.
  
13. Raspberry Pi Camera Module - Raspberry Pi Documentation. [en línea], [Consulta: 28 marzo 2017]. Disponible en: <https://www.raspberrypi.org/documentation/raspbian/applications/camera.md>.
  
14. Raspberry Pi NoIR Camera - Infrared Camera. *Raspberry Pi* [en línea], [Consulta: 28 marzo 2017]. Disponible en: <https://www.raspberrypi.org/products/pi-noir-camera/>.
  
15. **SARAGURO SARANGO, BRAYANN OSMANY**, *Implementación de un sistema de transmisiones para televisión digital terrestre en el Ecuador a través de módulos USRP*. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Informática y Electrónica. Escuela de Ingeniería en Electrónica, Telecomunicaciones y Redes, Riobamba - Ecuador, 2016.
  
16. SSH using Linux or Mac OS - Raspberry Pi Documentation. [en línea], [Consulta: 28 marzo 2017]. Disponible en: <https://www.raspberrypi.org/documentation/remote-access/ssh/unix.md>.
  
17. **STAMPFL, R.A., STROUD, W.G. y GODDARD SPACE FLIGHT CENTER**. *The automatic picture transmission (APT) TV camera system for meteorological satellites* [en línea]. , 1963. Washington, D.C.: National Aeronautics and Space Administration. [Consulta: 28 marzo 2017]. NASA technical note,0499-9339 ;NASA TN D-1915. Disponible en: <https://catalog.hathitrust.org/Record/011449004>.

18. **TOMASI, W.**, *Sistemas de comunicaciones electrónicas.*, México.: Pearson Educación., 2003, ISBN 978-970-26-0316-0.
19. **VERA MELLA, N.**. *Atlas climático de irradiación solar a partir de imágenes del satélite NOAA. Aplicación a la península Ibérica* [en línea]. , 2005: Universitat Politècnica de Catalunya. [Consulta: 28 marzo 2017]. ISBN 978-84-689-4998-7. Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/handle/2117/94149>.
20. **WALLACE, G.K.**, "The JPEG still picture compression standard". *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 38, no. 1, 1992. pp. xviii-xxxiv. ISSN 0098-3063. DOI 10.1109/30.125072.