



# Formación de investigadores en tecnologías de banda ancha

La formación de futuros investigadores en el sector de las telecomunicaciones exige la generación de espacios y ambientes en los cuales los ingenieros en formación tengan un acercamiento real al desarrollo de proyectos de investigación en campos estratégicos para el sector. En este escenario, la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Católica de Colombia ha consolidado un Semillero de Investigadores, cuyos miembros abordan el estudio y solución de problemas relacionados con las tecnologías de banda ancha.

**José David Cely Callejas, Catalina Álvarez Jiménez, Sandra Viviana Rincón Lemus, Jorge Lora, David Manuel Rojas, Juan José Cárdenas y Asbleidy Yesenia Barreto Monroy**  
**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones Universidad Católica de Colombia**

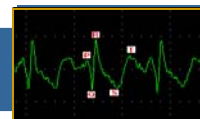
En el panorama tecnológico actual se habla de ofrecer al usuario final la posibilidad de acceder a la información de manera interactiva y con independencia de la red o el terminal, sea ésta voz, datos o video. Son muchas las opciones tecnológicas probadas en diferentes entornos, sin embargo la mayoría aun no integra todos los servicios en la misma plataforma. Estas realidades y promesas tecnológicas se hacen posibles mediante un recurso que en la práctica está limitado por las condiciones físicas del medio de propagación, la capacidad de cómputo de los elementos de red, los sistemas operativos y en general todos los elementos que intervienen en un sistema de telecomunicaciones, este recurso es el Ancho de Banda.

Atendiendo a la necesidad de formar investigadores en este campo el Programa de Ingeniería Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Católica de Colombia, crea el Semillero de Investigación en Comunicaciones Móviles y Banda Ancha. Este documento describe en forma general la justificación, objetivos y logros más relevantes del Semillero, para lo cual, en la primera parte se hace una breve descripción de los conceptos de la banda ancha y se exponen algunos de los avances más notables al respecto, y en la segunda parte presenta los avances de dos proyectos de investigación formativa desarrollados por los estudiantes adscritos al Semillero.

**Palabras clave: Banda ancha, telemedicina, modulación digital**

## Introducción

La tendencia actual de las Redes de Telecomunicaciones exige abordar cualquier tipo de



investigación partiendo del concepto de convergencia, definida por la Unión Europea como *“la capacidad de diferentes plataformas de red de transportar tipos de servicios esencialmente similares, o la aproximación de dispositivos de consumo tales como el teléfono, la televisión y el ordenador personal”* [1].

En el panorama tecnológico actual se habla de ofrecer al usuario final la posibilidad de acceder a la información sea ésta voz, datos o video de manera interactiva y con independencia de la red o el terminal. Son muchas las opciones tecnológicas probadas en diferentes entornos, sin embargo la mayoría aun no integra todos los servicios en la misma plataforma. Estas realidades y promesas tecnológicas se hacen posibles mediante un recurso que en la práctica está limitado por las condiciones físicas del medio de propagación, la capacidad de cómputo de los elementos de red, los sistemas operativos y en general todos los elementos que intervienen en un sistema de telecomunicaciones, este recurso es el Ancho de Banda.

En este contexto la Banda Ancha se convierte en una de las áreas estratégicas para el sector de las telecomunicaciones. Sin embargo al término de Banda Ancha se le tienden a asignar significados distintos, dependiendo del ámbito de aplicación. Así, aunque la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) define la Banda Ancha como una red que permite transportar flujo de bits superiores a los 2 Mega bits por segundo (Mbps); es común encontrar en el mercado productos y servicios que corresponden a una décima parte de este umbral. En nuestro país por ejemplo, se ofrecen servicios de acceso a Internet que apenas superan los 100Mbps y sin embargo se ofrecen como servicios de Banda Ancha. En este documento, el abordaje conceptual de Banda Ancha se hace a partir de los medios de propagación, que se clasifican comúnmente en medios guiados (pares de cobre, cables coaxiales, guías de onda y fibras ópticas), y no guiados (espacio libre y aire).

Con relación a los medios guiados, puede decirse que el de mayor capacidad, en cuanto a Ancho de Banda se refiere, es la fibra óptica que en la actualidad ronda el umbral de los 40Gbps [2][3]. Hecho que la convierte en el medio por excelencia para la transmisión de grandes volúmenes de información a grandes distancias alrededor del planeta, ya sea mediante el uso de cables submarinos, aéreos o subterráneos. Por otro lado las redes más extendidas en todo el planeta son las redes telefónicas públicas (TPBC) que llegan al hogar de los usuarios mediante pares de cobre y cuya aplicación original se limitaba a la transmisión de la voz. Sin embargo a partir de la aparición de la Internet, la demanda de servicios de datos por parte de los usuarios de la TPBC incrementó y con ello la necesidad de proveer velocidades superiores al viejo límite de los 64 Kbps, lo que se logró mediante la aparición del lazo de abonado digital (Digital loop subscriber), mejor conocido como DSL en sus distintas versiones como la popular ADSL que puede alcanzar hasta los 6Mbps para descarga de datos y 640Mbps para subida de datos [4].

Dada la posibilidad de llegar al usuario final sin la necesidad de un cable, los medios no guiados se convierten en una solución muy interesante. El recurso que permite soportar la comunicación sin tener que usar el cable es la onda de radio, que se desplaza tanto en el aire como en el espacio libre de manera radial por medio de campos electromagnéticos, caracterizados principalmente por su frecuencia y potencia. Pero, al depender la calidad de la comunicación de los medios no guiados, tanto de las distancias, como de los fenómenos atmosféricos, su aplicación se ve limitada. Hecho que demanda el desarrollo de tecnologías que amplíen los beneficios de medios no guiados.

Al aumentar la frecuencia aumenta la cantidad de información que se puede transmitir, pero también aumenta el efecto de la distancia y los fenómenos atmosféricos sobre la señal. Es aquí donde aparece



un “compromiso” entre el ancho de banda y la frecuencia de operación lo que genera la necesidad de aprovechar al máximo este recurso (el espectro electromagnético) que en términos prácticos es bastante limitado, lo que ha motivado grandes y continuos desarrollos. Al hablar de Banda Ancha Inalámbrica (BWA) entran a jugar otros parámetros como la movilidad, las frecuencias de operación, el tipo de enlaces, el tipo de información etc. En este sentido tener una alta tasa de transmisión de datos de manera ubicua, móvil e independiente del terminal, es ahora el siguiente paso en la prestación de servicios de telecomunicaciones.

Desde el punto de vista del proveedor de servicio, las redes inalámbricas, se convierten en una excelente alternativa para ofrecer servicios de telecomunicaciones en zonas donde el tendido de redes físicas (cobre, fibra o coaxial) se hace difícil, ya sea por razones de infraestructura, distancia, o por el número potencial de usuarios en dicha zona. Esto, además de los evidentes beneficios de poder llegar con servicios de telecomunicaciones al interior de las edificaciones sin incurrir en costosas obras civiles.

Dentro de las posibilidades existen sistemas que tradicionalmente han soportado este tipo de soluciones aunque con costos teóricamente más elevados, es el caso de las redes satelitales tipo VSAT, que en la actualidad permiten llegar prácticamente a cualquier lugar del planeta con estaciones terrenas de tamaño reducido (menos de un metro de diámetro). Otra solución bastante interesante son las redes tipo LMDS (Servicio Local de Distribución Multipunto) que funcionan en bandas superiores a los 25GHz y que por ende tienen un alcance entre los 2 y los 5 Kms, lo que en consecuencia crea la necesidad de tener muchas antenas para cubrir una zona geográfica grande, como podría ser el caso de una ciudad.

### Acerca de las redes WiMAX

El estándar IEEE 802.16 es el fundamento de un tipo de redes comúnmente conocida como WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) producto del acuerdo de muchos fabricantes de equipos de redes de telecomunicaciones quienes decidieron adoptar un modelo común para la implementación de redes inalámbricas de banda ancha con un uso óptimo del espectro. En este sentido, la evolución del estándar ha tenido varios estadios que van desde la concepción de una red mixta entre WiMAX e inalámbrica local o WiFi, hasta el estado actual en el que se busca que el estándar dé los fundamentos para una red tipo IP que además permita la prestación de los tres principales servicios de telecomunicaciones: Voz, datos y video, o lo que se conoce comúnmente como “triple play” en un ambiente inalámbrico y móvil.

Respecto a la Calidad de Servicio (QoS) WiMAX permite a los proveedores de servicios asegurar calidades de servicio para clientes que lo requieran, y establecer los diferentes niveles para satisfacer dichos requerimientos. Por ejemplo puede garantizar alto ancho de banda para clientes corporativos, y bajas latencias para aplicaciones de voz y video. El caso del estándar IEEE 802.16 que aparece como una iniciativa para establecer una referencia para el uso de las BWA ( Broadband Wireless Networks) inicialmente en el ámbito fijo, y últimamente en el escenario móvil. En la actualidad se ha aprobado el estándar en su versión “e”. Complementaria a esta tarea de estandarización aparece el WiMAX Forum que se encarga de certificar la calidad de los equipos que cumplen con el estándar y que garantizarán interoperabilidad entre las redes de este tipo. En este año varias empresas han recibido la certificación del WiMAX Forum: Aperto Networks, Redline Communications, SEQUANS Communications y Wavesat, más recientemente Alvarion y Siemens. Esto hace que ya se pueda dejar de hablar de redes WiMAX como una red en experimentación y se pueda pasar a tener una red funcional. Adicionalmente INTEL promete tener su primer chip set para PC en 2007.

En Colombia son ya varias las experiencias con esta tecnología, por ejemplo en Bucaramanga y sus municipios aledaños que cuentan con una red que funciona con una topología mixta entre WiMAX y WiFi, el caso de Orbitel en Cali cuya red es ya una red WiMAX y ofrece acceso a Internet desde los 128 Kbps hasta los 2Mbps de acuerdo al tipo de cliente, o el caso de S3WIRELESS en Bogotá, que presta servicios de valor agregado usando también una red mixta. Adicionalmente otros operadores como el caso de ETB realizan en la actualidad pruebas de desempeño en diferentes sitios como es el caso de la red que está actualmente instalada en el campus de la Universidad Nacional sede Bogotá.

En general son varios los trabajos que desde el punto de vista académico se han hecho acerca de la



tecnología WiMAX entre los que están dos trabajos de la Universidad Nacional que se encuentra en desarrollo [5] [6] y en la Universidad Pontificia Bolivariana [7].

Al interior de la Universidad Católica de Colombia y específicamente en la Facultad de Ingeniería Electrónica y de Telecomunicaciones el estudio de las redes de Banda Ancha se ha reflejado en varias actividades como el Diplomado en Redes Móviles de Próxima Generación y algunos Proyectos de Investigación Formativa (PIF) relacionados con el tema, el resultado de dos de estos PIF se presenta en este documento.

## Formación de investigadores en tecnologías de banda ancha

Reconociendo el papel estratégico de las tecnologías de banda ancha, para el desarrollo del sector de las telecomunicaciones, y la necesidad de contar con recursos capacitados para el desarrollo de estas tecnologías en la Facultad de Ingeniería Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Católica de Colombia, se crea un **Semillero de Investigación en Comunicaciones Móviles y Banda Ancha**.

En una primera etapa el Semillero busca familiarizar a estudiantes y profesores con tecnologías tales como:

- Comunicaciones Móviles: redes inalámbricas internas y externas, antenas inteligentes, técnicas digitales de múltiple acción, WiFi, Bluetooth y Redes de Próxima Generación (NGN).
- Acceso por banda ancha a Internet: ADSL, fibra óptica y cable, WiMax, VoIP e IPv6.
- Aplicaciones en sistemas de tele medición: Telemedicina, redes de sensores

En cuanto al aspecto metodológico utilizado para alcanzar los objetivos se han desarrollado básicamente dos tipos de actividades:

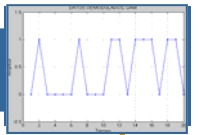
- Formulación y desarrollo de Proyectos de Investigación Formativa (PIF). En cuanto a los PIF se trabajó con cuatro grupos de estudiantes interesados en desarrollar proyectos relacionados con las áreas de estudio del semillero, inicialmente se llegó a establecer unos objetivos en conjunto, a partir de una revisión bibliográfica orientada que permitió a los estudiantes conocer los fundamentos teóricos necesarios para definir el problema y dimensionar objetivos razonables y las actividades necesarias para alcanzarlos. En este aspecto cabe resaltar como los estudiantes cambiaron la visión de proyectos en ingeniería electrónica y telecomunicaciones solamente como un problema de hardware y vieron la necesidad de entender los modelos matemáticos principales y su relación con las aplicaciones prácticas. Se orientó también a los estudiantes en el uso de herramientas de simulación como parte de la solución del problema y alcance de objetivos.
- Divulgación y difusión. Esta actividad se ha desarrollado mediante charlas periódicas sobre temas relacionados con las áreas de estudio del semillero como son telecontrol, tele medición, Redes WiMAX, aplicaciones con dispositivos móviles y asistentes personales (PDA) [8]. La divulgación se ha hecho mediante la participación en eventos internos y externos en eventos relacionados con los temas desarrollados.

A continuación se presentan dos problemas abordados al interior del Semillero, los cuales a la vez detallan dos aplicaciones actuales de las Tecnologías de Banda ancha.

## Aplicación en Telemedicina: Monitoreo del ritmo cardiaco

El objetivo general del proyecto es el de monitorear el ritmo cardiaco de un paciente en forma remota mediante el uso de la red celular. El proyecto se ha desarrollado en dos fases a partir de 2005 -II. En la primera los estudiantes realizaron el estudio de la teoría general de la electrocardiografía comenzando por la señal electrocardiográfica (ECG), ver figura 1, así como los circuitos y dispositivos mas utilizados para su captura y análisis mediante la transformada de Fourier [9].

A partir de este estudio se diseñaron un conjunto de circuitos, que en su conjunto conforman un sistema



que permite capturar y analizar el complejo ECG ver figura 2.

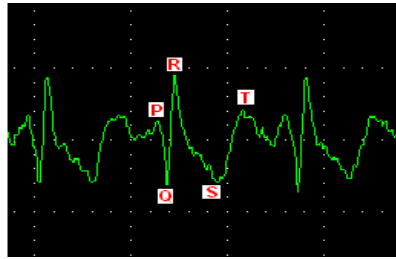


Figura No. 1 Diagrama de la señal ECG

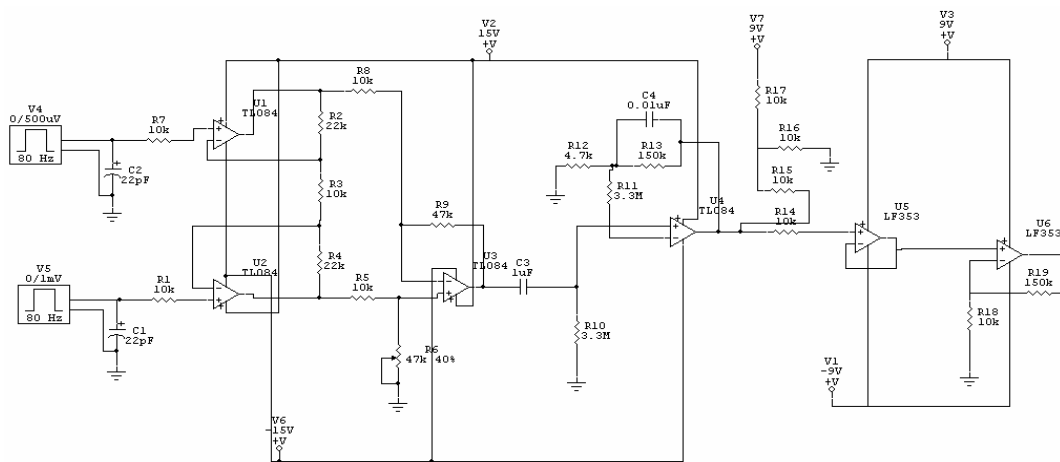


Figura No. 2. Diagrama Esquemático del Electrocardiógrafo

En la segunda fase se realizó el estudio de la red celular GSM, orientando a los esquemas de modulación digital utilizado por este tipo de redes, principalmente la Modulación Gausiana por corrimiento de fase (GMSK). A partir de este estudio se realizaron se propuso un sistema completo para adaptar la señal ECG al canal de voz celular y a partir de su implementación se realizaron algunas pruebas de transmisión de datos utilizando la red celular [10]. Figura 3. Para la siguiente fase del proyecto se pretende usar un conjunto de modems de tecnología Global Packet Radio Service (GPRS) para transmitir y recibir la señal ECG por medio de la red celular y evaluar así el desempeño de este canal en aplicaciones de telemedicina como la transmisión de señales electrocardiográficas.

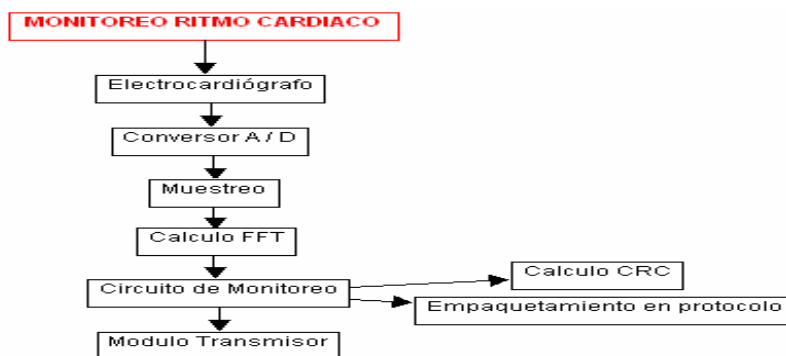
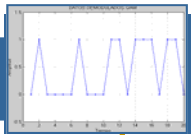


Figura No. 3. Diagrama de bloques del sistema



### Aplicación en Modulación Digital: Moduladores digitales QAM y QPSK

El objetivo general de este PIF es la implementación de un Modulador Digital en una pastilla que maneje varios esquemas de modulación, para este caso se tomaron los esquemas de Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM) y Modulación por corrimiento de Fase en Cuadratura (QPSK) [11] [12]. En la primera fase desarrollada a partir del 2006-I se estudiaron los fundamentos de los esquemas de modulación escogidos los cuales se implementaron posteriormente en un simulador mediante la herramienta MATLAB. Un diagrama de bloques general se presenta en la figura 4.

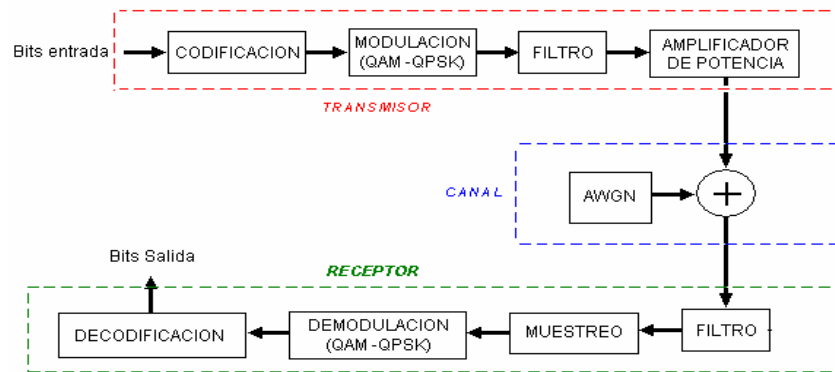


Figura 4: Diagrama de Bloques del modulador QAM/QPSK

A partir de los módulos de software para ambos moduladores se realizaron pruebas para observar su comportamiento tanto en transmisión como recepción. En las figuras 5 y 6 se presentan los resultados obtenidos para el modulador QAM [13]. En la siguiente fase del proyecto se pretenden llevar estos modelos a un circuito integrado programable que permita realizar mediciones en canales de comunicación que presentan condiciones más cercanas a las reales.

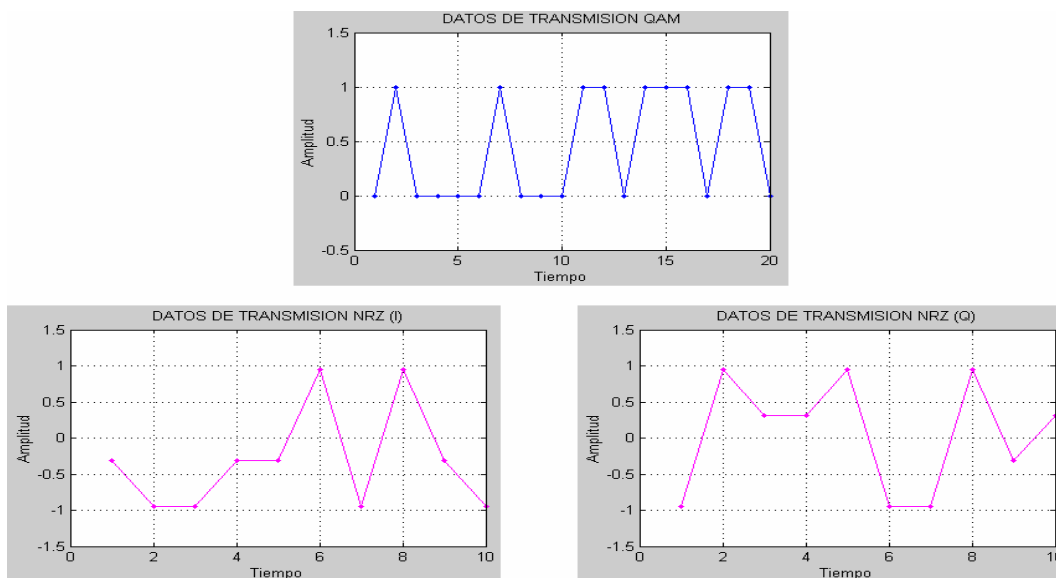


Figura 5: Señal y datos de transmisión QAM

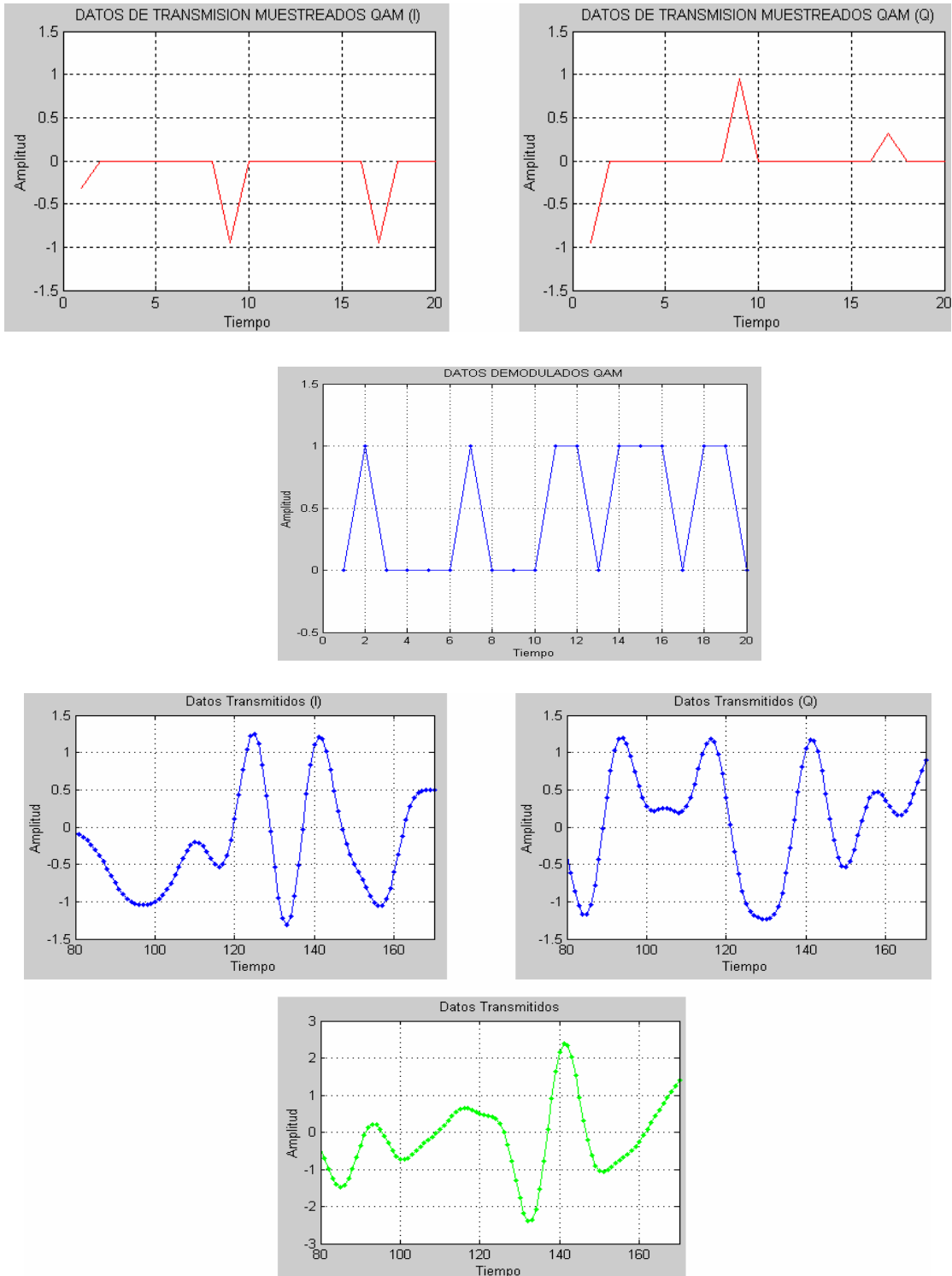
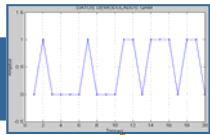
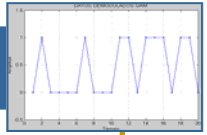


Figura 6: Datos Muestreados y Recepción QAM



## Conclusiones

El Semillero de Investigación en Comunicaciones y Banda Ancha ha permitido a los estudiantes participantes acercarse de una manera formal y tangible al desarrollo de proyectos de investigación formativa en tecnologías actuales del sector de las telecomunicaciones a partir del estudio de los fundamentos de dichas tecnologías y su implementación en prototipos de laboratorio ya sean Hardware o Software. Para los dos casos específicos expuestos en este documento se establecieron además los pasos a seguir para que estos PIF se conviertan en proyectos de grado que contribuyan a la solución de problemas específicos en el caso de la telemedicina o los moduladores programables por software (Software Radio).

Para el desarrollo de la facultad se identificó también la necesidad de adquirir herramientas que permitan avanzar en el estudio de estas tecnologías y llevar estos resultados al salón de clase mediante prácticas de laboratorio, ya sean simulación o montaje de prototipos.

## Referencias bibliográficas:

1. Comisión Europea (1997) *Libro verde sobre la convergencia de los sectores de telecomunicaciones, medios de comunicación y tecnologías de la Información y sobre sus consecuencias para la reglamentación.*
2. Scavennec, A. and Leclerc, O. (2006) *Toward High-Speed 40-Gbit/s Transponder.* Proceedings of IEEE, Vol 94, Nº 5, pgs 986-996.
3. Charlet, G. and. Bigo, S. (2006). *Upgrading, WDM Submarine Systems to 40-Gbit/s Channel Bitrate.* Proceedings of IEEE, Vol 94, Nº 5, pgs 951- 935.
4. Freeman, R.L. (2005). *Fundamentals of Telecommunications, 2<sup>nd</sup> Ed.* Wiley.
5. Escamilla, D. G. *Entre una estación base y un suscriptor de servicio para la Transmisión de VoIP.* Propuesta de tesis análisis del desempeño de un enlace inalámbrico fijo. IEEE 802.16d.
6. Moreno, S. (2005) Propuesta de tesis análisis de vulnerabilidades en la capa de control de acceso al medio en redes con interoperabilidad mundial para acceso por microondas – WiMax. UN
7. Betancourt, L., Sierra J., Hincapié, R. (2005) *Planeación de redes inalámbricas basadas en la tecnología Wimax con la herramienta de simulación ICS Telecom.* RCT CINTEL, Nº14.
8. <http://ewh.ieee.org/sb/colombia/ucc/>
9. Geselowitz, D. B. (1989) *On the Theory of the Electrocardiogram.* Proceedings of IEEE, Vol 77, Nº6.
10. Boquete, L., Bravo, I., Barea, R., Rodríguez J. M., and Martín, J. L. (2005) *Practical Laboratory Project in Telemedicine: Supervision of Electrocardiograms by Mobile Telephony.* IEEE Transactions on Education, Vol 48, Nº2.





11. Stephen G. Wilson (2002). Digital modulation and coding. Ed. Prentice Hall.
12. Bruce Carlson (2002). Communication-systems. Ed. McGraw Hill.
13. Hiroshi Harada (2005). Simulation and software radio. Artech House.

### Los autores

**José David Cely Callejas** es ingeniero electrónico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, con estudios de maestría en ingeniería de telecomunicaciones de la Universidad Nacional de Colombia. Desde el 2001 se desempeña como docente de planta de la Universidad Católica de Colombia. Contacto: [jdcely@ucatolica.edu.co](mailto:jdcely@ucatolica.edu.co)

**Catalina Álvarez Jiménez, Sandra Viviana Rincón Lemus, Jorge Lora, David Manuel Rojas, Juan José Cárdenas y Asbleidy Yesenia Barreto Monroy** son estudiantes del pregrado en Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Católica de Colombia. Contacto: [electronica@ucatolica.edu.co](mailto:electronica@ucatolica.edu.co)