

TELEVISIÓN DIGITAL 2010/11	
Práctica 1: Análisis de Señales de Televisión en Recepción	
Fecha de realización:	Fecha tope de entrega de la memoria: 31 de marzo de 2011

1 Introducción

En abril de 2002, las cadenas españolas públicas de TVA (TV Analógica) empezaron a emitir TDT (Televisión Digital Terrestre). Esto inició la cuenta atrás para el "apagón analógico", previsto inicialmente para el año 2012 (y actualmente para 2010, aunque esto seguramente cambiará de nuevo...). La actual situación del mercado, con problemas como decodificadores incompatibles, ancho de banda limitado y falta de demanda, hace prever un retraso en su implantación. Por su parte, las emisiones de TDS (TVD vía Satélite) llevan más tiempo funcionando, y haciéndolo gracias a nuevos contenidos y servicios (de pago, por supuesto).

En la migración de la TVA a la TDx, son muchos los aspectos que llevarán a una mayor y más rápida penetración en el mercado, si bien el empujón definitivo vendrá dado por la aparición de nuevos servicios: información interactiva, juegos, acceso *web* integrado, *e-mail*, *chat*, etc. El desarrollo y mejora de la TVD vendrá en gran parte determinado por la velocidad de introducción en los hogares de decodificadores (o televisores digitales integrados), pero la gran preocupación radica en que el servicio percibido por el usuario no varía, al recibir únicamente difusión (en el mejor de los casos, con mayor calidad) de la misma oferta que actualmente disfruta con su receptor de TVA. Sin embargo, el empleo de la tecnología digital como medio para la difusión de TV proporciona una serie de beneficios frente a otras posibles opciones. A continuación se describen las principales ventajas de la TVD:

- Mejora de la calidad de la imagen y del sonido (se evitan los efectos de «nieve» y de doble imagen de la TVA) en la zona de cobertura, como consecuencia de la robustez de la señal digital frente al ruido, las interferencias y la propagación multitrayecto.
- Se puede ofrecer un sonido multicanal, con calidad de disco compacto. Además, la multiplicidad de canales de audio permite conseguir el efecto de sonido *surround* (perimétrico) empleado en las salas de cine. Otro uso potencial de estos canales es la transmisión de audio en distintos idiomas con el mismo programa de vídeo.
- Abre las puertas del hogar a la Sociedad de la Información, debido a que permite la convergencia TV-PC. El televisor pasará a convertirse en un

terminal multimedia que podrá admitir datos procedentes de los servicios de telecomunicaciones, suministrando servicios de valor añadido como correo-e, cotizaciones de bolsa, videoteléfono, guías electrónicas de programas (EPG), vídeo bajo demanda, *pay per view*, teletexto avanzado, banco en casa, tienda en casa, etc.

- Permite el desarrollo equilibrado entre servicios en abierto (Servicio Universal) y servicios de pago.

En cuanto a las ventajas de la TDT podemos destacar:

- Al utilizar como medio de difusión la red terrestre, nos permite una recepción en el hogar sencilla y poco costosa, ya que emplea el mismo sistema de recepción de la televisión analógica, e incluso con la antena anterior –siempre que la instalación cumpla con la ICT-, sin merma de calidad.
- Puede emplear redes de frecuencia única lo que conlleva un mejor aprovechamiento del espectro de frecuencias, recurso muy escaso.
- Incrementa el número de programas con respecto a la televisión analógica actual, permitiendo múltiples programas y servicios multimedia en cada radiocanal (ancho de banda de 8 MHz en la banda UHF).
- Permite la difusión de información de ámbito autonómico, con desconexiones locales.

Las emisiones de TDS (TV Digital vía Satélite) tienen más experiencia que la TDT puesto que son varios los años que llevan funcionando. Aunque los servicios ofertados son similares a los de la TDT, la difusión digital vía satélite cuenta con algunas ventajas propias:

- Proporciona cobertura inmediata de todo el territorio.
- El satélite puede proporcionar un mayor número de canales, debido al gran margen de frecuencias que utiliza y las distintas posiciones orbitales a las que el usuario puede enfocar su antena receptora.

La convivencia de las emisiones analógicas y digitales permite analizar en el laboratorio las características de la TDT y vía satélite, comparándolas con las emisiones analógicas.

Una de las ventajas de la recepción de TDT es la reutilización de la red de difusión terrestre anterior. Esto implica la posibilidad de emplear en recepción de señales digitales el mismo tipo de antenas que se utilizan en recepción analógica. En general, cualquier antena de las ya instaladas para recepción analógica sirve también para recepción digital, siempre y cuando se disponga de los amplificadores necesarios para los nuevos canales. Únicamente hace falta un decodificador digital. En cuanto a la recepción vía satélite, también es posible reutilizar las antenas parabólicas, siempre y

cuando se disponga de un decodificador digital, puesto que, generalmente, los decodificadores suministrados con la antena sólo sirven para la decodificación de los canales analógicos.

1.1 *Objetivos*

- Trabajar con medidores de campo-analizadores de TV profesionales.
- Aprender a manejar manuales.
- Comparar las emisiones analógica y digital (incluyendo la calidad subjetiva – para esto, tras solicitar permiso, se “jugará supervisadamente” con el amplificador de banda ancha de las instalaciones-).
- Evaluar las ventajas respecto a la calidad de recepción en función de la C/N en recepción.
- Analizar los parámetros de servicio (tablas DVB) reales de las emisiones TVD.

1.2 *Ficheros auxiliares*

En la página de la asignatura se encuentra un manual rápido del equipo Prolink-4C Premium (<http://www.promax.es/esp/productos/fichaprod.asp?product=101>) de la marca Promax que se usará en esta práctica. Durante el desarrollo de la práctica se tendrá acceso al manual completo del equipo.

1.3 *Memoria*

La memoria será en formato libre y se realizará en Word. Se aconseja ir haciéndola según se desarrolla la práctica (en el laboratorio está instalado el Word).

Cada grupo deberá redactar una memoria explicativa del trabajo realizado en el laboratorio. Dicha memoria tendrá formato libre pero deberá ser concisa y clara, y responder a todas las cuestiones planteadas por el enunciado correspondiente, dando razonamientos convenientes para cada respuesta u observación. Además se valorará la descripción de las dudas, problemas y soluciones que hayan surgido a lo largo de la práctica. Se podrán incluir capturas de pantalla.

Uno de los objetivos de las memorias en formato libre es que l@s alumn@s logren diferenciar lo importante de lo que lo es menos, y lo expresen con **explicaciones razonadas y conclusiones propias**, como se debe poder esperar de l@s ingenier@s potenciales que son, en este último curso de la carrera.

Salvo indicación expresa en contra al final del enunciado de la práctica, las memorias tendrán un **máximo de cuatro páginas** DIN A4 (tamaño de letra mínimo de 10 pt) y no contendrán ni hojas en blanco ni portada independiente: l@s autor@s de la memoria y el número *M* y título de la práctica se indicarán al principio de la primera página.

Este número máximo de páginas ha de ser tomado como una seria advertencia contra los feos vicios de arrasar bosques, por un lado, y de desbarrar sobre vida, obra y milagros de cada función del Prolink, por otro. Es mucho más interesante **resaltar los**

resultados pedidos en el enunciado y comentarlos, dando explicaciones propias de por qué se ha preferido ciertos parámetros a otros, o de cómo se relacionan los experimentos llevados a cabo con lo aprendido en las clases teóricas.

Tampoco hay que caer en el extremo opuesto, poniendo en la memoria una mera descripción de los pasos seguidos y de los resultados obtenidos, sin ningún tipo de valor añadido. De hecho, en cada memoria habrá obligatoriamente un apartado final de **Conclusiones**, que será una síntesis de lo aprendido en la práctica correspondiente y valdrá hasta dos puntos.

La memoria (fichero .doc autocontenido producido con M\$-Word) se deberá entregar, **por correo electrónico** (JoseM.Martinez@uam.es) y **comprimidos con WinRar o WinZip**, antes del **31 de marzo de 2011**. *Para esta práctica, se podrá exceder el límite de 4 páginas, siempre que la calidad de la extensión lo merezca.*

2 Resumen de la teoría relacionada

2.1 Características de la difusión de TVA

2.1.1 Ancho de banda y espectro

El rango de frecuencias destinado a la difusión de televisión (banda VHF desde los 47 MHz hasta los 223 MHz y banda UHF desde los 470 MHz hasta los 862 MHz) se divide en canales de 7 MHz en la banda VHF y de 8 MHz en la banda UHF. Cada canal está ocupado por una señal de televisión. Esta señal se modula en Banda Lateral Vestigial (BLV), mediante la cual se conserva la portadora y el contenido de baja frecuencia, muy importante en televisión analógica, ya que contiene la información de luminancia de la señal, a la que el ojo es más sensible. La información de crominancia se sitúa en la parte alta del canal, insertada, en condiciones normales, en los intervalos libres del espectro de luminancia, proceso que recibe el nombre de imbricación de espectros.

La señal de sonido está modulada en FM sobre una portadora situada 5,5 MHz por encima de la de vídeo.

La figura siguiente muestra esquemáticamente un canal de televisión analógico:

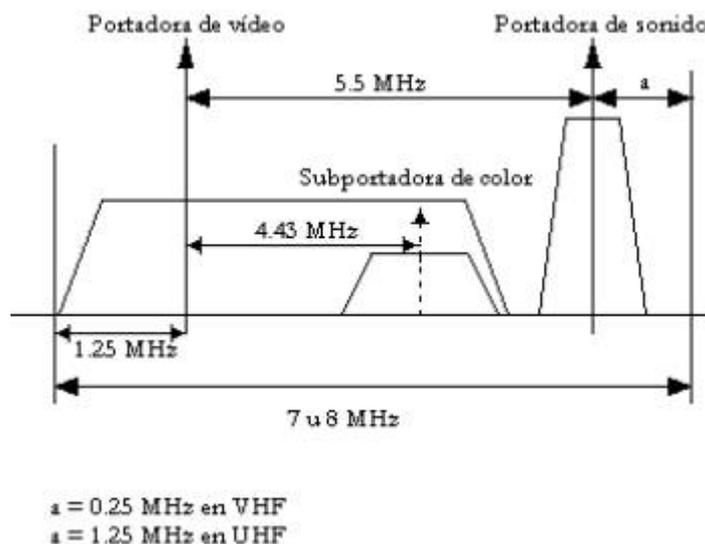


Figura 1: canal de televisión analógica

2.1.2 Parámetros de medida de la señal analógica

Los parámetros básicos de medida de la señal analógica son dos: el nivel de señal recibido y la relación portadora a ruido (C/N) que se alcanza.

El nivel mínimo de señal a partir del cual se puede visualizar la imagen viene dado en función de la frecuencia que ocupe el canal. Así, los niveles mínimos según la norma técnica de infraestructuras comunes de telecomunicaciones (ICT) en el punto de captación (en la antena) en la banda UHF son:

BANDA	NIVEL MÍNIMO SEÑAL
470,0-582,0 MHz	65 dBuV
582,0-830,0 MHz	70 dBuV

Por debajo de estos niveles, la calidad de la señal no permite la visualización correcta de la imagen.

Si se considera la toma de usuario y no el punto de captación, el nivel de señal de TV mínimo es de **57 dBuV**. También en la toma de usuario, la relación portadora a ruido mínima es de **43 dB**, según la norma de ICT, para tener una calidad de imagen aceptable.

En cuanto a la recepción de servicios vía satélite, el nivel de señal mínimo en la toma de usuario para la banda de satélite (950- 2150 MHz) es de **45 dBuV**. La relación portadora a ruido mínima en el mismo punto es de **11 dB**.

2.1.3 Calidad frente a C/N

En radiodifusión analógica, la disminución de la C/N conlleva una degradación paulatina de la calidad de la imagen, no su desaparición inmediata. Por debajo de la mínima C/N la imagen se sigue percibiendo, pero su calidad disminuye enormemente, produciéndose el efecto “nieve”. También podemos apreciar el efecto de interferencias indeseadas que reducen la calidad de la señal.

2.2 Características de la difusión de TVD

2.2.1 Descripción del estándar DVB

Bajo la denominación común DVB se encuentran todos los estándares de difusión de televisión digital en Europa. Éstos describen la transmisión de señales de televisión digital por cable, vía satélite o mediante difusión terrena. En esta práctica únicamente se va a analizar la difusión terrena (DVB-T) y la difusión vía satélite (DVB-S). Ambos estándares están basados en la norma MPEG-2, y en ambos estándares se emplea la codificación de canal de *Reed-Solomon* (204, 188) y convolucional de *Viterbi*, con el fin de conseguir la detección y corrección de los posibles errores sufridos en la transmisión. Sin embargo, el estándar DVB-S utiliza la modulación digital QPSK, mientras que en difusión terrenal se emplea la COFDM, debido a las diferentes características de los medios de transmisión. A continuación se describen las características de ambas modulaciones.

2.2.1.1 Modulación QPSK

Mediante la modulación QPSK es posible transmitir simultáneamente dos bits por símbolo.

En el codificador convolucional de *Viterbi* el flujo de datos es separado en dos ramas. Dos señales sinusoidales (la portadora y ella misma desfasada 90°) son moduladas por un bit de cada rama, formando un símbolo QPSK con su parte real y su parte imaginaria. En el diagrama de la constelación podemos ver los símbolos de esta modulación. Como se puede comprender fácilmente, se trata de una modulación muy robusta frente a distorsiones de amplitud. La no linealidad de la transmisión vía satélite (debido al funcionamiento de los amplificadores) hace necesario el empleo de una modulación robusta frente a este tipo de distorsiones, por lo que se optó por la modulación QPSK.

El espectro de frecuencia se muestra en la siguiente figura.

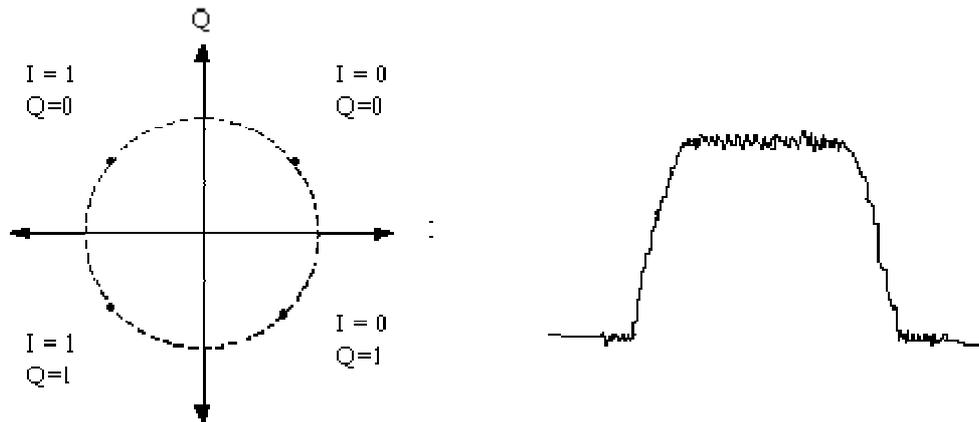


Figura 2: diagrama de constelación y espectro de la modulación QPSK

2.2.1.2 Modulación COFDM

A diferencia de las comunicaciones por satélite donde hay un solo camino directo desde el transmisor al receptor, en un escenario clásico de difusión terrestre, nos tenemos que enfrentar a un canal multicamino: la señal llega al receptor por varios caminos de diferente longitud. Debido a que estas múltiples versiones de la señal original dan lugar a IES (Interferencia Entre Símbolos), puede llegar a ser muy difícil recuperar la información original.

Es posible minimizar el número de símbolos afectados por reflexiones de otros anteriores aumentando la duración del símbolo transmitido. Esto se lleva a cabo a través de una transmisión en paralelo de varios símbolos. De este modo, en el periodo de tiempo en el que en otra modulación se transmitirían varios símbolos modulados en una única portadora de manera secuencial, mediante la modulación COFDM, en el mismo periodo de tiempo se transmiten en paralelo el mismo número de símbolos modulados sobre un conjunto de portadoras, con lo que aumenta la duración de cada símbolo sin disminuir la velocidad de transmisión.

El principio básico de la modulación COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex*) consiste en utilizar un número grande de portadoras equiespaciadas en frecuencia y moduladas cada una de ellas en QPSK o QAM, de forma que toda la información a transmitir se reparte entre ellas. Todas las portadoras utilizadas ocuparán el ancho de banda del canal de transmisión (8 MHz) y cada una de ellas formará un subcanal, de forma que la suma de las informaciones contenidas en cada uno de estos subcanales será igual a toda la información que se desea transmitir.

En la modulación COFDM, la velocidad de símbolo (no confundir con velocidad binaria) de cada portadora se hace coincidir con la distancia entre portadoras: ya que el espectro de una portadora modulada en QPSK o QAM contiene un nulo espectral a una distancia de la portadora igual a su velocidad de símbolo, si la siguiente portadora se hace coincidir con ese nulo, la interferencia entre ellas será mínima (las portadoras son ortogonales).

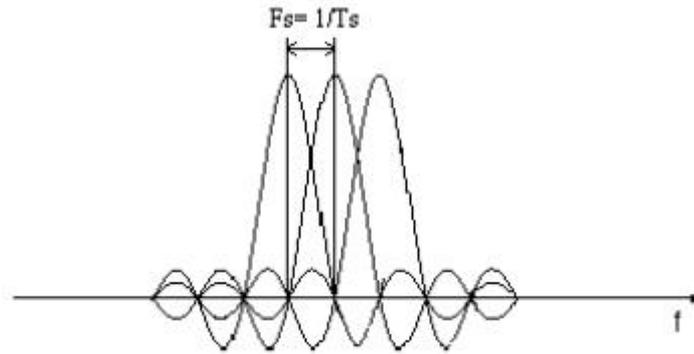


Figura 3: esquema del espectro de la modulación COFDM

Cuanto mayor sea el número de portadoras, más pequeña será la distancia entre ellas y, por lo tanto, menor será la velocidad de símbolo y mayor la duración del mismo. Esto implica que el sistema es más robusto frente al desvanecimiento (*fading*) temporal de la señal debido a posibles ecos.

Existen dos modos de transmisión, según el número de portadoras utilizadas: el modo 2k, que utiliza 1705 portadoras y el modo 8k que utiliza 6817 portadoras. En España el modo empleado es el 8k.

Para evitar la propagación multicamino se diseñó la siguiente solución: los símbolos COFDM se prolongan artificialmente repitiendo periódicamente la “cola” de cada símbolo y poniéndola delante de él. Esta parte añadida se denomina “intervalo de guarda”. En recepción se elimina este intervalo de guarda. Como la longitud del intervalo de guarda es superior al máximo retardo del canal, las reflexiones de los símbolos previos no afectan al símbolo actual y se preserva la ortogonalidad de las portadoras. De este modo, los transitorios que podrían dañar la información transmitida ocurren en el periodo del intervalo de guarda.

En el estándar DVB-T, se encuentran cuatro valores posibles para el intervalo de guarda, representados como una fracción del tiempo útil de símbolo: 1/4, 1/8, 1/16 y 1/32.

En la siguiente figura aparece una representación del espectro en frecuencia de un canal digital modulado con COFDM.

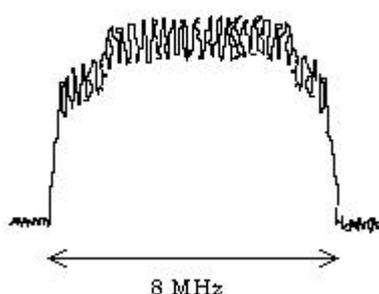


Figura 4: espectro de un canal digital COFDM

Otro aspecto importante es la necesidad de situarse en el centro del canal a la hora de proceder a la decodificación de la señal digital del múltiplex. Esto es debido a que la modulación COFDM reserva un número de portadoras para señalización, y justo en el centro del canal se encuentran las portadoras TPS (*Transmission-Parameter Signalling pilots*) que llevan la información necesaria para la sincronización temporal del flujo de datos, sin la cual es imposible realizar la decodificación.

2.2.2 Parámetros de medida de la señal de televisión digital

El parámetro más importante que se puede medir en una señal de televisión digital es la tasa de errores binaria (BER). Este es la medida clásica para determinar la calidad de la señal. Existe un valor característico del BER denominado "punto QEF (*Quasi Error Free*)", cuyo valor es $2 \cdot 10^{-4}$. Por encima de este valor, es imposible realizar la decodificación debido al gran número de errores presentes en el flujo de datos.

La relación portadora a ruido es también importante a la hora de realizar la decodificación. Si la C/N está por debajo de un cierto valor, la decodificación no se puede realizar. En la siguiente tabla se dan los valores de C/N recomendados, dependiendo del tipo de modulación y de la tasa de codificación (relación entre el flujo de datos útil y el flujo total debido al incremento por corrección de errores). Se dan los valores para tres tipos de canales que simulan diferentes medios de transmisión terrena: canal gaussiano (ideal), canal Ricean (simula las condiciones reales de transmisión con una antena receptora de alta directividad, como es el caso de la del Laboratorio) y canal Rayleigh (modela una transmisión hacia receptores móviles).

<i>Tipo de modulación</i>	<i>Tasa de codificación</i>	<i>C/N requerida para BER = $2 \cdot 10^{-4}$ (dB)</i>		
		<i>Canal Gaussiano</i>	<i>Canal Ricean</i>	<i>Canal Rayleigh</i>
QPSK	1/2	3.1	3.6	5.4
	2/3	4.9	5.7	8.4
	3/4	5.9	6.8	10.7
	5/6	6.9	8.0	13.1
	7/8	7.7	8.7	16.3

16-QAM	1/2	8.8	9.6	11.2
	2/3	11.1	11.6	14.2
	3/4	12.5	13.0	16.7
	5/6	13.5	14.4	19.3
	7/8	13.9	15.0	22.8
64-QAM	1/2	14.4	14.7	16.0
	2/3	16.5	17.1	19.3
	3/4	18.0	18.6	21.7
	5/6	19.3	20.0	25.3
	7/8	20.1	21.0	27.9

Tabla 1: valores recomendados para conseguir una recepción libre de errores

Otros parámetros que se pueden medir con los equipos son:

- Digital Carrier: potencia total del canal digital seleccionado.
- MER (Modulation Error Ratio o Relación de Error de la Modulación): proporciona una “figura de mérito” del sistema. Incluye todo tipo de deterioro de la señal como ruido, error de fase, error de cuadratura, etc. Se expresa como un valor promedio en dB, como un porcentaje y como un valor pico a pico en dB.
- SNR (Signal to Noise Ratio o Relación Señal a Ruido): Ofrece también una “figura de mérito” del sistema. La diferencia con el MER reside en que no todas las perturbaciones de la señal recibida son incluidas en la computación del error.
- STE (System Target Error o Error del Objetivo del Sistema): El ruido presente en el canal de transmisión provoca que las posiciones ideales de las señales se expandan en nubes circulares. El desplazamiento de los centros, debido a las condiciones de transmisión, de dichas nubes en el diagrama de la constelación de su punto ideal reduce la inmunidad al ruido del sistema e indica la presencia de diversas distorsiones como desequilibrios de amplitud y errores de cuadratura. El STE ofrece una indicación global sobre la distorsión global presente en los datos recibidos.
- Amplitude Imbalance (Desequilibrio de Amplitud): En el diagrama de la constelación, un desequilibrio de amplitud aparece como la expansión de una componente de la señal y la compresión de la otra componente. Esta medida separa la distorsión en amplitud de las componentes I y Q de la señal de todas las demás clases de distorsiones. Se mide en porcentaje.
- Quadrature Error (Error de Cuadratura): El error de fase es la diferencia de fase entre la componente seno y la componente coseno de la portadora en el modulador. Si ambas componentes no son exactamente ortogonales, aparece el error de cuadratura. Éste se mide en grados (°).

- *Carrier Suppression (Supresión de portadora)*: El canal recibido debe tener una densidad de potencia plana en toda la banda que ocupe. Una portadora residual es una señal coherente no deseada añadida a la portadora central de una señal COFDM. Puede verse como una forma especial de interferencia en la frecuencia que corresponde exactamente con la portadora central del canal. La supresión de portadora se mide en dB.
- *Phase Jitter (fluctuación de fase)*: la fluctuación de fase de un oscilador se debe a oscilaciones de su fase o frecuencia. La fluctuación de fase o ruido de fase se genera por conversores en el enlace de transmisión o en el modulador I/Q. Al contrario que los errores de fase, la fluctuación de fase actúa simultáneamente tanto en la rama I como en la rama Q, y su principal efecto es dificultar la regeneración de la portadora, ya que no puede seguir las oscilaciones de fase. Se mide en grados (°).

Una vez decodificada la señal podemos analizar su contenido, viendo los canales que forman el múltiplex, así como las tablas MPEG-2 que informan acerca del contenido de dicho múltiplex.

2.2.3 Calidad frente a C/N

En televisión digital, una vez superado el umbral mínimo de C/N, necesario para la decodificación, la señal no sufre ningún tipo de interferencia. Si en algún momento de la transmisión la C/N baja del umbral mínimo, la señal no sufre deterioro: simplemente, se pierde por completo. Es decir, la televisión digital, o se ve perfecta, o no se ve nada (se queda “congelada” la última imagen decodificada).

3 Desarrollo de la Práctica

3.1 Análisis de canales Televisión Terrena

El objetivo de la práctica es obtener un “mapa” de las emisiones recibidas en la banda UHF en el laboratorio, tanto de emisiones TVA (¿de qué tipo son?) como TDT. Para cada canal se debe indicar, al menos:

- El programa o programas (servicios TDT) recibidos
- Los valores de las medidas que se obtienen con el Prolink.
- La descripción del espectro.
- La descripción de las constelaciones (TDT).
- La información que se obtiene de las tablas (TDT).
- Comparación entre programas emitidos en analógico y digital
- Comparaciones entre los diversos "valores de calidad" de cada canal y sus

implicaciones en la recepción final de la señal que transportan.

En la memoria se incluirá un “manual” que indique claramente los pasos seguidos para obtener el mapa de emisiones y los valores de las medidas. Se valorará la calidad del manual de usuario, así como el uso de las diversas funcionalidades del equipo. En especial habrá que describir los aspectos de:

- uso de la función de selección de medida del ruido de referencia y sus implicaciones
- análisis de constelaciones
- ajuste de los parámetros de recepción correctos (e.g., los parámetros de las emisiones TDT en España) y consecuencias de poner los otros valores posibles
- cómo cambiar de programa y opciones de programas
- cómo visualizar información de las tablas de señalización y de qué tablas se obtiene

Nota: si el Prolink se empeña en pasarse a DAB cuando queremos medir DVB-T. Poner el equipo en modo medida, pasar a digital con el botón "0" (si ya estábamos en digital, pues dos veces), pulsar el botón "2" y seleccionar DVB-T.

3.2 Análisis de canales Televisión Satélite (opcional)

El mismo análisis puede ser realizado para canales vía satélite, ya que por el mismo satélite son transmitidos los mismos programas en analógico y en digital.

Buscar de entre los canales ASTRA (<http://www.ses-astrea.com/consumer/en/channel-guide/index.php>) algún multiplex que contenga algún servicio que también sea transmitido en analógico y repetir los pasos llevados a cabo para el caso de TDT.

Créditos: Esta práctica está adaptada de la originalmente desarrollada para la asignatura Laboratorio de Televisión Digital de la Titulación de Ingeniería de Telecomunicación de la E.T.S.Ing.Telecomunicación, en colaboración con Juan Pablo Villar García (PFC, 2002).

José M. Martínez