

DPX, la herramienta revolucionaria para descubrir, disparar, capturar y analizar señales de RF muy poco frecuentes (2)

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.

Curvas de asignación de colores

La correspondencia entre los valores del eje Z y el color no tiene por qué ser lineal. El control de la curva permite elegir la forma de la ecuación de asignación. Un ajuste de la curva a 1 selecciona una relación directa. Los números más altos de ajuste de la curva mueven la curva hacia arriba y hacia la izquierda, concentrando la resolución del color en las densidades espectrales más bajas. Un ajuste de la curva inferior a 1, desplaza la gama de colores hacia los valores de mayor densidad espectral.

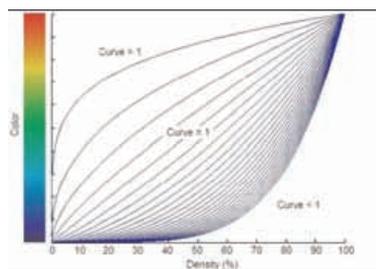
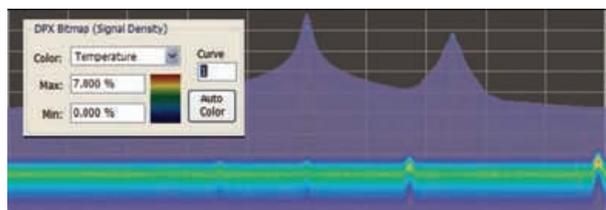


Figura 11. Asignación de la curva de color en el caso de la paleta de "temperature".

Figura 12. Curva de color ajustada a 1 para un rango estrecho de densidad de la señal (0%-7%).



La figura 11 muestra las curvas de asignación. Utilizando el mismo ejemplo mostrado en las Figuras 9 y

10 para analizar los efectos del ajuste de la escala de color, se puede observar el impacto del ajuste del control de la curva (Curve). Cuando se ajusta el control de la curva a 1 en la pestaña de "Scale", como se muestra en la figura 12, se puede observar como la ilustración de la paleta de color a la izquierda del control "Curve" cambia cuando se varía su valor. Cuando la asignación es lineal, los colores se reparten sobre el rango completo de la densidad.

Cuando el control de curva se ajusta al valor de 0,5, como se muestra en la figura 13, la resolución de color es mejor en la mitad superior del rango de densidad y el azul oscuro se asigna a las densidades espectrales por debajo del 50%. En la figura 14, el control de curva se incrementa a 3. La mayoría de los colores se desplazan hacia la mitad inferior de la escala de densidad, pero todavía hay disponibles varios tonos de naranja y el rojo para densidades superiores al 50%.

Barrido de grandes anchos de banda utilizando DPX

El espectro que se puede visualizar utilizando DPX no está limitado al ancho de banda en tiempo real. Al igual que la visualización con un analizador de espectro normal, el espectro visualizado con DPX puede aplicarse a múltiples segmentos de frecuencias adquiridos cada uno en tiempo real y en momentos sucesivos,

construyendo una imagen en la pantalla que representa un gran ancho de banda al fusionar trazas y mapas de bits de segmentos consecutivos. El analizador permanece dentro de cada segmento de frecuencias hasta capturar una o varias pantallas utilizando DPX, donde cada pantalla es el resultado de hasta 14.600 transformadas espectrales. El tiempo de permanencia es regulable y se puede monitorizar cada segmento durante hasta 100 segundos antes de pasar al siguiente segmento. Mientras se explora cada uno de los segmentos, la probabilidad de interceptación de señales dentro de dicha banda de frecuencias es la misma que en condiciones normales (ancho de banda de tiempo real): 100% de probabilidad de captura de eventos tan breves como 10,3 seg. Para la representación en la pantalla se crea un mapa de bits completo para todos los segmentos y se comprime horizontalmente para obtener el número de columnas necesarias para mostrar unida la serie de segmentos de frecuencia. La compresión es realizada mediante un promedio de densidad de los píxeles correspondientes a los puntos que se combinan juntos. El mapa de bits del barrido final contiene una representación de la misma resolución que el mapa de bits de los píxeles, como los mapas de bits obtenidos sin barrido. Las trazas se crean también en su totalidad para cada segmento y luego se comprimen horizontalmente de acuerdo al número de puntos por traza seleccionado por el usuario para obtener la ventana de frecuencia completa (span).

Se ha implementado un algoritmo complejo para determinar el número y la anchura de cada segmento de frecuencia. Las variables en la ecuación incluyen los ajustes por parte del usuario de los controles, como el Span, el ancho de banda del filtro de resolución (RBW) y el número de puntos de la traza, la optimización de RF y FI y el ancho de banda de la adquisición. Las opciones

de hardware instaladas pueden afectar también a la segmentación de la ventana de frecuencia. El número de segmentos varía entre 10 y 50 para cada tramo de 1 GHz del barrido. Una información útil para los operadores es el ancho de banda real de adquisición que se utiliza para la captura de cada segmento. El ancho de banda de la adquisición (Adq BW) se muestra en el panel de control en la pestaña titulada "Sampling Parameters". El valor de "Adq BW" se ajusta normalmente de forma automática por el instrumento en base a las necesidades de todas las pantallas abiertas, pero también se puede configurar manualmente. En cualquier caso, el ancho de banda visualizado es utilizado por cada segmento de frecuencia cuando se utilizan barridos de frecuencia cuando se utilizan barridos con DPX. La anchura de los segmentos está optimizada para obtener el mejor rendimiento.

El rango entero de frecuencias del instrumento, que puede ser de hasta 20GHz, puede ser cubierto con un barrido utilizando DPX. Un simple control permite ajustar la cantidad de tiempo que el barrido utilizando DPX dedica a cada segmento. Este control, marcado con un círculo en la figura 16, se puede ajustar entre 50 ms y 100 segundos.

Captura de garantizada de eventos rápidos

La razón principal por la que los analizadores de espectro tradicionales no pueden proporcionar el 100% de probabilidad de interceptación (POI) se debe a que solo sintonizan cada frecuencia de cada segmento durante un breve periodo de tiempo en cada barrido. Si algo ocurre en cualquier parte de la ventana de frecuencia (span) que no se está sintonizando en ese instante, el evento no se detecta, ni se muestra. También existe un período de tiempo entre barridos, llamado tiempo de retrasado, durante el cual el analizador no está prestando atención a la señal de entrada. Los analizadores basados en FFTs, incluyendo los analizadores de señales de vectoriales, también pierden de vista las señales durante el tiempo que transcurre entre las adquisiciones. Su probabilidad de interceptación depende de una com-

binación de factores, incluyendo la ventana de frecuencia (span), número de puntos sobre los que se aplica la FFT, el tiempo de adquisición, el tiempo de lectura/escritura en la memoria y la velocidad de procesamiento de las señales. Los analizadores vectoriales procesan la información de forma secuencial, de modo que cuando se leen/escriben los datos y tiene lugar su procesamiento, no se están adquiriendo nuevos datos.

Por otro lado, los RSAs capturan los datos de todas las frecuencias dentro de la ventana de frecuencia (span) de tiempo real en cada adquisición. Con las características exclusivas de Tektronix como son, el disparo mediante máscara de frecuencia (FMT: Frequency Mask trigger) y el disparo por densidad espectral (DPX Density trigger), la probabilidad de interceptación se incrementa hasta el 100%, asegurando la captura de cualquier evento espectral que se ajuste a las condiciones de disparo. Cuando se hace funcionar al RSA en modo continuo no disparado (Free Run), como un analizador de espectro tradicional, el RSA tiene una probabilidad de interceptación (POI) similar a otros analizadores de tipo FFT, apareciendo espacios en blanco entre cada adquisición. El procesamiento se realiza simultáneamente con las adquisiciones.

Captura garantizada para anchos de banda de tiempo real utilizando DPX

La visualización del espectro mediante DPX permite capturar cualquier señal que dure un tiempo de al menos 10,3 microsegundos y que esté dentro de la ventana de frecuencia (Span) de tiempo real. Estas prestaciones son posibles porque los RSAs calculan hasta 292.000 transformadas espectrales por segundo. Cuanto más rápido se actualiza el espectro, menor es el tiempo entre las adquisiciones y mayor es la probabilidad de que se detecte cualquier señal.

La tabla 1 muestra la duración mínima de la señal especificada (MSD: Minimum Signal Duration) para obtener el 100% de probabilidad de interceptación con varias combinaciones de Span y RBW en

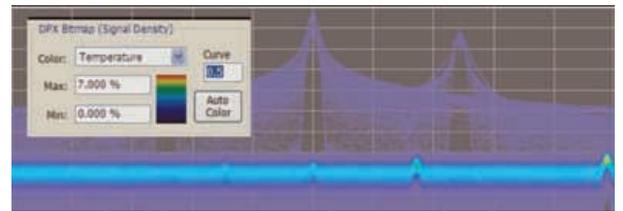


Figura 13. Cuando la curva se ajusta a valores menores de 1, el contraste decrece cuando se visualizan eventos infrecuentes y variables en el tiempo y se utiliza la paleta de "Temperature".

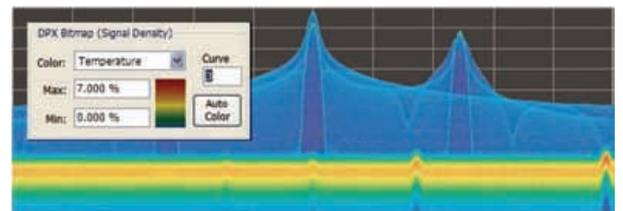


Figura 14. Cuando la curva se ajusta a valores menores de 1, el contraste se mejora y se pueden ver eventos infrecuentes y variables en el tiempo al utilizar la paleta de "Temperature".

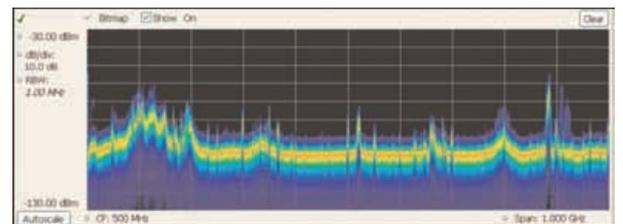


Figura 15. Señales de RF en el ambiente dentro de una ventana (span) de 1GHz cuando se hace un barrido utilizando DPX.

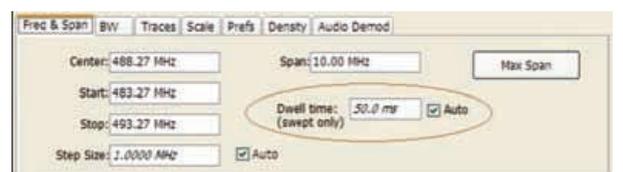


Figura 16. Cuando se hace un barrido segmentando el ancho de banda y utilizando DPX en cada segmento, el control del tiempo de permanencia dentro de cada segmento permite ajustar el tiempo de observación de cada uno de los segmentos que se utilizan para construir la imagen en la pantalla del espectro compuesto DPX.

Span (MHz)	RBW (kHz)	Span/RBW Ratio	FFT Length	Spectrum/sec	MSD for 100% POI (µs)
110	1000	110	1024	292,960	10.3
110	300	367	2048	148,484	20.5
110	100	1100	4096	73,242	41.0
110	30	3667	16384	18,311	163.9
110	20	5500	32768	9,155	327.7

DPX para un modelo representante de la serie RSA. Como se puede ver, el MSD se ve afectado por múltiples factores.

Para demostrar la probabilidad de interceptación (POI) en acción, se utiliza una desafiante señal bi-estable. Se trata de una señal sinusoidal CW de 2,4453 GHz que es inestable. Cada 1,28 segundos cambia de frecuencia durante unos 100 µseg y a continuación, vuelve a la normalidad.

Tabla 1. Especificaciones de la duración mínima de la señal para los analizadores del espectro de la serie RSA6000 con las opciones 110 y 200 en virtud de diversas combinaciones de parámetros de control.

mos 50 ms. Los marcadores se pueden utilizar para ver el valor de la densidad de uno o más puntos individuales en la pantalla, lo que permite la medida de la densidad de la señal en un punto interesante de la pantalla del espectro obtenido con DPX.

En la figura 21, las señales de Wireless LAN se analizan en presencia de una señal de Bluetooth dentro de la banda ISM de 2.4 GHz. Las transmisiones con salto de frecuencia, como Bluetooth y pulsos, como WLAN, representan señales desafiantes.

Con la persistencia en pantalla desactivada, se habilita un marcador para buscar el máximo de la señal registrado en la pantalla. La lectura del marcador en la esquina superior izquierda de la figura 21 muestra la densidad, la amplitud y la frecuencia del píxel seleccionado con el marcador. Mediante la adición de nuevos marcadores adicionales, se pueden medir las diferencias de densidad entre dos señales de interés en cualquier punto en el tiempo.

Marcadores para la búsqueda de picos en el mapa de bits obtenido con DPX

Los marcadores en el mapa de bits obtenido con DPX pueden buscar picos de forma similar a los marcadores de picos de dentro de las trazas de los analizadores de espectro tradicionales. Para el ser humano, es bastante fácil discernir las "señales" en la imagen proporcionada por un mapa de bits. El cerebro de manera intuitiva identifica las cadenas de píxeles brillantes contiguos. Esto no es tan fácil para un ordenador. Lo primero que debe hacer el RSA para buscar cualquier pico es analizar los valores de densidad de los píxeles para identificar las señales más evidentes.

A continuación hay que desplazarse por los picos de densidad para encontrar los picos de amplitud que se desean encontrar. Los valores de densidad del Z-eje de los píxeles de cada columna del mapa de bits se convierten en histogramas para encontrar los picos de densidad que indican la presencia de señales. La tabla de la figura 22a muestra la quinta columna en medio de la cuadrícula del ejemplo que se utilizaba para ilustrar las medidas de densidad anteriormente (Figura

20). Mirando de cerca la columna resaltada en medio de la cuadrícula, se puede observar como los valores de densidad para cada píxel de esta columna se representan en el eje "Y" del gráfico de barras en la figura 22B. El eje "x" del gráfico de barras es el número de la columna del mapa de bits, numerado desde la parte superior de la tabla de la figura 22a.

Suponiendo que el umbral de densidad (Density Threshold) se establece en 5% y la excursión de densidad (Density Excursion) también al 5%. A partir de $x = 1$ en el gráfico de barras, se contrasta cada barra con respecto al umbral. El criterio del umbral se alcanza en $x = 2$. Si se sigue probando hasta encontrar un barra que sea más corta que la barra anterior en al menos la cantidad definida para valor de la excursión, ésta condición se encuentra para $x = 6$. Esto nos dice que para una "señal" que cubre las columnas 2 a 5, su pico de densidad se encuentra en la columna 5.

0%	0%	0%	0%	0%
0%	0%	8%	0%	0%
0%	0%	12%	0%	0%
0%	0%	26%	0%	0%
0%	0%	36%	0%	0%
0%	2%	6%	2%	0%
4%	8%	0%	8%	0%
86%	82%	4%	76%	12%
10%	8%	6%	14%	86%
0%	0%	2%	0%	2%

Ahora se puede buscar otro pico. Si se continúa buscando en barras a la derecha se encontrará un valor de densidad en la columna 9 que cumple los criterios del umbral, pero como ya no hay barras a la derecha del mismo que cumplan con los criterios de excursión, no se puede declarar la columna 9 como una señal, porque no cumple con los criterios de la excursión. Si la columna 1 tenía una densidad del 1%, entonces la columna 9 sería un pico de densidad.

Una vez que se encuentran los picos de densidad en todas las columnas del mapa de bits, se pueden empezar a buscar los picos de amplitud. Cuando se selecciona el botón de pico de potencia (Peak), los controles del analizador comprueban los histogramas de cada columna del mapa de bits y encuentran el pico de densidad con la mayor amplitud. La búsqueda de la amplitud tiene sus propias versiones para los ajustes del umbral y de la excursión, pero en

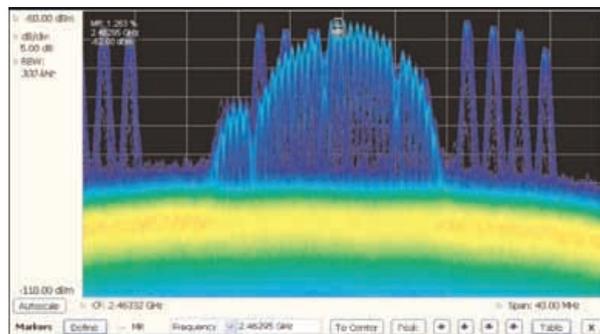


Figura 21. En la pantalla se puede ver un espectro obtenido con DPX de las señales de WLAN y Bluetooth. El marcador de referencia está preparado para encontrar el pico de potencia.

unidades de dBm y dB. Cuando se utiliza el comando "Next Peak Down", el sistema de búsqueda explorará dentro de la columna actual para localizar el siguiente pico de densidad. El comando "Next Peak Right" examina cada columna a la derecha de la ubicación actual del marcador para localizar los picos de densidad que también cumplen con los criterios de amplitud de pico.

Para demostrar las ventajas de la búsqueda de picos del marcador, vamos a utilizar señales multiplexadas en el tiempo que muestran los múltiples niveles de amplitud del anterior ejemplo a principios de este artículo. Se coloca un marcador de referencia sobre el pico de la señal de pico, como se muestra en la Figura 23. El pico de la señal es el punto de mayor amplitud que supera también el umbral de densidad.

Figura 22. a) Sección del mapa de bits que muestra los valores de densidad. b) Gráfico de barras de los valores de densidad correspondientes a la columna marcada del mapa de bits de la figura 22a.

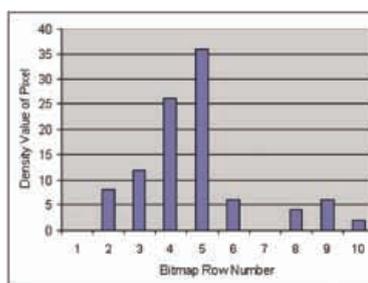
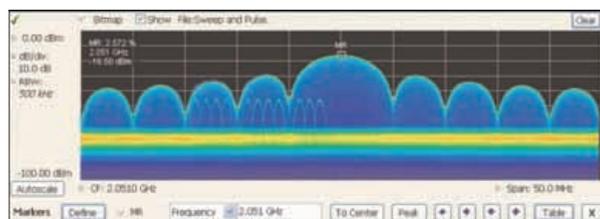


Figura 23. Marcador seleccionado para la búsqueda del pico de potencia (Peak). La densidad, frecuencia y amplitud de la señal de referencia se muestran en la parte derecha de la pantalla del espectro DPX.

La barra de herramientas de los marcadores (Marker Toolbar), en la parte inferior de la figura 23, permite una fácil navegación por los picos de las señales (Peak Left, Peak Right, Next Peak Up ó Next Peak Down). La selección de las teclas con forma de flecha hace que el marcador busque

Figura 24. Los controles de la amplitud de la señal y de la densidad pueden seleccionarse para definir de pico de potencia de las señales.



los picos de amplitud/densidad en otras frecuencias, mientras que las flechas "Next Peak Up" y "Next Peak Down" permiten que el marcador busque otros puntos de alta densidad en la misma frecuencia.

En el panel de control de definición de marcadores (Define Markers) se puede seleccionar la pestaña "Define Peaks", figura 24, para controlar el umbral de la densidad y la excursión y ver cómo afectan al comportamiento de la búsqueda. Los controles del umbral de la amplitud y de la excursión se aplican también a las búsquedas de los marcadores del DPX.

La función de suavizamiento (Smoothing) evita que el marcador encuentre múltiples picos dentro de la misma señal aparente, promediando un número ajustable de densidades de píxeles que están juntos, pero no afecta a la lectura que muestra el marcador cuando se mide sobre un solo píxel.

Medidas de densidad en un área ajustable (Ventana)

La densidad de un solo píxel es su relación entre el número de cuentas de su contador y el número de espectros adquiridos durante un período de tiempo definido y eso es justo, el valor que muestra el marcador. Cuando se hace una medida de densidad sobre un área

más grande que un píxel, la opción 200 incluye una ventana de medida que puede cambiar el tamaño y arrastrarse por la pantalla con el ratón o el dedo a lo largo de todo el espectro DPX.

Si se pudiera hacer una ventana tan estrecha que sólo contuviese los puntos de una sola columna de píxeles, la densidad de esa zona sería la suma de los valores de densidad de los píxeles incluidos.

Por ejemplo, si la ventana fuese de tres píxeles de alto y los valores de densidad de dichos píxeles fuesen de 4%, 2%, y 7% respectivamente, la densidad global para el área de tres píxel sería del 13%. Imaginemos una ventana de un píxel de ancho y tan alto como el gráfico de la pantalla. Supongamos que la amplitud de la señal de entrada es tal que todas las formas de onda de los espectros caen cerca de la vertical del centro de la pantalla o muy próximas. Puesto que el 100% de las formas de onda que se "escribieron" en el mapa de bits pasaron a través de la ventana, la densidad de la ventana sería del 100%.

$$\text{Densidad de una zona} = (\text{Suma de las densidades de todos los píxeles}) / (\text{Número de columnas})$$

Al ampliar la ventana para cubrir una amplia gama de frecuencias, el software calcula la suma de la densidad de los píxeles incluidos en cada columna dentro de la ventana. El valor de la densidad total de esta ventana es la densidad media, que se calcula sumando las densidades individuales de cada columna y a continuación, dividiendo por el número de columnas.

Para obtener un resultado del 100%, no debe haber ninguna parte de la señal por encima de la parte superior de la ventana o por debajo de su parte inferior. En otras palabras, cada forma de onda debe atravesar la ventana por su lado izquierdo y por su lado derecho, sin excursiones por la parte superior o inferior.

La figura 25 muestra este principio en una señal de CW. Como se puede ver en la imagen de la izquierda, no existen amplitudes por

encima o por debajo de la ventana, por lo cual la densidad de la señal es del 100%. En la imagen de la derecha, parte de la señal está por debajo de la ventana, por lo tanto la densidad es inferior al 100%.

El tamaño y la localización vertical de la ventana de medida de densidad se ajustan siempre en dB y dBm sin importar las unidades que se hayan seleccionado para las medidas. (Panel de control de amplitud > pestaña de Unidades) La ventana no es arrastrable cuando se seleccionan unidades que son lineales (como Amperios, voltios, Watts ...), pero no obstante, se puede ajustar su tamaño y ubicación con los controles de frecuencia y amplitud en "DPX Settings > Density and Trigger > Event tabs". Dado que la escala vertical no es lineal, una ventana de amplitud constante cambia de altura a medida que se cambia la posición vertical, un efecto desconcertante si se está tratando de arrastrarla.

Para medir la densidad media de la señal sobre un área determinada, ésta se puede definir en la pestaña titulada "Density" del panel de control para los ajustes del DPX, como se muestra en la Figura 26.

Una lectura aparecerá en algún lugar de la gráfica. Si la casilla está fuera de la pantalla, la lectura será acompañada por una flecha que apunta hacia la ventana invisible. Se puede agarrar esa lectura con el ratón o con el dedo y arrastrar la lectura de la densidad al área que desea medir.

Para ajustar el tamaño de la ventana, la forma más fácil es tirando de los lados y de las esquinas de la ventana con el ratón.

Para hacer ajustes precisos, se pueden utilizar el mando, las teclas con forma de flecha o el teclado para ajustar la frecuencia y los valores de la amplitud de la ventana. Estos controles se encuentran en la mitad derecha de la pestaña titulada "Density" en el panel de control.

También se pueden comparar las medidas de densidad de píxeles individuales obtenidas con un marcador con respecto a la densidad media observada sobre un área mayor. (Continuará) 

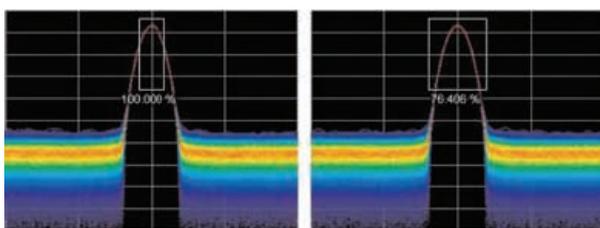


Figura 25. Densidad de las señales definidas dentro de un área. A la izquierda: medida correcta de la señal de CW. Todas las columnas de la ventana incluyen a la señal. A la derecha: ventana de análisis incorrecto. La medida es exacta, pero probablemente no lo que se esperaba. Algunas columnas de la ventana no contienen muestras, de modo que contribuyen con ceros al cálculo de la densidad media.

Figura 26. El panel de control de densidad DPX se utiliza para definir el área de interés para las medidas de densidad DPX.

