

## Espectrograma y Merograma

Cada vez son más los técnicos interesados en conocer qué es el Espectrograma y para qué sirve, pero ha surgido otro tipo de presentación de datos, el Merograma y las preguntas se repiten. Trataremos contestar con sencillez a estas y otras posibles preguntas.

Para ello comenzaremos con una breve introducción a los conceptos fundamentales de análisis espectral y las modulaciones OFDM.

### 1 – Análisis espectral

El análisis espectral consiste en visualizar las señales eléctricas y de comunicaciones desde un punto de vista distinto al que se usa con un osciloscopio. El osciloscopio permite ver las señales en el dominio del tiempo, de modo que podemos ver en una pantalla como evoluciona una señal a medida que transcurre el tiempo, como ocurre con los registradores de señales. La pantalla tiene el eje vertical calibrado en voltaje y el eje horizontal calibrado en unidades de tiempo.

En el eje horizontal del analizador de espectros podemos seleccionar la zona del espectro que se desea analizar, bien indicando una frecuencia central CENT y un rango de frecuencia denominado SPAN que queremos cubrir, o bien seleccionando desde la frecuencia de INICIO hasta la frecuencia de STOP, véase la Figura 1.

En la parte izquierda de la figura 1 se puede ver la zona del espectro que cubre desde 470 MHz hasta 870 MHz cubriendo así toda la gama de UHF, y en la derecha se ha seleccionado una frecuencia central de 774 MHz, justo entremedias de los canales 58 y 59 con un SPAN de 20 MHz que permite apreciar ambos canales así como la separación entre ellos de forma nítida.



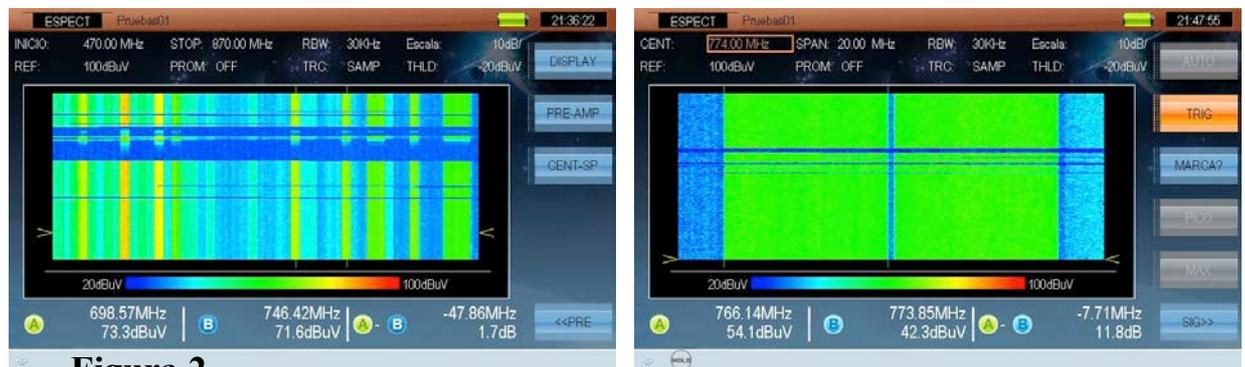
Figura 1

El espectro de una señal es variable en el tiempo y si se repiten varios barridos se puede observar que son distintos, por un lado debido al ruido y por otro lado por las propias características de la señal, por lo que haciendo sucesivos barridos y comparándolos entre sí se puede observar como evoluciona el espectro en función del tiempo, para poder observar estas variaciones es necesario almacenar el resultado de varios barridos y comparar sus amplitudes, así surge el espectrograma.

### 2 – Espectrograma

Imaginemos que vemos los espectros desde arriba y codificando las respectivas amplitudes de señal en una escala de colores, que suele ser arbitrariamente elegida por el fabricante. Con lo que cada espectro consistirá en una línea horizontal coloreada según las distintas amplitudes de las señales.

De este modo el espectrograma en el DTVLINK-3 se construye poniendo cada nuevo espectro que se analiza en la línea inferior del diagrama y cada nuevo espectro que es adquirido “empuja” hacia arriba a todos los anteriores de modo que el más antiguo se pierde por la parte superior del diagrama.



**Figura 2**

De este modo puede comprenderse que el eje horizontal sigue representando la frecuencia de la zona del espectro analizada y el eje vertical ya no representa la amplitud sino el tiempo y así se puede ver como evoluciona el espectro a lo largo del tiempo.

La figura 2 muestra los espectrogramas correspondientes a las condiciones de medida de la figura 1. En ellos se puede observar que existen unas franjas horizontales de tono azul, este tono corresponde a niveles bajos de señal según se indica en la escala de colores de la parte inferior en la que el azul oscuro corresponde a 20 dB $\mu$ V (nivel de ruido del analizador) y el rojo intenso a niveles de señales más fuertes de 100  $\mu$ V en este ejemplo. Estas franjas horizontales azuladas representan los instantes en los que la señal deja de estar presente en el analizador, se provocó artificialmente desconectando la señal de la entrada, mientras que las franjas azuladas verticales, representan el nivel de ruido del analizador en el espacio entre los diversos canales.



**Figura 3**

Con el fin de correlacionar más claramente el espectro y el espectrograma, este instrumento, el DTVLINK-3, tiene otro tipo de presentación en el que la mitad superior de la pantalla se reserva para una presentación convencional del espectro y la parte inferior se usa para el espectrograma, tal como se puede ver en la figura 3.

En esta figura también se ha simulado una pérdida momentánea de la señal, pero durante un tiempo tan corto que solo se pierde una parte de uno de los espectros y así hemos simulado el caso en el que los canales 67, 68 y 69 así como una parte del canal 63 ha desaparecido en la figura de la izquierda.

Igualmente una parte del canal 59 ha desaparecido en el espectrograma de la derecha, pero esto solo ha ocurrido durante el espectro indicado por las marcas >> de las figuras, que,

a modo de cursor, representan cual de todos los espectros de cada espectrograma es el mostrado como espectro convencional de la parte superior de las capturas de la figura 3.

El espectrograma tiene, pues, la virtud de mostrar la evolución del espectro de las señales a lo largo del tiempo.

### 3 - Merograma

En una modulación digital de una sola portadora se puede medir el MER (Modulation Error Ratio), es decir Relación de Error de Modulación, que es una medida que indica si la posición de los vectores de la constelación está exactamente en su sitio o no. Cada punto de la constelación representa un símbolo de datos que lleva la información correspondiente a uno o varios bits dependiendo del tipo de modulación empleado.

Cuanto mayor es el MER mejor es la calidad de la señal recibida y existe un umbral para el MER, de modo que si está por debajo de un cierto nivel el número de errores de bits es irre recuperable. Este umbral es diferente para cada modo de trabajo y para cada tipo de modulación.

En el caso de la televisión digital por vía terrestre DVB-T y sus derivados hay muchas portadoras de datos moduladas en modo QPSK o QAM por cada símbolo de señal transmitida y es posible medir el MER individual de cada portadora así como el MER conjunto de todas ellas. Cuando se evalúa la calidad recibida en un canal se valora el MER global, pero cuando se quiere analizar la causa de que dicho MER sea mejor o peor conviene analizar el MER individual de cada portadora.

En la figura 4 se pueden ver las constelaciones correspondientes a los canales 35 y 49, junto con la medida del MER global correspondiente. Se puede apreciar que la calidad del canal 49 es superior a la del 35 (tal como se recibe en el lugar donde se tomó la señal), la constelación del canal 49 es más nítida y los puntos están más agrupados y centrados en los recuadros correspondientes y como consecuencia el MER es mucho mejor, >30 dB, que el MER del canal 35, que se ha medido como 21,6 dB.



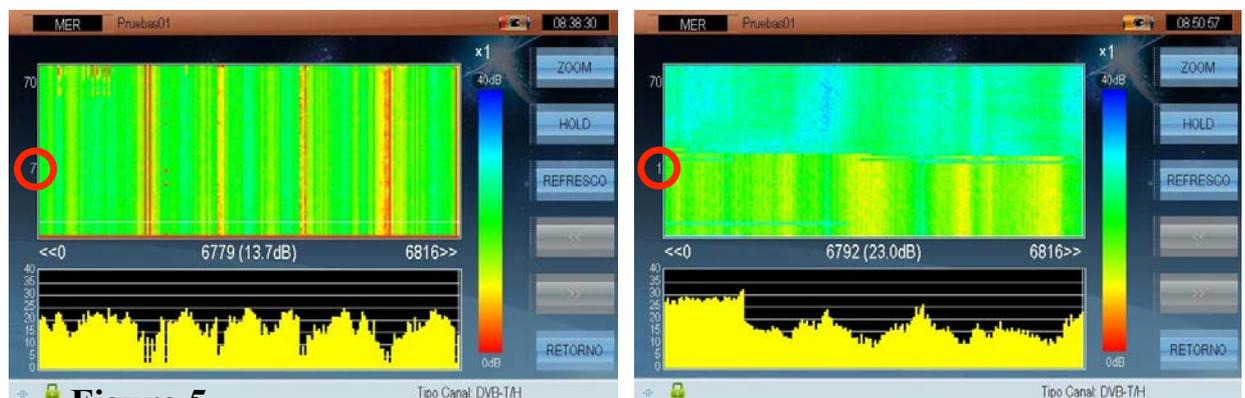
Figura 4

En el modo de modulación empleado, el MER mínimo es de unos 19 dB, por lo que ambos canales se pueden decodificar perfectamente y la imagen no se ve afectada en absoluto por esta diferencia de valor de MER medido. Puede verse, como consecuencia de la constelación, que el CBER es menor que  $10^{-5}$  (1 bit de error por cada 100.000 bits recibidos) en el canal 49 que es de tres órdenes de magnitud mejor que el del canal 35 con  $1,2 \times 10^{-2}$  (un promedio de 1,2 bits de error por cada 100 bits recibidos).

A pesar de esta diferencia, el canal 35 se puede descodificar perfectamente, pues el sistema de FEC con el descodificador convolucional de Viterbi es capaz de reducir la tasa de error a  $4,8 \times 10^{-7}$ , (un promedio de 4,8 bits por cada 10.000.000 recibidos) que es lo que se entrega al descodificador Reed-Solomon, que es la siguiente etapa de corrección de errores y es similar a lo conseguido en el canal 49 ( $<1 \times 10^{-7}$ ), que, en ambos casos, es una tasa muy inferior al límite que se puede recuperar con el sistema de corrección de errores de Reed-Solomon.

Este límite es del orden de  $2 \times 10^{-4}$  ( el límite indica que, en promedio este descodificador puede corregir hasta 2 errores por cada 10.000 bits recibidos) así que este sistema corrige los errores restantes y la imagen y sonido de los diferentes servicios transmitidos en estos canales se reproducen con toda la calidad de la que se disponía en la cabecera del canal.

Si, a pesar de los casi 9 dB de diferencia en MER, ambos canales se pueden ver perfectamente, ¿porqué preocuparse por la constelación o el MER?, al fin y al cabo parece que todos los errores pueden corregirse. En realidad sí que importa, pues el canal 35 de este ejemplo es más susceptible de producir errores irre recuperables si las condiciones atmosféricas, o los posibles ecos e interferencias, cambian la señal a peor. El canal 49 se comportará de modo más robusto ante cualquier interferencia. Así que, cuanto mayor sea el valor del MER, mejor.



**Figura 5**

En el caso de la modulación OFDM se pueden ver y medir los valores de MER de cada portadora a lo largo de varios símbolos y se puede ver la evolución en el tiempo gracias a un concepto derivado del espectrograma y denominado merograma. En la figura 5 se puede ver en la parte inferior de cada pantalla (en amarillo) una representación del valor de MER de cada una de las 6.917 portadoras que existen en el modo de 8k utilizado por estos canales 35 (izquierda) y 49 (derecha) y puede comprenderse por qué el MER global es peor en el canal 35.

La escala vertical va calibrada de 0 dB (el peor de los casos) hasta 40 dB (el mejor) y se puede ver que en el canal 35 (izquierda) algunas portadoras son completamente irre recuperables con valores por debajo de 10 dB , e incluso, de 5 dB.

La parte superior de las pantallas representan el Merograma que se construye de una manera similar a la del espectrograma. El valor de MER se codifica en colores, de modo que al peor MER (0 dB) se le asigna el color rojo y al mejor (40 dB) se le asigna el azul oscuro. Cada grupo de medidas del MER, que se calcula a lo largo de varios símbolos de emisión, se representa en una de las líneas horizontales que se van añadiendo al diagrama por la parte superior (al contrario que en el espectrograma, esto solo es una decisión de diseño sin mayor importancia).

En ambos diagramas se representan 70 líneas con el MER de las portadoras, que es el máximo almacenado y una de ellas es la representada abajo (en amarillo). El equipo permite hacer zoom para ver en detalle cada portadora, pues las 6.817 no se pueden apreciar sobre una pantalla pequeña.

## Espectrograma y Merograma

Con este sistema, cada conjunto de medida de MER de varios símbolos con las portadoras individuales se muestra como una línea horizontal codificada en colores y al ponerlas consecutivas permite la comparación y su evolución en el tiempo.