

# Utilización de DSPs para optimizar el rendimiento del sistema Osciloscopio de Tiempo Real + Sondas

Artículo cedido por Tektronix



Traducción: Juan Ojeda, de AFC Ingenieros S.A. (jojeda@afc-ingenieros.com)

*Los osciloscopios de tiempo real (RT) han empleado durante los últimos años filtros basados en DSPs (procesador digital de señales) para optimizar la respuesta de la magnitud y de la fase con respecto a la frecuencia y para ampliar el ancho de banda más allá de ancho de banda analógico a -3 dB. Estas mismas técnicas se extienden ahora a la punta de la sonda del osciloscopio. Las consecuencias en la respuesta del sistema han sido un mejor rendimiento en cuanto a la fidelidad de la señal y a menudo, un nivel de ruido más bajo.*

## ¿Por qué emplear filtros DSP en las aplicaciones que utilizan sondas?

En el mundo actual del diseño digital de alta velocidad, las características de las señales digitales son de vital importancia para obtener diseños de productos fiables y robustos. Para ello, es un requisito esencial mantener la fidelidad de señal a través de todo el sistema de adquisición, incluyendo cualquier tipo de sondas. Aunque las sondas no ofrecen por sí mismas una respuesta ideal, la combinación de un DSP con los avances en hardware y el diseño de ASICs han permitido avances significativos en la fidelidad de la señal obtenida por la sonda. Los DSPs abren varios caminos para mejorar el rendimiento:

- Hacen posible la implementación de algoritmos de procesamiento más complejos en el dominio digital. Los filtros que serían de difícil creación mediante hardware son a menudo fácilmente implementables con DSPs. Un ejemplo de ello es la capacidad de proporcionar una selección de filtros específicos para las distintas sondas.
- Los filtros basados en DSPs no requieren ningún hardware adicional o circuitos dentro la cabeza de la sonda. Gracias a ello, la cabeza de la sonda puede seguir siendo físicamente pequeña para una facilidad de uso y rendimiento óptimos.

Por lo tanto, mediante el uso de DSPs es posible mejorar significativamente la respuesta del sistema global. Los DSPs permiten también una amplia variedad de filtros diseñados para aplicaciones específicas sin comprometer el factor de forma de la sonda y su facilidad de uso.

## El método de soporte de sondas de Tektronix mediante DSPs

El soporte que Tektronix proporciona a las sondas mediante DSPs es una extensión directa de las técnicas utilizadas para la extensión y mejora del ancho de banda en los osciloscopios de tiempo real (RT). Esto permite al usuario la selección intuitiva y coherente de opciones del DSP. Al igual que ocurre con el DSP de un osciloscopio de tiempo real, el usuario tiene la posibilidad de desactivar los filtros DSP de las sondas. Uno de los objetivos principales de la implementación del filtrado en el osciloscopio y en la sonda ha sido la consistencia de la respuesta canal a canal y osciloscopio a osciloscopio. La selección de filtros DSP se ha hecho tan transparente y fácil de usar como ha sido posible.

## Características comunes de los filtros DSPs de los osciloscopios y de las sondas

Los osciloscopios de tiempo real de Tektronix y las sondas utilizan tres filtros básicos para la corrección de la respuesta y todos comparten algunas características comunes. Estos filtros tratan de: mejorar la respuesta en todo el ancho de banda (BWEh: Bandwidth Enhance), ampliar el ancho de banda (BWE: Bandwidth Extend) y limitar el ancho de banda (BWL:

Bandwidth Limit). Estos tres tipos de filtros se implementan como filtros de fase lineal FIR (respuesta finita al impulso) con una respuesta en frecuencia de aproximadamente 60 dB a 1,2 veces el ancho de banda del filtro medido a -3 dB. Cada uno de estos filtros adapta la respuesta en frecuencia como se describe a continuación.

### Mejora del ancho de banda (BWEh)

El filtro BWEh está diseñado para corregir las variaciones de la respuesta en amplitud con respecto a la frecuencia del osciloscopio o de la sonda dentro del ancho de banda del sistema analógico. Esto se logra mediante la caracterización de cada canal del osciloscopio, de los ajustes del atenuador, de la respuesta nominal de diversas sondas y de las respuestas de las puntas de las sondas en un entorno de 50 Ω. A partir de estas características se creó un filtro FIR de fase lineal para cada combinación única de canal de osciloscopio, sonda y punta de la sonda. La respuesta del sistema está diseñada para ser lo más plana posible en el dominio de la frecuencia y dentro de la banda de frecuencias de trabajo y para proporcionar una atenuación rápida de las señales que están fuera de dicha banda.

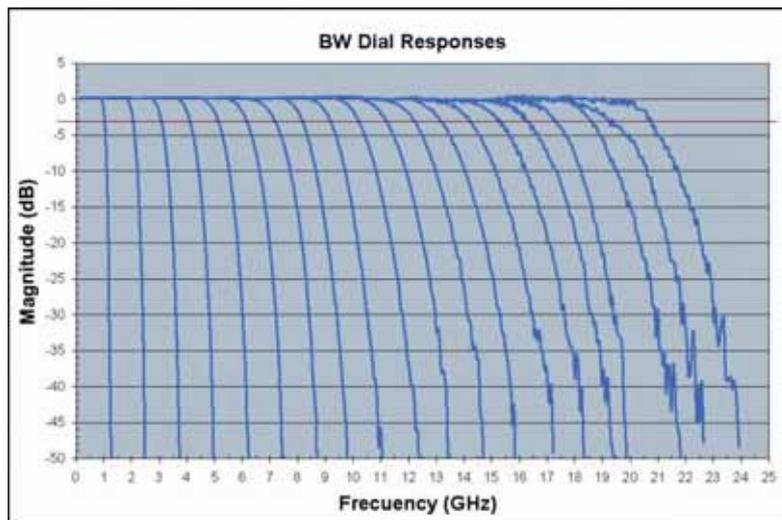
### Ampliación del ancho de banda (BWE)

El filtro BWE es similar al filtro BWEh con una excepción, el filtro BWE extiende el ancho de banda del sistema más allá del ancho de banda del sistema analógico. Por ejemplo, la sonda P7380A de Tektronix con el accesorio "Medium Flex Small Resistor Tip-Clip™" cuenta con un ancho de banda analógico típico de 7 GHz. El filtro BWE incrementa el ancho de banda a un valor típico de 8GHz, manteniendo al mismo tiempo la respuesta plana y la fase lineal con respecto a la frecuencia.

**Limitación del ancho de banda (BWL)**

El filtro BWL es un filtro paso bajo de fase lineal con respuesta similar a la del filtro BWEh con la posibilidad añadida de que el usuario puede seleccionar el ancho de banda de trabajo. En la implementación realizada por Tektronix en las series DPO/DSA70000, el ancho de banda se puede seleccionar desde 500 MHz o 1 GHz en pasos de 1 GHz hasta el máximo ancho de banda del instrumento o de la sonda. Los filtros de limitación del ancho de banda se aplican a la señal digitalizada que se ha adquirido. Esto elimina las contribuciones del ruido fuera de la banda de trabajo del sistema de adquisición formado por la sonda y el osciloscopio. Por ejemplo, cuando una sonda P7240 de 4 GHz se aplica a un osciloscopio DPO/DSA70164 de 16 GHz, el filtro BWL de 4 GHz proporcionará al sistema (osciloscopio+sonda) un ancho de banda de 4 GHz al mismo tiempo que reducirá el ruido fuera de la banda de trabajo de dicho sistema.

La respuesta de los filtros BWL se muestra en la figura 1. La respuesta de los filtros BWEh y BWE es muy similar, con el punto medida del ancho de banda a -3 dB determinado por el osciloscopio o por el ancho de banda de la sonda aplicada.



Esta selección de filtros proporciona un potente arsenal de capacidades de filtrado para mejorar la fidelidad de la señal en los procesos de medida.

**Selección del DSP de la sonda y ejemplos de utilización**

Veamos dos casos de uso típico y observemos lo fácil que resulta utilizar el DSP de la sonda y los beneficios que eso reporta.

**Ejemplo de diagrama de ojo**

El primer ejemplo es el típico diagrama de ojo de 5 Gb/s en una aplicación de datos en serie de alta velocidad. En este caso la fuente de referencia es un generador de patrones Advantest D3186 con un limitador de tiempo de subida 'Picosecond Pulse Labs' de 50pseg que genera un flujo de datos en serie a 5 Gb/s. El sistema de adquisición se compone de un osciloscopio DSA71604, una sonda P7516 16 GHz TriMode™ y el paquete de software TDSRT-Eye™.

**Selección de la punta de prueba de la serie P7500**

La primera cosa que se advierte cuando se conecta la sonda P7500 es el menú de selección de la punta de prueba de la sonda.

La figura 2 muestra las opciones del menú para dos puntas; la P75TLRST (TriMode Long Reach Solder Tip) y la P75PDPM (Precision Diferencial Probing Module). En este caso se ha seleccionado la punta P75LRST. El menú aparece automáticamente la



A continuación, se pueden seleccionar las opciones del DSP utilizando el menú vertical del osciloscopio, Vertical > Vertical Setup > Bandwidth. Entre las opciones se incluyen: el modo analógico (Analog Only) o diversos filtros DSP de 500 MHz a 16 GHz. Las opciones se muestran en la figura 3.

Figura 2. Menú de selección de las puntas de las sondas de la serie P7500.

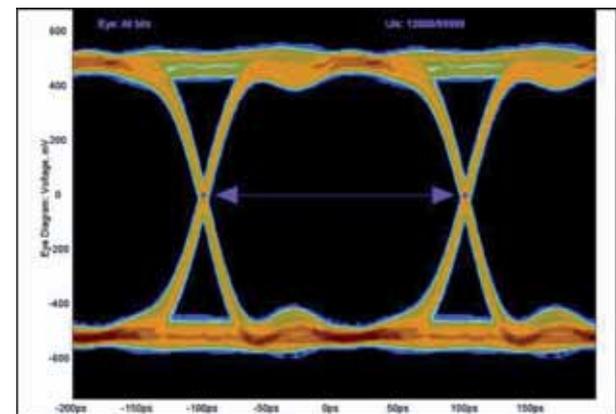
Figura 3. Menú de selección del ancho de banda de la sonda P7516.



En el primer caso la respuesta estaba configurada solo para el modo analógico (sin DSP). Ahora vamos a examinar los diagramas de ojo utilizando el osciloscopio DSA71604 y la sonda P7516 de 16 GHz. Aunque el ojo está muy limpio, hay todavía una notable cantidad de ruido, algunos sobre-impulsos y algunas ondulaciones presentes en la señal adquirida (Figura 4).

Figura 1. Respuesta típica del filtro de limitación del ancho de banda para los osciloscopios de las series DPO/DSA70000.

Figura 4. Diagrama de ojo de una señal de 5Gb utilizando P7516/ P75LRST sin filtro DSP.



primera vez que se conecta la sonda P7500 al osciloscopio. También se puede acceder al menú a través de Vertical > Probe Controls > Setup > Probe Tip > Diagram.

Figura 7. Diagrama de ojo de la señal de 5Gb capturada con la sonda P7516/7P5PDPM sin filtro DSP.

Figura 5. Diagrama de ojo de una señal de 5Gb utilizando la sonda P7516/P75LRST con un filtro DSP BWEh de 16 GHz aplicado.

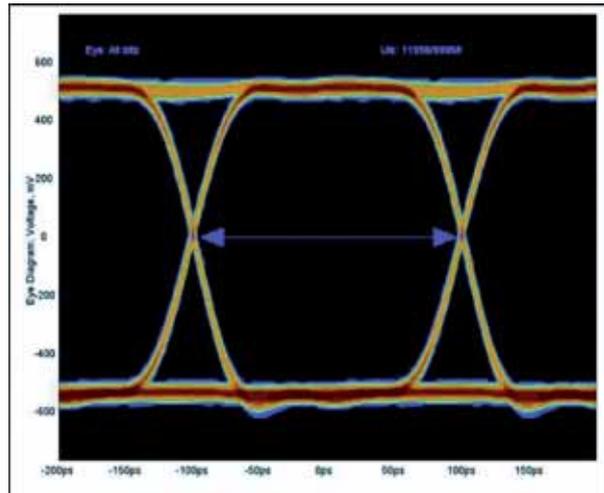
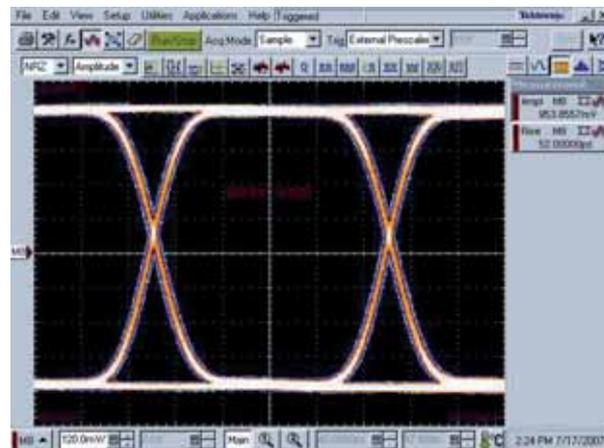


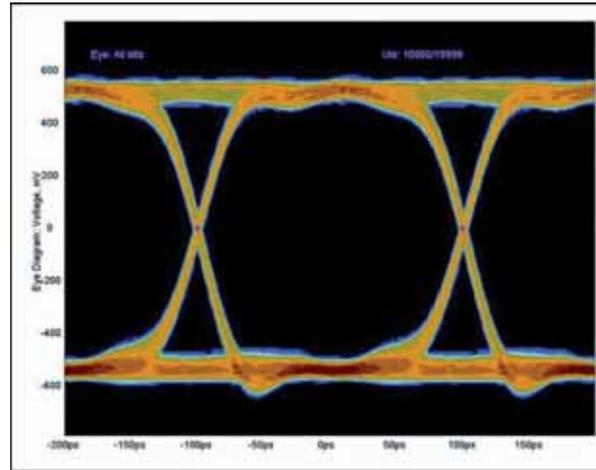
Figura 8. Diagrama de ojo de la señal de 5Gb capturada con la sonda P7516/7P5PDPM con filtro DSP BWEh de 16 GHz.

Figura 6. Diagrama de ojo de una señal de 5Gb utilizando un osciloscopio de muestreo DSA8200/80E09 como referencia.



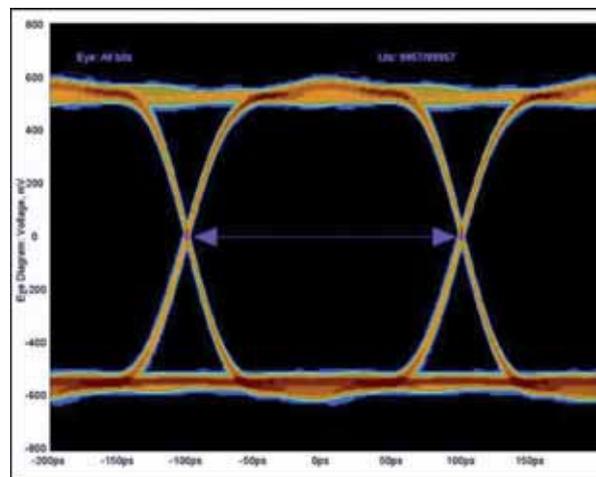
A continuación, veamos la misma señal, pero esta vez con el DSP de la sonda activado (16 GHz DSP), como se puede ver en la figura 5. Las ventajas del DSP son claramente visibles. El DSP mejora la respuesta al escalón y reduce el sobre-impulso y las ondulaciones. Hay también una notable reducción de ruido que da como resultado una mejor apertura del ojo.

Vamos a comparar este diagrama de ojo con el diagrama de ojo capturado por un osciloscopio de muestreo que se tomará como referencia. La figura 6 muestra la misma señal conectada directamente al osciloscopio de muestreo DSA8200 de Tektronix con el módulo eléctrico de muestreo 80E09 de 30GHz (Figura 5). Se puede observar que el diagrama de ojo del osciloscopio de tiempo real (RT) usando el DSP se compara muy favorablemente con el diagrama de ojo de referencia.



A continuación, vamos a repetir la misma comparación, esta vez con la sonda P7516 de 16 GHz y la punta P75PDPM (adaptador de mano). En primer lugar, el diagrama de ojo sin DSP (Figura 7).

El resultado es similar al obtenido con la punta P75LRST. Ahora veamos el mismo diagrama de ojo con el ancho de banda de 16 GHz del DSP seleccionado (Figura 8). Una vez más las mejoras en señal de fidelidad y el ruido son espectaculares y se comparan favorablemente con diagrama de ojo de referencia.



### Ejemplo de solución de problemas.

A continuación, vamos a cubrir un típico ejemplo de resolución de problemas utilizando el osciloscopio DSA71604 de 16 GHz de Tektronix y la sonda P7380A de 8GHz (también de Tektronix) con la punta soldada al punto de prueba.

Lo primero que se advierte al conectar la sonda P7380A es que

aparece el menú de selección de la punta de la sonda (Figura 9). Hay que tener en cuenta que el menú aparece automáticamente la primera vez que una sonda de la serie P7300 se conecta al osciloscopio. También se puede acceder a ese menú a través de Vertical> Probe

Controls> Setup> Probe Tip> Select.

En el ejemplo que sigue se va a utilizar la punta "Medium Flex Small Resistor Tip-Clip". Esta punta ofrece un buen compromiso entre la facilidad de uso y la fidelidad de la señal, una consideración importante en la resolución de problemas en la placa.

El menú de selección de la punta de la sonda que combina la sonda y la punta de la sonda tiene un ancho de banda de 7 GHz. Una vez que se selecciona la punta de la sonda, el ancho de banda aparece en el menú. También se puede acceder al

menú del ancho de banda a través de Vertical> Vertical Ajustes> Ancho de banda. El menú de selección de las opciones de ancho de banda incluye: Sólo el ancho de banda analógico (Analog Only), cuando el DSP está desactivado y anchos de banda desde 500 MHz a 8 GHz cuando el

DSP está seleccionado.

Ahora vamos a ver una señal de datos de 2,5 Gb/s desde un punto de prueba de una placa con la sonda y la punta de la sonda que acabamos de ver, con y sin aplicación del DSP. Esta es una señal de un bus PCI Express que debería tener componentes de frecuencia hasta el 5º armónico (6,25 GHz). En este caso estamos utilizando una sonda de 8 GHz con una punta



de prueba de 7 GHz en un osciloscopio de 16 GHz.

En primer lugar, vamos a observar como se ve la señal sin el DSP seleccionando "Analog Only" en el menú de selección del ancho de banda (Figura 10).

A continuación, vamos a observar la misma señal con un ancho de banda de 8 GHz seleccionado utilizando el DSP (Figura 11). Con el filtro DSP de la sonda activado se puede ver que hay menos ruido y que mejora la fidelidad de la señal.

El resultado de la mejora en la respuesta de la frecuencia se debe al filtro BWE y la reducción del ruido se debe a la limitación del ancho de banda global de la adquisición a 8 GHz. Esto ofrece una excelente fidelidad de la señal mediante una punta de sonda soldable de fácil uso.

### ¿Se debería usar siempre el DSP de la sonda?

Los ejemplos del diagrama de ojo y de la solución de problemas demuestran cómo el DSP puede mejorar la fidelidad de la señal. Pero hay algunos casos en los que el uso del DSP de la sonda puede no ser apropiado. Para estos casos, el DSP se puede desactivar o dejarlo activo. Los cuatro casos donde el DSP puede no ser apropiado son los siguientes:

*Cuando se utilicen cables soldados excesivamente largos en los accesorios.*

Los algoritmos DSP para los accesorios de conexión por soldadura de las sondas asumen que se utiliza una conexión corta (<0,075 pulgadas) entre el final de la resistencia del accesorio para la conexión por soldadura y el DUT. Si la conexión mediante soldadura tiene longitudes de cable excesivamente largas entre la resistencia de terminación y el DUT, es posible que la carga y las ondulaciones sean excesivas y que el DSP no sea capaz de corregirlas.

*En el caso de interconexiones personalizadas.*

Cuando se desarrolla una solución de interconexión exclusiva para un dispositivo bajo prueba (DUT) con accesorios personalizados, no habrá un filtro DSP apropiado para dicha interconexión. Es por lo que es altamente recomendable desconectar el DSP.

*Cuando hay desacoplamiento de impedancias.*

Los algoritmos del DSP de la sonda y la calibración de la misma asumen que la impedancia de la fuente del dispositivo bajo prueba es de 50Ω. Esto proporciona una solución óptima para las líneas de transmisión de 50Ω, como en el caso del cable de cobre para la transmisión de datos en serie. Sin embargo, cuando la impedancia de la fuente del DUT se desvía de 50Ω, la precisión del filtro BWEh o del filtro BWE de la sonda se degrada. Para entornos que varían significativamente de 50Ω, el DSP de la sonda debería utilizarse teniendo en cuenta el desacoplamiento de las impedancias.

*Al aplicar filtros DSP personalizados o de interpolación.*

Si se desea, se pueden aplicar algoritmos DSP propios para filtrar o interpolar los datos adquiridos. En este caso, se puede preferir que los puntos de muestreo no sean procesados por el convertidor A/D. La nota de aplicación de Tektronix denominada "Arbitrary FIR Filter Theory, Design and Application" (www.tek.com) estudia el diseño de filtros DSPs con más detalle.

### Resumen

Los osciloscopios en tiem-

po real (RT) han empleado durante los últimos años filtros DSP para optimizar la respuesta en magnitud y fase con respecto a la frecuencia y para ampliar el ancho de banda más allá de la anchura de banda analógico medido a -3 dB. Esta capacidad está disponible ahora desde la punta de la sonda.

Al permitir al usuario conectar o desconectar el DSP se le proporciona el más alto grado de flexibilidad. Gracias a ello, el usuario puede aplicar sus propios algoritmos del DSP o desconectar el filtrado DSP cuando utiliza accesorios no estándar o personalizados.

La amplia selección de filtros para limitar el ancho de banda proporciona la flexibilidad necesaria para utilizar las sondas y los osciloscopios de mayor ancho de banda sobre señales de menor ancho de banda reduciendo el ancho de banda de los primeros para reducir el nivel de ruido (eliminar el ruido fuera de la banda de trabajo). O bien, utilizar la capacidad de selección del ancho de banda para adaptarse a las medidas realizadas con un menor ancho de banda del sistema. ■

Figura 9. Menú de selección de la punta de prueba de la sonda P7380/80A de Tektronix.



Figura 10. Señal PCI Express de 2,5 Gb/s y sonda P7380 de Tektronix con punta "Flex Small Resistor Tip-Clip" y sin filtro DSP.

Figura 11. Señal PCI Express de 2,5 Gb/s y sonda P7380 de Tektronix con punta "Flex Small Resistor Tip-Clip" y con el filtro DSP BWE de 8GHz activado.