

INFORME FINAL CONVOCATORIA FODEIN 2016
DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO PARA SISTEMAS DE
COMUNICACIONES MÓVILES APLICANDO RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE

M.Sc. Ing. Gustavo Alonso Chica Pedraza
Facultad Ingeniería de Telecomunicaciones
Investigador Principal

PhD Felipe Díaz-Sánchez
Facultad Ingeniería de Telecomunicaciones
Co-investigador

E. Angie Trivino
Facultad Ingeniería de Telecomunicaciones
Auxiliar

E. Julian Morales
Facultad Ingeniería de Telecomunicaciones
Auxiliar

E. Miguel Sarmiento
Facultad Ingeniería de Telecomunicaciones
Auxiliar

Bogotá, Junio de 2017

Información general de proyecto

Código Interno	1607811-008	Supervisor	Tatiana Zona
Título del proyecto de investigación	Desarrollo de prácticas de laboratorio para sistemas de comunicaciones móviles aplicando radio definido por software	Fecha de presentación del informe de avance	02/11/2016
Nombre del Investigador principal	Gustavo Alonso Chica Pedraza	Centro de costos asignado	17304117
Nombre de los co-investigadores	Angel Felipe Díaz Sánchez	Unidad académica	Ingeniería de Telecomunicaciones
Nombre de los auxiliares –asistentes de investigación /estudiantes de semillero vinculados	Miguel Sarmiento Juliana Rojas Angie Triviño Julian Morales	Porcentaje estimado de avance	100%
Grupo de Investigación/Semillero	INVTEL/TELESOFT	Línea activa de investigación	Procesamiento de señales para sistemas de telecomunicaciones

Contenido

→ Título

Desarrollo de prácticas de laboratorio para sistemas de comunicaciones móviles aplicando radio definido por software.

→ Resumen

En proyecto de prácticas de laboratorio de sistemas de comunicaciones móviles se desarrollaron guías para prácticas de laboratorio para los estudiantes de la Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad Santo Tomás. Estas guías permiten:

- implementar una estación base de una red GSM (2G);
- realizar el handover en redes 2G en un ambiente controlado y
- desplegar un sistema ENodeB de una red LTE (4G) utilizando radio definido por software.

Para este fin, se caracterizó el funcionamiento del Ettus 210 y de las plataformas para comunicaciones móviles.

→ Palabras clave

Telecomunicaciones, redes, móviles, 2G y 4G.

→ Problema de investigación

La asignatura de sistemas de telecomunicaciones móviles que pertenece a la facultad de ingeniería de telecomunicaciones de la Universidad Santo Tomás, actualmente no cuenta todas las herramientas en relación a infraestructura de telecomunicaciones que permita realizar prácticas de laboratorio por parte del estudiante, siendo este un ítem de senda importancia para el aprendizaje y fortalecimiento de las competencias de la población estudiantil. Por esta razón, se plantea utilizar radio definido por software como método de ayuda en el fortalecimiento de la infraestructura de los sistemas de comunicaciones móviles, teniendo grandes ventajas para los estudiantes de ingeniería de telecomunicaciones, puesto que trabajarían con tecnologías emergentes en el mercado y realizarían prácticas de laboratorio que permitirían cumplir con los requerimientos del sector TIC.

Con el desarrollo de prácticas de laboratorio en la materia sistemas de telecomunicaciones móviles, el estudiante podrá identificar falencias en la telefonía móvil, tanto en infraestructura como en tecnología. De esta manera, al enfrentarse con la profesión tendrá las habilidades intelectuales y técnicas para resolver problemáticas del sector de forma innovadora y eficaz. La universidad y su formación pertinente son el enlace adecuado donde el estudiante tomasino recolecta las condiciones necesarias que lo llevarán a estar contextualizado. Además, el manejo del SDR será un espacio adecuado para el fortalecimiento de las capacidades intelectuales de los estudiantes de ingeniería de telecomunicaciones.

El alcance de las prácticas de laboratorio a desarrollar, es la implementación de una estación base funcional de una red de segunda generación 2G y un sistema ENodeB de una red LTE (4G).

→ Marco teórico y ajustes pertinentes (teorías y conceptos abordados).

En el análisis de SDR (Software Defined Radio) se ha desarrollado, a nivel de trabajo de investigación del grupo INVTEL, un análisis con la recepción de emisoras de frecuencia modulada, el esquema del receptor se muestra a continuación en la Figura 1, con sus respectivas componentes.

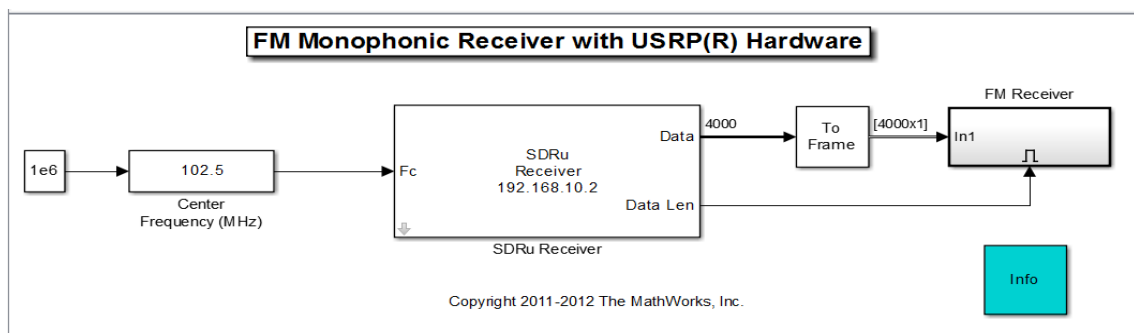


Figura 1. Diagrama de bloques del receptor Fm utilizado.

Fuente: Propia

El bloque de SDRu Receiver corresponde al elemento utilizado como soporte para la conexión entre simulink y el dispositivo USRP N210, en el bloque FM Receiver ubicada al final del esquema se encuentran algunos componentes para la recepción como se observa en la Figura 2.

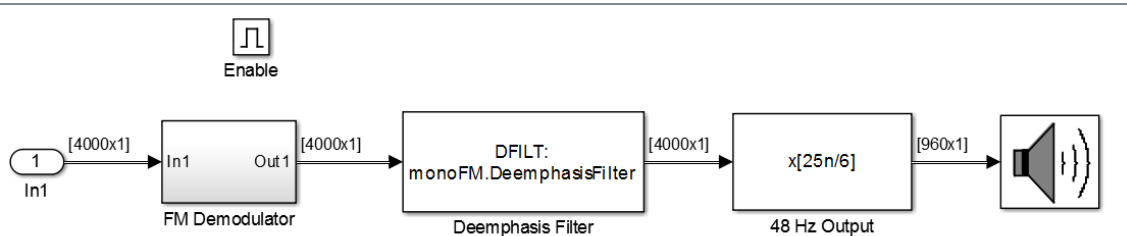


Figura 2 Componentes del bloque de simulación FM Receiver.

Dentro de este bloque se emplea un componente importante como DeemphasisFilter el cual se encarga de realizar una amplificación de la señal y un filtrado en el que se eliminan las componentes de ruido que se hayan podido generar durante el proceso de recepción. Existen dentro de este bloque otros elementos que contribuyen al proceso con diferentes funciones como demodulación.

Para visualizar el comportamiento espectral fue necesario implementar dentro del diagrama del FM Receiver un analizador de espectro en el cual se observa la señal de banda base es decir la información, su respuesta en frecuencia se muestra en la Figura 4. Comprobando el funcionamiento de los EttusResearch.

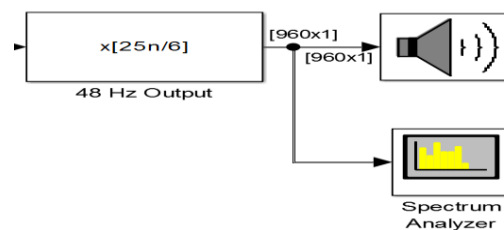


Figura 3. Receptor FM junto con el analizador de espectro.

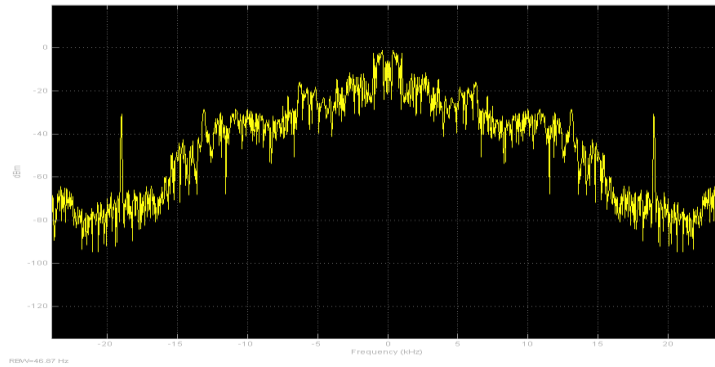


Figura 4. Espectro de la frecuencia recibida con el FM Receiver.

En la configuración del USPR se toma como parámetro variable la frecuencia dada su variación en cada uno de los barridos y los parámetros básicos de configuración de un USPR como se observa en el siguiente código.

```
hSDRu= comm.SDRuReceiver('192.168.10.2', ...
'CenterFrequency',frecuencia, ...
'Gain',30, ...
'FrameLength',1000, ...
'SampleRate',1/(100e6/500), ...
'DecimationFactor',500);
```

El módulo de densidad espectral se desarrolló con ayuda de las librerías que nos permiten hacer un análisis de frecuencia y el manejo matricial de los resultados. Para establecer una matriz de muestras y luego de la transformada rápida de Fourier como se observa en el siguiente código.

```
Fourier= fft(data3);
Densidad1 = abs (Fourier).^2;
Densidadf1(matriz) =sum(Densidad1)
```

Aplicando el modelo de densidad espectral se comprueba las bandas de frecuencia según la normatividad para las emisoras de frecuencia modulada en la ciudad de Bogotá.

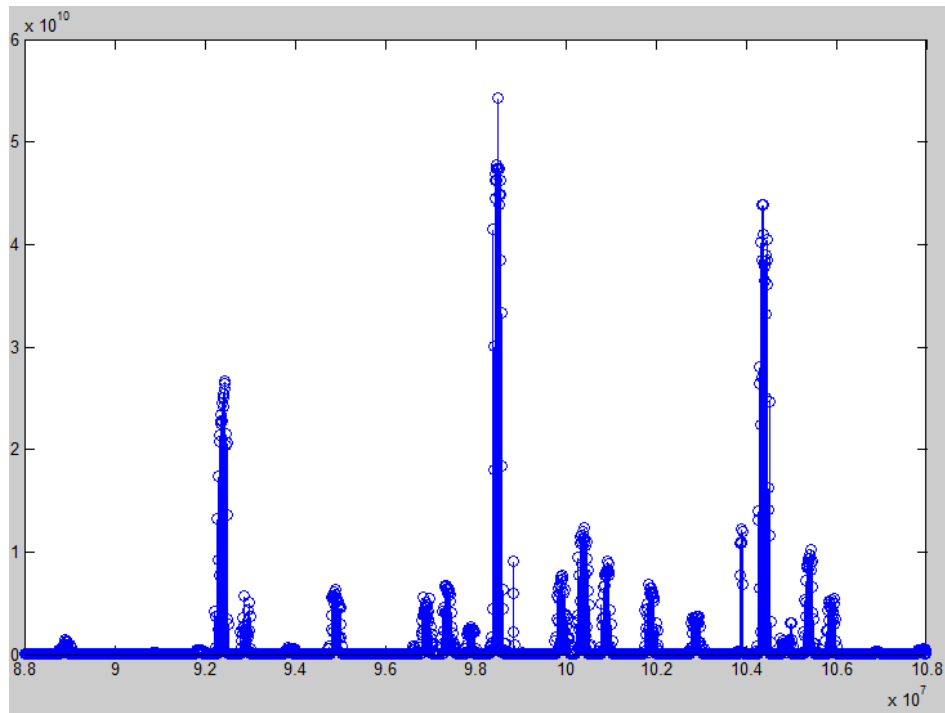
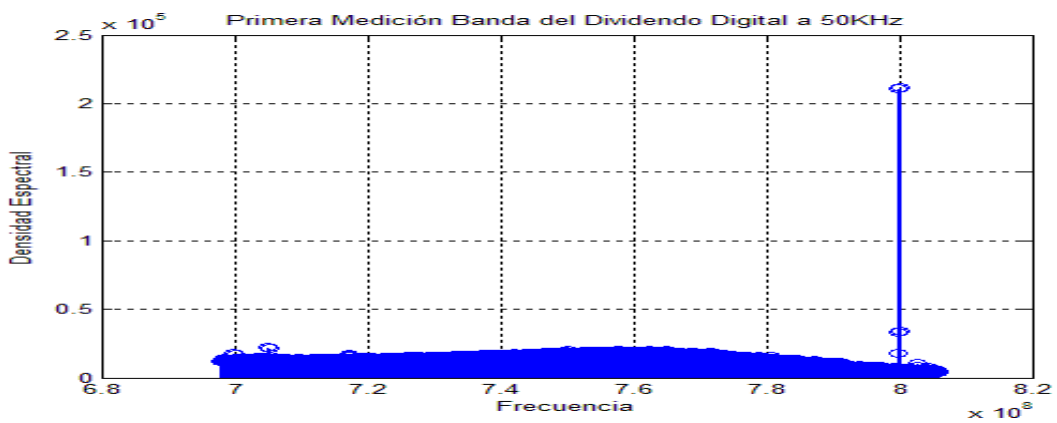


Figura 5. Componentes de Densidad Espectral en la Banda de Frecuencia Modulada FM

Fuente: Propia

Se observa en la Figura 6 en donde las portadoras de televisión analógica son identificadas y también el piso de ruido de la banda de dividendo digital. Dada esta revisión realizada a nivel de SDR para sensado se plantea su aplicación para redes de móviles.



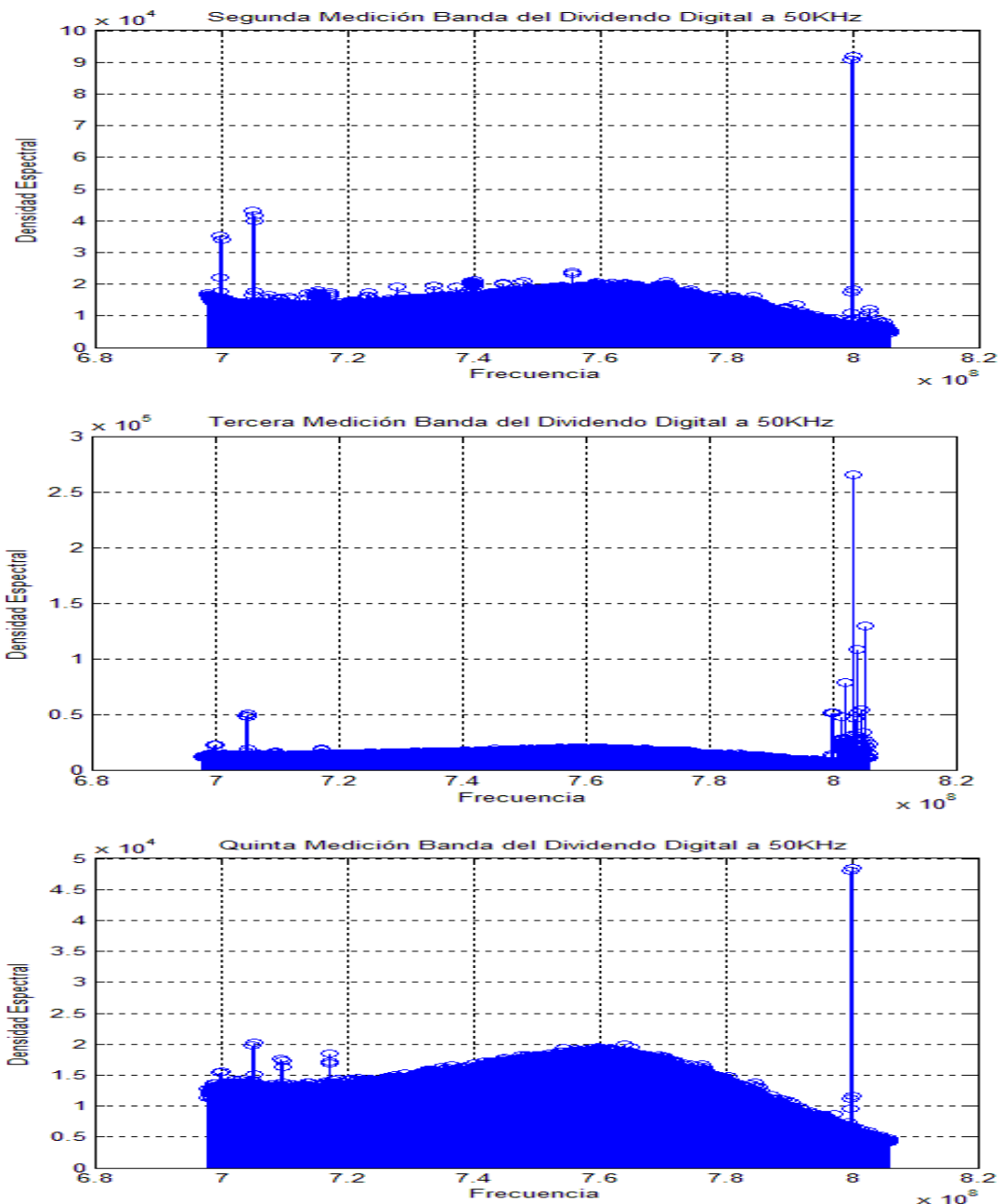


Figura 6. Densidad espectral de banda de dividendo digital a 50KHz.

Herramientas SDR para móviles

Una de las herramientas que se proponen para realizar la aplicación es OpenBTS como se observa en el proyecto de la referencia (Burgess, Samra, & others, 2008) y el desarrollo con sistema de radio definido por software (Azad, 2011) con respecto a los sistemas de segunda generación. La recepción de señales de la tecnología LTE de cuarta generación (4G). Mediante unos bloques de procesamiento en GNU Radio, se obtendrá la trama LTE para su posterior análisis, la arquitectura a desarrollar se modela en la Figura 6. (Demel, Koslowski, & Jondral, 2015). El desarrollo de ENodeB se debe desarrollar la programación el Linux que se desarrollará en la propuesta del proyecto (Eisenblatter, Turke, & Schmelz, 2011).

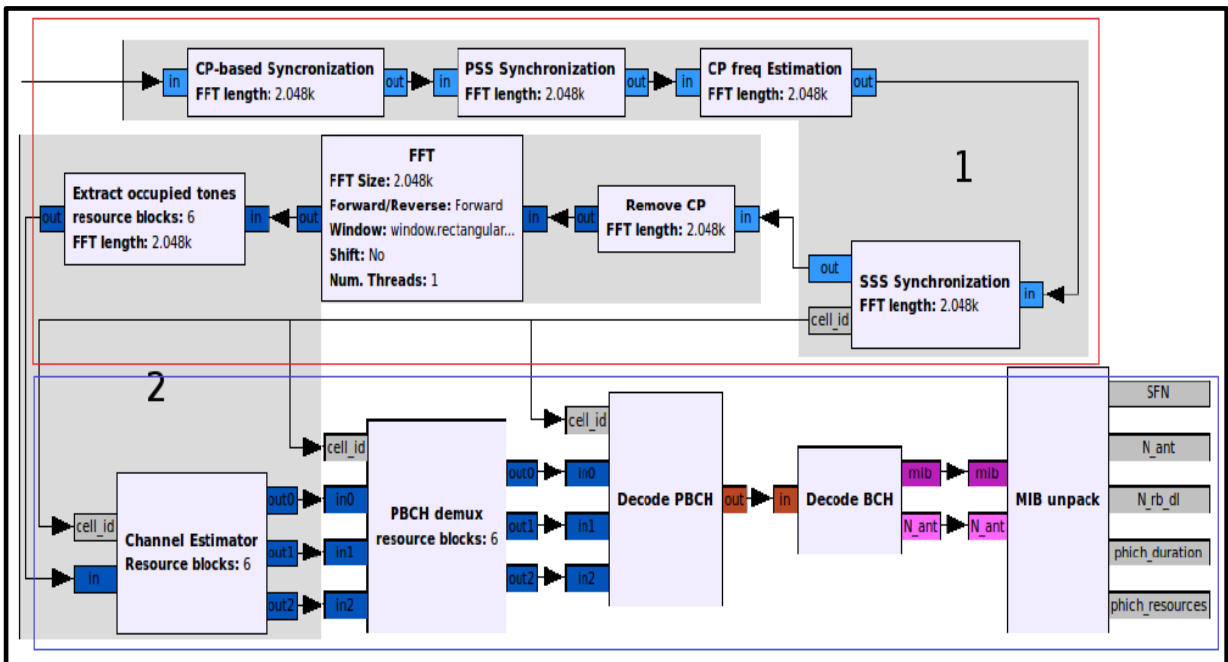


Figura 6. Recepción LTE.

Fuente: (Demel et al., 2015).

→ **Consecución de los objetivos general y específicos planteados**

A continuación se describe el porcentaje de cumplimiento de los objetivos planteados.

Objetivos	Cumplimiento
General: Desarrollar prácticas de laboratorio para los estudiantes de la Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad Santo Tomás con el fin de implementar una estación base de una red GSM (2G) y un sistema ENodeB de una red LTE (4G) utilizando radio definido por software.	100%
Específico: Establecer el funcionamiento necesario en el dispositivo USRP Ettus N210 para la recepción y transmisión de señales en una red GSM (2G) y un ENodeB de una red LTE (4G) .	100%
Específico: Realizar prácticas de laboratorio que permitan evidenciar los conceptos necesarios para el entendimiento de las funciones de una estación base GSM (2G) y un ENodeB mediante la implementación de las prácticas de laboratorio.	100%
Específico: Documentar guías de laboratorio con la utilización de radio definido por software.	100%

→ **Resultados con base en la pregunta de investigación formulada y la metodología planteada.**

Con base en el problema formulado y en la metodología planteada, los siguientes son los resultados de este proyecto de investigación:

- Guía para la instalación y puesta en marcha de una estación OpenBTS.
- Guía para la realización del handover en una red 2G.
- Guía para la instalación y puesta en marcha de una estación OpenLTE.

→ **Logros generales de la investigación hasta la fecha.**

- Las guías de laboratorio desarrolladas tienen un impacto directo en el currículo. Particularmente estas guías se incorporarán a los laboratorios del espacio académico de Sistema de Telecomunicaciones II y Redes Móviles.

→ **Actividades de formación: describir actividades específicas de formación en investigación hasta la fecha para los estudiantes vinculados a los proyectos de semilleros (requerido) y grupos (con auxiliares y asistentes de investigación).**

- Asesorías técnicas.
- Acompañamiento a estudiantes en las actividades de investigación.
- Tesis de grado.

→ **Avance alcanzado con respecto al cronograma inicial y ajustes pertinentes.**

Meta	2016									2017		
	03	04	05	06	07	08	09-10	11	12	01-02	03-04	05-06
Reconocimiento de los sistemas de radio definido por software a nivel de hardware y software.	Hecho											
Desarrollo y documentación de la práctica OpenBTS software.		Instalación del software GNU Radio corriendo sobre el ordenador										
Implementar prácticas de laboratorio ENodeB LTE			Hecho									

Desarrollo y documentación OpenBTS e EnodeB.						Hecho						
Realización del informe final y del artículo para ponencia.												H e c h o

→ Tipo de productos derivados del avance del proyecto a la fecha (movilidades, publicaciones, alianzas/redes establecidas, otro tipo de productos).

Tipo de producto (Artículo, ponencia, evento, libro, capítulo de libro, etc.)	Nombre de producto (Indique título del artículo, ponencia, evento, libro, capítulo de libro, etc.)	Fecha de revisión, publicación o presentación (Indique fechas de publicación, revisión o presentación en evento del producto. Si aún no se tiene el producto final, indique la fecha de entrega)	Nombre de la revista/libro o evento en que se presenta el producto. (Si el producto no se ha finalizado indicar el medio en el que se proyecta la publicación o divulgación)	Modo de verificación (ISSN, ISBN, página web, etc. Si el producto no se ha finalizado, escribir "no se ha finalizado" en esta columna.)	Número de anexo (Incluya en los anexos, de manera ordenada el soporte escaneado que demuestre la existencia del producto o el envío a revisión –asigne un número a cada anexo y relaciónelo en esta columna. Si el producto no se ha finalizado, escribir "no se ha finalizado" en esta columna)
Guía de laboratorio	Guía de laboratorio OpenBTS	20/06/2017	Divulgación interna	Archivo electrónico. Google Drive.	Anexo 1
Guía de laboratorio	Guía de laboratorio OpenLTE	20/06/2017	Divulgación interna	Archivo electrónico. Google Drive.	Anexo 2
Artículo (Ponencia)	Implementación de una estación base GSM (2G) y recepción de señales LTE (4G), aplicando radio por software	20/06/2017	Congreso Internacional de Telecomunicaciones	Archivo electrónico. Google Drive.	Anexo 3

Resumen Presupuestal del Proyecto

Rubros	FODEIN	Contrapartida Programa	Total	Fecha de Solicitud	Fecha de Aprobación (recurso)
Personal (nómina)		\$22.162.500	\$22.162.500	Enero 2016	Enero 2016
Material Bibliográfico	\$500.000		0		
Equipos	\$2.300.000		\$2.300.000	Noviembre 2016	Noviembre 2016
Auxilio a investigadores	\$2.800.000		\$2.800.000	Noviembre 2016	Noviembre 2016
Publicaciones	\$1.000.000		\$1.000.000	Pendiente	Pendiente
Movilidad académica	\$1.000.000		\$1.500.000	Pendiente	Pendiente
Pares Académicos	\$400.000		\$400.000	Noviembre 2015	Noviembre 2016
TOTAL	\$8.000.000	\$22.162.500	\$30.162.500		

→ Dificultades enfrentadas en la realización del proyecto hasta la fecha.

Las dificultades presentadas en el desarrollo del proyecto son de carácter técnico y logístico. Desde el punto de vista técnico, se han presentado dificultades con la escritura de información en las simcards del proveedor my-sim. Desde lo logístico, la importación de las simcards y de los programadores tuvo un retardo de 2 meses debido a que el proveedor se encuentra en China. Esto causó un retraso en el desarrollo del proyecto de 2 meses.

→ Conclusiones

El desarrollo de este proyecto de investigación permitió la formación de recurso humano, a nivel de tesis de pregrado. También impactó el contenido curricular de los espacios académicos Sistemas de Telecomunicaciones II y de Redes Móviles por medio de la creación de guías para el desarrollo de prácticas de laboratorio.

→ Referencias

Azad, A. (2011). Open BTS Implementation with Universal Software Radio Peripheral.

Department of Electrical and Computer Engineering, Virginia Polytechnic and State University: Virginia, VA, USA.

Burgess, D. A., Samra, H. S., & others. (2008). *The OpenBTS Project.*

Demel, J., Koslowski, S., & Jondral, F. K. (2015). A LTE receiver framework using GNU Radio. *Journal of Signal Processing Systems*, 78(3), 313–320.

Eisenblatter, A., Turke, U., & Schmelz, C. (2011). Self-Configuration in LTE Radio Networks: Automatic Generation of eNodeB Parameters. In *Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2011 IEEE 73rd* (pp. 1–3).

<http://doi.org/10.1109/VETECS.2011.5956579>

Martínez, E. (2001). La evolución de la telefonía móvil. *Artículo Publicado En La Revista RED*.