

Medidas de RF en DVB-T y DVB-H (1)

Por Juan Navalpotro



Juan Navalpotro.

Su actividad en el campo de la electrónica y especialmente en el de la TV se extiende desde 1962 con los once años de trabajo en Telefunken Ibérica, los seis últimos en el Laboratorio de Desarrollo de TV Color. Otros seis años (desde 1973) en Honeywell SA dedicado a la instrumentación y ordenadores de control de procesos industriales en tiempo real. Desde 1979 hasta 2002, veintidós años con Tektronix Española SA, y un año en PESA, 1982.

Desde 1996 hasta 2002 la labor de desarrollo de mercados en Tektronix le permitió representar a dicha empresa en diversos organismos internacionales como el DVB (UER), UIT y 3GPP (ETSI)

Actualmente es Director Gerente de Abacanto Digital SA, compañía que representa en España a: Tektronix, Anritsu, Albalá Ingenieros, Z-Technology, IneoQuest, Nextamp, Mediornet y Craneworks.
www.abacantodigital.com

Desde el punto de vista del aprovechamiento del espectro disponible, las modulaciones digitales de un canal de RF se caracterizan por un uso muy eficiente del mismo. Estas modulaciones se pueden clasificar de muchas maneras, y una de ellas es la de considerar la modulación sobre una sola portadora o la modulación sobre varias portadoras ortogonales. En ambos casos se trata de conseguir un espectro extendido que ocupe todo, o casi todo, el espectro disponible para el canal de comunicaciones de que se trate. En el caso de la TV digital se emplean ambos sistemas.

Una sola portadora se utiliza en la modulación digital de TV por satélite DVB-S (Digital Video Broadcast-Satellite), de TV por cable (DVB-C) y en la difusión de TV digital terrestre según el sistema americano ATSC (Advanced Television System Committee).

En la modulación de una sola portadora, el número de bits transmitidos por símbolo depende del tipo de modulación digital empleado, utilizándose constelaciones desde 4 puntos (2 bits/símbolo) como en QPSK hasta 256 puntos (8 bits/símbolo) como en algunas modulaciones de QAM por cable, en las que el espectro ocupado es inversamente proporcional a la duración del símbolo transmitido.

La modulación de varias portadoras ortogonales OFDM (Orthogonal Frequency Domain Multiplex) se usa en diversos sistemas de difusión terrestre incluyendo la Onda Media, sistema denominado DRM (Digital Radio Mondiale), la emisión en VHF para audio de alta calidad como el DAB (Digital Audio Broadcast) y la emisión en UHF para los sistemas de TV digital terrestre definidos por el DVB-T.

En estos sistemas de OFDM el número de bits transmitidos por símbolo depende del tipo de constelación empleado en cada portadora, que puede ser Bi-Phase, QPSK o

QAM, y del número de estas, que varía en cada sistema entre unas pocas portadoras (desde 103 hasta 461) para DRM o unos miles (1705, 3409 ó 6817) en el caso del DVB-T y DVB-H.

En los sistemas OFDM el espectro ocupado viene dado por la separación de frecuencia entre portadoras multiplicado por el número de portadoras activas del sistema. (La inversa de la duración útil del símbolo determina la separación entre portadoras).

Una característica importante de la modulación OFDM, y una razón principal para su uso, es que la duración del símbolo es mucho mayor que en el caso de las modulaciones de una sola portadora, lo que permite mejorar el comportamiento del sistema ante recepciones multi-trayecto, ecos, etc. En el DVB-T/H y DRM esto se consigue gracias a la inclusión de un intervalo de guarda cuya longitud se puede seleccionar en función de las características orográficas y de cobertura deseadas para cada región.

Se listan a continuación algunas de las medidas de RF específicas del sistema DVB-T y DVB-H que pueden llevarse a cabo con analizador de espectros. Los números de orden proceden del documento TR101290 "Measurement Guidelines for DVB Systems" y seguidamente se comentarán, con medidas prácticas, algunas de ellas aunque no en el orden original:

- 9.1.1 RF frequency accuracy (Precision)
- 9.1.2 RF channel width (Sampling frequency accuracy)
- 9.1.3 Symbol length measurements at RF (Guard interval verification)
- 9.4 Phase noise of local oscillators (LO)
- 9.5 RF/IF signal power
- 9.6 Noise power - Carrier to Noise (C/N)
- 9.7 RF and IF spectrum (Emission mask)

- 9.12 Coherent interferer
- 9.10 Linearity characterization (Shoulder attenuation)
- 9.18.4 Carrier suppression
- 9.20 SFN synchronization

Medidas de potencia

Al contrario de lo que sucede en las modulaciones analógicas, en las digitales el valor de la potencia media es independiente del contenido de la señal moduladora, pero la potencia instantánea es variable de manera aleatoria y puede superar en varios decibelios a dicho valor medio.

Se admite que la distribución estadística de la potencia instantánea es similar al ruido blanco para el ancho de canal asignado y que es de tipo gaussiano, por lo que la expectativa es que se puede tener una potencia de pico de unos 13 dB por encima de la potencia media con una probabilidad de 1×10^{-9} .

La recomendación del DVB en su documento TR101290 dice, más o menos, lo siguiente:

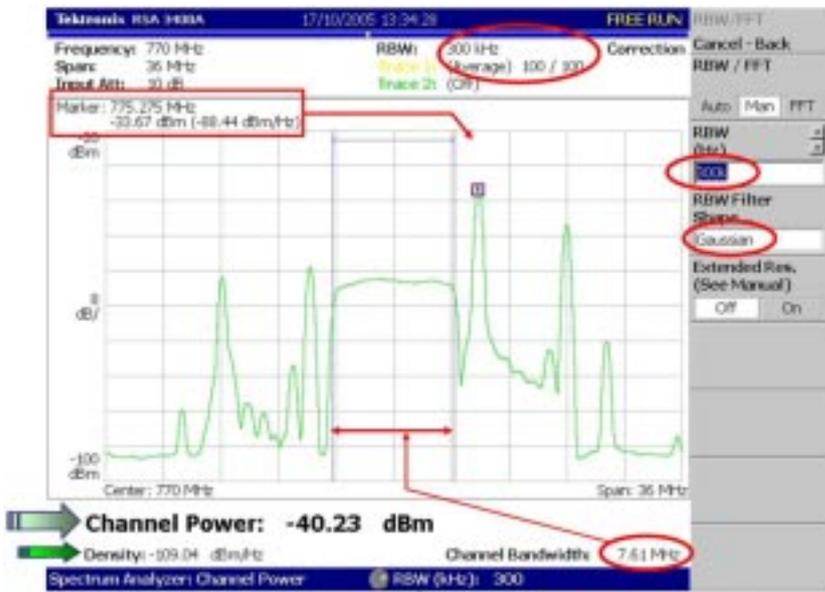
• 9.5 RF/IF signal power

– *Propósito:* La medida de la potencia de señal, o potencia deseada, es necesaria para ajustar y comprobar los niveles de señal en los emisores y en los lugares de recepción.

– *Método:* La potencia de una señal DVB terrestre, o potencia deseada, es la potencia media de la señal tal como se mediría con un sensor de potencia térmico.

En el caso de señales recibidas (por antena) debe cuidarse el limitar la banda de la medida a la banda de la señal. Cuando se use un analizador de espectros o un receptor calibrado, debe integrarse la potencia dentro del ancho de banda nominal de la señal ($n \times f_{\text{SPACING}}$) donde n es el número de portadoras.

La figura 1 representa una señal de TV digital del tipo DVB-T en un canal de 8 MHz de ancho nominal (Canal 58 de UHF), en la que se



marcadores (valores entre paréntesis) se hace siempre de modo automático en función del ancho de banda equivalente al ruido del filtro de resolución seleccionado. Esta medida, en el caso de los marcadores, solo tiene sentido cuando el marcador está posicionado en señales de espectro denso, pero no cuando está sobre señales discretas como es la portadora de vídeo de la figura 1.

Figura 1. Medida de potencia integrando el espectro del canal asignado

En la figura 2 se ha “congelado” una traza (la más clara) con una adquisición realizada en las mismas condiciones que las utilizadas para la figura 1, es decir utilizando filtros equivalentes a los de los analizadores digitales convencionales y se presenta otra traza con una adquisición con procesado FFT utilizando 8912 puntos, que, para el SPAN utilizado de 36 MHz, corresponde a un “ancho de banda de resolución equivalente al ruido”, (NBW = Noise Band Width) de 12,52 kHz usando una ventana de ponderación del tipo Blackman – Harris tipo 4B.

Puede apreciarse aquí la mejora respecto al uso de filtros equivalentes a los convencionales, el filtro de resolución equivalente es más estrecho, 12,5 kHz en lugar de

realiza la medida según recomendación del DVB integrando el espectro en el ancho de banda efectivo de 7,61 MHz.

Dado que el espaciado entre portadoras es inversamente proporcional al número de portadoras en todos los casos actuales de DVB-T y DVB-H, el ancho de banda nominal para la medida de potencia es independiente del modo empleado, sea éste el de 2k, 4k u 8k. En cambio, el ancho de banda nominal sí depende del ancho de canal especificado: En canales de **8 MHz** la banda nominal es: $n \times f_{\text{SPACING}} = 7,61 \text{ MHz}$. Siendo de 6,66 MHz para canales de 7 MHz, de 5,71 MHz para canales de 6 MHz y de 4,75 MHz para canales de 5 MHz.

El analizador de espectros se está utilizando en el modo de emulación de un analizador convencional de barrido usando un filtro de resolución gaussiano de 300 kHz de ancho de banda. El hecho de utilizar un analizador de tiempo real, en lugar de uno convencional de barrido, permite una gran velocidad de actualización de las trazas, que en este caso están promediadas en modo continuo presentando el resultado de las últimas 100 trazas.

La potencia media recibida, y medida en la entrada del analizador de espectros para el canal de TV digital (Canal 58) es de -40,23 dBm y puede también apreciarse, por el marcador situado en la portadora de vídeo del canal 59, que la potencia nominal recibida del canal analógico es de -33,67 dBm.

El cálculo de la densidad espectral, tanto para la medida de potencia como para las indicaciones de los

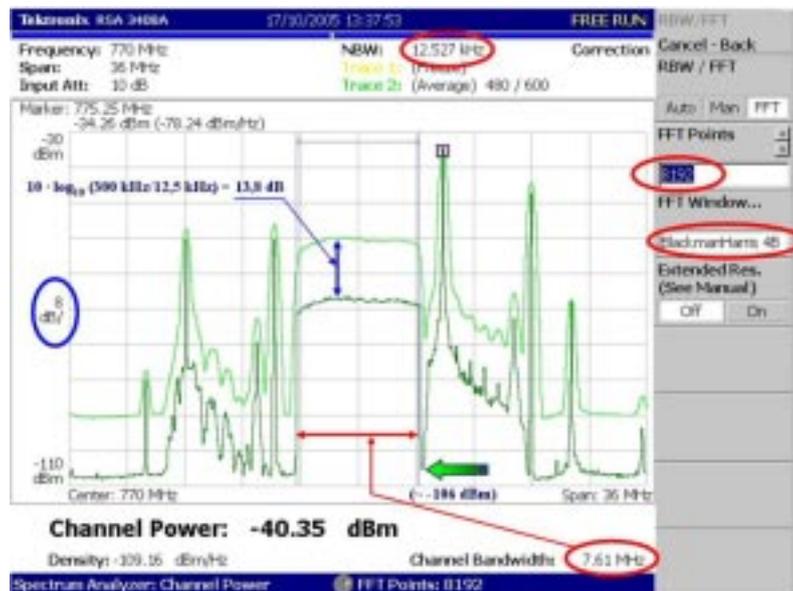


Figura 2.-Espectro obtenido con FFT de 8192 puntos.

300 kHz, y el factor de forma es mejor (depende de la ventana de ponderación que sea seleccionada para el análisis) y ello sin menoscabo de la velocidad de barrido y del valor de potencia medido (-40,35 dBm, en esta ocasión).

Esto permite verificar cuán abrupto es el espectro ocupado por el canal digital y verificar si invade, o no, al canal analógico, con mejor resolución de lo que parece apreciarse con el filtro de 300 kHz, y asimismo, la no invasión del canal analógico sobre el digital, el valle se encuentra a unos -106 dBm (~70 dBc), mientras que en la traza "congelada" tomada con 300 kHz se encuentra a unos -77 dBm (~43 dBc).

Al utilizar filtros más estrechos, por ejemplo el de 12,5 kHz, tanto el ruido como las señales densas equivalentes a ruido se presentan con niveles más bajos, en este ejemplo con unos 14 dB por debajo del nivel mostrado con el filtro de 300 kHz de resolución. Esto es de esperar pues $10 \log(12,5/300) = -13,8$ dB.

Medida de ruido y relación portadora/ruido (C/N)

La medida de ruido de un canal de DVB-T/H se define de la siguiente manera:

• 9.6 Noise power

– *Propósito:* El ruido es una perturbación significativa en las redes de transmisión.

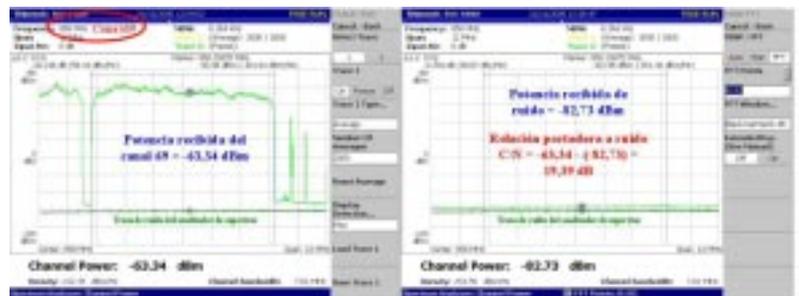
– *Método:* La potencia de ruido (potencia media), o potencia indeseada, puede medirse con un analizador de espectros (fuera de servicio). La potencia de ruido se especifica usando el ancho de banda ocupado de la señal de OFDM ($n \times f_{\text{SPACING}}$) donde n es el número de portadoras.

Nota: El término C/N (Carrier to noise) debe calcularse como la relación entre la potencia de señal, medida como se describe en la sub-

cláusula 9.5, y la potencia de ruido, medida como se indica en esta subcláusula.

Como puede comprenderse, esta medida solo puede realizarse cuando no hay señal del canal deseado. Esta medida es útil en los sistemas de antenas colectivas y para evaluar la sensibilidad de los receptores así como para medir la salida de los sistemas de potencia de los transmisores cuando no están emitiendo la señal modulada.

Sin embargo en el caso práctico mostrado aquí, al igual que en otros muchos casos, es conveniente tener cuidado con los resultados obtenidos en ciertas condiciones en las que el nivel de potencia o de ruido medido es muy próximo al nivel de ruido de fondo propio del instrumento de medida empleado. Estas precauciones deben tomarse siempre que la diferencia entre el ruido medido y el del instrumento de medida sea inferior a unos 10 dB.



La figura 3 muestran la medida de potencia deseada recibida en el canal 69 y la medida de potencia de ruido, no deseada, recibida desde el amplificador de banda ancha de la antena colectiva usada y medida con los mismos parámetros de ancho de canal utilizados en la medida de la potencia deseada. En ambos casos, cada medida se muestra comparada con el ruido de fondo propio del analizador de espectros.

En el documento de medidas del DVB se indica que C/N puede calcularse como la relación entre ambas medidas y, como se indica en la parte derecha de la figura 3, el resultado sería una C/N=19,39 dB.

Esto se debe a que el ruido observado en la pantalla es la suma del ruido externo (el que se desea medir) y el ruido propio del instrumento. Se puede determinar cual es el valor del ruido externo si se mide la diferencia indicada, D en la figura 4, y así se encuentra un término de corrección en dB, CT en la figura 4, que debe aplicarse a la medida de ruido o de potencia obtenida. Dicha corrección solo debe aplicarse cuando la diferencia D es superior a unos 2 dB, pues el término de corrección se va volviendo más impreciso cuanto menor es la diferencia D. En la figura 4 se ha aplicado aunque la diferencia D es de unos 0,5 dB para

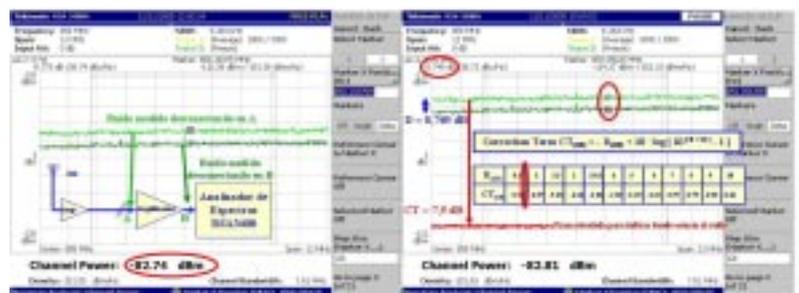


Figura 3. Medida del ruido de fondo y cálculo de la C/N

Figura 4. Medida del ruido de fondo y cálculo del término de corrección.

mostrar dicho efecto. Puede verse por la tabla que pequeñas variaciones en el valor medido de la diferencia D implican grandes diferencias en el término CT cuando $D < 2$ dB.

Podría decirse en este caso que la C/N es de $19,39 + 7,5 = 26,9$ dB aunque es mejor afirmar, debido al bajo valor de D, que la relación C/N es mejor que 24 dB redondeando, lo que se obtiene aplicando un factor de corrección más conservador correspondiente a $D = 2$ dB, es decir el factor 4,33 dB siendo el resultado de $19,39 + 4,33 = 23,7$ dB.

Detalles del espectro DVB-T e identificación del modo

La figura 5 muestra el espectro completo de UHF plagado de señales analógicas de TV de diversos niveles y en el que se pueden distinguir los seis canales de TV digital DVB-T que en la fecha de la toma se podían captar en los alrededores de Madrid además de un canal de pruebas en DVB-H (canal 27).

Gracias al filtro estrecho de 12,5 kHz (400 MHz) se pueden dife-

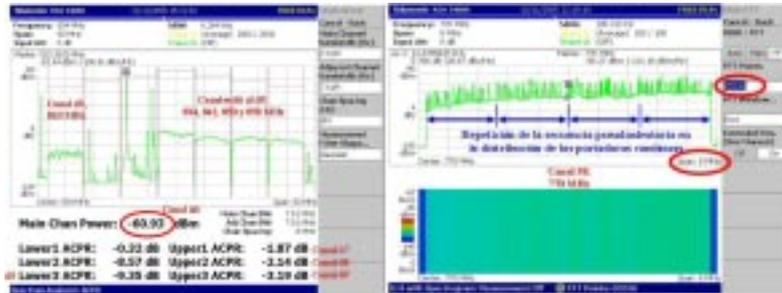


Figura 6. Detalles con cinco canales DVB-T y un canal (58) con alta resolución

renciar todos y cada uno de los 49 canales de UHF que ocupan los 392 MHz asignados (desde 470 MHz a 862 MHz).

La figura 6 muestra algunos detalles ampliando la zona que incluye las 4 SFN (Single Frequency Networks, o redes Isofrecuencia) nacionales formadas por los canales 66 al 69 así como por la red SFN regional de Madrid (C-63).

La medida de potencia de un canal, es este caso centrado en el canal 66, y la potencia relativa de los canales adyacentes, tres a cada lado del canal seleccionado, permiten medir simultáneamente todos estos canales, de modo que el canal 66 se recibe en este caso con $-60,93$ dBm, y los otros canales digitales con potencias de $-70,28$ dBm para el canal 63 ($-60,93$

$-9,35 = -70,28$), de $-62,8$ dBm para el canal 67, de $-63,07$ dBm para el canal 68 y de $-64,12$ dBm para el 69. Las medidas de los canales 64 y 65 deben descartarse por no ser este el método de medida recomendado para canales analógicos.

La parte derecha de la figura 6 muestra un solo canal, el 58, ampliado para ocupar toda la pantalla y con un filtro de resolución cercano a los 200 Hz con un Span de 8 MHz. Ello permite ver que el espectro DVB-T presenta algunos detalles que demuestran que el canal no es puramente gaussiano y tiene unas frecuencias estáticas que se manifiestan cuando los filtros de resolución son suficientemente estrechos.

Las portadoras que se aprecian en dicha figura 6 son las denominadas "pilotos continuos" y que sirven de referencia para el enganche en frecuencia y fase de los receptores de la señal. También le permiten hacer una estimación gruesa del estado de recepción del canal en cuanto a respuesta de frecuencia y fase. La estimación fina se realiza mediante las denominadas "scattered pilots" o pilotos distribuidos que se muestran con cierto detalle en la figura 7 junto con la identificación de otro tipo de portadoras.

El modo OFDM del canal, que en este caso es de 8k, se puede determinar examinando la figura 6 y observando que el patrón de la posición de las portadoras piloto continuas se repite cuatro veces, en el modo 4k ocurre dos veces y en el modo 2k una vez.

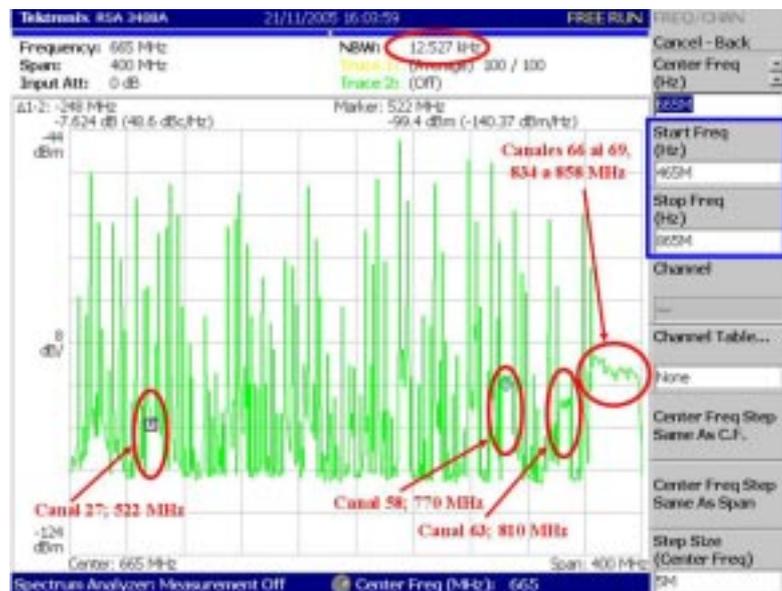
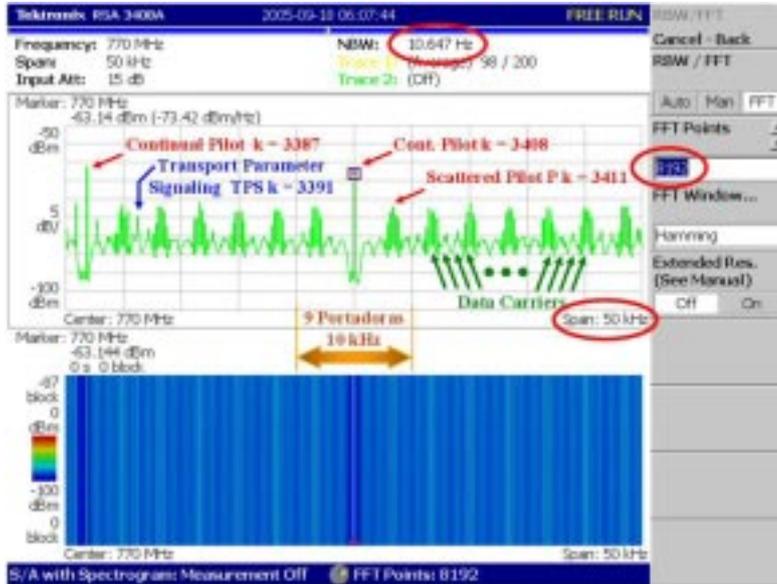


Figura 5. Espectro completo de UHF: 470 MHz a 862 MHz

Figura 7. Detalle del centro del canal 58



Sin embargo es más rápido y preciso comprobar cual es el espaciado entre portadoras, en este ejemplo es de 1.116 Hz. Obsérvese en la figura 7 que en una anchura de 10 kHz hay 9 portadoras y $10 / 9 = 1,111\dots$; que es una apreciación aproximada pero suficiente para la identificación del modo. En el caso de usar los modos 4k o 2k, la separación entre portadoras sería de 2.232 Hz y 4.464 Hz respectivamente

En la figura 7 se pueden apreciar muestras de cada uno de los diferentes tipos de portadoras utilizadas en la modulación DVB-T y que se han identificado indicando algunos de los índices "k" de portadora de las 6817 portadoras que, en el modo 8k utilizado en el canal 58, se extienden desde $k = 0$ hasta $k = 6816$.

En esta zona del espectro se distinguen un par de portadoras continuas, la que tiene índice $k = 3387$ y la frecuencia central con índice $k = 3408$. Conviene recordar que en los modos 8k y 4k la portadora central es siempre una portadora continua, mientras que en el modo 2k es una portadora de datos.

Puede surgir la pregunta acerca

de cual es la razón por la que la portadora continua $k = 3387$ no se ve como una línea espectral pura, cosa que sí ocurre con la portadora central $k = 3408$. La respuesta es que la denominación de "portadoras continuas" se debe al hecho de que tales portadoras existen en todos los símbolos para su índice "k" correspondiente, y cada una tiene una fase fija y permanente al comienzo de cada símbolo que está determinada por un algoritmo pseudo aleatorio. Sin embargo esto no implica que el número de ciclos de cada portadora sea un número entero a lo largo de la duración del símbolo. Es un número entero para todas las portadoras a lo largo de la parte útil del símbolo, pero no lo es necesariamente para cada duración del intervalo de guarda.

La portadora $k = 3408$, frecuencia central del modo 8k, tiene un número entero de ciclos para todos los intervalos de guarda, pues su índice de Fourier "q", distinto del índice de portadora "k", es 4096 que es múltiplo de la inversa de todos los intervalos de guarda, o sea, es múltiplo de 4, 8, 16 y 32, mientras que la portadora $k = 3387$, cuyo índice de Fourier es

4075, no es divisible por ninguno de dichos números y, por tanto, no tiene un número entero de ciclos para ninguno de los intervalos de guarda permitidos por la norma en el modo 8k.

El índice de Fourier se obtiene sumando 688 a los índices de portadora para el modo 8k, sumando 344 en el modo 4k y sumando 172 en el modo 2k.

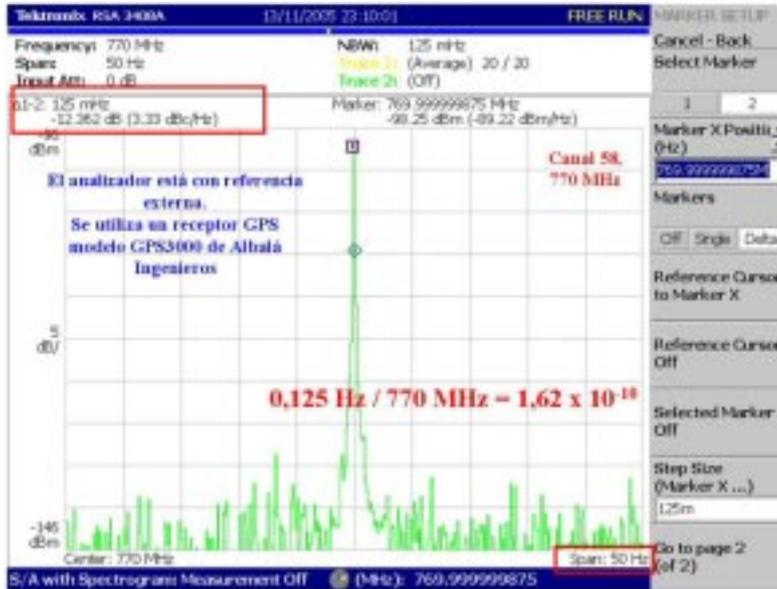
En la figura 7 se ve también una de las portadoras de señalización de parámetros de transmisión, TPS, concretamente la TPS con $k = 3391$ y también se ven perfectamente las portadoras de datos, de las que se aprecian los lóbulos principales creados por la modulación digital que genera un espectro promediado de tipo denso.

Cada tres portadoras se ven unas líneas espectrales que se deben a la presencia de las portadoras piloto de tipo distribuido (scattered pilots, SP). En cada posición o índice correspondiente a una portadora distribuida, por ejemplo $k = 3411$, se repite una secuencia de cuatro símbolos en la que durante un símbolo existe la portadora de referencia SP y en los tres siguientes la portadora es de datos. Por ello aparece una mezcla de lóbulo de datos y líneas espectrales de la portadora SP.

La medida de la amplitud y fase, durante la parte útil de cada símbolo, de cada una de las portadoras distribuidas permite al receptor hacer la compensación de la respuesta del canal, permitiendo cancelar o disminuir los efectos de ecos, recepción multitrayecto, efecto doppler en el DVB-H, etc.

En la figura 7 puede apreciarse el espectrograma que muestra con claridad los diversos tipos de portadoras y su constancia en el dominio del tiempo (eje vertical del espectrograma, el horizontal representa la frecuencia como en el espectro y la amplitud de las señales queda representada por diferentes colores).

Figura 10. Medida de la frecuencia central con referencia externa de GPS.



10^{-8} que es el valor esperado para un oscilador estabilizado en temperatura y que está dentro de los valores de precisión especificados para este modelo de analizador de espectros.

En la figura 10 se muestra el resultado de la medida una vez referenciado el analizador de espectros a una señal de referencia externa más estable que la propia interna, en este caso a un generador de 10 MHz estabilizado por GPS, se trata del modelo GPS3000 de la compañía Albalá Ingenieros, que es un modelo diseñado específicamente para referenciar transmisores DVB, DAB y generadores maestros de TV en estudios.

En este caso el error de frecuencia medido es de tan solo 0,125 Hz, lo que muestra que el transmisor también está enganchado a su referencia GPS, que es lo que se trataba de verificar. Estos resultados de medidas muestran que para medir el comportamiento de un transmisor, o cualquier otro equipo, hay que medir con un instrumento que tenga, al menos la misma precisión que el equipo que ha de ser medido. En este caso la precisión es de $1,62 \times 10^{-10}$.

En los casos en que se use el modo 2k en que la portadora central es de datos y por ello no aparece como línea espectral, es necesario realizar la medida de un modo indirecto, bien utilizando una portadora piloto continua que tenga un número entero de ciclos, por ejemplo la portadora con índice $k = 1140$ que es la única, en dicho modo, que es continua en fase, es decir, tiene un número entero de ciclos, para todos los intervalos de guarda o bien si conocemos que el intervalo de guarda es superior a $1/32$ se puede usar la portadora $k = 804$ que está más próxima al centro del canal $k = 852$.

Sin embargo hay otro procedimiento sugerido en TR101290 que consiste en medir la frecuencia de

los dos pilotos extremos del canal y calculando la media aritmética entre ambos valores se obtiene la frecuencia central del canal.

Este procedimiento permite calcular también la precisión de la frecuencia de muestreo del procesador IFFT del modulador del transmisor.

Medidas de anchura del canal en RF

La medida de la anchura del canal se puede medir directamente sobre las portadoras continuas extremas cuando los modos elegidos permitan dicha medida directa. Esto es posible si se usa el modo 8k con intervalos de guarda de $1/4$, $1/8$ o de $1/16$, en el modo 4k si el intervalo de guarda es de $1/4$ o de $1/8$ y en el modo 2k con intervalo de guarda de $1/4$.

• 9.1.2 RF channel width (Sampling Frequency Accuracy)

– *Propósito:* Las medidas de anchura de canal son convenientes para verificar que la precisión de la frecuencia de muestreo en el lado del modulador es correcta.

– *Método:* El ancho de banda ocupado por un canal modulado en OFDM depende directamente del espaciado de frecuencia y este de la frecuencia de muestreo.

Las dos portadoras extremas de un canal DVB-T/H son pilotos continuos. Sus frecuencias se pueden medir (véase Annex E.1) y la diferencia entre ellas debe compararse con el ancho de banda nominal del canal (ver tabla 1).

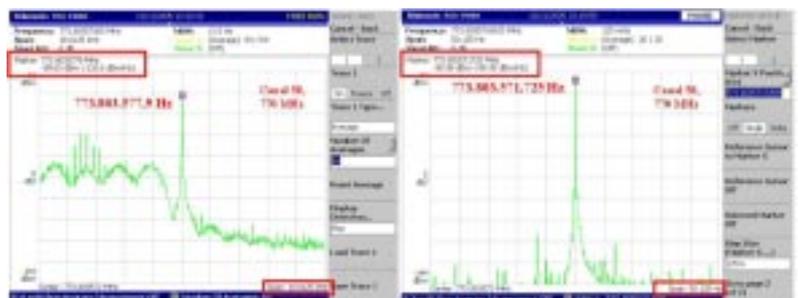


Figura 11. Medida de la frecuencia superior (Canal 58 en modo 8k y 1/4 GI).

Ancho de canal	Ancho de banda ocupado
8 MHz	7.697.142,86 Hz
7 MHz	6.676.238,00 Hz
6 MHz	5.705.337,14 Hz
5 MHz	4.754.444,28 Hz

Las figuras 11 y 12 muestran la medida directa de las portadoras extremas del canal que son continuas en frecuencia, amplitud y fase y además tienen un número entero de ciclos en el símbolo completo, es decir, incluyendo el intervalo de guarda.

En la parte izquierda de la figura 11 se realizó la medida con un Span de 10 kHz y un filtro de resolución de 12,5 Hz con lo que se aprecia perfectamente que se trata de la última portadora continua del extremo superior del espectro del canal bajo medida.

En la parte derecha se cambió el Span a 50 Hz (con filtro de resolución de 125 mHz) para obtener más precisión en la medida y se obtuvo un valor de frecuencia de 773.803.571,725 Hz.



En la parte izquierda de la figura 12 se repitió la medida para la última portadora continua del extremo inferior del espectro y en la parte derecha de la figura, con resolución de 125 mHz, se obtuvo un valor de frecuencia de 766.196.428,35 Hz.

Puede realizarse el cálculo de la diferencia de ambos valores para obtener la anchura del canal y la precisión de la frecuencia de muestreo como indica la tabla 2.

Nótese que la precisión obtenida para la frecuencia de muestreo es de un orden de magnitud de 7×10^{-8} y no del orden de 10^{-10} o de 10^{-11} como podría esperarse si estuviera enganchada a GPS. La razón de ello es que la frecuencia de muestreo está enganchada a la velocidad de datos, y ésta depende de la precisión del multiplexor empleado o en caso de redes isofrecuencia de la precisión del adaptador SFN que debe existir en este tipo de redes en el lado de generación de la señal moduladora, es decir, en el lado del multiplexor.

La señal del multiplexor pasa a través del adaptador SFN para generar los paquetes MIPs para sincronización de tiempos de la trama en todos los transmisores y que además puede ajustar la velocidad de la trama a su valor nominal con la precisión deseada. En este caso la precisión resultó ser de $6,81 \times 10^{-8}$.

Así mismo se pueden medir dichas portadoras, aunque hay que hacerlo indirectamente, si se usa un

los diversos casos descritos en el anejo E del documento TR101290 apartados E.1.1 hasta E.1.3, que por su extensión y detalle no se incluyen en esta nota.

Se pueden obtener otros parámetros a partir de las medidas de la frecuencia de las portadoras externas. Sean F_a y F_b (Frecuencia alta y Frecuencia baja respectivamente), es posible determinar con la debida precisión, en este caso se usaron los valores obtenidos con filtro de resolución de 0,125 Hz, y usando las fórmulas indicadas a continuación, los siguientes valores (calculados para el modo 8k):

Ancho de banda ocupado

$OBW = F_a - F_b$, y usando el ejemplo de las figuras 11 y 12 se obtiene:

$$773.803.571,725 - 766.196.428,350 = 7.607.143,375 \text{ Hz};$$

que representa un error de 0,515 Hz o de $6,76995 \times 10^{-8}$ respecto del valor nominal de 7.607.142,86 Hz.

Espaciado de frecuencia,

$$F_{SPACING} = (F_a - F_b) / (k-1) = 7.607.143,375 / 6816 = 1.116,0715 \text{ Hz};$$

que representa un error de 0,0001 Hz o de $9,3675 \times 10^{-8}$ respecto del valor nominal de 1.116,0714 Hz.

Duración útil del símbolo,

$$T_u = (k-1) / (F_a - F_b) = 6.816 / 7.607.143,375 = 895,999939 \mu\text{s};$$

que representa un error de -61 picroseg. o de $6,808 \times 10^{-8}$ respecto del valor nominal de 896 μs

Frecuencia central de la 1ª FI ,

$$F_{11} = (q/2) * (F_a - F_b) / (k-1) = 4.096 * 7.607.143,375 / 6.816 = 4.571.428,8826 \text{ Hz}$$

que representa un error de 0,31123 Hz o de $6,808 \times 10^{-8}$ respecto al valor nominal de 4.571.428,5714 Hz.

Frecuencia muestreo de la 1ª FI,

$$F_s = 4 * F_{11} = 18.285.715,5304 \text{ Hz}$$

Tabla 1.

Figura 12. Medida de la frecuencia inferior (Canal 58 en modo 8k y 1/4 GI).

intervalo de guarda de 1/32 en el modo 8k, si dicho intervalo de guarda es de 1/16 o de 1/32 en el modo 4k y si es de 1/8, 1/16 o 1/32 en el modo 2k. Para llevar a cabo las medidas conviene analizar en cual de

	Filtro Resolución 12,5 Hz	Filtro Resolución 0,125 Hz
Frecuencia superior	773.803.571,725	773.803.571,724
Frecuencia inferior	766.196.428,350	766.196.428,350
Ancho del canal (Diferencia de frecuencia)	7.607.143,375	7.607.143,374
Valor nominal para 8 MHz	7.607.142,857	
Error de la frecuencia de ancho	12,643	0,518
Precisión de la frecuencia de muestreo	$1,657 \times 10^{-8}$	$6,81 \times 10^{-8}$

Tabla 2

que lógicamente representa el mismo error 1,2447 Hz o de $6,808 \times 10^{-8}$ respecto al valor nominal de 18.285.714,2857 Hz.

Frecuencia central del canal,

$$CF = (F_a + F_b) / 2 = (773.803.571,725 + 766.196.428,350) / 2 = 770.000.000,0375 \text{ Hz};$$

que representa un error de 37,5 mHz o de $4,87 \times 10^{-11}$ respecto al valor nominal de 770.000.000,00 Hz. Nótese como este valor es más preciso que el obtenido midiendo directamente la frecuencia central del canal que dio una precisión de $1,62 \times 10^{-10}$ (Fig. 10).

También es más preciso que si se usan los valores obtenidos con el filtro de resolución de 12,5 Hz:

$$(773.803.577,9 + 766.196.422,4) / 2 = 154.000.000,3 / 2 = 770.000.000,15; \text{ que representa un error de 150 mHz respecto al valor nominal o de } 1,948 \times 10^{-10}.$$

Como conclusiones a los resultados de las medidas de frecuencia se pueden citar:

- La medida de la frecuencia central es más precisa si se usa el valor medio de las portadoras externas, pero es más rápido si se mide la frecuencia central directamente.

- El analizador con su referencia interna proporciona unos valores acordes con la especificación dada por el fabricante, en este caso el analizador RSA3408A tiene una especificación de 2×10^{-8} y los resultados obtenidos están acorde con ello. Pero usando una referencia externa puede mejorar la precisión acorde con la precisión de la fuente de referencia externa como se vio al aplicar la referencia proporcionada por el equipo GPS3000 de Albalá Ingenieros.

- El ancho de banda ocupado y los valores directamente asociados como el espaciado de frecuencia, la duración útil del símbolo y los valores de la primera FI y su frecuencia de muestreo se pueden obtener a partir de la medida con precisión de los valores de frecuencia de las

portadoras piloto externas del espectro de un canal DVB-T o DVB-H tal como indica el procedimiento recomendado por el "Measurement Group" del DVB, a través del documento TR 101 290.

Medidas del intervalo de guarda

Como se vio en la figura 7 y en más detalle en la figura 8, las portadoras distribuidas están localizadas cada tres portadoras de datos.

Es conveniente recordar que todos los espectros tomados con analizadores representan el promedio espectral de un intervalo de tiempo, siendo este, bien el intervalo de adquisición en los analizadores de tiempo real, o bien el intervalo de tiempo que tarda el barrido en analizar cada zona del espectro en los analizadores convencionales. En el espectro de dicha figura 7, para un SPAN de 50 kHz y una FFT de 8192 puntos, el intervalo de tiempo analizado es de 256 ms, por lo que el espectro es el promedio de unos 236 símbolos.

Además se ha procedido a promediar 98 espectros en la figura 7, lo que permite observar el valor medio del espectro en lugar de su valor instantáneo (teniendo en cuenta que instantáneo aquí representa un intervalo de tiempo de 256 ms) y por consiguiente aparecen estables las componentes de frecuencia que se repiten regularmente.

Esto permite que en el documento TR 101 290 se indique un método apropiado para determinar la duración total del símbolo OFDM. En el apartado anterior se dedujo la

duración útil del símbolo, que es la inversa de la separación de frecuencia de las portadoras, que se dedujo aproximadamente en el figura 7 y con más precisión con la medida de la frecuencia de las portadoras continuas de los extremos del espectro. La diferencia de tiempo entre ambos resultados proporciona la longitud del intervalo de guarda empleado.

• 9.1.3 Symbol length measurements at RF (Guard interval verification)

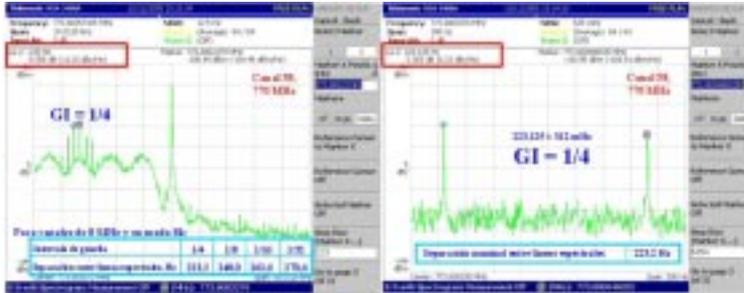
– *Propósito:* La verificación del intervalo de guarda utilizado por una señal DVB-T/H recibida puede realizarse con cuidadosas medidas de frecuencia en RF. Esta medida es útil cuando existe una incertidumbre acerca de si un modulador está funcionando correctamente y produciendo una señal con el Intervalo de Guarda asignado.

– *Método:* Los pilotos distribuidos (scattered) producen un espectro similar al espectro de pulsos de RF cada tres portadoras del espectro DVB-T/H debido a su presencia repetitiva en fase y posición cada cuatro símbolos. La diferencia de frecuencia entre dos líneas espectrales contiguas de una portadora distribuida representa la inversa del período de repetición de la portadora, es decir la duración en tiempo de cuatro símbolos DVB-T/H

El método indicado por el TR 101 290 se puede llevar a cabo con gran precisión con un analizador digital de tiempo real como los de las familias RSA2000 y RSA 3000 de Tektronix uno de cuyos modelos, el RSA3804, se está utilizando a lo largo de este artículo.

	Intervalo de guarda usado	Separación de las líneas espectrales, en Hz
Tabla válida para canales de 8 MHz y para el modo 3K. Para otros casos véase TR101290	1 / 4	225,2 Hz
	1 / 8	248,0 Hz
	1 / 16	262,6 Hz
	1 / 32	278,6 Hz

Figura 13. Medida del intervalo de guarda (Canal 58 en modo 8k y 1/4 GI).



La tabla tabla 3 incluye los valores de separación entre líneas espectrales para los cuatro intervalos de guarda correspondientes a canales de 8 MHz en el modo 8k.

En la figura 13 se muestra una medida en la parte izquierda de 225 Hz y se puede deducir de inmediato que corresponde a un intervalo de guarda de 1 / 4 ya que es el valor más cercano según la tabla. Sin embargo en la parte derecha se ha repetido la medida con un span que permite más resolución y se observa una mayor aproximación al valor de la tabla con una medida de 223,125 Hz.

En líneas generales, se trata de una verificación de que el intervalo

de guarda programado para el transmisor es el que realmente está saliendo al aire. También sirve para identificar el valor del intervalo de guarda, en caso de que se desconozca. La precisión del intervalo de guarda está sujeta a la precisión de la frecuencia de muestreo que se

vio anteriormente, pues no es independiente de ella. La figura 14, de forma similar a la figura 13, muestra la medida en otro canal, el 27 que está usando un intervalo de guarda de 1 / 8 y la separación entre líneas es de 248 Hz.

En el modo 8k, cuyas duraciones de símbolo son de 1.120 μ s, 1.008 μ s, 952 μ s y 924 μ s, para los intervalos de guarda de 1/4, 1/8, 1/16 y 1/32 respectivamente, los períodos de repetición y, por tanto la separación entre líneas espectrales, es de 4.480 μ s y $1 / 4.480 = 223,21$ Hz para GI = 1/4, de 4.032 μ s y $1 / 4.032 = 248,02$ Hz para GI = 1/8, y así sucesivamente para los otros valores de GI.

Figura 14. Medida del intervalo de guarda (Canal 27 en modo 8k y 1/8 GI).

