

CARACTERIZACIÓN DE LA PLATAFORMA DE RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE USRP N210 - WBX

CHARACTERIZATION OF THE SOFTWARE DEFINED RADIO PLATAFORM USRP N210- WBX



AUTOR

JOSÉ DE JESÚS RUGELES URIBE
Docente Ingeniería en
Telecomunicaciones
*Universidad Militar Nueva Granada
Investigador
Facultad de ingeniería
jose.rugeles@unimilitar.edu.co
COLOMBIA

AUTOR

TANIA MANCILLA BOJACÁ
Ingeniera en Telecomunicaciones
*Universidad Militar Nueva Granada
Auxiliar de investigación
Facultad de ingeniería
u1400588@unimilitar.edu.co
COLOMBIA

AUTOR

CÉSAR HUMBERTO CLAVIJO SÁNCHEZ
Ingeniero en Telecomunicaciones
*Universidad Militar Nueva Granada
Auxiliar de investigación
Facultad de ingeniería
u1400568@unimilitar.edu.co
COLOMBIA

* INSTITUCIÓN

Universidad Militar Nueva Granada
UMNG
Institución Pública
Carrera 11 101-80 Bogotá, D.C.
gissic@unimilitar.edu.co
COLOMBIA

INFORMACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN O DEL PROYECTO: Los resultados presentados en el artículo son producto del proyecto de investigación: "CRS-WA (Cognitive Radio Sensor for Wireless Applications): Diseño e implementación de una plataforma hardware - Software para desarrollo de investigaciones en radio Cognitiva y redes de sensores inalámbricos." Proyecto con código ING-957 financiado por la Universidad Militar Nueva Granada y realizado por integrantes del grupo de Investigación en Seguridad y Sistemas de Comunicación GISSIC.

RECEPCIÓN: Junio 11 de 2013

ACEPTACIÓN: Octubre 31 de 2013

TEMÁTICA: Ingeniería eléctrica, electrónica, telecomunicaciones y telemática

TIPO DE ARTÍCULO: Artículo de Investigación Científica e Innovación

RESUMEN ANALÍTICO

El artículo describe la metodología empleada y los resultados obtenidos durante las pruebas de caracterización para una plataforma de radio definido por software USRP N210-WBX en un rango de frecuencias entre 50 MHz y 2200 MHz. La caracterización se orientó hacia dos pruebas específicas: una primera, diseñada para obtener la relación entre la potencia de salida respecto a la variación en la frecuencia de trabajo y una segunda prueba donde se analiza la relación entre las constantes de configuración empleadas en los software Matlab, Labview y GNU radio con la potencia entregada por la tarjeta de radio WBX. Los procesos de medición se automatizaron mediante el diseño de programas de control remoto de los instrumentos: Analizador de espectros Anritsu MS2724B, generador de radio frecuencia R&S SMB 100 y medidor de potencia de radiofrecuencia R&S NRP-Z11 utilizando las herramientas tmtool de Matlab y los controladores VISA de National Instruments.

PALABRAS CLAVES: Software Defined Radio, Universal Software Radio Peripheral (USRP), UHD, Tarjeta Hija WBX.

ANALYTICAL SUMMARY

This article describes the methodology used and the results obtained during the characterization test for a Software Defined Radio platform USRP (N210 – WBX), in a range of frequencies between 50 MHz to 2200 MHz. The characterization test was oriented toward two laboratory test: the first one was designed to obtain the relationship between the output power respect the variation of the frequency used and a second one to analyze the relationship between the configured values employed in Matlab, Labview and GNU radio software with the output power of the WBX daughterboard. The measuring processes were automatized using a remote control software to the instruments: spectrum analyzer Anritsu MS2724B, radiofrequency generator R&S SMB 100 and the RF power meter R&S NRP Z11 using the Matlab's tmtool function and VISA drivers of National Instruments.

KEYWORDS: Software Defined Radio, Universal Software Radio Peripheral (USRP), Universal Hardware Driver (UHD), Daughterboard WBX.

INTRODUCCIÓN.

La tecnología de radio definida por Software o sistema radioeléctrico determinado por programas informáticos (RDI) está definida por la Unión Internacional de Telecomunicaciones como: "Un transmisor y/o receptor radioeléctrico que utiliza una tecnología que permite fijar o modificar mediante programas informáticos los parámetros de funcionamiento de RF, incluidos, entre otros, la gama de frecuencias, el tipo de modulación o la potencia de salida, salvo los cambios de los parámetros de funcionamiento que se producen durante el funcionamiento normal preinstalado y predeterminado de un sistema radioeléctrico con arreglo a una especificación del sistema o a una norma" [1].

Entre las plataformas hardware más conocidas para el trabajo con RDI se encuentran sistemas como: WARP [2], BEE2 [3], KUAR [4] y USRP [5]. Según el estudio realizado por Pawelczak et al. [6] en la actualidad el

hardware más utilizado para investigaciones es el sistema USRP; desarrollado por la compañía Ettus Research.

Los sistemas USRP están integrados por una tarjeta madre y una o varias tarjetas hijas para transmisión o recepción que se diferencian entre sí por sus rangos de frecuencia, potencias de salida y ancho de banda. Una de las referencias es la USRP N210. Su arquitectura emplea una FPGA Spartan 3A DSP 3400, con un conversor A/D dual de 100MS/s con 14 bits y un conversor D/A dual de 400MS/s con 16 bits. Utiliza memoria SRAM de alta velocidad de 1 MB y conectividad Gigabit Ethernet que permite enviar al computador hasta 50MS/s.

Los sistemas USRP han evolucionado en los últimos años hacia la estandarización de su arquitectura, tanto en hardware como en software. El Universal Hardware Driver (UHD) ha permitido que el sistema sea compatible tanto con plataformas software de uso libre como GNU

radio, así como con Labview o Matlab en los sistemas operativos, Linux, Windows y Mac Osx.

En la evolución hacia la compatibilidad del hardware, las plataformas USRP N210 adoptaron el estándar de transporte de radio VITA-49.0 [7]. Este estándar permite empaquetar las muestras para facilitar el intercambio de datos entre bloques de radio definido por software. Tiene entre sus ventajas la posibilidad de organizar los paquetes para optimizar el *throughput*; el muestreo con referencias de tiempo que permite el trabajo con *beamforming*, *direction finding*, TDOA y otras técnicas de localización. Incluye además identificadores de *stream* (SID) que facilitan asociar los paquetes provenientes de una misma fuente de señal. Este protocolo hace que sea posible desarrollar aplicaciones software común a varias plataformas e independiente de la arquitectura o fabricante. VITA-49.0 no es el único estándar disponible, existen otros como digRF [8], SSD [9], OBSAI [10] ó CPRI [11].

Uno de los problemas comunes al iniciar el trabajo con las tarjetas hijas USRP-WBX es que el fabricante no especifica claramente detalles técnicos como el comportamiento de la potencia entregada por las tarjetas de radio en todo el rango de frecuencias de operación o los parámetros de configuración al trabajar con GNU radio, Matlab o Labview.

En el artículo se describen inicialmente algunos trabajos realizados utilizando la plataforma USRP, posteriormente se detallan las características técnicas de las tarjetas WBX; se describe la metodología empleada durante el desarrollo de un conjunto de pruebas de laboratorio, diseñadas para obtener la caracterización de potencia de la tarjeta WBX instalada en el sistema USRP N210 en un rango de frecuencia de 50 hasta 2200 MHz. Se discuten además los resultados obtenidos al realizar las pruebas de caracterización de la potencia de salida de la tarjeta WBX respecto a la variación de las constantes de configuración en los software GNU radio, Matlab y Labview.

1. APLICACIONES DE LOS SISTEMAS USRP.

Los desarrollos que utilizan los sistemas USRP son muy variados y han venido creciendo a medida que las plataformas han mejorado sus características técnicas; se describen a continuación algunos de ellos.

El sistema OpenBTS [12] fue diseñado utilizando la plataforma USRP para implementar una celda de telefonía móvil GSM que permite la comunicación entre teléfonos móviles comerciales. La administración de usuarios se hace a través de un software para PBX como Asterix [13] o Freeswitch [14]. Este sistema ha

sido utilizado como una solución de bajo costo en áreas sin cobertura de los sistemas móviles comerciales o en zonas rurales y se conocen algunas experiencias exitosas con comunidades en Papua [15], Zambia [15] y México [16]. En Colombia la universidad Pontificia Bolivaria de Medellín desarrolló un proyecto de implementación de una microcelda con OpenBTS y Asterix utilizando la plataforma USRP1 [17].

Darpa Spectrum Challenge [18] es una competición de alto nivel en la cual se enfrentan grupos de diversas universidades y organizaciones. Su objetivo es encontrar un protocolo de radio que tenga los mejores resultados en la comunicación en presencia de usuarios dinámicos o de señales interferentes. En este concurso se utilizan plataformas USRP N210.

Investigadores del laboratorio de ingeniería en telecomunicaciones en el Instituto de Tecnología de Karlsruhe (KIT) en Alemania, desarrollaron un sistema de radar OFDM [19], [20] empleando dos USRP N210 con tarjetas hijas XCVR2450 en la banda de 5 GHz. La sincronización entre transmisor y receptor se hizo a través de la interface MIMO del sistema USRP. El radar emplea antenas bocina con 18.5 dBi de ganancia y permite realizar pruebas estacionarias y en movimiento. El ancho de banda máximo alcanzado fue de 36 MHz. El software desarrollado en Matlab permite detectar objetos, medir el efecto doppler y obtener imágenes de radar con una tasa de refrescamiento de 10 Hz.

Massey et al. implementaron un sistema MIMO-OFDM [21] configurable desde un conjunto de dos hasta ocho transmisores-receptores. El sistema funciona utilizando tarjetas XCVR2450 en las bandas de 2.4 y 5 GHz. El sistema envía símbolos QPSK y utiliza un generador de funciones con una señal de reloj de 10 MHz y una señal cuadra PPS (0-5 V, 1 Hz). Los algoritmos MIMO se implementaron primero utilizando Matlab y luego se migraron a Labview mediante la función MathScript [22]. El sistema permite analizar las constelaciones tanto en transmisión como en recepción. La SNR del sistema se calcula utilizando la medida de energía de la señal durante la transmisión MIMO TDMA y la energía del ruido entre paquetes transmitidos.

Schmitz et al. en el *Institute for Theoretical Information Technology* de la Universidad de Aachen en Alemania desarrollaron un emulador de canal de bajo costo utilizando la plataforma USRP1 [23]. El sistema permite seleccionar un modelo de canal urbano, semiestocástico basado en trazado de rayos. Combina las ventajas de un modelo físico con una geometría basada en el modelo estocástico. El modelo está optimizado para la predicción de niveles de intensidad de señal.

Todas estas experiencias muestran la versatilidad de los sistemas USRP en la investigación en telecomunicaciones. La evolución hacia los *drivers* UHD, la estandarización VITA 49.0 y las bibliotecas para Matlab y Labview hacen que cada vez más la comunidad académica utilice esta plataforma en sus trabajos de investigación.

2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.

2.1 TARJETA DE RADIO WBX.

La tarjeta hija con referencia WBX, según la información suministrada por el fabricante Ettus Research [24], es un hardware desarrollado para operar en el rango de frecuencias de 50 a 2200 MHz y entregar una potencia de 100 mw o 20 dBm, con una capacidad de ancho de banda de 40 MHz. Entre las áreas de aplicación sugeridas por el fabricante para esta tarjeta se encuentran: comunicaciones móviles y terrestres, radios en bandas marítimas y de aviación, celdas de telefonía móvil, sistemas multibanda PCS y GSM, radares coherentes, redes de sensores inalámbricos, bandas de radio afición, televisión, seguridad pública y bandas ISM.

La empresa National Instruments comercializa bajo la referencia NI USRP-2920 [25], un sistema constituido por una USRP N210 junto con una tarjeta hija WBX. Sus principales características técnicas se detallan en la Tabla 1 a partir de las especificaciones encontradas en la hoja técnica.

TABLA 1. Características Sistema NI USRP 2920.

Rango de frecuencia	50MHz - 2.2 GHz
Potencia	50MHz - 1.2 GHz / 17 - 20 dBm
	1.2 GHz - 2.2 GHz / 15 - 18 dBm
Rango de ganancia de salida	25 dB
Precisión de frecuencia	50 PPM
Ancho de banda en tiempo real	20 MHz
Rango de ganancia	0 - 31 dB
DAC	400 MS/s, 16 bit
DAC SFDR	80 dB

Se observa que para el parámetro de potencia se definen dos rangos, uno entre 50 MHz hasta 1200 MHz donde su

magnitud varía entre 17 y 20 dBm y otro rango entre 1200 a 2200 MHz donde la diferencia está entre 15 a 18 dBm.

3. PRUEBAS DE CARACTERIZACIÓN.

La caracterización de la tarjeta WBX se orientó hacia dos pruebas específicas: una primera diseñada para obtener la relación entre la potencia de salida respecto a la variación en la frecuencia de trabajo y una segunda prueba donde se analiza la relación entre las constantes de configuración empleadas en los software Matlab, Labview y GNU radio con la potencia entregada por la tarjeta. Cada una de las pruebas se realizó usando dos tarjetas WBX instaladas en sistemas USRP N210 independientes. Se describe a continuación el desarrollo de cada una de las pruebas y los resultados obtenidos.

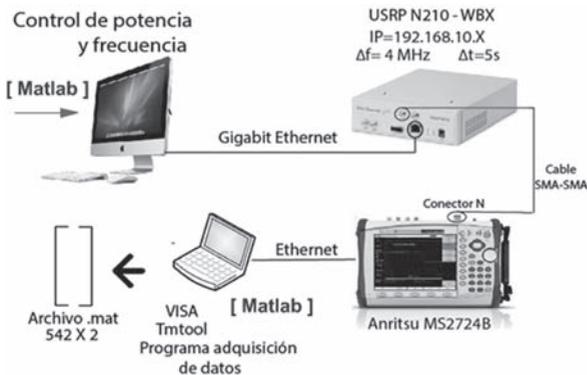
3.1 POTENCIA DE SALIDA VS FRECUENCIA.

Teniendo en cuenta la información suministrada por el fabricante, se diseñó una prueba de laboratorio con el propósito de establecer la relación existente entre la frecuencia de operación y la potencia entregada por la tarjeta WBX.

Se configuró para la USRP desde un programa desarrollado en Matlab un nivel de potencia fijo y se programó un barrido de frecuencia desde un mínimo de 50 MHz hasta un valor máximo de 2200 MHz. Se establecieron saltos de 4 MHz y un retardo de cinco segundos entre cada salto. Se ajustaron los datos obteniéndose al final un total de 542 lecturas. La potencia entregada por la tarjeta se midió empleando un analizador de espectros Anritsu MS2724B conectado mediante un cable coaxial de 50 cm SMA-SMA a la salida del sistema USRP; se empleó además un adaptador SMA-N para la conexión del cable a la entrada del analizador.

El montaje de laboratorio se puede observar en la Figura 1. Durante la prueba se utilizaron dos computadores; uno para ejecutar el programa que controla la potencia y frecuencia de la USRP y otro para obtener las lecturas registradas por el analizador de espectros. Los dos programas se desarrollaron en Matlab. Se utilizó la herramienta tmttool [26] de Matlab y los controladores VISA [27] para el diseño del programa de adquisición de datos del analizador.

FIGURA 1. Montaje prueba de caracterización de potencias vs Frecuencia para sistema USRP N210-WBX.

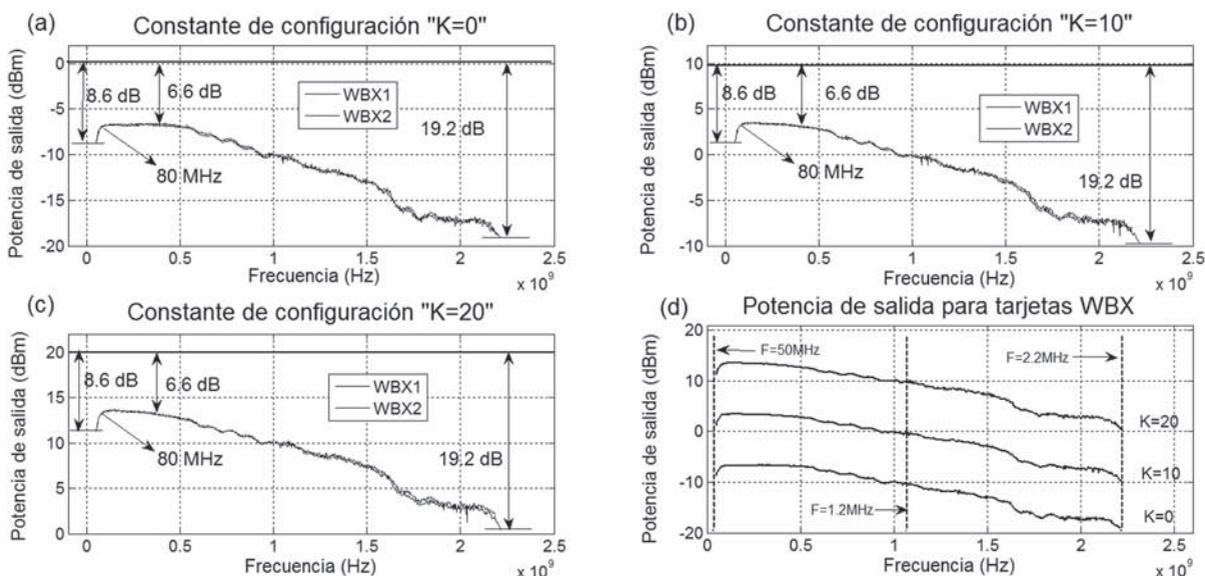


Al ejecutar los programas se registran automáticamente en una matriz los valores de frecuencia y potencia pico de la señal portadora para cada uno de los saltos de frecuencia. Los resultados finales se almacenan en un

archivo .mat. El barrido de frecuencia se realizó para tres magnitudes de potencia configuradas en el controlador UHD de Matlab con constantes de configuración 0, 10 y 20. La Figura 2 muestra los resultados de las pruebas para constantes de configuración (K) de 0, 10 y 20 para las dos tarjetas WBX1 y WBX2 empleadas en las pruebas. Los resultados se presentan de forma independiente en (a), (b) y (c) y el promedio calculado para las dos tarjetas WBX en los tres niveles de potencia en (d).

En cada una de las figuras se puede identificar una primera región entre los 50 y 80 MHz donde hay un rápido cambio en la magnitud de la potencia de salida; con una diferencia inicial de 8.6 dB entre el valor configurado por software y el valor obtenido a la salida del radio. Posteriormente el nivel de potencia disminuye hasta llegar a un valor de 6.6 dB que permanece estable entre los 80 y los 500 MHz. Después de los 500 MHz se observa un decremento en la magnitud de la potencia de salida a medida que aumenta la frecuencia hasta llegar a una diferencia de 19.2 dB para el valor máximo de frecuencia.

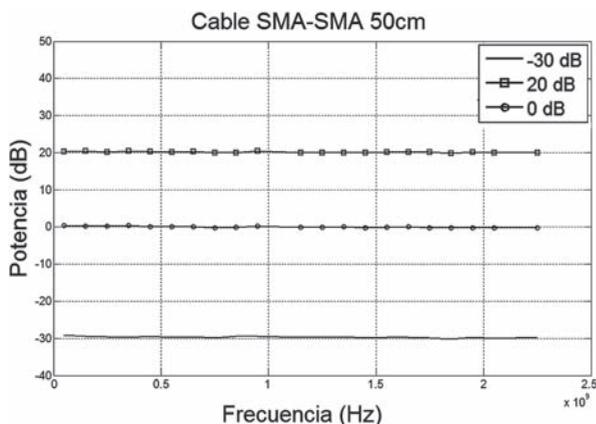
FIGURA 2. Resultados de la caracterización de la tarjeta WBX entre 50 MHz y 2200 MHz.



El comportamiento obtenido es igual al repetir la prueba en otra tarjeta de la misma referencia, como se muestra en cada una de las figuras.

Se realizó además una caracterización del cable coaxial para analizar los efectos de las pérdidas de la línea de transmisión en el rango de frecuencias de la tarjeta

WBX. Se automatizó la medida mediante un programa en Matlab que controla el barrido en frecuencia de un generador R&S SMB 100 en un rango de 50 a 2200 MHz con saltos de frecuencia de 100 MHz, para potencias de -30, 0 y 20 dBm. La Tabla 2 muestra los resultados de esta prueba y la Figura 3 el resultado de la caracterización del cable.

FIGURA 3. Caracterización del Cable SMA–SMA.

Como se puede observar, las pérdidas en el cable no presentan variaciones importantes al cambiar la frecuencia de trabajo, por lo tanto las variaciones de la potencia de salida de las tarjetas WBX son independientes del cable utilizado durante la medición y se pueden atribuir al diseño de la tarjeta WBX.

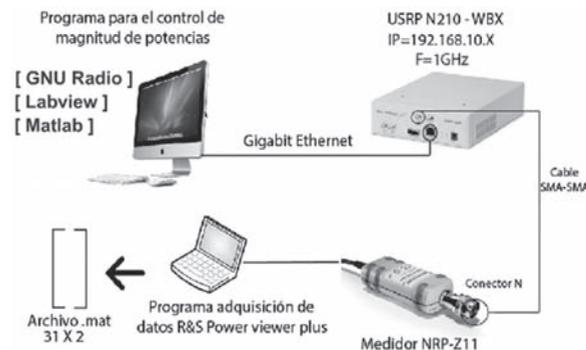
TABLA 2. Pérdidas del Cable.

Potencia	Promedio	Desviación estándar
0 dBm	0.145 dB	0,2008 dB
20 dBm	0.1281 dB	0,1754 dB
-30 dBm	0.3026 dB	0,2411 dB

3.2 POTENCIA DE SALIDA VS CONSTANTES DE CONFIGURACIÓN.

Para el desarrollo de aplicaciones con el sistema USRP N210 se pueden emplear tres opciones de software: GNU radio, Matlab o Labview. Con cada uno de ellos es necesario instalar un *firmware* específico y configurar adecuadamente los parámetros de transmisión o recepción. Se describen a continuación las pruebas realizadas a una frecuencia de 1 GHz variando las constantes de magnitud de potencia entre el valor mínimo 0 y el valor máximo 30 en cada uno de los software. En esta prueba se empleó un computador IMac donde se instalaron dos máquinas virtuales sobre VMware Fusion [28]; una con Windows 7 home Premium de 32 bits y memoria RAM de 1GB y la segunda con Ubuntu 12.04. En Windows se instaló Matlab 2012.a y Labview 2012, en Ubuntu se instaló la versión 3.6.2 de Gnu Radio. La potencia entregada por el sistema USRP N210-WBX se mide en la salida RF1 mediante un medidor de potencia NRP-Z11 conectado mediante un cable SMA-SMA y un adaptador SMA-N. El software Power Viewer Plus permite tomar las lecturas para

cada uno de los incrementos de magnitud. El montaje realizado para las pruebas se puede ver en la Figura 4.

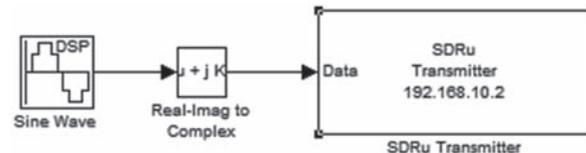
FIGURA 4. Montaje para prueba de potencias de salida vs constantes de configuración.

Se describen a continuación los programas para el control de la magnitud de potencia en el radio USRP N210-WBX desarrollados en Matlab, Labview y GNU radio.

3.2.1 Prueba realizada con Matlab.

Matlab permite la comunicación con el hardware USRP mediante el *driver* UHD [29]. En la Tabla 3 se describen brevemente las funciones y los objetos del sistema disponibles al instalar la biblioteca SDRu en la versión 3.0.1.

Los ajustes de frecuencia y potencia de transmisión se realizan modificando los parámetros del objeto `comm.SDRuTransmitter`; donde además se especifica la dirección IP, la interpolación y la decimación del sistema. Durante la prueba se ajustaron los parámetros de la siguiente forma: `IPAddress=192.168.10.2`, `CenterFrequency=1e9`, `InterpolationFactor=500`. La ganancia se ajustó mediante el parámetro `Gain` entre 0 y 30. Otra de las alternativas para el control desde Matlab es el empleo de los bloques de Simulink; la Figura 5 muestra un ejemplo de transmisor básico.

FIGURA 5. Transmisor básico en Simulink.

En el bloque *SDRu Transmitter* se configuran todos los parámetros necesarios para la comunicación con el hardware USRP. La biblioteca de bloques está agrupada en *sdrulib*.

TABLA 3. Opciones de la biblioteca SDRu.

Funciones	
setupsdru	Inicializa el <i>driver</i> UHD en Matlab.
findsdru	Busca los dispositivos USRP conectados al host del computador.
compilesdru	Compila las funciones de Matlab para el uso de la USRP.
setuptargetsdru	Descarga el código de la interfaz FPGA.
Objetos del sistema	
comm.SDRuTransmitter	Envía datos hacia el hardware USRP. Permite la configuración de la frecuencia, ganancia, interpolación, decimación entre otros.
comm.SDRuReceiver	Recibe datos de la USRP. Permite configurar valores de frecuencia de muestreo, ganancia, tipo de datos, entre otros.
Bloques	
sdrulib	Biblioteca de bloques para el sistema USRP

3.2.2 Prueba realizada con LabView.

El trabajo con Labview requiere de la instalación del driver niUSRP. Durante la prueba se utilizó la versión 1.2. Este driver contiene los bloques para la comunicación con el hardware, necesarios para implementación del programa de control de la magnitud de la potencia. La Figura 6 muestra el bloque funcional desarrollado. Para la realización de las pruebas de laboratorio fue necesario además, actualizar el firmware de la USRP, ya que el utilizado con Matlab no funciona para el software Labview. Se empleó para esta tarea la herramienta niUSRPConfigurationUtility. La Tabla 4 presenta la descripción de los bloques utilizados en el programa de transmisión implementado para la prueba.

Los parámetros se ajustaron de la siguiente forma: IQ rate=1M, Carrierfrequency=1G, Active antenna=TX1. El parámetro Gain se ajustó durante la prueba entre 0 y 31. El montaje utilizado para la prueba es igual al utilizando durante las pruebas con Matlab.

FIGURA 6. Bloque funcional implementando en Labview para el control de la magnitud de la potencia de transmisión a 1 GHz.

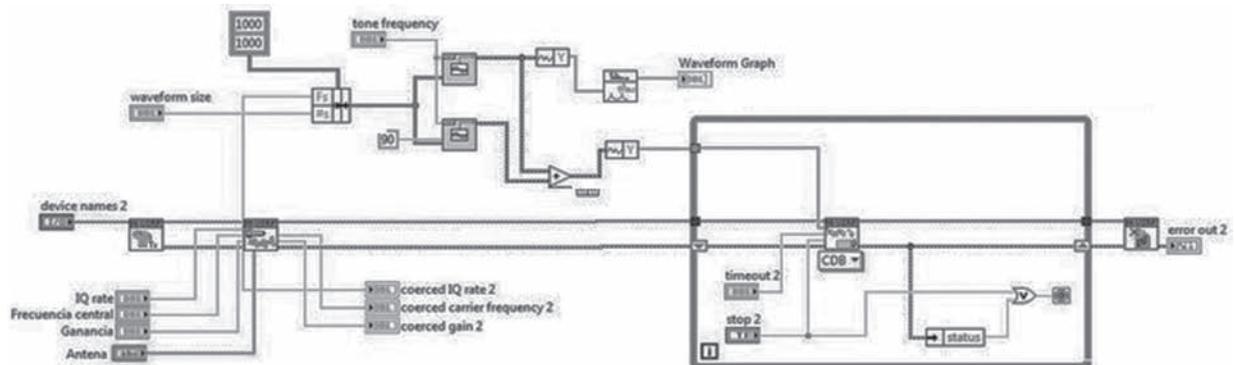


TABLA 4. Bloques de configuración en Labview.

Archivo .vi	Descripción
niUSRP Configure Signal.vi	Permite la configuración de los parámetros de la señal como: IQ rate, carrierfrequency, gain y active antenna.
niUSRP Open Tx Session.vi	Abre una sesión de Tx al dispositivo que se especifica. Se utiliza para identificar la sesión del instrumento en todos los dispositivos posteriores NI-USRP VIs.
niUSRP Write Tx Data (poly).vi	Escribe los datos en la lista de canales especificados. Los datos son complejos, de doble precisión y punto flotante.
niUSRPClose Session.vi	Cierra las sesiones de los dispositivos utilizados.

3.2.3 Gnu Radio.

El software GNU radio [30] permite el control de hardware USRP mediante programación de funciones en lenguaje Python o mediante la interconexión de bloques disponibles dentro de sus bibliotecas. Entre ellas se encuentran bloques para interconexión con el hardware, visualización de señales en el tiempo y la frecuencia, conversión de formatos, filtros digitales, moduladores, control de errores, códigos de línea, FFT, OFDM, diagramas de ojo, histogramas, constelaciones, espectrogramas, etc.

Además incluye operaciones como cálculo de complejo conjugado, logaritmos y operaciones lógicas.

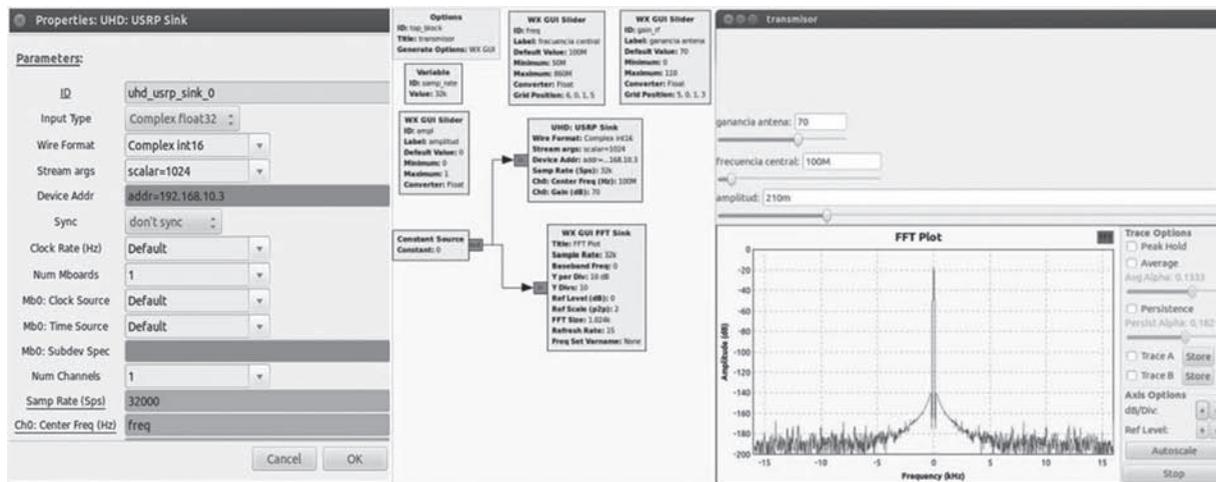
El diagrama de bloques que permite el control de la magnitud de la potencia de transmisión diseñado para la prueba con GNU Radio se puede ver en la Figura 7. Se utiliza el bloque *USRP Sink* que hace parte de la biblioteca UHD y se configuran parámetros como: *Device Address*, *Clock Rate*, *Sample Rate*, *Center Frequency* e *Input*

Type. Estos valores se pueden asignar y/o modificar cambiándolos manualmente o relacionándolos con controles externos tales como barras deslizables o cajas de texto. El detalle de las propiedades del bloque *USRP Sink* y la visualización de la señal de 1 GHz mediante el bloque *WX GUI FFT Sink*, también se presenta en la Figura 7. El sistema considera parámetros variables para el control de la ganancia de la antena, frecuencia central y amplitud. Estos valores se modifican mediante controles deslizables configurados mediante los bloques *WX GUI Slider*.

Para el control de la magnitud de la potencia se interconectó el bloque USRP Sink con un bloque *Constant Source* donde se ajusta el valor de la magnitud. Los tipos de datos que puede generar este bloque son *Complex*, *Float*, *Int* y *Short*.

Una de la ventajas de GNU radio es que permite hacer modificaciones a los parámetros de frecuencia y potencia sin tener que detener el programa, como sucede con Matlab o Labview.

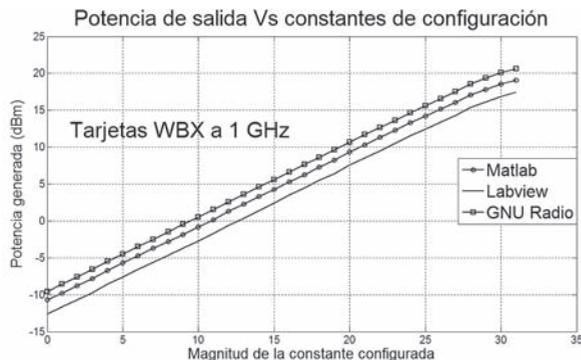
FIGURA 7. Diagrama desarrollado para el control de la magnitud de potencia de transmisión a 1 GHz.



3.2.4 Resultados de las pruebas de caracterización de la potencia de salida vs constantes de configuración.

La Figura 8 muestra los resultados obtenidos al medir la potencia de salida del sistema USRP N210-WBX transmitiendo una señal de 1 GHz y variando la constante de configuración entre 0 y 30 utilizando los

programas desarrollados en Matlab, Labview y GNU radio. Como se puede ver, existe una relación lineal entre la potencia y la constante fijada en el software. Al configurar una magnitud igual en cada uno de los programas, se obtiene una potencia de salida diferente en cada caso. Esta tendencia se mantiene en todo el rango de constantes de configuración entre 0 y 30.

FIGURA 8. Resultados de las pruebas de caracterización: Potencia de salida vs Constantes de configuración.

Teniendo en cuenta los resultados de las mediciones, se encuentra que la diferencia entre las potencias generadas por la tarjeta WBX utilizando Labview y GNU radio configurando una constante igual en cada uno de los software es de 3 dB. Para el caso de Matlab y Labview, la diferencia es de 1.8 dB. La diferencia más pequeña, de 1.2 dB, se obtiene entre GNU radio y Matlab.

Estos resultados son coherentes con los obtenidos en la prueba de caracterización de potencia vs frecuencia que se observan en Figura 2. Al analizar los valores de potencia entregados por la tarjeta WBX para la frecuencia de 1 GHz y una constante de configuración en Matlab de 0, se obtiene una magnitud cercana a -10 dBm. Al cambiar la constante a 10, la potencia llega a 0 dBm y al aumentar la constante a 20 la potencia alcanza aproximadamente 10 dBm.

Aplicando el método de mínimos cuadrados al conjunto de datos se encontraron las expresiones presentadas en la Tabla 5. La constante de configuración K toma valores entre 0 y 30.

TABLA 5. Expresiones para cálculo de potencias de salida.

Software	Potencias de salida en dBm
Matlab	$P_{out} = 0.9864 * (K) - 10.618$
Labview	$P_{out} = 0.9935 * (K) - 12.546$
GNU	$P_{out} = 0.9959 * (K) - 9.4203$

4. CONCLUSIONES.

La plataforma USRP N210-WBX es un sistema de desarrollo flexible que permite la implementación de

tecnologías de radiocomunicación tanto en transmisión como en recepción, permitiendo ajustar los parámetros de frecuencia en un rango de trabajo que va desde 50 MHz a 2200 MHz y de potencia desde aproximadamente -10 dBm a 20 dBm.

De acuerdo a las pruebas de laboratorio realizadas fue posible establecer que los valores de potencia de salida del sistema USRP N210-WBX cambian a medida que varía la frecuencia de trabajo. Los resultados se presentan en las curvas características de la Figura 2. Mediante estas curvas es posible inferir la magnitud de la potencia de salida, expresada en dBm, que se obtiene cuando se selecciona una frecuencia entre 50MHz y 2200 MHz.

Como resultado de la caracterización de potencia de salida respecto a la magnitud de la constante de configuración de los software Matlab, Labview y GNU radio; se encontró que existe una relación lineal entre la magnitud de la potencia de salida del sistema USRP N210-WBX y las constantes de configuración empleadas en cada software. Se estableció que la diferencia en magnitud entre GNU radio y Labview es de 3dB, entre Matlab y Labview 1.8 dB y GNU radio comparado con Matlab de 1.2dB.

A partir de las medidas logradas en el laboratorio se proponen tres ecuaciones, una para cada uno de los software de trabajo (Matlab, Labview y GNU radio) mediante las cuales es posible calcular la potencia de salida, expresada en dBm, para un sistema USRP N210-WBX cuando se emplea una constante de configuración entre 0 y 31.

5. REFERENCIAS.

- [1] Union Internacional de Telecomunicaciones. (Septiembre de 2009). Definiciones de sistema radioeléctrico determinado por programas informáticos (RDI) y sistema radioeléctrico cognoscitivo. Informe UIT-R SM.2152. Serie SM Gestión de espectro. Ginebra, Suiza.
- [2] WARP. (2006). *About – WARP Project - Wireless Open-Access Research Platform*. Recuperado (2013, Julio 18) de <http://warp.rice.edu/trac/wiki/about/>.
- [3] Wawrzynek, J., & Brodersen, R.W. (2005). BEE2 A High-End Reconfigurable Computing System. *IEEE Design and Test of Computers*, 22(2), 114–125. ISSN 0740-7475.

- [4] Minden, G.J., Evans, J.B., Searl, L., DePardo, D., Petty, V.R., Rajbanshi, R., Newman, T., Chen, Q., Weidling, F., Guffey, J., Datla, D., Barker, B., Peck, M., Cordill, B., Wyglinski, A.M., & Agah, A. (2007). KUAR: A Flexible Software-Defined Radio Development Platform. *2nd IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks*, 4, 428–439. ISBN 1-4244-0663-3
- [5] Ettus Research. About Ettus Research. Recuperado (2013, Julio 19) de <http://www.ettus.com/home>
- [6] Pawelczak, P., Angeles, L., Nolan, K., Doyle, L., Oh, S.W., & Cabric, D. (2011). Cognitive Radio : Ten Years of Experimentation and Development. *IEEE Communications Magazine*, 3, 90–100. ISSN 0163-6804.
- [7] Normoyle, R. (2008). *VITA 49 enhances capabilities and interoperability for transporting SDR data - VITA Technologies*. Recuperado (2013, Julio 19) de <http://vita-technologies.com/articles/vita-enhances-capabilities-interoperability-transporting-sdr-data/>.
- [8] Mipi alliance. (2013). *DigRF(SM) Working Group / MIPI Alliance*. Recuperado (2013, Julio 29) de <http://www.mipi.org/working-groups/digrfsm-working-group/>.
- [9] Apogee. *FPGA IP Cores | Apogee Applied Research, Inc.* Recuperado (2013, Julio 29) de <http://www.apogee-ar.com/fpga-ip-cores/>.
- [10] OBSAI. (2002). *Welcome to OBSAI*. Recuperado (2013, Julio 29) de <http://www.obsai.com/>.
- [11] CPRI. (2009). *Common Public Radio Interface*. Recuperado (2013, Julio 29) de <http://www.cpri.info/>.
- [12] OpenBTS. (2013). What is *OpenBTS* ?. Recuperado (2013, Julio 19) de <http://openbts.org/>.
- [13] Asterisk. (2013). *Asterisk custom communications - PBX, VoIP gateways, IVRs and more*. Recuperado (2013, Julio 29) de <http://www.asterisk.org/>.
- [14] FreeSWITCH. (2013). *FreeSWITCH / Communication Consolidation*. Recuperado (2013, Julio 29) de <http://www.freeswitch.org/>.
- [15] Shaddi, (2012). *Deploying the Village Base Station in Papua | Technology and Infrastructure for Emerging Regions*. Recuperado (2013, Julio 19) de <http://tier.cs.berkeley.edu/drupal/deploying-the-village-base-station-in-papua>.
- [16] Rhizomatica. (2013). *First site up and running*. Recuperado (2013, Julio 19) de <http://rhizomatica.org/2013/03/12/first-site-up-and-running/>.
- [17] Vásquez, J.D., Santa, I.F., & Restrepo, J. (2012). Prototipo de una Estación Celular Portátil para Atención de Emergencias. Tesis de trabajo de grado no publicada. Universidad pontifica bolivariana, Medellín, Colombia.
- [18] DARPA. (2013). *Spectrum Challenge*. Recuperado (2013, Julio 19) de <http://dtsn.darpa.mil/spectrumchallenge/Default.aspx/>.
- [19] Fuhr, M., Braun, M., Sturm, C., Reichardt, L., & Jondral, F.K. (2011). An SDR-based Experimental Setup for OFDM-based Radar. *Communications Engineering Lab. Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Alemania*.
- [20] Braun, M., Marcus, M., Fuhr, M., & Jondral, F.K. (2012) A USRP-based Testbed for OFDM-based Radar and Communication Systems. *Communications Engineering Lab. Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Alemania*.
- [21] Massey, J.W., Starr, J., Lee, S., Lee, D., Gerstlauer, A., & Jr, R.W.H. (2012). Implementation of a Real-Time Wireless Interference Alignment Network. *Signals, Systems and Computers (ASILOMAR), 2012 Conference Record of the Forty Sixth Asilomar Conference on. 4-7 Nov del 2012 (P 104–108)*. ISBN: 978-1-4673-5050-1.
- [22] National Instruments (2013). Módulo NI LabVIEW MathScript RT. Recuperado (2013, Agosto 1) de <http://www.ni.com/labview/mathscript/esa/>
- [23] Wireless Innovation Forum (2013). *SDR-WinnComm-Europe 2013 and 76th Technical Interchange Meeting : Europe Papers and Tutorials - Wednesday*. Recuperado (2013, Agosto 1) de http://groups.winnforum.org/Europe_2013_Wednesday/.
- [24] Ettus Research. (2013). *Product Detail WBX*. Recuperado (2013, Julio 18) de <https://www.ettus.com/product/details/WBX/>

- [25] National Instruments. (2013). *NI USRP-2920*. Recuperado (2013, Julio 18) de <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/209948/>.
- [26] Mathworks. (2012). *Open Test & Measurement Tool - MATLAB tmtool*. Recuperado (2013, Julio 29) de <http://www.mathworks.com/help/instrument/tmtool.html>.
- [27] National Instruments. (2012). *NI-VISA Support*. Recuperado (2013, Julio 29) de <http://sine.ni.com/psp/app/doc/p/id/psp-411/lang/es/>.
- [28] VMware Fusion. (2012). *Run Windows on Mac, Virtualization for Mac Lion*. Recuperado (2013, Agosto 1) de <http://www.vmware.com/products/fusion/overview.html/>.
- [29] Mathworks. (2013). *USRP Support from MATLAB and Simulink - Hardware Support*. Recuperado (2013, Julio 31) de <http://www.mathworks.com/hardware-support/usrp.html/>.
- [30] GNU Radio. (2011). *WikiStart - gnuradio.org*. Recuperado (2013, Agosto 1) de <http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki/>.