

DPX, la herramienta revolucionaria para descubrir, disparar, capturar y analizar señales de RF muy poco frecuentes (1)

Artículo cedido por Tektronix. Inc.



Traducido y adaptado por Juan Ojeda de AFC Ingenieros S.A. (jojeda@afc-ingenieros.com)

La detección es el primer paso para la caracterización, el diagnóstico, la comprensión y la solución de cualquier problema relativo a las señales que varían a lo largo del tiempo. A medida que el espectro de RF está más poblado, las nuevas aplicaciones que utilizan transmisiones inalámbricas y sistemas de RF se basan cada vez más en técnicas digitales y los ingenieros necesitan mejores herramientas que les ayuden a encontrar e interpretar comportamientos e interacciones complejas.

La tecnología de Fósforo Digital DPXTM patentada por Tektronix se utiliza en los analizadores de espectro de tiempo real (RTSA) para revelar los detalles de la señal que no pueden descubrir los analizadores de espectro convencionales y los analizadores de señales vectoriales. La visualización en vivo "full motion" mediante DPX del espectro de RF muestra las señales de RF en la pantalla de una forma nunca antes vista, dando a los usuarios una visión instantánea de los problemas y acelerando enormemente su descubrimiento y diagnóstico. La tecnología DPXTM es estándar en todos los RTSAs de Tektronix.

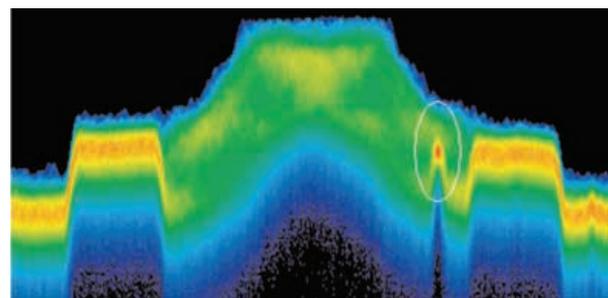


Figura 1. La señal dentro del círculo muestra una señal interferente de banda estrecha dentro de una señal de radio en FM de alta definición.

Este artículo sobre fundamentos describe los métodos para conseguir una representación en vivo del espectro de RF mediante DPXTM, como utilizar DPXTM en barridos de gran ancho de banda (Swept DPX), como realizar disparos por densidad espectral con DPXTM (DPX Density™ trigger) y como realizar medidas de densidad espectral utilizando DPXTM.

- **Swept DPX:** revoluciona el análisis del espectro ampliando la ventana de frecuencia (Span) y utilizando DPX hasta cubrir todo el ancho de banda del instrumento (hasta 20GHz). El analizador adquiere amplias ventanas de frecuencia (Span) divididas una serie de segmentos obtenidos en tiempo real con DPX que se obtienen consecutivamente y los fusiona finalmente en la pantalla a una velocidad increíble.

- **DPX Density™ trigger:** es una forma completamente nueva de capturar las señales descubiertas inicialmente al utilizar DPXTM. En

muchos casos, es la única manera de capturar las señales que se esconden detrás de otras señales. Aunque a veces el sólo hecho de ver estas señales en la pantalla utilizando DPXTM es suficiente para iniciar el camino hacia el diagnóstico, a menudo es importante adquirir un registro de datos de la señal para su posterior análisis.

Como ejemplo, en la Figura 1 se muestra una señal difícil de distinguir que en este caso es una inesperada transmisión de banda estrecha dentro de una señal de FM. Hasta ahora no había ningún método para disparar en el dominio del tiempo o de la frecuencia que permitiese disparar y aislar este tipo de eventos. El disparo por densidad espectral proporciona un método para disparar en base a la persistencia de la señal.

Los avances adicionales dentro de la segunda generación de prestaciones y funcionalidad del DPX incluyen importantes incrementos en la velocidad y la resolución del eje-z. Las transformadas del espectro son más rápidas (> 290.000 por segundo) garantizando la captura de eventos más corta de duración, hasta 10,3 μ seg y una mejor representación visual de las señales transitorias. La mayor resolución en el eje Z proporciona medidas precisas de la densidad de la señal en cualquier punto frecuencia/amplitud en el gráfico del espectro DPX visible

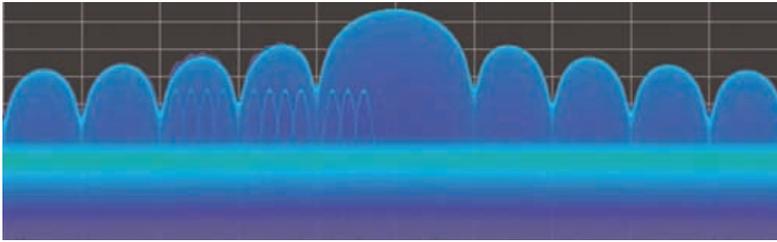
en la pantalla. La escala de colores para el eje Z (densidad espectral) se ha mejorado mediante la adición de la posibilidad de mapeado por parte del usuario. El usuario puede ahora ajustar el rango de colores a los extremos máximo y mínimo de densidad espectral haciendo que la variación de color (densidad) sea mejor percibida.

Algunas características de automatización que funcionan con un solo clic del ratón hacen que se puedan utilizar estas nuevas y valiosas capacidades a los pocos minutos de encender el instrumento. La primera de ellas es el "Auto-Color" que ajusta rápidamente la gama de colores del mapa de bits obtenido con DPX para que las señales se muestren de una forma real y apropiada. El otro es el de disparo "Trigger On This™", un menú desplegable de selección que activa el disparo por densidad espectral y establece los parámetros que permiten capturar la señal que se ha seleccionado con un clic del ratón.

Las capacidades y características de DPXTM a las que se hace referencia en este artículo pueden no estar disponibles en todos los analizadores de espectro de Tektronix. Las funcionalidades descritas se encuentran en los analizadores de espectro de la serie RSA6000 cuando están dotados de algunas opciones.

La visualización mediante DPX

Gracias a la visualización del espectro de RF mediante DPX se pueden detectar y medir con precisión transitorios q de tan breve duración como 10,3 μ seg. Un hardware dedicado calcula hasta 292.000 espectros por segundo a partir de la señal de entrada digitalizada. A continuación se muestran todos estos espectros como un mapa de bits de color gradual que revela las señales de baja amplitud que están inmersas dentro de señales más fuertes que comparten la misma frecuencia en diferentes momentos.



En la figura 2 se muestra la señal más fuerte del espectro de RF obtenido mediante DPX que corresponde a un pulso que se repite a una frecuencia fija. También hay una señal de CW de más baja potencia que aparece esporádicamente dentro del mismo span saltando en frecuencia (bluetooth). Durante el tiempo que el pulso está activo, la potencia de las dos señales se suma, lo que da como resultado que las diferencias en la forma de la envolvente del impulso sean casi imperceptibles. Pero cuando el pulso no está activo, la señal con saltos de frecuencia (bluetooth) se detecta y muestra su verdadera forma. Ambas señales son al final visibles en el mapa de bits, porque al menos un ciclo completo de su actualización se produce dentro de una actualización de pantalla cuando se utiliza DPX.

Se puede ahora comparar la pantalla obtenida con un analizador de espectro tradicional de barrido (Figura 3) con la de un analizador de espectro de tiempo real obtenida mediante DPX (Figura 4). La señal capturada es un intercambio de datos típico mediante WLAN entre un PC (cercano) y un punto de acceso (AP) a la red

(más distante). La señal del ordenador portátil es casi 30 dB más fuerte que la señal del punto de acceso al estar más cerca el ordenador de la antena de medida.

La visualización en pantalla mediante el analizador de espectro tradicional de barrido, figura 3, utiliza trazas en la pantalla que representan un solo nivel de potencia para cada punto de frecuencia, el mayor, el menor o el valor medio. Después de muchos barridos, la traza obtenida con "Max-Hold" muestra una envolvente aproximada de la señal más fuerte del ordenador portátil. Se seleccionó también la "Detección de picos positivos" para intentar obtener otra traza con las señales más débiles y también más frecuentes del punto de acceso, pero al ser las ráfagas de esas señales muy breves, la probabilidad de ver una en cualquier barrido era muy pequeña. Para capturar el espectro completo de la señales se necesitaría invertir mucho tiempo porque estadísticamente la probabilidad de capturar las ráfagas de señales era muy baja debido a la arquitectura de los analizadores de espectro de barrido.

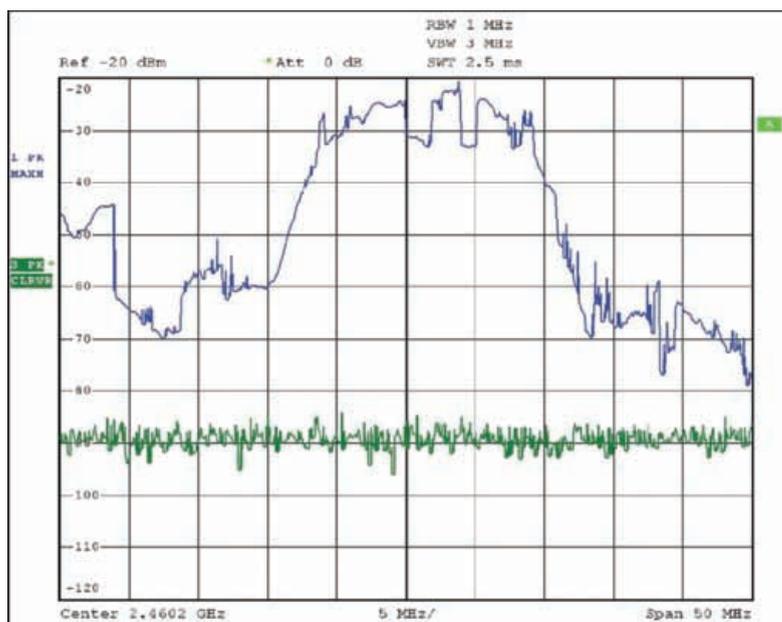


Figura 2. La visualización del espectro de RF mediante DPX revela señales de baja amplitud dentro de otras de mayor nivel.

Flujo simplificado del procesamiento multi-etapa del espectro desde la entrada de RF

La visualización en pantalla del espectro obtenido mediante DPX (Figura 4) proporciona una percepción visual más profunda de la misma señal. Puesto que se trata de una imagen basada en un mapa de bits en lugar de una traza, se pueden distinguir muchas señales diferentes que ocurren dentro de cada período de actualización de la pantalla y/o diferentes versiones de la misma señal al ser ésta variable en el tiempo.

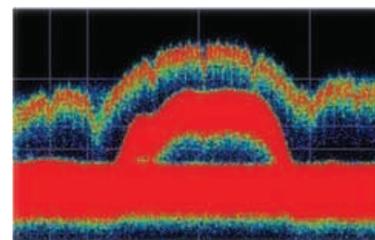


Figura 4. La serie RSA6000 muestra la señal Wi-Fi del ordenador portátil, la señal de punto de acceso y el ruido de fondo, todos en un mapa de bits que se actualizan en vivo.

La banda más ancha que aparece en el tercio inferior de la gráfica es el ruido de fondo que ni el portátil, ni el punto de acceso están transmitiendo. La señal en rojo que aparece sobre la mitad de la pantalla corresponde a la señal del punto de acceso cuando está activo. Por último, el espectro más variado que está por encima de las anteriores corresponde a la transmisión del ordenador portátil. En el esquema de colores utilizado para esta demostración ("Temperature"), el color rojo vivo indica una señal que es mucho más frecuente que las señales se muestran con colores más fríos. La señal del ordenador portátil que tiene colores amarillos, verdes y azules, es de mayor amplitud, pero no ocurre tan a menudo como las transmisiones del punto de acceso porque el ordenador portátil estaba descargando un archivo cuando se capturó esta pantalla.

¿Cómo trabaja DPX?

Esta sección explica cómo se crean las pantallas espectro DPX. Como es usual en un analizador de espectro, la entrada de la señal de RF se acondiciona y convierte a baja frecuencia y luego se digitaliza. Los datos digitalizados se envían a una

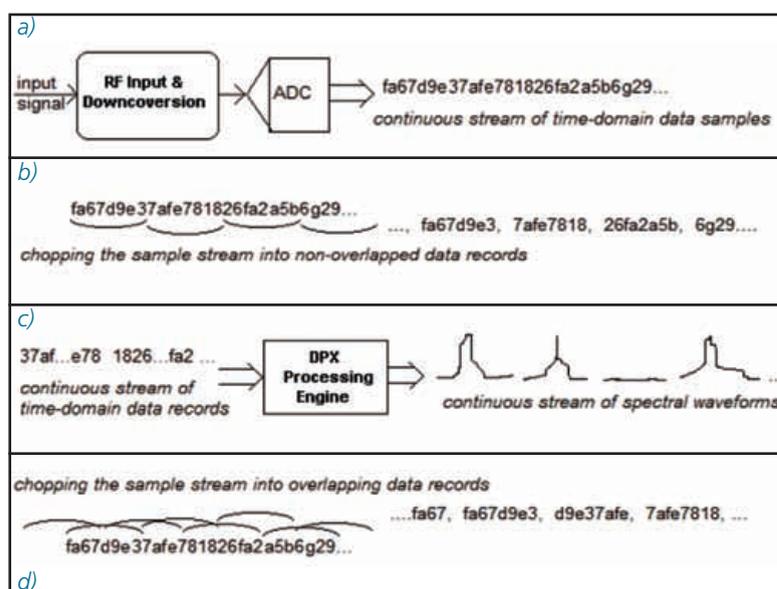
Figura 3. Trazas obtenidas con un analizador de espectro de barrido en los modos "Normal" y "Max-Hold" utilizando en ambas la detección de picos. La traza "Max-Hold" muestra la señal Wi-Fi más fuerte del Laptop (cercano), pero no muestra la señal más débil del punto de acceso Wi-Fi (más lejana).

Figura 6. Ejemplo de base de datos de un mapa de bits en 3D después de una actualización (arriba) y después de nueve actualizaciones (abajo). Hay que tener en cuenta que cada columna contiene el mismo número total de "hits", en otras palabras, como cada traza pasa siempre sobre algún píxel de cada columna, el número de píxeles "tocados" dentro de cada columna es igual al número de trazas utilizadas en cada actualización de la pantalla.

FPGA que calcula las transformadas del espectro muy rápidamente y las formas de onda resultantes en el dominio de la frecuencia se rasterizan para crear mapas de bits. El mapa de bits DPX que se ve en la pantalla está compuesto de píxeles que representan los valores X, Y y Z correspondientes a la frecuencia, amplitud y número de veces que una traza ha pasado por ese píxel de la pantalla (algunos instrumentos se pueden actualizar para que el eje Z mida densidad espectral en lugar del número de veces que una traza ha pasado por ese píxel de la pantalla). El proceso multi-etapa mostrado en las figuras 5a a 5d, crea este mapa de bits, a partir de la conversión analógico/digital de la señal de entrada.

de corta duración. Mientras que las transformadas espectrales se llevan a cabo más rápido que la adquisición de los datos, éstas se pueden superponer en el tiempo de forma que los eventos espectrales no lleguen a perderse entre ellas. La longitud mínima del evento para garantizar completamente una captura depende de la longitud de los datos transformados. Un evento debe durar dos registros de datos consecutivos para que su amplitud pueda medirse con precisión. Los eventos de más corta duración pueden detectarse y visualizarse en la pantalla, pero su amplitud puede resultar reducida. La configuración del filtro de resolución RBW del DPX determina la longitud del registro de datos; los filtros RBW estrechos tienen una constante de tiempo mayor que

Figura 5a. Las señales de radiofrecuencia se convierten a baja frecuencia y se muestrean para obtener un flujo continuo de datos.
 Figura 5b. Las muestras se dividen en segmentos de datos para su procesamiento basado en FFT de acuerdo al ancho de banda de resolución seleccionado.
 Figura 5c. Los datos se procesan con el motor de transformación DPX.
 Figura 5d. En algunos RTSAs se utiliza el procesamiento con solapamiento de FFTs para mejorar el procesamiento de los eventos de corta duración.



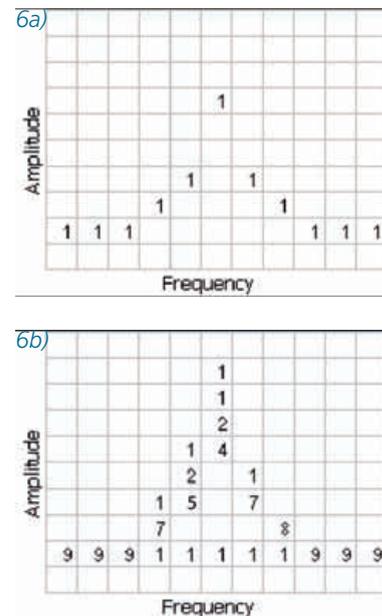
Recolección de datos espectrales

El muestreo y la digitalización son continuos. Cada registro digitalizado produce continuamente formas de onda espectrales

- a) Las señales de RF se convierten a baja frecuencia y se muestrean para producir un flujo continuo de datos.
- b) Las muestras se dividen en segmentos de datos para su procesamiento basado en FFT de acuerdo al ancho de banda de resolución seleccionado.
- c) Los datos se procesan con el motor de transformación espectral DPX.
- d) En el caso de algunos productos, se utiliza el procesamiento con solapamiento de FFTs para mejorar la resolución temporal de los eventos espectrales

los anchos. Esta constante de tiempo de mayor duración requiere transformadas espectrales de mayor longitud, lo cual reduce la velocidad de su procesamiento. Más adelante veremos detalles adicionales sobre la duración mínima de una señal y la captura garantizada de eventos rápidos.

Las formas de onda espectrales se representan en una cuadrícula con celdas (píxeles) que poseen un contador y a esto se le llama "base de datos del mapa de bits". El número de cuentas de cada celda de la base de datos corresponde al valor del eje Z. Para simplificar, se utilizará como ejemplo una cuadrícula de 11x10 celdas (Figura 6), por ello nuestra forma de onda espectral constará de solo 11 puntos (frecuencia, eje X) y 10 niveles de potencia (amplitud,



eje Y). Cada forma de onda digitalizada tendrá un valor de amplitud "Y" para cada frecuencia "X" y el incremento del contador de cada celda proporcionará el valor del eje "Z", este valor se incrementará cada vez que una nueva traza pase por una de las celdas (píxeles).

La cuadrícula de la figura 6a muestra el contenido de las celdas de la base de datos después de la digitalización y transformación de un espectro único. Las celdas en blanco tienen sus contadores a cero, lo que significa que la traza del primer espectro digitalizado no ha pasado por encima de ellos.

La cuadrícula de la figura 6b muestra los valores que nuestra base de datos simplificada podría contener después de la digitalización y transformación de ocho espectros adicionales. Uno de los nueve espectros se calculó durante el tiempo que la señal estaba ausente, como se puede deducir observando la cadena de "1" al nivel del ruido de fondo (valores de X de 4 a 8).

Actualización de la pantalla

La velocidad máxima de ejecución de las transformadas de frecuencia de longitud variable para producir esas formas de onda puede ser superior a 292.000 por segundo. Los ajustes de medida que hacen más lentas estas transformaciones son la reducción del ancho de banda del filtro de resolución (RBW) y el incremento del número de puntos de las trazas para la visualización del espectro con DPX junto con la creación

del mapa de bits. Incluso a la velocidad más lenta, las transformadas espectrales se llevan a cabo varios órdenes de magnitud más rápido que un display físico puede responder y también, demasiado rápido para que los seres humanos lo puedan ver; así que, no hay necesidad de actualizar la pantalla o las medidas a esa velocidad. En cambio, la cuadrícula reúne miles de formas de onda para formar una pantalla de una duración cercana a 50 milisegundos. Una pantalla de 50 msec contiene hasta 14.600 formas de onda. Una vez que las formas de onda de cada pantalla se han mapeado en la cuadrícula, los contadores de cada celda se convierten en colores y se escriben en el mapa de bits de DPX, dando como resultado una velocidad de actualización de los mapas de bits (actualización de la pantalla del instrumento) de alrededor de 20 por segundo.

El tiempo de actualización de una pantalla establece la resolución temporal de las medidas con DPX. Si el mapa de bits muestra que una señal de -10 dBm a 72,3 MHz estuvo presente durante el 10% de la duración de la pantalla (5 ms de 50 ms), no es posible determinar en la pantalla obtenida con DPX si la señal real contenía un solo pulso de 5 ms, cien pulsos de 50 μ s pulsos o algo intermedio. Para obtener esta información, es necesario examinar los detalles espectrales de la señal o utilizar otra pantalla con resolución temporal más fina, tales como las ventanas de frecuencia en función del tiempo o de amplitud en función del tiempo.

Conversión del valor de los contadores de las celdas en colores

Con una frecuencia cercana a 20 veces por segundo, los valores de la cuadrícula se transfieren al siguiente paso del proceso, en el cual los valores del eje Z se asignan a los colores de los píxeles en el mapa de bits visibles, convirtiendo los datos en información (Figura 7). En este ejemplo, los colores cálidos (rojo, naranja, amarillo) indican un mayor número de ocurrencias. La paleta de colores es seleccionable por el usuario, pero por ahora vamos a suponer que se utiliza la paleta por defecto de "temperatura".

En la figura 8 se puede ver el resultado de la coloración de las celdas de la base de datos según el número de veces que cada contador de las celdas fue

incrementado por la traza de cada uno de los nueve espectros, dando como resultado una imagen espectacular.

Además de la elección de la paleta, hay ajustes para la escala del eje Z como "Máximo", "Mínimo" y "Curve". "Maximum" establece el valor del número de ocurrencias que se asignará al color de más alto nivel de la paleta. "Minimum" establece el valor del número de ocurrencias que se asignará al color de más bajo nivel de la paleta. En la paleta de "temperatura", el color de mayor nivel es el rojo oscuro y el de menor nivel el azul oscuro. Los valores de ocurrencia inferiores al valor seleccionado de "Minimum" se representan con píxeles negros y los píxeles que superan el valor seleccionado de "Maximum" lo hacen con rojo oscuro, pero algo transparentes. Los valores que se encuentran entre "Maximum" y "Minimum" se representan mediante los otros colores de la paleta.

El ajuste del valor "Minimum" sobre el nivel predeterminado de negro permite concentrar la mayor parte de la resolución mediante colores en un rango medio o pequeño del número de ocurrencias para así discriminar visualmente diferentes señales que tienen valores casi iguales de probabilidad.

Para ver por qué la escala de color es útil, se pueden comparar las figuras 9 y 10. En la pestaña "Scale", el control de "Max" está ajustado al 100% (Figura 9). La gama de colores abarca

Number of Occurrences	Color
0	black
1	blue
2	light blue
3	cyan
4	green blue
5	green
6	yellow
7	orange
8	red orange
9	red

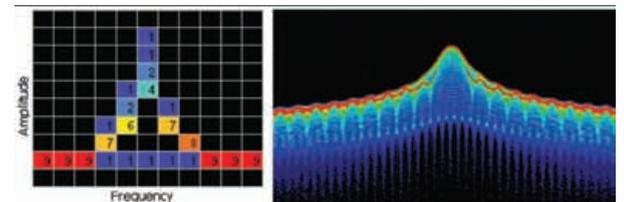


Figura 7. Ejemplo del algoritmo de asignación de colores.

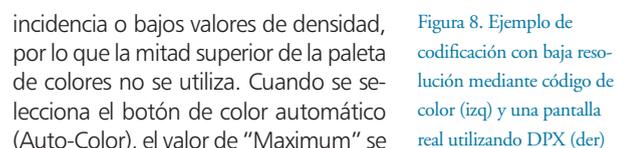


Figura 8. Ejemplo de codificación con baja resolución mediante código de color (izq) y una pantalla real utilizando DPX (der)

incidencia o bajos valores de densidad, por lo que la mitad superior de la paleta de colores no se utiliza. Cuando se selecciona el botón de color automático (Auto-Color), el valor de "Maximum" se ajusta al valor más elevado de los contadores de los píxeles (celdas) del mapa de bits (Figura 10). Por ello, ninguno de los colores disponibles permanece sin ser utilizado. La paleta entera se asigna a los valores de las ocurrencias presentes en el momento en el que se selecciona botón, proporcionando mejor resolución visual en el caso de las densidades más para bajas. Al seleccionar el botón de escala automática (Autoscale) cuando se utiliza DPX se ajustan las escalas en los tres ejes de acuerdo a los resultados actuales. (Continuará)

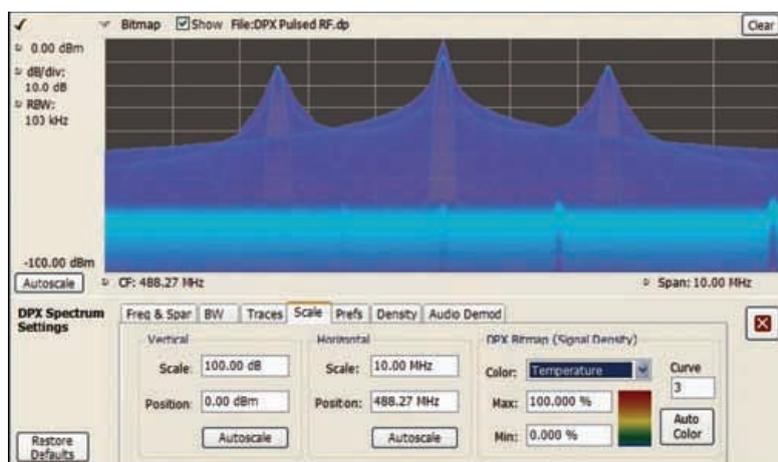


Figura 9. Visualización del espectro mediante mapa de bits DPX (densidad de señal) con el ajuste predeterminado de la curva de color.

ahora el rango completo del eje Z para densidades comprendidas entre 0% y 100%. Las señales utilizadas para crear este mapa de bits son bastante difusas, tanto en frecuencia como en amplitud, por lo que la mayoría de los píxeles tienen sus contadores reflejando una baja

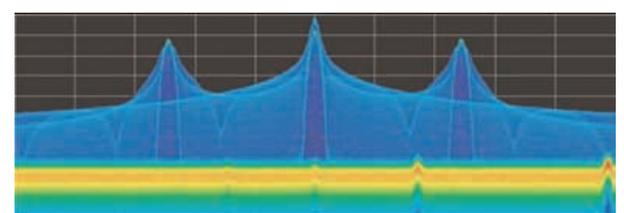


Figura 10. La selección automática del color maximiza el espectro de colores utilizados para representar el mapa de bits.