

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERA ELECTRÓNICA

TEMA:
**IMPLEMENTACIÓN DE UN CODIFICADOR Y DECODIFICADOR
DIFERENCIAL EN TIEMPO REAL PARA TRANSMISIÓN DE VIDEO
MEDIANTE UNIVERSAL SOFTWARE RADIO PERIPHERAL (USRP)**

AUTORA:
ANA KAREN ARCOS RIOFRÍO

TUTOR:
MILTÓN NAPOLEÓN TIPÁN SIMBAÑA

Quito, septiembre de 2016

Cesión de derechos de autor

Yo, Ana Karen Arcos Riofrío, con documento de identificación N° 0401854864, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: “IMPLEMENTACIÓN DE UN CODIFICADOR Y DECODIFICADOR DIFERENCIAL EN TIEMPO REAL PARA TRANSMISIÓN DE VIDEO MEDIANTE UNIVERSAL SOFTWARE RADIO PERIPHERAL (USRP)”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Electrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Nombre: Ana Karen Arcos Riofrío

Cédula: 0401854864

Fecha: Quito, septiembre de 2016

Declaratoria de coautoría del docente tutor

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación “IMPLEMENTACIÓN DE UN CODIFICADOR Y DECODIFICADOR DIFERENCIAL EN TIEMPO REAL PARA TRANSMISIÓN DE VIDEO MEDIANTE UNIVERSAL SOFTWARE RADIO PERIPHERAL (USRP)”, realizado por Ana Karen Arcos Riofrío, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, septiembre de 2016



Miltón Napoleón Tipán Simbaña

Cédula de identidad: 1713583126

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPITULO I.....	3
MARCO CONCEPTUAL.....	3
1.1 Canal de comunicaciones.	3
1.2 Modulaciones digitales.....	4
1.3 Video digital	7
1.4 Plataformas de Radio Definido por Software (SDR).....	7
1.4.1 Universal Software Radio Peripheral (USRP)	9
CAPÍTULO II	14
IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO.....	14
2.1 Arquitectura del sistema de transmisión de video digital.....	14
2.3 Diseño del Transmisor.....	15
2.4 Diseño del receptor.....	23
CAPÍTULO III.....	30
RESULTADOS EXPERIMENTALES	30
3.1 Pruebas experimentales	30
CONCLUSIONES	38
RECOMENDACIONES	39
REFERENCIAS.....	40
ANEXOS	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Principales elementos de un canal de comunicaciones	3
Figura 2: Energía electromagnética radiada desde el transmisor hasta el receptor.....	4
Figura 3: Diagrama de bloques de un transmisor DBPSK.....	5
Figura 4: Diagrama de bloques de un receptor DBPSK	6
Figura 5: Desempeño teórico de un sistema DBPSK.....	6
Figura 6: Interfaz GNU radio.....	8
Figura 7: Interfaz OSSIE.....	9
Figura 8: Hardware USRP 2920	10
Figura 9: Diagrama de equipos utilizados.....	14
Figura 10: Proceso interno para la transmisión de video	15
Figura 11: Proceso interno para la recepción de video	15
Figura 12: Vista frontal del transmisor	16
Figura 13: Vista diagrama de bloques para generar video	17
Figura 14: Vista diagrama de bloques del sub-VI VideoTx caso “inicialize”	17
Figura 15: Vista diagrama de bloques sub-VI VideoTx caso “send”	18
Figura 16: Vista diagrama de bloques sub-VI VideoTx caso “Destroy”	18
Figura 17: Vista diagrama de bloques para codificar los paquetes.....	19
Figura 18: vista diagrama de bloques sub-VI “Construccion_paquetes”	20
Figura 19: Vista diagrama de bloques de la modulación DBPSK	20
Figura 20: Vista diagrama de bloques del sub-VI “Modulacion”	21
Figura 21: Uso de las librerías del USRP para transmitir la información a través del aire.....	21
Figura 22: Vista diagrama de bloques del sub-VI “Inicio_colas”	22
Figura 23: Vista diagrama de bloques del sub-VI “Finalización_colas”	22
Figura 24: Vista diagrama de bloques del sub-VI “Inicio_datos”	23

Figura 25: Vista diagrama de bloques del sub-VI “Finalizacion_datos”	23
Figura 26: Vista frontal de la configuración del receptor	24
Figura 27: Vista diagrama de bloques de la recepción de la señal IQ proveniente del USRP.....	25
Figura 28: Vista frontal de eliminación de ruido de la señal	25
Figura 29: Vista diagrama de bloques del sub-VI “Ruido_estimado”	26
Figura 30: Vista diagrama de bloques de la demodulación de paquetes	26
Figura 31: Vista diagrama de bloques del sub-VI “Demod_paquetes”	27
Figura 32: Vista diagrama de bloques de la decodificación de paquetes.....	27
Figura 33: Vista diagrama de bloques del sub-VI “Decod_paquetes”	28
Figura 34: Vista diagrama de bloques de la recuperación de video.....	28
Figura 35: Vista diagrama de bloques del sub-VI “VideoRx”	29
Figura 36: Conexión de equipos del Tx y el Rx	30
Figura 37: Configuración del transmisor con ganancia máxima de 31 dB	31
Figura 38: Configuración del receptor variando la ganancia	31
Figura 39: Imagen utilizada para realizar pruebas y calcular el BER.....	32
Figura 40: Cálculo del BER con diferentes valores de ganancia en el Rx.....	33
Figura 41: Configuración del transmisor con ganancia de 31 dB y variando Eb/No	34
Figura 42: Configuración del receptor con ganancia de 8 dB.....	34
Figura 43: Cálculo del BER variando Eb/No.....	35
Figura 44: Configuración del transmisor con ganancia de 20 dB y variando Eb/No	36
Figura 45: Cálculo del BER variando el Eb/No.....	37
Figura 46: Contenido de kit del USRP 2920.....	47

RESUMEN

En los últimos años, el incremento de los dispositivos móviles, así como aplicaciones en tiempo real, han incrementado la capacidad y ancho de banda de los sistemas inalámbricos. Siendo, el mayor reto la implementación en hardware de nuevas técnicas de modulación digital que permitan no solo incrementar la capacidad de los sistemas inalámbricos, si no que esto sean flexibles.

El presente trabajo tiene como finalidad la implementación de un codificador y decodificador en tiempo real para transmisión de video, mediante Universal Software Radio Peripheral (USRP). Mediante pruebas experimentales en el Laboratorio de telecomunicaciones de la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA sede Quito campus sur; se variaron algunos parámetros tanto del transmisor como del receptor, los cuales permitieron obtener los parámetros de desempeño del sistema.

Se presenta el análisis del parámetro de desempeño BER para diferentes valores de ganancia en el receptor, así como el comportamiento del sistema cuando existe un incremento significativo del ruido en el canal de transmisión, se determinó que la ganancia mínima de recepción es de 8 dB y para tener una transmisión adecuada de video es necesario tener un E_b/N_0 de 31 dB ya que se observa un piso de ruido que se mantiene. Finalmente, se presenta la configuración de los parámetros del USRP tanto del transmisor como del receptor para la transmisión de video en tiempo real.

Palabras claves: Codificador, Decodificador, Tiempo Real, Transmisión, Recepción, Video, Radio Definido por Software, Universal Software Radio Peripheral (USRP).

ABSTRACT

In recent years, the increase in mobile devices as well as real-time applications, have increased the capacity and bandwidth of wireless systems. It is the biggest challenge the hardware implementation of new digital modulation techniques that allow not only increase the capacity of wireless systems, if not this be flexible.

This paper aims at implementing an encoder and decoder for real time video transmission through Universal Software Radio Peripheral (USRP). Through experimental tests in the telecommunications laboratory of UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA headquarter Quito campus south; some parameters of both the transmitter and receiver were varied, which allowed to obtain the parameters of system performance.

analysis of performance parameter BER for different values of gain in the receiver, and system behavior occurs when there is a significant increase in noise in the transmission channel, it was determined that the minimum reception gain is 8 dB and to have a proper video transmission is necessary to have an E_b / N_0 of 31 dB and a noise floor that remains is observed. Finally, the configuration parameters USRP both the transmitter and receiver to transmit video in real time is presented.

Key words: Encoder, Decoder, Real Time, Transmission, Recepcion, Video, Software Defined Radio, Universal Software Radio Peripheral (USRP).

INTRODUCCIÓN

Con los avances que se ha venido dando en las comunicaciones inalámbricas tanto en la transferencia de datos, imágenes y video, así como el incremento de la utilización de dispositivos portables; hace que la velocidad de transmisión de datos a través de la red inalámbrica incremente. En los últimos años la demanda de mayor interés se ha centrado en el video en tiempo real sobre todo por la cantidad de datos que maneja y el gran ancho de banda que requiere.

Por la importancia que tiene el video en tiempo real se ha decidido proponer como proyecto técnico, la implementación de un codificador y decodificador diferencial en tiempo real para transmisión de video mediante universal software radio peripheral (USRP).

El USRP de la serie 2920 que ofrece National Instruments, se basan en la tecnología SDR (Software Defined Radio), que es básicamente hardware reconfigurable, lo que da mayor flexibilidad a los sistemas implementados con ese hardware, el mismo que se controla mediante una interfaz con el software Labview. El objetivo principal es poder implementar un codificador y decodificador diferencial para poder transmitir video en tiempo real haciendo uso de este equipo.

En el Capítulo I. se da una breve introducción a los conceptos básicos utilizados para la realización de este proyecto técnico, tales como la definición de Software Defined Radio, modulación, diferentes codecs de video, entre otros.

En el Capítulo II. se describe el programa del codificador y del decodificador programado en Labview, empezando por la descripción de las principales librerías utilizadas dentro del programa, seguidamente, no solo explica el proceso que se siguió para la transmisión y recepción de los datos sino también se expone los

principales sub-VI's utilizados en cada uno de los programas. Al mismo tiempo se muestra la configuración de cada uno de los programas.

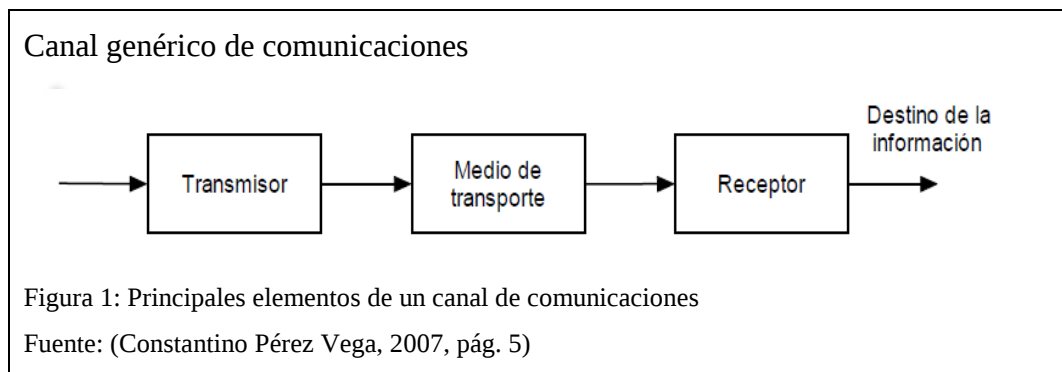
En el Capítulo III, se presentan los resultados de las pruebas realizadas en el laboratorio, y su análisis. Finalmente, se exponen las conclusiones del presente trabajo.

CAPITULO I

MARCO CONCEPTUAL

1.1 Canal de comunicaciones.

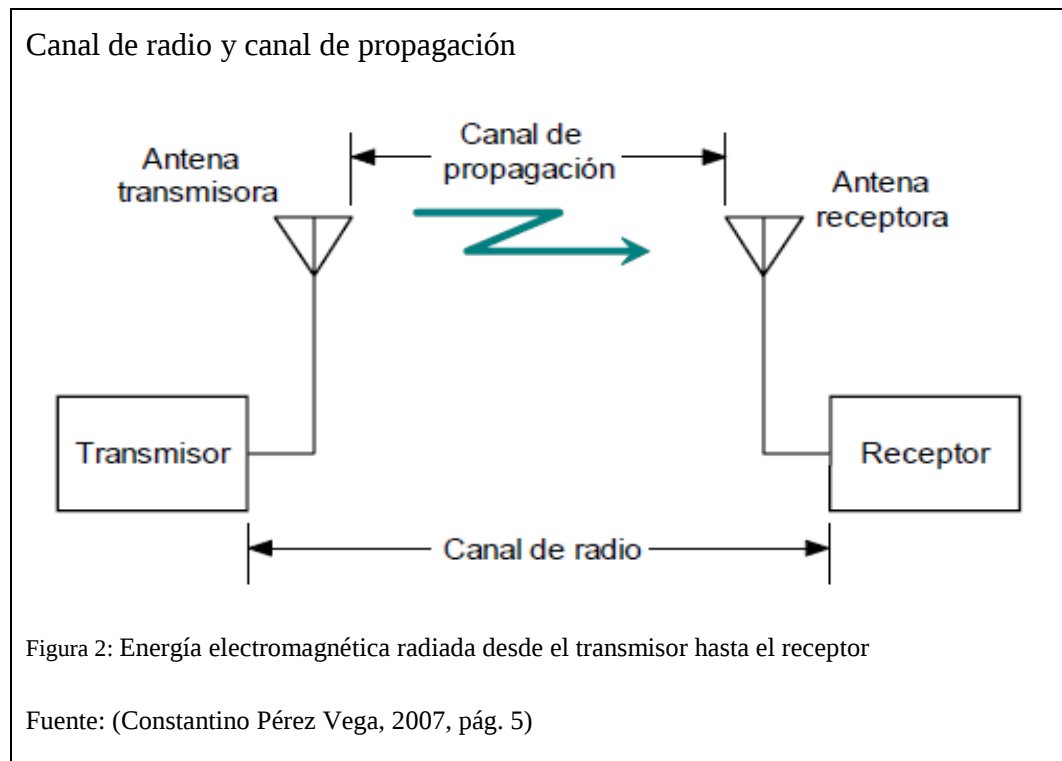
El canal de comunicaciones, está determinado por los recursos en tiempo, espacio, espectro y equipo; fundamentales para la comunicación. En resumen, sólo se necesita un transmisor, receptor y medio de transporte de la energía electromagnética tal como se ilustra en la figura 1. (Constantino Pérez Vega, 2007, pág. 5)



La función principal del transmisor es adaptar las señales que transmiten la información en ancho de banda y potencia para entregarlas al medio de transporte. En cuanto a la función principal del receptor radica en capturar las señales del medio de transporte, amplificarlas y ser capaz de adaptarlas de manera que resulten comprensibles al usuario final; por otra parte el medio de transporte puede ser el aire, el vacío, un cable u otro medio material. Los medios de transporte más utilizado en comunicaciones son: el aire, fibra óptica o cables. (Constantino Pérez Vega, 2007, pág. 5)

Una vez enunciados los diferentes medios de transportes en comunicaciones cabe destacar el canal de radio, ya que la transmisión de la energía electromagnética es radiada y transportada hasta el receptor, sin ninguna conexión entre las dos partes. Se

puede observar en la figura No. 2 la estructura general del canal de radio (Constantino Pérez Vega, 2007, pág. 5)



El canal de radiofrecuencia (RF) es también conocido como *canal de modulación*, que va desde la salida del modulador del transmisor, hasta la entrada del demodulador del receptor. Por otra parte, el canal digital va desde la entrada de la secuencia digital no modulada a la salida del codificador en el transmisor, hasta la secuencia receptada a la salida del demodulador. (Constantino Pérez Vega, 2007, pág. 6)

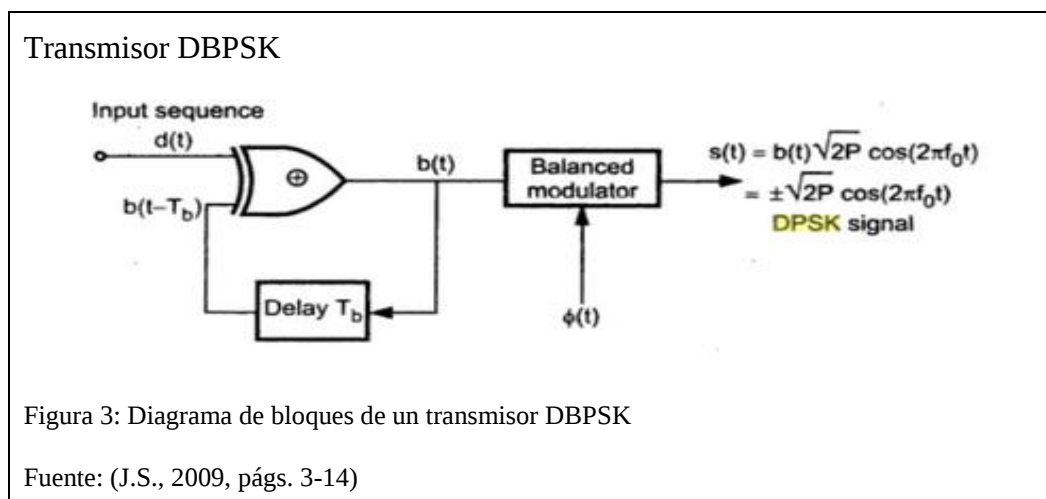
1.2 Modulaciones digitales

La modulación se puede definir como el cambio del espectro de una señal en banda base a una señal en banda de paso o a su vez como la modificación de sus parámetros ya sea en amplitud, frecuencia o fase de la señal portadora, con respecto a la señal de información o moduladora. (Constantino Pérez Vega, 2007, pág. 165)

La modulación, puede ser de amplitud (AM), de frecuencia (FM) o de fase (PM). Los tipos de modulación antes mencionados cuentan con pocas variantes, como en el caso de sistemas digitales y analógicos. (Constantino Pérez Vega, 2007, pág. 166). Dichas variaciones son ASK, PSK y FSK que resultan de la variación de la amplitud, fase y frecuencia de la portadora en concordancia con los símbolos de información. (Marcio Eisencraft, 2014, pág. 46)

Como se dijo anteriormente, existen variantes de las modulaciones antes mencionadas, y para efectos de este proyecto se trabajará con la modulación *Differential Binary Phase Keying* (DBPSK), debido a que es un esquema muy usado en los sistemas de comunicaciones vía radio, además gracias al retardo de 1 bit en el receptor resulta bastante sencilla la transmisión de los datos de forma síncrona (Penagos, 2008).

La figura No. 3 y 4 muestra el diagrama de bloques para generar y recibir una señal DBPSK, en el caso del transmisor $d(t)$ representa la secuencia de entrada y $b(t-T_b)$ representa la salida anterior retrasada un periodo de bit. Depende de la compuerta lógica XOR para generar la secuencia de salida. (J.S., 2009, págs. 3-14) Por otra parte la recepción se genera mediante el retraso de un bit y el multiplicador. (Couch, 2007, pág. 345)



Receptor DBPSK

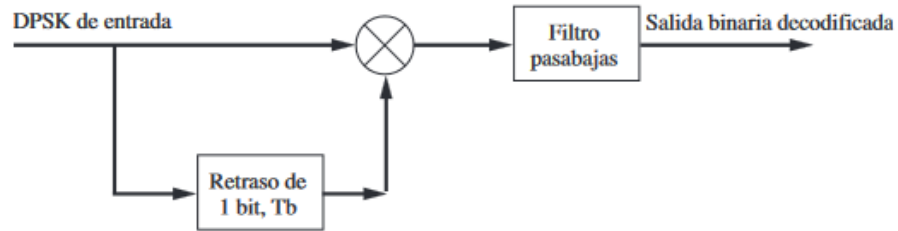


Figura 4: Diagrama de bloques de un receptor DBPSK

Fuente: (Couch, 2007, pág. 344)

En la figura No. 5 se observa el BER para una demodulación óptima del sistema DBPSK es. (Couch, 2007, pág. 500):

$$P_e = \frac{1}{2} e^{-\left(\frac{E_b}{N_0}\right)}$$

Desempeño teórico de un sistema DBPSK

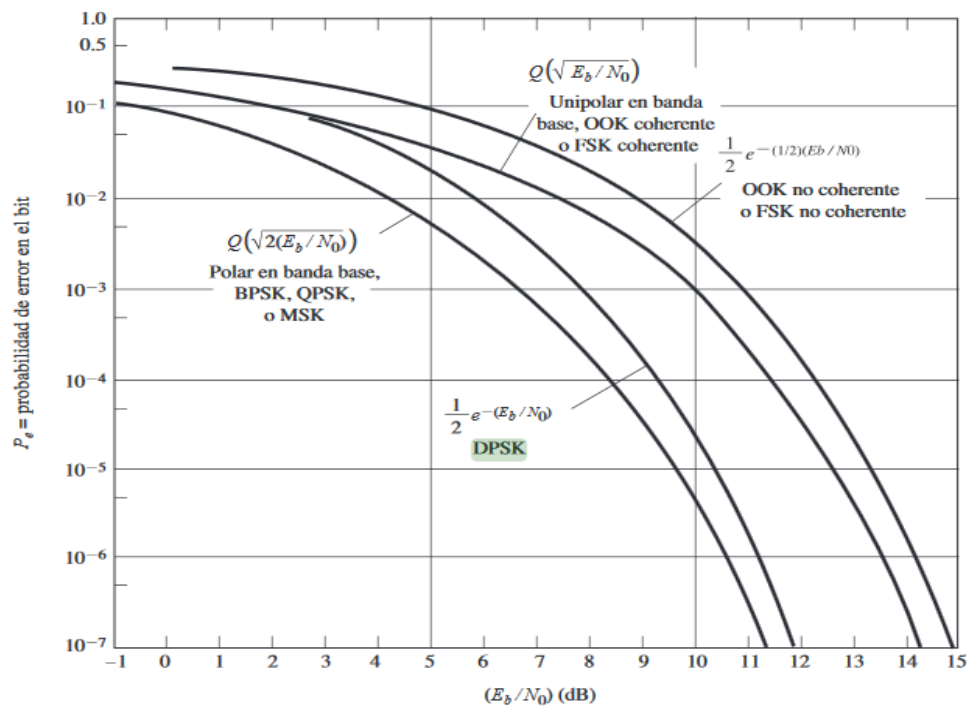


Figura 5: Desempeño teórico de un sistema DBPSK

Fuente: (Couch, 2007, pág. 504)

1.3 Video digital

Se refiere a la información capturada por una cámara que típicamente se aplica a una secuencia de imágenes que varían en tiempo. Gracias a redes de comunicaciones de alta velocidad, rápido acceso de almacenamiento multimedia, dispositivos de computación avanzados y altas técnicas de compresión de video, es posible usar el video digital para numerosas aplicaciones en diferentes plataformas. (Akramullah, 2014, pág. 2)

Entre los principales estándares relacionados con imágenes y video están: JPEG, H.261, MPEG-1, MPEG-2, H.263, MPEG-4, AVC (Akramullah, 2014, págs. 56, 57, 59, 62, 67,70 y 76) y WMV (Windows Media Video) (Austerberry, 2013, pág. 100).

En concreto los estándares utilizados en el presente proyecto son JPEG para imagen y WMV para la captura del video. JPEG es un estándar para comprimir imagen, principalmente utilizado para aplicaciones como publicaciones de escritorio, artes gráficos, entre otros. (Akramullah, 2014, pág. 56). Por otro lado WMV (Windows Media Video) es similar, al código visual de MPEG-2 parte 2, pero se optimizó para obtener una mejor eficiencia de compresión. (Austerberry, 2013, pág. 100)

1.4 Plataformas de Radio Definido por Software (SDR)

Software Defined Radio (SDR), es una tecnología que ha revolucionado la comunicación vía inalámbrica, proporcionando un mayor rango de estudio y desarrollo. SDR se refiere a radios reconfigurables/reprogramables cuyas características de la capa física permiten al usuario modificarla significativamente vía software. (Di Pu, 2013, pág. 2).

Los SDR tienen varias ventajas como interoperabilidad, uso eficiente de recursos bajo condiciones variables, posibilidad de reutilización de frecuencia (radio

cognitivo), reduce obsolescencia (futura prueba), bajo costo (Grayver, 2013, pág. 9), investigación y desarrollo (Grayver, 2013, pág. 10), multifuncionalidad, movilidad, compacto y poder de eficiencia y facilidad de fabricación. (Di Pu, 2013, pág. 2)

Por otra parte cuenta con algunas desventajas, como costo y potencia (Grayver, 2013, pág. 38) y complejidad (Grayver, 2013, pág. 39).

La tecnología SDR cuenta con algunas plataformas, sin embargo, las más conocidas son: GNU Radio (Grayver, 2013, pág. 132) e Implementación SCA libre (Embebido) y Universal Radio Peripheral. (Grayver, 2013, pág. 145). A continuación se muestra la interfaz de gráfica para GNU Radio (figura No. 6) y SCA libre (figura No. 7).

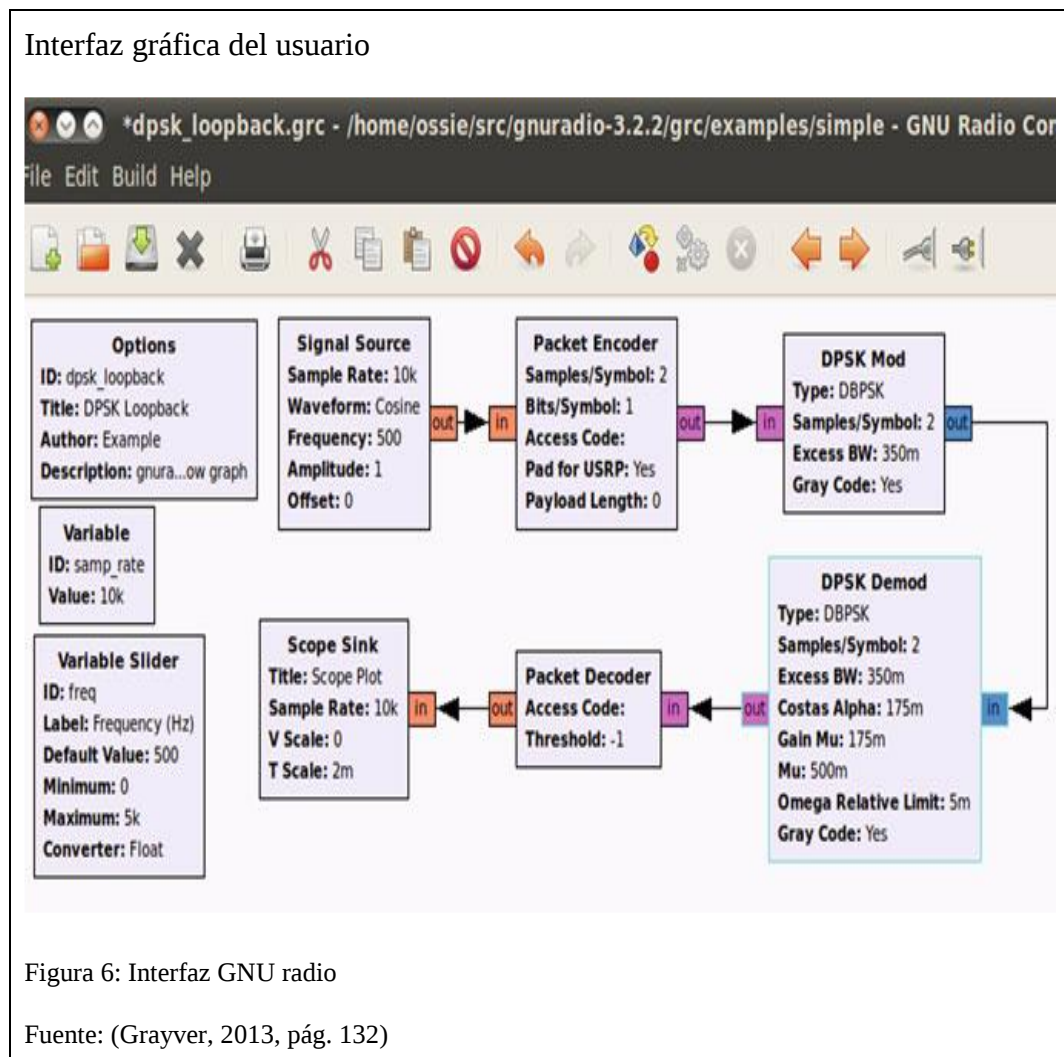


Figura 6: Interfaz GNU radio

Fuente: (Grayver, 2013, pág. 132)

Interfaz gráfica del usuario

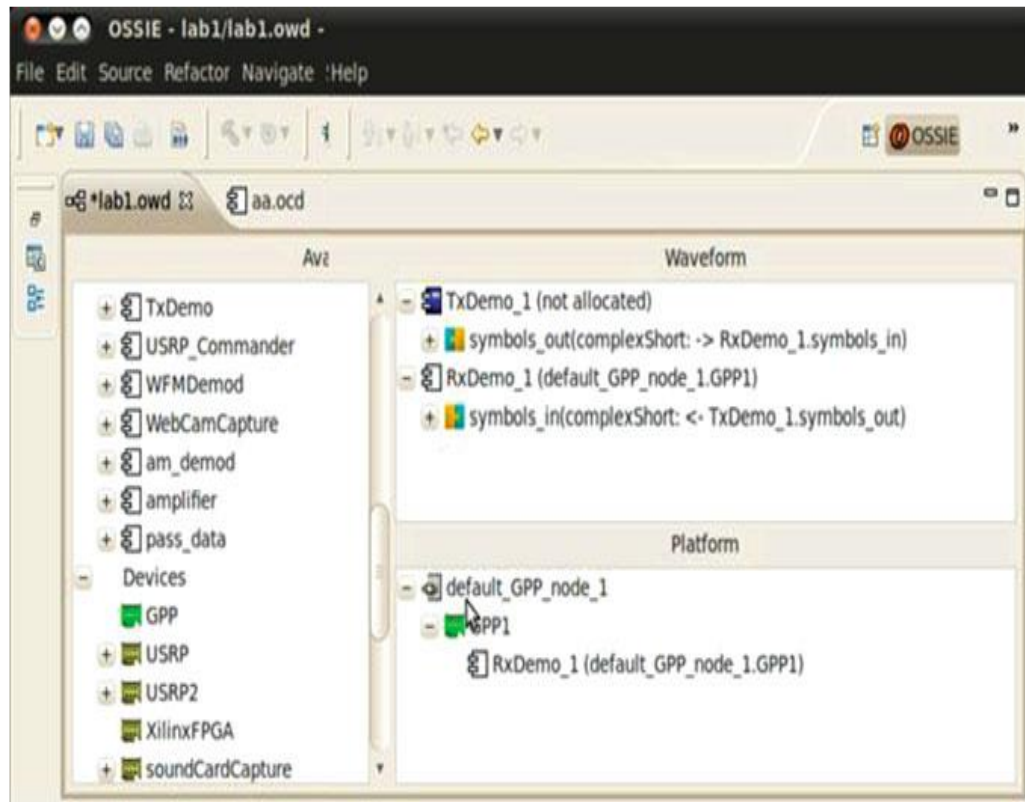


Figura 7: Interfaz OSSIE

Fuente: (Grayver, 2013, pág. 140)

1.4.1 Universal Software Radio Peripheral (USRP)

El USRP fue desarrollado por Ettus Research y pertenece a la familia de radios de computador-huésped, permitiendo a los usuarios crear SDR utilizando cualquier computadora con USB 2.0 o un puerto Gigabit Ethernet. La mayoría de los USRP soporta múltiples radios haciendo uso de técnicas de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO). (Thad B. Welch, 2013)

El hardware del USRP tiene 2 niveles de tarjetas. El primero es la motherboard, donde se encuentra la FPGA, los convertidores ADC's y DAC's la alimentación y la conexión vía GigabitEthernet. El segundo nivel está compuesto de tarjetas secundarias y daughterboards. Estas se utilizan para la transmisión y recepción.

USRP 2920



Figura 8: Hardware USRP 2920

Fuente: National Instruments

La programación del software para transmisión o recepción de datos se realiza a través del driver de Labview, desarrollado por Ettus Research. Este driver es la “función de validación” que permite la comunicación bidireccional entre el USRP y el ordenador. (Thad B. Welch, 2013)

Labview cuenta con veinte años de desarrollo, reduciendo significativamente la curva de aprendizaje, ya que al trabajar en modo gráfico resulta diseños más intuitivos que un texto basado en código. Las herramientas pueden ser fácilmente accesibles mediante paletas interactivas, menús, diálogos y muchas funciones de bloques conocidos como *instrumentos virtuales (VI)*. (Manickum, 2015, pág. 6)

Dentro de las librerías utilizadas para programar el transmisor y el receptor están:

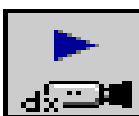
NI-Imaq Tiene funciones para la adquisición de imágenes, las cuales pueden proceder de cámaras digitales. (Kye-Si Kwon, 2015, pág. 20) Las funciones utilizadas para la adquisición de video son:



IMAQ Open Camera: Esta función permite abrir, o adquirir, una cámara de referencia de una cámara designada. (Kye-Si Kwon, 2015, pág. 20)



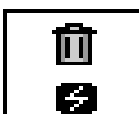
IMAQ Configure Grab: El método de grabación o adquisición de imagen es configurado e inicializado. Hace uso de un buffer interno para capturar y guardar constantemente imágenes. (Kye-Si Kwon, 2015, pág. 20).



IMAQ Grab: Una vez Configure Grab haya sido ejecutada se puede hacer suso de esta función. (Kye-Si Kwon, 2015, pág. 20).

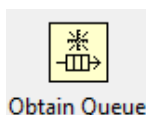


IMAQ Create: La función IMAQ Create se emplea para crear un espacio de memoria en Labview para adquisición de imágenes, manipulación y monitor. (Kye-Si Kwon, 2015, pág. 21).

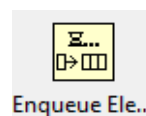


IMAQ Dispose: Esta función es frecuentemente utilizada cuando el programa de adquisición de imagen ha terminado o la imagen ya no es necesaria para la aplicación. (Kye-Si Kwon, 2015, pág. 20).

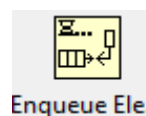
Operador en colas: Una cola es un búfer ordenado usado para almacenar información, primera entrada primera salida (FIFO) (Bress, 2013, pág. 185). Las principales funciones utilizadas en la transmisión de video son:



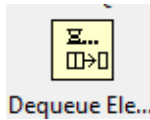
Obtain queue: Esta función crea una referencia de una nueva cola. (Bress, 2013, pág. 185)



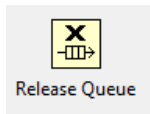
Enqueue Element: Esta función coloca un elemento en la parte posterior de una cola. (Bress, 2013, pág. 185)



Enqueue Element At Opposite End: Esta función coloca un ítem en la parte delantera una cola. (Bress, 2013, pág. 185)



Dequeue Element: Esta función remueve los elementos de la parte delantera de la cola y lo devuelve. (Bress, 2013, pág. 185)



Release Queue: Esta función libera la referencia de la cola. (Bress, 2013, pág. 185)

Modulation Toolkit: Contiene VI's que pueden ser utilizados en un entorno de simulación para generar y analizar señales de modulación analógica y digital. La librería de Modulation Toolkit soporta formato de modulaciones ASK, PSK, FSK, MSK, QAM, CPM, PAM, AM, FM, y PM, además tiene conversiones, visualización I/Q y adicionar degradaciones a la señal. (National Instruments, 1976).

NI-USRP: Hace uso de VIs de Labview para controlar la configuración y operación de todos los dispositivos NI USRP-292X, lleva a cabo generación de señales (Tx) y recepción de señales (Rx), también soporta señal de reloj y tareas de sincronización. Las principales funciones utilizadas son:



niUSRP Open Tx Session: Abre la sesión de transmisión del dispositivo. (National Instruments, 1976)



niUSRP Configure Signal: Configura las propiedades de la señal de transmisión y retorna el actual valor del dispositivo. (National Instruments, 1976)



niUSRP Write Tx Data: Escribe los datos de la lista del canal especificado. (National Instruments, 1976)



niUSRP Close Session: Cierra la sesión del dispositivo. (National Instruments, 1976)



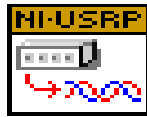
niUSRP Open Rx Session: Abre la sesión del receptor del dispositivo.
(National Instrumens, 1976)



niUSRP Configure Signal: Configura las propiedades de la señal de recepción y retorna el actual valor del dispositivo. (National Instrumens, 1976)



niUSRP Initiate: Inicia con la adquisición del receptor. (National Instrumens, 1976)



niUSRP Fetch Rx Data: Recupera los datos desde una lista específica del canal. (National Instrumens, 1976)



niUSRP Abort: Para una adquisición previamente iniciada. (National Instrumens, 1976)



niUSRP Close Session: Cierra la sesión del dispositivo. (National Instrumens, 1976)

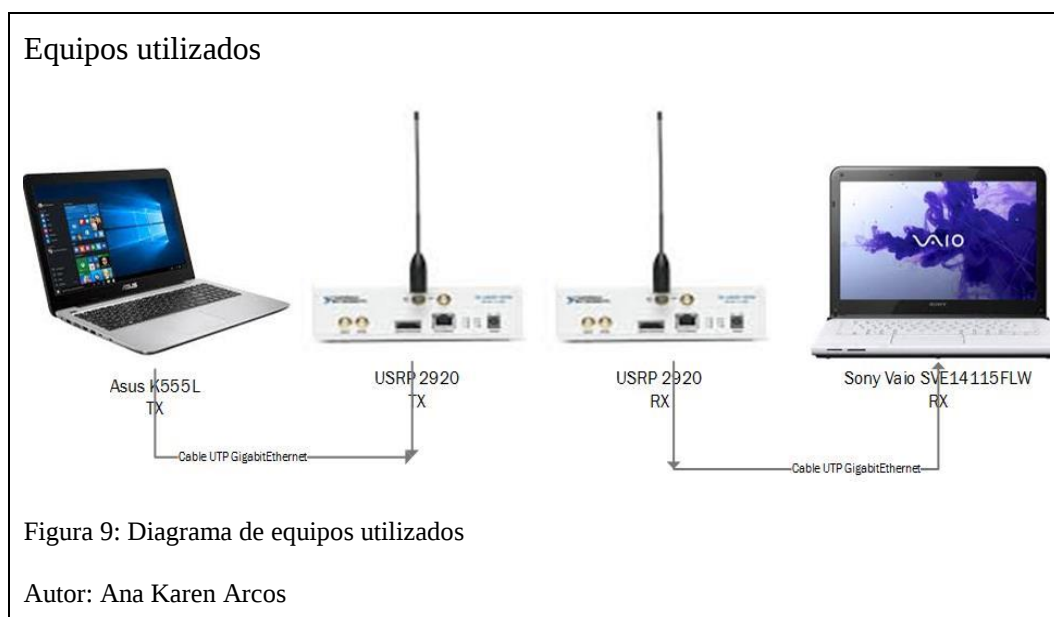
CAPÍTULO II

IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

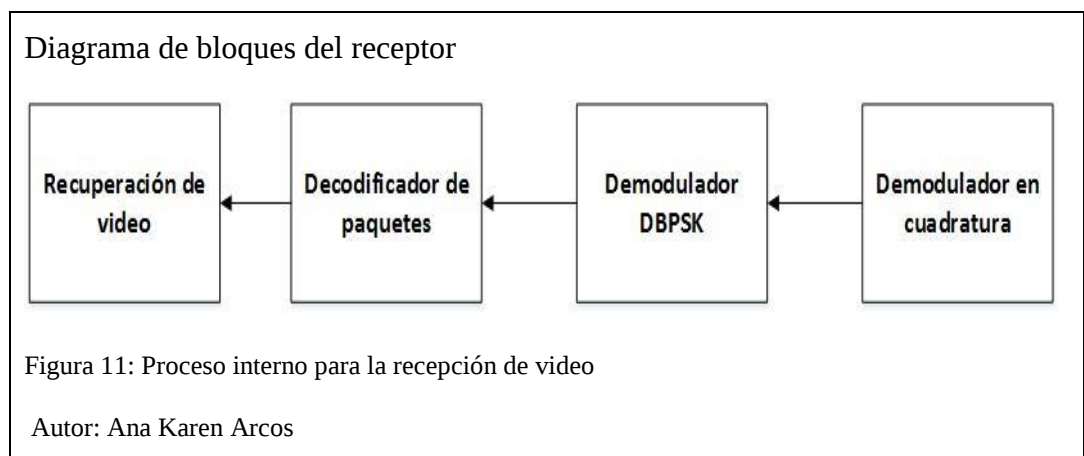
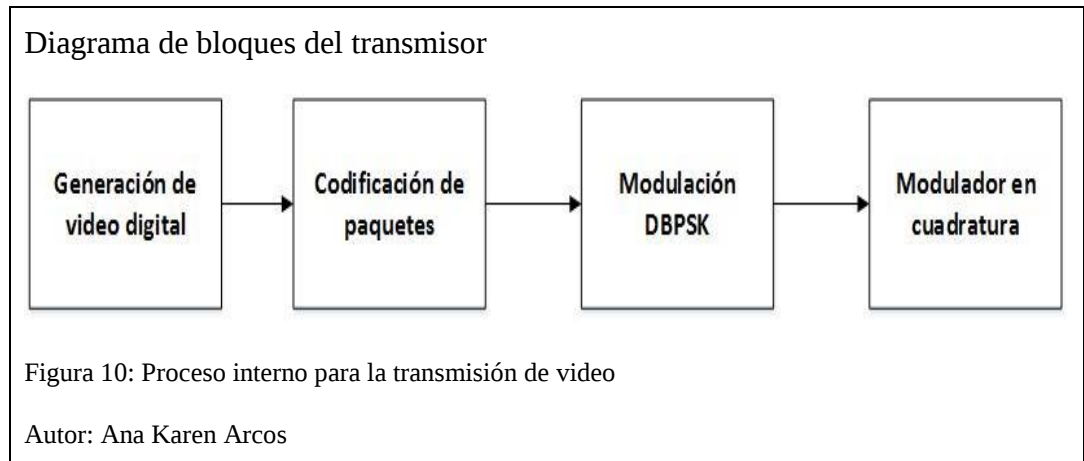
En este capítulo, se describe la arquitectura del sistema de transmisión de video en tiempo real, así como la implementación del transmisor y receptor en Labview.

2.1 Arquitectura del sistema de transmisión de video digital

La implementación del sistema de transmisión digital, se realizó mediante el uso de dos laptops: a) Asus modelo K555L para el transmisor y b) Sony Vaio modelo SVE14155WFL para recibir el video digital, las cuales se conectaron a dos USRPs respectivamente. La comunicación entre los USRPs se dio mediante un canal inalámbrico usando antenas VERT 400.



En la figura No. 9 se muestran los dispositivos usados para el funcionamiento del sistema de comunicación de video digital en tiempo real. A continuación, se observa en la figura No. 10 y figura No. 11 el diagrama de bloques implementado tanto para el transmisor como para receptor.



2.3 Diseño del Transmisor

Antes de iniciar la explicación del proceso de programación que se muestra en el diagrama de bloques en la figura No 11, conviene mostrar la vista frontal del programa con los parámetros utilizados para la configuración de las propiedades de la señal de transmisión a través del USRP.

Transmisor

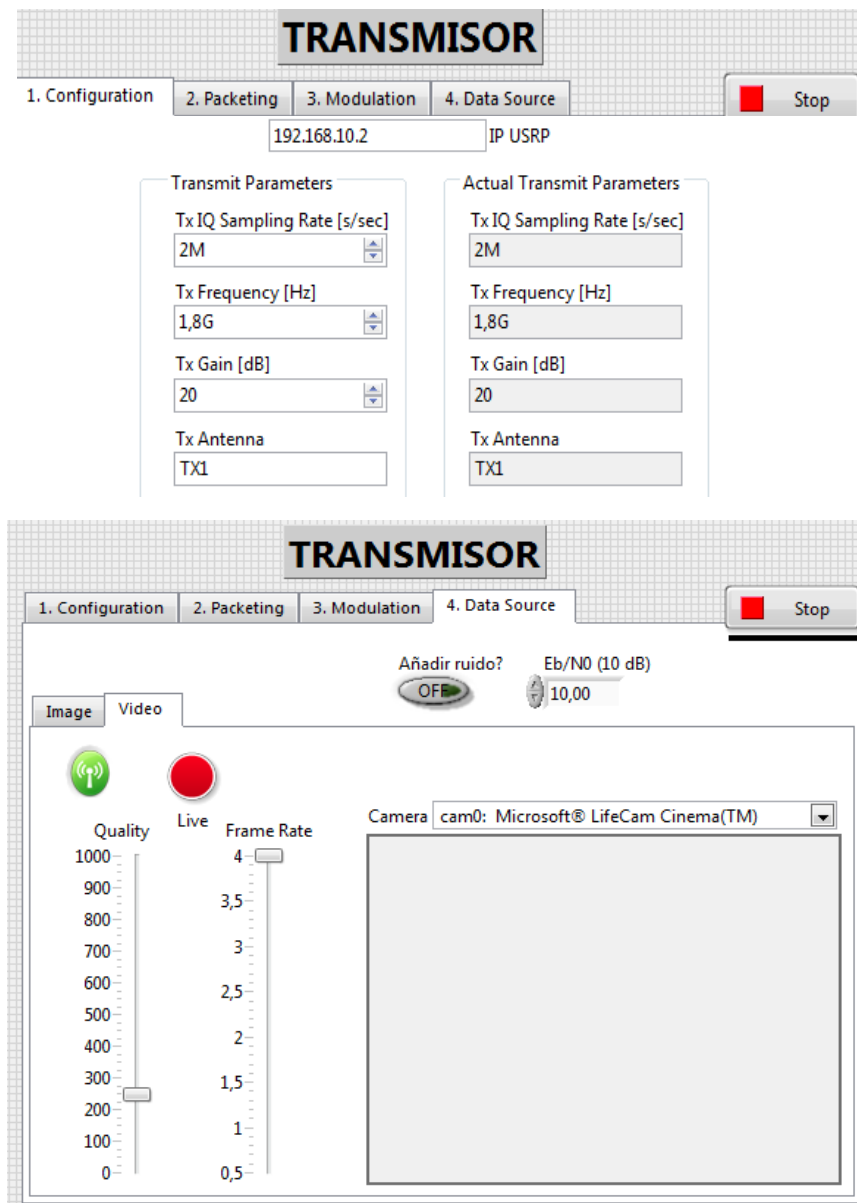


Figura 12: Vista frontal del transmisor

Autor: Ana Karen Arcos

Dicho lo anterior, el programa del transmisor se divide en cuatro partes: generación de video, codificador de paquetes, modulador DBPSK y modulador en cuadratura.

Generación de video: Una vez que se obtiene el video con las librerías de NI-Imaq, se procede a convertir la información del mismo en string de dígitos binarios.

Generación de video

Los datos son convertidos en string de dígito binario para poder construir los paquetes

Figure 13: Block diagram view for generating video

Author: Ana Karen Arcos

Autor: Ana Karen Arcos

Inicialización

Figura 14: Vista diagrama de bloques del sub-VI VideoTx caso “inicialize”

Autor: Ana Karen Arcos

Autor: Ana Karen Arcos

17

The diagram illustrates a LabVIEW sub-VI for VideoTx in the 'send' case. It features several input controls on the left: 'Video States' (a numeric control set to 1), 'in (no error)' (a boolean control set to false), and a 'Send' control (a dropdown menu). Inside the sub-VI, there is a 'Last' button, a 'JPEG' dropdown menu, an 'Image' dropdown menu, and a 'Quality' dropdown menu set to 100. The main processing area is enclosed in a dashed box and contains a 'STARTINDICATE' and 'TERMINATION' section, a 'N' loop, and an 'output array'. The 'STARTINDICATE' and 'TERMINATION' sections are connected to a 'N' loop, which is connected to the 'output array'. The 'output array' is connected to a 'Send' control. The diagram also shows a 'Last' button and a 'JPEG' dropdown menu. The 'Image' dropdown menu is connected to a 'Quality' dropdown menu set to 100. The 'Send' control is connected to a 'N' loop, which is connected to the 'output array'. The 'output array' is connected to a 'Send' control.

Figura 15: Vista diagrama de bloques sub-VI VideoTx caso “send”

Autor: Ana Karen Arcos

Finalmente elimina el fotograma enviado.

Fin

Figure 16: Vista diagrama de bloques sub-VI VideoTx caso “Destroy”

Autor: Ana Karen Arcos

Figura 16: Vista diagrama de bloques sub-VI VideoTx caso “Destroy”

Autor: Ana Karen Arcos

Codificación de paquetes: Al obtener la trama de datos, se agrega ciertos parámetros para que exista una mejor comprensión entre el transmisor y el receptor, tales parámetros son: bits de guardia, sincronización, número, el mensaje y el componente PAD, además de definir la longitud del mensaje.

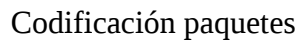


Figura 17: Vista diagrama de bloques para codificar los paquetes

Autor: Ana Karen Arcos

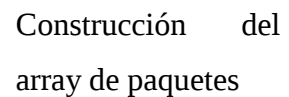


Figura 18: vista diagrama de bloques sub-VI “Construccion_paquetes”

Autor: Ana Karen Arcos

Modulación DBPSK: Labview posee librerías que facilitan la modulación, por ello una vez contruidos los paquetes simplemente se escoge la modulación deseada, en este caso la modulación DBPSK e inmediatamente se obtiene la señal IQ.

Modulación DBPSK

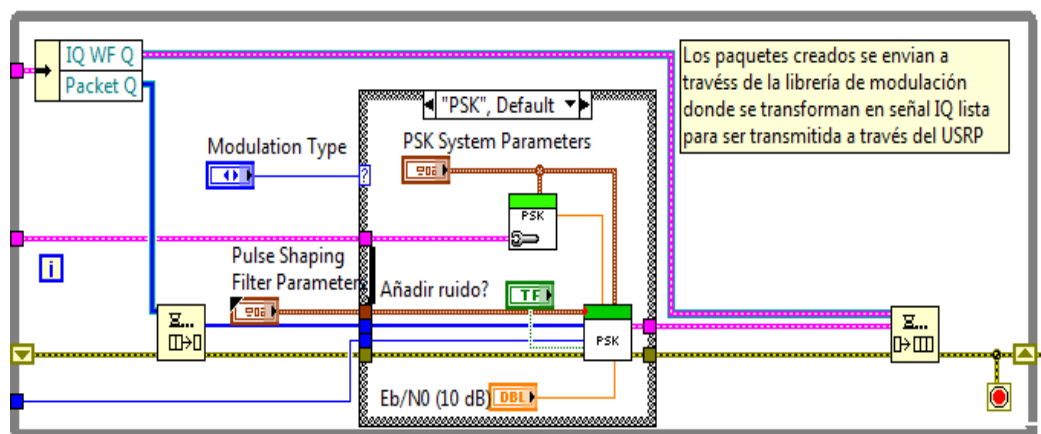


Figura 19: Vista diagrama de bloques de la modulación DBPSK

Autor: Ana Karen Arcos

Modulación y obtención de señal IQ

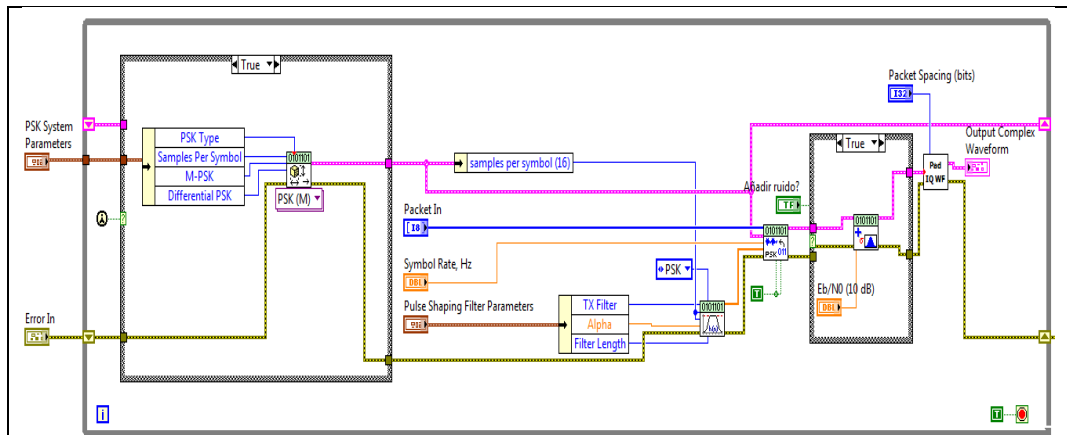


Figura 20: Vista diagrama de bloques del sub-VI “Modulacion”

Autor: Ana Karen Arcos

Modulador en cuadratura: Una vez que obtenida la señal IQ, se hace uso la librería del USRP para transmitir la señal a través del canal inalámbrico.

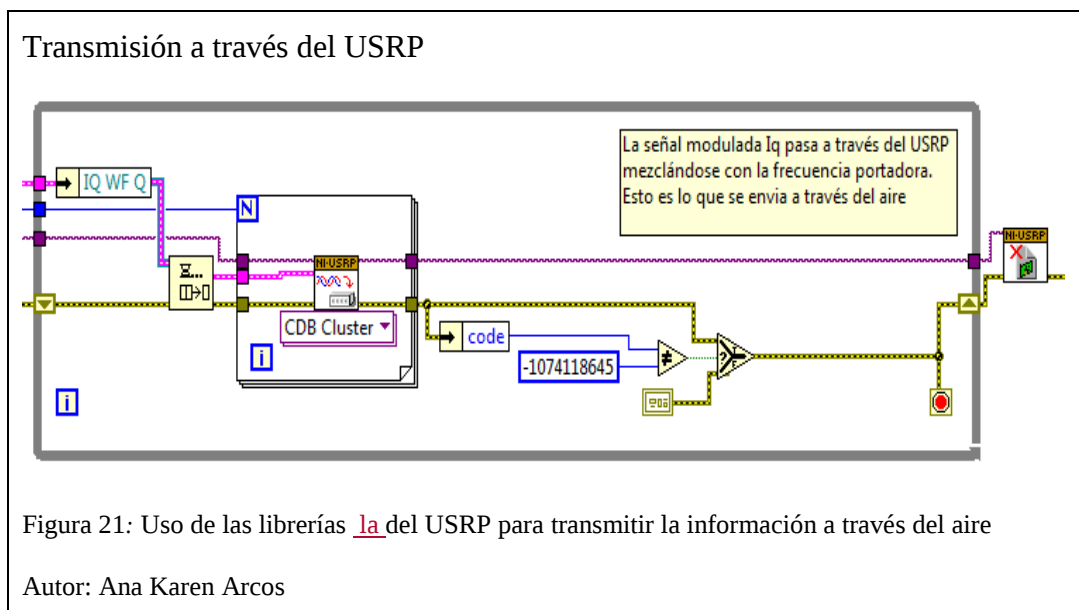


Figura 21: Uso de las librerías la del USRP para transmitir la información a través del aire

Autor: Ana Karen Arcos

Labview se caracteriza por inializar, configurar y finalizar sus Vis, por ello los sub Vis que se encargan de realizar el proceso de inicialización y finalización, en el caso de las colas existe sub programas de inicialización y finalización para cada uno de los procesos de la generación del video.

Inicialización de colas

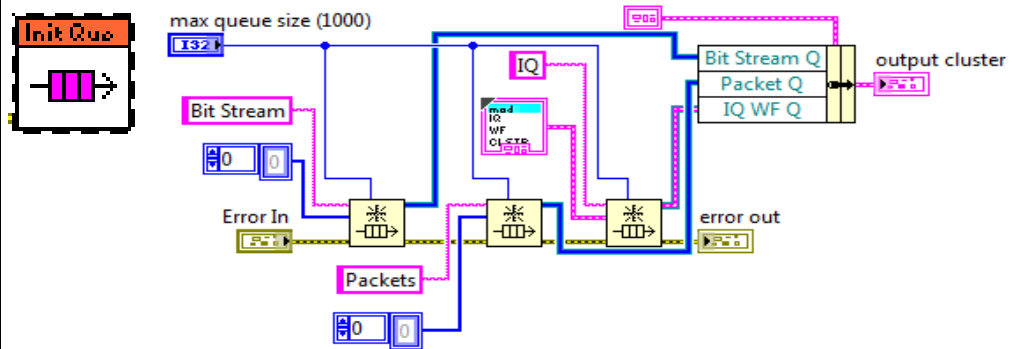


Figura 22: Vista diagrama de bloques del sub-VI "Inicio_colas"

Autor: Ana Karen Arcos

Finalización colas

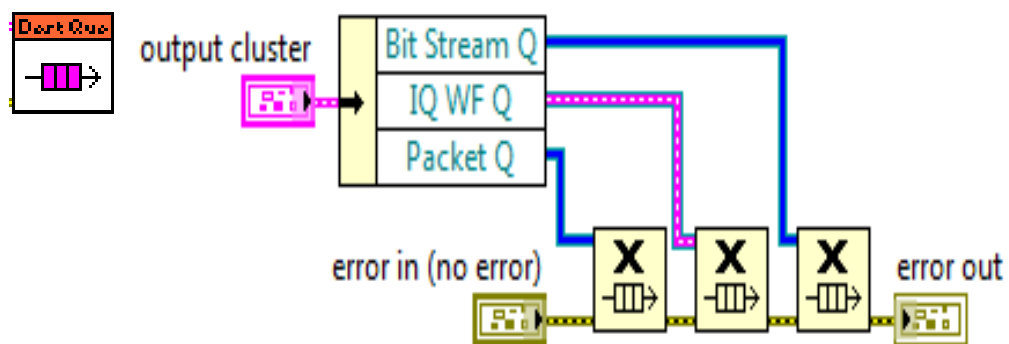


Figura 23: Vista diagrama de bloques del sub-VI "Finalización_colas"

Autor: Ana Karen Arcos

También hay que inicializar y finalizar la adquisición de video, lo cual se logra con el sub-VI Inicio_datos y Finalización_datos.

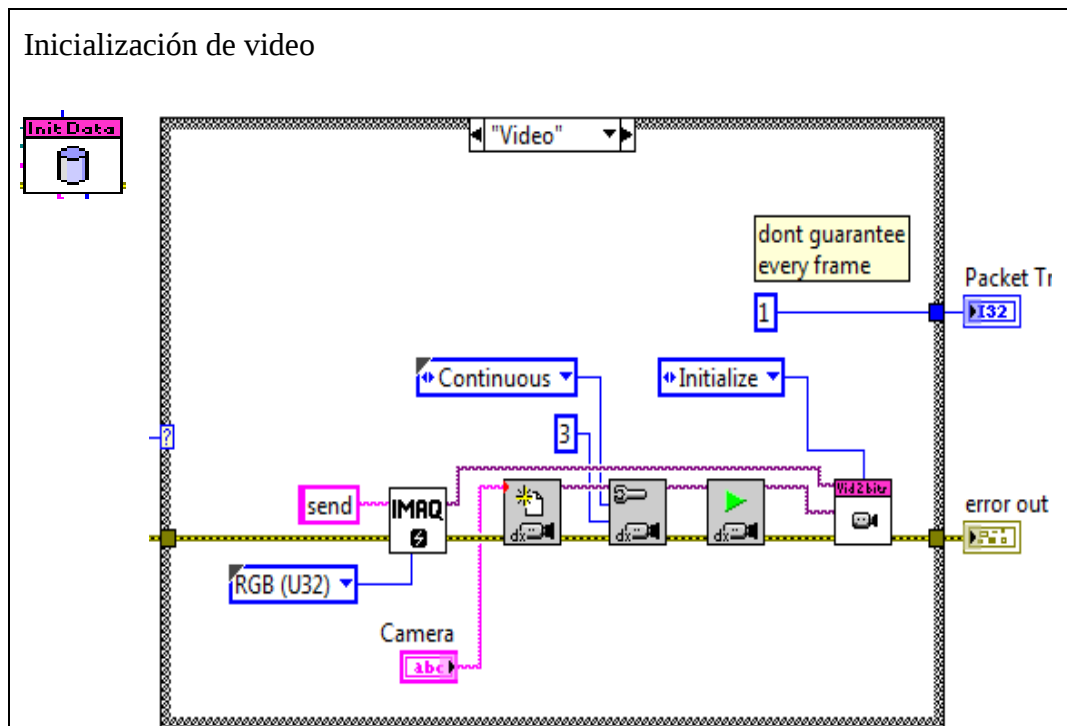


Figura 24: Vista diagrama de bloques del sub-VI “Inicio_datos”

Autor: Ana Karen Arcos

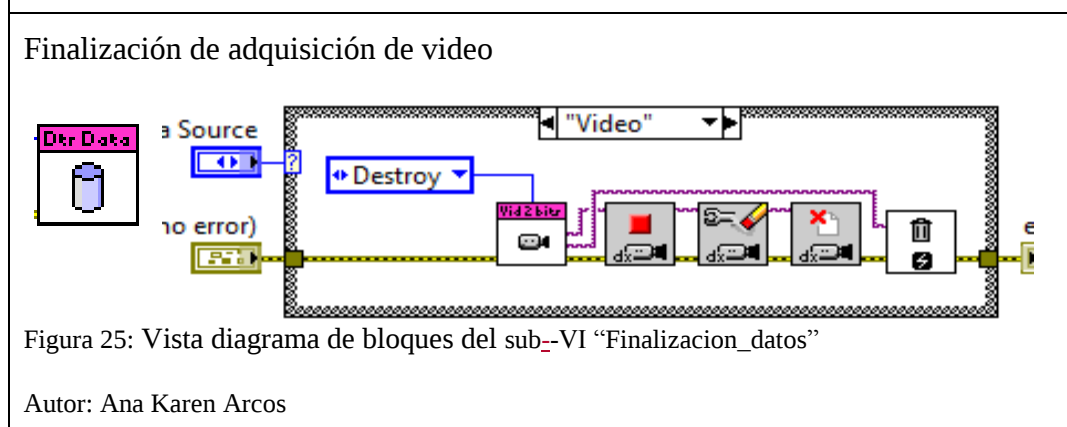


Figura 25: Vista diagrama de bloques del sub-VI “Finalizacion_datos”

Autor: Ana Karen Arcos

2.4 Diseño del receptor

Así como en el diseño del transmisor, antes de iniciar con la explicación del proceso del programa conviene mostrar la configuración de los parámetros de las propiedades de la señal de recepción del USRP.

Configuración del receptor

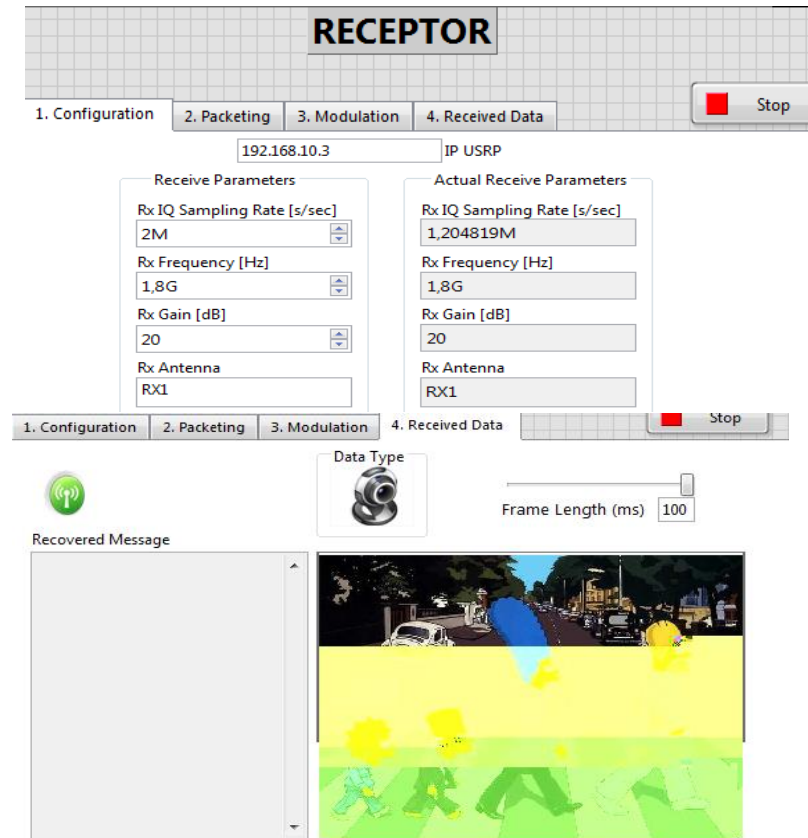


Figura 26: Vista frontal de la configuración del receptor

Autor: Ana Karen Arcos

El proceso de recepción es igual que el transmisor, pero de manera inversa, tal como se indica en el diagrama de bloques de la figura No 12.

Demodulador en cuadratura: Se obtiene la señal IQ proveniente del USRP y se hace uso de *Enqueue Element*, para enviar la información en forma de tramas.

Obtención de la señal IQ

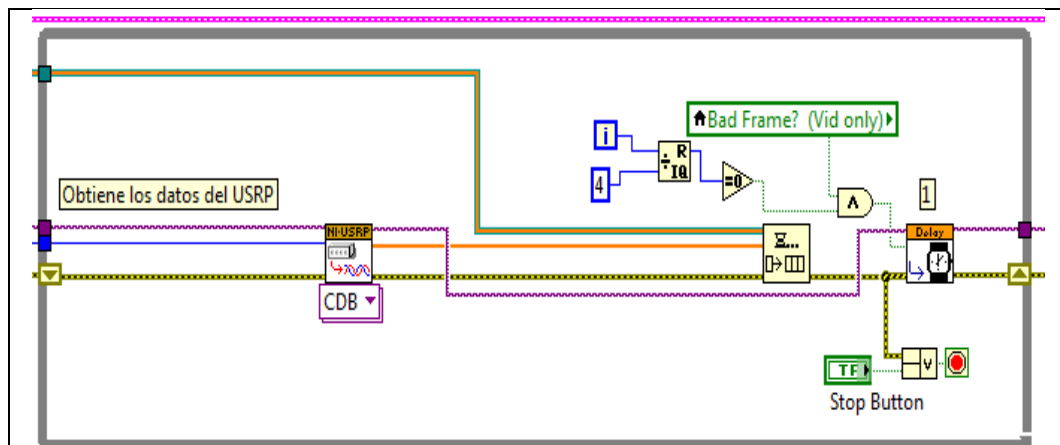


Figura 27: Vista diagrama de bloques de la recepción de la señal IQ proveniente del USRP

Autor: Ana Karen Arcos

Se obtiene la forma de onda con la información en forma de pulsos y se hace uso de un filtro para eliminar el ruido e interferencias que se pueden dar en el canal.

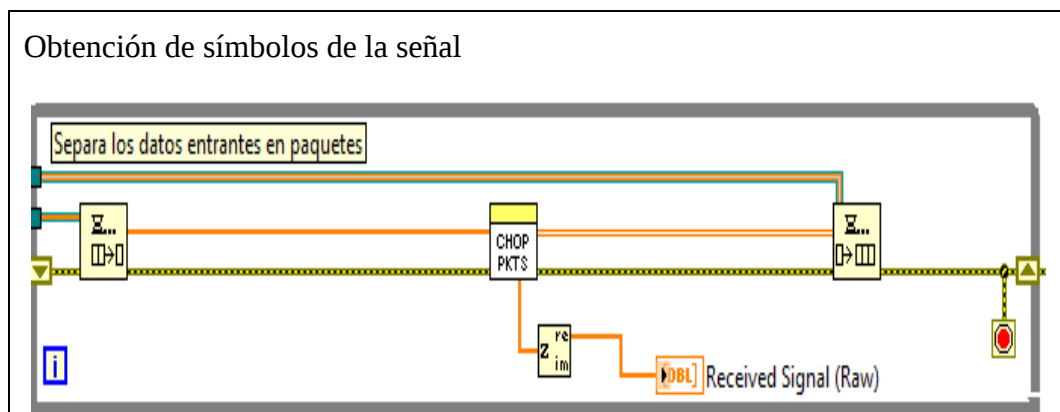
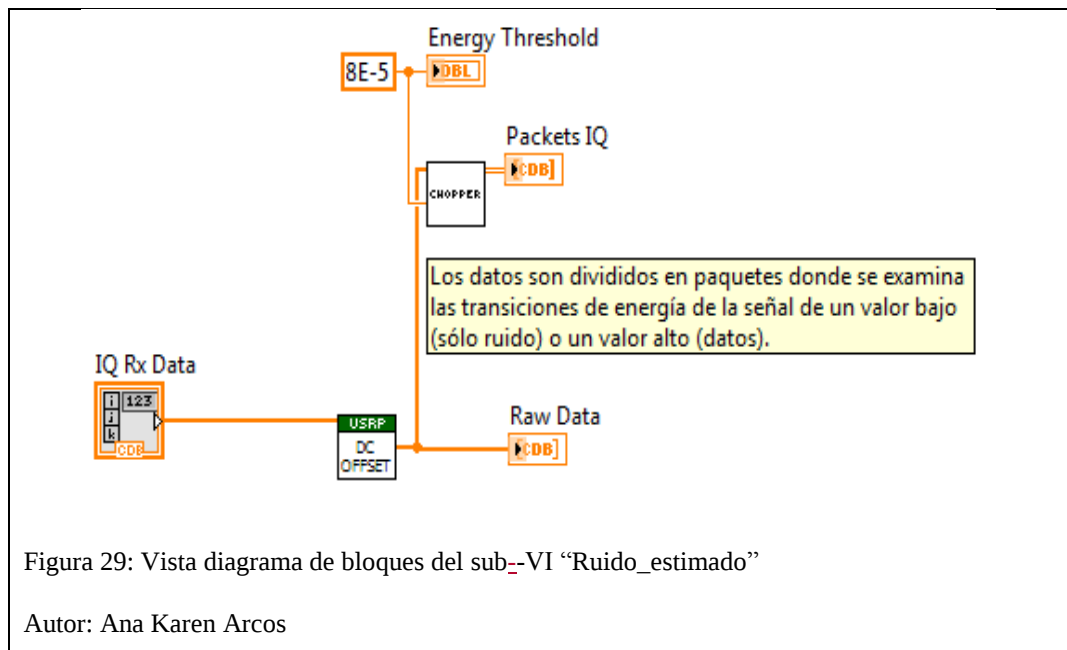


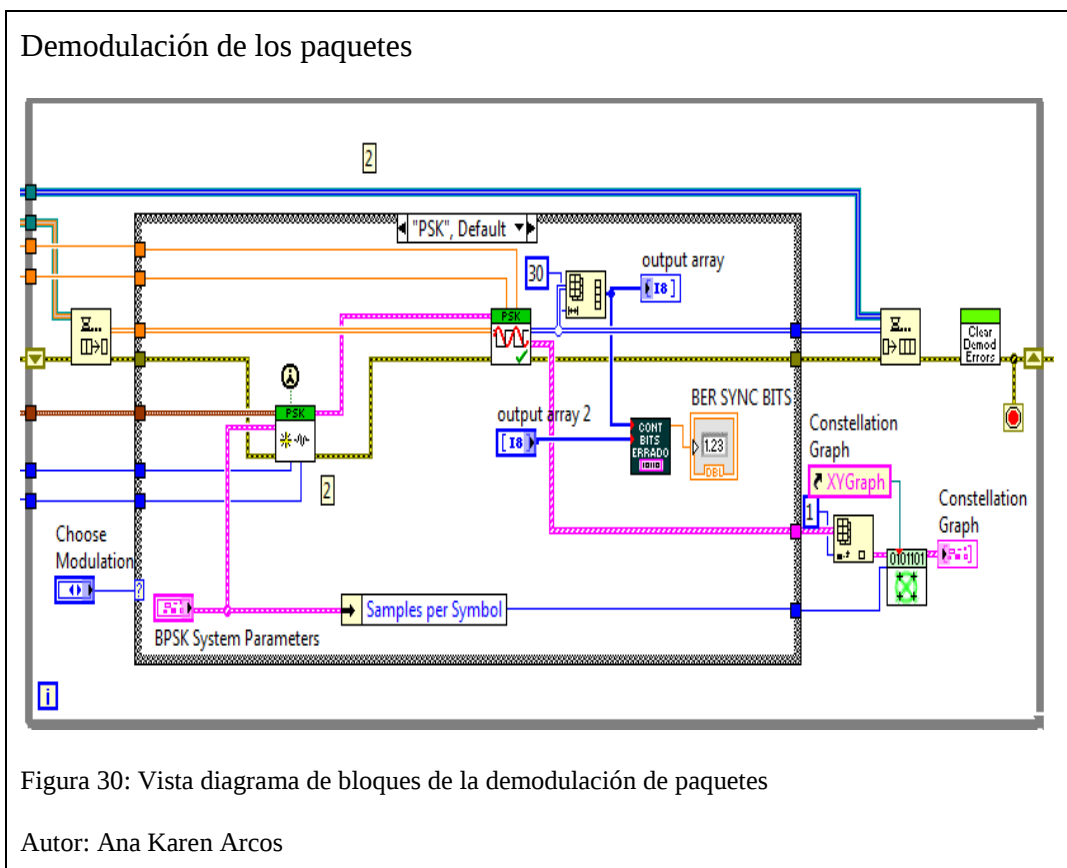
Figura 28: Vista frontal de eliminación de ruido de la señal

Autor: Ana Karen Arcos

Eliminación de ruido de la señal



Demodulación DBPSK: Una vez que se obtiene la señal IQ, esta se demodula para transformarla en dígitos binarios.



Demodulación de los paquetes

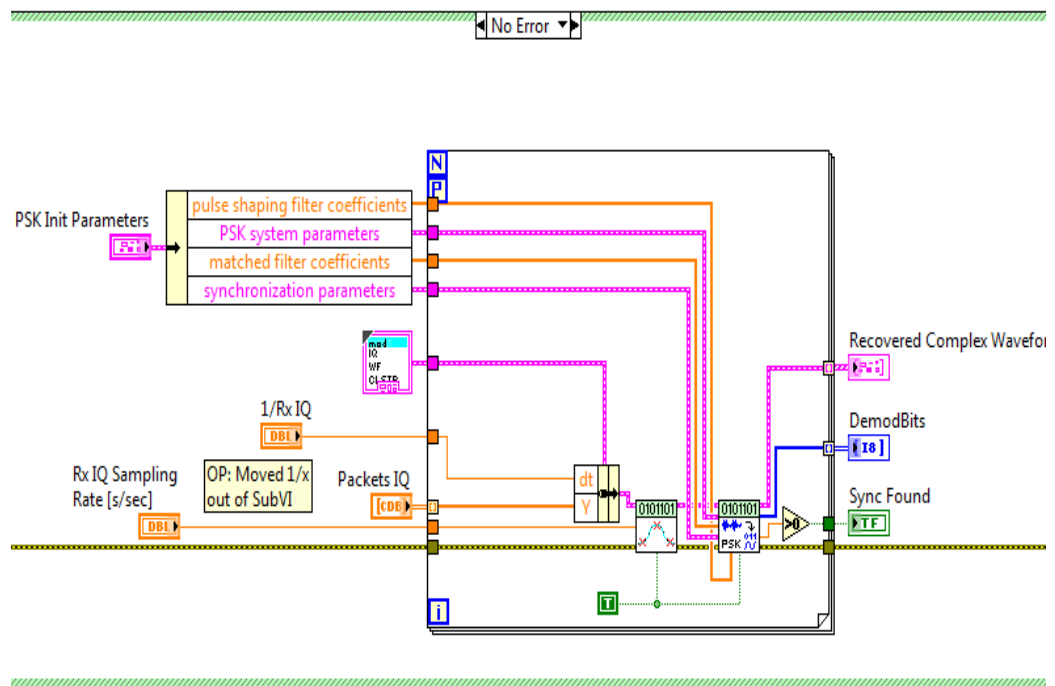


Figura 31: Vista diagrama de bloques del sub-VI “Demod_paquetes”

Autor: Ana Karen Arcos

Decodificación de paquetes: Una vez que se obtiene los dígitos binarios se elimina los bits de sincronización y se obtiene las tramas pertenecientes al video.

Decodificación de paquetes

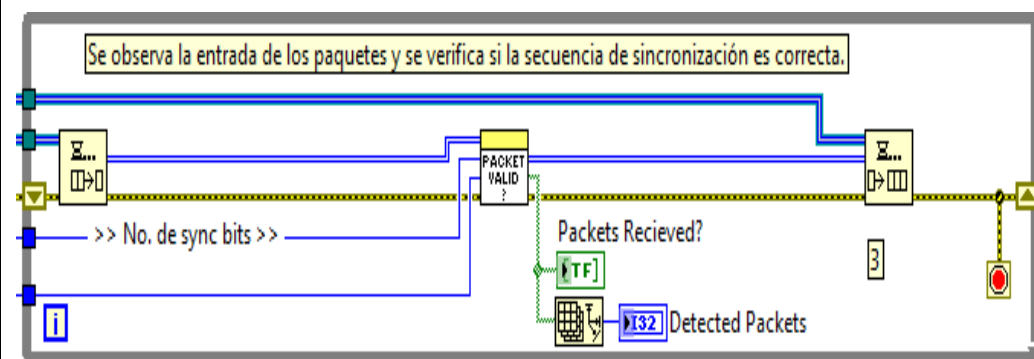


Figura 32: Vista diagrama de bloques de la decodificación de paquetes

Autor: Ana Karen Arcos

Proceso de demodulación de paquetes

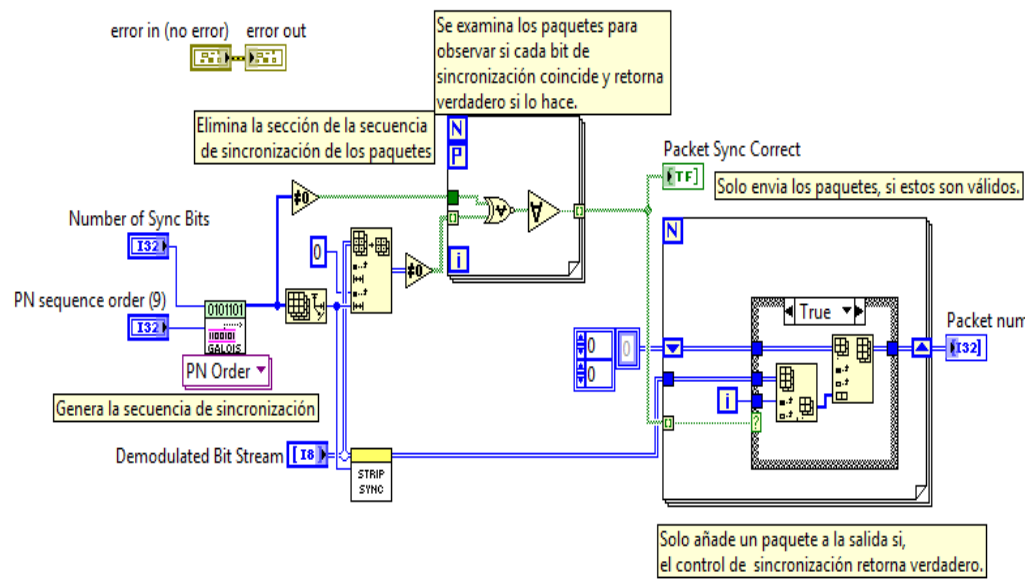


Figura 33: Vista diagrama de bloques del sub-VI "Decod_paquetes"

Autor: Ana Karen Arcos

Recuperación de video: Las tramas de dígitos binarios se convierten en string para reconstruir el video.

Recuperación de video

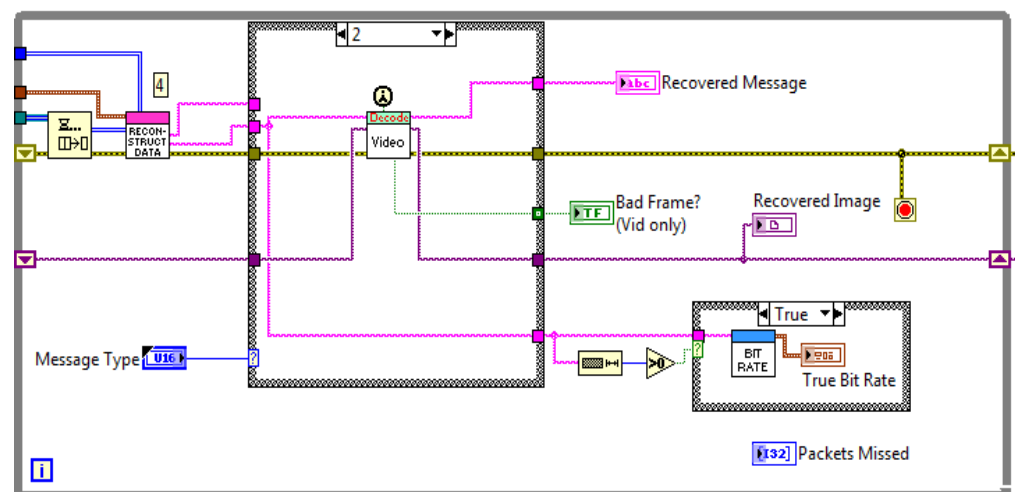


Figura 34: Vista diagrama de bloques de la recuperación de video

Autor: Ana Karen Arcos

Video a String

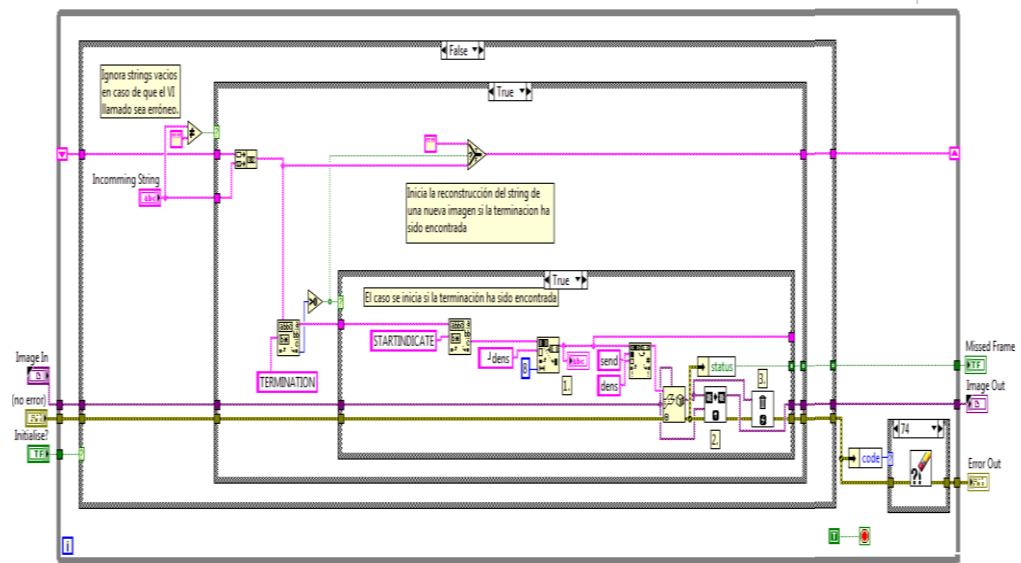


Figura 35: Vista diagrama de bloques del sub-VI "VideoRx"

Autor: Ana Karen Arcos

CAPÍTULO III

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Para la obtención de resultados, se realizaron pruebas experimentales en el Laboratorio de telecomunicaciones de la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA sede Quito campus sur; se variaron algunos parámetros tanto del transmisor como del receptor, los cuales permitieron obtener los parámetros de desempeño del sistema.

3.1 Pruebas experimentales

Para la realización de las pruebas y con el objetivo de encontrar un punto de trabajo adecuado del sistema, primero se procedió a colocar los USRPs a un metro de distancia, esto con el fin de obtener valores normalizados como se indica en la figura No.36.

Conexión de equipos



Figura 36: Conexión de equipos del Tx y el Rx

Autor: Ana Karen Arcos

Se configuro el tx con la ganancia máxima de 31 dB permitida por el equipo y se procedió a caracterizar la sensibilidad del receptor variando la ganancia del mismo desde 0 dB hasta 31 dB, como se observa en las figura No. 37 y figura No. 38.

Vista principal del transmisor

The screenshot shows the 'TRANSMISOR' software window. It has a title bar with the name 'TRANSMISOR' and a 'Stop' button with a red square icon. Below the title bar are four tabs: '1. Configuration', '2. Packeting', '3. Modulation', and '4. Data Source'. The '1. Configuration' tab is active. Inside this tab, there is a text field for 'IP USRP' containing '192.168.10.2'. Below this are two columns of parameters. The left column is titled 'Transmit Parameters' and contains: 'Tx IQ Sampling Rate [s/sec]' set to '2M', 'Tx Frequency [Hz]' set to '1,8G', 'Tx Gain [dB]' set to '31', and 'Tx Antenna' set to 'TX1'. The right column is titled 'Actual Transmit Parameters' and contains the same four parameters with identical values: 'Tx IQ Sampling Rate [s/sec]' set to '2M', 'Tx Frequency [Hz]' set to '1,8G', 'Tx Gain [dB]' set to '31', and 'Tx Antenna' set to 'TX1'.

Figura 37: Configuración del transmisor con ganancia máxima de 31 dB

Autor: Ana Karen Arcos

Vista principal del receptor

The screenshot shows the 'RECEPTOR' software window. It has a title bar with the name 'RECEPTOR' and a 'Stop' button with a red square icon. Below the title bar are four tabs: '1. Configuration', '2. Packeting', '3. Modulation', and '4. Received Data'. The '1. Configuration' tab is active. Inside this tab, there is a text field for 'USRP IP Address (Set before running VI)' containing '192.168.10.3'. Below this are two columns of parameters. The left column is titled 'Receive Parameters' and contains: 'Rx IQ Sampling Rate [s/sec]' set to '2M', 'Rx Frequency [Hz]' set to '1,8G', 'Rx Gain [dB]' set to '8', and 'Rx Antenna' set to 'RX1'. The right column is titled 'Actual Receive Parameters' and contains the same four parameters with identical values: 'Rx IQ Sampling Rate [s/sec]' set to '2M', 'Rx Frequency [Hz]' set to '1,8G', 'Rx Gain [dB]' set to '8', and 'Rx Antenna' set to 'RX1'.

Figura 38: Configuración del receptor variando la ganancia

Autor: Ana Karen Arcos

Para lo cual, se envió una imagen que consta de 274.840 bits, cuyas dimensiones son de 600 x 450 pixeles y con un peso de 58,5 Kb, misma que se muestra en la figura No. 39.

Imagen Los Simpsons



Figura 39: Imagen utilizada para realizar pruebas y calcular el BER

Fuente: <http://wallpaperanimehd.com/wp-content/uploads/2015/09/los-simpson-wallpaper-2341.jpg>

Para poder calcular el BER se adiciona al receptor un canal de ruido AWGN. Este bloque AWGN se lo trabaja variando el parámetro E_b/N_0 (relación energía por bit / densidad espectral de potencia de ruido). Así se podrá observar que el desempeño del sistema cumpla con el desempeño teórico de un sistema DBPSK.

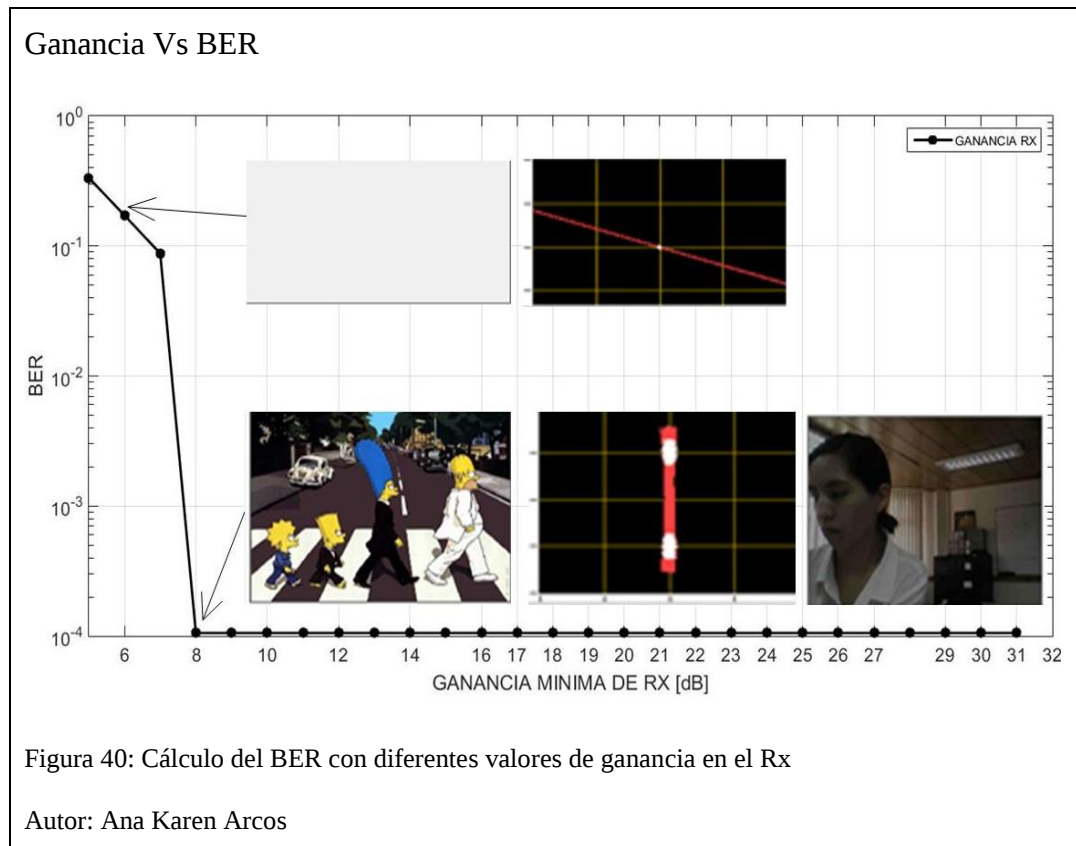
Al transmitir video en tiempo real, los datos de entrada son desconocidos, por ello para el cálculo del BER, se utiliza una imagen conocida dado que:

$$BER = \frac{\text{No. bits errados}}{\text{No. total de bits transmitidos}} \quad (1)$$

Donde:

$$\text{No. bits errados} = \frac{\text{Bits in}}{\text{Bits Out}} \quad (2)$$

Con esta primera configuración, se observó que la ganancia mínima del receptor para obtener una transmisión correcta del video fue de 8 dB para un BER de $1,06 \times 10^{-4}$ como se observa en la figura No 40.



Entonces, se procedió a añadir ruido AWGN a la transmisión, mediante el bloque “MT add AWGN.vi” para observar el efecto que se tendría en el sistema en ambientes con mucho ruido o que tenga transmisiones muy cercanas a las frecuencias de trabajo. Para ello se procedió a mantener la ganancia en el TX de 31 dB y en el RX a 8 dB obtenida en la caracterización del receptor, entonces se varió el E_b/N_0 desde 5 dB hasta 32 dB, como se observa en las figuras No. 41 y 42.

Vista principal del transmisor

The screenshot shows the 'TRANSMISOR' application window. It has four tabs: '1. Configuration', '2. Packeting', '3. Modulation', and '4. Data Source'. The '1. Configuration' tab is active. At the top, there's a text field for the IP address '192.168.10.2' and a dropdown for 'IP USRP'. Below this, there are two columns of parameters:

Transmit Parameters	Actual Transmit Parameters
Tx IQ Sampling Rate [s/sec] 2M	Tx IQ Sampling Rate [s/sec] 2M
Tx Frequency [Hz] 1,8G	Tx Frequency [Hz] 1,8G
Tx Gain [dB] 31	Tx Gain [dB] 31
Tx Antenna TX1	Tx Antenna TX1

Below the parameters, there's a section for 'Añadir ruido?' (Add noise?) with a toggle switch set to 'ON' and a value of '6,00' for 'Eb/N0 (10 dB)'. There's also a 'Resend' button. At the bottom, there's a file selection area with a 'Quality' slider set to 500 and a list of files: 'C:\Users\ANA\Pictures\imtesis', 'SIMPSONS.jpg', 'SIMPSONS.jpg', 'SIMPSONS.jpg', and 'SIMPSONS.jpg'.

Figura 41: Configuración del transmisor con ganancia de 31 dB y variando Eb/No

Autor: Ana Karen Arcos

Vista principal del receptor

The screenshot shows the 'RECEPTOR' application window. It has four tabs: '1. Configuration', '2. Packeting', '3. Modulation', and '4. Received Data'. The '1. Configuration' tab is active. At the top, there's a text field for the IP address '192.168.10.3' and a dropdown for 'IP USRP'. Below this, there are two columns of parameters:

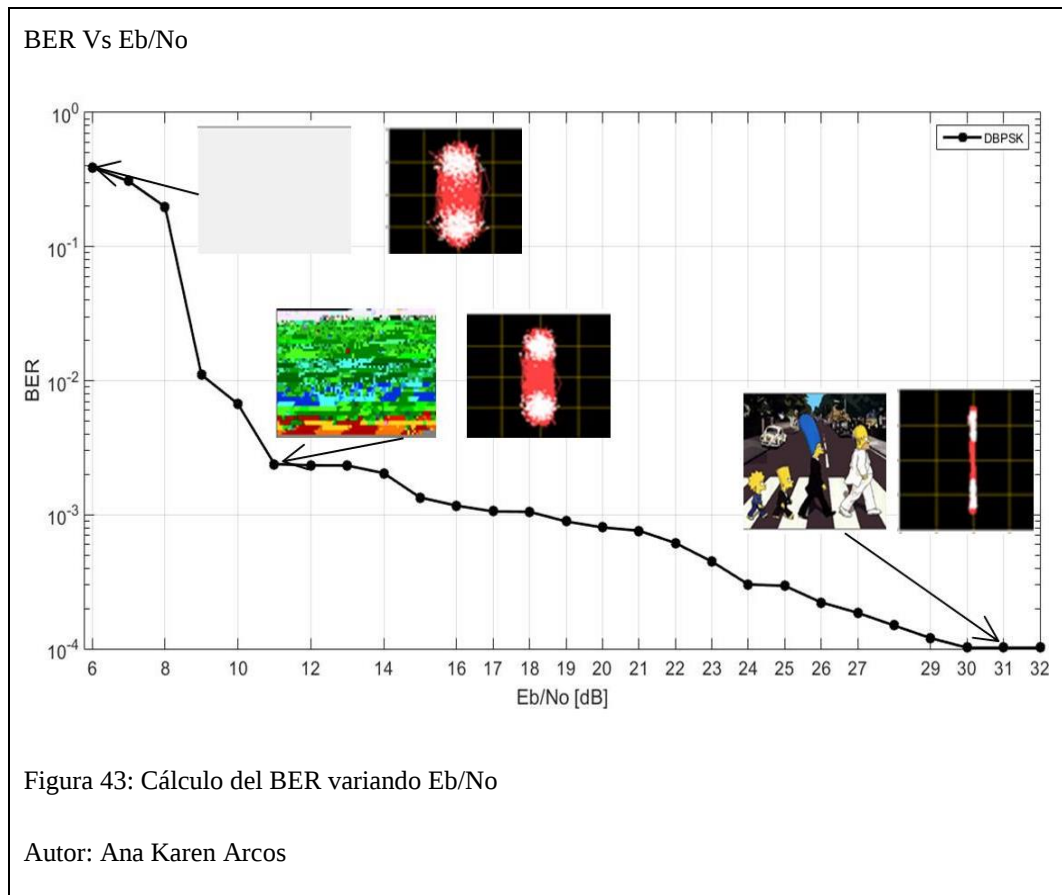
Receive Parameters	Actual Receive Parameters
Rx IQ Sampling Rate [s/sec] 2M	Rx IQ Sampling Rate [s/sec] 1,204819M
Rx Frequency [Hz] 1,8G	Rx Frequency [Hz] 1,8T
Rx Gain [dB] 8	Rx Gain [dB] 8
Rx Antenna RX1	Rx Antenna RX1

At the top right, there's a 'Stop' button with a red square icon.

Figura 42: Configuración del receptor con ganancia de 8 dB

Autor: Ana Karen Arcos

Con esta configuración, se puede observar que para tener una transmisión adecuada de video es necesario tener una E_b/N_0 de 31 dB ya que se observa un piso de ruido que se mantiene como se ve en la figura 43.



Finalmente, se procedió a disminuir la potencia de tx a 20dB e incrementar la ganancia en el RX hasta 20 dB, con el fin de observar cambios en el comportamiento de la recepción del video en un punto intermedio de trabajo, como se indica en la figura No. 44

Vista principal del transmisor

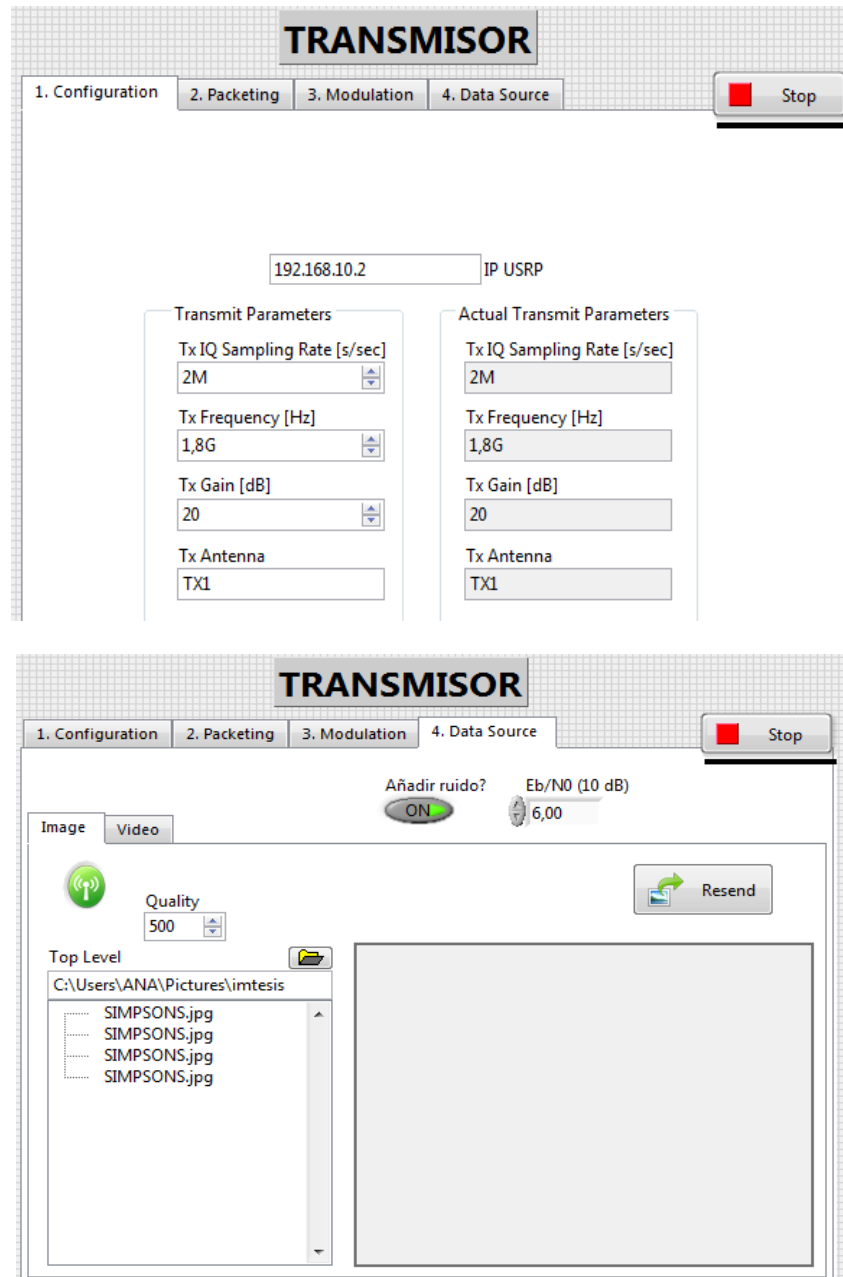
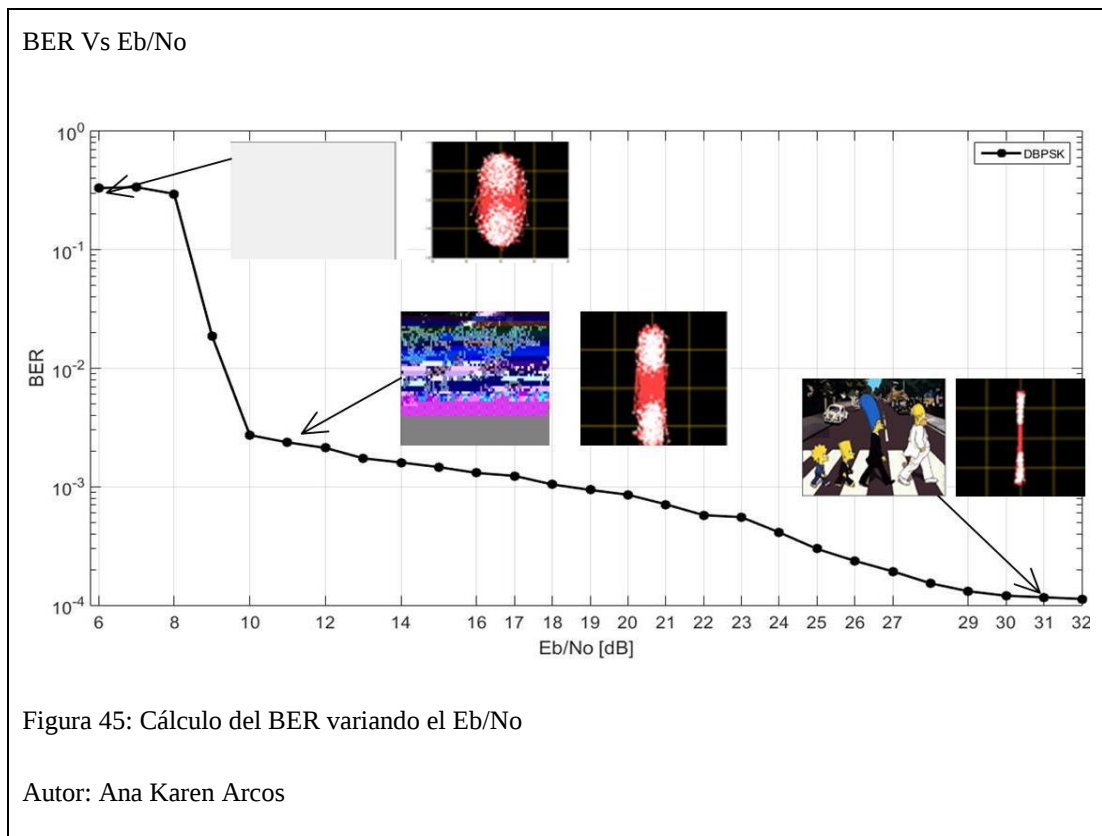


Figura 44: Configuración del transmisor con ganancia de 20 dB y variando Eb/No

Autor: Ana Karen Arcos

Para esta configuración, se observó un comportamiento similar al obtenido en la prueba anterior como se observa en la fig. 45, lo que era de esperarse ya que la disminución de potencia se ve compensada por el incremento en la ganancia de la

antena. Por lo tanto, un punto de trabajo adecuado para conseguir un BER 10^{-4} es alrededor de E_b/N_0 de 31 dB.



CONCLUSIONES

Para la utilización del sistema de transmisión video en tiempo real usando radio definido por software mediante los USRPs 2920, es necesario una ganancia mínima en el receptor de 8 dB lo que corresponde a un BER de 10^{-4} para la ganancia máxima de transmisión de 31 dB permitida por el equipo.

Si la ganancia en el receptor es de 0 dB hasta 5 dB, la transmisión de video no se realiza, debido a que la atenuación del canal inalámbrico produce un BER elevado y es a partir de 6 dB que se empiezan a recuperar los bits de los fotogramas, y a partir de los 11 dB se empieza a recuperar la imagen. Además, un piso de BER a 10^{-4} aparece, ya que se restringió el envío de bits a 174840, debido al procesamiento y el almacenamiento de datos de los USRPs.

Para la ganancia mínima del receptor de 8 dB es necesario un Eb/No de aproximadamente 31 dB para una transmisión de video en tiempo real que cumpla con un BER de 10^{-4} , similar comportamiento se observa al incrementar la ganancia en el receptor, aunque, con un mayor Eb/No de casi 3 dB.

RECOMENDACIONES

Utilizar computadoras con un procesador Intel Core i5 como mínimo o superior, con una memoria de 4Gb o superior, con la finalidad que la transmisión no tenga problemas, ya que el procesamiento que debe hacer la computadora es considerable.

Adicionalmente, y tal como lo indica el fabricante, la computadora debe tener una interface Gigabit Ethernet.

REFERENCIAS

- Akramullah, S. (2014). *Digital Video Concepts, Methods and Metrics*. New York: Apress.
- Austerberry, D. (2013). *The Tecnology of Video and Audio Streaming*. Elsevier: Focal Press.
- Bress, T. (2013). *Effective Labview Programming*. Maryland: National Technology & Science.
- Castaño, R., & López, J. (2013). *Redes Locales*. Madrid : Macmillan Iberia, S.A.
- Constantino Pérez Vega, J. M. (2007). *Sistemas de Telecomunicaciones*. Santander: Universidad de Cantabria.
- Couch, L. W. (2007). *Sistemas de comunicación digitales y analógicos*. México: Pearson.
- Di Pu, A. M. (2013). *Digital Communication Systems Engineering with Software-Defined Radio*. Boston, Londres: Artech House.
- Grayver, E. (2013). *Implementing Software Defined Radio*. New York, Estados Unidos: Springer.
- Hornero Roberto, G. M. (2011). *Teoría de la comunicación*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- J.S., C. (2009). *Digital Communication*. India: Technical Publications.
- Kye-Si Kwon, S. R. (2015). *Practical Guide to Machine Vision Software*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Manickum, M. S. (2015). *Programming Arduino with Labview*. Mumbai: PACKT Publishing.
- Marcio Eisencraft, R. A. (2014). *Chaotic Signals in Digital Communications*. Boca Ratón: CRC Press.
- National Instrumens. (1976). Retrieved from http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/373380F-01/usrphelp/programming_flow/

National Instruments. (1976). Retrieved from

<http://digital.ni.com/manuals.nsf/websearch/8D83AC512A841FB586257B5500202D37>

Penagos, J. M. (2008). Estudio y comparación en eficiencia espectral y probabilidad de error de los esquemas de modulación GMSK y DBPSK. *Ingeniería e Investigación* , 6.

Thad B. Welch, S. S. (2013). Teaching Software Defined Radio Using the USRP an Labview. *IEEE*, 4.

Thierry Bonnoit, D. M. (2014). Robust BER Estimator for DBPSK Modulation. *IEEE*, 4.

ANEXOS

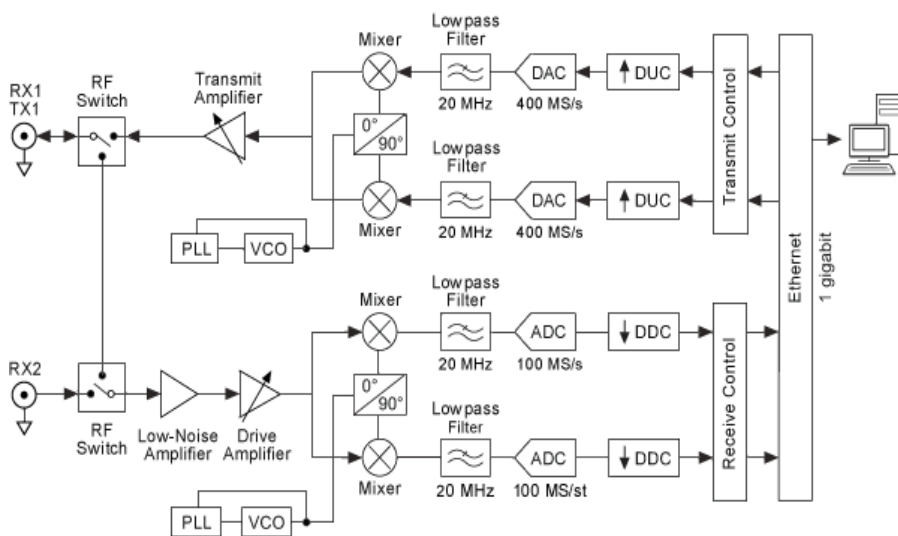
Anexo 1: Diagrama de bloques del USRP 2920

You are here: [NI Home](#) > [Support](#) > [Manuals](#) > [NI-USRP 1.1 Help](#)

NI USRP-2920 Block Diagram

[»Table of Conte](#)

The following figure shows a simplified block diagram of the NI USRP-2920.



NI-USRP 1.1 Help

Edition Date: April 2012

Part Number: 373380B-01

[»View Product Info](#)

The following lists describe the individual blocks:



Note The RF switch allows transmit and receive operations to occur on the same shared antenna. On the USRP-2920, one antenna is designated receive-only.

Receive Path:

- The low-noise amplifier and drive amplifier amplify the incoming signal.
- The phase-locked loop (PLL) controls the voltage-controlled oscillator (VCO) so that the device clocks and local oscillator (LO) can be frequency locked to a reference signal.
- The mixer downconverts the signals to the baseband in-phase (I) and quadrature-phase (Q) components.
- The lowpass filter reduces noise and high frequency components in the signal.
- The analog-to-digital converter (ADC) digitizes the I and Q data.
- The digital downconverter (DDC) mixes, filters, and decimates the signal to a user-specified rate.
- The downconverted samples are passed to the host computer over a standard gigabit Ethernet connection.

Transmit Path:

- Baseband I/Q signals are synthesized by the host computer and transmitted to the device over a standard gigabit Ethernet connection.
- The digital upconverter (DUC) mixes, filters, and interpolates the signal to 400 MS/s.
- The digital-to-analog converter (DAC) converts the signal to analog.
- The lowpass filter reduces noise and high frequency components in the signal.
- The mixer upconverts the signals to a user-specified RF frequency.
- The PLL controls the VCO so that the device clocks and LO can be frequency locked to a reference signal.
- The transmit amplifier amplifies the signal, which is then transmitted through the antenna.

Anexo 2: Requerimientos del sistema

System Requirements

Supported Operating Systems

NI-USRP 15.0 supports the following operating systems:

- Windows 10 (32-bit and 64-bit)
- Windows 8.1 (32-bit and 64-bit)
- Windows 7 (32-bit and 64-bit)
- Windows Vista (32-bit and 64-bit)
- Windows XP Service Pack 3 (SP3)(32-bit)

NI recommends that you have the most recent service pack for your operating system installed.

Minimum System Requirements

- Processor—Pentium 4 or equivalent
- RAM—1 GB
- Gigabit Ethernet interface
- Microsoft Internet Explorer 5.5 or later
- A screen resolution of 800 x 600 with 256 colors
- Windows 10/8.1/7/Vista/XP SP3, with all available critical updates and service packs

Recommended System

- Processor—Intel i7 or equivalent
- RAM—2 GB
- Dedicated gigabit Ethernet interface for each device
- A screen resolution of 1,024 x 768
- Windows 10/8.1/7/Vista/XP SP3, with all available critical updates and service packs

Application Development Environments (ADEs)

Note You should install ADEs, such as NI LabVIEW or LabVIEW Communications System Design software, before installing NI-USRP 15.0. To add support for ADEs installed after installing NI-USRP, modify your NI-USRP installation or launch the NI-USRP installer again.

- NI LabVIEW 2012, 2013, 2014, 2015
- LabVIEW Communications System Design software 1.0, 1.1

Anexo 3: Cambiar la dirección IP

Changing the IP Address

To change the USRP device IP address, you must know the current address of the device, and you must configure the network.

1. Verify that your device is powered on and connected to your computer using the gigabit Ethernet interface.
2. Select **Start»All Programs»National Instruments»NI-USRP»NI-USRP Configuration Utility** to open the NI-USRP Configuration Utility.
3. Select the **Devices** tab of the utility.

Your device should appear in the list on the left side of the tab.

4. In the list, select the device for which you want to change the IP address.

If you have multiple devices, verify that you selected the correct device.

- The IP address of the selected device displays in the **Selected IP Address** textbox.
5. Enter the new IP address for the device in the **New IP Address** textbox.
 6. Click the **Change IP Address** button or press <Enter> to change the IP address.
The IP address of the selected device displays in the **Selected IP Address** textbox.
 7. The utility prompts you to confirm your selection. Click **OK** if your selection is correct; otherwise, click **Cancel**.
 8. The utility displays a confirmation to indicate the process is complete. Click **OK**.
 9. Power cycle the device to apply the changes.
 10. After you change the IP address, you must power cycle the device and click **Refresh Devices List** in the utility to update the list of devices.

Anexo 4: Especificaciones laptop Asus K555L

Procesador	Procesador Intel® Core™ i7 4510U
Sistema Operativo	Windows 8.1 Pro
Memoria	DDR3L 1600 MHz SDRAM, 1 x DIMM socket para una expansión hasta 8 GB SDRAM
Pantalla	15.6" 16:9 HD (1366x768)
Gráficos	Intel® HD Graphics 4400 Integrados
Almacenamiento	- 750GB HDD 7200 RPM
Unidad Optica	Super-Multi DVD
Lector de tarjetas	3 -en-1 Lector de tarjetas (SD/ SDHC/ SDXC)
Cámara	Cámara web VGA
Redes	Integrado 802.11 b/g/n
	Bluetooth™ V4.0 integrado (Opcional)
	10/100/1000 Base T
Interfaz	1 x Conector de audio
	1 x Puerto VGA /Mini D-sub 15-pin para monitor externo
	2 x puerto(s) USB 3.0
	1 x Puerto(s) USB 2.0
	1 x Puerto LAN RJ45
	1 x HDMI

Audio	Parlantes y Micrófono Integrado
	SonicMaster
Batería	2 Celdas 37 Whrs Batería de polímero
Adaptador de Corriente	Salida:
	19 V DC, 1.74 A, 45 W
	Entrada :
	100 -240 V AC, 50/60 Hz universal
Dimensiones	38.2 x 25.6 x 2.58 cm (WxDxH)
	Peso
	3.2 kg (con batería de polímero)

Fuente: <https://www.asus.com/latin/Notebooks/K555L/specifications/>

Anexo 5: Especificaciones laptop Sony SVE14115FLW

Procesador	Intel ® Core ™ i5-2450M, 2.50GHz con Turbo Boost hasta 3.10GHz, Intel ® HM76 Express Chipset
Sistema Operativo	Windows ® 7 Home Premium original de 64 bit
Pantalla	Pantalla VAIO de 14" (1366 x 768), Aspecto 16:9, Tecnología backlight LED
Tarjeta de Video	Integrada: Intel ® HD Graphics 3000
Memoria	4GB DDR3 SDRAM expansible hasta 8GB (velocidad de 1333MT/s)
Disco Duro	HDD 500GB (velocidad de 5400 rpm)
Unidad Óptica	Reproductor y Grabador DVD
Ranuras de Expansión	Memory Stick Duo ™, SD memory card, entrada DC, hi-speed USB (USB 2.0) x3, SuperSpeed USB (USB 3.0) x1 salida HDMI, entrada para audífonos y micrófono
Audio	Intel ® High Definition Audio, xLOUD, Clear Phase
Ethernet	1000Base -T/100Base -TX/10Base -T
Red Inalámbrica	Bluetooth ® estándar versión 4.0 + HS, IEEE 802.11b/g/n, Wi-Fi certificado
Requerimiento de Corriente	AC 100-240V, DC 19.5V
Duración Estimada de la Batería	Hasta 6 horas con batería estándar

Botones Vaio	WEB: Inicia el sistema operativo y abre Internet Explorer, ASSIST: Abre software de servicio y mantenimiento, VAIO: Abre software de entretenimiento Media Gallery
Cámara Web	HD Webcam impulsada por EXMOR™ para PC, resolución 1280 x 1024, 1.31 megapíxeles
Otros	Teclado Iluminado, Funcionalidad Touchpad, Rapid Wake
Dimensiones	34.4cm (ancho) x 24.4 cm (fondo) x 2.5-3.4 cm (alto)
Peso	2.4 kg
Accesorios Incluidos:	Batería de iones de litio, cable de corriente, adaptador de CA

Fuente: https://docs.sony.com/release//specs/SVE14115FL_mksp_ES.pdf

Anexo 6: Especificaciones USRP

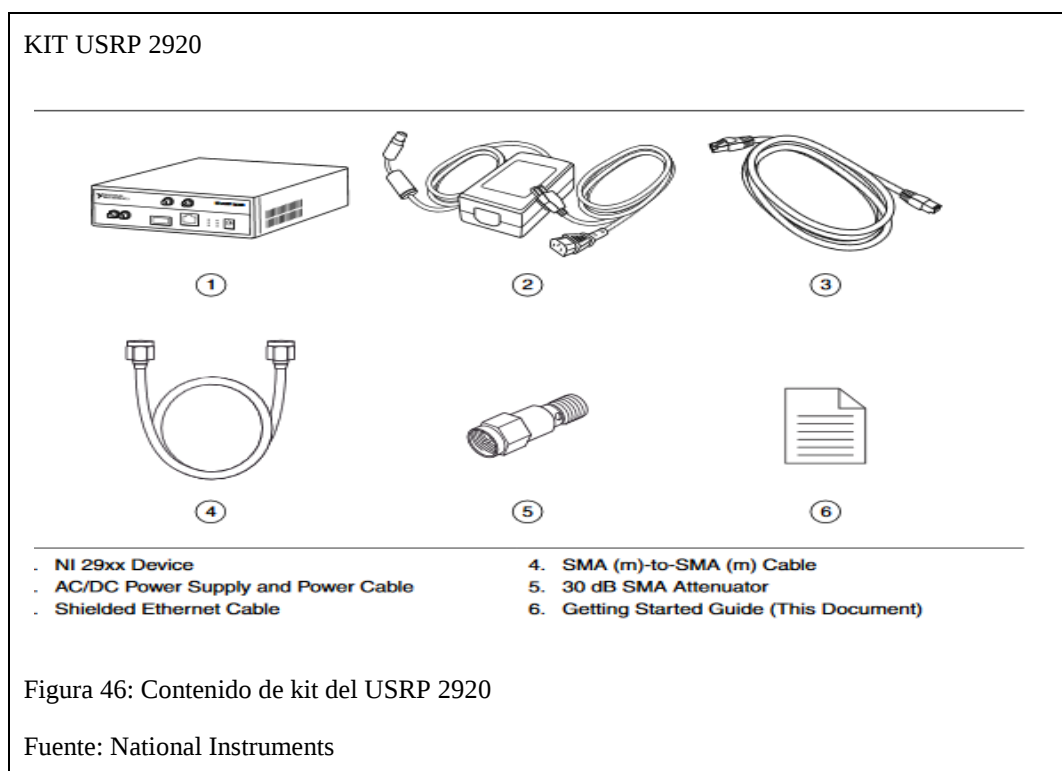
Transmisor	
Frequency range	50 MHz to 2.2 GHz
Frequency step	<1 kHz
Maximum Output Power (Pout)	
50 MHz to 1.2 GHz	50 mW to 100 mW (17 dBm to 20 dBm)
1.2 GHz to 2.2 GHz	30 mW to 70 mW (15 dBm to 18 dBm)
Gain range	0 dB to 31 dB
Gain step	1.0 dB
Frequency accuracy	2.5 ppm
Maximum instantaneous real-time bandwidth	16-bit sample width
16-bit sample width	20 MHz
8-bit sample width	40 MHz
Maximum I/Q sampling rate	16-bit sample width
16-bit sample width	25 MS/s
8-bit sample width	50 MS/s
DAC	2 channels, 400 MS/s, 16 bit
DAC SFDR	80 dB

Fuente: <http://www.ni.com/pdf/manuals/375839a.pdf>

Receptor	
Frequency range	50 MHz to 2.2 GHz
Frequency step	<1 kHz
Gain range	0 dB to 31.5 dB
Gain step	0.5 dB
Maximum input power (Pin)	0 dBm
Noise figure	5 dB to 7 dB
Frequency accuracy	2.5 ppm
Maximum instantaneous real-time bandwidth	
16-bit sample width	20 MHz
8-bit sample width	40 MS/s
Maximum I/Q sampling rate	
16-bit sample width	25 MS/s
8-bit sample width	50 MS/s
ADC	2 channels, 100 MS/s, 14 bit
ADC SFDR	88 dB

Fuente: <http://www.ni.com/pdf/manuals/375839a.pdf>

Anexo 7: Kit del USRP



Anexo 8: Especificaciones antena VERT 400

Tri-band 2M/70cm/1200MHz HT Antenna	
Extended receive range	118-160MHz, 250-290MHz,
	360-390MHz, 420-470MHz, 820-960MHz, 1260-1300MHz
Gain range	146MHz 0dBi 1/4 wave
	146MHz 0dBi 1/4 wave
	446MHz 0dBi 1/4 wave
	1200MHz 3.4dBi 5/8 wave
Max Power	10 watts
Length	17 cm (6.5 inches)
Connector	SMA

Fuente: <https://www.ettus.com/product/details/VERT400>