

**CARACTERIZACIÓN DEL MÓDULO GPSDO (OCXO) USANDO EL USRP X310
PARA APLICACIONES DE RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE**

YAMITH ARBEY BECERRA CHAVES

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA
Y TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2016

**CARACTERIZACIÓN DEL MÓDULO GPSDO (OCXO) USANDO EL USRP X310
PARA APLICACIONES DE RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE**

YAMITH ARBEY BECERRA CHAVES

Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Electrónico

Director.

Dr.-Ing. ÓSCAR MAURICIO REYES TORRES

Codirector.

Ing. EFRÉN ACEVEDO CÁRDENAS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA
Y TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2016

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
1. FUNCIONAMIENTO DEL USRP X310	16
1.2 DESCRIPCION DEL KIT USRP X310	17
1.3 GUÍA PARA PUESTA EN MARCHA DEL USRP X310	20
2. CARACTERIZACIÓN DE LA RESPUESTA EN FRECUENCIA.....	21
2.1 PRUEBAS DE RECEPCIÓN.....	23
2.2 PRUEBAS DE TRANSMISIÓN	27
3. DISEÑO DE BLOQUE GPS EN GNURADIO.....	33
3.1 MÓDULO GPSDO (OCXO)	33
3.2 DESCRIPCION DE BLOQUE GPS EN GNURADIO	34
4. PRUEBAS DEL MODULO GPSDO (OCXO)	40
4.1 SITIO 1: LABORATORIO ALTA TENSIÓN	42
4.2 SITIO 2: EDIFICIO INGENIERÍA ELÉCTRICA	44
4.3 SITIO 3: EDIFICIO GAUDÍ.....	47
4.4 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS	49
5. CONCLUSIONES	52
6. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES.....	55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57

BIBLIOGRAFIA.....59

ANEXOS.....61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de bloques funcionales de SDR.....	16
Figura 2. KIT USRP X310.....	18
Figura 3. USRP X310, Accesorios y Tarjetas Hijas	20
Figura 4. Pérdidas en el cable	22
Figura 5. Prueba de recepción.	23
Figura 6. Diagrama para la recepción de señales.	24
Figura 7. Parámetros de bloques en la recepción.	24
Figura 8. Prueba recepción en tarjeta SBX	25
Figura 9. Prueba recepción en tarjeta CBX	25
Figura 10. Prueba recepción en tarjeta WBX.	25
Figura 11. Prueba de transmisión.	28
Figura 12. Diagrama para la transmisión de señales.	28
Figura 13. Parámetros de bloques en la transmisión.	29
Figura 14. Prueba transmisión en tarjeta SBX	30
Figura 15. Prueba transmisión en tarjeta CBX	30
Figura 16. Prueba transmisión en tarjeta WBX	30
Figura 17. Módulo GPSDO (OCXO).....	34
Figura 18. Código Python.....	37
Figura 19. Código xml.	38
Figura 20. Interfaz de GNU Radio. Bloque GPS en ejecución.	39
Figura 21. Antena GPS activa.	41
Figura 22. Pruebas en GPS en el sitio 1.	42
Figura 23. Plano segundo piso (LAT).....	43
Figura 24. Mapa Satelital. Sitio1 - Ubicación 1.....	44
Figura 25. Mapa Satelital. Sitio 1 - Ubicación 2.....	44
Figura 26. Pruebas del GPS en el sitio 2.	45
Figura 27. Plano quinto piso (IE).	45

Figura 28.	Mapa Satelital. Sitio 2 - Ubicación 1.....	46
Figura 29.	Mapa Satelital. Sitio 2 - Ubicación 2.....	46
Figura 30.	Pruebas del GPS en el sitio 3	47
Figura 31.	Plano Terraza. Edificio Gaudí	47
Figura 32.	Mapa Satelital. Sitio 3 - Ubicación 1.....	48
Figura 33.	Mapa Satelital. Sitio 3 - Ubicación 2.....	48
Figura 34.	Distancia con lecturas del GPSDO.....	50
Figura 35.	Distancia con lecturas del celular	50

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Especificaciones USRP X310.	19
Tabla 2.	Rango de frecuencias de tarjetas hijas.....	21
Tabla 3.	Perdidas en el cable	22
Tabla 4.	Variación máxima de potencia recibida	26
Tabla 5.	Atenuación relativa entre curvas de recepción para diferentes potencias del generador	26
Tabla 6.	Diferencia entre valores máximos y mínimos.	31
Tabla 7.	Ganancia relativa entre curvas.....	31
Tabla 8.	Lugares donde se realizaron pruebas.	40
Tabla 9.	Especificaciones antena activa.....	41
Tabla 10.	Coordenadas sitio 1.	43
Tabla 11.	Coordenadas sitio 2.....	46
Tabla 12.	Coordenadas sitio 3.....	48
Tabla 13.	Distancia entre las ubicaciones de cada sitio.....	50

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A GUIA PARA PONER EN FUNCIONAMIENTO EL USRP X310.....	61
ANEXO B. PRACTICA DE LABORATORIO	76

RESUMEN

TÍTULO: CARACTERIZACIÓN DEL MÓDULO GPSDO (OCXO) USANDO EL USRP X310 PARA APLICACIONES DE RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE .

AUTOR: YAMITH ARBEY BECERRA CHAVES

PALABRAS CLAVES: Radio Definido por Software (SDR), Sistema de Posicionamiento Global (GPS), GNU Radio, Universal Software Radio (USRP).

DESCRIPCIÓN:

En este trabajo, se estudiaron y pusieron en funcionamiento equipos adquiridos recientemente por la E3T, basados en el concepto de Radio Definida por Software (SDR), y con los cuales aún no se ha trabajado en la Universidad Industrial de Santander. Estos equipos son el USRP X310, módulo GPSDO (OCXO), así como las tarjetas hijas CBX, WBX y SBX.

Para trabajar con estos equipos se utiliza la plataforma de software libre GNU Radio que junto con dispositivos USRP (Universal Software Radio Peripheral) integran un sistema SDR. GNU Radio permite la realización de diferentes sistemas de comunicación mediante la interconexión de bloques a través de una interfaz gráfica.

Se diseña e implementa un bloque en GNU Radio que permite poner en funcionamiento el módulo GPSDO (OCXO) sobre el USRP X310. Este bloque determina la localización del radio en el planeta haciendo uso del Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

Se realizan pruebas para comparar el funcionamiento del módulo GPSDO (OCXO) con el de receptor GPS de un teléfono celular. Se definieron tres ubicaciones diferentes para realizar las pruebas y se comprobó la localización de cada una mediante Google Maps.

Se realizan pruebas de caracterización de la respuesta en frecuencia del USRP X310 usando las tarjetas CBX, SBX y WBX. Estas pruebas se realizaron tanto en recepción como en transmisión presentando los resultados obtenidos en cada una.

Finamente se presenta una guía detallada para el montaje, instalación, configuración y puesta en funcionamiento del USRP X310 empleando GNU Radio. Adicionalmente se presenta una práctica de laboratorio en la que explica la instalación del bloque creado en GNU Radio y puesta en marcha del módulo GPSDO (OCXO) sobre el USRP X310.

¹Trabajo de Grado.

²Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, Director Dr.-Ing. Oscar Mauricio Reyes Torres, Codirector Ing. Efrén Acevedo Cárdenas.

ABSTRACT

TITLE: CHARACTERIZATION OF A BOARD MOUNTED GPSDO (OCXO) USING THE USRP X310 FOR APPLICATIONS IN SOFTWARE DEFINED RADIO[†].

AUTHOR: YAMITH ARBEY BECERRA CHAVES

KEY WORDS: Software Defined Radio (SDR), Global Positioning System (GPS), GNU Radio, Universal Software Radio Peripheral (USRP).

DESCRIPTION:

This project involves the study and functionality of electronic devices recently acquired by the E3T. It is based on the concept of Software Defined Radio (SDR), using some specific devices that have never been used in the *Universidad Industrial de Santander* (Industrial university of Santander). These electronic devices are the USRP X310, board mounted GPSDO (OCXO), as well as CBX, WBX and SBX daughterboards.

The use of the free software platform GNU Radio together with USRP (Universal Software Radio Peripheral) devices corresponds to a SDR system. In this way, GNU Radio allows the realization of different communication systems by interconnecting blocks through a graphical interface.

A block in GNU Radio was designed and implemented to operate the board mounted GPSDO (OCXO) on the USRP X310. This block acquires the location of the radio on the planet using Global Positioning System (GPS).

Tests were conducted in order to compare the performance of board mounted GPSDO (OCXO) with the one of a mobile phone GPS receiver. Three different sites were defined for testing purposes. As a result, the location of each one was found by using Google Maps Web-based service.

Characterization tests on the response frequency USRP X310 were performed using CBX, SBX and WBX daughterboards. The corresponding tests were conducted using the radio as a receiver as well as a transmitter.

Finally, a detailed guide is presented in order to illustrate the assembly, installation, configuration and operation of the USRP X310 using GNU Radio. In addition, there is a laboratory practice explaining the installation of the block created in GNU Radio and the operation of board mounted GPSDO (OCXO) on the USRP X310.

[†] Degree Project.

^{**} Faculty of Physical-Mechanical Engineering, School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering, Director Dr.-Eng. Oscar Mauricio Reyes Torres, Codirector Eng. Efrén Acevedo Cárdenas.

INTRODUCCIÓN

Radio definida por software - SDR (del inglés *Software Defined Radio*) es una técnica de radiocomunicaciones, la cual se compone de una parte en hardware y otra en software. Su funcionalidad se define en el software con el fin de poder usar el mismo hardware para diferentes aplicaciones.

Los USRP (*Universal Software Radio Peripheral*), son periféricos diseñados específicamente para la implementación de sistemas basados en el concepto de SDR (Ettus Research), que desde su creación han ido evolucionando hasta tener hoy en día en el mercado una gran variedad de familias de esta clase de periféricos (Instruments) (Research, Ettus Research). Estos radios pueden ser usados para diferentes aplicaciones que van desde educación hasta investigación. Algunas de estas aplicaciones usan módulos adicionales para su funcionamiento como el caso del GPSDO (OCXO) que es un módulo GPS compatible con el USRP X310 (Ettus Research) y con el cual se trabaja particularmente en este proyecto.

En la actualidad la E3T cuenta con diferentes equipos compatibles con SDR, como lo son: USRP1, USRP N2920, USRP E310 y USRP X310, tarjetas hijas de referencia RFX2400, WBX, CBX, SBX, el módulo GPSDO (OCXO), así como diferentes antenas. Hasta el momento en la Universidad Industrial de Santander se han desarrollado sólo dos trabajos de grado basados en la técnica SDR (Suárez Javier, 2012) (Gómez A. , 2015), en los cuales únicamente se ha utilizado el USRP1, las tarjetas hijas de referencia RFX2400 y algunas antenas.

El presente proyecto usa equipos presentes en la E3T y explora su funcionamiento para el desarrollo potencial de aplicaciones basadas en la técnica SDR, teniendo en cuenta que, particularmente, aún no se ha trabajado con los equipos más

recientes adquiridos por la E3T como lo son el USRP X310 y módulo GPSDO (OCXO).

Haciendo uso del sistema de posicionamiento global (GPS) se puede conocer la posición del radio en el planeta tierra. Actualmente el sistema GPS es muy usado en diferentes aplicaciones (Kaplan & Hegarty, 1996), de manera que estudiarlo y tener un equipo reconfigurable que haga uso del mismo, constituye un hito importante para el grupo de investigación en Conectividad y Procesamiento de Señales – CPS, con el fin de fomentar el desarrollo de futuras aplicaciones y el trabajo en esta línea de investigación en la Universidad Industrial de Santander. De esta manera, el objetivo de este trabajo es caracterizar el funcionamiento de un módulo GPS compatible con un sistema de radio definido por software, poniendo en funcionamiento el módulo GPSDO sobre el USRP X310.

En este trabajo se pone en marcha el USRP X310 y el módulo GPSDO (OCXO), realizando pruebas de caracterización de la respuesta en frecuencia a las tarjetas CBX, WBX y SBX compatibles con el USRP X310. Además, se diseña e implementa un bloque en GNU Radio que permite hacer uso del módulo GPSDO y se presenta material a manera de guías de laboratorio para la transferencia de conocimiento. Lo anterior se encuentra organizado en este libro en seis capítulos. En el primer capítulo, se hace una descripción sobre el kit USRP X310, que se complementa con el Anexo A, el cual es una guía que explica de forma detallada el montaje, instalación, configuración y puesta en funcionamiento del radio X310 empleando GNU Radio.

En el segundo capítulo, se presentan pruebas de caracterización de la respuesta en frecuencia del USRP X310 usando las tarjetas hijas CBX, SBX y WBX. Se realizaron pruebas tanto en transmisión como en recepción y se presentan los resultados.

En el tercer capítulo, se hace una corta descripción sobre el módulo GPSDO (OCXO) y se presenta el diseño e implementación del bloque en GNU Radio que permite hacer uso de este módulo, para mostrar la posición del radio en el planeta. También se presenta una práctica de laboratorio donde se describe el proceso de instalación del bloque en GNU Radio y se pone en funcionamiento el módulo GPSDO (OCXO) sobre USRP X310. Esta práctica de laboratorio se encuentra en el Anexo B.

En el cuarto capítulo, se presentan las pruebas del GPS que se realizaron al poner el módulo y el bloque en funcionamiento. Se definieron tres (3) ubicaciones diferentes para realizar mediciones y comprobar la localización del radio en el planeta.

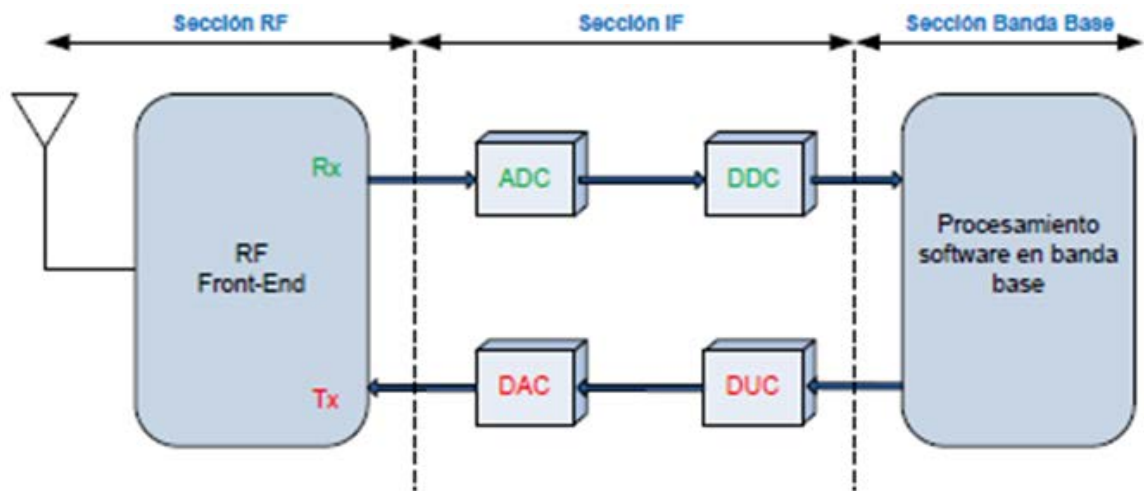
En el quinto capítulo, se presentan las conclusiones, verificando el cumplimiento de los objetivos establecidos en el plan del trabajo de grado. Finalmente, en el capítulo seis se hacen algunas observaciones y recomendaciones para quienes estén interesados en seguir trabajando con equipos basados en SDR.

1. FUNCIONAMIENTO DEL USRP X310

Radio definido por software (SDR), es una tecnología que reúne hardware y software para llevar a cabo la implementación de sistemas de radiocomunicación, de modo que se puedan recibir y transmitir señales de radio mediante hardware, y realizar el procesamiento banda base de la señal en el software (Pinar Iván, 2011).

En la figura 1 se ilustran los tres componentes fundamentales que integran un sistema basado en SDR.

Figura 1. Diagrama de bloques funcionales de SDR.



Fuente: (Pinar Iván, 2011)

A continuación, se describen los tres componentes fundamentales que integran un sistema basado SDR:

- 1) Sección de radiofrecuencia (RF): es implementada en hardware y es la que se encarga de transmitir y recibir las señales de radiofrecuencia. En la

recepción convierte las señales de radio en frecuencia intermedia y en la transmisión amplifica o modula las señales de IF (Pinar Iván, 2011).

- 2) Sección de frecuencia intermedia (IF): es implementada en hardware y se encarga de hacer la conversión de la señal analógica a digital mediante un DAC, y en la transmisión de convertir la señal digital en analógica, en ambos casos pasando la frecuencia al rango adecuado, ya sea de IF a banda base en el caso de recepción mediante un *Digital Down Converter* (DDC) y de banda base a IF en la transmisión haciendo uso de un *Digital Up Converter* (DUC) (Pinar Iván, 2011).
- 3) Sección de banda base: este proceso se realiza en un software, el cual está capacitado para realizar el procesamiento digital en banda base de la señal (Pinar Iván, 2011).

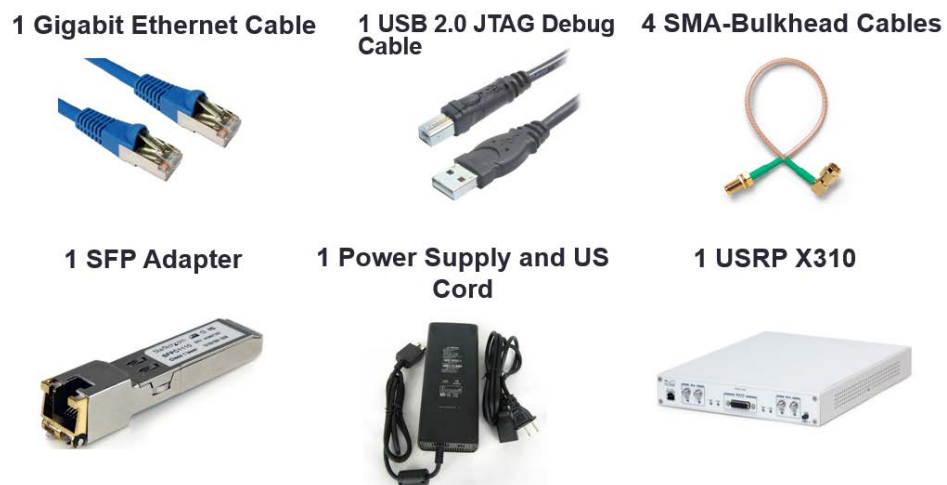
El Universal Software Radio Peripheral (USRP) es un periférico del fabricante Ettus Research comercializado por la empresa National Instruments y diseñado específicamente para aplicaciones de SDR. Los USRP operan en conjunto con un sistema de procesamiento externo (PC, Workstation, etc.) a través de una FPGA y permiten el diseño e implementación de diversos sistemas de comunicaciones (Pinar Iván, 2011).

Actualmente existen varias versiones de USRP (Research, Ettus Research). En este proyecto se usa el USRP X310 adquirido recientemente por la E3T. En este capítulo se describe el radio X310, y se explica paso a paso cómo ponerlo en funcionamiento.

1.2 DESCRIPCION DEL KIT USRP X310

Al adquirir este radio, el fabricante entrega el *kit* USRP X310 (ver figura 2).

Figura 2. KIT USRP X310.



Fuente: (Research, Ettus Research)

Este *kit* contiene los siguientes componentes:

- **Cable Gigabit Ethernet:** este cable permite la conexión del USRP con el computador o un procesador externo vía Ethernet y tiene una capacidad de transmisión de 1 gigabit por segundo.
- **Cable JTAG Debug USB 2.0:** este cable permite la conexión del USRP con el computador o un procesador externo, vía USB. JTAG un acrónimo para *Joint Test Action Group*. Es utilizado para la prueba de submódulos de circuitos integrados.
- **Cables SMA-Bulkhead:** estos cables permiten la conexión de la placa base con las diferentes tarjetas hijas, así como el acople de las antenas.

- **Adaptador SFP:** este adaptador permite la conexión entre la placa base del USRP y el cable Ethernet.
- **Adaptador de tensión:** permite proveer los 12 VDC/7.5 A, requeridos por el radio para su correcta operación.
- **USRP X310:** hace referencia a la placa base del radio que contiene la FPGA Xilinx Kintex 7 – 410T. En ésta, se realiza la síntesis en bandabase de los sistemas de radio diseñados. Para la conversión a radiofrecuencia es necesario contar con tarjetas adicionales (hijas) que se montan sobre la placa base. Además, es necesario el uso de antenas adecuadas a las bandas de operación de las tarjetas hijas que se deseen usar. En la Tabla 1 se muestran algunas especificaciones técnicas del USRP X310.

Tabla 1. Especificaciones USRP X310.

ESPECIFICACIÓN	VALOR	UNIDAD
Entrada DC	12	V
Consumo de potencia (2x SBX-12)	45	W
Frecuencia de muestreo ADC (máx)	200	MS/s
Resolución ADC	14	bits
Frecuencia de muestreo DAC (máx)	800	MS/s
Resolución DAC	16	bits
Rango de frecuencias	0 - 6	GHz
Dimensiones	27.7 x 21.8 x 3.9	cm

Fuente: Adaptado de: (Ettus Research)

En la figura 3 se observan elementos que constituyen el *kit* USRP X310, así como algunos de los componentes compatibles con este radio¹.

¹ En: <http://www.ettus.com/product/details/X310-KIT> se encuentran los productos compatibles con el radio X310.

Figura 3. USRP X310, Accesorios y Tarjetas Hijas



1.3 GUÍA PARA PUESTA EN MARCHA DEL USRP X310

En el Anexo A se presenta una guía detallada para el montaje, instalación, configuración y puesta en funcionamiento del radio X310 empleando GNURadio.

La guía se encuentra dividida en: ensamble del radio, configuración del software y configuración del equipo.

- **Ensamble del radio:** describe los pasos para el ensamble del radio. Principalmente cómo acoplar las diferentes tarjetas hijas en el radio para su correcto funcionamiento.
- **Configuración del software:** explica de forma detallada cómo instalar el paquete USRP Hardware Driver (UHD) y el programa GNU Radio, los cuales son necesarios para el funcionamiento y control del USRP.
- **Configuración del equipo:** especifica cómo configurar la IP del equipo host, como actualizar la imagen de la FPGA del radio y como realizar configuraciones adicionales para el correcto funcionamiento del equipo.

2. CARACTERIZACIÓN DE LA RESPUESTA EN FRECUENCIA

Para la implementación de sistemas basados en SDR con el USRP X310, es necesario el uso de tarjetas hijas, encargadas de la sección de radiofrecuencia (ver figura 1). En este capítulo se presentan pruebas que se realizaron para caracterizar la respuesta en frecuencia de las tarjetas hijas disponibles en el laboratorio de comunicaciones de la E3T.

La caracterización de la respuesta en frecuencia se orientó hacia dos pruebas específicas: una de transmisión y otra de recepción. La primera diseñada para obtener la relación entre la potencia de salida (transmitida) del radio respecto a la frecuencia de trabajo y la segunda diseñada para obtener la relación entre la potencia de entrada (recibida) respecto a la frecuencia de trabajo.

Las tarjetas hijas utilizadas, corresponden a las referencias CBX, SBX y WBX, las cuales son transceptores de gran ancho de banda diseñados por la compañía *Ettus Research*. En la tabla 2 se muestran los rangos de frecuencias que tiene cada tarjeta hija (Ettus Research).

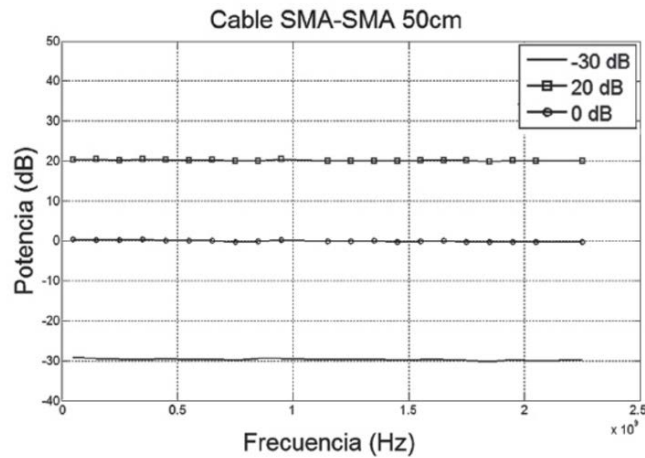
Tabla 2. Rango de frecuencias de tarjetas hijas

	CBX	SBX	WBX
Rango de frecuencias	1200-6000 MHz	400-4400 MHz	50 - 2200 MHz

El medio de transmisión para la realización las pruebas fue un cable SMA-SMA de 50 cm. En la figura 4 se presenta la caracterización de la respuesta en frecuencia del cable y en la tabla 3 se presentan las pérdidas del cable (Rugeles, Mancilla, & Clavijo, 2013). Como se puede observar, las pérdidas no presentan variaciones importantes al cambiar la frecuencia de trabajo (ver Tabla 3), por lo tanto, las

variaciones de la potencia en las tarjetas CBX, SBX y WBX son independientes del cable utilizado durante la medición.

Figura 4. Pérdidas en el cable



Fuente: (Rugeles, Mancilla, & Clavijo, 2013)

Tabla 3. Pérdidas en el cable

Potencia	Promedio	Desviación estándar
0 dBm	0,1450 dB	0,2008 dB
20 dBm	0,1281 dB	0,1754 dB
-30 dBm	0,3026 dB	0,2411 dB

Fuente: (Rugeles, Mancilla, & Clavijo, 2013)

El software GNU Radio (GNURadio) se usó para la realización de estas pruebas, GNU Radio permite el control del hardware USRP 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, filtros digitales, moduladores, entre otros. Una de las ventajas de GNU Radio es que permite hacer modificaciones a los parámetros de los bloques sin tener que detener el programa.

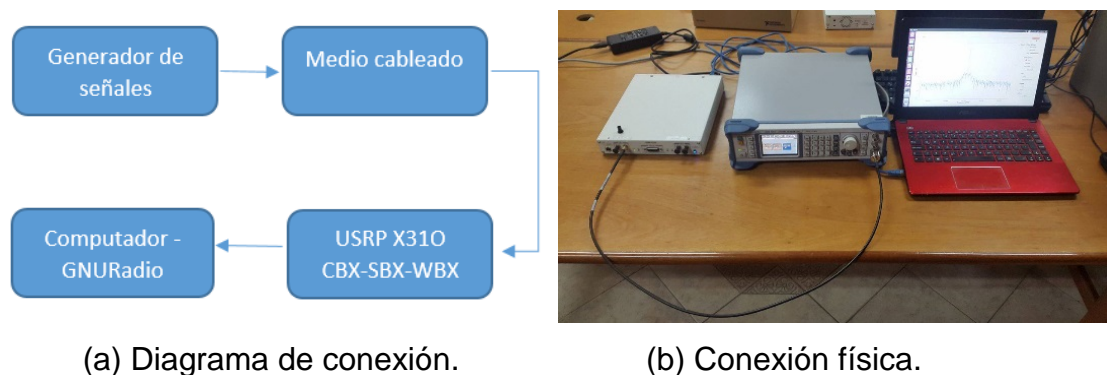
2.1 PRUEBAS DE RECEPCIÓN

Teniendo en cuenta la información suministrada por el fabricante (Ettus Research), se diseñó una prueba de laboratorio con el propósito de establecer la relación existente entre la frecuencia de operación y la potencia recibida por las tarjetas CBX, WBX y SBX.

Para la realización de esta prueba se usó el generador de señales **R&S SMB100A** disponible en el laboratorio de comunicaciones de la E3T. Este generador tiene un rango de frecuencias desde 1 MHz hasta 6 GHz, con lo cual permite abarcar todo el rango de frecuencia de las tarjetas hijas.

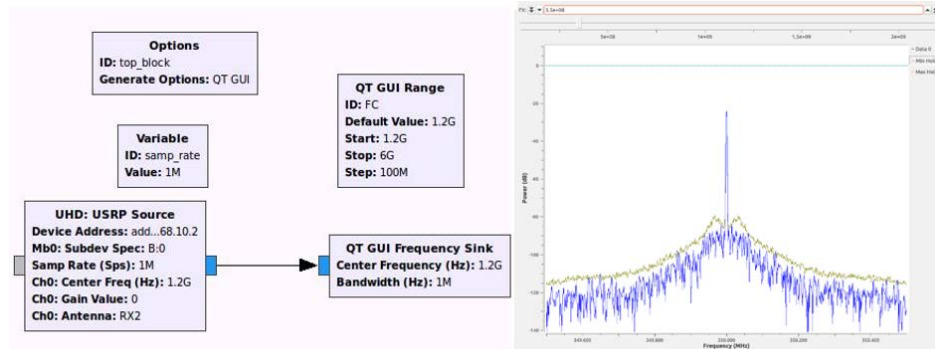
Esta prueba consiste en recibir señales de un solo tono con cada tarjeta y medir la potencia a medida que se varía la frecuencia de trabajo. En la figura 5 se muestra el diagrama de conexión y el montaje de los equipos para la realización de esta prueba.

Figura 5. Prueba de recepción.



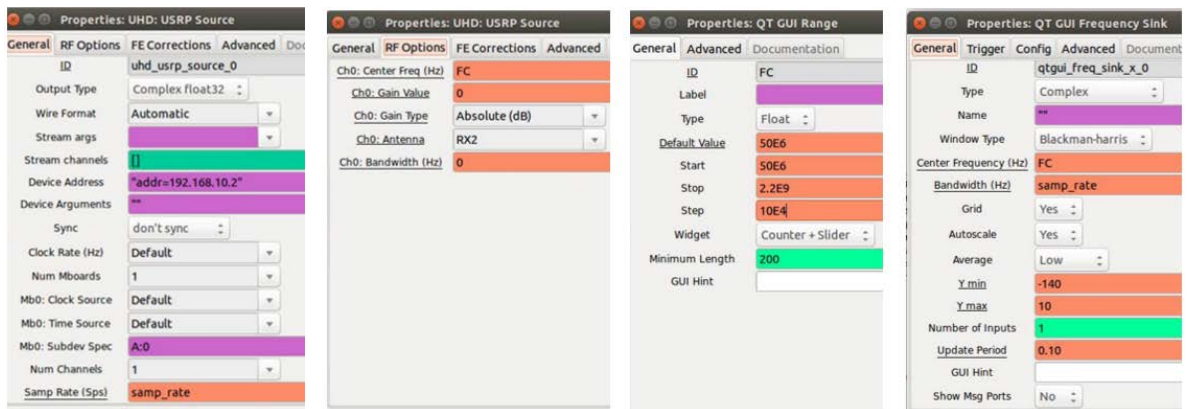
El diagrama de bloques para la recepción de señales que se diseñó con el software GNU Radio se puede ver en la figura 6.

Figura 6. Diagrama para la recepción de señales.



Los bloques que se utilizan son: el *USRP Source*, que permite la comunicación entre el USRP y el software, el bloque *QT GUI Range* que permite el control de variables y el bloque *QT GUI Frecuency Sink* que muestra la FFT de la señal recibida. En la figura 7 se muestra la configuración de los parámetros de cada bloque.

Figura 7. Parámetros de bloques en la recepción.



Con ayuda del generador de señales se realizó un barrido en frecuencia para tres magnitudes de potencia -15dbm, -30dbm y -60dbm. Se realizaron las pruebas y los resultados de las mediciones se presentan en las gráficas de las figuras 8,

figura 9 y figura 10. Cada grafica tiene tres curvas, donde cada curva representa un valor de potencia enviada por el generador.

Figura 8. Prueba recepción en tarjeta SBX

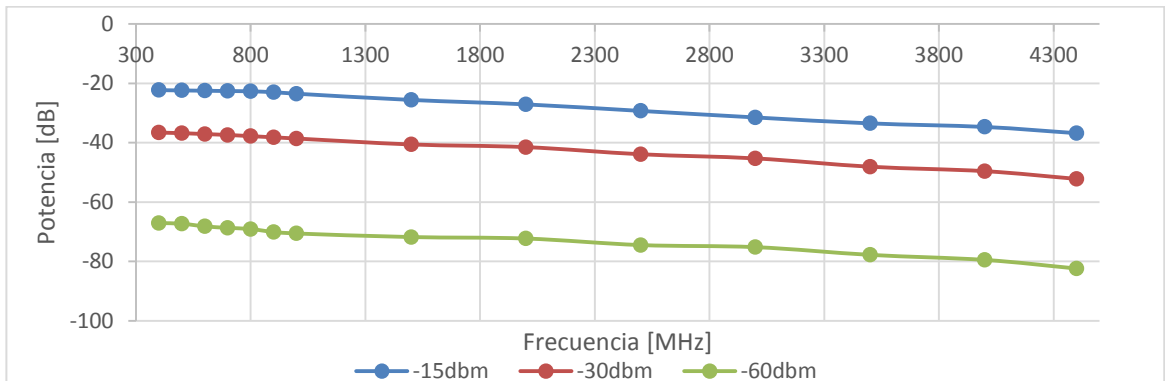


Figura 9. Prueba recepción en tarjeta CBX

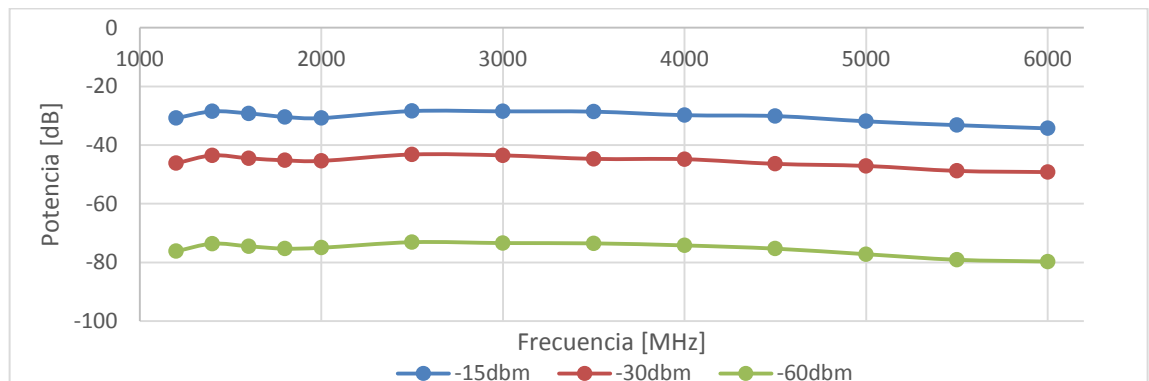
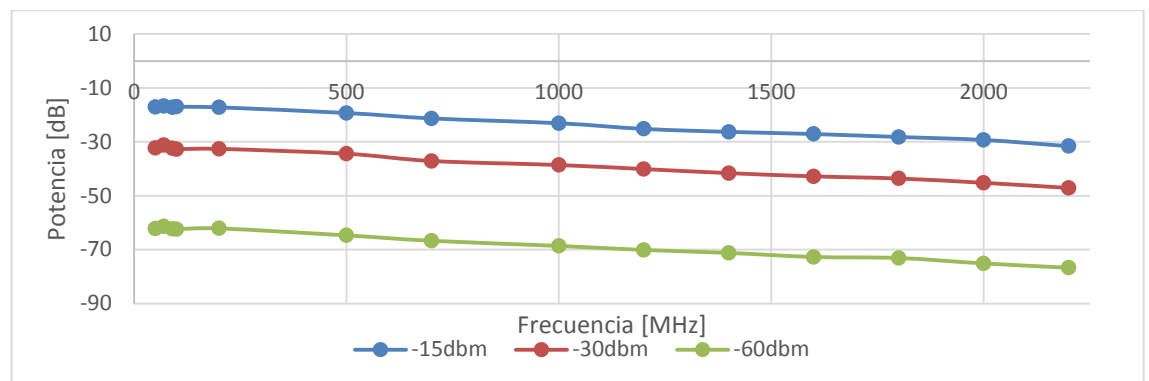


Figura 10. Prueba recepción en tarjeta WBX.



Como se puede ver en las figuras 8, 9 y 10 la magnitud de la potencia recibida por todas las tarjetas hijas varía a medida que se cambia la frecuencia de trabajo. Se tomaron los valores máximos y mínimos de cada curva y se calculó la atenuación máxima de cada curva. En la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 4. Variación máxima de potencia recibida

	Atenuación SBX [dB]	Atenuación CBX [dB]	Atenuación WBX [dB]
-15 dBm	14,5	5,9	14,9
-30 dBm	15,6	6,0	15,9
-60 dBm	15,3	6,6	15,3
\bar{X}	15,1	6,2	15,4
σ	0,568	0,378	0,503

Como se puede ver en la tabla 4 el promedio de la atenuación máxima presentada por las tarjetas SBX, CBX y WBX es de 15,1dB, 6,2dB y 15,4dB respectivamente. Donde la tarjeta CBX es la que presenta una menor atenuación en su rango de frecuencias.

Teniendo en cuenta la tendencia similar de las curvas en cada gráfica, se tomaron los valores medidos y se calculó la atenuación relativa entre las curvas. En la tabla 5 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 5. Atenuación relativa entre curvas de recepción para diferentes potencias del generador

Potencias del generador [dBm]	Atenuación real [dB]	Atenuación SBX [dB]			Atenuación CBX [dB]			Atenuación WBX [dB]		
		\bar{X}	σ	ϵr	\bar{X}	σ	ϵr	\bar{X}	σ	ϵr
-15 y -30	15	14,7 3	0,42 6	1,8%	15,2 3	0,47 8	1,5%	15,1 9	0,37 5	0,6%
-30 y -60	30	30,7 8	1,00 1	2,6%	29,8 2	0,47 9	0,6%	29,8 3	0,25 2	0,6%
-15 y -60	45	45,5 1	0,72 3	1,1%	45,0 5	0,45 2	0,1%	45,1 9	0,32 5	0,4%

Como se puede ver en la tabla 5, los errores relativos máximos de potencia, presentados por la diferencia de las curvas en cada gráfica, son de 2,6%, 1,5%, y 0,6% para las tarjetas SBX, CBX y WBX respectivamente.

Las tres tarjetas hijas comparten un rango de frecuencias entre 1,2GHz y 2,2GHz. En las figuras 8, 9 y 10 se puede ver que, en la banda de 1,8GHz a 2GHz las tres tarjetas presentan la misma tendencia, en la que la potencia recibida se atenúa a medida que aumenta la frecuencia de trabajo.

Si se desea usar este radio como instrumento de medida se deben compensar las atenuaciones presentadas por las tarjetas para los diferentes valores de frecuencia.

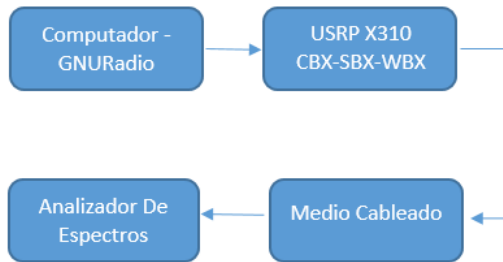
2.2 PRUEBAS DE TRANSMISIÓN

Teniendo en cuenta la información suministrada por el fabricante (Ettus Research), se diseñó una prueba de laboratorio con el propósito de establecer la relación existente entre la frecuencia de operación y la potencia entregada por las tarjetas CBX, WBX y SBX.

Para la realización de esta prueba se usó el analizador de espectros **R&S HMS-XS** presente en el laboratorio de comunicaciones de la E3T. Este analizador tiene un rango de frecuencias desde 100 kHz hasta 3 GHz, lo que limita la realización de las pruebas en este rango.

Esta prueba consiste en enviar señales de un solo tono con cada tarjeta y medir la potencia recibida a medida que se varía la ganancia y la frecuencia de la señal. En la figura 11 se muestra el diagrama de la conexión y el montaje de los equipos para la realización de esta prueba.

Figura 11. Prueba de transmisión.



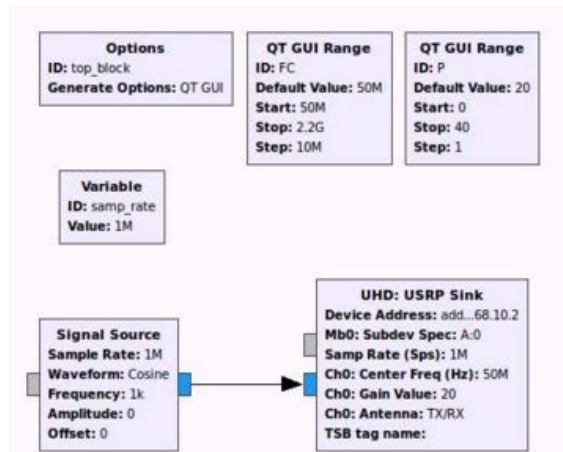
(a) Diagrama de conexión.



(b) Conexión física.

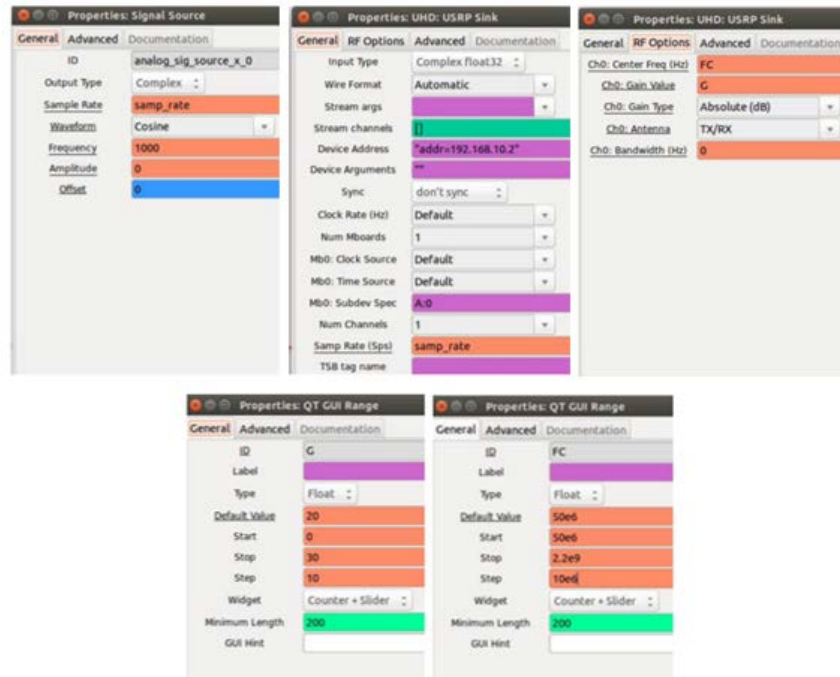
El diagrama de bloques que permite el control la ganancia de potencia con el software GNU Radio se puede ver en la figura 12.

Figura 12. Diagrama para la transmisión de señales.



Los bloques que se utilizan son: el *USRP Sink*, que permite la comunicación entre el USRP y el software, el bloque *QT GUI Range* que permite el control de variables y *Signal Source* que genera una señal. En la figura 13 se muestra la configuración de los parámetros de cada bloque.

Figura 13. Parámetros de bloques en la transmisión.



Por defecto, el bloque *USRP Sink* genera una señal de un tono y permite modificar la ganancia y frecuencia de esta señal. Con esta señal fue con la que se realizó las pruebas de transmisión.

Mediante el bloque *USRP Sink* se realizó un barrido en frecuencia para tres valores de ganancia diferentes: 0dB, 10dB y 20dB. Se realizaron las pruebas y los resultados de las mediciones se presentan en las gráficas de las figuras 14,15, 16. Cada grafica tiene tres curvas, donde cada curva representa un valor de ganancia en la señal transmitida.

Como se puede ver en las figuras 14, 15, y 16 el valor de ganancia transmitida por todas las tarjetas hijas varia a medida que se cambia la frecuencia de trabajo. Se tomaron los valores máximos y mínimos de cada curva y se calculó la diferencia entre estos. En la tabla 6 se muestran los resultados obtenidos.

Figura 14. Prueba transmisión en tarjeta SBX

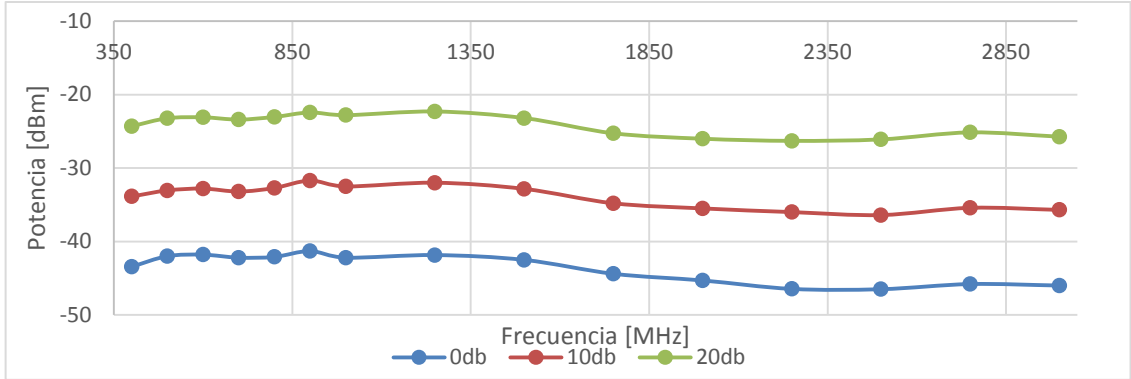


Figura 15. Prueba transmisión en tarjeta CBX

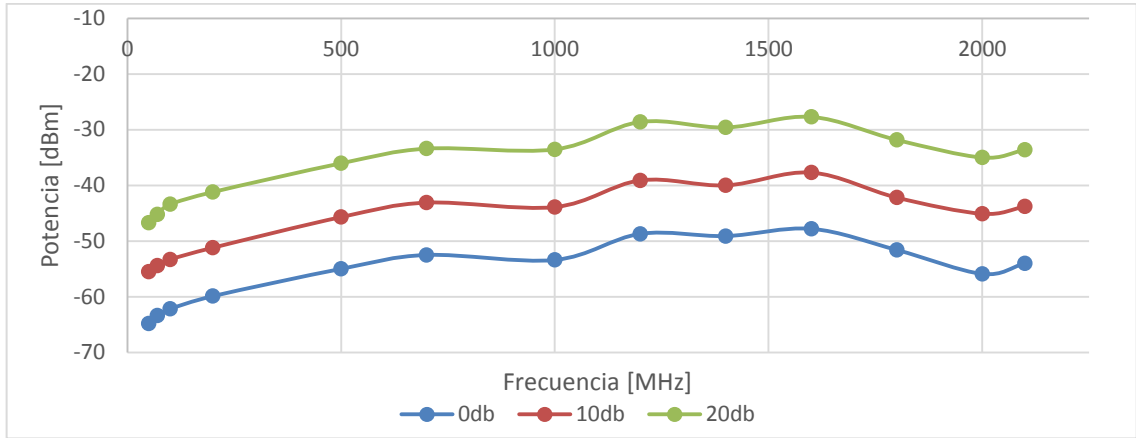


Figura 16. Prueba transmisión en tarjeta WBX

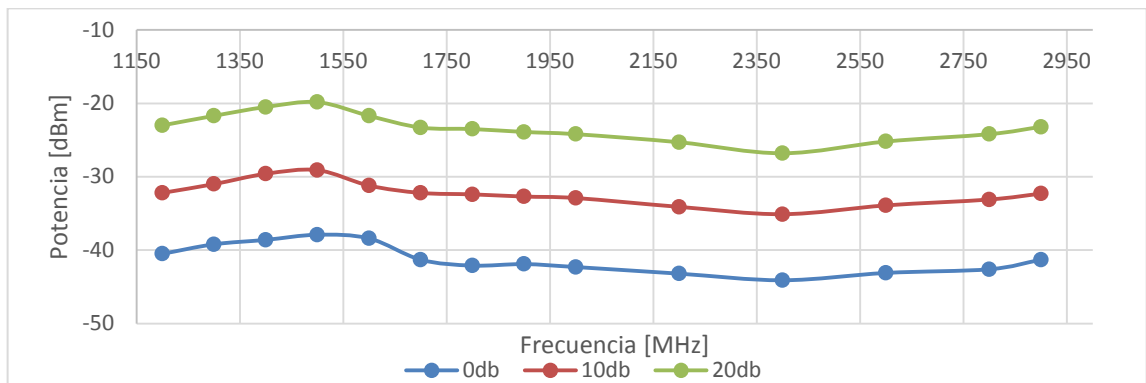


Tabla 6. Diferencia entre valores máximos y mínimos.

Ganancia del bloque [dB]	Diferencia en SBX [dB]	Diferencia en CBX [dB]	Diferencia en WBX [dB]
0	4,66	6,20	16,10
10	3,35	6,00	17,80
20	4,01	6,30	19,00
\bar{X}	4,00	6,17	17,63
σ	0,66	0,15	1,46

Como se puede ver en la tabla 6, la diferencia máxima promedio entre los valores medidos con las tarjetas SBX, CBX y WBX es de 4,0dB, 6,17dB y 17,63dB respectivamente.

Teniendo en cuenta el similar comportamiento de las curvas en cada gráfica, se tomaron los valores medidos y se calculó la ganancia relativa entre las curvas. En la tabla 7 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 7. Ganancia relativa entre curvas

Valores de Ganancia [dB]	Ganancia [dB]	Ganancia SBX [dB]			Ganancia CBX [dB]			Ganancia WBX [dB]		
		\bar{X}	σ	ϵ_r	\bar{X}	σ	ϵ_r	\bar{X}	σ	ϵ_r
0 y 10	10	9,69	0,48 3	3,1%	8,91	0,63 8	11%	9,48	0,58 1	5,2%
10 y 20	10	9,74	0,27 2	2,6%	8,96	0,30 7	10,4 %	9,94	0,49 7	0,6%
0 y 20	20	19,3 4	0,63 8	3,3%	17,8 7	0,48 1	10,6 %	19,4 2	0,85 8	2,9%

Como se puede ver en la tabla 7, los errores relativos máximos de ganancia, presentados por la diferencia de las curvas en cada gráfica, son de 3,3%, 10,6%, y 5,2% para las tarjetas SBX, CBX y WBX respectivamente.

Las tarjetas hijas SBX y CBX comparten un rango de frecuencias entre 1,2GHz y 3GHz. En la figura 8 se puede ver que, en la banda de 1,5GHz a 2,4GHz estas

tarjetas presentan la misma tendencia, en la que la potencia recibida se atenúa a medida que aumenta la frecuencia de trabajo.

De las tarjetas hijas, la tarjeta WBX es la que presenta mayores variaciones de la potencia transmitida al cambiar su frecuencia de trabajo.

En las figuras 14, 15, 16, se puede observar que, para diferentes valores de ganancia establecidos en la prueba, la tendencia de las curvas en cada grafica se mantiene, con lo cual podemos concluir que la potencia transmitida se ve principalmente afectada por el valor de la frecuencia de trabajo y no por el valor de potencia transmitida.

3. DISEÑO DE BLOQUE GPS EN GNURADIO

En este capítulo se presenta una descripción del módulo GPSDO (OCXO) y el diseño de un bloque en el programa GNU Radio que permite hacer uso de dicho módulo.

3.1 MÓDULO GPSDO (OCXO)

Este módulo es comercializado y distribuido por el fabricante *Ettus Research*. Permite la sincronización global y la localización de la posición mediante el llamado Sistema de Posicionamiento Global – GPS (del inglés *Global Positioning System*). El GPS es un sistema global de navegación por satélite (GNSS) que consta de 24 satélites y sus respectivas estaciones en tierra. Los satélites son usados por el receptor como punto de referencia para el cálculo de su posición (Huerta, Mangiaterra, & Noguera, 2005). Se necesitan al menos cuatro (4) satélites para obtener una posición tridimensional usando trilateración (Gómez D. , 2012).

Ettus Research proporciona módulos GPS con osciladores disciplinados (GPSDO), uno de estos módulos es el OCXO (*Oven Controlled Crystal Oscillator*). Este módulo es compatible con el USRP X310, se ensambla dentro del radio y trabaja de forma integrada con el controlador USRP Hardware Driver (UHD).

El módulo GPSDO (OCXO) tiene un oscilador de 10 MHz que puede funcionar de forma independiente, es decir, puede proporcionar un reloj incluso si el módulo no está obteniendo información de la constelación de satélites. El módulo GPSDO (Figura 17) también genera una señal de un pulso por segundo (PPS), que puede ser utilizada para la sincronización y temporización. La mayoría de los dispositivos

USRP aceptan una señal PPS externa para la alineación de tiempo, y una referencia de 10 MHz para la alineación de frecuencia.

Figura 17. Módulo GPSDO (OCXO).



Fuente (Ettus Research)

3.2 DESCRIPCION DE BLOQUE GPS EN GNURADIO

GNU Radio es un software de desarrollo, libre y de código abierto que provee bloques para realizar procesamiento de señales (GNURadio). Junto con la utilización de los USRP, se pueden crear radios definidos por software, convirtiéndose en una herramienta versátil en la implementación de sistemas de comunicaciones digitales. Este software es utilizado ampliamente por aficionados, entornos académicos y comerciales aportando en la investigación y en sistemas de radio del mundo real.

El proyecto de GNU Radio permite el desarrollo de bloques de procesamiento de señales que pueden ser escritos tanto en lenguaje de programación Python o C++. Estos bloques facilitan la comprensión y el desarrollo de los sistemas de comunicaciones.

En este trabajo se diseñó un bloque en GNU Radio que permite hacer uso del módulo GPSDO (OCXO) sobre el USRP X310. El nombre que se asignó al bloque es GPS y se escribió en lenguaje de programación Python. Este bloque entrega la posición del radio leída mediante el GPS. Visualiza las coordenadas de la ubicación, el número de satélites, la hora y fecha. A continuación, se describe la manera en que se creó el bloque.

Para crear bloques en GNU Radio se puede utilizar la herramienta *gr_modtool*. Esta herramienta cuenta con una serie de comandos que permiten realizar una descripción general del bloque que se quiere crear. Para crear una nueva categoría se utiliza el comando *newmod* de la herramienta *gr_modtool*. Una categoría permite identificar y agrupar bloques en el interfaz de GNURadio. Luego de crear una categoría se pueden agregar los bloques. Para agregar un nuevo bloque se utiliza el comando *add* de la herramienta *gr_modtool*. El comando *add* tiene una serie de parámetros que permiten configurar la estructura general del bloque. Estos parámetros se pueden visualizar con el comando *gr_modtool add -help*. Los parámetros que se usaron para la creación del bloque GPS fueron: tipo de bloque (-t), lenguaje de programación (-l) y nombre del bloque (-N).

A continuación, se presenta la manera como se realizó la descripción general del bloque en GNU Radio, desde una terminal de Ubuntu:

```
~$ mkdir Escritorio/USRP_x310 → Crea carpeta USRP_X310
~$ cd Escritorio/USRP_x310/ → Entra a la carpeta USRP_X310.
~$ gr_modtool newmod UIS → Crea una Categoría con el nombre UIS
~$ cd gr-UIS/ → Entra a la carpeta gr-UIS.
~$ gr_modtool add -t sink -l python -N GPS → Define los parámetros del bloque
```

Al realizar el anterior procedimiento, se crea la carpeta llamada python que incluye un archivo llamado GPS.py, el cual debe editarse para programar el algoritmo de las funciones que se le quieren dar al bloque:

```
~$ cd python          → Entra a la carpeta python
~$ nano GPS.py       → Abre y permite editar el archivo GPS.py
```

En este caso, el programa GPS.py se creó con el fin de obtener información del módulo GPSDO (OCXO), procesarla y determinar las coordenadas de ubicación del radio en el planeta. El archivo GPS.py cuenta con un bloque general que corresponde a una clase de python. Por defecto este código importa la librería *gr* y define un constructor para los objetos de esta clase. También tiene una función llamada *work* que corresponde a un bucle en donde se procesa la señal.

En el código python para el bloque GPS, se creó un objeto de la clase UHD el cual permite hacer uso de una serie de funciones. Una de estas funciones permite obtener información del módulo GPSDO (OCXO). Al procesar esta información se obtiene la latitud, longitud y altura de la ubicación del radio, así como la hora y el número de satélites leídos. A continuación, en la figura 18 se presenta el código python que usó para el bloque GPS.

Figura 18. Código Python

```

1 import numpy
2 from gnuradio import gr
3 from gnuradio import uhd
4 import time
5 from datetime import datetime, timedelta
6
7 class GPS(gr.sync_block):
8     """
9     docstring for block GPS
10    """
11    def __init__(self):
12        gr.sync_block.__init__(self,
13                                name="GPS",
14                                in_sig=[numpy.complex64],
15                                out_sig=None)
16        self.src = uhd.usrp_source(
17                    ", ".join("", ""),
18                    uhd.stream_args(
19                        cpu_format="fc32",
20                        channels=range(1),
21                    ),
22                )
23
24
25    def _DegreeConvert(self, degrees):
26        deg_min, dmin = degrees.split('.')
27        degrees = int(deg_min[:-2])
28        minutes = float('%s.%s' % (deg_min[-2:], dmin))
29        decimal = degrees + (minutes/60)
30        return decimal
31
32
33    def work(self, input_items, output_items):
34        in0 = input_items[0]
35        # <+signal processing here+>
36        time.sleep(1)
37        date = datetime.utcnow() - timedelta(hours=5)
38        # Guarda en la variable date
39        # la hora internacional utc menos la diferencia con la hora local
40        date = date.strftime('%d/%m/%Y %H:%M:%S')
41        # Convierte la hora que está en segundos a
42        # d/m/a /h/min/seg
43        pos = str(self.src.get_mboard_sensor("gps_gpvgga").to_pp_string()[11:-1])
44        # Del
45        # objetos "src" se llama la función que permite obtener la señal de sensor
46        pos = pos.split(',')
47        # Se convierte la cadena en una lista de elementos separados coma
48        lat_dir, lon_dir = pos[3], pos[5]
49        # Se guarda la dirección de latitud norte o sur y se
50        # obtiene la dirección de la longitud este u oeste
51        lat, lon, alt = self._DegreeConvert(pos[2]), self._DegreeConvert(pos[4]),
52        pos[9]
53        # Guarda la latitud y longitud y las convierte a grados
54        sat = pos[7]
55        # Guarda el número de Satélites en vista.
56        print "Fecha:", date, "Latitud:", lat, lat_dir, "Longitud:", lon, lon_dir,
57        "Altura:", alt, "[m]"
58        # Visualiza la hora, fecha y las coordenadas de la ubicación.
59        print "Satelites en vista:", sat
60        # Visualiza el número de satélites en vista
61        return len(input_items[0])

```

Además del programa almacenado en GPS.py, es necesario editar el archivo xml que se encuentra en la carpeta gr-UIS. (UIS_GPS.xml) que sirve para darle un formato gráfico al bloque. Este código contiene los parámetros que se le dan al

bloque. A continuación, en la figura 19 se presenta el código xml que se usó para la creación del bloque GPS.

Figura 19. Código xml.

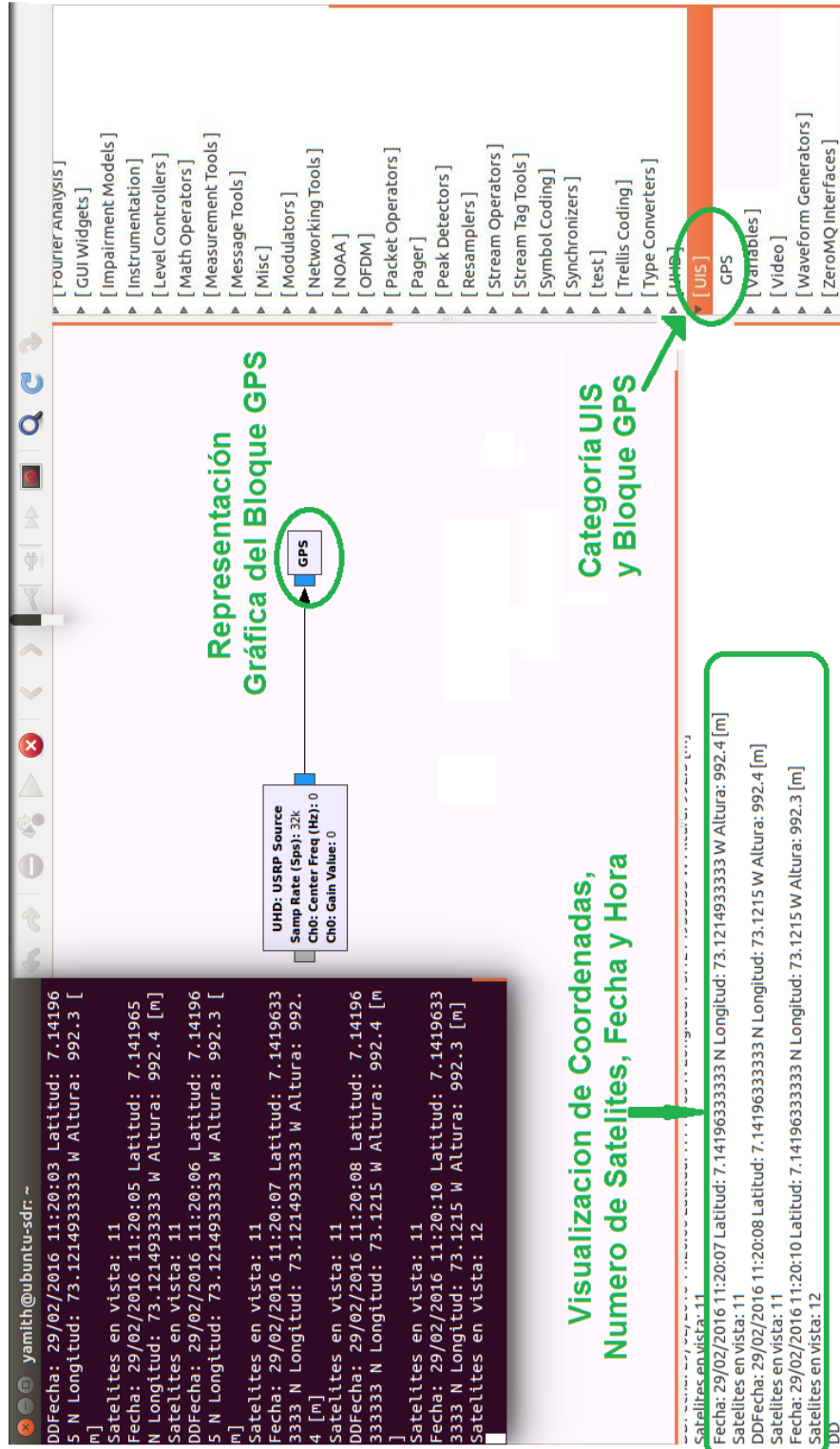
```
1 <?xml version="1.0"?>
2 <block>
3   <name>GPS</name>           #El nombre del bloque.
4   <key>UIS_GPS</key>
5   <category>UIS</category>  # La categoría en que se encuentra el bloque.
6   <import>import UIS</import>
7   <make>UIS.GPS ()</make>
8   <sink>                      # El tipo de bloque.
9     <name>in</name>
10    <type>complex</type>      #EL tipo de datos de la entrada.
11  </sink>
```

Una vez definidos los parámetros en el archivo xml, se instala el bloque en GNU Radio y se prueba su correcto funcionamiento.

En el Anexo B se encuentra una práctica de laboratorio donde se explica la instalación del módulo GPS en GNU Radio y la puesta en marcha el módulo GPSDO (OXCO) sobre el USRP X310.

La Figura 20 muestra la interfaz de GNU Radio poniendo en funcionamiento el bloque GPS. Se puede observar la ubicación del bloque GPS dentro de la categoría UIS, su representación gráfica y los resultados que visualiza tanto en la interfaz de GNU Radio como en la terminal de Ubuntu.

Figura 20. Interfaz de GNU Radio. Bloque GPS en ejecución.



4. PRUEBAS DEL MODULO GPSDO (OCXO)

Para realizar mediciones y comprobar la localización del radio en el planeta mediante el uso del módulo GPSDO (OCXO), éste se puso en marcha sobre el USRP X310 y con ayuda del bloque GPS que se creó en GNU Radio se realizaron lecturas en tres (3) sitios diferentes como se describe en la Tabla 8.

Tabla 8. Lugares donde se realizaron pruebas.

Sitio	Nombre	ID	Descripción
Sitio 1	Laboratorio Alta tensión	LAT	Segundo piso. Laboratorio de Electrónica
Sitio 2	Edificio Ingeniería Eléctrica	IE	Quinto piso. Sala de espera
Sitio 3	Edificio Gaudí (EG)	EG	Veinteavo piso. Terraza

Para poder hacer uso del módulo GPSDO sobre el USRP X310 se necesita una antena activa que reciba las señales del GPS.

Una antena activa posee un circuito de amplificación dentro de la antena que recibe señales débiles a través de una antena pasiva, aumenta la señal mediante el circuito de amplificación y luego transmite al servidor (Co).

La antena que se usó fue la recomendada por el fabricante Ettus Research que corresponde a una antena activa de 5V, modelo 66800-XX con base magnética y conector SMA (Ettus Research). En la Figura 21 se puede observar la antena y en la tabla 9 se muestran especificaciones de la misma

Figura 21. Antena GPS activa.



Fuente: (Ettus Research)

Tabla 9. Especificaciones antena activa.

Modelo	Dimensiones	Peso	Longitud Cable	Voltaje de alimentación	Consumo de potencia	Tipo de cable	Conector en la salida
66800-40	37.4 mm x 34 mm x 12.9 mm	25 g	5 m	5 V	150 mW (max)	RG-174	SMA

Fuente: Adaptado de: (Trimble)

Con el fin de contrastar las mediciones del módulo GPSDO (OCXO), se usó el GPS de un celular Samsung Galaxy Alpha y con ayuda de la aplicación *GPS TEST*², se obtuvieron las coordenadas de las ubicaciones definidas.

Por último, se usó *Google Maps* para contrastar la ubicación leída por el radio con la del celular. A continuación, se presentan las pruebas realizadas y los resultados obtenidos.

² Disponible para descarga gratuita en: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chartcross.gpstest&hl=es> 419.

4.1 SITIO 1: LABORATORIO ALTA TENSION

Este edificio se encuentra en la sede principal de la Universidad Industrial de Santander (Bucaramanga). La prueba se realizó en el laboratorio de electrónica que está ubicado en el segundo piso de LAT.

En la figura 22 se observa el edificio LAT, el montaje de los equipos dentro del laboratorio y los resultados obtenidos con aplicación *GPS TEST*.

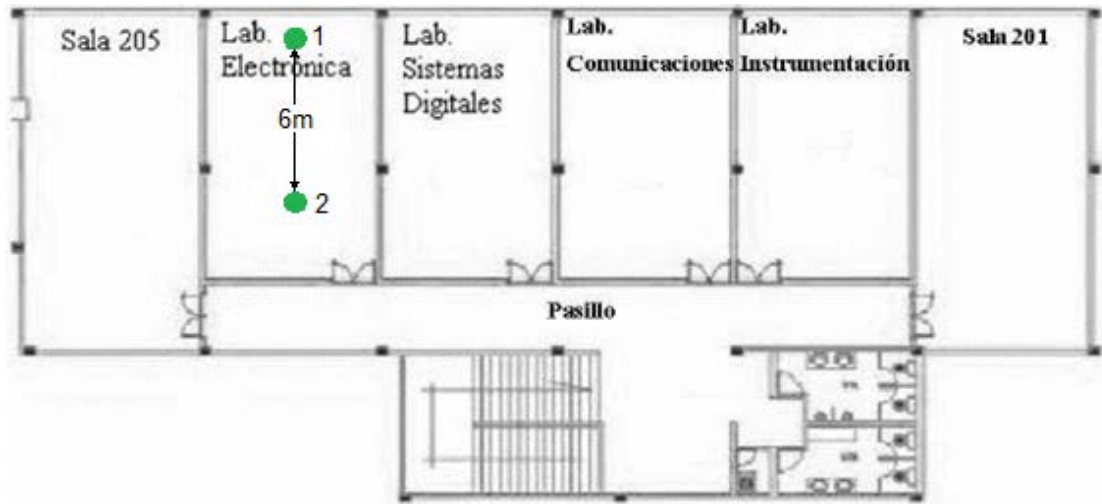
Figura 22. Pruebas en GPS en el sitio 1.



(a) Edificio LAT y montaje de equipo (b) Aplicación GPS TEST

Se definieron dos ubicaciones dentro del laboratorio para realizar las pruebas. En la figura 23 se observa un plano del segundo piso de LAT, así como las ubicaciones que se definieron para realizar las pruebas (1,2).

Figura 23. Plano segundo piso (LAT).



Fuente: Adaptado de: (Díaz Alvarez, Vasquez Fuentes, & Luque Villa, 2012)

En la tabla 10 se muestran los valores promedio y la desviación estándar de los datos obtenidos por el módulo GPS y por la aplicación GPS TEST, en las dos ubicaciones dentro del laboratorio. En cada ubicación se tomaron 10 valores.

Tabla 10. Coordenadas sitio 1.

Ubicación 1	LATITUD		LONGITUD		ALTURA	
	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ
Módulo GPS	7,14178932	$3,714 \times 10^{-6}$	-73,12210660	$3,249 \times 10^{-6}$	997,6	0,536
App GPS TEST	7,14177360	$4,139 \times 10^{-6}$	-73,12215981	$3,841 \times 10^{-6}$	999,8	0,356
Ubicación 2	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ
Módulo GPS	7,14181531	$2,957 \times 10^{-6}$	-73,12212341	$1,929 \times 10^{-6}$	995,8	0,479
App GPS TEST	7,14189582	$3,723 \times 10^{-6}$	-73,12216213	$3,325 \times 10^{-6}$	998,3	0,412

Se ingresaron los valores promedio de la latitud y longitud medidos con el módulo GPSDO (OCXO) y con el GPS del celular en Google Maps. En las figuras 24 y 25 se observan los resultados obtenidos en las dos ubicaciones tanto con el módulo como con el celular.

Figura 24. Mapa Satelital. Sitio1 - Ubicación 1.



(a) Lecturas con el GPSDO

(b) Lecturas con GPS TEST

Figura 25. Mapa Satelital. Sitio 1 - Ubicación 2.



(a) Lecturas con el GPSDO

(b) Lecturas con GPS TEST

4.2 SITIO 2: EDIFICIO INGENIERÍA ELÉCTRICA

Este edificio se encuentra dentro de la Universidad Industrial de Santander en su sede principal (Bucaramanga). Las medidas se realizaron en el quinto piso del edificio. En la figura 26 se observa el edificio IE, el montaje de los equipos en la sala de espera y los resultados obtenidos con aplicación *GPS TEST*.

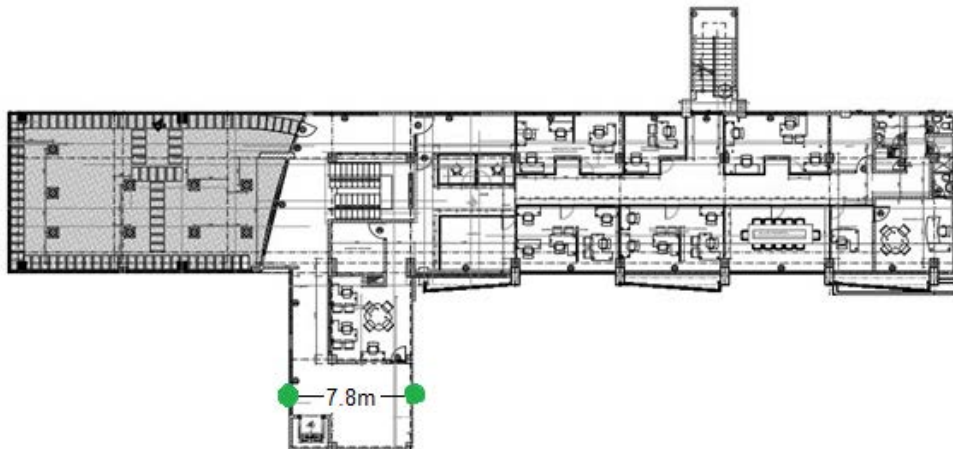
Figura 26. Pruebas del GPS en el sitio 2.



(a) Aplicación GPS TEST (b) Montaje de equipo

Se definieron dos ubicaciones dentro en la sala de espera para realizar las pruebas. En la figura 27 se ilustran las ubicaciones (1,2) y la distancia entre estas. En la tabla 11 se muestran los valores promedio y la desviación estándar de los datos obtenidos por el modulo GPS y por la aplicación GPS TEST, en las dos ubicaciones dentro del laboratorio. En cada ubicación se tomaron 10 valores.

Figura 27. Plano quinto piso (IE).



Fuente: Adaptado de: (UIS)

Tabla 11. Coordenadas sitio 2.

Ubicación 1	LATITUD		LONGITUD		ALTURA	
	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ
Módulo GPS	7,14196993	$1,843 \times 10^{-6}$	-73,12137801	$1,984 \times 10^{-6}$	1016,1	0,439
App GPS TEST	7,14199873	$2,231 \times 10^{-6}$	-73,12135812	$2,084 \times 10^{-6}$	1013,6	0,343
Ubicación 2	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ
Módulo GPS	7,1419951	$2,021 \times 10^{-6}$	-73,12144890	$1,869 \times 10^{-6}$	1014,1	0,407
App GPS TEST	7,14197698	$1,763 \times 10^{-6}$	-73,12144818	$2,122 \times 10^{-6}$	1012,5	0,431

Se ingresaron los valores promedio de la latitud y longitud medidos con el módulo GPSDO (OCXO) y con el GPS del celular en Google Maps y se verificó su ubicación. En las figuras 28 y 29 se observan los resultados obtenidos en las dos ubicaciones tanto con el módulo como con el celular.

Figura 28. Mapa Satelital. Sitio 2 - Ubicación 1.



(a) Lecturas con el GPSDO

(b) Lecturas con GPS TEST

Figura 29. Mapa Satelital. Sitio 2 - Ubicación 2



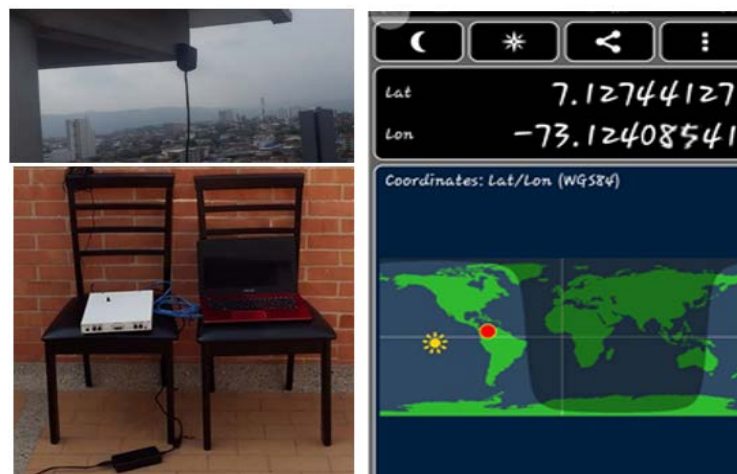
(a) Lecturas con el GPSDO

(b) Lecturas con GPS TES

4.3 SITIO 3: EDIFICIO GAUDÍ

Este edificio se encuentra en la ciudad de Bucaramanga, en el barrio Alarcón. Las medidas se realizaron en el vigésimo piso, en la terraza del edificio. En la figura 30 se observa el montaje de los equipos en la terraza del edificio y los resultados obtenidos con aplicación GPS TEST.

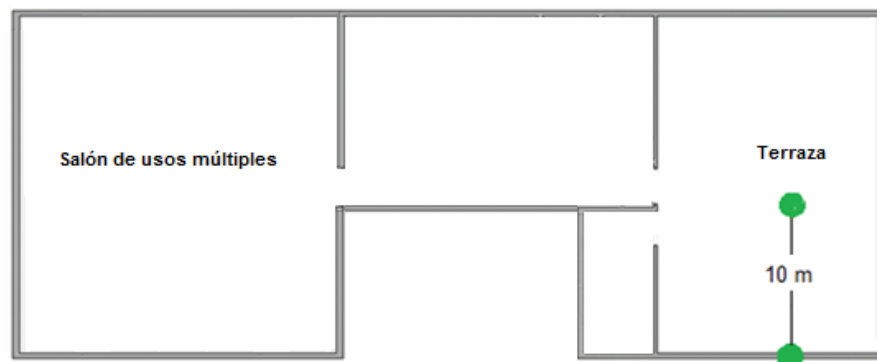
Figura 30. Pruebas del GPS en el sitio 3



(a) Montaje de equipo (b) Aplicación GPS TEST

Se definieron dos ubicaciones en la terraza para realizar las pruebas. En la figura 31 se ilustran las ubicaciones (1,2) y la distancia entre estas.

Figura 31. Plano Terraza. Edificio Gaudí



En la tabla 12 se muestran los valores promedio y la desviación estándar de los datos obtenidos por el modulo GPS y por la aplicación GPS TEST, en las dos ubicaciones definidas. En cada ubicación se tomaron 10 valores.

Tabla 12. Coordenadas sitio 3.

Ubicación 1	LATITUD		LONGITUD		ALTURA	
	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ
Módulo GPSDO	7,12747561	$1,671 \times 10^{-6}$	-73,12400301	$1,949 \times 10^{-6}$	1045,5	0,377
App GPS TEST	7,12646201	$2,142 \times 10^{-6}$	-73,1239802	$2,017 \times 10^{-6}$	1041,7	0,346
Ubicación 2	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ
Módulo GPSDO	7,12744780	$1,099 \times 10^{-6}$	-73,12410341	$1,923 \times 10^{-6}$	1043,7	0,397
App GPS TEST	7,12744134	$2,067 \times 10^{-6}$	-73,12408540	$1,978 \times 10^{-6}$	1040,2	0,325

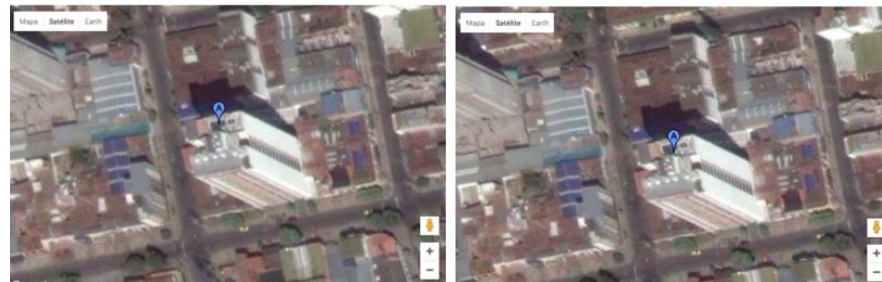
Se ingresaron los valores promedio medidos de la latitud y longitud con el módulo GPSDO (OCXO) y con el GPS del celular en Google Maps. En las figuras 32 y 33 se observan los resultados obtenidos en las dos ubicaciones tanto con el módulo como con el celular.

Figura 32. Mapa Satelital. Sitio 3 - Ubicación 1



(a) Lecturas con el GPSDO (b) Lecturas con GPS TEST

Figura 33. Mapa Satelital. Sitio 3 - Ubicación 2.



(a) Lecturas con el GPSDO (b) Lecturas con GPS TEST

4.4 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS

Para calcular la distancia relativa entre dos puntos en la Tierra, existen expresiones basadas en su geometría esférica (no euclidiana) y algunas funciones de trigonometría.

Por ejemplo, la fórmula de la Distancia del Gran Circulo (Great Circle Distance) permite calcular la distancia entre dos puntos de la tierra conociendo la latitud y longitud de cada punto (UNAL). Así pues, la distancia en kilómetros es:

$$d = r * \text{acos} [\text{sen} (\text{lat1}) * \text{sen} (\text{lat2}) + \text{cos} (\text{lat1}) * \text{cos} (\text{lat2}) * \text{cos} (\text{lon2} - \text{lon1})]$$

Donde r es el radio de la tierra;

$$r \approx 6378,7 \text{ km.}$$

Sin embargo, debido principalmente a que la esfericidad de la tierra no es perfecta (estrictamente hablando, la tierra es un esferoide oblado) (UNAL), esta clase de expresiones solo resultan ser buenas aproximaciones cuando distancia entre los puntos es del orden de decenas o cientos de kilómetros.

Por otra parte, una herramienta como Google Maps permite también calcular la distancia entre dos puntos en el planeta tierra, teniendo en cuenta la información cartográfica y satelital disponible en sus bases de datos, reduciendo significativamente el error comparado con el de expresiones como la distancia del gran circulo.

De esta forma se tomaron las lecturas de las ubicaciones definidas en cada sitio y se encontró la distancia entre estas mediante Google Maps.

En la figura 34 se pueden ver las distancias obtenidas con las lecturas del módulo GPSDO.

Figura 34. Distancia con lecturas del GPSDO



En la figura 35 se ven las distancias obtenidas con las lecturas del receptor GPS del celular.

Figura 35. Distancia con lecturas del celular



En la tabla 13 se pueden observar distancias relativas entre las dos ubicaciones de cada sitio y los errores asociados a cada medición.

Tabla 13. Distancia entre las ubicaciones de cada sitio.

	Sitio 1		Sitio 2		Sitio 3	
Distancia Real	6,0 m		7,8 m		10,0 m	
Distancia GPSDO	7,64 m		9,45 m		11,92 m	
Distancia GPS TEST	12,66 m		11,67 m		12,35 m	
Error GPSDO	1,64 m	27,3%	1,65 m	21,1%	1,92m	19,2%
Error GPS TEST	6,66m	111%	3,87 m	49,6%	2,35m	23,5%

Se comprobó el funcionamiento del bloque GPS creado en GNU Radio, al poner en marcha el módulo GPSDO (OCXO) sobre el USRP X310 y determinar su localización en diferentes sitios del planeta.

En los datos presentados en tabla 13 se puede observar que el error presentado por el módulo GPS y por el celular es de algunos metros. Este error es generado

por diferentes fuentes que afectan la exactitud en el sistema de posicionamiento global (Huerta, Mangiaterra, & Noguera, 2005).

Se puede ver que los datos medidos con el módulo GPSDO (OCXO) presentan en todos los casos un menor error que los datos medidos con el receptor GPS del celular mediante la aplicación GPS TEST.

Se comprobó el funcionamiento del bloque GPS creado en GNU Radio, al poner en marcha el módulo GPSDO (OCXO) sobre el USRP X310 y determinar su localización en el planeta.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se estudiaron y se pusieron en funcionamiento equipos basados en SDR que adquirió la E3T y con los cuales aún no se había trabajado. Se realizó una guía que explica de forma detalla cómo poner en marcha el USRP X310 con GNU Radio, facilitando el manejo del radio para el desarrollo de futuros trabajos.

Se realizaron pruebas para la caracterización de la respuesta en frecuencia de las tarjetas CBX, SBX y WBX compatibles con el USRP X310 que involucraron el uso de equipos disponibles en el laboratorio de comunicaciones tales como el generador de señales R&S SMB100A y el analizador de espectros R&S HMS-XS. Con los datos obtenidos en las mediciones se construyeron graficas en las cuales se puede concluir que los valores de potencia tanto transmitida, como recibida no son constantes si no que por el contrario, varían a medida que se modifica la frecuencia de trabajo. Al comparar el comportamiento de las gráficas obtenidas en las pruebas tanto en recepción (figura 8, 9 y 10) como en transmisión (figura 14, 15,16) se puede ver que en cada tarjeta hija el comportamiento es diferente tanto para transmisión como para recepción presentando una diferencia más notoria la tarjeta WBX.

Se diseñó e implementó un bloque en GNU Radio que permite hacer uso del módulo GPSDO (OCXO) sobre el USRP X310. El nombre que se asignó al bloque es GPS y se escribió en lenguaje de programación Python. Este bloque se encarga de obtener información del módulo GPSDO (OCXO), procesarla y entregar la posición del radio leída mediante el GPS. Visualiza las coordenadas de la ubicación, el número de satélites, la fecha y la hora en tiempo real en la consola de GNU Radio. También se comprobó el funcionamiento del bloque GPS, es decir, se verificó que esté mediante el moduló GPSDO (OCXO) permitiera obtener la

localización del radio en el planeta. Este bloque facilita el uso del módulo GPSDO (OXCO) sobre el USRP X310 y puede complementar el funcionamiento de algún sistema de comunicaciones que se realice con el radio X310 en GNU Radio permitiendo obtener la localización del radio en el planeta.

En el capítulo 4 se describen las pruebas que se realizaron con el fin de comparar el desempeño del módulo GPSDO (OCXO) con el receptor GPS de un celular. Los resultados de estas pruebas se pueden ver en la tabla 13. Al contrastar los resultados se puede ver que en todos los casos el módulo GPSDO presenta un menor error en la medición que el obtenido por el GPS del celular. Con esto se puede concluir que el módulo GPSDO (OCXO) presenta un desempeño adecuado para diferentes aplicaciones que involucren el uso del GPS, teniendo en cuenta que en cualquier caso la precisión estará limitada por las diferentes fuentes de error que afectan el GPS.

La tecnología SDR se está desarrollando a nivel mundial debido a las múltiples ventajas que presenta en la implementación de sistemas de comunicaciones. El desarrollo de este trabajo de grado constituye una continuación en la investigación de la tecnología SDR, realizada en la Universidad Industrial de Santander tanto a nivel de trabajos de grado (Suárez Javier, 2012) (Gómez A. , 2015), como a nivel de trabajos de investigación donde particularmente el grupo RadioGis ha realizado trabajos basados en esta tecnología.

Actualmente el sistema GPS es muy usado en diferentes aplicaciones (Kaplan & Hegarty, 1996), de manera que tener un equipo reconfigurable como el USRP X310 que hace uso del GPS, es de gran importancia ya que fomenta el desarrollo de futuras aplicaciones y el trabajo en esta línea de investigación en la Universidad Industrial de Santander.

El informe resultado de este proyecto constituye un material de transferencia de las experiencias adquiridas en el desarrollo del mismo, proporcionando herramientas para posteriores trabajos de investigación en la tecnología SDR basada en GNU Radio.

6. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

Para usar el USRP X310 es necesario tener instalado el USRP Hardware Driver (UHD). Se recomienda la versión UHD 3.9.0, debido a que esta versión incorpora las funciones necesarias para descargar y actualizar las imágenes de la FPGA.

En las pruebas realizadas en el capítulo 4, se puede observar que los datos medidos mediante el módulo GPSDO (OCXO) presentan en todos los casos un menor error que los datos medidos con el GPS de un celular mediante la aplicación GPS TEST.

Para los interesados en trabajar con equipos basados en SDR como los que se presentan en este proyecto, se les recomienda hacer parte de las de la *Mailing List* que ofrece la compañía *Ettus Research*. La *Mailing List* o lista de correo electrónico es un sistema que permite la distribución de mensajes electrónicos a un conjunto de personas interesadas en un tema concreto, en este caso sistemas basados en SDR con los USRP. Funciona como un foro privado y resulta de gran ayuda para resolver dudas a personas interesadas en este tema.

Teniendo en cuenta los resultados de las pruebas de caracterización de la respuesta en frecuencia en recepción, se propone diseñar bloques en GNU Radio que corrijan el comportamiento presentado por las tarjetas hijas WBX, CBX, y SBX con el fin de poder usar el radio X310 como instrumento de medida.

El radio X310 puede funcionar con dos tarjetas hijas al mismo tiempo con lo cual puede abarcar un amplio rango de frecuencias. Para trabajos futuros con el radio X310, sus tarjetas hijas y el módulo GPSDO (OCXO) se propone diseñar un sistema de comunicaciones en GNU Radio que permita transmitir mediciones del espectro georreferenciadas.

Se recomienda seguir estudiando el módulo GPSDO (OCXO) con el fin de poder obtener mayor información del sistema de posicionamiento global. Con esta nueva información se puede mejorar el bloque que se creó en GNU Radio para que este pueda visualizar mayor información del GPS.

En los resultados de las pruebas que se realizaron con el USPR X310 y GNURadio a las tarjetas hijas WBX, CBX y SBX, se pudo observar el comportamiento que presenta cada una tanto para transmisión como para recepción. Se propone hacer un estudio de los filtros que implementa cada una de estas tarjetas hijas, para poder determinar cómo afectan su comportamiento tanto en recepción como en transmisión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Co, J. J. (s.f.). *Jiashan Jinchang Electron Co*. Recuperado el 05 de Noviembre de 2015, de <http://www.hf-antenna.es/active-antenna.html>
- Diaz Alvarez, I. M., Vasquez Fuentes, S. M., & Luque Villa, L. R. (2012). *PREDICCIÓN DEL NIVEL DE INTENSIDAD DE SENAL RECIBIDA (RSSI) EN UNA RED INALÁMBRICA DE ÁREA LOCAL (WLAN 802.11b) MEDIANTE UN MODELO NEURONAL*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Ettus Research. (s.f.). Recuperado el 24 de 06 de 2015, de <https://www.ettus.com/site/about>
- Ettus Research. (s.f.). Recuperado el 23 de 06 de 2015, de <https://www.ettus.com/product/details/GPSDO-MINI>
- Ettus Research. (s.f.). Recuperado el 23 de 06 de 2015, de https://www.ettus.com/content/files/X300_X310_Spec_Sheet.pdf
- Ettus Research. (s.f.). Recuperado el 10 de 12 de 2015, de <https://www.ettus.com/product/details/GPS-ANT-5V>
- Ettus Research. (s.f.). Recuperado el 25 de 07 de 2105, de <https://www.ettus.com/product/category/Daughterboards>
- GNURadio. (s.f.). *GNURadio*. Recuperado el 22 de 06 de 2015, de Welcome to GNU Radio: <http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki>
- Gómez , D. (2012). *Estudio, implementación y análisis de métodos de trilateración para la localización de usuarios desde sus terminales móviles*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Ingeniería Telemática.
- Gómez, A. (2015). *Diseño y prueba de un sistema de comunicación digital M-aria basado en radio definido por software*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Huerta, E., Mangiaterra, A., & Noguera, G. (2005). *GPS Posicionamiento Satelital*. UNR Editora - Universidad Nacional de Rosario.
- Instruments, N. (s.f.). *National Instruments*. Recuperado el 22 de 06 de 2015, de Products USRP: <http://www.ni.com/sdr/usrp/esa/>
- Kaplan, E. D., & Hegarty, C. J. (1996). *Understanding GPS: Principles and Applications*. Artech House.
- Pinar Iván, M. J. (2011). *Laboratorio de comunicaciones digitales radio definida por software*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Research, E. (s.f.). *Ettus Research*. Recuperado el 20 de 06 de 2015, de Products: <http://www.ettus.com/product>
- Research, E. (s.f.). *Ettus Research*. Recuperado el 23 de 06 de 2015, de Ettus Research: <https://www.ettus.com/product/details/X310-KIT>
- Rugeles, J. d., Mancilla, T., & Clavijo, C. (2013). *Caracterización de la Plataforma de Radio Definido por Software USRP n210-WBX*. *Universidad Militar Nueva Granada*.

Suárez Javier, T. V. (2012). *Diseño del manual de prácticas para un laboratorio de comunicaciones digitales basado en la técnica de radio definido por software*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

Trimble. (s.f.). Recuperado el 10 de 12 de 2016, de https://www.trimble.com/embeddedsystems/pdf/022542-024_GPS_Antenna_DS_1210_US_LR.pdf

UIS. (s.f.). Recuperado el 20 de 02 de 2016, de https://www.uis.edu.co/procesos_contratacion/contratacion/documentos/Licitaciones/Licitaciones2011/Licitaciones16/Definitivos/06.%20PLANTA%20QUINTO%20PISO.pdf

UNAL. (s.f.). Recuperado el 12 de 02 de 2016, de <http://www.unal.edu.co/siamac/sig/tips.html>

BIBLIOGRAFIA

Ettus Research, 5-Volt Active GPS Antenna [En línea]. [Citado 10 septiembre de 2015]. Disponible desde internet: < <https://www.ettus.com/product/details/GPS-ANT-5V>>

Ettus Research, CBX 1200-6000 MHz Rx/Tx [En línea]. [Citado 23 septiembre de 2015]. Disponible desde internet: < <https://www.ettus.com/product/details/cbx>>

Ettus Research, GPSDO (OCXO) [En línea]. [Citado 20 septiembre de 2015]. Disponible desde internet: < <https://www.ettus.com/product/details/GPSDO-MINI>>

Ettus Research, SBX 400-4400 MHz Rx/Tx [En línea]. [Citado 23 septiembre de 2015]. Disponible desde internet: < <https://www.ettus.com/product/details/sbx> >

Ettus Research, USRP X310 [En línea]. [Citado 10 septiembre de 2015]. Disponible desde internet: <<https://www.ettus.com/product/details/X310-KIT>>

Ettus Research, WBX 50-2200 MHz Rx/Tx [En línea]. [Citado 23 septiembre de 2015]. Disponible desde internet: < <https://www.ettus.com/product/details/wbx>>

GNURadio, The free & open software radio ecosystem. [En línea]. [Citado 10 septiembre de 2015]. Disponible desde internet: < <http://gnuradio.org/>>

Gomez, Andrés. Diseño y prueba de un sistema de comunicación digital M-aria basado en radio definido por software. Trabajo de grado. Santander, Colombia: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería eléctrica, electrónica y telecomunicaciones 2012.

Murillo, Juan y Pinar, Iván. Laboratorio de comunicaciones digitales radio definida por software. España: Universidad de Sevilla. Departamento teoría de señal y comunicaciones, 2011.

Suárez Javier, y Triana Vivian. Diseño del manual de prácticas para un laboratorio de comunicaciones digitales basado en la técnica de radio definido por software. Trabajo de grado. Santander, Colombia: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería eléctrica, electrónica y telecomunicaciones 2012.

ANEXOS

ANEXO A GUIA PARA PONER EN FUNCIONAMIENTO EL USRP X310

1. Ensamble del radio

Para realizar la instalación de las tarjetas hijas se recomienda que el USRP esté desconectado de su fuente de alimentación.

1.1 Aflojar los 2 tornillos de la parte superior del USRP y retirar la tapa. Ver figura 1

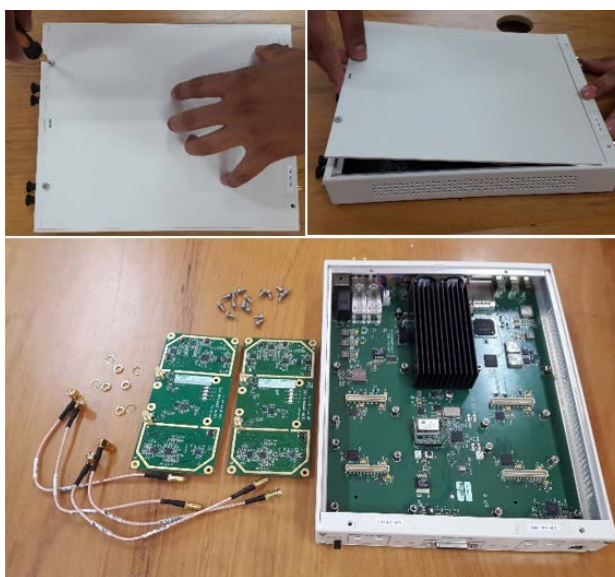


Figura 1. USRP X310 sin tapa y tarjetas hijas lista para su instalación.

1.2 Alinear los agujeros de los 8 tornillos para montar las tarjetas hijas. Ver figura 2.

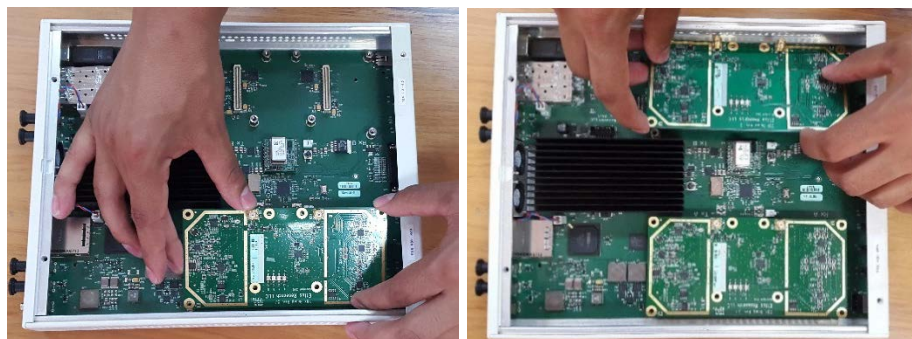


Figura 2. Alineamiento de los agujeros para montar tarjetas hijas.

1.3 Después de alinear los tornillos correctamente puede pulsar las tarjetas hijas hacia abajo (se sentirá cómo encaja en su lugar). Ver figura 3.

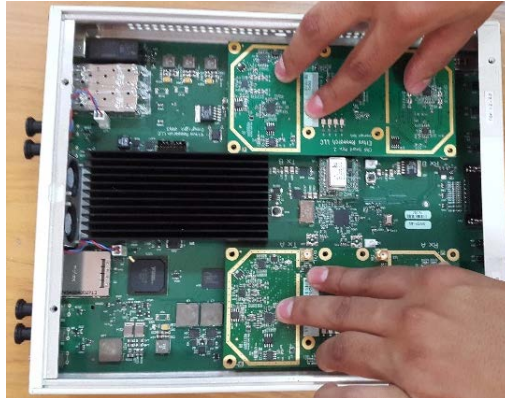


Figura 3. Montaje de las tarjetas hijas sobre USRP X310

1.4 Poner y ajustar los 8 tornillos que se incluyen con la tarjeta hija. Ver figura 4.

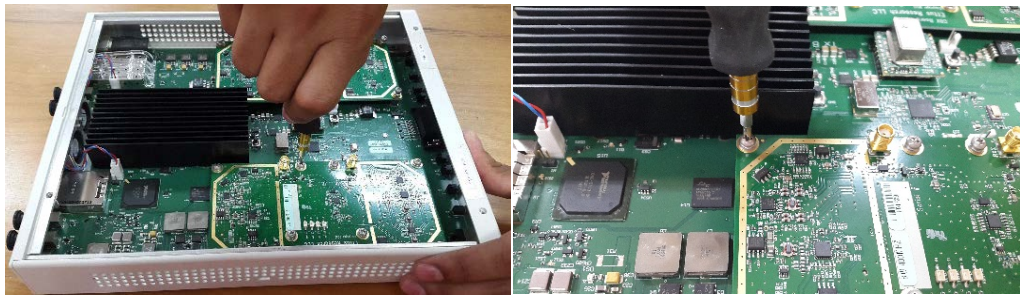


Figura 4. Ajuste de los tornillos de las tarjetas hijas sobre el USRPX310

1.5 Se recomienda conectar los cables SMA-Bulkhead uno a la vez para evitar confusiones. Las tarjetas hijas y panel frontal del radio X310 están claramente identificados en cuanto a qué cable va en su lugar. Ver figura 5.

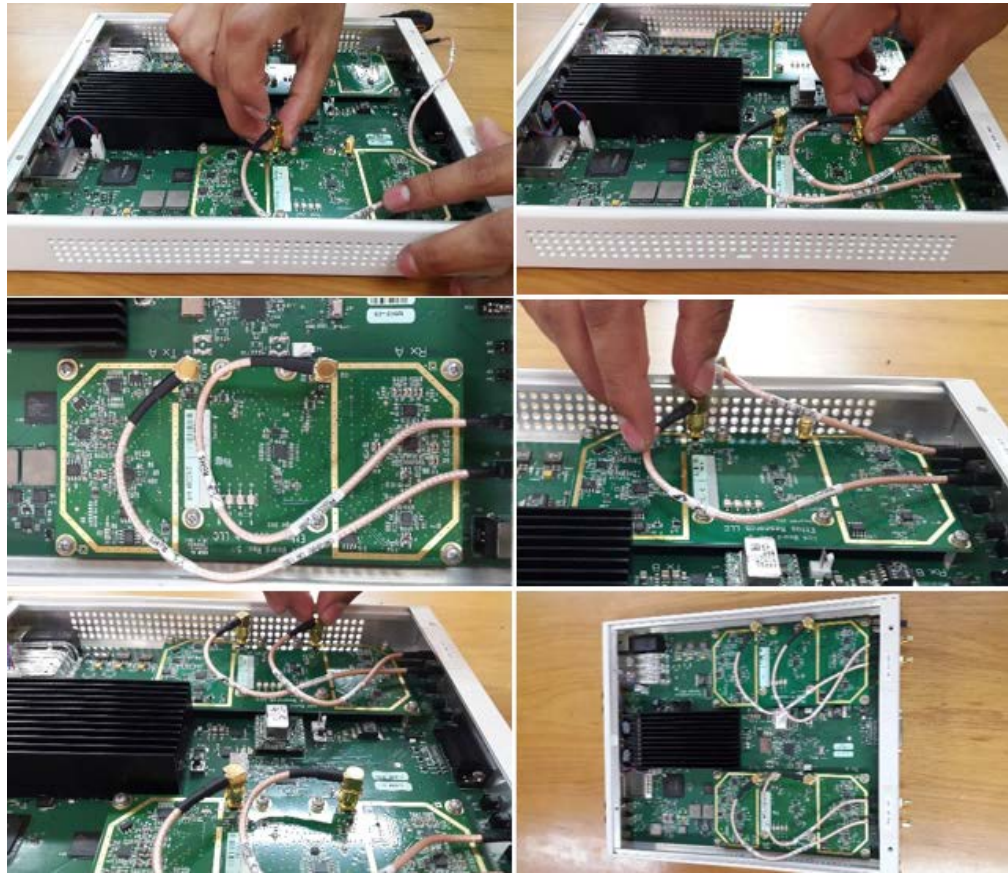


Figura 5. Conexión de los cables SMA-Bulkhead

1.6 Colocar la tapa y asegurar con los tornillos. Ver figura 6.



Figura 6. USRP X310 con su tapa asegurada.

1.7 Conectar el adaptador SFP 1 GigE al puerto 0 del USRP. Ver figura 7.



Figura 7. Conexión del adaptador SFP

1.8 Conectar el cable Gigabit Ethernet en el adaptador SFP y conectar la fuente de alimentación. Ver figura 8.



Figura 8. USRP X310 conectado con su fuente de alimentación y al cable Ethernet en el puerto 0.

Nota: Este proceso de ensamble del radio es una adaptación del manual que ofrece el fabricante Ettus Research. El cual se encuentra disponible en el siguiente enlace: <https://www.ettus.com/content/files/kb/xseries-quick-start.pdf>

2. Configuración del software

2.1 Instalar el sistema operativo Ubuntu en su última versión estable (LTS).

2.2 Instalar UHD

Para poder usar el USRP X310 es necesario tener instalado el USRP Hardware Driver (UHD). La versión que se utiliza en esta guía es la 3.9.0. Es importante tener en cuenta que se utiliza la versión 3.9.0 debido a que esta versión incorpora las funciones UHD necesarias para descargar y actualizar las imágenes de la FPGA.

A continuación, se indican los pasos para su instalación:

a) Instalar dependencias ejecutando el siguiente comando en la terminal:

```
$ sudo apt-get install libboost-all-dev libusb-1.0-0-dev python-mako doxygen  
python-docutils cmake build-essential python-cheetah liborc-0.4-0 liborc-0.4-dev  
liborc-0.4-doc libgps-dev gpsd gpsd-clients libqgpsmm-dev libncurses5-dev pps-  
tools git git-core python-dev ncurses-base ncurses-bin gpsdrive libudev-dev
```

b) Descargar los archivos fuente. Los archivos de UHD 3.9.0 se pueden encontrar en el siguiente enlace:

https://github.com/EttusResearch/uhd/archive/release_003_009_000.tar.gz

Luego de abrir el enlace y descargar el archivo en una ubicación conocida, descomprimirlo.

Por defecto, al descomprimir el archivo se crea una carpeta (directorio raíz de UHD) con el nombre **uhd-release_009_000_000** donde se encuentran todos los archivos necesarios para la instalación.

c) Entrar al directorio **host** dentro del directorio raíz de UHD. Ejecutar los siguientes comandos en la terminal:

```
$ cd uhd-release_009_000_000/host/  
$ mkdir build  
$ cd build  
$ cmake -DENABLE_E300=ON -DE300_FORCE_NETWORK=ON -  
DENABLE_GPSD=ON../  
$ make  
$ make test  
$ sudo make install
```

Nota: este proceso de instalación puede tardar varias horas.

Ettus Research propone esta y otras formas de instalación que se pueden revisar en: http://files.ettus.com/manual/page_build_guide.html

2.3 Instalar GNU Radio

a) Instalar dependencias con el gestor de paquetes de la distribución. Para hacer esto, ejecutar los siguientes comandos desde la terminal:

```
$ sudo apt-get -y install git-core cmake g++ python-dev swig pkg-config libfftw3-  
dev libcppunit-dev libgsl0-dev libusb-dev libsdl1.2-dev python-wxgtk2.8 python-  
numpy python-cheetah python-lxml doxygen libxi-dev python-sip libqt4-opengl-dev  
libqwt-dev libfontconfig1-dev libxrender-dev python-sip python-sip-dev sphinx*  
libgsm0710-dev libcomedi-dev alsa-base libzmq-dev openssh-server
```

b) Buscar la versión más reciente de GNU Radio. Se puede encontrar en el siguiente enlace: <http://gnuradio.org/releases/gnuradio/?C=M;O=D>. Descargar y guardar el archivo. En esta guía se usa la versión 3.7.8 de GNU Radio.

c) Descomprimir, compilar e instalar GNU Radio. Ejecutar los siguientes comandos desde la terminal:

```
$ tar -xvzf gnuradio-3.7.8.tar.gz
$ cd gnuradio-3.7.8.tar.gz
$ mkdir build
$ cd build
$ cmake ../
$ make
$ make test
$ sudo make install
$ sudo ldconfig
```

Nota: este proceso de instalación puede tardar varias horas.

Adicionalmente, los siguientes enlaces proveen información adicional acerca de la instalación de GNU Radio:

- <http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki/BuildGuide> En este enlace se puede encontrar información sobre la instalación de GNU Radio desde los archivos fuente.
- http://gnuradio.org/doc/doxygen/build_guide.html En este enlace se puede encontrar información sobre las dependencias necesarias para la instalación de GNU Radio.
- <http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki/UbuntuInstall> En este enlace se puede encontrar información sobre la instalación de GNU Radio sobre Ubuntu.

3. Configuración del equipo

Para configurar el equipo, el USRP debe estar conectado al computador y a su fuente de alimentación. A continuación, se explica cómo configurar el equipo.

3.1 Configurar la IP del computador

La configuración de la dirección IP en esta guía se hace teniendo en cuenta que la conexión se realiza por medio del puerto Ethernet 1 GigE. Para conexiones diferentes o dudas sobre esta, revise el siguiente enlace:

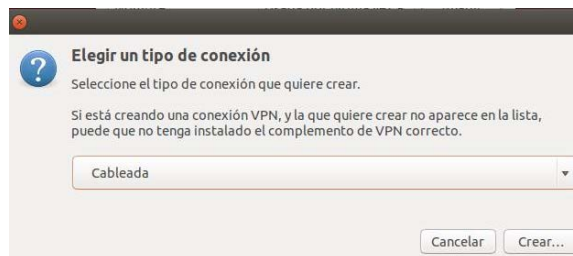
http://files.ettus.com/manual/page_usrp_x3x0.html#x3x0_setup_network_host_inte_rfae

Para configurar la IP del computador, siga estos pasos:

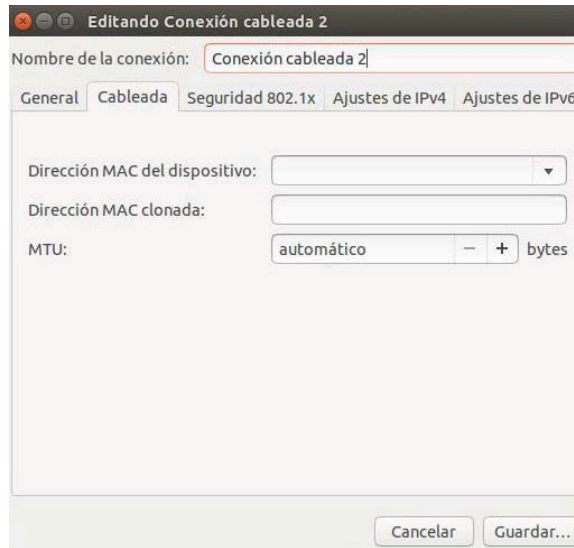
- a) Abrir “Conexiones de red” y dar clic en añadir



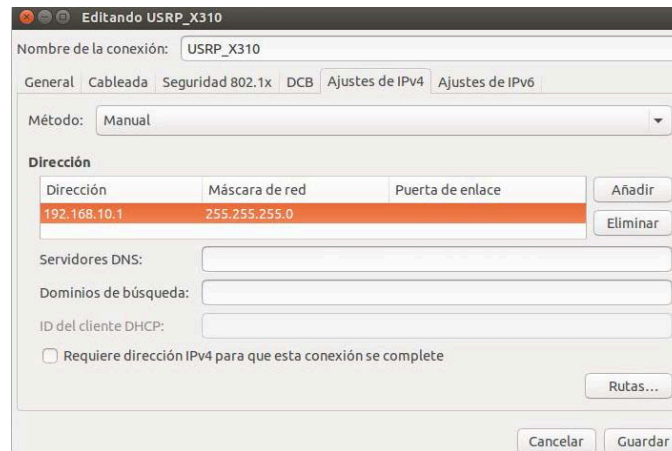
- b) Seleccionar tipo de conexión “Cableada” y dar clic en Crear



c) En esta nueva ventana, hacer clic en la pestaña “Ajustes de IPv4”



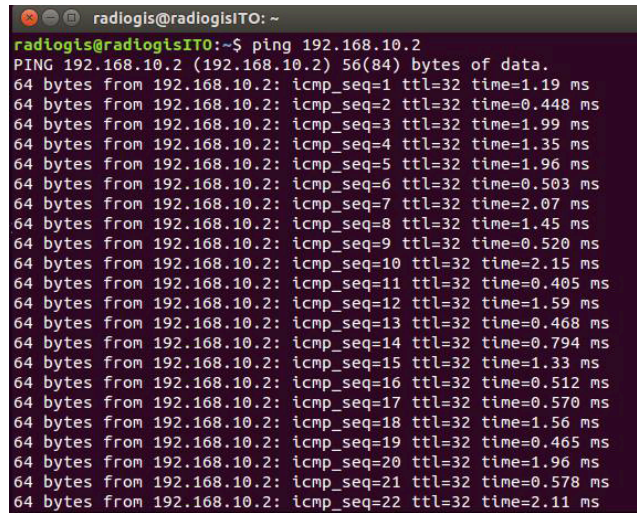
d) Ahora se puede cambiar el nombre de la conexión, en este caso se ha puesto USRP_X310. En <Método>, seleccionar la opción “Manual”. Luego dar clic en [Añadir]. En “Dirección” colocar 192.168.10.1, en “Máscara de red” colocar 255.255.255.0, y dar clic en guardar.



e) Para verificar que el radio se reconoce correctamente, ejecutar el siguiente comando en la terminal:

```
$ping 192.168.10.2
```

El comando **ping** sirve para verificar la conectividad con la IP respectiva, al ejecutar este comando mostrará la información sobre la conexión. Ver figura 9.



```
radiogls@radioglsITO: ~  
radiogls@radioglsITO:~$ ping 192.168.10.2  
PING 192.168.10.2 (192.168.10.2) 56(84) bytes of data.  
64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=1 ttl=32 time=1.19 ms  
64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=2 ttl=32 time=0.448 ms  
64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=3 ttl=32 time=1.99 ms  
64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=4 ttl=32 time=1.35 ms  
64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=5 ttl=32 time=1.96 ms  
64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=6 ttl=32 time=0.503 ms  
64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=7 ttl=32 time=2.07 ms  
64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=8 ttl=32 time=1.45 ms  
64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=9 ttl=32 time=0.520 ms  
64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=10 ttl=32 time=2.15 ms  
64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=11 ttl=32 time=0.405 ms  
64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=12 ttl=32 time=1.59 ms  
64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=13 ttl=32 time=0.468 ms  
64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=14 ttl=32 time=0.794 ms  
64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=15 ttl=32 time=1.33 ms  
64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=16 ttl=32 time=0.512 ms  
64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=17 ttl=32 time=0.570 ms  
64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=18 ttl=32 time=1.56 ms  
64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=19 ttl=32 time=0.465 ms  
64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=20 ttl=32 time=1.96 ms  
64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=21 ttl=32 time=0.578 ms  
64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=22 ttl=32 time=2.11 ms
```

Figura 9. Ejecución del comando ping al radio.

Con esto se puede comprobar que la conexión IP ha sido establecida correctamente.

Nota: la dirección IP que se le asigna al computador es **192.168.10.1**, que es diferente de la IP del USRP la cual es **192.168.10.2** y es sobre esta última la que se realiza el **ping**.

3.2 Actualizar la imagen de la FPGA

a) Verificar las funciones UHD que se tienen instaladas. Para esto ejecutar el siguiente comando en la terminal:

```
$ uhd + [TAB] + [TAB] + [TAB]
```

Este comando desplegará las funciones UHD que tiene instaladas. Verifique que aparezcan las funciones **uhd_image_loader** y **uhd_images_downloader**. Ver Figura 10.

```
radiogis@radiogisITO: ~  
radiogis@radiogisITO:~$ uhd  
uhd_cal_rx_iq_balance    uhd_find_devices        uhd_rx_nogui  
uhd_cal_tx_dc_offset    uhd_image_loader        uhd_siggen  
uhd_cal_tx_iq_balance    uhd_images_downloader   uhd_siggen_gui  
uhd_fft                  uhd_rx_cfile            uhd_usrp_probe  
radiogis@radiogisITO:~$ uhd_
```

Figura 10. Lista de funciones de UHD.

Si no aparecen las funciones mencionadas, revise la versión de UHD que tiene instalada. La versión que se usa en esta guía las tiene preinstaladas (Versión 3.9.0).

- b) Descargar las imágenes UHD actuales. Ejecutar en la terminal el siguiente comando:

```
$ uhd_images_downloader
```

Este comando descarga las imágenes requeridas para poder actualizar la imagen de la FPGA.

- c) Cargar la imagen de la FPGA. Ejecutar en la terminal el siguiente comando:

```
$ uhd_image_loader --args = "type = x300, addr = 192.168.10.2, FPGA = HGS"
```

Con la función **uhd_image_loader** se carga la imagen de la FPGA.

Si se guardaron las imágenes en una ubicación no estándar, se tendrá que indicar su nueva dirección. Para esto, en la línea de comandos, ejecutar:

```
$ uhd_image_loader --args = "type = x300, addr = 192.168.10.2"-path --fpga = "<dirección_de_las_imágenes>/usrp_x310_fpga_HGS.bit"
```

d) Reiniciar el USRP. Cuando se haya terminado de cargar la imagen de la FPGA reiniciar el USRP. Es muy importante que se reinicie el USRP para que se guarde la nueva imagen.

Información adicional sobre la actualización de la imagen de la FPGA se puede encontrar en el siguiente enlace:

http://files.ettus.com/manual/page_usrp_x3x0.html#x3x0_getting_started_fpga_update

3.3 Configuraciones adicionales

a) Configuración de *Socket Buffers*. Ejecutar en la terminal los siguientes comandos:

```
$ sudo sysctl -w net.core.rmem_max=33554432
```

```
$ sudo sysctl -w net.core.wmem_max=33554432
```

b) Configuración del MTU. Ejecutar en la terminal el siguiente comando:

```
$ sudo ifconfig eth0 mtu 1500
```

Información útil sobre las configuraciones adicionales se pueden encontrar en: http://files.ettus.com/manual/page_usrp_x3x0_config.html

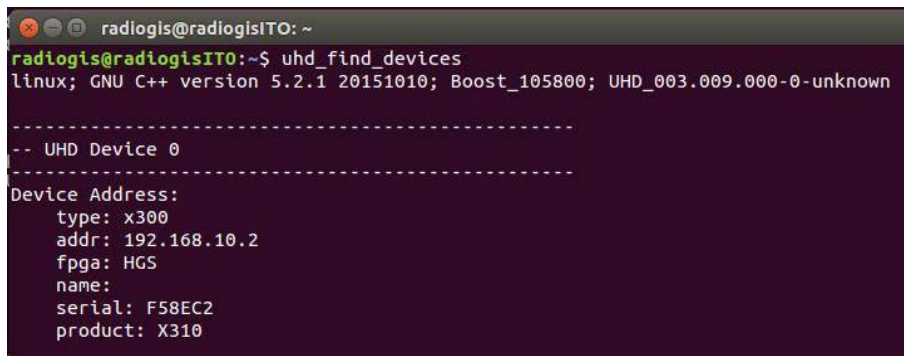
3.4 Comprobar que el USRP se detecta correctamente y es utilizable.

a) Buscar el radio. Ejecutar en la terminal el siguiente comando:

```
$ uhd_find_devices
```

Este comando busca y muestra la información de los USRP conectados al computador.

Si la IP fue configurada correctamente debe reconocer el equipo y mostrar información sobre el radio. Ver Figura 11.



```
radiogis@radiogisITO: ~  
radiogis@radiogisITO:~$ uhd_find_devices  
Linux; GNU C++ version 5.2.1 20151010; Boost_105800; UHD_003.009.000-0-unknown  
  
-----  
-- UHD Device 0  
-----  
Device Address:  
  type: x300  
  addr: 192.168.10.2  
  fpga: HGS  
  name:  
  serial: F58EC2  
  product: X310
```

Figura 11. Ejecución del comando `uhd_find_devices`.

Si no aparece información sobre el radio, o aparece algún error, se recomienda revisar el paso 3.1 de esta guía.

Verificar que se reconocen las tarjetas hijas y módulos conectados al radio. Ejecutar en la terminal el siguiente comando:

```
$ uhd_usrp_probe --args addr = 192.168.10.2
```

Este comando busca y muestra la información del USRP, las tarjetas hijas y módulos que estén montados sobre el radio. Ver imagen 12.

```
@radiogistsITO:~
radiogists@radiogistsITO:~$ uhd_usrp_probe --args addr=192.168.10.2
linux; GNU C++ version 5.2.1 20151010; Boost_105800; UHD_003.009.000-0-unknown

-- X300 initialization sequence...
-- Determining maximum frame size... 1472 bytes.
-- Setup basic communication...
-- Loading values from EEPROM...
-- Setup RF frontend clocking...
-- Radio 1x clock:200
-- Detecting internal GPSDO... Found an internal GPSDO
-- Initialize Radio0 control...
-- Performing register loopback test... pass
-- Initialize Radio1 control...
-- Performing register loopback test... pass

-----
Device: X-Series Device
-----
Mboard: X310
revision: 6
product: 30410
mac-addr0: 00:80:2f:0a:fa:1d
mac-addr1: 00:80:2f:0a:fa:1e
gateway: 192.168.10.1
ip-addr0: 192.168.10.2
subnet0: 255.255.255.0
ip-addr1: 192.168.20.2
subnet1: 255.255.255.0
ip-addr2: 192.168.30.2
subnet2: 255.255.255.0
ip-addr3: 192.168.40.2
subnet3: 255.255.255.0
serial: F58EC2
FW Version: 4.0
FPGA Version: 14.0
```

Figura 12. Ejecución del comando `uhd_usrp_probe`.

Si la imagen de la FPGA fue correctamente actualizada no mostrará ningún error. Si no, se recomienda revisar el paso 3.2 de esta guía.

Al ejecutar este comando se muestran las diferentes tarjetas hijas montadas en el USRP. Se muestran sus características e información de módulos adicionales, como puede ser el GPSDO.

- b) Probar la demo **UHD_FFT** que viene con GNU Radio.
 - i. Conectar una antena a RX2 en la placa secundaria izquierda (tarjeta hija A). Ver figura 13



Figura 13. USRP X310 con una antena conectada al puerto RX2.

ii. Abrir la terminal y desde la ventana de comandos ejecutar:

```
$ uhd_fft
```

Este comando abrirá una nueva ventana y mostrará la respuesta en frecuencia de las señales recibidas por la antena conectada al puerto RX2. Ver figura 14.

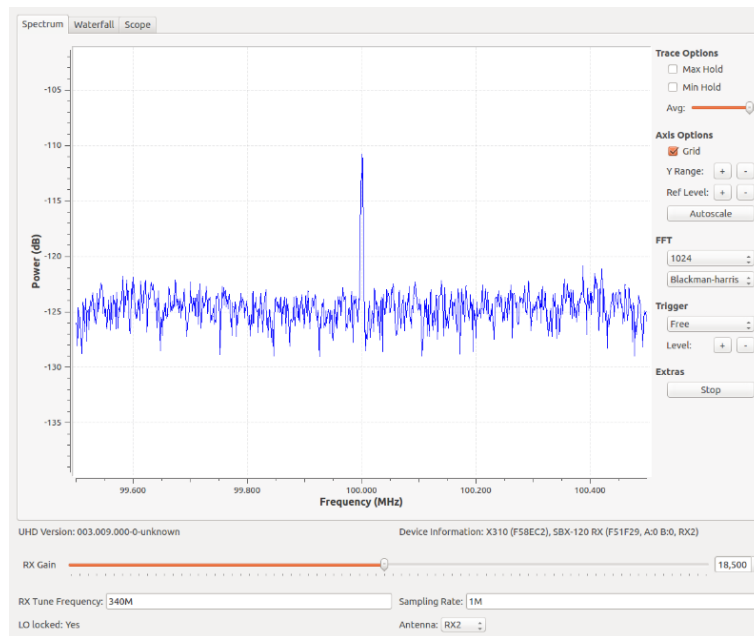


Figura 14. Respuesta en frecuencia de señales recibidas en RX2

Nota: Esta guía se basó en el manual que ofrece el fabricante Ettus Research. El cual se encuentra disponible en el siguiente enlace: <https://www.ettus.com/content/files/kb/xseries-quick-start.pdf>

ANEXO B. PRACTICA DE LABORATORIO

FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO GPSDO (OCXO) SOBRE EL USRPX310

INTRODUCCIÓN

EL USRP X310, es un periférico diseñado para la implementación de sistemas SDR. Este radio permite el uso de módulos adicionales para complementar su funcionamiento como el caso del módulo GPSDO (OCXO). Este módulo permite hacer uso del llamado Sistema de Posicionamiento Global – GPS (del inglés *Global Positioning System*). El GPS es un sistema global de navegación por satélite (GNSS) que consta de 24 satélites y sus respectivas estaciones en tierra. Los satélites son usados por el receptor como punto de referencia para el cálculo de su posición. Se necesitan al menos cuatro (4) satélites para obtener una posición tridimensional. Al poner en funcionamiento el módulo GPSDO sobre el USRP X310 se puede obtener la localización del radio en el planeta.

OBJETIVO GENERAL

Poner en funcionamiento del módulo GPSDO (OCXO) sobre el USRP X310 usando GNU Radio.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Instalar el bloque GPS en GNU Radio.
2. Poner en funcionamiento el módulo GPSDO (OCXO).
3. Obtener la localización del USRP X310 en el planeta.

TRABAJO PREVIO

Para realizar esta práctica es necesario el montaje, instalación, configuración y puesta en funcionamiento del radio X310 empleando GNU Radio. En el anexo A

se encuentra una guía que indica paso a paso este proceso. También se recomienda leer acerca del sistema GPS y sus fuentes de error.

EQUIPOS

- USRP X310
- MÓDULO GPSDO (OCXO)
- ANTENA GPS
- COMPUTADOR

PROCEDIMIENTO

1. Descargar la carpeta usrp_x310. Esta carpeta contiene dos archivos uno python y otro xml. Se encuentra disponible en:
<https://www.dropbox.com/sh/5ad8okpx9j1ti1k/AADqwadKVLRIho0NIbtxtT5a?dl=0>

Luego de descargar la carpeta se debe guardar en una localización conocida.

2. Abrir la terminal de Ubuntu ([Ctrl] + [Alt] + [t]) y ejecutar los comandos que se presentan en la tabla 1. Estos comandos permiten realizar la descripción del bloque en GNU Radio.

Tabla 1. Comandos para la descripción del bloque.

COMANDO	FUNCION
\$ mkdir USRP_X310	Crea la carpeta USRP_X310
\$ cd USRP_X310/	Ingresa la carpeta USRP_X310
\$ gr_modtool newmod UIS	Define la categoría o librería donde se va a guardar el bloque (UIS)
\$ cd gr-UIS/	Ingresa a la carpeta gr-UIS
\$ gr_modtool add -t sink -l python -N GPS	Define los parámetros del bloque

Al terminar de ejecutar estos comandos aparecerán dos líneas en la terminal de Ubuntu se les da **Enter** para continuar.

3. Luego se deben modificar dos archivos, uno python y otro xml.

El archivo python se encuentra en esta dirección: USRP_X310/gr-UIS/Python con el nombre GPS.py. Este archivo se debe abrir, borrar todo el código que está dentro de él y remplazarlo por el código que se encuentra en el archivo python que se descargó. Luego guardar los cambios efectuados y cerrar el archivo.

El archivo python se encuentra en esta dirección: USRP_X310/gr-UIS/grc con el nombre UIS_GPS.xml. Este archivo se debe abrir, borrar todo el código que está dentro de él y remplazarlo por el código que se encuentra en el archivo python que se descargó. Luego guardar los cambios efectuados y cerrar el archivo.

4. Abrir la terminal de Ubuntu ([Ctrl] + [Alt] + [t]) y ejecutar los comandos que se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Comandos para la instalación del bloque.

COMANDO	FUNCION
\$ cd usrp_x310	Abre la carpeta usrp_x310
\$ cd gps	Abre la carpeta gps
\$ cd gr-UIS	Abre la carpeta gr-UIS
\$ mkdir build	Crea la carpeta build
\$ cd build	Abre la carpeta build
\$ cmake ..	Estos comandos permiten la compilación e instalación del bloque GPS.
\$ make	
\$ sudo make install	
\$ sudo ldconfig	

El bloque instalado permite poner en funcionamiento el módulo GPSDO (OCXO) desde GNU Radio y de esta manera obtener la localización del USRP X310.

5. Conectar el USRPX310 al computador y ponerlo en funcionamiento como se hizo en el trabajo previo. Adicionalmente conectar la antena activa GPS al puerto correspondiente del radio. En la figura 1 se puede ver el puerto en el que se debe conectar la antena.



Figura 1. Vista posterior del USRP X310.

6. Verificar que el módulo GPSDO (OCXO) montado en el USRP X310 es detectado correctamente. Abrir la terminal de Ubuntu ([Ctrl] + [Alt] + [t]) y ejecutar el siguiente comando:

```
$ uhd_usrp_probe --args addr = 192.168.10.2
```

Este comando busca y muestra la información del USRP, las tarjetas hijas y módulos que estén montados sobre el radio. En figura 2 se puede ver el resultado cuando se detecta el módulo GPSDO correctamente.

```
@radioglsITO: ~
radiogls@radioglsITO:~$ uhd_usrp_probe --args addr=192.168.10.2
linux; GNU C++ version 5.2.1 20151010; Boost_105800; UHD_003.009.000-0-unknown

-- X300 initialization sequence...
-- Determining maximum frame size... 1472 bytes.
-- Setup basic communication...
-- Loading values from EEPROM...
-- Setup RF frontend clocking... Deteccion del modulo GPSDO
-- Radio 1x clock:200
-- Detecting internal GPSDO... Found an internal GPSDO
-- Initialize Radio0 control...
-- Performing register loopback test... pass
-- Initialize Radio1 control...
-- Performing register loopback test... pass
```

Figura 2. Ejecución del comando **uhd_usrp_probe**

7. Abrir GNU Radio y realizar la conexión de bloques como se muestra en la figura 3.

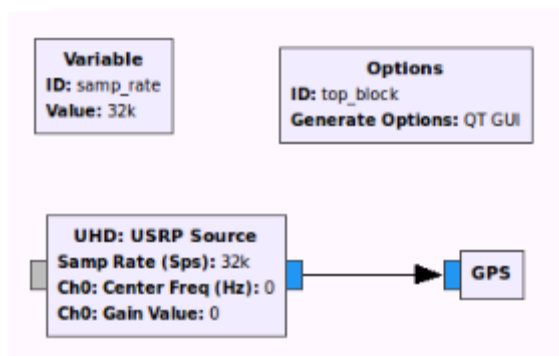


Figura 3. Diagrama de bloques

El bloque **GPS** fue el que se instaló. Este bloque se encuentra en una nueva categoría o librería de GNU Radio llamada **UIS**. Al ejecutar este diagrama bloques en GNU Radio, se obtiene la localización del radio X310 en el planeta usando el módulo GPSDO (OCXO). En la consola de GNURadio se visualizan las coordenadas de la localización, el número de satélites leídos, la hora y fecha de las mediciones.

8. Realice lecturas de al menos tres ubicaciones diferentes, tome las coordenadas leídas en cada ubicación, ingréselas en Google Maps y encuentre localización del radio en el planeta.
9. Realice observaciones y conclusiones.