

# Demostrador de conceptos de radiofrecuencia

## Para ejercicios de las asignaturas del grado de ingeniería radioelectrónica

Autores: Juan José Palma Guerrero,  
Carlos Mascareñas y Pérez-Iñigo (EA7GWJ)  
Departamento de Ciencias y Técnicas de la Navegación  
Escuela de Ingeniería Radioelectrónica. Universidad de Cádiz.  
carlos.mascarenas@uca.es



**Resumen:** El rápido avance de la informática y la microelectrónica permiten revolucionar los sistemas tradicionales de enseñanza de la radioelectrónica civil, utilizando tecnologías que eran impensables hace diez años, sobre todo por su alto coste y contenido militar.

El alumno del Grado de Ingeniería Radioelectrónica tiene la posibilidad de "ver", escuchar y manipular la radiofrecuencia recibida en el C.A.S.E.M. desde un ordenador ubicado en el taller de su escuela, el aula de teoría o su propio domicilio gracias a receptores de banda ancha que le envían datos procesados en tiempo real a través de Internet, posibilitando la realización de prácticas académicas programadas fuera del horario lectivo, cosa impensable hasta ahora.

En este artículo se analiza un proyecto de Demostrador de Conceptos que puede ser compartido por todas las universidades del mundo con el fin de mejorar el rendimiento del tiempo dedicado por el alumnado al aprendizaje del análisis de radiocomunicaciones.

**Palabras-clave:** Enseñanza; Entrenamiento; Radiocomunicaciones; Radios Definidas por Software, Redes.

### 1. Introducción.

El estado actual de la tecnología hace que por muy poco dinero, comparado con hace 10 o 20 años, se pueda disponer de una serie de receptores instalados en la Escuela de Ingeniería y Radioelectrónica y al mismo tiempo incrementar la formación de los ingenieros radioelectrónicos con técnicas similares a las de los equipos de Guerra Electrónica (EW), las cuales permiten la perfecta comprensión de conceptos a los que antes sólo se llegaba mediante la imaginación del alumno y la pericia del profesor simulándolos en la pizarra o en un ordenador.

Estos receptores EW (Lackey, R. I. y Upmal, D. W. , 1995) están vetados para el público civil y son de amplio uso en las Armadas de todo el mundo, siendo el puesto de Oficial de Comunicaciones uno de los más codiciados en cuanto a las especialidades de la Armada se refiere, ya que asegura un puesto de trabajo como asesor militar de aquellas empresas civiles que proveen de tecnología a los Ministerios de Defensa de todo el mundo.

Los receptores SDR constan de una parte hardware que reciben la señal radio y proveen la señal audio IQ al software implementado en un equipo PC u otros equipos capaces de correr el software SDR. La conexión de los receptores de radio hardware, se puede hacer bien por IP, USB o RS232, permitiendo el software SDR la arquitectura cliente servidor, así como la teledescarga de soluciones.

La diferencia fundamental de los receptores SDR con los receptores normales es que son de banda ancha, es decir no disponen de filtro de frecuencia intermedia y su operación se realiza mediante la sintonización software de los mismos en el puesto re-

moto, lo que permite que las mismas señales lleguen a todos los operadores, siendo éstos los que seleccionan el canal a escuchar en cada momento. (Mitola, J. 2000. Burns, P. 2002. Youngblood, G. 2002-2003. Kenington, P.B, 2005. Galvis, A., Ceballos, C.A.. y De Sanctis Gil, L. 2007.)

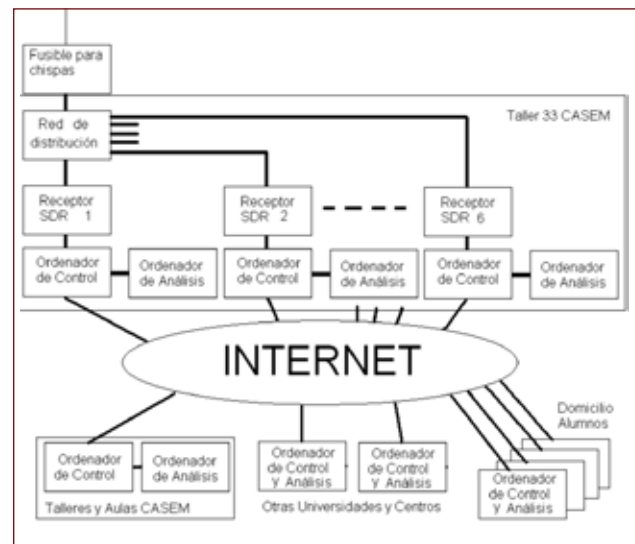


Figura 1. Diagrama parcial conceptual del Demostrador de Conceptos.

La red que estamos utilizando se compone de un conjunto de 6 estaciones receptoras SDR para cubrir las bandas de 0 a 1700 MHz, instalados en el Taller del Grupo Señales, Sistemas y Comunicaciones Navales y se pretende que pueda ser utilizada desde cualquier punto habilitado de la geografía nacional mediante la red Internet con acceso a través de la página web del sistema Marconi (<http://marconi.uca.es>), dando nuestra Universidad un servicio de valor añadido al público.

Los receptores SDR adquiridos e instalados por el Grupo disponen de distintos niveles de acceso según sea su aplicación, dependiendo de las bandas de frecuencias atribuidas a los servicios de radiocomunicaciones estudiados en cada momento.

Por ejemplo, mientras que hay un receptor Softrock en la banda de 40 m a disposición de todo el público dentro del proyecto Websdr de la Universidad de Twente (Twente 2012) y se está terminando la instalación de un receptor de la banda de 2m para el mismo proyecto, el receptor HF Perseus se encuentra accesible a través del desarrollo del grupo QtRadio cuyo ejecutable se encuentra accesible en la dirección [www.marconi.uca.es](http://www.marconi.uca.es).

Asimismo, están disponibles receptores Softrock, Funcube, SDR-IQ y RTL-SDR bajo una arquitectura cliente-servidor usando el conocido programa SDR-Radio, pudiéndose acceder a ellos en modo local, o bien de forma remota con los cliente SDR-Radio, ya sea desde aulas de informática o mediante los medios audiovisuales de las aulas.

Además, y tanto para la docencia de los procedimientos radioeléctricos como para la intercomunicación de los alumnos durante las prácticas, disponen de un servidor Team Speak 3 en el que es posible mantener conversaciones en tiempo real, tanto en castellano como en inglés, pulsando un "PTT" y utilizando micrófonos y auriculares.

Para publicitar estos medios, el grupo S2CN de la Universidad de Cádiz ha creado la página web [www.marconi.uca.es](http://www.marconi.uca.es) que va describiendo los equipos y sistema a los que se puede ir accediendo mediante el desarrollo MARCONI creado para tal fin por este grupo.

Como una pequeña descripción del desarrollo Marconi apuntar que éste consta como acceso al sistema de un Firewall IPCOP detrás del que se encuentra los servidores del grupo:

- ▶ Servidor de comunicación VOIP Teamspeak.
- ▶ Servidor SIP-PBX Tribox.
- ▶ Consola y servidor fldigi.
- ▶ Servidor SDR – Linux (QtRadio, Web server, Websdr server).
- ▶ Servidor SDR – Windows (SDR-Radio, HSDR, SDR-Sharp).



Figura 2. Transceptor de VHF del Servicio Móvil Marítimo

## 2. Estado de la Cuestión

Los receptores utilizados en el servicio móvil marítimo sólo permiten trabajar en banda superestrecha, es decir 3 kHz para fonía H3E o J3E y 500 Hz para radioteletipo y DSC F1B/J2B en HF o también 16K0F3EJN en el caso de VHF (Mascareñas, 2011). Además hacen imprescindible la instalación de una infraestructura de control remoto que podemos considerar como obsoleta, cuando existe la red Internet con una distribución en malla que asegura en un 95% el control de los receptores aunque se corten las líneas de transmisión de datos. (Figura 2)

Con el proyecto Websdr (Twente 2012), figura 3, la filosofía que se plantea es completamente distinta. La capacidad de seleccionar una entre múltiples frecuencias disponibles de manera remota permite abaratar costes de instalación, ya que la selección de la frecuencia exacta, en banda estrecha, la hace el usuario, por lo que el alumno puede utilizar su instalación de Internet en su domicilio para realizar aquellas prácticas que le seleccione el profesor como "tarea para casa".

Los receptores SDR disponibles en el mercado permiten la recepción de señales de hasta 2 MHz de anchura de banda desde 100 kHz hasta 40 MHz de modo directo (Perseus) y de 40 a 1700 MHz (RTL-SDR), o con una anchura de banda dependiente de la tarjeta de sonido del ordenador que realiza la decodificación (Funcube, Softrock).

Los receptores VUHF más populares han sido los Funcube durante los tres últimos años, pero están siendo desbancados por los receptores RTL-SDR, vulgarmente utilizados como decodificadores TDT, ya que éstos últimos proporcionan un ancho de banda de análisis de 2 MHz (figura 4), mientras que el Funcube se queda constreñido a 96 kHz, es decir, a la tarjeta de sonido.

The screenshot shows the WebSDR interface with the following details:

- Frequency:** 7088.09 kHz
- Bandwidth:** 2.49 kHz @ -6dB, 2.95 kHz @ -60dB
- Waterfall settings:** Speed: slow, Size: medium, View: waterfall
- Logbook:** Call of station that you hear: [input field], Comments, if any: [input field]
- Waterfall view:** zoom out, zoom in, max out, band, max in
- Signal strength:** -68.1 dBm, peak -67.8 dBm
- Usage:** This WebSDR is currently being used by 1 user(s) simultaneously.
- Chatbox:** This chatbox is intended to discuss the operation of the WebSDR. Please keep the discussion civil and polite.

Figura 3. Selección de una frecuencia entre 7,00 MHz y 7,10 MHz

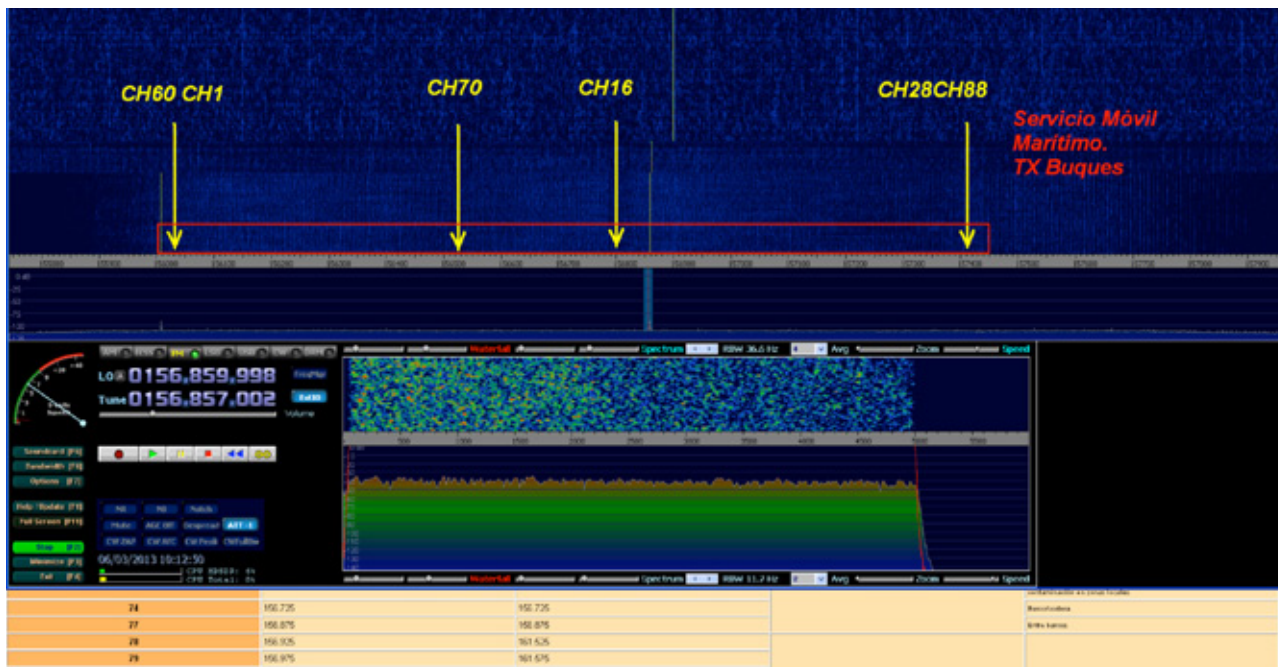


Figura 4 .Pantalla del Programa WinRad controlando un receptor RTL-SDR en la Banda de VHF del Servicio Móvil Marítimo

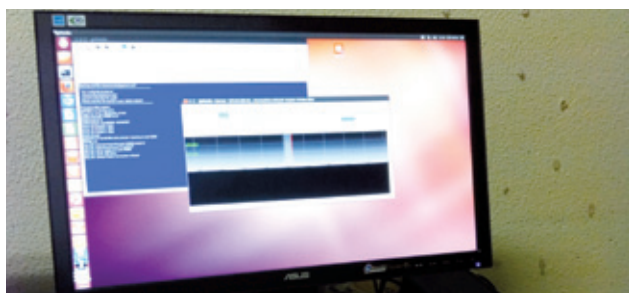


Figura 5. Receptor Perseus integrado con arquitectura cliente-servidor. Receptor Funcube a la izquierda de la Pantalla.

En el caso del receptor SDR PERSEUS que se basa en un chip capaz de digitalizar todo lo que entra por antena a una velocidad de muestreo de 80 MHz permitiendo trabajar con frecuencias de hasta 40 MHz y proporcionar una señal digitalizada con 14 bits en la conversión analógica a digital, de modo que se convierte en un receptor de HF capaz de digitalizar todo el espectro simultáneamente desde 10 kHz hasta 30 MHz, la arquitectura cliente-servidor no permite el control simultáneo de los parámetros de configuración por más de un Operador, por lo que suele ser el profesor, o el alumno que realiza el ejercicio, el que sintoniza y ajusta sus parámetros, mientras el resto de alumnos observan en sus pantallas la operación del compañero y en sus auriculares/ordenadores los resultados del ejercicio.

PERSEUS es compatible con el programa Winrad/HSDR y otros programas de control SDR y es posible también utilizarlo como analizador de espectros en el margen de 10 kHz a 40 MHz con un margen de 100db y una resolución de 10 kHz, para esta función se suministra el software HFSPAN junto con el receptor.

Tiene entre otras opciones la posibilidad de grabar todas las señales dentro del espectro de recepción 400, 200 o 100 kHz con el fin de realizar un análisis posterior o servir de prueba legal ante un incidente marítimo.

Para conseguir enlazar cada receptor con la Red Internet es necesario utilizar un ordenador Pentium de no muy alta velocidad de procesado, aunque sería importante utilizar uno de última generación con, al menos, un (1) Terabyte de disco duro y 3 GHz de reloj con el fin de permitir la multitarea sin alterar las capacidades de muestreo del programa, existen también otras opciones que permiten usar ordenadores mas pequeños, tipo Raspberry Pi o Xdroid , pero

estas obligan a usar sistemas operativos Linux que permiten optimizar el uso de los recursos hardware.

Obviamente el equipo que soporta el servidor SDR ha de tener tarjetas de red y puertos USB, así como conexión a Internet en caso de querer ser accedidos desde cualquier parte del mundo, o intranet en caso de querer que se acceda solo persona de la organización propietaria del servidor.

Como es obvio la Internet asociada a los equipos debe ser fija o bien usar direcciones virtuales. (Figura 5)

En el caso de la Estación Remota del Grupo de Investigación, cada uno de los receptores de HF se integran con una antena de hilo de distinta longitud (8 a 20m) para recibir Onda Corta.

Para poder mantener el sincronismo en la recepción de las señales, los ordenadores toman su señal de reloj del servicio de hora del Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando, Cádiz (ROA, 2012). (Figura 6)

Desde el puesto del alumno se puede seleccionar cualquiera de las bandas de radiofrecuencia y proceder a grabar la señal que desee y volver a escuchar y analizar cuantas veces quiera, ver la figura 7.

Para el tratamiento de las señales de banda base, recibidas en el ordenador del alumno, es necesario que el mismo ordenador esté dotado de una tarjeta de audio de buena calidad, una gran capacidad de disco duro y los programas de análisis de señales y datos que sean idóneos para cada momento. Estos programas suelen ser generados por radioaficionados y son de todos conocidos, como el JVcom32, HFFax, DSCdecoder, Shipplotter y otros que son los perfectos complementos del HSDR, QTradio, Goldwave, Audacity, Spectra-ve, etc.

En la figura 6 puede verse una imagen del interface hombre-máquina del Perseus, cualquier operador entrenado, como pueda ser un ingeniero radioelectrónico, un ingeniero de telecomunicaciones o un oficial de comunicaciones o de guerra electrónica de la Armada es capaz de interpretar lo que está viendo y escuchando, mejorando la señal recibida mediante la adopción de los filtros adecuados o mediante la adecuación de los filtros de paso de banda.

### 3. Beneficios

El espíritu de Bolonia es "aprender a aprender" y además que el crédito europeo suponga de 25 a 30 horas de dedicación del alumno a la asignatura.



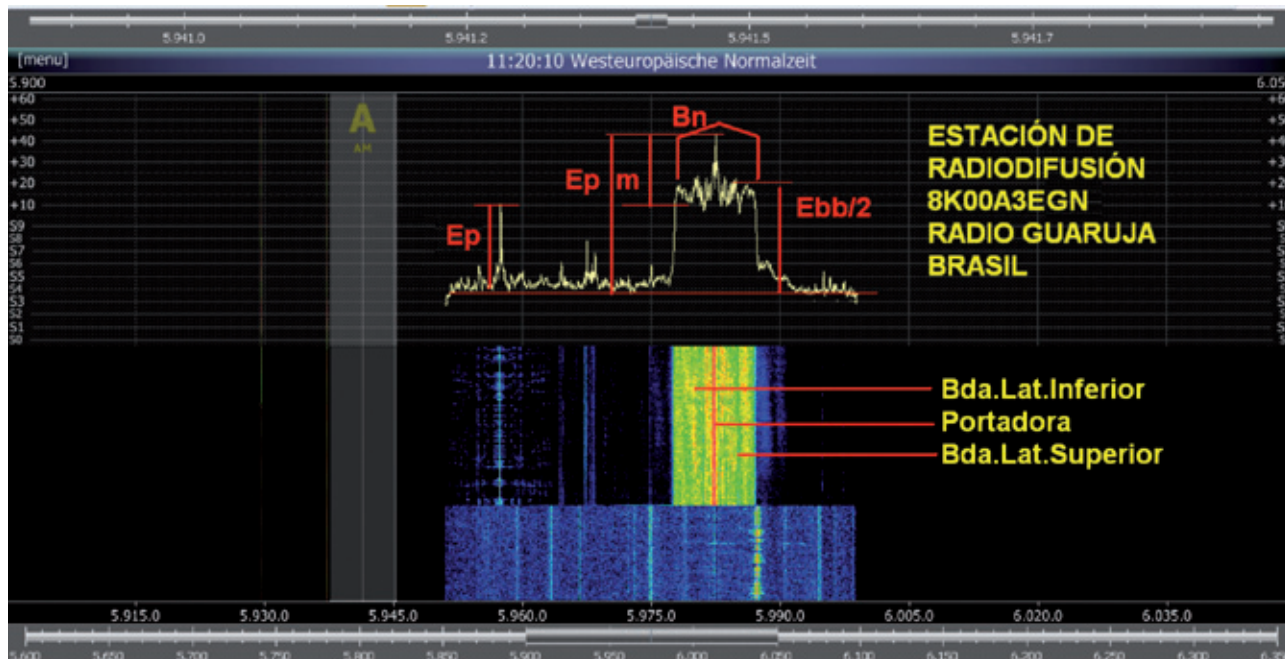


Figura 6.- Análisis del espectro de una modulación en amplitud de una estación de radiodifusión de onda corta recibida en Cádiz

El alumno del grado en Ingeniería Radioelectrónica encuentra el problema añadido del acceso a herramientas de análisis muy caras como equipos individuales adquiridos a las grandes marcas de instrumentación, véase HP, Rohde & Swarz y similares, mientras que la utilización de los equipos SDR con software disponible por la red, unidos a la sabia elección de software de control y de análisis señales y procesado datos procedentes de los mismos permite:

- La recepción local en banda ancha de las señales y la selección, con filtros programables, de la señal a analizar.
- La grabación local de dichas señales en radiofrecuencia para su posterior análisis pormenorizado.
- El procesado local de datos en tiempo real o en tiempo diferido, con la posibilidad de transferirse señales y datos mediante periféricos tipo DVD o Pendrive para realizar análisis sobre los registros de otros compañeros o entregados por el profesor.
- La decodificación local de los datos.
- Todo lo anterior (-de a a d)-) pero desde su domicilio o desde otra aula o taller de la Universidad de Cádiz.
- El desarrollo de programas sobre tratamiento de señales mediante procedimientos de demodulación de las señales I/Q.
- El acceso, mediante convenio o libre, de otras Universidades y usuarios a la RED mediante la página web de la Universidad de Cádiz. (Figura 7)

#### 4. Software de Análisis de Radiocomunicaciones en Banda Base.

Si bien una de las funciones de la Red es distribuir por la red Internet, hasta los usuarios, la información digitalizada recibida por los receptores, posteriormente hay que procesarla, de ahí la inclusión de los ordenadores de análisis de la figura 1. (Figuras 8 y 9)

Como siempre, es necesario utilizar un computador dotado de una buena tarjeta de audio que permita analizar en tiempo real o diferido las bandas bases extraídas de los receptores en modo remoto (o local) con el fin de procesarlas en caso de necesidad.

Si bien las conversaciones de voz sólo es necesario grabarlas, cuando se transmiten en claro, y quitarles el ruido, no es tan simple cuando vienen cifradas y puede ser necesario un análisis posterior en tiempo real o en tiempo acelerado.

El caso de las transmisiones de datos es muy diferente, ya que los datos hay que descifrarlos, bien con máquinas dedicadas (méto-

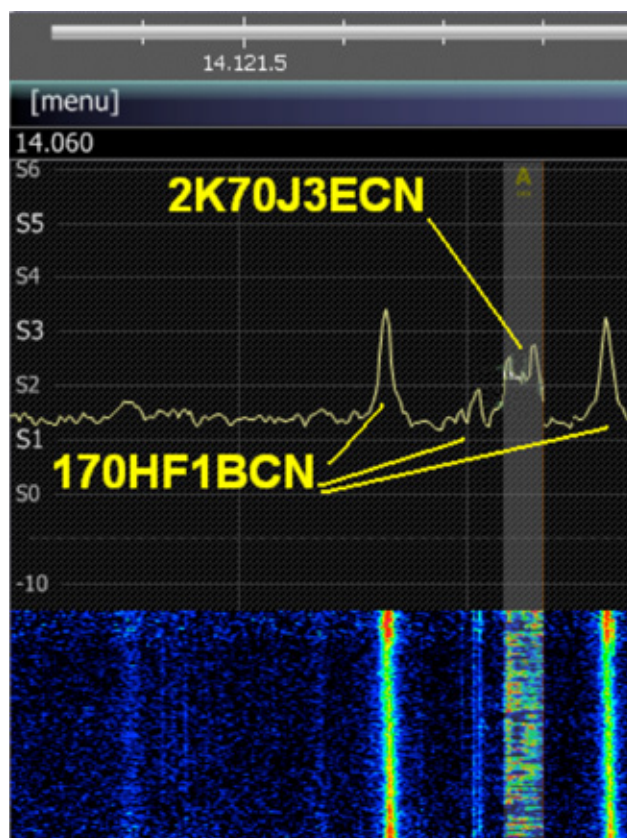
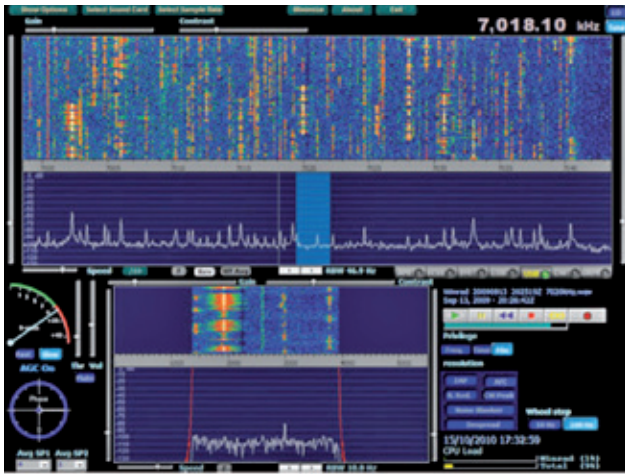


Figura 7. Pantalla del alumno para la identificación de emisiones, en remoto

do obsoleto) o con máquinas multipropósito o computadores dotados con el software adecuado, el cual ya hemos mencionado.

Entendemos que el software adecuado es aquel que debe recibir los siguientes tipos de radiocomunicaciones:

- ▶ Telegrafía ARQ
- ▶ Telegrafía FEC
- ▶ Telegrafía Baudot
- ▶ Telegrafía Clover.
- ▶ Llamada selectiva digital MF/HF.
- ▶ Llamada selectiva digital VHF.
- ▶ Radiofacímil meteorológico LF y HF.



Figs. 8 y 9. Pantalla de control y pantalla de análisis de radiocomunicaciones

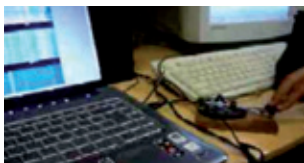


Figura 10. Radioaficionado escuchando su transmisión telegráfica en remoto

- ▶ Sistema universal de identificación de buques.
- ▶ Otros sistemas telegráficos de interés para el alumno.

restringido a los alumnos de Náutica y Radioelectrónica por motivos didácticos. (Figura 11)

### Agradecimientos

Los autores desean agradecer su colaboración al Dr. Pieter-Tjerk de Boer del Departamento de Matemáticas de la Universidad de Twente por todas las facilidades de acceso al Proyecto Websdr (websdr.org), al Sr. Andrea Montefusco por la ayuda otorgada en la programación y explotación del receptor Perseus, al Sr. Alex Lee leader del grupo de desarrollo de QtRadio, al Sr. Tony Parks (KB9YIG) por el soporte dado con los equipos Softrock, Al grupo y foro de Teamspeak por la ayuda en la resolución de problemas, así como a los grupos y foros fonality (trixbox) y SDR-radio y a la Universidad de Cádiz por la cesión del local donde se encuentra instalado el Laboratorio del Grupo S2CN, así como por la colaboración magnífica del Centro Integrado de Tecnologías de la Información en cuanto al acceso a las infraestructuras desde el interior y el exterior de la UCA.

## 5. El Servidor TS3 Marconi

El servidor TS3 Marconi nace a través de una idea obtenida después de conocer y usar uno de los autores el servidor TS3-PTT, de amplio uso por los colaboradores de la REMER.

El planteamiento fue crear un simulador de radiocomunicaciones marítimas a nivel global y que reprodujera el espacio radioeléctrico español en banda marina, con el fin de que los alumnos fueran capaces de practicar los procedimientos radioeléctricos en fonía o en gráfica que exige la Unión Internacional de Telecomunicaciones en los barcos acogidos al Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítima.

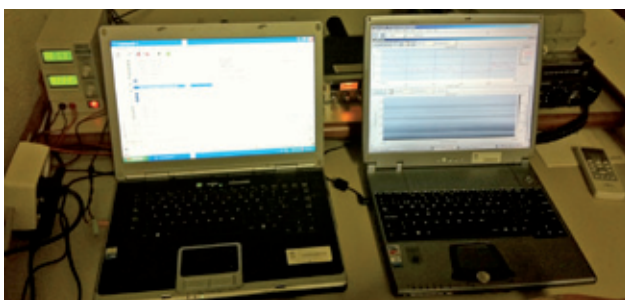


Figura 11. Servidor TS3 Marconi con análisis de espectros de audio del programa Spectralab de Sound Technologies (Demo).

Después de un año de pruebas se ha ido configurando un potente simulador con acceso desde el exterior de la UCA que permite la conexión simultánea de más de 48 usuarios, lo que supone doce alumnos utilizando cuatro equipos de radiocomunicaciones (dos VHF con DSC, un HF con DSC y un Inmarsat C/RxFax/TrxRTTY) simultáneamente, preferiblemente en inglés, durante sus ejercicios de clase.

Al trabajar en banda base, es posible utilizar programas que transmitan señales Navtex o Teletipos ARQ y FEC o Fax meteorológico de manera simultánea o selectiva en recepción y trabajar por parejas o en grupos en los más de 24 canales de radio disponibles.

El acceso a los canales simulados del Servicio Móvil Marítimo o de la Red de Estaciones Costeras de Correspondencia Pública está

## 10. Bibliografía

- ▶ Burns, P. 2002. *Software Defined Radio for 3G*. Artech House Publishers. Nueva York. 2002. 300p.
- ▶ Galvis, A., Ceballos, C.A. y De Sanctis Gil, L. 2007. *SDR: La alternativa para la evolución inalámbrica a nivel físico*. Semillero de Tecnologías Inalámbricas (STI) – GIDATI. Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín. 2007
- ▶ Kenington, P.B, 2005. *RF and Baseband Techniques for Software Defined Radio*. Artech House Publishers. Londres. 2005. 352p.
- ▶ Lackey, R. I. y Upmal, D. W. , 1995. "SpeakEasy: The military Software Radio". IEEE Communications Magazine, Vol.33 No.5. Nueva York, mayo de 1995. p56-61.
- ▶ Mascareñas, C. Manual Básico de Sistemas de Comunicaciones Marítimas. 2ª Ed. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz. Cádiz. 2011
- ▶ Mitola, J. 2000. *Software Radio Architecture: Object oriented approaches to wireless systems engineering*. John Wiley & Sons, Inc. Nueva York. 2000. 561p.
- ▶ R. Schiphorst. 2000. *Demonstration of the Software-Radio Concept*. Tesis de Maestría. Universidad de Twente, Departamento de Ingeniería Eléctrica. Twente. 128p.
- ▶ ROA 2012. <http://goo.gl/8pgTm>
- ▶ Twente 2012. <http://websdr.ewi.utwente.nl:8901/>
- ▶ UCA2010. <http://goo.gl/CmeCH>
- ▶ Youngblood, G. 2002-2003. *A Software-Defined Radio for the Masses – Part I, II, III and IV*. Sixth Market, Inc. Austin. 2002 a 2003. Total 40p. ●