

Modulación y densidad espectral / y 3

Por Juan Navalpotro

Director Gerente de Abacanto Digital SA, compañía que representa a Tektronix, Albalá Ingenieros, Z-Technology, IneoQuest y Anritsu www.abacantodigital.com.

En la presente Edición, publicamos la tercera y última parte, del excelente trabajo "Modulación y densidad espectral" de Juan Navalpotro. En el mismo se aborda desde una perspectiva eminentemente práctica, las enormes posibilidades que la Digitalización y el Tiempo Real, aportan a los modernos Analizadores Espectrales, muy especialmente en el estudio y medición de señales de Comunicación Digital. En este número, el autor aborda las medidas de análisis de espectros OFDM, DVB-T y DAB.

Figura 23. Medida de potencia del canal 58 de TV digital DVB-T

Fig. 24 Medida del espectro del canal 63 de TV digital DVB-T

El espectro de una señal DVB-T tiene una forma "perfectamente rectangular", que es el objetivo principal del aprovechamiento del espectro. Como se muestra en la

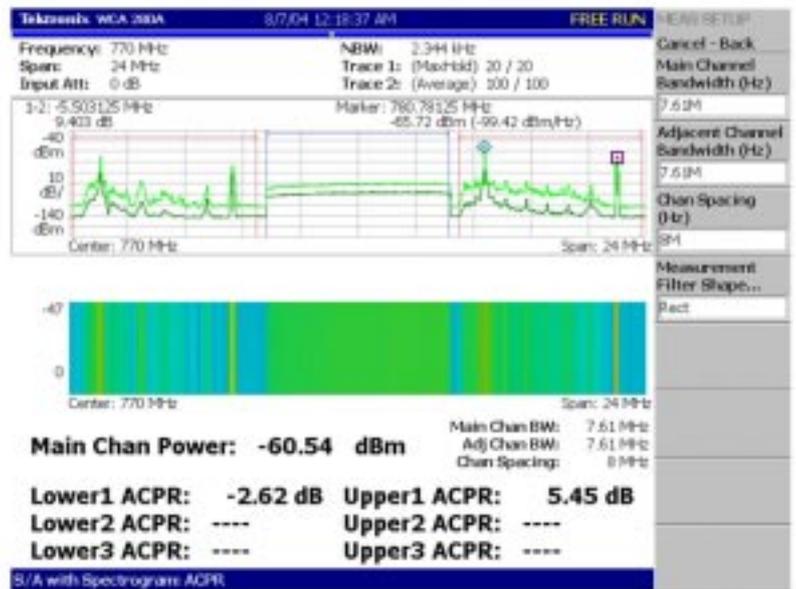


figura 23, este espectro presenta, al analizarlo en detalle, que hay ciertas características que solo se pueden apreciar con analizadores de espectros de gran resolución y otras solo si se hace una captura en tiempo real y proceso digital.

Aparentemente en un espectro de este tipo solo se pueden medir características como la potencia del canal o las curvas CCDF. En la figura 23 se ha activado la medida de potencia en canales adyacentes para mostrar la sencillez de dichas medidas y ver el resultado de las medidas simultáneas con la forma del espectro medio medido. Se ha realizado con la señal recibida por antena solo como curiosidad, ya que esta medida es útil a pie de transmisor para verificar que éste no tiene "leakage" o pérdidas sobre los canales adyacentes y sirve así para verificar si los filtros de canal están funcionando correctamente.

Pero además de la curiosidad pueden sacarse conclusiones interesantes que pueden dar pistas sobre problemas de coberturas e interferencias en recepciones de TV analógica. En la figura 23 se observa que el canal adyacente inferior se recibía con una potencia menor en 2,62 dB

que el canal DVB-T, mientras que el canal superior se recibía con 5,45 dB por encima de la potencia del canal digital.

En una recepción como esta, el usuario que esté interesado en ver el canal analógico 57, podría encontrarse con interferencias provocadas por el canal digital sobre la portadora de sonido y quizás en la parte alta del espectro de vídeo. Dado que el canal 57 no parece estar usando sonido digital NICAM, el problema puede no ser demasiado grave. El usuario que sintonice el canal analógico 59 está, sin embargo, más protegido pues tiene más potencia a su disposición, aunque una relación de potencia de 10 dB del canal analógico por encima del canal digital sería más deseable. La posible interferencia del canal digital sobre el analógico se manifestaría como ruido en la señal de vídeo de frecuencias relativamente bajas, por debajo de 1 MHz de la señal de vídeo en banda base, pues lo que se ve afectado es la banda lateral inferior.

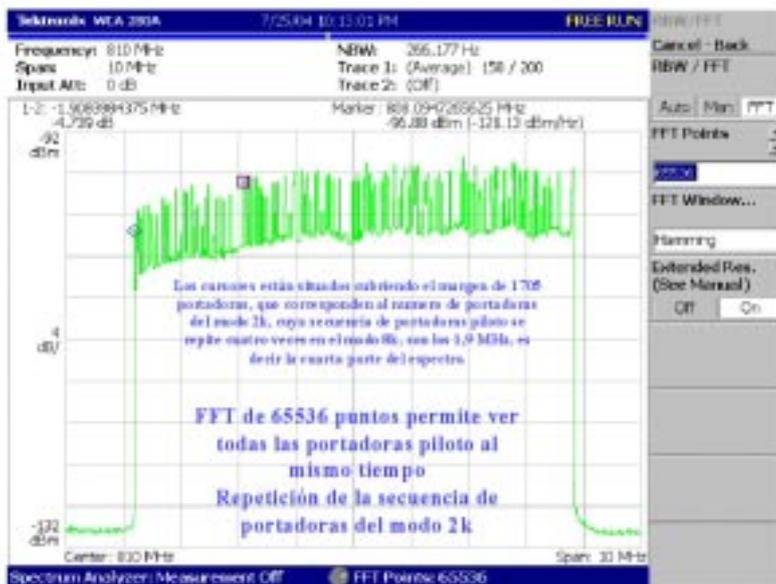
En un escenario de solo TV digital, que supuestamente se tendrá después del apagado de las señales analógicas, las interferencias entre canales digitales se podrán conside-

rar como casi nulas pues la robustez de las modulaciones COFDM es muy grande. En una recepción como la representada en la figura 23 puede pensarse que un receptor sintonizando el canal 58 no sufre por la presencia de los canales analógicos adyacentes.

Pero volviendo al tema de que el espectro no tiene características relevantes para ser medidas, parece que la figura 24 corrobora dicha afirmación. En ella que se mide el espectro del canal 63 usando una transformada de Fourier de 1024 puntos en la parte izda., e incluso usando una transformación de 4096 puntos como se ve en la parte derecha, el espectro aparece sin detalles específicos.



Figura 26. Detalles del centro de un espectro DVB-T en el modo 8k



300 Hz, que sería el equivalente más cercano implicaría un tiempo de barrido enorme, y si el filtro ha de aproximarse al factor de forma proporcionado por la FFT, el filtro equivalente para el analizador de barrido habría de ser, incluso, del orden de 10 Hz, lo que dificultaría la medida aún más.

No solo esto es lo que se puede analizar con analizadores digitales de tiempo real, en el espectro DVB-T se puede ampliar el análisis en gran detalle como se indica en la figura 26 en la que se analiza el centro del espectro del canal 58 y donde se puede ver la portadora piloto continuo central con índice 3408, recuérdese que en el modo 2k, la portadora central es de datos y no piloto, pero en 8k corresponde a una portadora piloto.

Fig.- 25 Medida del espectro del canal 63 con FFT de 65536 puntos

Esto es natural debido a que el modo usado en la transmisión objeto del análisis es el de 8k en el que el número de portadoras emitidas es de 6817 y no se pueden discernir individualmente con una FFT de tan solo 4096 puntos, pero si éstos se amplían a 65.536 (FFT de 2^{16}), es posible distinguir las portadoras de tipo piloto continuo que están "cuasi-aleatoriamente" distribuidas por el espectro de la señal DVB-T

Esto es lo que se puede apreciar claramente en la figura 25, en la que se distinguen las portadoras continuas y se puede apreciar como el patrón de distribución usado en el modo 2k se repite cuatro veces para el modo 8k. Nótese de paso que el filtro de resolución equivalente en este modo es de tan solo 266 Hz y que esta medida sería imposible con un analizador de barrido convencional pues disponer de un span de 10

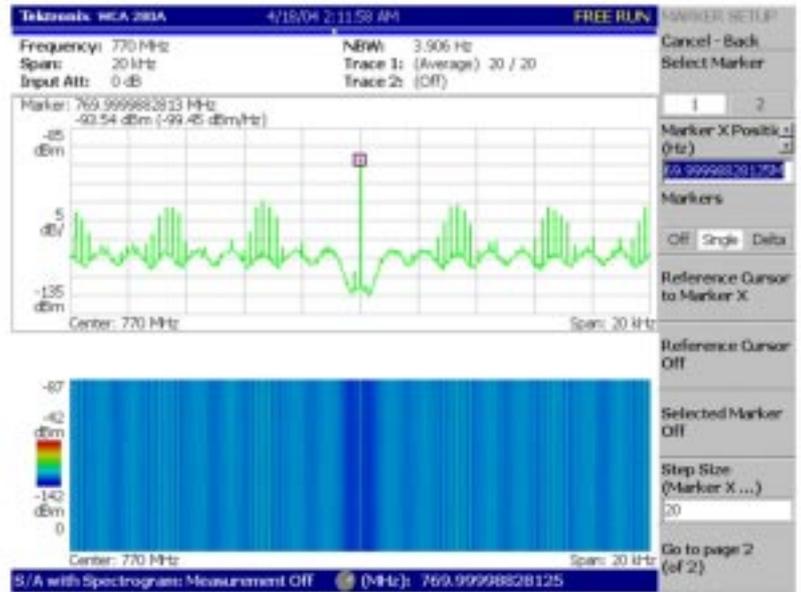
Contando los índices correspondientes, listados en el documento ETSI 300 744, se pueden identificar otras portadoras del tipo piloto continuo e indicar la posición correspondiente a alguna portadora TPS (Transmission Parameter Signaling), aunque éstas no se puedan identificar claramente en esta figura. Lo que sí se puede apreciar es que hay unos picos sobresalientes a distancias de

Fig.ura 28. Medida de frecuencia central de un espectro DVB-T en el modo 8k

unos 3,35 kHz y que como puede inferirse corresponden a las portadoras piloto de tipo "scattered" o distribuidas. Con buena intención se pueden incluso identificar las portadoras de datos separadas 1,1161 kHz.

Pero no es necesario recurrir a la buena voluntad para ver más detalles, la figura 27 muestra una mayor ampliación de la parte central de espectro y ahora sí se pueden identificar claramente los diversos tipos de portadoras utilizadas en el sistema DVB-T, en la propia figura se indican las portadoras.

La identificación de las portadoras y el reconocimiento específico de su aspecto espectral parece solo un interesante ejercicio académico, pero tiene el interés práctico de que gracias a este análisis es posible determinar las características principales de una señal recibida y de la cual no se conocen "a priori" dichos parámetros. Por supuesto no se puede distinguir el modo 2k del modo 8k si solo se ve un espectro como el indicado en la figura 24; para identificar el modo es necesario aislar alguna portadora con resolución suficiente para distinguir si el espaciado es de 1,1161 kHz o de 4,4644 kHz o bien, al menos ver si el número y la secuen-



cia de portadoras piloto es el de 2k (45 portadoras continuas) o el de 8k (177) como se ve en la figura 25.

Midiendo con detalle dichas portadoras, se puede verificar si la señal está realmente centrada en el canal asignado. Esto puede no tener mucha importancia en redes locales o en las redes de multifrecuencia (MFN), en las que cada transmisor está emitiendo en un solo canal para una zona y no se emplea ningún repetidor en la misma frecuencia.

Las redes isofrecuencia, o de frecuencia única, (SFN, Single Frequency Network) en las que todos los transmisores emiten el mismo programa en el mismo canal, la precisión de la frecuencia central del canal es de capital importancia. Ello se debe a que una de las características más notable de la modulación COFDM permite reutilizar los canales sin interferencias entre ellos. Para lograr la sincronización de frecuencia se usan receptores GPS que aportan la precisión y estabilidad necesarias a largo plazo para dicho tipo de operación. La sincronización temporal, que también es necesaria, se consigue enviando paquetes especiales de referencia dentro del flujo de datos, son los paquetes MIP (Megaframe Initialization Packet).

La medida de la frecuencia central parece innecesaria si los transmisores están enganchados vía GPS, pues se supone que el valor de la frecuencia debe ser el correcto, pero también podría afirmarse lo mismo del resto de medidas y pensar que son innecesarias si todo funciona de acuerdo con las previsiones. El problema de las medidas es que hay que realizarlas cuando algo va mal, por ejemplo, la pérdida de la referencia de

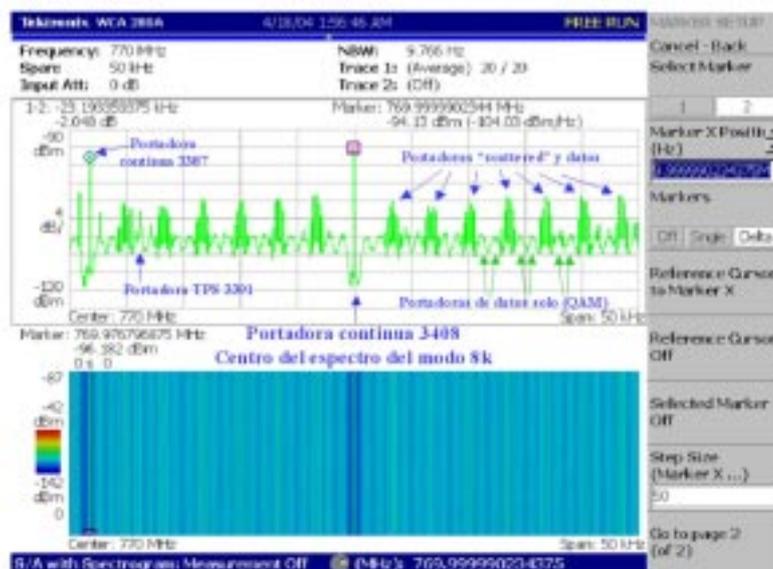


Fig.- 27 Distinción de las portadoras de datos y "scattered" de un espectro DVB-T en el modo 8k

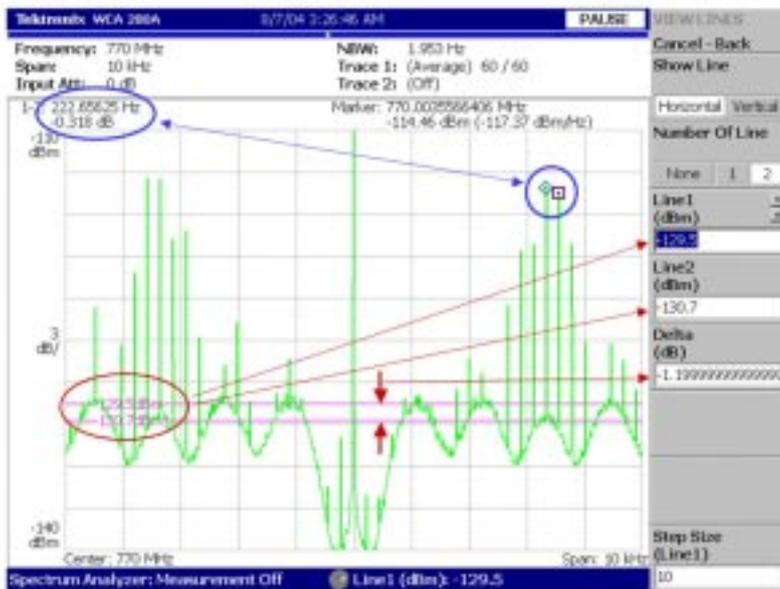


Fig.- 29 Detalle central de un espectro DVB-T en el modo 8k

GPS de un transmisor de la red SFN no deja sin cobertura a los receptores cercanos, pero puede dejar sin cobertura a todas las zonas en las que se reciba dicho transmisor con una potencia similar a la potencia recibida de otros transmisores de la red que continúen enganchados al GPS.

Las redes isofrecuencia pueden realizarse a nivel nacional, regional o incluso local y lo normal es que incluso las emisoras locales con un solo transmisor estén referidas a un generador de frecuencia de precisión vía GPS, para que cuando se pongan otros transmisores del mismo programa en el mismo canal formen una pequeña red de frecuencia única y todos estén sincronizados. Si son repetidores de relativamente poca potencia en los que la señal recibida en un punto es simplemente amplificada y retransmitida, no es necesario recurrir a dicha sincronización.

Por ello es necesario medir con precisión las frecuencias en todos los tipos de redes de TV digital DVB-T y DAB, y los analizadores que realizan dichas medidas deben disponer de entrada de referencia externa para hacer medidas absolutas de frecuencia.

La figura 28 muestra mayor detalle en el análisis de las portadoras del espectro OFDM y la medida de frecuencia se puede realizar con detalle gracias al extraordinario factor de forma del filtro de resolución que permite aislar perfectamente la portadora y medirla. En el ejemplo de dicha figura 28 se observa que la portadora tiene una frecuencia de 769,99998828 MHz, es decir, está 11,72 Hz por debajo de lo supuestamente esperado para este canal que sería de 700 MHz.

En el caso de la figura 28 si el error fuera del transmisor y se recibiera señal de otro transmisor que cubriendo parcialmente la misma zona estuviera correctamente ajustado a 700 MHz, habría zonas de solapamiento en las que los receptores podrían tener problemas de sincronización.

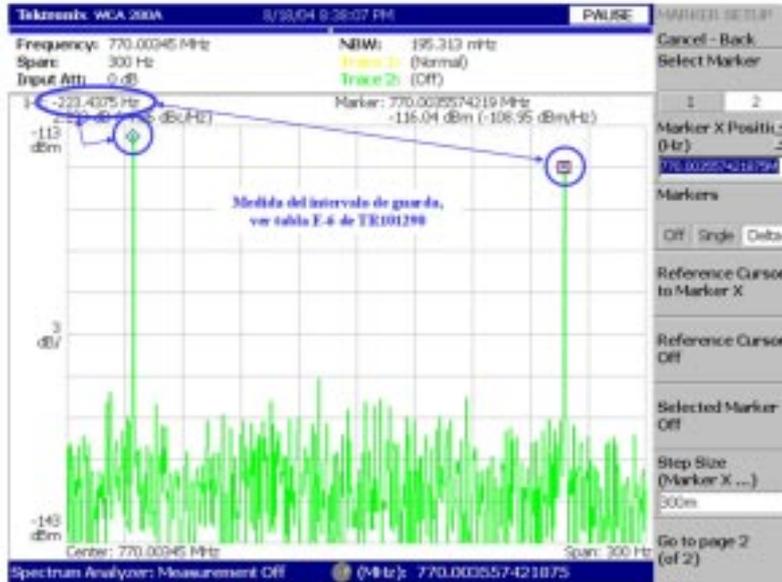
Sin embargo hay que tener unas palabras de precaución, pues en el caso de la figura 28, y todas las demás de este artículo, se han tomado con el analizador funcionando en modo libre, es decir sin enganchar a una frecuencia de referencia de rango superior, por lo que este resultado hay que tomarlo con la convicción de que el transmisor está correcto ya

que se sabe que está enganchado a un receptor GPS y no hay porqué suponer, en este caso, que haya perdido la referencia. Por eso se ha indicado que para este tipo de medidas de tanta precisión absoluta en la medida de frecuencias es necesario conectar el analizador de espectros a un receptor GPS, o referencia similar, que garantice la precisión de la frecuencia absoluta.

En muchos casos las medidas de frecuencia son relativas y con disponer de buena resolución de frecuencia es suficiente para ver si dos transmisores recibidos en el mismo lugar están emitiendo, o no, en la misma frecuencia. La recepción de dos transmisores en el que uno tiene un error de pocos Hz (más de 10 Hz de diferencia puede crear problemas en algunos receptores) se manifiesta en el espectro con doble presencia de las portadoras piloto y se pueden medir perfectamente las diferencias de frecuencia entre ambos transmisores, incluso si el analizador no está enganchado a una referencia GPS, aunque no se podría determinar cual de los dos transmisores sería el erróneo.

En la figura 29 se ven más detalles y más resolución para apreciar algunas características esperadas de un espectro DVB-T. Se ha utilizado un factor de escala vertical de 3 dB/div. y aunque la línea espectral correspondiente al piloto continuo de la frecuencia central sale por arriba de la pantalla esta escala permite verificar que la diferencia de potencia entre los lóbulos de las portadoras que solo llevan datos y los lóbulos de aquellas portadoras en las que hay tres símbolos de datos alternados con un símbolo de portadora scattered es de 1,2 dB (lo esperado es $10 \log [4/3] = 1,249$ dB, pues por cada cuatro símbolos, en las primeras, los 4 símbolos son de datos mientras en las segundas hay 3 de datos y uno de portadora piloto "scattered") véanse, en la figura 29, la línea 1 a -129,5 dBm y la línea 2 a -130,7 dBm

Figura 30. Detalle de la medida de la longitud del símbolo.



La potencia de la portadora piloto “scattered” no contribuye al espectro denso como hacen las portadoras de datos, esto se debe a que no son portadoras con fases y/o amplitudes aleatorias. A cada portadora “scattered” se le asigna una fase, en función de una secuencia pseudo aleatoria, que se repite cada cuatro símbolos y esto da lugar a un espectro discreto cuya envolvente tiene la misma forma que la envolvente del espectro denso de las portadoras de datos pero cuya potencia se distribuye en líneas espectrales separadas entre sí por un valor igual a la inversa de la duración de los cuatro símbolos que forman el ciclo de repetición, que en la figura 29 se mide como 222,65 Hz.

La potencia de la portadora piloto “scattered” no contribuye al espectro denso como hacen las portadoras de datos, esto se debe a que no son portadoras con fases y/o amplitudes aleatorias. A cada portadora “scattered” se le asigna una fase, en función de una secuencia pseudo aleatoria, que se repite cada cuatro símbolos y esto da lugar a un espectro discreto cuya envolvente tiene la misma forma que la envolvente del espectro denso de las portadoras de datos pero cuya potencia se distribuye en líneas espectrales separadas entre sí por un valor igual a la inversa de la duración de los cuatro símbolos que forman el ciclo de repetición, que en la figura 29 se mide como 222,65 Hz.

La tabla E-6 del documento TR 101 290 proporciona los valores de separación en Hz de las líneas espectrales para canales de 8 MHz, que son los usados en España actualmente y el valor de 223,21 Hz sería el valor esperado, en lugar del valor medido de 223,4375 Hz, la discrepancia es de tan solo 0,23 Hz y es del

CANALES de 8MHz	Modo 8k				Modo 2k			
	896 µs	1008 µs	952 µs	924 µs	280 µs	252 µs	238 µs	231 µs
Duración del símbolo útil µs	896 µs (Intercarrier 1.116,9714 Hz)	1008 µs	952 µs	924 µs	280 µs	252 µs	238 µs	231 µs
Intervalo de Guarda	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
Duración del símbolo µs	1120	1008	952	924	280	252	238	231
Periodo de repetición scattered µs	4480	4032	3808	3696	1120	1008	952	924
Separación líneas espectrales Hz	223,21	248,02	262,61	270,56	892,86	992,06	1050,42	1082,25

La figura 30 con más ampliación permite medir con gran precisión la distancia entre dichas líneas espectrales obteniéndose 223,4375 Hz. Obsér-

orden de magnitud correspondiente al ancho del filtro de resolución. Pero no hay lugar a confusión, pues el siguiente valor es el de 248,02 Hz.

Algunos detalles adicionales del espectro de OFDM usado en el sistema de TV digital DVB-T se pueden encontrar en la figura 31. Por ejemplo se puede apreciar que en este tipo de modulación no es necesario utilizar filtros de conformación de impulsos de la forma coseno alzado como se hace habitualmente en otras modulaciones digitales del tipo QAM y QPSK, que son también las modulaciones utilizadas en cada portadora de datos OFDM.

Una razón es que el proceso de obtención de la información en cada símbolo no se realiza por muestreo del nivel en el centro del mismo para compararlo con los niveles normalizados y así determinar si se trata de un cero o un uno (u otros niveles), si no que en los sistemas OFDM el valor del símbolo se obtiene por integración de la señal a lo largo de todo el símbolo y la forma del símbolo no debe modificarse, la ventana para obtener la FFT en el receptor ha de ser rectangular y por ello no debe utilizarse ningún tipo de filtro.

Otra razón es que los lóbulos laterales se atenúan a medida que se alejan de la portadora y al ser los símbolos de larga duración, la anchura espectral de cada portadora es muy pequeña y de este modo los lóbulos quedan sumamente atenuados a una distancia de unas veinte veces la separación entre portadoras según puede verse en la figura 31 en la que se aprecia una atenuación de más de 24 dB desde las crestas de las portadoras de datos a una distancia de unos 20 kHz en la parte superior del espectro.

Con una señal más fuerte se podrían ver a dichos lóbulos extenderse más lejos, pero también más atenuados, de manera que hasta el extremo del canal hay 196,5 kHz y caben unos 175 lóbulos que se van atenuando rápidamente. Con estas atenuaciones no es necesario poner filtros para la señal en banda base como se hace en DVB-S y DVB-T.

Sin embargo se suelen poner filtros a la salida de los transmisores, pues debido al back-off aplicado a los transmisores, las intermodulaciones producidas por el recorte de los picos pueden aumentar el nivel de los "hombros" del espectro y extenderse hacia los canales adyacentes con más potencia de la posiblemente deseada.

En la figura 31 se muestra también la medida de potencia de una portadora, en este ejemplo se ha elegido una portadora TPS como portadora central, para compararla con la potencia de las portadoras adyacentes y puede observarse que las portadoras de datos solo difieren en 0,2 dB, como máximo respecto a la portadora TPS, esto se debe a que, aunque el espectro sea diferente, la potencia es la misma, pues las portadoras TPS no se realzan como sí se hace con las portadoras piloto de ambos tipos, continuas y "scattered".

Las portadoras piloto, tanto las "scattered" como las continuas están realizadas en potencia por un valor que corresponde a:

$$20 \log (4 / 3) = 2,4988 \text{ dB}$$

y si se considera que una portadora "scattered" esta presente una vez por cada tres veces que lo está una

portadora de datos en aquellos índices k en que ambas coinciden, se puede encontrar que a lo largo de cuatro símbolos consecutivos la amplitud (voltaje) de cualquier portadora de datos (en un índice k de solo datos) es 4 veces la unidad (o bien 12 /3) y que las amplitudes en un índice k donde se alternan los datos y las "scattered" es de tres veces la unidad mas una vez la realizada a 4/3, haciendo un total de $3 + (4/3)$, o bien 13/3, se puede ver que la relación promediada a lo largo de cuatro símbolos entre ambos índices de portadoras es de $20 \log (13/12) = 0,695 \text{ dB}$, que es lo que se aprecia aproximadamente en la figura 31 con +0,86 dB y +0,61 dB para las portadoras de datos + "scattered" respecto a las de datos solo, téngase en cuenta que la medida es aproximada pues no todas las líneas espectrales de las portadoras "scattered" entran en la medida indicada para la segunda "scattered" superior (0,61 dB) y que parte del espectro asimétrico de la portadora TPS se "mete" en la "scattered" inferior (0,86 dB).

Las portadoras TPS no presentan ninguna característica especial en el modo espectral que puede utilizarse

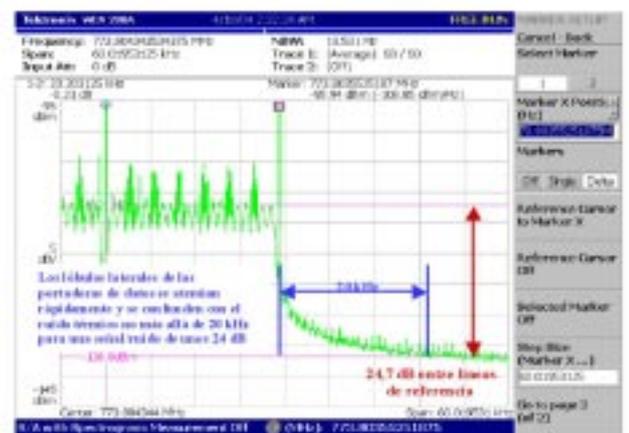
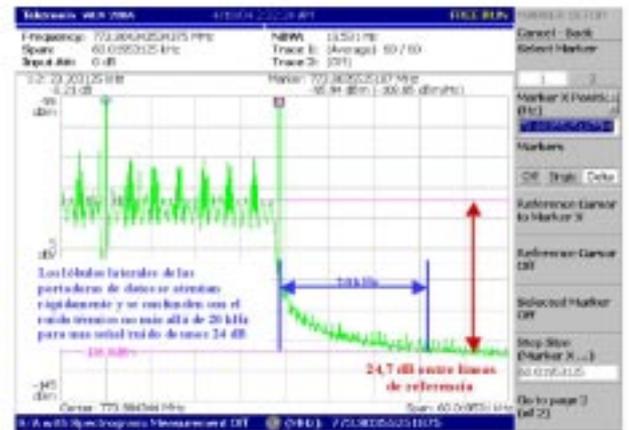


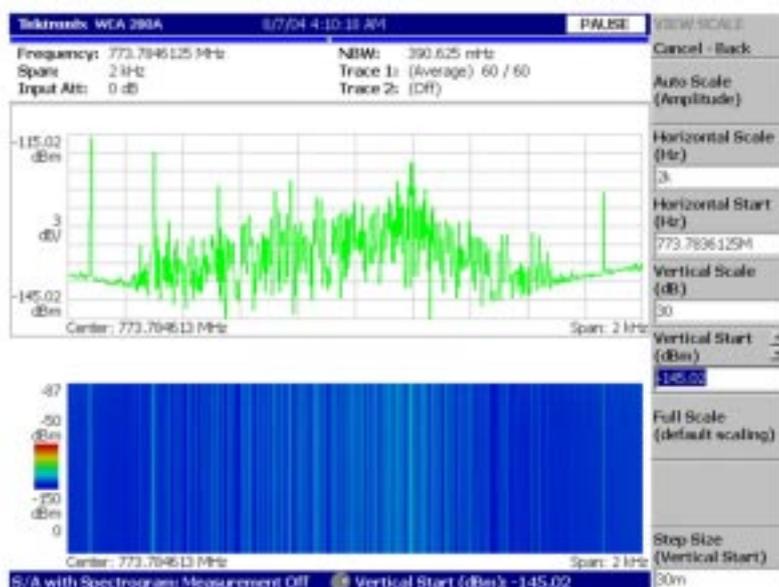
Figura 31. Detalles adicionales del espectro DVB-T

para realizar medidas de algún parámetro de modulación, aparte de la periodicidad de 68 símbolos. Con fin ilustrativo, en la figura 32 puede verse, ampliado con un span de 200 Hz por división, el espectro de una portadora TPS situada entre dos portadoras de datos cuyos lóbulos se ven a ambos lados de la figura 32.

Se podría ampliar dicho espectro para ver el ciclo de repetición de 68 símbolos que corresponden este modo (8k, 1/4GI) a un período de $1 / (1120 \cdot 68) = 13,13 \text{ Hz}$. Es decir, aparte de otras líneas espectrales, se deben identificar algunas con la separación de 13,13 Hz.

En el caso de las señales OFDM del tipo usado en la modulación de audio digital DAB, no existen las portadoras piloto similares a la señal DVB-T y no presenta líneas espectrales puras como puede apreciarse en

Figura 32. Detalles de una portadora TPS del espectro DVB-T



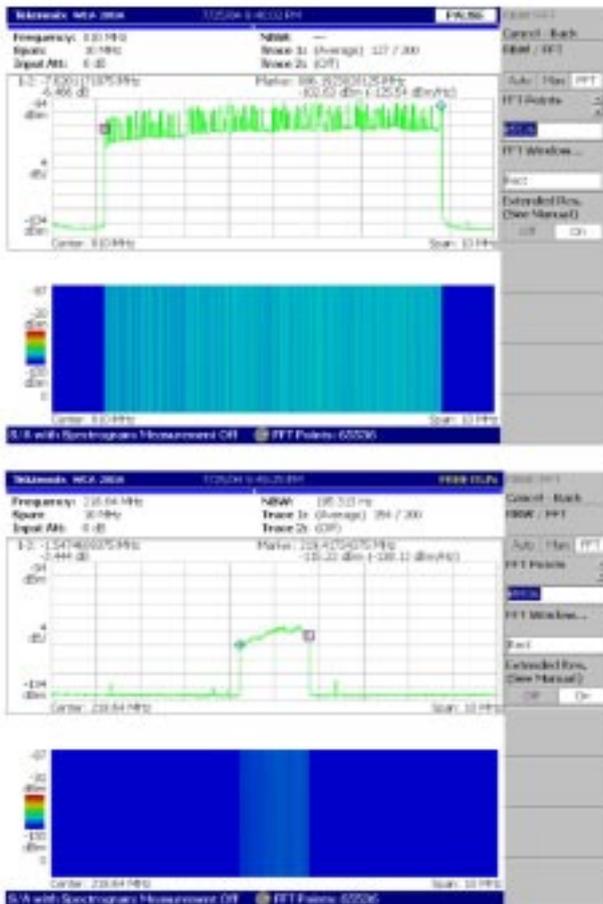


Figura 33 El espectro DAB no tiene portadoras piloto.

la figura 33 en la que se ha utilizado una configuración de análisis exactamente igual a la que se hizo para el espectro DVB-T con FFT de 65536 puntos, aparentemente aquí poco se puede hacer para conseguir análisis más profundos.

La señal recibida era de poca amplitud como puede verse en la figura 34 en la que se ha activado el modo de media de potencia del canal y canales adyacentes, que como puede verse en este caso están vacíos y por tanto puede utilizarse el modo de medida para estimar la relación señal / ruido que se establece en unos 10,3 dB que es la potencia de ruido analizada en los canales adyacentes. En realidad es el ruido de fondo del receptor, es decir del analizador de espectros en este caso.

Figura 34. Medidas de potencia, e indirectamente de relación señal / ruido

En el espectro de la señal DAB parece que no es posible encontrar más detalles para medir, pero dependiendo del modo en el genere la señal, puede ocurrir que haya cierto nivel residual de portadora que se puede utilizar para medir la frecuencia del canal. También es posible ampliar hasta ver los lóbulos de modulación DQPSK utilizado en DAB y así medir la distancia entre portadoras que se establece en 1 kHz. Esto se puede ver en la figura 35a en la que también se muestra el nivel de ruido del analizador usando la segunda traza y congelando su valor una vez obtenida la traza sin señal a la entrada, el factor de escala vertical es de 4 dB/div.

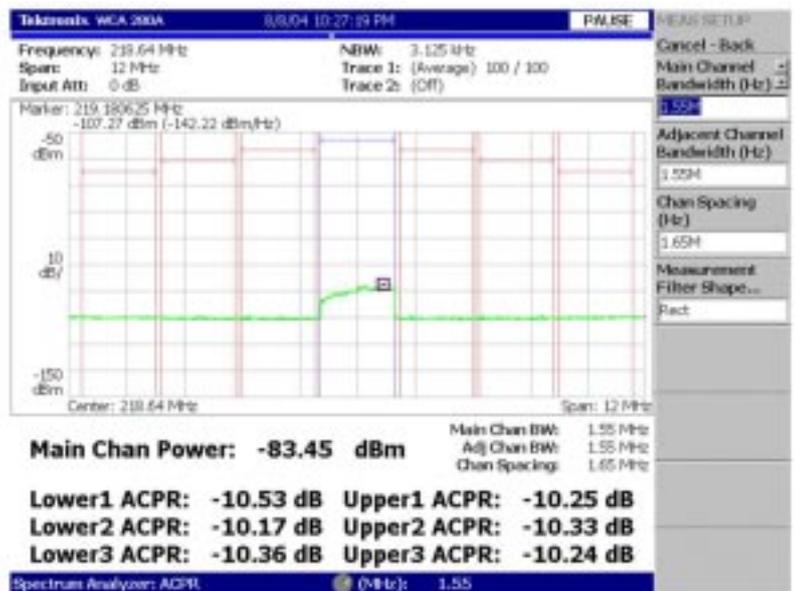
En la figura 35a se indica que el error de la frecuencia central tiene un error de solo 3,66 Hz respecto a la frecuencia nominal del canal, pero como se ha indicado anteriormente, este error debe achacarse al analizador que está funcionando en modo libre, ya que el transmisor DAB está enganchado a una referencia GPS, al igual que se hace con los transmisores de DVB-T, ya que el sistema DAB se ha diseñado para que funcione también en modo isofrecuencia, o SFN. Esta medida se hizo el día 25 de

Julio de 2004 y puede compararse con la medida similar realizada el día 12 de Agosto de la figura 35b, la diferencia de frecuencia entre ambas medidas es de 0,51 Hz, y se debe a que el analizador funciona por libre y el tiempo de precalentamiento no fue idéntico en cada uno de los días.

La figura 35a también muestra, por la distancia entre cursores que abarcan 10 portadoras, que el espaciado entre portadoras DAB es de 1 kHz como indica la norma. Parece que en este día, 25 de Julio, la recepción era mejor pues hay más nivel en todas las portadoras que en la medida realizada el día 12 de Agosto de la figura 35b.

La figura 35b también permite ver, aunque la señal recibida es muy pequeña, que la señal de la portadora es una línea espectral muy pura, el filtro de resolución equivalente es de tan solo 244 mHz en estas condiciones, esto indica que ambos, el transmisor y el analizador, tienen una buena estabilidad de frecuencia o poca FM residual.

La figura 35b muestra el residuo central de la portadora DAB, vista con un filtro de 244,141 mHz. El marcador principal se encuentra





sobre la traza de ruido y la densidad espectral medida es de $-153,06$ dBm/Hz. Nótese que en esta ocasión el valor en dBm/Hz es mayor que la medida absoluta directa del cursor ($-159,18$ dBm), esto se debe a que el filtro de resolución es 4 veces inferior a 1 Hz y por eso el espectro denso se lee en directo con unos 6 dB más bajo que la densidad espectral normalizada a 1 Hz.

Aunque la medida de frecuencia se ha realizado sobre el marcador

principal que está sobre el ruido en un determinado bin de frecuencia, la medida de frecuencia de la portadora residual es correcta, pues el marcador secundario, que está sobre dicha portadora está situado en el mismo bin, como se indica por la diferencia de frecuencia entre ambos marcadores que es cero.

La figura 36 muestra los extremos y la parte central del espectro DAB, con ampliación suficiente como para verificar que la señal DAB no usa

portadoras piloto para la sincronización del demodulador.

La señal DAB lo consigue transmitiendo un canal de sincronización al principio de cada trama, o bloque, de 77 símbolos, en los modos de transmisión I y II. El canal de sincronización tiene la duración de dos

Figura 35 Medidas de la portadora residual de un canal DAB y de la separación entre portadoras

Figura 36. La señal DAB no tiene portadoras piloto

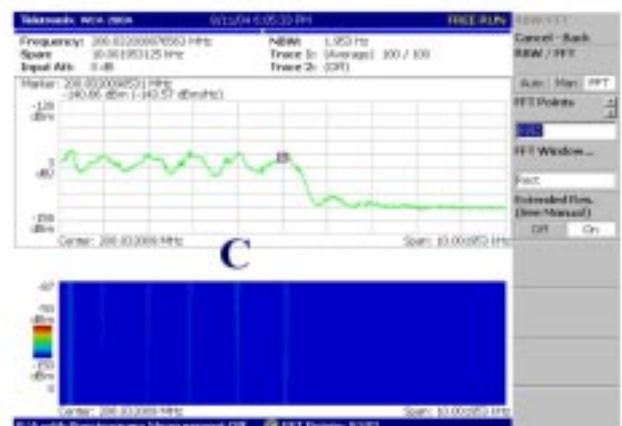
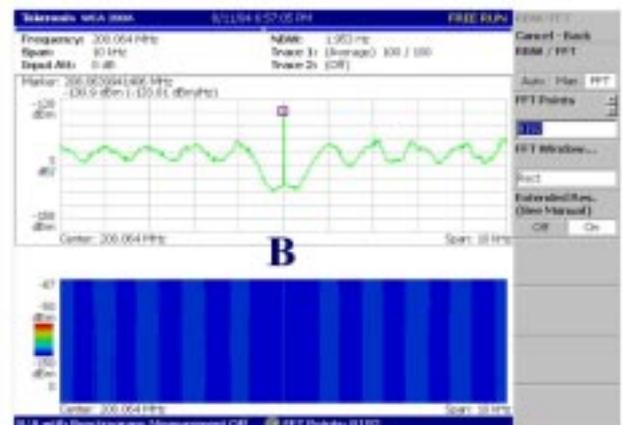


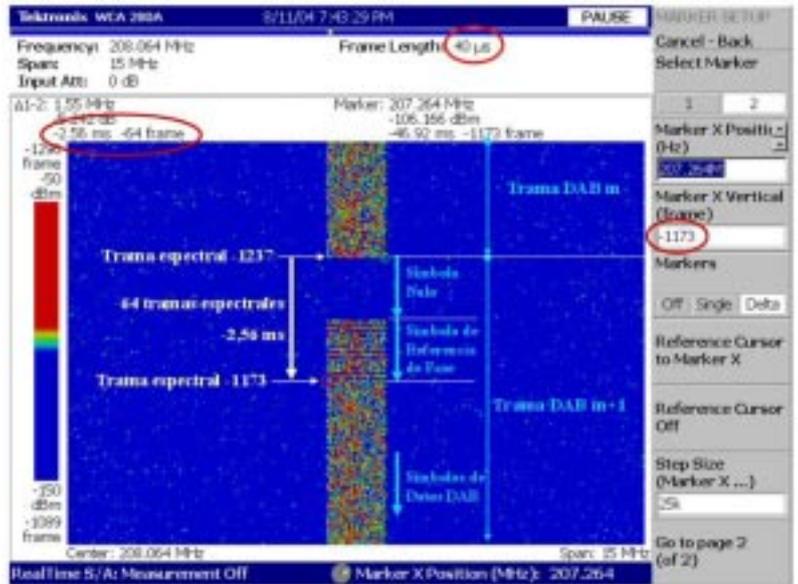
Fig.- 37 Medida del canal de sincronización DAB

símbolos, es decir unos 1,24609 ms cada uno, el primero enviado se denomina símbolo nulo y va seguido de un símbolo de referencia de fase. Al ser el primer símbolo nulo, se especifica que la trama consta de 76 símbolos excluyendo el símbolo nulo.

La medida del canal de sincronización se ilustra en la figura 37 con la adquisición de un espectrograma en tiempo real. Cada trama espectral dura $40 \mu\text{s}$ (para el span seleccionado de 15 MHz) y se puede medir que la duración de cada símbolo DAB está representado, aproximadamente, por 32 tramas espectrales, de modo que los dos símbolos correspondientes al canal de sincronización duran unos 2,56 ms.

Fig.- 38 Medidas de la duración de trama de la señal DAB

La figura 38 muestra dos aspectos de un espectrograma tomado también en tiempo real pero con 2 MHz de span y la duración de las



tramas espectrales es mayor que en el caso anterior, siendo de $320 \mu\text{s}$ cada una.

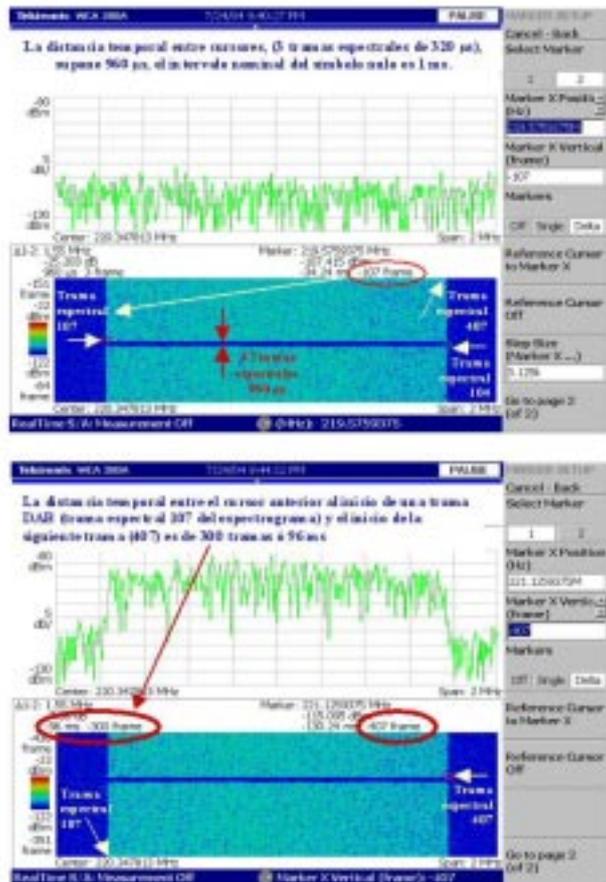
En la figura 38a se muestra el espectro correspondiente a la trama espectral -107, es decir la trama espectral número 107 anterior a la última trama espectral adquirida por el analizador, que se marca como trama espectral 0, esta trama espectral está justamente al final de la trama DAB que se desea medir y se ha situado en el primer espectro correspondiente al símbolo nulo de la siguiente trama DAB (la que está hacia abajo en el espectrograma). Desplazando el espectrograma hacia arriba se llega a la trama espectral 407, que es la que inicia el símbolo nulo de la trama DAB que se desea medir y que empieza con el símbolo nulo justamente debajo de la trama espectral 407 en la figura 38b. La duración de la trama DAB es de 96 ms.

Debido a que las tramas espectrales ($320 \mu\text{s}$) no tienen la misma duración que las tramas DAB (1 ms), ni son múltiplos de ellas, las medidas temporales no se obtienen con la precisión exacta, en realidad en la medida anterior se ha medido una trama espectral de más. También en

la medida de la longitud del símbolo nulo se obtienen tres tramas que suman 960 en lugar de los 1.246 ms.

Las medidas temporales con los analizadores de espectros, trabajando en modo espectrograma, sufren de un cierto principio de indeterminación, de modo que un aumento en la resolución temporal implica pérdida de resolución en el dominio de la frecuencia y viceversa. Esto se puede apreciar comparando las figuras 37 y 39, en las que se ha tomado el espectrograma con un span de 15 MHz y la duración de las tramas espectrales es de $40 \mu\text{s}$, con la figura 38 con span de 2 MHz y tramas espectrales de $320 \mu\text{s}$. La longitud del símbolo nulo se mide aquí como 1,28 ms y en este caso se han obtenido las portadoras auxiliares que opcionalmente se pueden utilizar durante el intervalo correspondiente al símbolo nulo para la identificación de transmisores en las redes.

Como se ha podido comprobar, la señal DAB también tiene sus particularidades que pueden ser analizadas si el instrumento de medida tiene las prestaciones adecuadas. En este caso el espectrograma de tiempo real es la clave para obtener estas medidas.



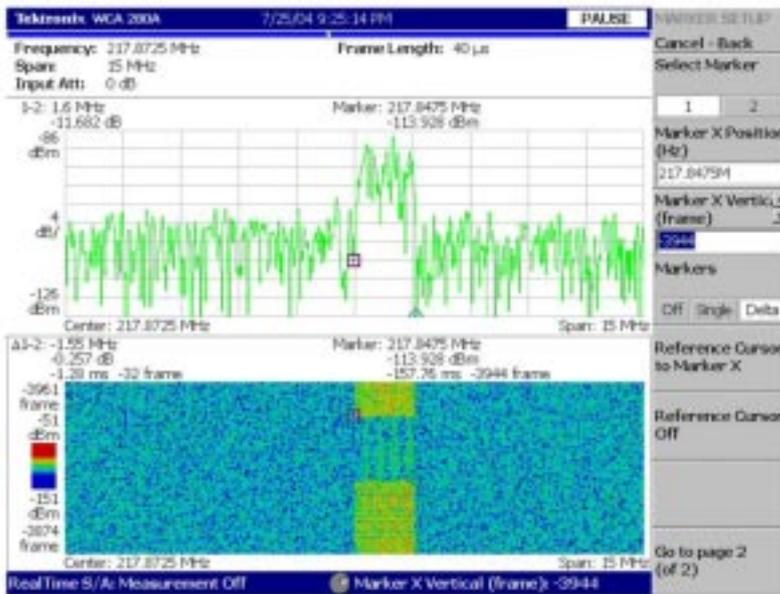


Figura 39. Medidas de la duración de trama de la señal DAB

tiempo real solo si el analizador es capaz de seleccionar el bloque de señal que se ha de adquirir para efectuar dicho análisis. Esto suele estar basado en la capacidad de disparo en el dominio de la frecuencia y en tiempo real, es decir disparo cuando ocurre una condición determinada en el dominio de la frecuencia. Por ejemplo que una de las señales presentes exceda un valor, por arriba o por abajo, aparezca o desaparezca, se desplace en frecuencia o no, con independencia de lo que ocurra con otras señales presentes en el análisis. Un caso concreto es capturar un bloque para su análisis cuando aparece un determinado espurio, o una interferencia, o una intermodulación, o un salto de frecuencia, etc.

Los analizadores de Tektronix disponibles en el mercado tienen diversas combinaciones de características de análisis en tiempo real, dependiendo del modelo y del span principalmente, por ejemplo un equipo puede responder a un criterio de tiempo real para un determinado span y otro diferente para otro span e incluso no ser de tiempo real en otros modos de trabajo.

Las aplicaciones a la TV digital de los analizadores en tiempo real de Tektronix han puesto de manifiesto la conveniencia, cuando no la necesidad, de usar estas potentes herramientas para el análisis espectral de estas señales complejas. Estos análisis no están limitados a las señales de TV, si no que todas las modulaciones digitales con división en el tiempo, en la frecuencia o en ambas, o con saltos de frecuencia, necesitan analizadores potentes que permitan extraer sus parámetros en el dominio de la frecuencia.

La historia de estos analizadores para aplicaciones de tipo comercial se inició en 1989 y se puede considerar que no ha hecho más que empezar..., la evolución de la microelectrónica permitirá disponer cada vez de herramientas más potentes, rápidas y ligeras.

Conclusiones

Se ha dado un vistazo sobre algunas de las posibilidades que ofrecen los analizadores de espectro digitales de tiempo real para aplicaciones en algunos de los modernos tipos de comunicaciones digitales mostrando que, no solo las medidas de potencia en canales digitales y en los canales adyacentes son posibles, si no que, se han explorado las posibilidades de las medidas CCDF en las señales digitales y analógicas, así como el análisis detallado de las particularidades de los detalles sutiles de algunas modulaciones digitales utilizando el espectrograma tanto en su funcionamiento en tiempo real como en muestreo espectral (es decir tomando espectros sin funcionar en tiempo real).

Debe notarse que puede haber diversos criterios para definir cuando un analizador de espectros es de tiempo real o no. La capacidad de desmodular una señal con un cierto "span" seleccionado implica adquisición en el tiempo de modo continuo, o al menos durante el tiempo que se considere necesario para el análisis. Si en estas condiciones, un analizador de espectros puede calcular las

tramas espectrales sin perder ninguna muestra de las tomadas en el dominio del tiempo, este analizador se denomina analizador de espectros de tiempo real, aunque el término más apropiado, en algunos casos, como es cuando cada muestra temporal interviene solo en una trama espectral, sería el de analizador de espectros sin costuras, es decir, "seamless" según la terminología anglosajona.

Hay otro concepto de tiempo real que implica el solapamiento de las tramas temporales para obtener las tramas espectrales siendo en este caso cuando cada muestra temporal interviene en dos o más tramas espectrales, y el número de tramas espectrales, en las que interviene cada muestra temporal, está relacionado con el ancho de banda equivalente del filtro de resolución asociado.

También puede considerarse analizador de tiempo real aquél que puede tomar un período de tiempo suficientemente largo de tiempo como para captar todos los aspectos de la señal que sean necesarios para su análisis y procesar después el bloque entero de señal adquirida, pero en este caso, suele considerarse de