

**Inclusión de Herramientas SDR en las Asignaturas de
Telecomunicaciones para la Universidad ECCI**

Angela Forero & Wilder Triana & William Diaz.
Octubre 2016.

Universidad ECCI
Dirección de Posgrados
Seminario de Investigación II

Copyright © 2016 por Angela Forero & Wilder Triana
& William Diaz . Todos los derechos reservados.

Abstract

The project proposes and presents a model of software deployment tools defined radio SDR in the academic curriculum telecommunications ECCI University for undergraduate college. The approach is from a theoretical component which is widely develops the basic principles to understand the different concepts of communication as are issues of digital / analog modulation, filters, wireless communication, radio frequency systems, signal processing, embedded systems, shipping and data reception.

The methodology for this learning process is the development of practical laboratories that are bounded within the scope of resources and in relation to the academic content proposed for each subject in the course of the document is to be expressed in detail each steps or processes to perform with clearly defined objectives.

The resources used at hardware level is a universal peripheral system Radio with (Universal Software Radio Peripheral) hardware USRP cards that currently owns the ECCI University, the thematic content of each of the areas involved is studied to learn how more optima to adapt practices that have been done at other universities and even research groups.

Tabla de Contenido

RESUMEN

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

- 1.1 Justificación
- 1.2 Motivación
- 1.3 Objetivo General
- 1.4 Objetivos Específicos

Capítulo 2 ANTECEDENTES

- 2.1 Metodologías para implementación de SDR en la Universidad

Capítulo 3 CONCEPTOS BÁSICOS PARA LA RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE(SDR)

- 3.1 Definición
- 3.2 Contexto Histórico
- 3.3 Diseño de sistema de comunicaciones usando SDR
- 3.4 Hardware Tarjeta USRP
- 3.5 Fundamentos de Modulación para Telecomunicaciones
- 3.6 Sistemas de comunicaciones análogos
- 3.7 Arquitectura Universal

Capítulo 4 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

- 4.1 Inclusión de SDR en las asignaturas de telecomunicaciones
 - 4.1.1 Análisis del Pensum de Telecomunicaciones
 - 4.1.2 Metodologías para implementación de SDR en la Universidad
- 4.2 Presentación de Guías
 - 4.2.1 guía 1 - PRIMEROS PASOS CON GNU RADIO
 - 4.2.2 guía 2 - LA MODULACIÓN (Modulación AM)
 - 4.2.3 guía 3 - LA TARJETA USRP
 - 4.2.4 guía 3 - LA MODULACIÓN (Modulación FM)

Anexos

- Guía 1 - Primeros Pasos con GNU Radio
- Guía 2 - Modulación

Lista de Referencias

Anexos

Lista de tablas

Tabla 1. Comparativo de hardware para SDR

Tabla 2. Pensum de Telecomunicaciones para Ingeniería Electrónica en la Universidad ECCI

Tabla 3. Materias del Pensum de Telecomunicaciones para la Implementación de SDR

Lista de figuras

Figura 1. Metodología trabajo por Objeto de Aprendizaje

RESUMEN

El proyecto propone y plantea un modelo para la implementación de herramientas de software defined radio SDR en el currículo académico de telecomunicaciones en pregrado de la Universidad ECCI. El planteamiento se realiza desde un componente teórico donde se desarrolla ampliamente los principios básicos para entender los diferentes conceptos de comunicaciones como lo son temas de modulación digital/análoga, filtros, comunicación inalámbrica, sistemas de radiofrecuencia, procesamiento de señales, sistemas embebidos, envío y recepción de datos.

La metodología para realizar dicho proceso de aprendizaje es la elaboración de laboratorios prácticos que se encuentren acotados dentro del alcance de los recursos, generando una relación con los contenidos académicos propuestos para cada materia, en el transcurso del documento se desea expresar de manera detallada cada uno de los pasos o procesos a realizar con objetivos definidos de manera clara.

Los recursos a utilizarse a nivel de hardware es un sistema periférico universal de Radio con las tarjetas hardware USRP (Universal Software Radio Peripheral) que actualmente posee la Universidad ECCI, se estudia los contenidos temáticos de cada una de las áreas involucradas para conocer la forma más óptima de adaptar prácticas que se han realizado en otras universidades e incluso en grupos de investigación.

La inclusión de las herramientas de SDR se centra en proporcionar un material de trabajo para estudiantes y profesores, donde los conceptos sean alcanzados de una forma práctica. Así mismo, dentro del transcurso de algunas asignaturas no se hace un uso óptimo de la

tecnología para lo cual los siguientes contenidos son una guía para poder llegar a un punto de aplicación de los sistemas de Telecomunicaciones.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

Las telecomunicaciones han contribuido al desarrollo de la academia ya que permiten lograr comunicación y envío de información de un extremo al otro, así como la interacción entre los equipos de radiofrecuencia a nivel electrónico con los protocolos de comunicación o software necesarios para la operación. La Radio definida por software SDR se refiere al hecho de utilizar herramientas computacionales para controlar casi todas las funciones de un dispositivo de comunicaciones o de sensores tipo radar; esta tecnología realiza el procesamiento de señales convirtiendo señales digitales a componentes virtuales de hardware.

La Radio definida por software resalta la facilidad para realizar cambios en el diseño, proporcionando funcionalidades dinámicas donde es posible que lo haga el usuario lo que genera unos costos de desarrollo más bajos. La arquitectura de la radio definida por software es vista como un sistema embebido, esto se refiere a la integración de hardware y el software de manera óptima donde a su vez áreas del conocimiento como la ciencia computacional, la ingeniería, la informática, la electrónica y comunicaciones, instrumentación y control son acopladas entre sí (Kamal, R,2008), SDR cuenta con los módulos necesarios para el desarrollo y la práctica de cada operación.

La inclusión de los sistemas SDR ofrecen una solución a las diferentes problemáticas comunes a enfrentar cuando se habla de la enseñanza de las telecomunicaciones en un rol académico puesto que la capacidad que tiene un currículo académico actualmente para integrar los conceptos teóricos a una práctica es limitada en cuanto a recursos, tales como laboratorios, horas de clase, componentes de hardware, etc.

1.2 Motivación

El desarrollo continuo de las telecomunicaciones se ha visto reflejado en las cifras que demuestran que los proyectos de investigación y desarrollo, están ubicados como un factor en donde existe una inversión nacional. El gran incremento de población estudiantil en las universidades en la rama de las telecomunicaciones genera un incremento en las necesidades insatisfechas, debido a esto se ha despertado la curiosidad por encontrar una forma práctica donde se puedan llevar a cabo un desarrollo de actividades complementarias a unos conocimientos teóricos adquiridos en las aulas de clase.

La intención principal es poder desarrollar contenido para las materias de telecomunicaciones, generando valor a las prácticas realizadas en laboratorios de tal forma que puedan ser integradas la teoría y la práctica en un ambiente simulado de forma virtual donde permite que el estudiante tenga la experiencia en el manejo de herramientas para telecomunicaciones usadas actualmente.

Por otra parte, en cuanto a los índices Global de Innovación, Colombia ocupa la posición 68 sobre un total de 143 países (SANCHEZ.S,2014). Datos que ubican al país en un nivel medio a nivel de implementación de desarrollo de I+D, donde la cultura de la propiedad intelectual se ha degradado en el uso de distintos recursos académicos, así mismo la proliferación del software ilegal deja mal parado al país. SDR ofrece herramientas de uso libre que pueden ser aprovechadas en el aprendizaje contrarrestando los efectos de la violación de la propiedad intelectual.

Un objetivo claro en Colombia ha sido llevar al desarrollo prácticas de integración social y educativas que fomenten el aumento cognitivo de regiones pequeñas y aledañas en el país, la falta de ingenieros enfocados en las áreas de electrónica y de telecomunicaciones, áreas sumamente importantes en el objetivo del desarrollo e innovación actual, por dicha razón el entrar a generar un estándar de capacitación más alto en las aulas de clase de las universidades en un tema principal es una motivación donde influyen la empresas que están interesadas en dichos profesionales así como los programas alternos que el estado promueve para la investigación y aplicación de los conocimientos adquiridos .

1.3 Objetivo General

Modelar y proponer una solución óptima de SDR con el uso de tarjeta USRP para su implementación en las asignaturas de Telecomunicaciones en Pregrado de la Universidad ECCI, aplicando conceptos teóricos dentro de guías prácticas que involucran temas como

modulación, filtros, conversor análogo digital en un sistema de telecomunicaciones con software defined radio.

1.4 Objetivos Específicos

- Reunir contenido teórico de los conceptos necesarios para realizar cada una de las prácticas.
- Desarrollo de guías que contengan el planteamiento y desarrollo de la práctica.
- Consultar de manera específica los contenidos temáticos de las asignaturas de telecomunicaciones en la Universidad ECCI.
- Exponer las características en cuanto a funcionalidades del uso de SDR con la tarjeta USRP.

2.ANTECEDENTES

Dentro de un contexto educativo actualmente los SDR contienen los requerimientos contenido en el área de las telecomunicaciones, dentro de ingeniería electrónica y cursos alternos los cuales presentan retos importantes para el procesamiento de señales, como lo ilustra la conferencia Frontiers IEEE en Educación desarrollada en el 2009, las prácticas desarrolladas comunes son la modulación digital/análoga y filtros donde los estudiantes pueden experimentar con los conceptos de comunicación, beneficiándose de la experiencia inmediata y tangible en la aplicación de las teorías complejas y principios que están tratando de dominar (KATS.S ,2009).

Tomando casos específicos de aplicación de SDR en la educación en universidades extranjeras expresan una perspectiva diferente en lo que respecta al planteamiento de una metodología completa y moderna que acerca al estudiante a la experiencia, como por ejemplo en la Universidad Southampton en Reino Unido (REED.J, 2013) se llevó a cabo una práctica de laboratorio para una asignatura de telecomunicaciones, acerca de la modulación en cuadratura DQPSK (Differential Quadrature Phase-Shift Keying) que es una forma de modulación angular que consiste en hacer variar la fase de la portadora entre un número de valores discretos integrados al uso de hardware USRP (Universal Software Radio Peripheral) que es un sistema periférico universal de Radio. Como resultado de la práctica se pudo evidenciar con la ayuda de gráficas en tiempo real, la relación de la fase actual respecto de la fase anterior lo cual sustenta la teoría. Por otra parte, un grupo de

estudiantes de la universidad de Rutgers en Estados Unidos (ADMIN,M. 2014) realizaron una propuesta utilizando la tarjeta NI USRP-2920 con el fin de formar una red inalámbrica de nodos independientes que les permitiera interactuar con el hardware directamente. Aunque los casos tomados no son las únicas prácticas que se pueden desarrollar, como resultado de éstas prácticas se plantea una metodología que permite a los estudiantes observar un resultado de los diferentes fenómenos y conceptos en el área de telecomunicaciones, la inclusión de herramientas de SDR acopladas con hardware generan aplicaciones y sistemas completos los cuales son horizontales al conocimiento de las temáticas básicas en los pensum de ingeniería electrónica.

Para poder tener una perspectiva general es necesario considerar el contexto nacional y lo que se ha hecho en el uso de SDR en ambientes universitarios. En la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en Bogotá parten de la problemática , expresa que debido al aumento de servicios de telefonía móvil, el sector de las telecomunicaciones se ha visto enfrentado a un inconveniente creciente referente a la saturación del espectro, proponen una solución de la radio cognitiva que enfoca sus esfuerzos en realizar un uso más eficiente del espectro disponible, el desarrollo de la solución se implementan bajo sistemas de radio frecuencia (MARQUEZ.H, 2013).

Por otro lado las problemáticas comunes a enfrentar cuando se habla de la enseñanza de las telecomunicaciones en un rol académico, son la capacidad que tiene un currículo académico para integrar los conceptos teóricos a una práctica relevante que permita

observar el funcionamiento de sistemas de radiofrecuencia y manejo de procesamiento de señales, así mismo se establece que los sistemas hoy en día deben ser vistos como estructuras embebidas, que por definición, son una integración entre el hardware y el software de manera óptima donde a su vez áreas del conocimiento como la ciencia computacional, la ingeniería, la informática, la electrónica y comunicaciones, instrumentación y control son acopladas entre sí (Kamal R,2008).

La Universidad ECCI no es indiferente a este tipo de problemáticas, a nivel interno en los programas de pregrado por medio de experiencias personales y de observación se evidencia que el aprovechamiento de los recursos que posee la universidad no es óptimo, ya que contando con tarjetas USRP para prácticas en telecomunicaciones no son usadas en pregrado, que el planteamiento de las prácticas no es acotado dentro de un marco con objetivos específicos y resultados esperados, a esto se suma que al momento de realizar las implementaciones los elementos de hardware tales como circuitos integrados, microcontroladores y componentes pasivos tales como resistencias, condensadores o bobinas no son de alta calidad o con un estándar que genere precisión en las prácticas.

2.1 Metodologías para implementación de SDR en la Universidad

Una de las propuestas que se maneja en un ámbito internacional de aprendizaje para el contenido educativo a través de la tecnología se establece una forma de trabajo por Objeto de Aprendizaje (OA), estos son agrupados como recursos digitales que ayudan al desarrollo de contenidos académicos, que en este caso abarca los conceptos en telecomunicaciones.

La metodología plantea los siguientes puntos principales:

- a) La adopción de un conjunto básico de estándares, que permita a los OA's ser usados en diferentes plataformas, además de proveerles de una estructura informática, que facilita su uso y re-uso.
- b) Tecnologías que permitan la gestión de los mismos de forma adecuada, como son los repositorios de OA y los Sistemas de Gestión de Aprendizaje.
- c) Los OA no deben descuidar la pedagogía en el desarrollo de los temas(Osorio.U,2008).

Teniendo en cuenta lo anterior la implementación de los contenidos para SDR reúne los componentes necesarios mencionados en la figura n.



Figura 1. Metodología trabajo por Objeto de Aprendizaje

Ahora bien , aterrizando un poco la metodología a nivel de aplicación uno de los ejemplos expuesto se da lugar en el Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería en Universidad de Sevilla donde un trabajo de grado expone el estudio de la sincronización de símbolo a nivel de bit en una comunicación basada en Software Defined Radio utilizando como equipo transmisor y receptor el USRP1 de Ettus Research. Tras detectar a través de mediciones experimentales un error en el sincronismo de símbolo en el sistema DQPSK propuesto en las referencias se procede a caracterizar dicho error.

Por otra parte, muchos de los sistemas actualmente han sido enfocados a la movilidad y bajo consumo de recursos de energía, para SDR se da un enfoque portátil con un consumo bajo de batería en la implementación de un receptor de ancho en la banda de 800MHz a 5GHz , actuando como una señal donde acondiciona el convertidor análogo/digital ADC, destacando sólo el canal deseado. En el desarrollo de la guía desarrollada en la Universidad de California establece una recopilación histórica de la radio definida por software, realiza un cálculo matemático mediante integrales definidas en dos puntos para determinar el comportamiento del filtro. Se establece el esquema para implementación en la figura 2 .

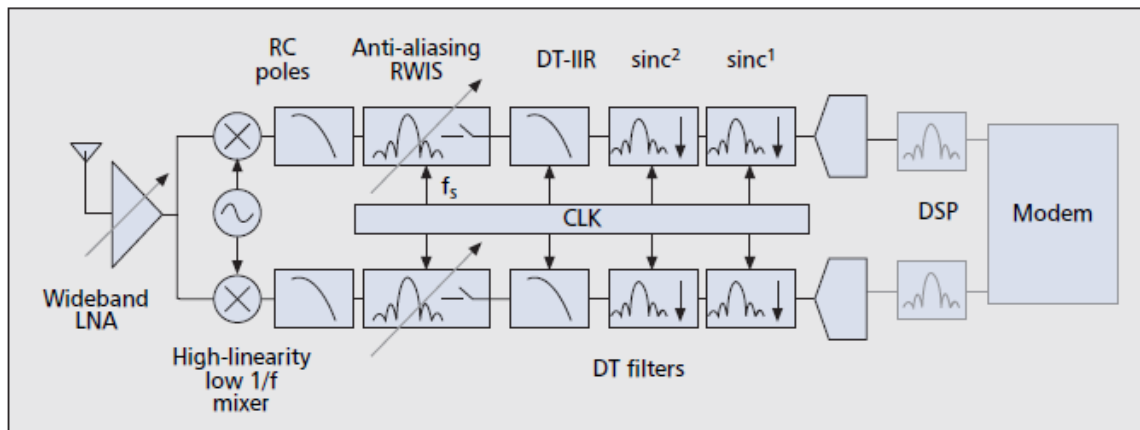


Figura 2. diseño de sistemas de comunicaciones usando software defined radio (2014) .

University of California and WiLinX . Sistema de comunicaciones.

Se hace los ajustes dentro los aspectos reprogramables aumentando las muestras para el ADC, modificando la ganancia del amplificador, estableciendo niveles de ruido para el estándar 802.11g y la linealidad. Finalizando la práctica se colocan los resultados de las mediciones el sistema y la señal recibida(Rahim .B,Ahmad M, 2006).

3.CONCEPTOS BÁSICOS PARA LA RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE(SDR)

3.1 Definición

Es un sistema de radiofrecuencia configurable en diferentes bandas de frecuencia y cuya implementación ha ido significativamente en aumento, con un foco importante dirigido a la concepción de un sistema de transmisión y la gestión misma del sistema que permite su reconfiguración. Dentro del concepto que indica el señor Joseph Mitola "A software radio is a radio whose channel modulation waveforms are defined in software." lo que da a entender los sistemas de radio donde la modulación de las formas de onda se da a través de software. Estos dispositivos permiten programar el transmisor y el receptor mediante software hasta su etapa de frecuencia intermedia, trabajando con altas tasas de muestreo gracias a los convertidores digitales de subida y bajada que contienen.

A pesar de no existir un estándar respecto a los dispositivos SDR, el Wireless Innovation Forum en colaboración con el grupo P19001 del IEEE2, establecen una definición y unos esquemas comunes para estas tecnologías: "Radio en la cual alguna o todas las funciones de la capa física son definidas mediante software." (Software Defined Radio,2013) Es decir, características como la frecuencia de portadora o la modulación empleada son establecidas de manera flexible a través de software.

El concepto de SDR tiene como objetivo aumentar la flexibilidad en los sistemas de comunicaciones, en contraste con los sistemas tradicionales basados en hardware.

La variación en el comportamiento de un elemento hardware a través de software, siguiendo una arquitectura común, permite una reducción drástica de costes de producción y mantenimiento, así como una inversión mínima a la hora de añadir nuevas prestación a los sistemas, lo que se traduce en un menor coste que beneficia tanto a proveedores de servicio como al usuario final que pretende tener acceso a comunicaciones inalámbricas de manera eficiente y a un precio económico [Institute of Electrical and Electronics Engineers].

Además de por todo lo descrito, el auge en la tecnología SDR se debe a la creciente implantación de técnicas de gestión eficiente del espectro, radio adaptativa y cognitiva, donde se dota a los equipos de cierta inteligencia para fijar de manera dinámica los parámetros de operación según su situación, lo que resulta más sencillo a través de software.

Joseph Mitola fundador del SDR definió su labor de la siguiente forma:

“A software radio is a radio whose channel modulation waveforms are defined in software. That is, waveforms are generated as sampled digital signals, converted from digital to analog via a wideband DAC and then possibly upconverted from IF to RF. The receiver, similarly, employs a wideband ADC that captures all of the channels of the software radio node. The receiver then extracts, downconverts and demodulates the channel waveform using software on a general purpose processor.” dónde da a entender que todas las

funciones de un dispositivo de comunicaciones se pueden implementar sobre los mismos sistemas electrónicos de comunicaciones.

3.2 Contexto histórico

En 1991 se presenta un proyecto implementando el concepto SDR se lleva a cabo Estados Unidos es el departamento de defensa con un proyecto que tomaría el nombre de SPEAKeasy, el objetivo de dicho proyecto era incrementar la interoperabilidad entre equipos posibilitando la compatibilidad de un solo terminal con 10 protocolos de comunicación diferentes.

En 1996 se funda el Wireless Innovation Forum (primero conocido como SDR Forum), como una “sociedad de beneficio mutuo” sin ánimo de lucro, con el propósito de crear aplicabilidad de proyectos de SDR con fines tanto civiles como militares y de seguridad, Este foro de colaboración entre empresas, se dedica a abogar por el uso innovador de espectro y avance de las tecnologías de radio que soportan comunicaciones esenciales o críticas en todo el mundo, y allí nace la definición [Software Defined Radio] posteriormente se crea otro hito destacable en la historia del SDR que se da con la creación en el año 2001 del Proyecto de GNU Radio, un software de desarrollo de herramientas de código libre y abierto que proporciona bloques de procesamiento de señales para implementar software radio.

A Continuación, en 2009 se da a conocer una interfaz gráfica para desarrollar aplicaciones GNU Radio en código Python, conocida como GNU Radio Companion. En 2005 la

empresa Ettus Research produce por primera vez el USRP, el USRP1 con el objetivo de crear una plataforma de software defined radio de bajo coste, potenciando el uso de esta tecnología.

Hacia el año 2010 surgen los RTL-SDR, una familia de dispositivos receptores que emplean un demodulador DVB-T, el RTL2832U, al que se le detectaron capacidades para su uso como receptor SDR de banda ancha, Su importancia respecto a otros productos de prestaciones similares se basa en su reducido precio (20\$) lo que permite acercar la tecnología SDR al usuario (GONZALEZ.M,2014).

Se continúa con el ciclo USRP1 de bajo precio que permiten trabajar con gran cantidad de tecnologías radio. Algunos ejemplos de estos transceptores son el HackRF, BladeRF o los nuevos modelos de USRP de Ettus Research.

Los actuales prototipos de las redes móviles 5G se desarrollan con tecnología SDR por su gran capacidad para trabajar en múltiples bandas y protocolos, Samsung actualmente trabaja en un sistema MIMO tridimensional (FD-MIMO) y las pruebas se han realizado con USRPs RIO de la empresa National Instrument como receptores, que facilita operar en las bandas necesarias para realizar las simulaciones. [12] [13].

3.3 Diseño de sistema de comunicaciones usando SDR

El esquema común de los dispositivos SDR incluye Field Programmable Gate Array (FPGA), procesadores de señal digital (DSP) , procesadores de propósito general (GPP), System on a Chip(SoC) u otros procesadores programables específicos de la aplicación [14] y se encuentra dividido en tres secciones principales:

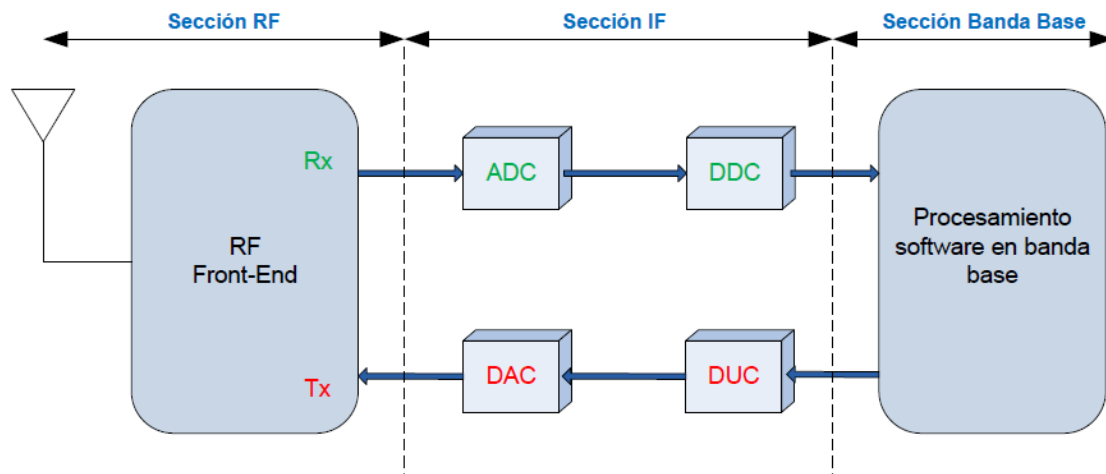


Figura 3. diseño de sistemas de comunicaciones usando software defined radio (2014) .

University of California and WiLinX . Diagrama de bloques SDR.

La llamada cabecera de RF donde se realiza en paso de RF a frecuencia intermedia o viceversa, según se trate de transmisión o recepción. En el caso de transmisión este bloque también se encarga de amplificar la señal a transmitir. Puede darse el caso en que esta frecuencia intermedia sea cero, conocido esto como zero-IF5.

La sección IF tiene como propósito el paso de frecuencia intermedia a banda base. Los ADC6 y DAC7 realizan la conversión analógico-digital o digital-analógica y los DDC8 y DUC9 son los encargados de cambiar la tasa de muestras entre la sección IF y la de banda base. La sección en banda base se implementa mediante software y es donde se hará todo el procesamiento digital de señal .

Los Software para SDR mencionados con frecuencia en la academia son Labview, Matlab y Gnu Radio. Respectivamente el paquete de comunicación de Labview ofrece soluciones que combina la plataforma de SDR y un nuevo compilador FPGA (Field Programmable Gate Array) que es un dispositivo semiconductor que contiene bloques de lógica cuya interconexión y funcionalidad puede ser configurada 'in situ' (DEFINISTA.2016), es decir con la capacidad de programar un dispositivo directamente en la etapa final e inmediatamente antes de la ejecución, mediante un lenguaje de descripción especializado. Labview lo aplica como un sistema inteligente para optimizar la ejecución de algoritmos para latencia y rendimiento de acuerdo a las limitantes del diseño, da la posibilidad de escribir y mantener un diseño en un solo lenguaje de alto nivel y reutilizar el diseño entre varios proyectos, lo cual reduce el tiempo para llegar a resultados específicos. Adicionalmente Labview tienen en cuenta que a nivel de metodología las prácticas se definen en un espacio corto de tiempo y con resultados precisos desde el inicio.

Por otra parte Matlab ha sido reconocido en la academia en el área definiendo SDR como un dispositivo inalámbrico que consiste típicamente en un extremo frontal de RF configurable con una FPGA o programable (SoC) de sistema-en-chip para realizar funciones digitales. El uso de SDR con MATLAB y Simulink para el diseño inalámbrico,

simulación y análisis permite a ingenieros y estudiantes : configurar el hardware de DEG con funciones de radio preconfiguradas, transmitir y recibir basados en estándares y las señales generadas por encargo, el empleo de pruebas de la presencia de interferencias y otras condiciones del mundo real, realizar análisis de la señal en tiempo real y de medición e Implementar, prototipos y verificar diseños personalizados en el hardware de DEG utilizando el HDL y la generación de código C a partir de modelos de algoritmos, verificar el cumplimiento con la radio-en-las pruebas de bucle MATLAB y Simulink Soporte de hardware para SDR, MATLAB y Simulink ofrece paquetes de soporte para el hardware de DEG popular.

Es de aclarar que tanto la opción que tiene labview como matlab , son licenciadas y operan bajo hardware específico como lo son la USRP y DEG. Gnu Radio es un software de desarrollo de herramientas de código libre y abierto que proporciona bloques de procesamiento de señales para implementar software radio. Este puede ser usado con hardware de RF externo de bajo costo para crear radios definidos por software o sin hardware utilizando el entorno de simulación. Los ámbitos dentro de los que es ampliamente usado es en entornos de aficionados, académicos y en la investigación de comunicaciones inalámbricas, es licenciado bajo la GNU General Public License (GPL) versión 3. Los lenguajes de programación para las aplicaciones de GNU Radio son escritas en Python, mientras que el suministro de herramientas críticas de procesamiento de señales que requieren alto rendimiento son implementados en C++. Dentro de algunas de sus ventajas más representativas son el poder realizar adaptaciones más flexibles donde el desarrollador es capaz de implementar, de manera simple, sistemas de radio de alto

rendimiento funcionando a tiempo real aprovechando el ambiente de desarrollo de aplicaciones de manera inmediata, adicionalmente es posible simular prototipos y desarrollos para el mismo flujo de trabajo. Como sucede con la mayoría de las herramientas libres , existe la comunidad colaborativa para Gnu Radio con foros y blog con resolución de dudas y procedimientos de sistemas de telecomunicaciones completos[12] . Una de las prácticas mencionadas con gnuradio OpenBTS visto como un proyecto, con el cual es posible hacer la instalación de una red propia GSM con todos los componentes que en ella existen con la posibilidad de uso de un hardware económico como es el caso de Dongle Rafael Micro 820T (RTL2832), para ello se realiza la instalación de paquetes adicionales como asterisk para establecer la comunicación celular. Este tipo de implementaciones hablan de un sistema que integra soluciones actuales y en las que se puede aprovechar el diseño modular para hacer de manera sencilla una red compleja.

3.4 Hardware USRP

En el mercado nos encontramos con gran variedad de hardware cuyo uso principal es la implementación de Radio Definida por Software como lo muestra la Tabla 1. en la cual, se realiza un comparativo entre los dispositivos al alcance del interesado y una clasificación de acuerdo a las características y bondades de cada uno entre los que sobresalen además del costo, la capacidad de transmitir y recibir al mismo tiempo el cual es un factor decisivo a la hora de escoger entre la gran variedad de dispositivos disponibles.

Nombre	Costo	Rango de Frecuencias	Resolución ADC	Maximo Ancho de Banda	Tx/Rx	Preselectores
R820T RTL2832U a.k.a RTL-SDR	\$10 – 22 USD	approx. 24 MHz – 1766 MHz	8 Bits	3.2 MHz / 2.4 or 2.8 MHz max stable.	Rx	Ninguno
SDRPlay RSP	\$150 USD	100 kHz – 2 GHz	12 Bits	8 MHz	Rx	8 filtros
Airspy	\$199 USD	24 MHz – 1.750 GHz	12 Bits	10 MHz	Rx	Rastreo RF
FunCube Dongle Pro+	\$~210 USD	50 kHz – 260 MHz and 410 MHz – 2.05 GHz	16 Bits	192 kHz	Rx	11 filtros
XiOne	\$199 USD.	100 kHz – 1.750 GHz	8 Bits	3.2 MHz	Rx	Ninguno
HackRF One	\$299 USD	10 MHz to 6 GHz	8 Bits	20 MHz	Tx/Rx	Ninguno
MyriadRF	\$ 299	300 MHz – 3.8 GHz	12 Bits	28 MHz	Tx/Rx	Ninguno
BladeRF	\$420 USD (x40), \$650 USD (x115)	300 MHz – 3.8 GHz	12 Bits	28 MHz	Tx/Rx	Ninguno
USRP B200/B210	\$675 USD (B200), \$1100 USD (B210)	70 MHz – 6 GHz	12 Bits	56 MHz	Tx/Rx	Ninguno
ASRP3/ASRP1	\$300 USD, \$600 USD	400 MHz – 4.4 GHz	12 Bits	8 MHz	Tx/Rx	Ninguno
Windy City SDR / HandHeldSDR	\$ 350	33 MHz – 4400 MHz	14 Bit	16 MHz @ 8-Bit, 8 MHz @ 16-Bit	Tx/Rx	
Per Vices Noctar	\$2499 USD	DC – 4.4 GHz	12 Bits (RX) / 16 Bits (TX)	250 MHz	Tx/Rx	Ninguno
SignalHound BB60C	\$ 2.879	9 kHz to 6 GHz	14 Bits	27 MHz	Rx	1 filtro
Red Pitaya	\$470	0 – 60 MHz	14 Bit	50 MHz	Tx/Rx	Ninguno

Figura 4. Inclusión de Herramientas SDR en las Asignaturas de Telecomunicaciones para la Universidad ECCI (2016) Universidad ECCI. Guía presentación de textos académicos

El USRP o Universal Software Radio Peripheral es un hardware diseñado para aplicaciones software radio con la función de llevar a banda base, mediante la sección de IF, los datos recibidos en la cabecera de RF.

Está elaborado por la compañía Ettus Research, con el objetivo de proporcionar una plataforma SDR a coste reducido, donde su mercado principal es el de laboratorios de investigación, universidades y aficionados.

Expresando las características principales de los sistemas más nombrados en SDR, se expone que para la universidad ECCI es favorable la implementación de prácticas en pregrado, se tiene en cuenta que GnuRadio es la mejor herramienta al no generar un costo adicional por uso además de la documentación completa y aplicada que tiene. En el hardware se destacan las tarjetas USRP por lo completa junto a la capacidad física que tiene, sin contar con que es una adquisición actual que ya posee la universidad con lo que no incurriría en gastos adicionales. En algunas de las referencias consultadas se evidencia que en la mayoría de las universidades este tipo de recursos son usados en niveles académicos de doctorado, especialización, diplomados o cursos libres.

Diseñado para trabajar con un procesador externo y el cual cumple con llevar la señal a banda base mediante la sección IF como se mostrará en la imagen n, y el cual se comunicará mediante una interfaz USB en una versión USRP1 y por medio de ETHERNET en una versión USRP2 con la computadora que procesa el software.

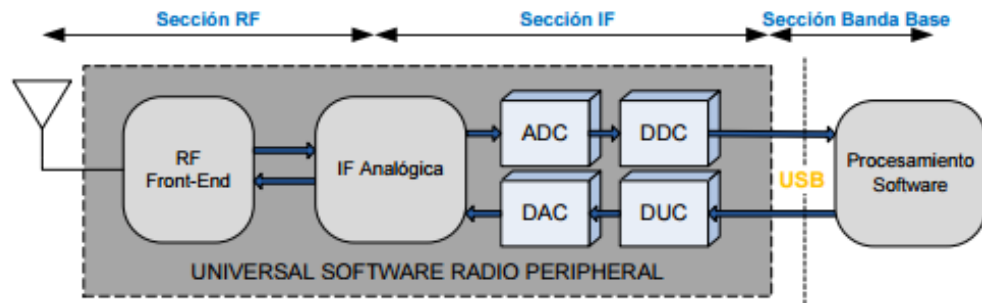


Figura 4. diseño de sistemas de comunicaciones usando software defined radio (2014)

.University of California and WiLinx . Arquitectura USRP.

A continuación se observa una descripción por bloques de un sistema USRP similar al que anteriormente se mostró, cuya imagen muestra que el sistema se compone de convertidores análogos/digital, y digital/análogos, encargados de la transmisión y recepción de la señal recibida y amplifica para lograr mejor desempeño, adicional a ello se observará una FPGA que tiene como función procesar señales en la banda preciso para reducir las tasas de muestreo de datos en la interface de conexión con USB O ETHERNET respectivamente y cuyo proceso adquiere el nombre de diezrado,

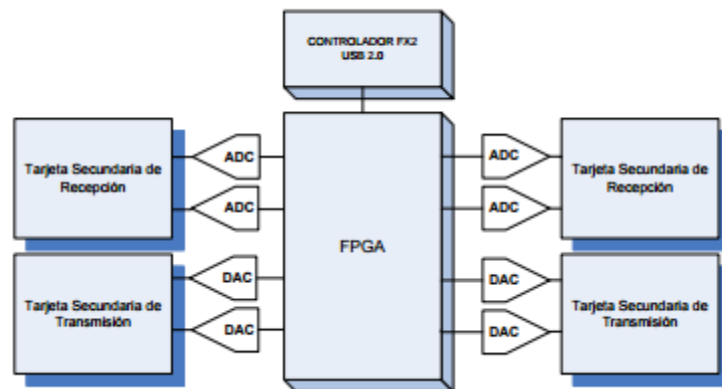


Figura 3.4 Diagrama de Arquitectura de un Universal Software Radio Distribuido

Figura 5. Vicerrectoría de Educación abierta y a distancia –VEAD. (2014) Universidad ECCI. Guía presentación de textos académicos

3.5 Fundamentos de Modulación para Telecomunicaciones

Los sistemas de comunicaciones son fundamentados bajo un concepto claro que es el de generar y recibir señales de información, para llevar a cabo este proceso se deben tener en cuenta factores realmente fundamentales, como lo es uno de ellos, la técnica de transmisión pasa banda, cuyas señales son transmitidas sobre una portadora.

$$c(t) = A_0 \cos(2\pi f_0 t + \phi_0)$$

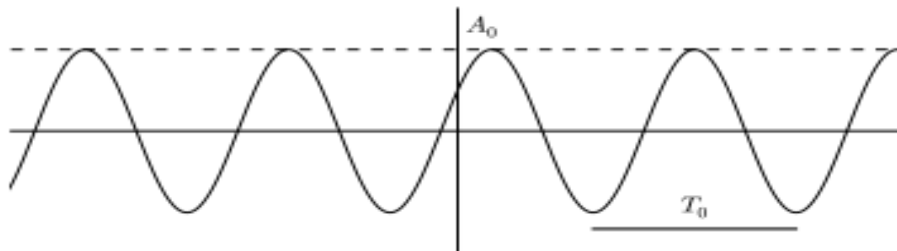


Figura 6. Introducción a la Radio Definida mediante Software (2014) Queen Mary University of London. Oscilación sinusoidal

En la imagen anterior se logra ver una oscilación sinusoidal con frecuencia $1/T_0$, basados en ello se puede decir que una señal modulada sobre portadora, se tiene cuando se varía la amplitud y/o fase instantánea a partir de una señal de información. De esta manera se

obtiene otra señal que contiene la misma información y ocupa una banda de frecuencias basada en la frecuencia de la señal portadora.

Cuando recibimos modulación de la amplitud de la señal de la portadora hablamos de modulaciones de amplitud valga la redundancia pero cuando se habla de modulación de fase tomará el valor de modulación angular, gracias al origen de la información a transmitir se conocen dos tipos de modulaciones, contamos con la modulación analógicas observadas en la Figura 7, y las modulaciones digitales observadas en la Figura 8.

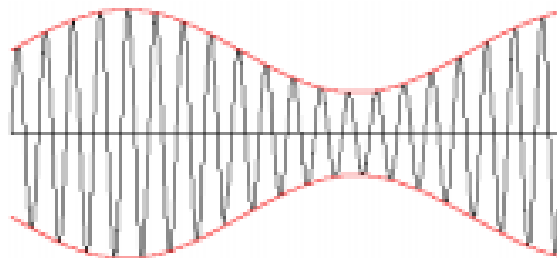


Figura 7. Introducción a la Radio Definida mediante Software (2014) Queen Mary University of London. Modulación analógica

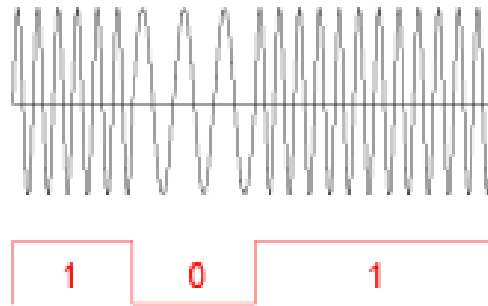


Figura 8. Introducción a la Radio Definida mediante Software (2014) Queen Mary University of London. Modulación digital

Los dispositivos electrónicos de telecomunicación deben ser capaces de transmitir señales moduladas y el equipo receptor capaz de codificar o entender el mensaje enviado del punto origen generando una demodulación y consecuente traducción de la señal con información proveniente del canal de comunicación,

para lograr llevar a cabo este desarrollo en los sistemas electrónicos de modulación y conversión de frecuencia se deben tener en cuenta que se deben utilizar sistemas analógicos y digitales utilizando conversadores analógicos/digital (A/D) y Digital/Analógicos (D/A) entre dichos puntos de comunicación.

Desde la implementación de los sistemas digitales se abren las puertas a una reconfiguración del dispositivo de comunicaciones mediante software en los últimos años se vienen usando las modulaciones así como la conversión de frecuencia en electrónica digital, se ha logrado gracias a los avances desvanecer un poco la frontera entre los sistemas

analógicos y digitales hacia la antena, tanto los sistemas analógicos como los sistemas digitales cuentan con un cierto grado de reconfiguración logrando variaciones de algunos pocos parámetros hasta llegar a la modificación de la función del propio sistema. de estos intentos por generar una reconfiguración total del sistema donde nace la idea SDR, una Radio definida mediante Software.

3.6 Sistemas de comunicaciones análogos

Inicialmente los sistemas de comunicaciones se encontraban basados en electrónica analógica y las modulaciones generadas por dichos sistemas eran analógicas, esta tecnología recibía información de ondas y la modulación llevaba a un transporte en el medio de una onda analógica, al llegar al receptor se demodula y se obtiene una señal de reproducción del sistema analógico.

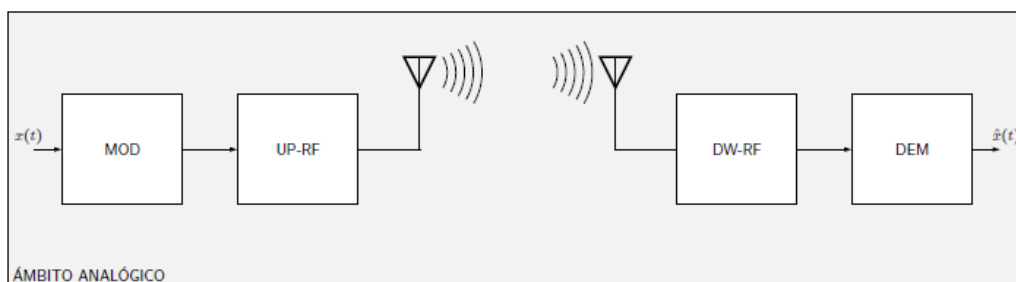


Figura 9. Introducción a la Radio Definida mediante Software (2014) Queen Mary University of London. Modulaciones y electrónica análoga

Donde adicionalmente con el paso del tiempo se comienza a generar un avance y la adición o complemento del sistema lleva a un cambio sustantivo en el modo de generar las telecomunicaciones, empezando por qué la recepción del modulador de la señal ya recibía señales digitales y no analógicas, llevando luego a una implementación de un convertidor digital/análogo para transmisión de la señal y un modula analógico/digital para la recepción del sistema de telecomunicaciones y es donde se deja dentro del ámbito analógico la conversión de la frecuencia.

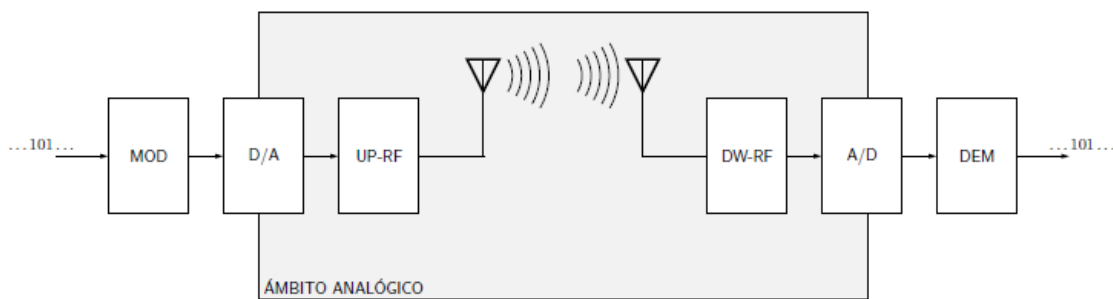


Figura 10. Introducción a la Radio Definida mediante Software (2014) Queen Mary University of London. Moduladores en electrónica digital

y en los últimos años se da un paso hacia la reconfiguración autónoma de los sistemas de telecomunicaciones con paso importante y es la implementación tanto de las modulaciones como conversión de frecuencia digital, y lo cual abre una visión a la nueva tecnología la Arquitectura Universal.

3.7 Arquitectura Universal

Inicialmente fue implementada como una de las tecnologías usadas por los móviles de tercera generación, sucesora de GSM. Aunque inicialmente esté pensada para su uso en teléfonos móviles, la red UMTS no se limita a estos dispositivos y puede utilizarse en otros. Sus tres grandes características son: las capacidades multimedia, una velocidad de acceso a Internet elevada (que también le permite transmitir audio y video en tiempo real) y una transmisión de voz con calidad equiparable a la de las redes fijas. Además, dispone de una variedad de servicios muy extensa

Uno de los aspectos más complejos de la electrónica de comunicaciones clásica es múltiples implementaciones de moduladores y demoduladores, al menos una por tipo de modulación (una tecnología, una implementación). De manera que existe una arquitectura o una estructura básica a partir de la cual se deben construir los moduladores y demoduladores como se muestra en los diagramas de bloques de las figuras.

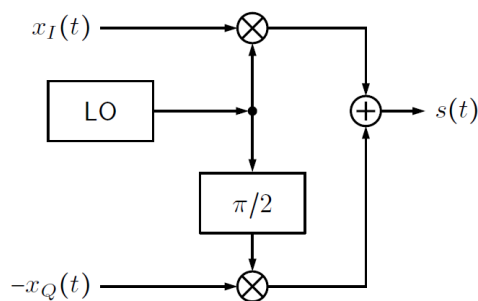


Figura 11. Introducción a la Radio Definida mediante Software (2014) Queen Mary University of London. Modulador de arquitectura universal.

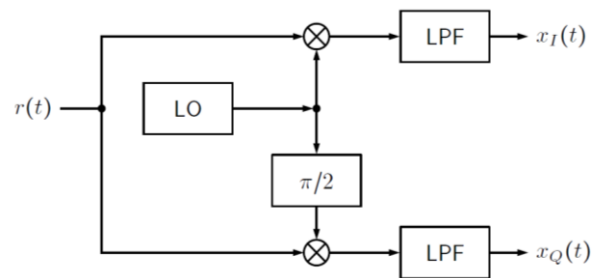


Figura 12. Introducción a la Radio Definida mediante Software (2014) Queen Mary University of London. Demodulador de arquitectura universal.

4 .RESULTADOS Y CONCLUSIONES

4.1 Inluso de SDR en Telecomunicaciones

Para la utilización de recursos tecnológicos como lo es la radio definida por software es necesario analizar la forma y metodología en su implementación, de manera que estratégicamente pueda ser útil dentro de las asignaturas y temas que se necesite.

4.1.1 Análisis del Pensum en Telecomunicaciones

Las materias propiamente dichas para telecomunicaciones se encuentran seccionadas en tres módulos que son vistos durante tres semestres académicos, en los que se desenvuelven temáticas desde los conceptos básicos y cálculos para telecomunicaciones como sistemas completos de telefonía y radio frecuencias. El recorrido del pensum puede analizarse en la Tabla 2.

Dentro del análisis de los temas en cada una de los temas en TELECOMUNICACIONES I la mayoría de conceptos son teóricos y de fundamentación para el área en general, la aplicación de SDR lo vemos reflejado en temas como MODULACIÓN AM Y FM DIGITALES donde a documentación y prácticas al respecto son amplias en conjunto con GNU Radio y la tarjeta USRP.

TELECOMUNICACIONES I	TELECOMUNICACIONES II	TELECOMUNICACIONES III
CONCEPTOS EN TELECOMUNICACIONES	SEÑALES Y RUIDO	TRANSMISIÓN DIGITAL
CÁLCULO DE UNA SEÑAL	RUIDO Y SEÑALES EN COMUNICACIONES DIGITALES	MICROONDAS TERRESTRES
POTENCIAS		MICROONDAS SATELITALES
PÉRDIDAS	MODULACIÓN AM DIGITAL	SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACIÓN
PATRONES Y ACOPLAMIENTO DE ONDA	MODULACIÓN FM DIGITAL	TELEFONÍA MÓVIL PRIVADA
LÍNEAS DE TX	OTROS SISTEMAS DE MODULACIÓN DIGITAL	SISTEMAS MÓVILES CELULARES
ACOPLE DE IMPEDANCIAS		SISTEMAS SATELITALES
GUÍAS DE ONDA	MUESTREO CUANTIZACION Y CODIFICACION	COMUNICACIONES ÓPTICAS
ANTENAS Y PROPAGACIÓN	MULTIPLEXADO	
	RENDIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR RUIDO	

Tabla 2. Pensum de Telecomunicaciones para Ingeniería Electrónica en la Universidad

ECCI

Actualmente como lo expresa el currículo las prácticas para estos conceptos se realizan en un circuito implementado con el integrado XR2206 el cual es adaptado mediante componentes pasivos como lo son resistencias y condensadores. El integrado internamente un oscilador controlado por voltaje, un amplificador, multiplicador y señal sinusoidal, interruptores de corriente como se evidencian en la figura n. Las desventajas que puede

tener este tipo de implementaciones es la inexactitud de los componentes alternos que para realizar una práctica con resultados precisos la calidad en los componentes tendría que ser alta lo asume un incremento en costos de implementación que en este caso son asumidos por los estudiantes.

Con la implementación de sistemas de modulación, aunque con SDR la configuración sea de tipo modular el estudiante podrá observar la implicación y función de cada uno de los componentes y el cambio que surge en la señal, lo que no sucede al encontrarse los módulos dentro de un circuito integrado.

Otra de las temáticas en las que se propone una implementación con SDR es en TELECOMUNICACIONES III para los temas de telefonía y sistemas de radiocomunicaciones donde se integra el proceso en general, es decir, un sistema de comunicación completo usando la USRP como una BTS y donde se transmite un mensaje. Los conceptos vistos hacen un acercamiento a los sistemas GSM para celulares y diferentes redes existentes, así como la verificación de la codificación.

Actualmente dichas materias no cuentan con ninguna práctica más la metodología la definen por medio de conceptos teóricos y exposiciones dadas por los estudiantes. Por otra parte, SDR ofrece la posibilidad de ver dichos conceptos de manera modular e intencional dentro de los circuitos experimentando el sistema de manera particular y general. Particular puesto que se conoce la funcionalidad de cada componente y a nivel general se analiza el

funcionamiento en general y los resultados de dicha implementación vista como una red, lo que realiza un acercamiento de los sistemas realmente implementados en la industria con el estudiante.

TELECOMUNICACIONES I	TELECOMUNICACIONES II	TELECOMUNICACIONES III
CONCEPTOS EN TELECOMUNICACIONES	SEÑALES Y RUIDO	TRANSMISIÓN DIGITAL
CÁLCULO DE UNA SEÑAL	RUIDO Y SEÑALES EN COMUNICACIONES DIGITALES	MICROONDAS TERRESTRES
POTENCIAS		MICROONDAS SATELITALES
PÉRDIDAS	MODULACIÓN AM DIGITAL	SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACIÓN
PATRONES Y ACOPLAMIENTO DE ONDA	MODULACIÓN FM DIGITAL	TELEFONÍA MÓVIL PRIVADA
LÍNEAS DE TX	OTROS SISTEMAS DE MODULACIÓN DIGITAL	SISTEMAS MÓVILES CELULARES
ACOPLE DE IMPEDANCIAS		SISTEMAS SATELITALES
GUÍAS DE ONDA	MUESTREO CUANTIZACIÓN Y CODIFICACION	COMUNICACIONES ÓPTICAS
ANTENAS Y PROPAGACIÓN	MULTIPLEXADO	
	RENDIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR RUIDO	

Tabla 3. Materias del Pensum de Telecomunicaciones para la Implementación de SDR

4.1.2 Metodología en el desarrollo de guías

Para el desarrollo e implementación de los conceptos teóricos dentro de un entorno de radio definida por software la planeación de la práctica tiene un impacto positivo sobre el aprovechamiento de los recursos, los experimentos en muchos casos pueden fallar y tienen que ser rediseñados como lo expresa Patrick Dunleavy “You know, the kind of completely useless ‘structure’ that goes: Introduction, then Definitions, Literature Review, Methods, Data, Data Problems, Analysis, Conclusion” donde expresa que más allá de las estructuras los textos deben ser conectados dentro de un hilo conductor que relacione los conceptos. Para las prácticas se propone que se lleve una integración congruente entre la guía planteada y los conceptos teóricos (DUNLEAVY.P, 2003).

Una práctica de laboratorio, taller o campo es una actividad didáctica basada en una experiencia en la que se cuestionan los conocimientos y habilidades de una o más disciplinas. Expresa un conjunto de conceptos, procedimientos, métodos y tecnologías que permiten su ejecución. Luego de un proceso operativo en el que la práctica es desarrollada algunos de los elementos que cobran más relevancia son la determinación de datos experimentales, la interpretación de esta información y la exposición coherente de los resultados para obtener conclusiones (ALEMAN.D,2006).

Debido a esto la metodología implementada en el desarrollo de las actividades prácticas se pueden identificar los siguientes componentes:

- a) Reglamento: documento con el marco normativo para el desarrollo de las actividades prácticas del laboratorio o trabajo de campo y que define el comportamiento de sus participantes
- b) Metodología: parte que especifica los métodos y las técnicas a utilizar. - Recursos humanos: componente que versa sobre las personas participantes, detalla las habilidades y competencias requeridas y las que se desarrollarán en el proceso de enseñanza y aprendizaje
- c) Recursos asociados: consideran los elementos necesarios para desarrollar la actividad, incluido los tecnológicos.

De acuerdo a los contenidos expuestos en guía de elaboración de un manual de prácticas (ALEMAN.D, 2006) los componentes principales para el desarrollo de las guías son : introducción ,objetivo, metodología, recursos y materiales, descripción de la práctica, evaluación ,bibliografía , resultados y conclusiones. Teniendo en cuenta dichos pasos se presenta un ejemplo en los anexos donde se aplican cada uno de estos pasos, en la práctica se resaltan dos puntos principales: en la descripción de la práctica se hace uso de una serie de imágenes paso a paso explicando cada uno de los componentes y su configuración dentro del sistema de modulación AM, de esta forma se hace mucho más didáctico para que el estudiante pueda implementarla , haciendo una similitud a lo que se desarrolla en tutoriales. En el segundo punto es que en la evaluación se hace una invitación al estudiante a los diferentes recursos y temas que son complementarios a la práctica explicada.

4.2 PRESENTACIÓN DE GUÍAS DE LABORATORIO

4.2.1 PRIMEROS PASOS CON GNU Radio.

En ésta guía de laboratorio se detalla el proceso básico de instalación, así como, los diferentes menús que podemos encontrar los cuales, nos ayudaran a la hora de implementar un proyecto desde cero; por otro lado, se muestran la forma como se implementan los bloques y cómo unirlos de tal forma que todo se encuentre conectado y al momento de compilar, éste funcione de manera apropiada.

4.2.2 LA MODULACIÓN (Modulación AM)

Esta guía de laboratorio pretende acercar al estudiante al uso de GNURadio, sus características y herramientas que ayudan al entendimiento de la teoría hecha práctica al implementar un Modulador AM (Amplitud Modulada) con doble banda lateral y portadora desde la ecuación general que describe el funcionamiento del sistema y la posterior implementación del flow graph teniendo en cuenta los distintos operadores matemáticos y siguiendo cada miembro de la ecuación; por otro lado, se explican cada uno de los bloques individualmente haciendo enfoque en los que nos ayudan a una mejor implementación y ayuda a la hora de ver los resultados al ejecutar nuestro proyecto.

4.2.3 TARJETA USRP

En esta práctica se plantea la revisión detallada del hardware de la tarjeta USRP B210 de Ettus Research que posee la universidad con el fin de ahondar en cada una de las bondades y alcance de sus características revisando así las posibilidades de implementación, sus requisitos, cuidados, accesorios y favorabilidad a la hora de realizar una implementación.

Al finalizar la práctica, el estudiante estará en la capacidad de conocer y definir las características provistas por la tarjeta USRP.

4.2.4 LA MODULACIÓN (Modulación FM)

Entre las guías de laboratorio se propone realizar una práctica que le permita al estudiante acercarse a la implementación y puesta en funcionamiento de una modulación en FM y que pueda experimentar modificando la portadora con el fin de capturar las señales emitidas por el transmisor fm implementado en el Flow Graph haciendo uso por ejemplo del radio incluido en el celular.

Para el desarrollo del laboratorio propuesto haremos uso de la tarjeta USRP con la cual se recomienda realizar las diferentes prácticas de laboratorio debido a su gran versatilidad y en especial al ancho de banda que posee dentro de sus características.

Lista de referencias

[SANCHEZ.S,2014] Sanchez(2014). Artículo : ¿Y dónde están los ingenieros?.Revista Semana. Seccion de Tecnologia. disponible en : <http://www.semana.com/tecnologia/articulo/y-donde-estan-los-ingenieros/402945-3>

[KATS.S ,2009] Kats,S. Flynn,J.2009.”Using software defined radio (SDR) to demonstrate concepts in communications and signal processing courses” disponible en :http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5350716&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D5350716

[ADMIN,M. 2014] Admin, M. Wireless Innovation Forum - working toward SDR, CR and DSA innovation.Wirelessinnovation.org disponible en :<http://www.wirelessinnovation.org/>.

[MARQUEZ.H, 2013] Márquez , hans. 2013. Arquitecturas de radio cognitiva: una revisión actual.Ingeniería Vol. 18, Núm. 39 (2014) Recuperado desde: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/view/6966/8635>

[Kamal R,2008] Kamal, R. (2008). Embedded systems 2E. Tata McGraw-Hill Education.

[DEFINISTA,2016] Definista, (2016). ¿Qué es In Situ? - Su Definición, Concepto y Significado. [online] Conceptodefinicion.de. Available at: <http://conceptodefinicion.de/in-situ/>.

[NI.COM] Ni.com. LabVIEW Communications for USRP (SDR) - National Instruments. [online] Available at: <http://www.ni.com/labview-communications/usrp/esa/>

[Osorio.U,2008]Osorio Urrutia Beatriz, Muñoz Arteaga Jaime,2000. “Metodología para elaborar Objetos de Aprendizaje e integrarlos a un Sistema de Gestión de Aprendizaje”.Centro de ciencias Básicas de la Universidad Autónoma de Mexico.

[Rahim .B,Ahmad M, 2006]Rahim Bagheri, Ahmad Mirzaei, and Mohammad E. Heidari,2006. University of California and WiLinx. IEEE Communications Magazine

[REED.J, 2013]
J. H. Reed, Software Radio: A Modern Approach to Radio Engineering, New Jersey: Prentice-Hall, 2002.

[Software Defined Radio,2013] GNU Radio Companion, "GNU Radio," 2013. [Online]. Available: <http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki>. [Accessed Julio 2015].

[GONZALEZ.M,2014]

M. Puerto González, Estudio piloto de los demoduladores de la serie RTL de Realtek para la Radio Definida por Software, Sevilla: Universidad de Sevilla, 2014.

[ALEMAN.D, 2006] Aleman.D, Mata.M,"Guia de elaboracion de un manual de practicas de laboratorio,taller o campo:asignaturas teórico practicas"(Universidad Autonoma Chapingo, 2003).

[DUNLEAVY.P, 2003] Patrick Dunleavy (Palgrave Macmillan, 2003).Storyboarding research: How to proactively plan projects, reports and articles from the outset. disponible en : <http://blogs.lse.ac.uk/impactofsocialsciences/2014/10/31/storyboarding-research-dunleavy/>.

Anexos

LA MODULACIÓN (MODULACIÓN AM)

INTRODUCCIÓN

No es práctico transmitir señales de baja frecuencia por un medio (fibra óptica, cables de cobre o la atmósfera) en su frecuencia original esto debido a:

- Los tamaños de las antenas serían en extremo gigantescas debido a la longitud de onda.
- Al ocupar las distintas señales las mismas bandas de frecuencias y, debido a que se transmiten al mismo tiempo interferirían entre sí las señales ocasionando ruido en los receptores y, de esta forma, no se cumpliría con el propósito de una comunicación efectiva.

Dado lo anterior, podemos decir que se hace necesario poder acoplar la señal mensaje al medio con el fin de garantizar su transmisión y su orden el espectro. Aparece así un término llamado Modulación el cual consiste en cambiar una o más propiedades de la portadora en proporción a la señal que contiene el sí la información importante a transmitir.

Ahora, la señal portadora es una señal analógica de mayor frecuencia comparada con la información que generalmente es de baja frecuencia y se encarga de transportar la información a través del sistema; de la misma forma, la señal de información o denominada moduladora se encarga básicamente de modular la portadora cambiándole a ésta una de las siguientes tres componentes: amplitud o frecuencia o fase. (Ilustración 1)

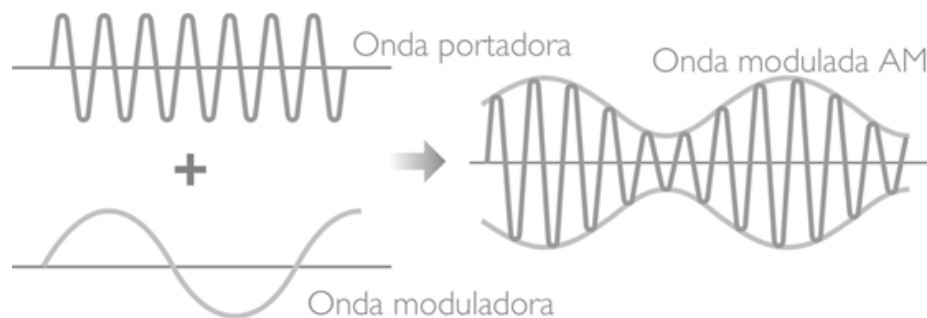


Ilustración 1

En la figura 1 podemos observar uno de los diferentes tipos de modulación (el de amplitud modulada) AM en el cual nos basaremos como práctica propuesta de laboratorio.

OBJETIVOS

- Conseguir un acercamiento al uso básico del software GNU radio.
- Obtener familiaridad con el uso de las herramientas y recursos dentro del software GNU Radio.
- Aprender a manejar los Scoupes y su definición.
- Comprender los conceptos básicos de modulación y sus términos comunes.
- Realizar un acercamiento a la modulación AM (Amplitud modulada)

RECURSOS MATERIALES Y EQUIPO

Para el desarrollo de la práctica vamos a utilizar las siguientes herramientas:

- a) Un equipo con mínimo core I5 de procesador y 2 Gb en Ram
- b) Sistema operativo Linux
- c) El software GNU Radio instalado y funcionando.

DESCRIPCIÓN DEL DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Vamos a llevar a la práctica la definición de la ecuación para una modulación AM.

$$X_c = A_c(1 + m * X_t)\cos(w_c * t)$$

Donde:

X_t → Señal modulante o señal mensaje

m → Coeficiente de modulación

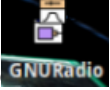

$A_c \cos(w_c * t)$ → Señal portadora

Recordando que:

$m < 1$ → modulación normal

$m = 1$ → modulación al 100%

$m > 1$ → sobre modulación

1. Abrimos nuestro software GNU radio haciendo doble clic sobre el icono 
2. Hacemos clic en el botón crear un nuevo Flow graph  y se nos desplegará un lienzo en donde crearemos nuestro transmisor AM
3. Creamos el siguiente flow graph (figura 2-anexo 1)

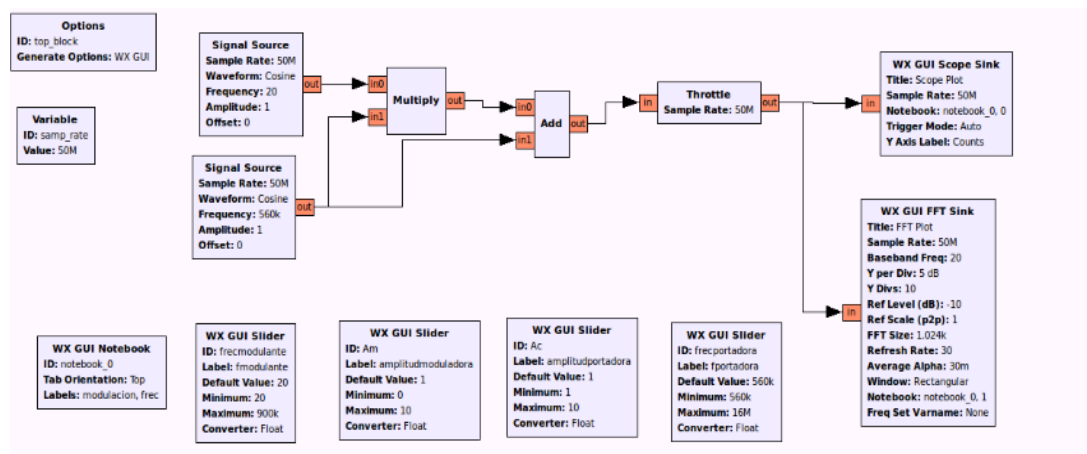


Ilustración 2

En donde enumeraremos cada uno de los bloques con el fin de revisar sus propiedades y su función dentro del esquemático propuesto detallando así su cada una de sus características y su relación con la ecuación de la modulación en am.

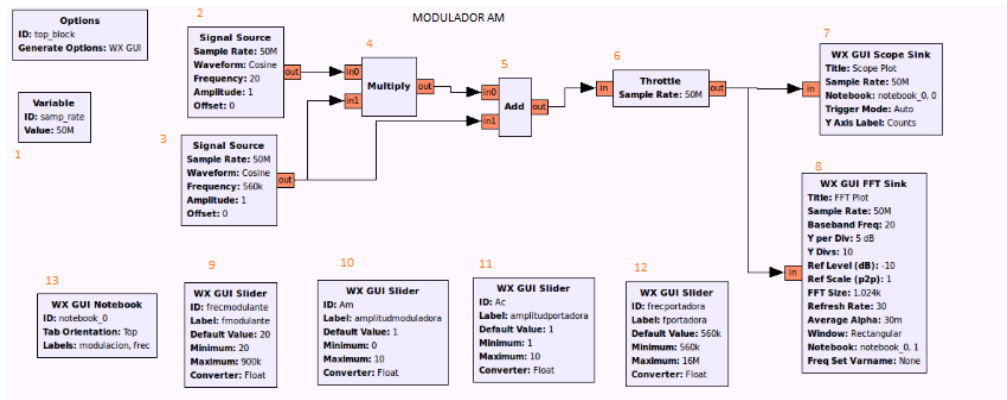


Ilustración 3

Bloque 1: Contiene la variable `samp_rate` la cual es la tasa de muestreo con la que funcionará nuestro sistema.

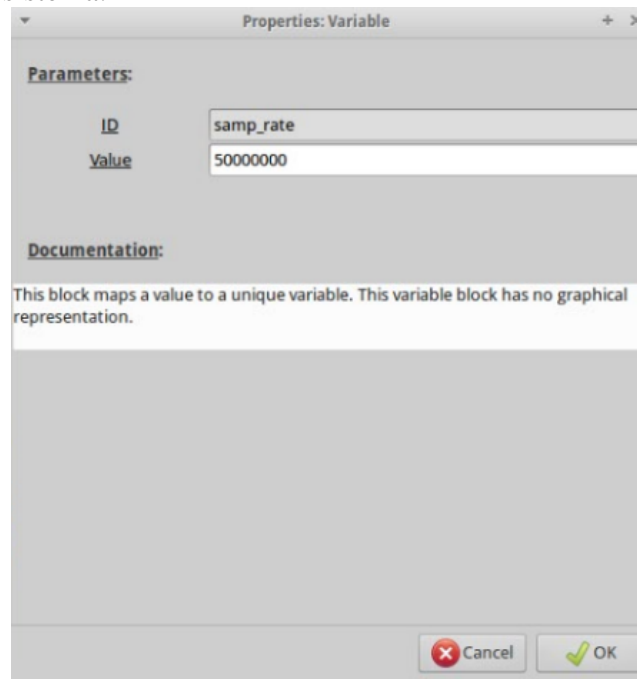


Ilustración 4

Bloque 2: Contiene la definición de la Señal modulante.



Ilustración 5

Bloque 3: Contiene la definición de la Señal Portadora.

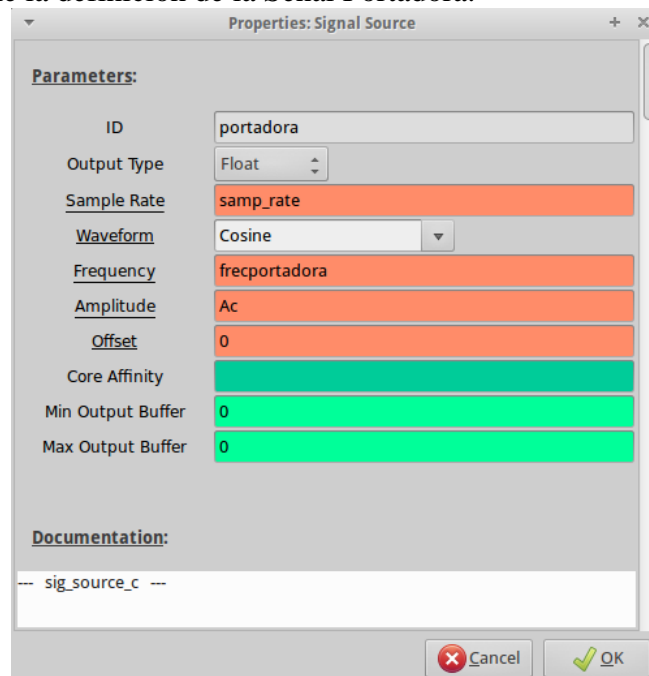


Ilustración 6

Bloque 4: Bloque de multiplicación el cual realiza la operación multiplicación entre la señal modulante y la señal portadora.

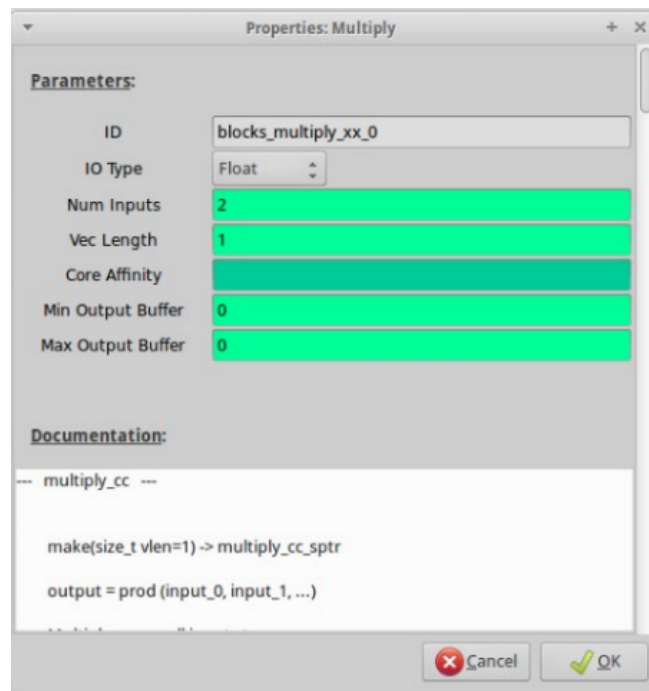
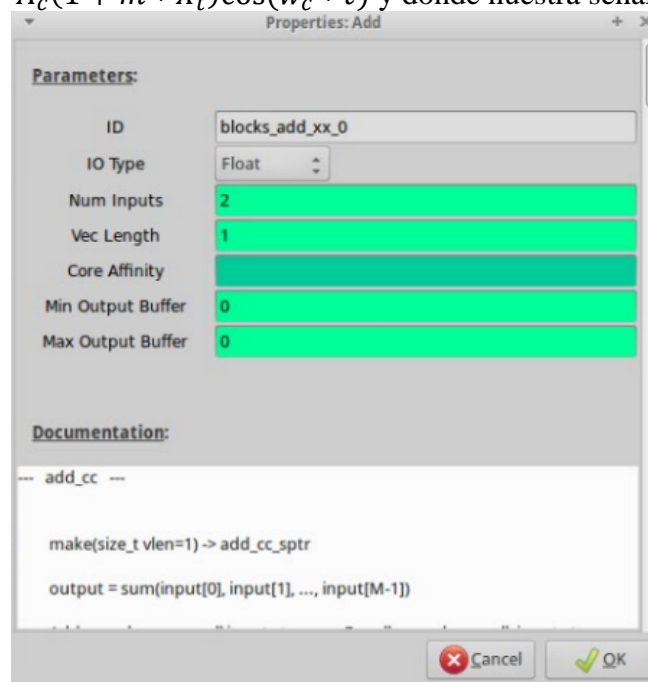


Ilustración 7

Bloque 5: Bloque de suma la cual realiza la operación suma entre el resultado de la multiplicación de la portadora y moduladora y le sumamos la portadora; esto es de acuerdo a la ecuación $X_c = A_c(1 + m * X_t)\cos(w_c * t)$ y donde nuestra señal portadora



es $A_c \cos(w_c * t)$.

Ilustración 8

Bloque 6: Denominado bloque Throttle el cual nos permite suavisar la simulación de tal forma que no se nos recargue el procesamiento de las señales.

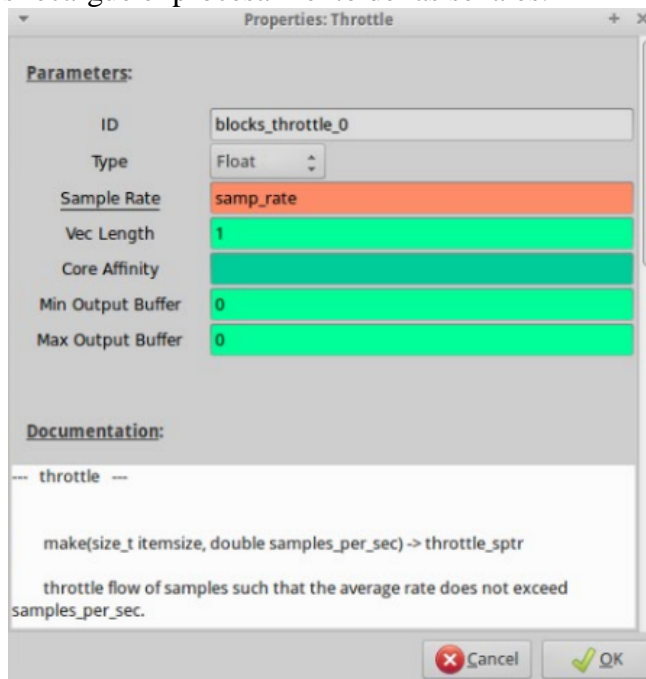


Ilustración 9

Bloque 7: Este bloque “Scope” nos permite visualizar la señal en el dominio del tiempo.



Ilustración 10

Bloque 8: Este bloque “FFT Sink” nos permite visualizar la señal en dominio de la frecuencia.



Ilustración 11

Bloque 9: Este bloque “WX GUI Slider” nos permite definir la variable fecmodulante para poder cambiar o variar su valor de forma deslizante y está definida dentro de los cada uno de los bloques donde para su procesamiento necesite un valor de la variable en mención.



Ilustración 12

Bloque 10: Este bloque “WX GUI Slider” nos permite definir la variable “Am” para poder cambiar o variar su valor de forma deslizante y está definida dentro de los cada uno de los bloques donde para su procesamiento necesite un valor de la variable Amplitud de la Moduladora.

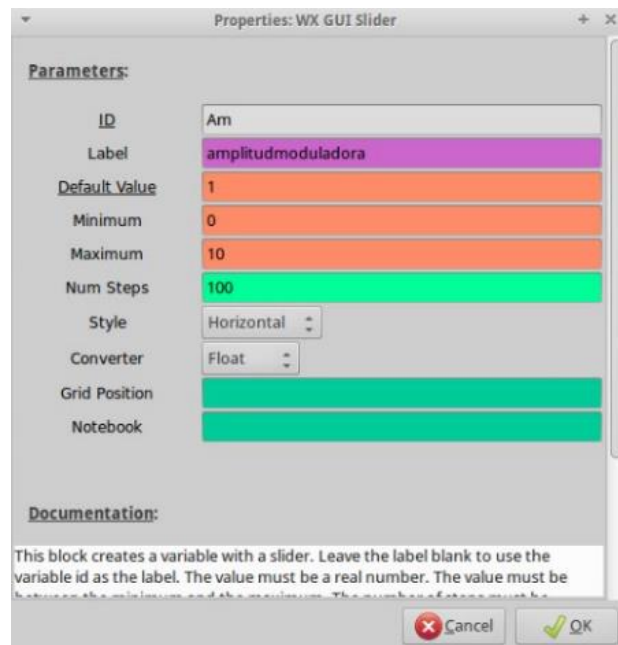


Ilustración 13

Bloque 10: Este bloque “WX GUI Slider” nos permite definir la variable “Ac” para poder cambiar o variar su valor de forma deslizante y está definida dentro de los cada uno de los bloques donde para su procesamiento necesite un valor de la variable Amplitud de la portadora.



Ilustración 14

Bloque 10: Este bloque “WX GUI Slider” nos permite definir la variable “frecportadora” para poder cambiar o variar su valor de forma deslizante y está definida dentro de los cada uno de los bloques donde para su procesamiento necesite un valor de la variable Frecuencia de la portadora.

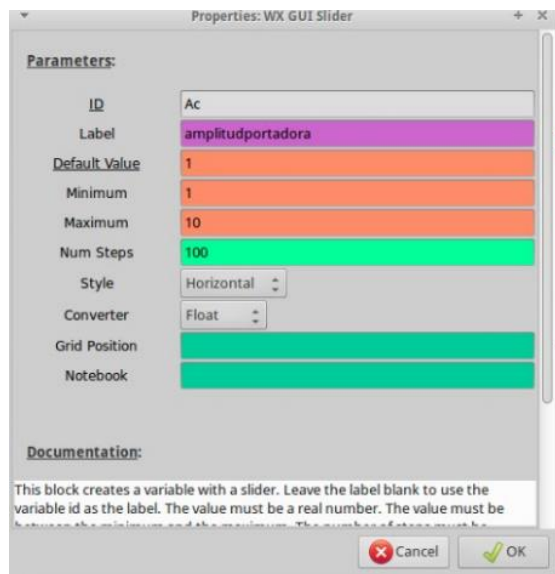


Ilustración 15

Bloque 10: Éste bloque nos permitirá definir la visualización de los scope en forma de pestañas para poder así visualizar las gráficas en el dominio del tiempo y en el dominio

de la frecuencia.

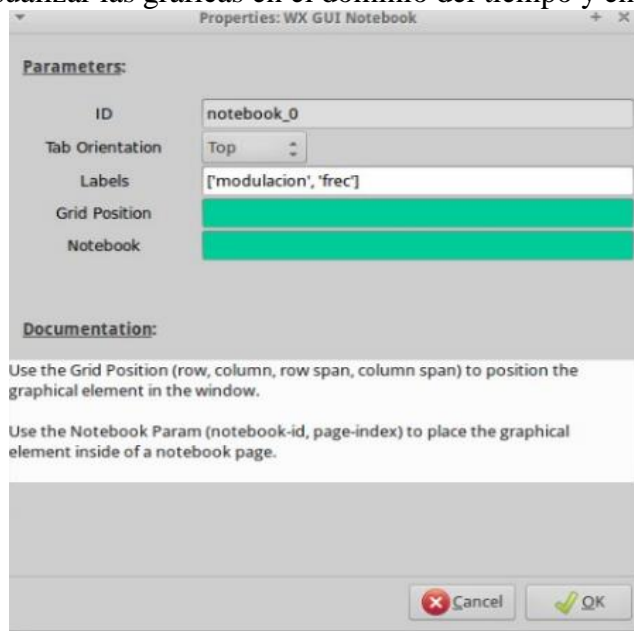


Ilustración 16

Luego que tengamos la el flow graph desarrollado en su totalidad vamos al menú Build
 → Execute o simplemente oprimimos F6 con el fin de compilar y ejecutar el Flow Graph.

Nos aparecerá una ventana con los gráficos así:

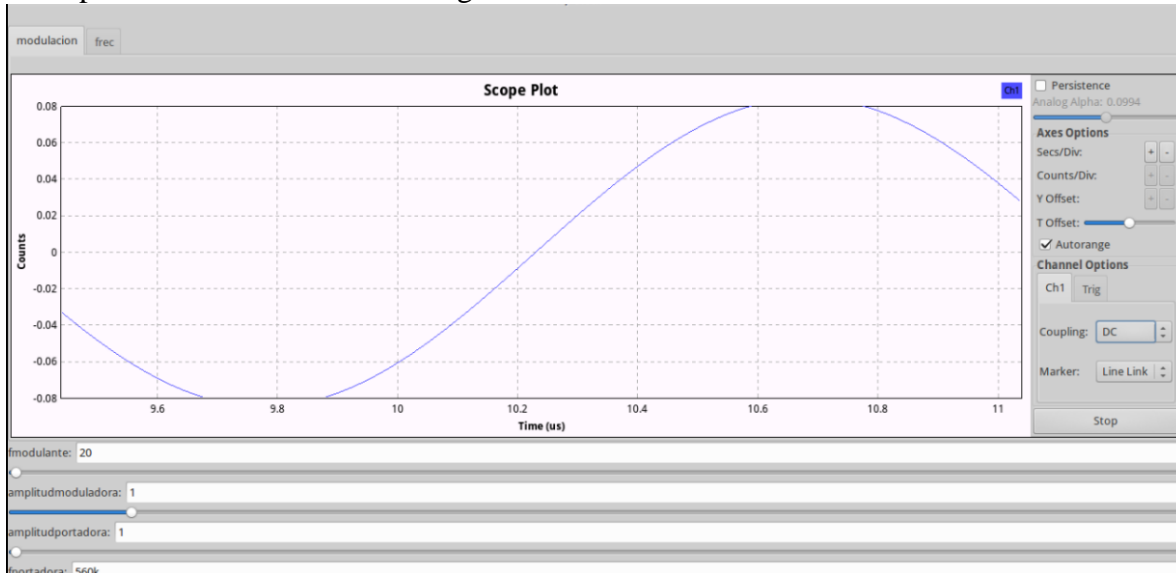


Ilustración 17

Posteriormente ajustamos las secuencias por división hasta que nos quede algo así:

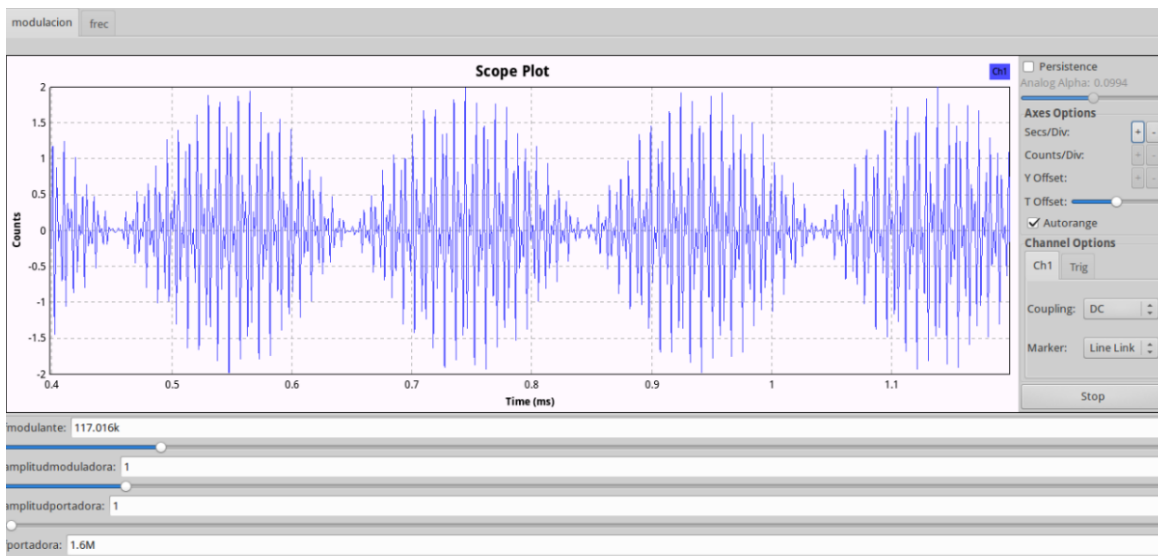


Ilustración 18

Ahora movemos los sliders correspondientes a la amplitud de la moduladora y la portadora de tal forma que podamos corroborar el índice de modulación:

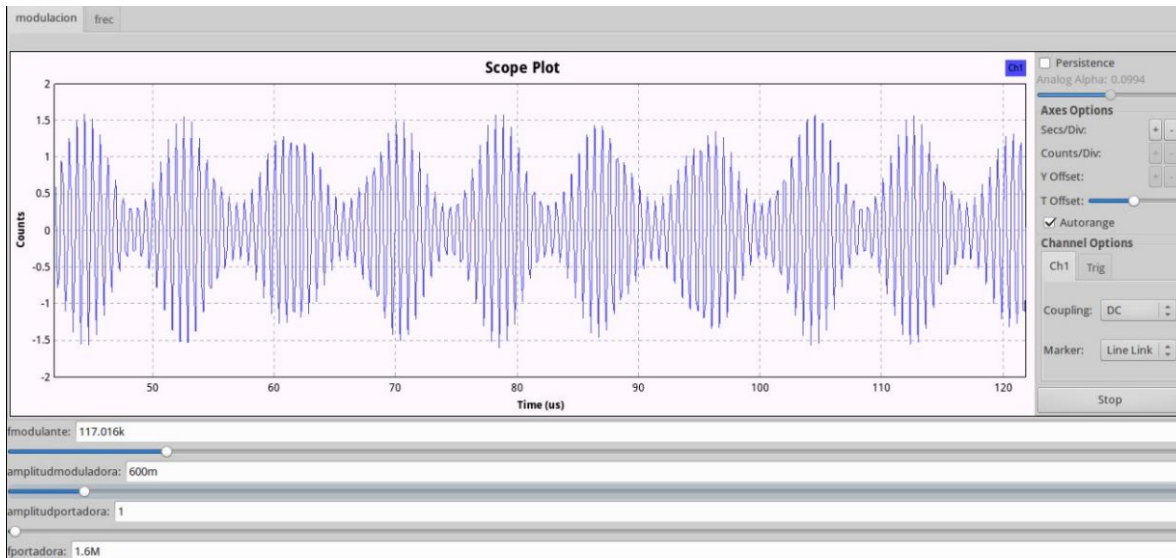


Ilustración 19

Nos pasamos a la pestaña correspondiente a la señal en la frecuencia donde podremos observar la traslación correspondiente a la convolución en el dominio de la frecuencia (Ilustración 20)

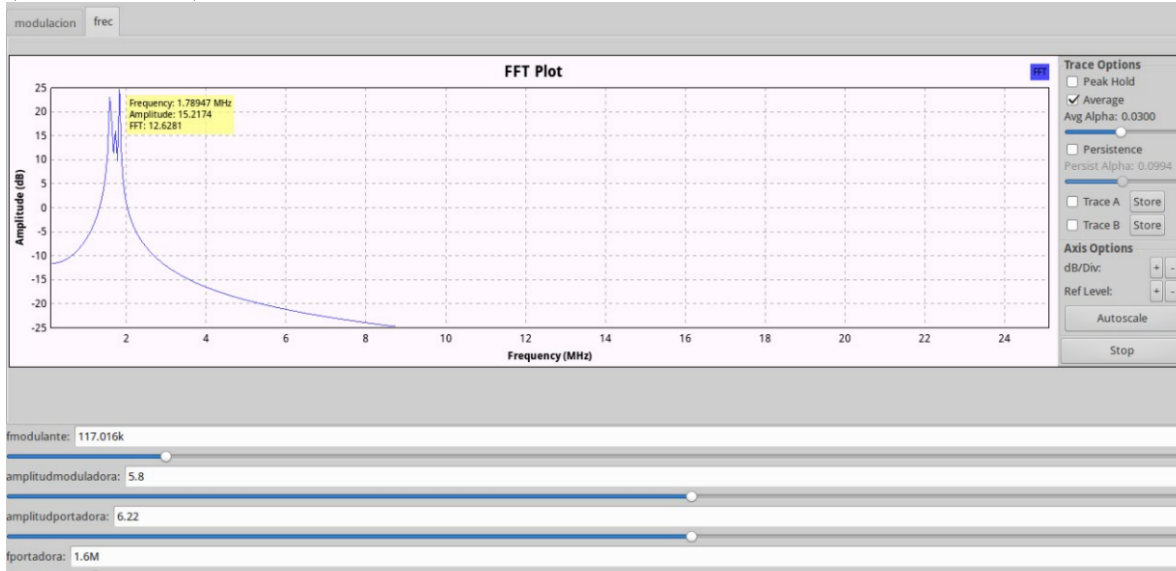


Ilustración 20

EVALUACIÓN

- a) ¿Defina qué es el índice de modulación?
- b) Proponga un Flow graph en el cual no se incluya la portadora en la señal de salida.
- c) Escriba y justifique la formula con la cual se define la modulación Am con portadora suprimida.
- d) Señale y explique cada una de las señales vistas en las gráficas posteriores a la multiplicación en el tiempo.
- e) En el Flow graph agregue una pestaña que nos muestre la graficas correspondientes al resultado de la multiplicación.

BIBLIOGRAFIA

Tomasi, W. (1996). Sistemas de comunicaciones electrónicas. México [etc.]: Prentice-Hall Hispanoamericana.

CONCLUSIONES

El uso de GNU Radio como herramienta de simulación y de definición de radio es un muy buen acercamiento a la práctica desde la teoría tal y cual como lo vimos al implementar la ecuación definición de la modulación AM y, llevarlo a la práctica fue algo fácil desde el software dando resultado la comprensión de la teoría vista en clase.

RECOMENDACIONES

- Lo ideal es que ésta práctica se realice máximo de a dos personas esto, debido a que de esta manera se podrá interactuar mejor con la aplicación objetivo de este laboratorio.
- Para realizar la implementación correcta del sistema GNU Radio recomiendo utilizar una máquina virtual VM ware instalada con el fin de ir directamente a lo que nos interesa revisar.