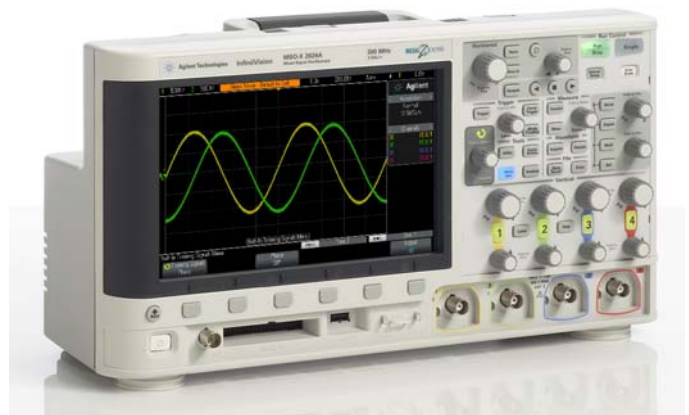


Kit de capacitación del osciloscopio del educador (DSOXEDK)



**Tutorial y guía de laboratorio
para estudiantes
universitarios de ingeniería
eléctrica y física**



Agilent Technologies

Notificaciones

© Agilent Technologies, Inc. 2008-2011

Los derechos de autor en este material didáctico le conceden permiso para reproducir, modificar y distribuir todo el documento, o parte de él, con el propósito de capacitar estudiantes para utilizar equipos de prueba Agilent.

Marcas registradas

Microsoft®, MS-DOS®, Windows®, Windows 2000® y Windows XP® son marcas registradas de Microsoft Corporation en los Estados Unidos.

Adobe® y Acrobat® y el logotipo de Acrobat® son marcas registradas de Adobe Systems Incorporated.

Número de referencia del manual

75010-97010

Edición

11 de enero de 2011

Disponible únicamente en formato electrónico

Agilent Technologies, Inc.
1900 Garden of the Gods Road
Colorado Springs, CO 80907 USA

Garantía

El material incluido en este documento se proporciona en el estado actual y puede modificarse, sin previo aviso, en futuras ediciones. Agilent renuncia, tanto como permitan las leyes aplicables, a todas las garantías, expresas o implícitas, relativas a este manual y la información aquí presentada, incluyendo pero sin limitarse a las garantías implícitas de calidad e idoneidad para un fin concreto. Agilent no será responsable de errores ni daños accidentales o derivados relativos al suministro, uso o funcionamiento de este documento o la información aquí incluida. Si Agilent y el usuario tuvieran un acuerdo aparte por escrito con condiciones de garantía que cubran el material de este documento y contradigan estas condiciones, tendrán prioridad las condiciones de garantía del otro acuerdo.

Licencias tecnológicas

El hardware y el software descritos en este documento se suministran con una licencia y sólo pueden utilizarse y copiarse de acuerdo con las condiciones de dicha licencia.

Leyenda de derechos limitados

Si el software se otorga para utilizar en la ejecución de un contrato principal o subcontrato del gobierno de los Estados Unidos, el software se entrega y se licencia como "software comercial" como se define en DFAR 252.227-7014 (junio 1995), o como "elemento comercial" como se define en FAR 2.101(a) o como "software limitado"

como se define en FAR 52.227-19 (junio 1987) o en toda norma o cláusula contractual de organismo equivalente. El uso, duplicado o divulgación del software está sujeto a los términos de la licencia comercial estándar de Agilent Technologies, y las agencias y departamentos que no pertenezcan al Departamento de Defensa del Gobierno de los EE.UU. recibirán solo derechos limitados tal como se define en FAR 52.227-19(c)(1-2) (junio 1987). Los usuarios dentro del Gobierno de los EE.UU. recibirán solo derechos limitados tal como se define en FAR 52.227-14 (junio 1987) o DFAR 252.227-7015 (b)(2) (noviembre 1995), según corresponda en los datos técnicos.

Notificaciones relativas a la seguridad

PRECAUCIÓN

Un aviso de **PRECAUCIÓN** indica peligro. Informa sobre un procedimiento o práctica operativa que, si no se realiza o se cumple en forma correcta, puede resultar en daños al producto o pérdida de información importante. En caso de encontrar un aviso de **PRECAUCIÓN**, no prosiga hasta que se hayan comprendido y cumplido totalmente las condiciones indicadas.

ADVERTENCIA

Un aviso de **ADVERTENCIA** indica peligro. Informa sobre un procedimiento o práctica operativa que, si no se realiza o cumple en forma correcta, podría causar lesiones o muerte. En caso de encontrar un aviso de **ADVERTENCIA**, interrumpa el procedimiento hasta que se hayan comprendido y cumplido las condiciones indicadas.

Resumen de la guía y tutorial de laboratorio

Esta guía y tutorial de laboratorio del osciloscopio para el estudiante de EE/Física están diseñados para utilizarse con los osciloscopios InfiniiVision 2000 y 3000 serie X de Agilent Technologies (modelos DSO y MSO) con una licencia de Kit de capacitación del educador (DSOXEDK).

Una nota al Profesor de EE/Física

Estimado Profesor universitario de EE/Física y/o Instructor de laboratorio,

Esta guía y tutorial del osciloscopio para el estudiante de EE/Física constan de 15 laboratorios prácticos individuales que los estudiantes pueden completar con el fin de familiarizarse con qué es un osciloscopio y cómo utilizarlo. Un osciloscopio es la herramienta de medición que sus estudiantes utilizarán más que cualquier otro instrumento para probar experimentos de circuitos que les asigne, así como también para probar sus principales proyectos de diseño. También utilizarán osciloscopios en gran medida una vez que se gradúen e ingresen en el mundo de la industria de la electrónica actual. Por lo tanto, es sumamente importante que dominen el uso de esta herramienta fundamental.

Cada uno de los 15 laboratorios lleva de 15 a 20 minutos. Estos laboratorios están diseñados para utilizarse con los osciloscopios InfiniiVision 2000 y 3000 serie X de Agilent con una licencia de la opción del Kit de capacitación del Educador (DSOXEDK). La opción del Kit de capacitación del educador permite una amplia gama de señales de capacitación incorporadas diseñadas específicamente para las especializaciones en Ingeniería Eléctrica y Física. Algunas de las señales de capacitación son muy simples, como las ondas sinusoidales, en tanto que otras señales de capacitación pueden ser bastante complejas a fin de imitar las señales analógicas y digitales reales. No se requiere ningún otro equipo de prueba además del osciloscopio, dos sondas pasivas (que vienen en la versión estándar del osciloscopio) y un cable BNC.

Antes de que sus estudiantes comiencen a probar cualquiera de sus experimentos asignados en su primer laboratorio de circuitos, Agilent recomienda que lean primero el Capítulo 1, el Apéndice A y el Apéndice B de este documento como estudio previo (tareas). El Capítulo 1 proporciona una introducción al osciloscopio, así como también algunas nociones básicas de sondeo. El Apéndice A y el Apéndice B son tutoriales breves sobre la teoría de funcionamiento y ancho de banda del osciloscopio.

Los estudiantes deben completar luego los primeros 6 laboratorios prácticos en el Capítulo 2 de este documento (Laboratorios básicos de medición del osciloscopio y del generador de onda) durante su primera sesión de laboratorio. Los Laboratorios N°1 a N°3 deberían proporcionar a los estudiantes conocimientos suficientes para establecer la escala del osciloscopio (V/div y s/div) a la vez que se utiliza el disparo de borde para poder comenzar a efectuar mediciones básicas del osciloscopio durante sus experimentos iniciales de laboratorios que les asigne. El Laboratorio N°4 les enseña cómo guardar los resultados de medición para que puedan comenzar a documentar sus resultados de medición para incluirlos en los informes de laboratorio que pueda solicitarles. El Laboratorio N°5 enseña a los estudiantes cómo ajustar la compensación de la sonda. Y el Laboratorio N°6 enseña a los estudiantes cómo utilizar el generador de funciones WaveGen opcional integrado. Este laboratorio específico sólo requiere 5 minutos, pero exige que sus osciloscopios cuenten con la licencia de esta opción.

Los laboratorios prácticos "Avanzados" del osciloscopio que se presentan en el Capítulo 3 de este documento son opcionales. Los estudiantes pueden optar por completar algunos o todos estos laboratorios si les interesa aprender más sobre cómo utilizar algunos de los recursos de medición más avanzados del osciloscopio. Alternativamente, los profesores pueden optar por asignar laboratorios específicos que consideren importantes para los estudiantes. Observe que se estructuró esta guía de laboratorio para flexibilizar su uso.

Atentamente.



Johnnie Hancock
Gerente del Programa Educativo de Osciloscopios
Agilent Technologies

Contenido

Resumen de la guía y tutorial de laboratorio 3

Una nota al Profesor de EE/Física 4

1 Introducción

Sondeo del osciloscopio 9

Familiarización con el panel frontal 11

2 Laboratorios básicos de medición del osciloscopio y del generador de onda

Laboratorio N°1: Mediciones de ondas sinusoidales 16

Laboratorio N°2: Conceptos básicos del disparo en el osciloscopio 22

Laboratorio N°3: Disparo en señales ruidosas 28

Laboratorio N°4: Documentar y guardar los resultados de prueba del osciloscopio 32

Laboratorio N°5: Compensación de sus sondas pasivas de 10:1 37

 Cálculo de la cantidad adecuada de compensación capacitiva 40

 Carga de sondas 41

Laboratorio N°6: Uso del generador de funciones WaveGen integrado 43

3 Laboratorios de medición avanzados del osciloscopio

Laboratorio N°7: Disparo en una ráfaga digital con retraso de disparo 46

Laboratorio N°8: Disparo, captura y análisis de un evento poco frecuente 50

Laboratorio N°9: Captura de un evento de un solo disparo 54

Laboratorio N°10: Realización de mediciones paramétricas automáticas en formas de ondas digitales 57

Laboratorio N°11: Uso de la base de tiempo del zoom del osciloscopio para efectuar mediciones admitidas 63

Laboratorio N°12: Mediciones de retrasos de fases y formas de onda Lissajous 67

Laboratorio N°13: Uso de la matemática de formas de onda 71

Laboratorio N°14: Uso de la detección de pico para superar el submuestreo 75

Laboratorio N°15: Uso de la memoria segmentada para capturar más formas de onda 78

4 Resumen

Bibliografía relacionada con Agilent 84

A Diagrama de bloques y teoría de la operación del osciloscopio

Diagrama de bloque del osciloscopio de almacenamiento digital (DSO) 86

Bloque del conversor de analógico a digital (ADC) 86

Bloque atenuador 87

Bloque de compensación de CC 87

Bloque amplificador 87

Bloques lógicos de disparo y comparador de disparo 88

Bloques de la memoria de adquisición y base de tiempo 89

Bloque DSP (pantalla) 90

B Tutorial del ancho de banda del osciloscopio

Definición de ancho de banda del osciloscopio 91

Ancho de banda requerido para aplicaciones analógicas 93

Ancho de banda requerido para aplicaciones digitales 94

Recomendación de uso común 94

Paso 1: Determinar las velocidades reales de borde más rápidas 94

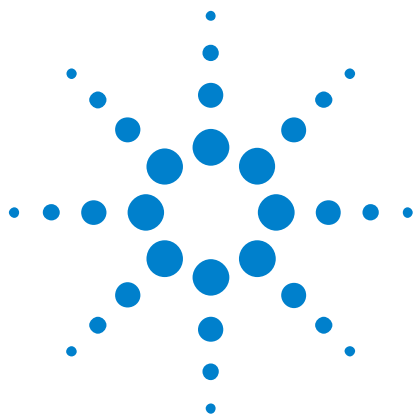
Paso 2: Calcular f_{corte} 94

Paso 3: Calcular el ancho de banda del osciloscopio 95

Ejemplo 95

Comparaciones de las mediciones de reloj digital 96

Índice



1

Introducción

Sondeo del osciloscopio 9

Familiarización con el panel frontal 11

Los osciloscopios son una herramienta crítica para efectuar mediciones de voltaje y temporización en los circuitos eléctricos analógicos y digitales actuales. Cuando finalmente se gradúe de la facultad de Ingeniería Eléctrica e ingrese en la industria de la electrónica, probablemente descubra que un osciloscopio es la herramienta de medición que utilizará más que cualquier otro instrumento para probar, verificar y depurar sus diseños. Incluso mientras esté en su programa de EE o Física en su universidad específica, un osciloscopio es la herramienta de medición que utilizará con más frecuencia en sus distintos laboratorios de circuitos para probar y verificar sus tareas y diseños de laboratorio. Lamentablemente, muchos estudiantes nunca comprenden totalmente cómo utilizar un osciloscopio. Su modelo de uso es a menudo el de girar perillas y presionar botones al azar hasta que una imagen similar a la que están buscando aparece mágicamente en la pantalla del osciloscopio. Por suerte, después de finalizar esta serie de laboratorios breves conocerá mejor qué es un osciloscopio y cómo utilizarlo con mayor eficiencia.

Entonces, ¿qué es un osciloscopio? Un osciloscopio es un instrumento de medición electrónica que monitorea de manera no invasiva señales de entrada y luego muestra estas señales en forma gráfica en un formato de tensión versus tiempo. El tipo de osciloscopio que utilizó su profesor durante sus estudios universitarios probablemente se basaba por completo en tecnología analógica. Estos osciloscopios con tecnología más antigua, denominados típicamente osciloscopios analógicos, tenían un ancho de banda limitado (que se analiza en el Apéndice B), no realizaban ninguna clase de medición automática y también requerían que la señal de entrada fuera repetitiva (señal de entrada que se producía y repetía continuamente).

El tipo de osciloscopio que utilizará en esta serie de laboratorios, y probablemente durante el resto de sus estudios universitarios, se llama osciloscopio de almacenamiento digital; a veces simplemente denominado DSO. O puede utilizar un osciloscopio de señal mixta, que combina las mediciones tradicionales del DSO junto con mediciones de análisis lógico y a veces se denomina MSO. Los DSO y MSO actuales pueden capturar y mostrar ya sea señales repetitivas o de un solo disparo y a menudo incluyen una matriz de mediciones automáticas y capacidades de análisis que deberían permitirle



caracterizar sus diseños y experimentos estudiantiles más rápido y con más precisión que la que podía lograr su profesor en sus días de estudios universitarios.

Para conocer más sobre los fundamentos de los osciloscopios, descargue la nota de la aplicación de Agilent que lleva el título *Evaluación de los fundamentos del osciloscopio*. Esta publicación aparece en la sección "[Bibliografía relacionada con Agilent](#)" de este documento con instrucciones sobre cómo descargarla. Si le interesa básicamente conocer la teoría del funcionamiento de un osciloscopio, consulte el Apéndice A de este documento.

La mejor forma de aprender rápidamente a utilizar un osciloscopio y conocer qué puede hacer por usted, es familiarizarse primero con algunos de los controles más importantes de un osciloscopio, luego comenzar simplemente a utilizarlo para medir algunas señales básicas, como las ondas sinusoidales. Cuando se otorga una licencia con la opción de Kit de capacitación del osciloscopio del educador de DSOXEDK, los osciloscopios InfiniiVision 2000 y 3000 serie X de Agilent Technologies, que se muestran en la [Figura 1](#), pueden generar una matriz de distintas señales de capacitación analógicas y digitales. Utilizaremos muchas de estas señales en esta serie de laboratorios breves para ayudarlo a familiarizarse con cómo utilizar este instrumento de medición de señal electrónica más importante... el osciloscopio.

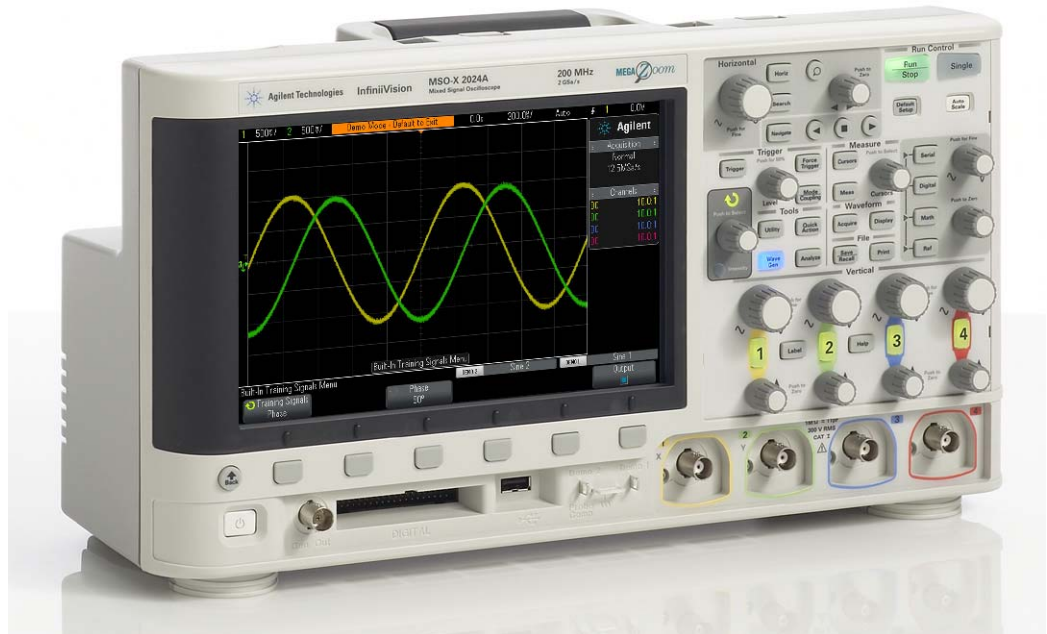


Figura 1 Osciloscopio InfiniiVision 2000/3000 serie X de Agilent

Sondeo del osciloscopio

La primera tarea cuando se efectúan mediciones del osciloscopio es generalmente conectar las sondas del osciloscopio entre el dispositivo que se está probando y los BNC de entrada del osciloscopio. Las ondas del osciloscopio proporcionan una terminación de impedancia de entrada relativamente alta (alta resistencia con baja capacitancia) en el punto de prueba. Una conexión de alta impedancia es importante con el fin de aislar el instrumento de medición del circuito que se prueba dado que no deseamos que el osciloscopio y su sonda cambien las características de las señales que se prueban.

Existen varias clases diferentes de sondas de osciloscopios que se utilizan para tipos específicos de mediciones, pero las sondas que utilizarán hoy son la clase de sonda más comúnmente utilizada y se denominan sondas pasivas de voltaje de 10:1 como se muestra en la [Figura 2](#). "Pasiva" simplemente significa que esta clase de sonda no incluye ningún componente "activo" como transistores o amplificadores. "10:1" significa que esta sonda atenuará la señal de entrada recibida en la entrada del osciloscopio en un factor de 10.



Figura 2 Sonda pasiva de voltaje de 10:1

Cuando utilice una sonda pasiva de 10:1 estándar, todas las mediciones del osciloscopio deben efectuarse entre el punto de prueba de la señal y la conexión a tierra. En otras palabras, **debe** conectar la pinza de conexión a tierra a la conexión a tierra. **No puede** medir los voltajes en un componente en la mitad del circuito con esta clase de sonda. Si necesita medir el voltaje en un componente que no está conectado a tierra, podría utilizar ya sea la función matemática de resta del osciloscopio (cubierto durante el laboratorio #13) mientras mide las señales en ambos extremos del componente con respecto a la conexión a tierra utilizando dos canales del osciloscopio o podría utilizar una sonda activa diferencial. Observe también que un circuito nunca debe completarse utilizando el osciloscopio.

La **Figura 3** muestra un modelo eléctrico de una sonda pasiva de 10:1 cuando se conecta a un osciloscopio utilizando la selección de entrada de 1 MΩ predeterminada del osciloscopio, que es necesaria cuando se utiliza este tipo de sonda. Observe que muchas sondas de mayor ancho de banda también tienen una selección de terminación de entrada de 50 Ω que puede ser seleccionada por el usuario que se utiliza a menudo para las terminaciones de sondas activas y/o se utiliza cuando se ingresa una señal directamente de una fuente de 50 Ω que utiliza un cable coaxial BNC de 50 Ω

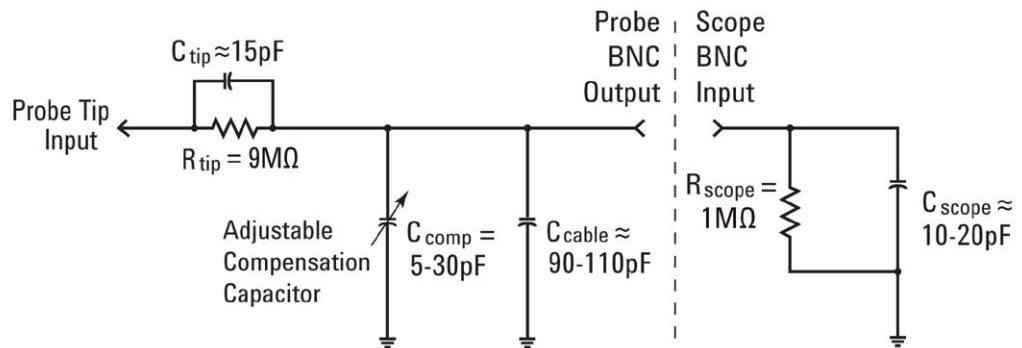


Figura 3 Esquema simplificado de una sonda pasiva de 10:1 conectada a la impedancia de entrada de 1 MΩ del osciloscopio

Si bien el modelo eléctrico de la sonda pasiva y el osciloscopio incluye capacitancia tanto inherente/parasítica (no incorporada) como redes de capacitancia de compensación incorporada intencionalmente, ignoremos por ahora estos elementos capacitivos y analicemos el comportamiento ideal de la señal de este sistema de sonda/osciloscopio en condiciones de baja frecuencia o entrada de CC.

Una vez que eliminemos todos los componentes capacitivos de nuestro modelo eléctrico de sonda/osciloscopio, lo que queda es sólo una resistencia de la punta de la sonda de 9 MΩ en serie con la impedancia de entrada de 1 MΩ del osciloscopio. La resistencia de entrada neta en la punta de la sonda es entonces 10 MΩ. Utilizando la ley de Ohm, puede ver que el nivel de voltaje recibido en la entrada del osciloscopio es entonces de 1/10 del nivel de voltaje de la punta de la sonda ($V_{\text{osciloscopio}} = V_{\text{sonda}} \times (1 \text{ M}\Omega / 10 \text{ M}\Omega)$).

Esto significa que con una sonda pasiva de 10:1 se ha ampliado el rango dinámico del sistema de medición del osciloscopio. En otras palabras, puede medir señales con una amplitud 10 veces mayor en comparación con las señales que podría medir con una sonda de 1:1. Además, la impedancia de entrada de su sistema de medición del osciloscopio (sonda + osciloscopio) aumenta de 1 MΩ a 10 MΩ. Esto es bueno dado que una impedancia de entrada menor podría cargar su dispositivo que se está probando (DUT) y posiblemente cambiar los niveles reales del voltaje en su DUT, lo que no es bueno. Y si bien una impedancia de entrada neta de 10 MΩ es ciertamente

grande, debe recordar que debe considerarse esta cantidad de impedancia de carga en relación con la impedancia del dispositivo que está sondeando. Por ejemplo, un circuito de amplificador operacional simple con una resistencia de retroalimentación de 100 M Ω puede dar algunas lecturas falsas en un osciloscopio.

Si está utilizando un osciloscopio Agilent 3000 serie X en su laboratorio de circuitos, este osciloscopio detectará automáticamente y fijará el factor de atenuación de la sonda en 10:1. Si está utilizando un osciloscopio Agilent 2000 serie X, debe ingresar el factor de atenuación de la sonda (10:1) en forma manual. Una vez que el osciloscopio sepa cuál es el factor de atenuación de la sonda (ya sea detectado automáticamente o ingresado en forma manual), el osciloscopio proporciona lecturas compensadas de todas las configuraciones verticales de modo tal que todas las mediciones de voltaje harán referencia a la señal de entrada no atenuada en la punta de la sonda. Por ejemplo, si sondea una señal de 10 Vpp, la señal recibida en la entrada del osciloscopio será en realidad de sólo 1 Vpp. Pero dado que el osciloscopio sabe que está utilizando una sonda divisoria de 10:1, el osciloscopio informará que está viendo una señal de 10 Vpp cuando efectúe mediciones de voltaje.

Cuando llegemos al Laboratorio #5 (Compensación de sus sondas pasivas de 10:1), volveremos a este modelo de sonda pasiva y consideraremos los componentes capacitivos. Estos elementos en el modelo eléctrico de la sonda/osciloscopio afectará el rendimiento dinámico/de CA del sistema combinado del osciloscopio y sondeo.

Familiarización con el panel frontal

Comencemos familiarizándonos primero con los controles/perillas más importantes de su osciloscopio. Cerca de la parte superior de su osciloscopio se encuentran los controles "Horizontales" que se muestran en la [Figura 4](#). La perilla más grande establece la escala horizontal en segundos/división. Este control establece la escala del eje X de la forma de onda visualizada. Una "división" horizontal es el tiempo Δ entre cada línea vertical de la retícula. Si desea visualizar formas de onda más rápidas (señales de mayor frecuencia), entonces establecerá la escala horizontal en un valor de seg/div menor. Si desea visualizar formas de onda más lentas (señales de menor frecuencia), entonces establece generalmente la escala horizontal en un valor de seg/div mayor. La perilla más pequeña en la sección Horizontal establece la posición horizontal de la forma de onda. En otras palabras, con este control puede mover la ubicación horizontal de la forma de onda a la izquierda y a la derecha. Los controles horizontales del osciloscopio (s/div y posición) a menudo se denominan los controles principales de la "base de tiempo" del osciloscopio.



Figura 4 Controles horizontales del osciloscopio (eje X)

Los controles/perillas cerca de la parte inferior del osciloscopio (consulte la Figura 5) en la sección Vertical (justo por encima de los BNC de entrada) establecen la escala vertical del osciloscopio. Si está utilizando un osciloscopio de 2 canales, entonces habrá dos pares de controles de escala vertical. Si está utilizando un osciloscopio de 4 canales, entonces habrá cuatro pares de controles de escala vertical. La perilla más grande para cada canal de entrada en la sección Vertical establece el factor de escala vertical en voltios/división. Esta es la escala gráfica del eje Y de sus formas de onda. Una "división" vertical son los tiempos Δ entre cada línea horizontal de la retícula. Si desea visualizar señales relativamente grandes (altos voltajes de pico a pico), entonces típicamente establecería la configuración de voltios/división en un valor relativamente alto. Si visualiza niveles pequeños de señal de entrada, entonces establecería la configuración de voltios/división en un valor relativamente bajo. Los controles/perillas más pequeños para cada canal en la sección Vertical son los controles de posición/compensación. Utiliza esta perilla para mover la forma de onda hacia arriba y hacia abajo en la pantalla.



Figura 5 Controles verticales del osciloscopio (eje Y)

Otra variable de configuración muy importante del osciloscopio es el control/perilla de nivel de disparo que se muestra en la Figura 6. Esta perilla de control se encuentra cerca del centro del panel frontal de su osciloscopio, justo por debajo de la sección etiquetada **Disparo**. El disparo es probablemente

el aspecto menos comprendido de un osciloscopio, pero es una de las capacidades más importantes de un osciloscopio que debe comprender. Cubriremos el disparo del osciloscopio en más detalle a medida que ingresemos en los laboratorios prácticos.



Figura 6 Control del nivel de disparo del osciloscopio

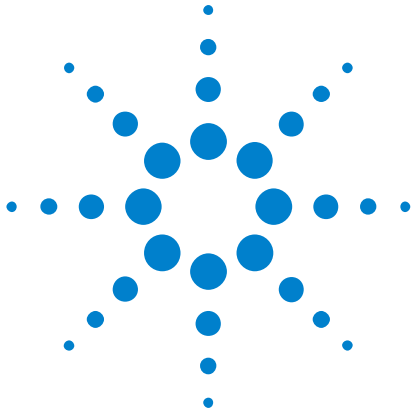
Cuando lea las instrucciones en los laboratorios siguientes, cada vez que vea una palabra en negrita entre paréntesis, como **[Help]**, esto se refiere a una tecla (o botón) del panel frontal ubicada a la derecha del osciloscopio. Cuando se presiona la tecla, se activará un menú único con selecciones de "tecla programable" asociados con dicha función específica del panel frontal. "Las Teclas programables" son las 6 teclas/botones ubicados debajo de la pantalla del osciloscopio. Las funciones de estas teclas cambian según qué menú se ha activado.

Ahora ubique la perilla de control **Entry** que se muestra en la [Figura 7](#). Esta es la perilla justo a la derecha de la pantalla del osciloscopio en el área oscura sombreada. Utilizaremos esta perilla con bastante frecuencia para cambiar una matriz de variables y selecciones de configuración que no tienen controles del panel frontal dedicados. Cada vez que vea la flecha curva verde (↻) en una selección de tecla programable, esto indica que la perilla **Entry** controla esta variable. Observe que esta perilla también se utiliza para establecer el nivel de intensidad de la forma de onda. ¡Comencemos a efectuar mediciones en su osciloscopio!



Figura 7 Control de entrada general del osciloscopio

1 **Introducción**



2 Laboratorios básicos de medición del osciloscopio y del generador de onda

Laboratorio N°1: Mediciones de ondas sinusoidales	16
Laboratorio N°2: Conceptos básicos del disparo en el osciloscopio	22
Laboratorio N°3: Disparo en señales ruidosas	28
Laboratorio N°4: Documentar y guardar los resultados de prueba del osciloscopio	32
Laboratorio N°5: Compensación de sus sondas pasivas de 10:1	37
Laboratorio N°6: Uso del generador de funciones WaveGen integrado	43



Laboratorio N°1: Mediciones de ondas sinusoidales

En este primer laboratorio aprenderá a utilizar los controles de escala horizontal y vertical del osciloscopio con el fin de configurar correctamente el osciloscopio para visualizar una onda sinusoidal repetitiva. Además, aprenderá cómo hacer mediciones simples de tiempo y voltaje en esta señal.

- 1 Conecte una sonda del osciloscopio entre el BNC de entrada del canal 1 y el terminal de salida etiquetado “Demo1”, como se muestra en la [Figura 8](#). Conecte esta pinza a tierra de la sonda al terminal central (tierra).

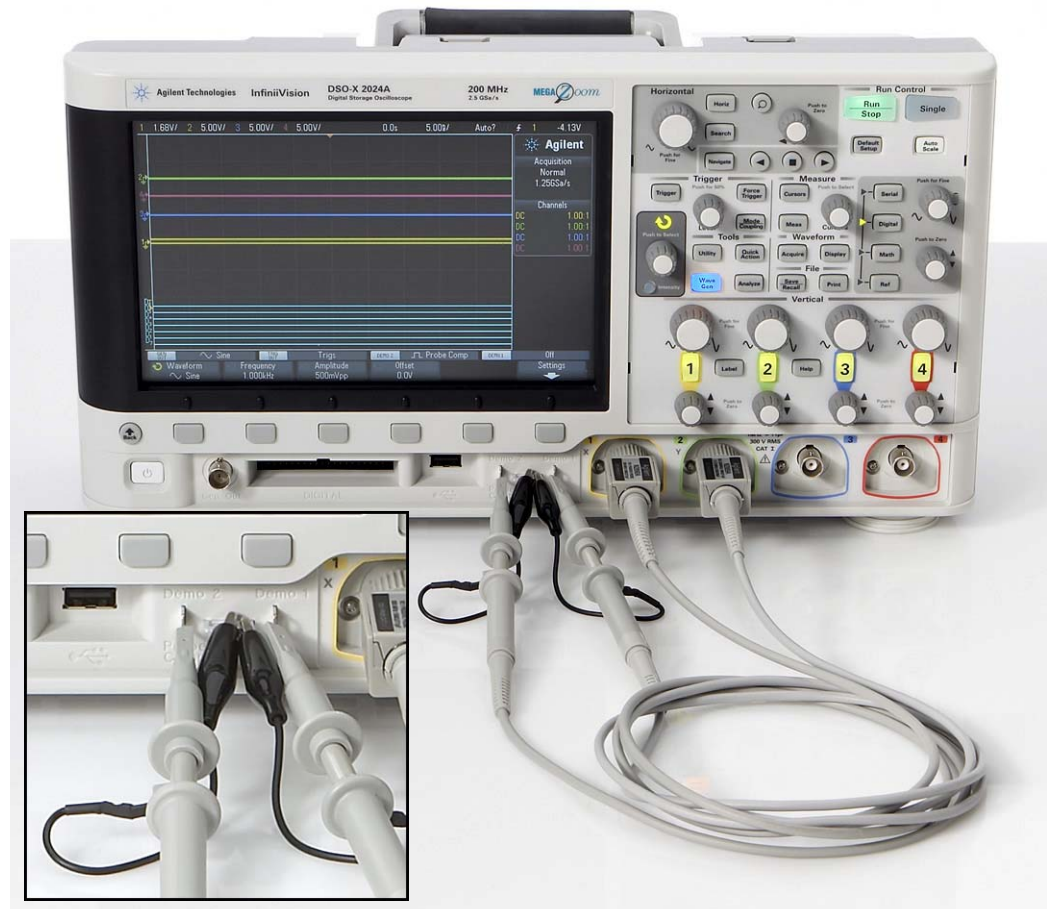


Figura 8 Conexión de las sondas entre las entradas del canal 1 y canal 2 a los terminales de salida de las señales de capacitación

- 2 Conecte una segunda sonda del osciloscopio entre el BNC de entrada del canal 2 y el terminal de salida etiquetado “Demo2”, como se muestra en la [Figura 8](#). Conecte esta pinza a tierra de la sonda al terminal central.
- 3 Presione la tecla [**Default Setup**] cerca de la parte superior derecha del panel frontal.

La tecla **Default Setup** hará que el osciloscopio funcione de acuerdo a la configuración predeterminada de fábrica. No sólo configurará los factores de escala X e Y del osciloscopio a los valores preestablecidos, sino que también apagará cualquier modo especial de operación que alguno de sus compañeros de estudios pueda haber usado.

- 4 Presione la tecla [**Help**] del panel frontal (cerca de los controles verticales del canal 2).
- 5 Presione la tecla programable **Training Signals** debajo de la pantalla del osciloscopio.
- 6 Con la perilla **Entry**, seleccione la señal **Sine** (parte superior de la lista), luego presione la tecla programable **Output** para encenderla.

Ahora debería encontrar una onda sinusoidal en el terminal Demo1, pero todavía no se la reconoce con los factores de escala predeterminados del osciloscopio. Ahora vamos a ajustar la configuración vertical y horizontal del osciloscopio para ampliar y centrar esta forma de onda en la pantalla.

- 7 Gire la perilla 1 V/div del canal 1 hacia la derecha hasta que vea que la forma de onda cubre más de la mitad de la pantalla. El ajuste correcto debe ser **500 mV/div**, que se muestra como “500mV/” cerca de la parte superior izquierda de la pantalla.
- 8 Gire la perilla s/div (perilla grande en la sección Horizontal) hacia la derecha hasta que observe más de dos períodos de una onda sinusoidal a través de la pantalla. El ajuste correcto debe ser **50 ns/div**, que se muestra como “50,00ns/” cerca de la mitad de la parte superior de la pantalla. La pantalla del osciloscopio ahora debe ser similar a la [Figura 9](#). A partir de este punto, simplemente nos referiremos a esta configuración como el ajuste de “base de tiempo” del osciloscopio.

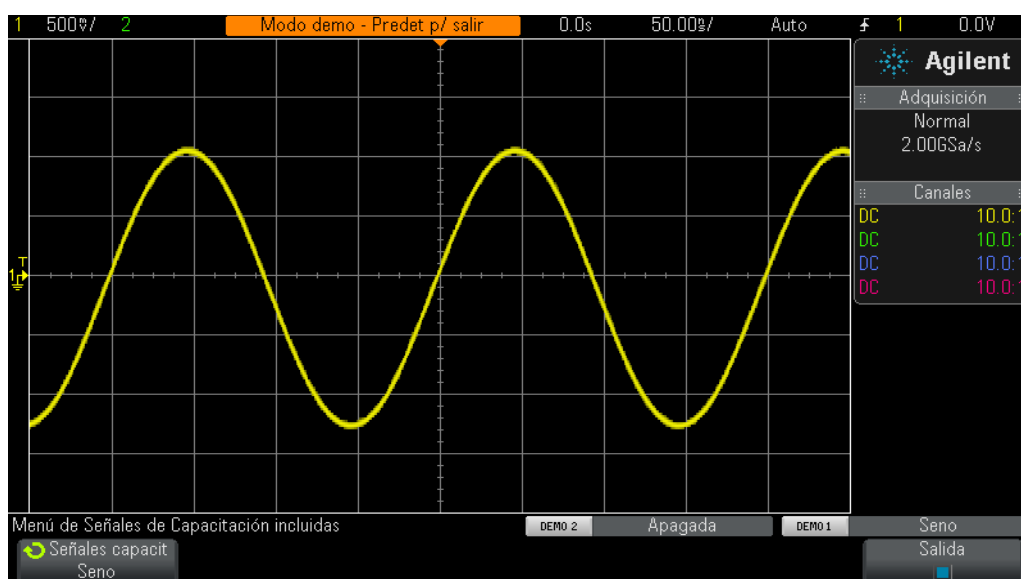


Figura 9 Configuración inicial para ver la señal de capacitación de la onda sinusoidal

- 9 Gire la perilla de posición Horizontal para mover la forma de onda a la izquierda y a la derecha.
- 10 Presione la perilla de posición Horizontal para configurarla nuevamente en cero (0,0 segundos en el centro de la pantalla).
- 11 Gire la perilla de posición vertical del canal 1 para mover la forma de onda hacia arriba y hacia abajo. Observe que el indicador de tierra a la izquierda también se mueve hacia arriba y hacia abajo y nos dice donde se encuentran los 0,0 Voltios (nivel de la tierra) en esta forma de onda.
- 12 Presione la perilla de posición vertical del canal 1 para configurar nuevamente el ajuste tierra (0,0 V) en el centro de la pantalla.

Ahora vamos a realizar algunas mediciones en esta onda sinusoidal repetitiva. Tenga en cuenta que la pantalla del osciloscopio es básicamente un gráfico X versus Y. En nuestro eje X (horizontal) podemos medir el tiempo, y en nuestro eje Y (vertical) se puede medir el voltaje. En muchas de sus tareas de las clases de Física o EE, es probable que haya calculado y graficado, pero de manera estática, señales eléctricas en un formato similar en papel. O, quizás haya utilizado diversas aplicaciones de software de PC para graficar de forma automática las formas de onda. Cuando se aplica a un osciloscopio una señal de entrada repetitiva, podemos observar gráficos dinámicos (actualizados continuamente) de nuestra onda.

Nuestro eje X se compone de 10 grandes divisiones en la pantalla y cada gran división es igual a la configuración de seg/div. En este caso, cada gran división horizontal representa 50 nanosegundos de tiempo, suponiendo que la base de tiempo del osciloscopio se configura en 50,0 ns/div como se indicó anteriormente. Dado que hay 10 divisiones en la pantalla, entonces el osciloscopio muestra 500 ns de tiempo (50,0 ns/div x 10 divisiones) desde el lado izquierdo de la pantalla hacia el lado derecho de la misma. Tenga en cuenta que cada división principal también se divide en cuatro divisiones menores, que se muestran como marcas de verificación en el eje horizontal central. Cada división menor representaría entonces $1/4 \text{ div} \times 50 \text{ ns/div} = 12,5 \text{ ns}$.

Nuestro eje Y se compone de 8 grandes divisiones verticales y cada gran división es igual a la configuración de V/div, que se debe configurar en 500 mV/div. En este ajuste, el osciloscopio puede medir señales de hasta 4 Vp-p (500 mV/div x 8 divisiones). Cada división principal se divide en cinco divisiones menores. Cada división menor, representada como marcas de verificación en el eje vertical central, entonces representa 100 mV.

- 13 Estime el período (T) de una de estas ondas sinusoidales contando el número de divisiones (principales y menores) desde el nivel 0,0 V de un borde ascendente (en el centro de la pantalla) al nivel 0,0 V del siguiente borde ascendente, luego multiplique por el ajuste s/div (debe ser 50,0 ns/div).

$$T = \underline{\hspace{2cm}}$$

- 14 ¿Cuál es la frecuencia de esta onda de sinusoidal ($F = 1/T$)?

$$F = \underline{\hspace{2cm}}$$

Ahora vamos a calcular el nivel de voltaje pico a pico de estas ondas sinusoidales, pero primero, vamos a hacer unos pequeños ajustes a nuestra configuración vertical que pueden ayudarnos a realizar esta medición de manera más precisa.

- 15 Ajuste la perilla de posición vertical del canal 1 (perilla más pequeña debajo de la tecla iluminada “1”) hasta que los picos negativos de las ondas sinusoidales se crucen con una de las retículas principales (o líneas de la retícula).
- 16 A continuación, ajuste la perilla de posición horizontal (perilla más pequeña en la parte superior del panel frontal) hasta que uno de los picos positivos de las ondas sinusoidales se crucen con el eje vertical central que tiene las marcas de verificación de la división menor.
- 17 Ahora, estime el voltaje de pico a pico de esta onda sinusoidal contando el número de divisiones (principales y menores) desde el pico negativo de la onda sinusoidal hasta el pico positivo, y luego multiplique por el valor V/div (que debe ser 1 V/div).

$$V_{p-p} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Ahora vamos a utilizar la función “cursores” del osciloscopio para realizar las mismas mediciones de voltaje y tiempo, pero sin tener que contar las divisiones y luego multiplicar por factores de escala. En primer lugar, localice visualmente la perilla “Cursors” en la sección Measure (medición) del panel frontal, como se muestra en la [Figura 10](#).



Figura 10 Perilla de cursores de medición

- 18 Presione la perilla Cursors, a continuación, gire la perilla hasta que se resalte “X1”; a continuación, presione de nuevo para seleccionar (si no presiona la perilla una segunda vez después de marcar a los cursores “X1”, se producirá un tiempo de espera y se seleccionará el cursor X1 automáticamente y el menú se cerrará).
- 19 Gire la perilla Cursors hasta que el cursor X1 (marcador de tiempo N°1) se cruce con un borde ascendente de una onda sinusoidal a un nivel de voltaje

2 Laboratorios básicos de medición del osciloscopio y del generador de onda

particular. Consejo: Alinee el cursor en un punto de la forma de onda donde cruza una de las líneas de la retícula horizontal.

- 20 Presione otra vez la perilla Cursors; gire la perilla hasta que se ilumine “X2”; a continuación, presione de nuevo para seleccionar.
- 21 Gire la perilla Cursors hasta que el cursor X2 (marcador de tiempo N°2) se cruce con el siguiente borde ascendente de la onda sinusoidal al mismo nivel de voltaje.
- 22 Presione otra vez la perilla Cursors; gire la perilla hasta que se ilumine “Y1”; a continuación, presione de nuevo para seleccionar.

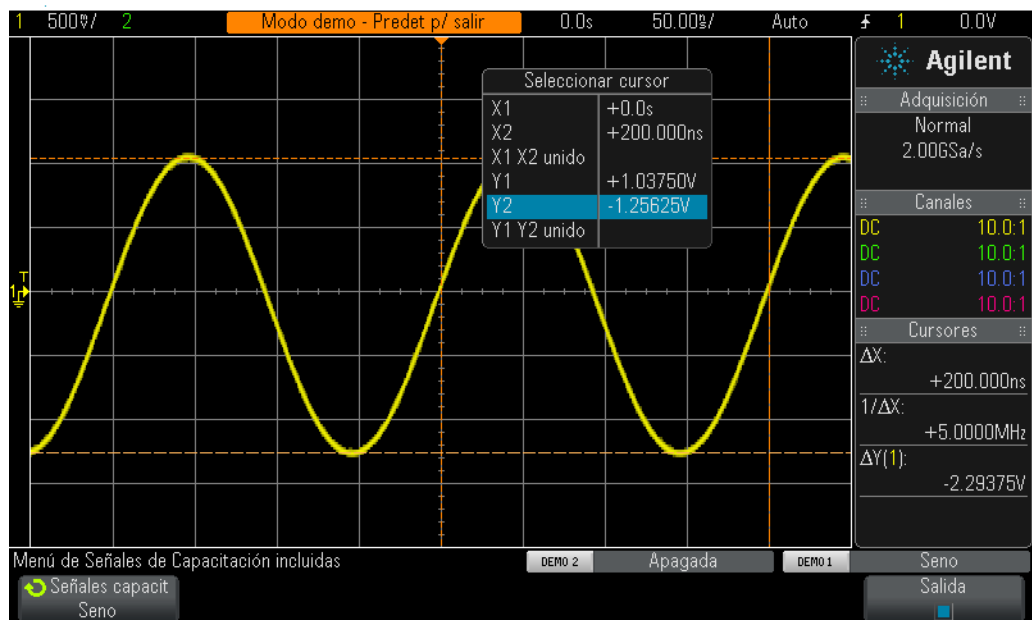


Figura 11 Como utilizar las mediciones de los cursores del osciloscopio

- 23 Gire la perilla Cursors hasta que el cursor Y1 (marcador de voltaje N°1) se cruce con los picos negativos de las ondas sinusoidales.
- 24 Presione otra vez la perilla Cursors; gire la perilla hasta que se ilumine “Y2”; a continuación, presione de nuevo para seleccionar.
- 25 Gire la perilla Cursors hasta que el cursor Y2 (marcador de voltaje N° 2) se cruce con los picos positivos de las ondas sinusoidales.
- 26 ¿Cuáles son el período, la frecuencia y el voltaje pico a pico de esta señal? (la lectura del cursor se encuentra en la parte derecha de la pantalla)

$$\Delta X = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$1/\Delta X = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\Delta Y(1) = \underline{\hspace{2cm}}$$

El método más común usado para medir el tiempo y voltaje en un osciloscopio es el método de “conteo de división” que utilizamos primero. A pesar de que las divisiones deben contarse y luego multiplicarse por los ajustes del osciloscopio, los ingenieros que están familiarizados con sus osciloscopios pueden rápidamente estimar los parámetros de voltaje y tiempo de sus señales ... y, a veces, una estimación aproximada es todo lo que se necesita para saber si una señal es válida o no.

Al usar cursores se obtiene una medición un poco más precisa y se eliminan las conjeturas de la medición. La mayoría de los osciloscopios de hoy también proporcionan una manera aún más precisa y más rápida de hacer muchas mediciones paramétricas automáticamente. Vamos a volver a tratar el tema de las mediciones paramétricas automáticas del osciloscopio durante laboratorio N° 10, cuando empecemos a hacer algunas mediciones en algunas señales digitales. Pero por ahora, tenemos que dar un paso atrás y aprender acerca de disparo del osciloscopio.

Laboratorio N°2: Conceptos básicos del disparo en el osciloscopio

Como se mencionó anteriormente, el disparo del osciloscopio es probablemente la función más importante de un osciloscopio, la cual debe entender si desea obtener el máximo rendimiento de las mediciones de su osciloscopio. Esto es especialmente importante cuando se trata de hacer mediciones en muchas de las señales digitales más complejas de hoy. Por desgracia, el disparo es probablemente el aspecto menos comprendido de un osciloscopio.

Piense en la función de "disparo" del osciloscopio como la "captura de una imagen sincronizada". Cuando un osciloscopio está capturando y mostrando una señal de entrada repetitiva, puede estar tomando decenas de miles de imágenes por segundo de la señal de entrada. Para poder ver estas formas de onda (o imágenes), la toma de imágenes se debe sincronizar con "algo". Ese "algo" es un punto único en el tiempo de la señal de entrada, o tal vez un punto único en el tiempo basado en una combinación booleana de señales de entrada (disparo de "patrón" lógico) mientras se usan varios canales del osciloscopio.

La fotografía de llegada de una carrera de caballos es análoga al disparo en el osciloscopio. Aunque no es un evento repetitivo, el obturador de la cámara debe estar sincronizado al momento en que la nariz del primer caballo a la cabeza cruza la línea final. Tomar fotos aleatorias de los caballos de carrera en algún momento entre el comienzo y el final de la carrera sería algo análogo a la visualización de las formas de onda sin disparo en un osciloscopio.

Para entender mejor la función de disparo del osciloscopio, vamos a hacer algunas mediciones más en nuestra onda sinusoidal conocida que utilizamos en el laboratorio N° 1.

- 1 Asegúrese de que las dos sondas del osciloscopio aún están conectadas entre los terminales etiquetados Demo1 y Demo2 y los BNC de entrada del Canal 1 y Canal 2, respectivamente.
- 2 Presione la tecla [**Default Setup**] en el panel frontal del osciloscopio.
- 3 Presione la tecla [**Help**] y luego la tecla programable **Training Signals**.
- 4 Seleccione la señal de capacitación "**Sine**" con la perilla **Entry**; y, a continuación, presione la tecla programable **Output** para encenderla.
- 5 Configure la V/div del canal 1 en **500 mV/div**.
- 6 Configure la base de tiempo del osciloscopio en **50,00 ns/div**.
- 7 Presione la tecla [**Trigger**] del panel frontal.

La pantalla del osciloscopio ahora debe ser similar a la [Figura 12](#). Al usar las condiciones de disparo predeterminadas del osciloscopio, el osciloscopio debería disparar en un borde (selección del tipo de disparo) ascendente (selección de pendiente) de la onda sinusoidal que está bajo prueba y es capturada por el canal 1 (selección de fuente), cuando esta señal cruza el nivel 0,0 V (ajuste de nivel de disparo). Este punto en el tiempo se muestra en el

centro de la pantalla (tanto horizontal como verticalmente) si el control de posición horizontal se establece en 0,0 segundos (configuración predeterminada). Los datos de la forma de onda capturados antes del punto de disparo (a la izquierda de la pantalla) se consideran los datos negativos del tiempo, mientras que los datos de la forma de onda capturados después del punto de disparo (a la derecha de la pantalla) se consideran los datos positivos de tiempo.

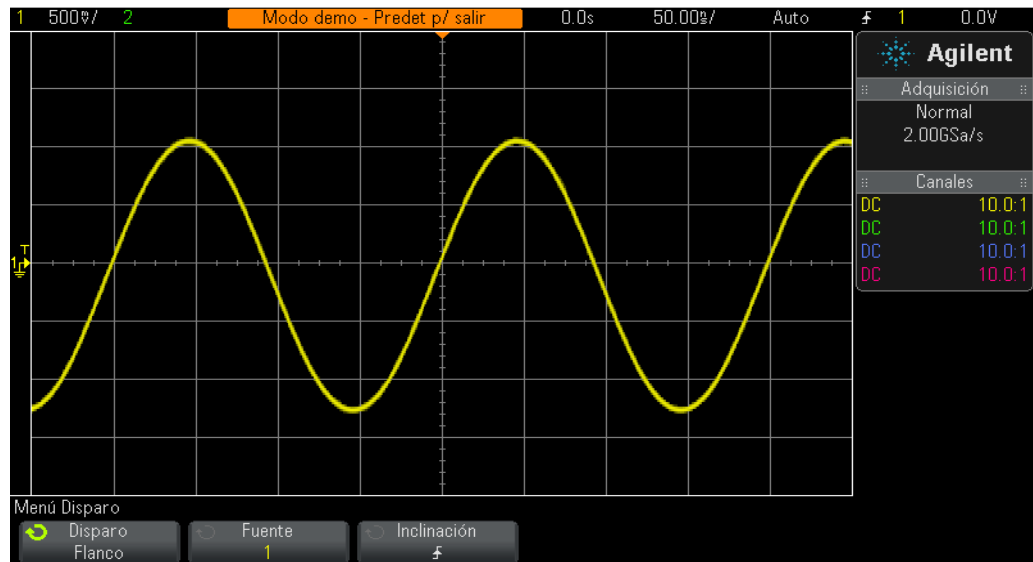


Figura 12 Disparo del osciloscopio en un borde ascendente del canal 1 a 0,0 Voltios

Tenga en cuenta que el triángulo de color naranja “relleno” en la parte superior de la pantalla indica la posición donde se ubica el punto de tiempo de disparo (0,0 s). Si ajusta la posición/retraso horizontal, este triángulo de color naranja se alejará del centro de la pantalla. El triángulo de color naranja “hueco” en el centro de la pantalla (sólo visible si el retraso/posición no es 0,0 s) indica la ubicación temporal de la configuración de retraso cuando se utiliza la referencia “central” predeterminada del osciloscopio.

- 8 Gire la perilla de nivel de disparo hacia la derecha para aumentar el ajuste de voltaje del nivel de disparo.
- 9 Gire la perilla de nivel de disparo hacia la izquierda para disminuir el ajuste de voltaje del nivel de disparo.

A medida que aumenta el ajuste de voltaje del nivel de disparo, debe observar el desplazamiento en tiempo de la onda sinusoidal a la izquierda. Si disminuye el ajuste de voltaje del nivel de disparo, la onda sinusoidal se desplazará hacia la derecha. Cuando inicialmente gira la perilla de nivel de disparo, aparecerá un indicador de nivel disparo horizontal naranja, y el ajuste exacto del voltaje del disparo siempre se muestra en la esquina superior derecha de la pantalla del osciloscopio. Si deja de girar la perilla de nivel de disparo, el indicador de

2 Laboratorios básicos de medición del osciloscopio y del generador de onda

nivel de disparo naranja hará un intervalo y desaparecerá después de unos segundos. Pero todavía hay un indicador de nivel de disparo amarillo que se muestra fuera del área de la retícula de la forma de onda a la izquierda para indicar el lugar donde se configura el nivel de disparo en relación con la forma de onda.

- 10 Gire la perilla de nivel de disparo para establecer el nivel de disparo a exactamente **500 mV** (1 división por encima del centro de la pantalla). Tenga en cuenta que el nivel de disparo exacto se muestra en la esquina superior derecha de la pantalla.
- 11 Presione la tecla programable **Slope** y, a continuación, seleccione una condición de disparo de borde **Descendente**.

La onda sinusoidal ahora parece haberse invertido 180 grados con un borde descendente de la forma de onda sincronizado en el centro de la pantalla, como se muestra en la [Figura 13](#).

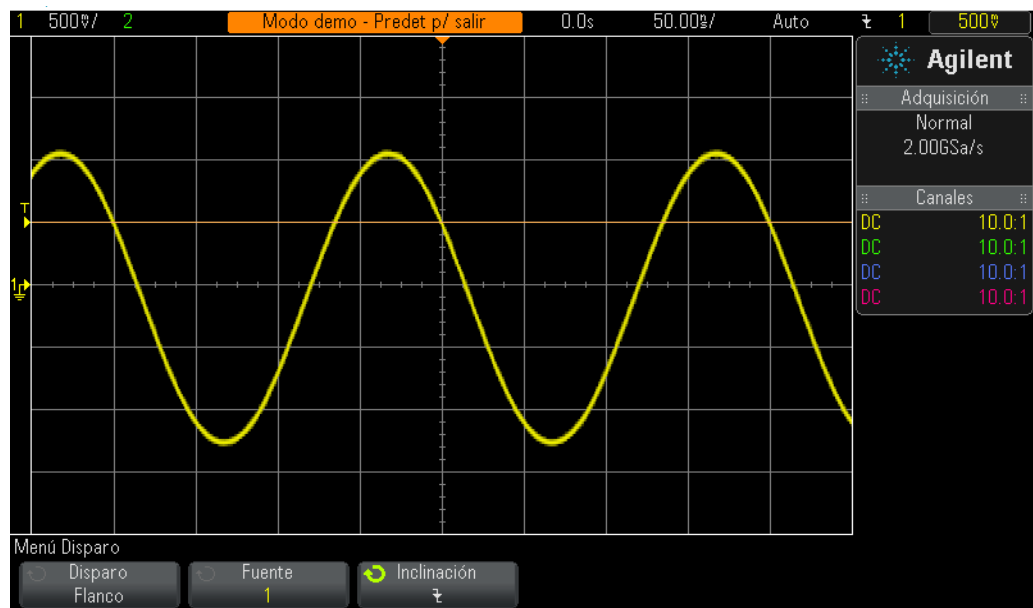


Figura 13 Disparo en el borde descendente de la onda sinusoidal a + 500 mV

- 12 Aumente el ajuste de voltaje del nivel de disparo hasta que el indicador de nivel naranja quede por encima de los picos positivos de la onda sinusoidal (aproximadamente +1,5 V).

Con el nivel de disparo establecido por encima de la onda sinusoidal, la adquisición y la pantalla del osciloscopio (captura de imágenes repetitivas) ya no están sincronizadas con la señal de entrada ya que el osciloscopio no puede encontrar ningún borde que cruce en este ajuste de nivel de disparo determinado. La pantalla del osciloscopio ahora debe ser similar a la [Figura 14](#). El osciloscopio ahora está realizando un “disparo automático”.

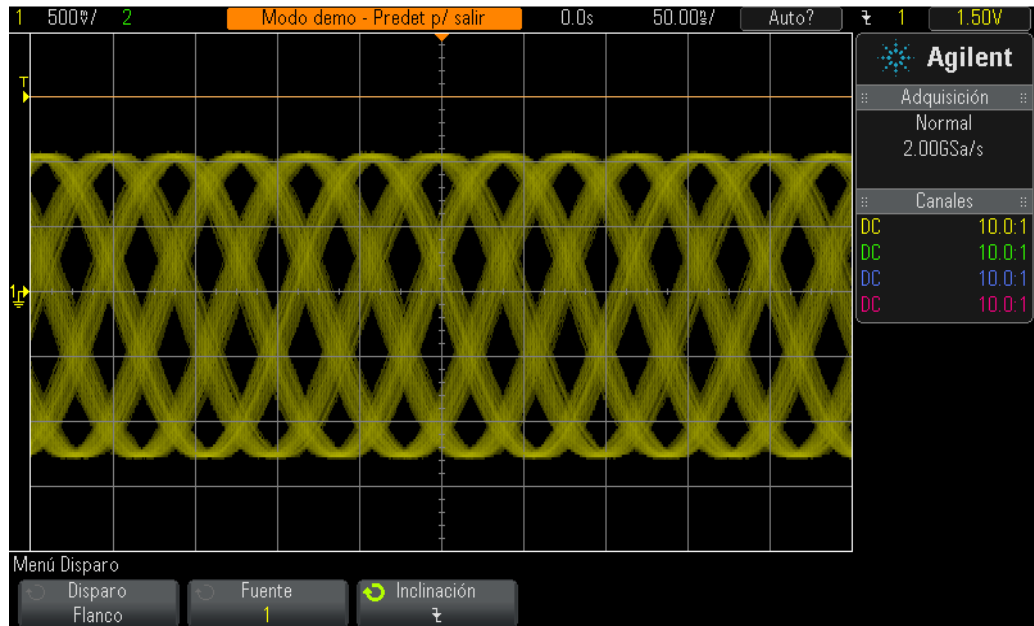


Figura 14 Disparo automático con el nivel de disparo establecido por encima de la señal de entrada

Auto Trigger es el modo predeterminado de disparo del osciloscopio. Cuando el osciloscopio utiliza el modo **Auto Trigger**, si este no encuentra una condición de disparo válida (borde que cruza la onda sinusoidal en este caso) después de un período de tiempo (el tiempo varía y depende de la configuración de base de tiempo del osciloscopio), entonces va a generar su propio disparo asincrónico y comenzará a tomar fotografías (adquisiciones) de la señal de entrada de forma aleatoria. Dado que la “toma de fotografías” ahora es aleatoria, en lugar de sincronizar a la señal de entrada, todo lo que vemos es una “imagen borrosa” de formas de onda a través de la pantalla. Esta “imagen borrosa” de las formas de onda debe darnos la idea de que nuestro osciloscopio no está disparando en la señal de entrada.

- 13 Presione la perilla de nivel de disparo para establecer automáticamente el nivel de disparo a un nivel aproximado del 50%.
- 14 Desconecte la sonda del canal 1 del terminal Demo1.

Con la sonda del canal 1 desconectada de nuestra fuente de señal, ahora deberíamos ver una señal de referencia de 0,0 V CC. Dado que con esta señal de 0,0 V CC ya no tenemos ningún cruce en los bordes, y por lo tanto el osciloscopio no tiene nada a que dispararle, el osciloscopio nuevamente realiza “auto disparos” para mostrarnos esta señal de nivel CC.

Además del modo predeterminado **Auto Trigger**, el osciloscopio también tiene otro modo de disparo que puede seleccionar el usuario llamado modo **Normal Trigger**. Ahora vamos a ver cómo difiere el modo **Normal Trigger** del modo **Auto Trigger**.

- 15 Vuelva a conectar la sonda del canal 1 al terminal Demo1. Debe ver el disparo de la onda sinusoidal nuevamente.
- 16 Presione la tecla del panel frontal [**Mode/Coupling**] (a la derecha de la perilla de nivel de disparo).
- 17 Gire la perilla **Entry** para cambiar la selección del modo de disparo de **Auto** a **Normal**. Ahora no debe ver ninguna diferencia en la forma de onda que aparece.
- 18 Desconecte la sonda del canal 1 del terminal Demo1 nuevamente.

Ahora debería ver la última adquisición (última foto) que se produjo antes de desconectar la sonda. No vemos el trazado del nivel 0,0 V CC que muestra el modo **Auto Trigger**. Cuando selecciona el modo **Normal Trigger**, el osciloscopio sólo mostrará las formas de onda, **si y sólo si**, detecta las condiciones de disparo válidas (cruces de borde en este caso).

- 19 Gire la perilla de disparo hacia la derecha con el fin de establecer el nivel de disparo en +1,50 V (que está por encima de nuestra onda sinusoidal).
- 20 Vuelva a conectar la sonda del canal 1 al terminal Demo1.

La onda sinusoidal ya está conectada y siendo incorporada al osciloscopio, pero ¿dónde está nuestra pantalla repetitiva de esta señal? Como estamos usando el modo de disparo **Normal**, el osciloscopio aún requiere de cruces válidos de borde, pero dado que el nivel de disparo se establece por encima de la forma de onda (a +1,50 V), no hay cruces válidos de borde. Entonces, como se puede ver con el modo de disparo **Normal**, no tenemos ni idea de dónde está nuestra forma de onda, y no podemos medir la CC.

- 21 Presione la perilla de nivel de disparo para establecer automáticamente el nivel de disparo a un nivel aproximado del 50%. Su osciloscopio debería comenzar a mostrar formas de onda repetitivas nuevamente.

Algunos osciloscopios antiguos solían llamar modo de disparo **Triggered** a lo que hoy llamamos modo de disparo **Normal**, que en realidad puede ser un término más descriptivo para este modo de disparo, ya que en este modo el osciloscopio sólo se dispara cuando encuentra una condición de disparo válido, y no genera un disparo automático (disparo asincrónico para generar toma de imagen asincrónica). Y es un poco una contradicción que el modo de disparo **Normal** no sea el modo de disparo “normalmente” utilizado, y que no sea el modo de disparo predeterminado del osciloscopio. El modo de disparo que se utiliza normalmente es el modo **Auto**, que es el modo de disparo predeterminado del osciloscopio.

En este punto usted puede preguntarse cuándo usar el modo de disparo **Normal**. El modo de disparo **Normal** se utiliza cuando el evento de disparo ocurre con muy poca frecuencia (incluidos los eventos de un solo disparo). Por ejemplo, si usted había configurado el osciloscopio para mostrar un pulso muy estrecho, pero si este pulso se produce a sólo una frecuencia de 1 Hz (una vez por segundo), si el modo de disparo del osciloscopio se establece en **Auto**, entonces el osciloscopio generaría un montón de disparos automáticos

generados de forma asincrónica y no sería capaz de mostrar el pulso estrecho infrecuente. En este caso se deberá seleccionar el modo de disparo **Normal** para que el osciloscopio espere hasta obtener un evento de disparo válido antes de mostrar formas de onda. Vamos a conectarnos con dicha señal un poco más adelante, durante el Laboratorio N° 8 y 9. Pero por ahora, vamos a aprender más acerca de los disparos en señales ruidosas.

Laboratorio N°3: Disparo en señales ruidosas

Una onda sinusoidal repetitiva es el tipo más simple de señal para que un osciloscopio dispare. Pero en el mundo real, las señales no son tan simples. En esta práctica vamos a aprender a disparar en señales en un ambiente ruidoso (una condición del mundo real), así como también a eliminar el ruido de las formas de onda digitalizadas utilizando un promedio de forma de onda.

- 1 Asegúrese de que las dos sondas del osciloscopio aún está conectadas entre los terminales etiquetados Demo1 y Demo2 y los BNC de entrada del Canal 1 y Canal 2, respectivamente.
- 2 Presione la tecla **[Default Setup]** en el panel frontal del osciloscopio.
- 3 Presione la tecla **[Help]** y luego la tecla programable **Training Signals**.
- 4 Con la perilla **Entry**, esta vez seleccione la señal **Sine with Noise**, luego presione la tecla programable **Output** para encenderla.
- 5 Configure la V/div del canal 1 en **500 mV/div**.
- 6 Configure la base de tiempo del osciloscopio en **200,0 μ s/div**.

A pesar de que la condición de ajuste predeterminada del osciloscopio configura el osciloscopio para disparar en los bordes ascendentes a 0,0 V, parece que el osciloscopio estuviera disparando en ambos bordes ascendente y descendente de esta onda sinusoidal ruidosa, como se muestra en la [Figura 15](#). En realidad, el osciloscopio dispara SÓLO en los bordes ascendente. Sin embargo, cuando el osciloscopio parece disparar en un borde descendente de la onda sinusoidal, este en realidad está disparando en un borde ascendente del ruido aleatorio que se encuentra en la onda sinusoidal.

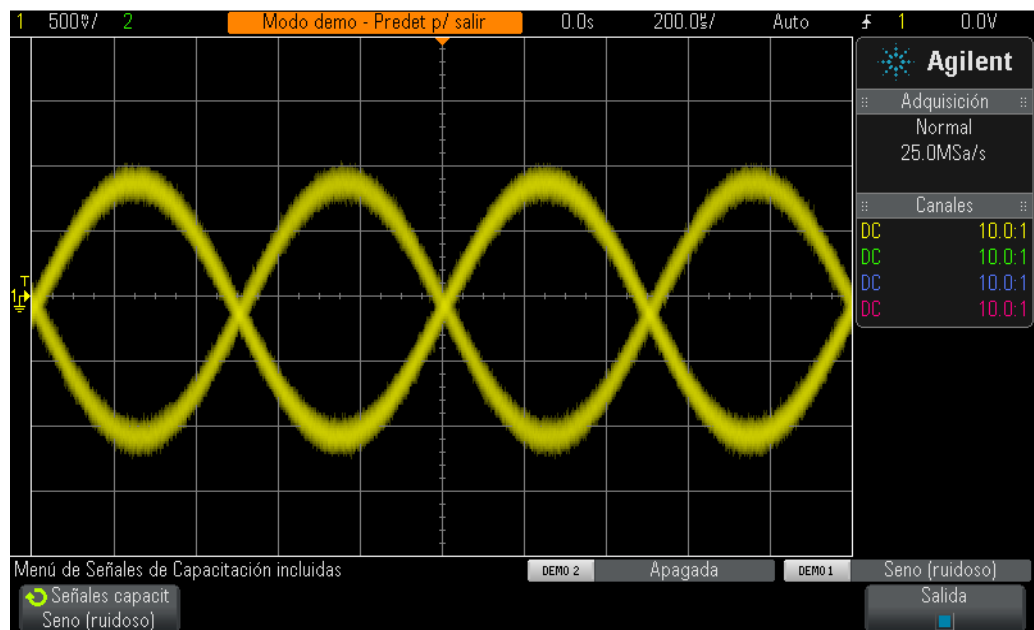


Figura 15 Intento de disparo en señales en un entorno ruidoso

7 Compruebe que el osciloscopio está disparando en los bordes ascendentes de ruido, para ello configure la base de tiempo en **200,0 ns/div**.

8 Configure la base de tiempo del osciloscopio nuevamente en **200,0 μ s/div**.

Entonces, ¿cómo podemos hacer que el osciloscopio dispare en los casos que sólo coinciden con el borde ascendente de la onda sinusoidal (sin ruido)? Ahora vamos a aprender más sobre algunas de las opciones de acoplamiento de disparo seleccionables por el usuario del osciloscopio.

9 Presione la tecla del panel frontal [**Mode/Coupling**] (cerca de la perilla de nivel de disparo).

10 Presione la tecla programable **HF Reject** para encender un filtro de “rechazo de baja frecuencia”.

La señal de entrada al osciloscopio en realidad se divide y se envía por dos vías analógicas diferentes dentro del osciloscopio. La señal que va por un camino es capturada por el sistema de adquisición del osciloscopio (sistema de toma de fotografías). Una señal similar se envía por un camino independiente para ser procesada por los circuitos de disparo analógicos del osciloscopio. (Consulte el diagrama de bloque del osciloscopio que se muestra en el Apéndice A.) Cuando se selecciona **HF Reject**, la señal procesada por los circuitos de disparo analógicos del osciloscopio se pasa primero a través de un filtro de paso bajo de 50 kHz. Dado que el ruido se compone de un amplio espectro de frecuencias, incluidos los elementos de alta frecuencia, los circuitos de disparo “ven” una onda sinusoidal con la mayoría del ruido eliminado/atenuado, mientras que la señal que se envía por el camino de adquisición no se ve afectada (conserva el ruido). De esta forma vemos el ruido, como se muestra en la [Figura 16](#), pero el circuito de disparo del osciloscopio no lo ve. Sin embargo, hay limitaciones.

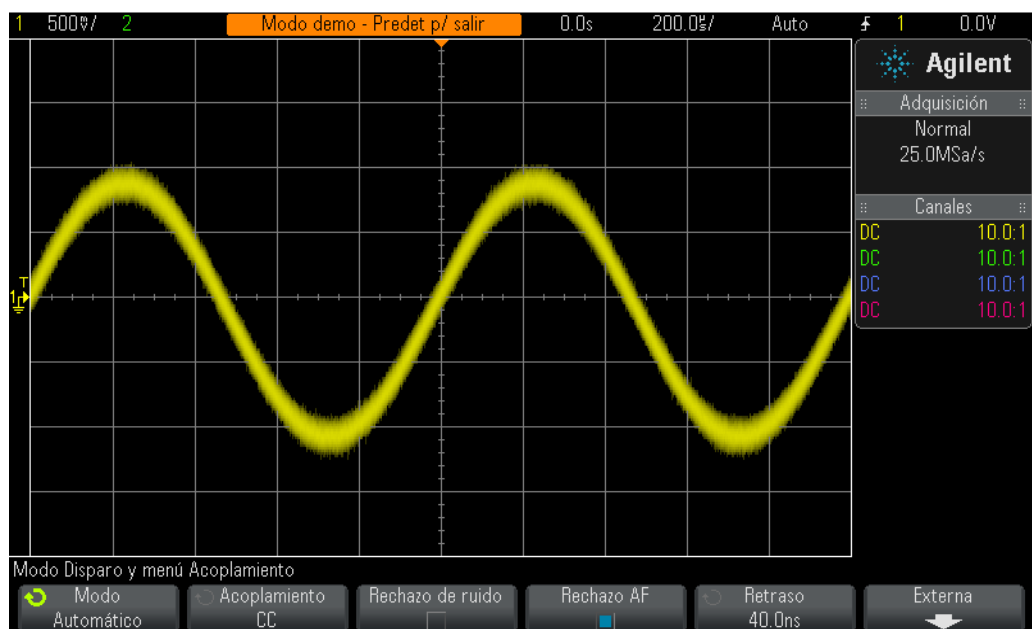


Figura 16 Disparo en una onda sinusoidal con ruido usando HF Reject

Dado que el filtro **HF Reject** se basa en un filtro de hardware de paso bajo establecido en 50 kHz, no se puede utilizar en señales de frecuencia más alta. Este filtro de paso bajo a 50 kHz no afecta a nuestra señal de capacitación de la onda sinusoidal de 1 kHz. Pero si intenta utilizar el disparo **HF Reject** en una onda sinusoidal ruidosa a 20 MHz, el filtro de 50 kHz “eliminaría” tanto el ruido como la onda sinusoidal fundamental de 20 MHz lo que hace imposible realizar un disparo. Pero tenemos dos opciones más.

- 11 Presione la tecla programable **HF Reject** de nuevo para apagarla. Parece que el osciloscopio dispara en los bordes ascendente y descendente de la onda sinusoidal nuevamente.
- 12 Presione la tecla programable **Noise Rej** para encender un filtro de “rechazo de ruido”.

El filtro **Noise Rej** no se basa en la frecuencia, sino que se basa en la amplitud. Aunque hemos estado hablando de un nivel de disparo único, en realidad hay dos niveles que una señal tiene que atravesar para poder calificar como un disparo válido. Esto se llama “histéresis de disparo”, o, a veces denominado “sensibilidad de disparo”. La sensibilidad de disparo predeterminada en la mayoría de los osciloscopios es 0,5 divisiones. Esto significa que las señales de entrada deberán poder golpear al menos 0,5 divisiones pico a pico con el fin de calificar como condiciones de disparo válido. Pero esto también significa que los osciloscopios dispararán sobre el ruido si el ruido supera aproximadamente las 0,5 divisiones pico a pico. Cuando selecciona **Noise Rej** la histéresis del osciloscopio se amplía a aproximadamente 1,0 división pico a pico. Para esta onda sinusoidal ruidosa en particular, las divisiones 1,0 de histéresis del disparo resuelven nuestro problema la mayor parte del tiempo. Puede notar algún “parpadeo” en la pantalla del osciloscopio. Esto significa que las divisiones 1,0 de histéresis no son suficientes. Otra solución es utilizar la función de retraso de disparo del osciloscopio, de la que vamos a hablar en laboratorio N°7.

Antes de dejar de realizar mediciones en esta onda sinusoidal con ruido, ¿qué pasaría si quisiéramos ver y realizar mediciones en esta onda sinusoidal, pero sin el ruido aleatorio?

- 13 Presione la tecla programable **HF Reject**. Ahora, tanto el filtro de rechazo de alta frecuencia, como el filtro de rechazo del ruido deben estar encendidos para proporcionarnos un disparo muy estable.
- 14 Presione la tecla [**Acquire**] en la sección Waveform (Forma de onda) del panel frontal (justo debajo de la perilla Cursors).
- 15 Gire la perilla **Entry** para cambiar el modo de adquisición del osciloscopio de **Normal** a **Averaging**.

Cuando haya seleccionado el modo de adquisición **Averaging**, el osciloscopio promedia múltiples adquisiciones de forma de ondas juntas. Si el ruido montado en la señal es aleatorio, entonces el componente de ruido se promedia de modo que podremos hacer mediciones más precisas sólo en el componente fundamental de la señal, como se muestra en la [Figura 17](#).

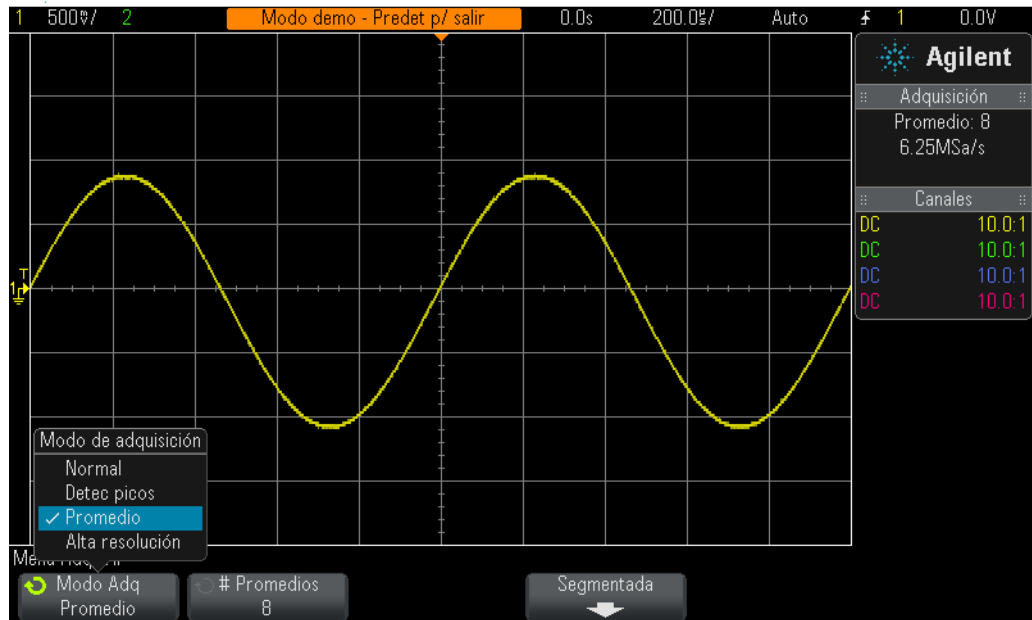


Figura 17 Uso del modo de adquisición Averaging del osciloscopio para eliminar el ruido

16 Utilizando las técnicas de medición que ha aprendido en el laboratorio N° 1, determine lo siguiente:

Período = _____

Frec = _____

V_{p-p} = _____

Laboratorio N°4: Documentar y guardar los resultados de prueba del osciloscopio

Cuando haya completado sus tareas de laboratorio de los diferentes circuitos, es posible que su profesor le indique escribir un informe de la prueba. También es posible que se le pida incluir imágenes (fotografías) de sus mediciones en su informe de laboratorio. Además, si usted no puede completar un trabajo de laboratorio durante una sesión, es posible que desee continuar con las pruebas en un momento posterior. Pero realmente sería estupendo si pudiera continuar donde lo dejó, sin tener que volver a configurar su osciloscopio ni volver a adquirir formas de onda. En este laboratorio, aprenderá cómo guardar y recuperar diferentes tipos de archivos del osciloscopio incluyendo imágenes, formas de onda de referencia, y configuraciones. En este laboratorio debe tener acceso a un dispositivo de memoria USB personal.

- 1 Asegúrese de que las dos sondas del osciloscopio aún están conectadas entre los terminales etiquetados Demo1 y Demo2 y los BNC de entrada del Canal 1 y Canal 2, respectivamente.
- 2 Presione la tecla [**Default Setup**] en el panel frontal del osciloscopio.
- 3 Presione la tecla [**Help**] y luego la tecla programable **Training Signals**.
- 4 Seleccione la forma de onda “**Sine**” con la perilla **Entry**; y, a continuación, presione la tecla programable **Output** para encenderla.
- 5 Configure la V/div del canal 1 en **500 mV/div**.
- 6 Configure la base de tiempo del osciloscopio en **100 ns/div**.

En este momento debería ver cinco ciclos de una onda sinusoidal, como se muestra en la [Figura 18](#). Ahora guarde esta imagen (imagen), guarde la forma de onda, y guarde la configuración.

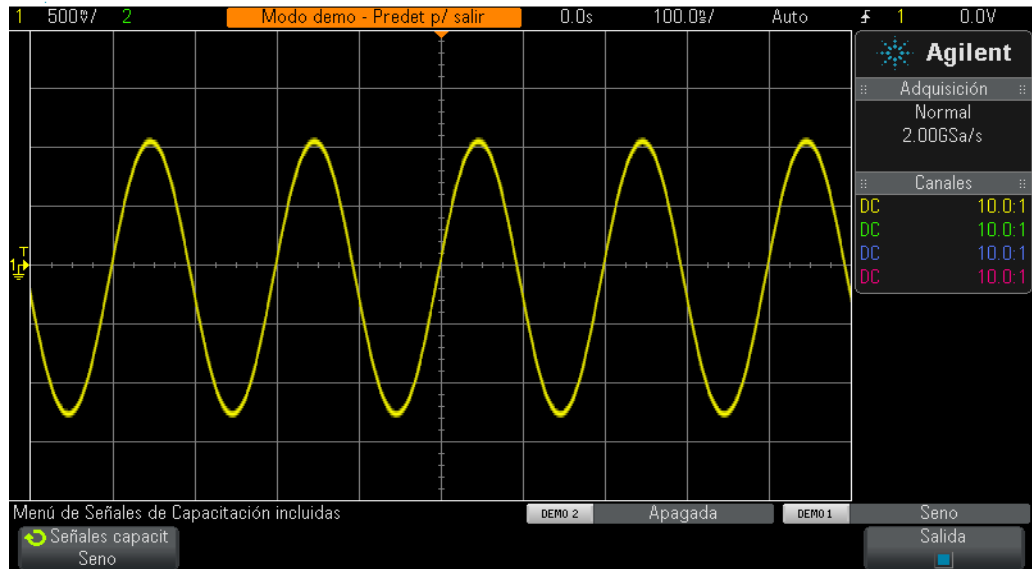


Figura 18 Cinco ciclos de una onda sinusoidal que queremos guardar para documentación y análisis posterior

- 7 Inserte su dispositivo de memoria USB personal en el puerto USB del panel frontal del osciloscopio.
- 8 Presione la tecla [**Save/Recall**] en la sección File (Archivo) del panel frontal, debajo de la perilla Cursors.
- 9 Presione la tecla programable **Save**, luego presione la tecla programable **Format**.
- 10 Use la perilla **Entry** para seleccionar **PNG 24-bit image (*.png)**.
- 11 Presione la tecla programable **Save to** (o posiblemente **Press to go**); a continuación, elija **\usb** utilizando la perilla **Entry**.
- 12 Presione la tecla programable **File Name**; a continuación, gire la perilla **Entry** y escriba un nombre para este archivo. Por ahora, vamos a llamarlo "prueba".
- 13 Al girar la perilla general de entrada, aparecerá una cadena alfanumérica. Sólo tiene que marcar a la primera letra, "p" en este caso, a continuación, presione la tecla programable **Enter** o presione la perilla **Entry**.
- 14 Repita el paso 13 para cada letra restante en este nombre de archivo.
- 15 Presione la tecla programable **Delete** para eliminar cualquier caracter del nombre de archivo predeterminado.
- 16 Presione la tecla programable **Increment** para desactivar el incremento automático (la caja debe ser de color negro). Tenga en cuenta que si el incremento automático está activado, el osciloscopio incrementará automáticamente un número asociado con el nombre de archivo. Esto puede ser útil si tiene intención de guardar varias imágenes sin necesidad

de volver a introducir manualmente los nombres de los archivo diferentes entre cada operación de almacenamiento.

17 Presione la tecla programable **Press to Save**.

El dispositivo de memoria USB debería haber almacenado una imagen de la pantalla del osciloscopio similar a la [Figura 18](#). El nombre del archivo debe ser “prueba.png”. Puede abrir este archivo o insertarlo en un documento de Word de Microsoft más tarde para ver si está realmente allí. Ahora vamos a guardar el ajuste de configuración del osciloscopio.

18 Presione la tecla [**Save/Recall**] del panel frontal.

19 Presione la tecla programable **Save**, luego presione la tecla programable **Format**.

20 Con la perilla **Entry**, seleccione **Setup (*.scp)**.

21 Presione la tecla programable **Save to** (o posiblemente **Press to go** o **Location**).

22 Señale **\usb** con la perilla **Entry**; a continuación, presione la perilla **Entry**.

23 Presione la tecla programable **File Name**. Verá que el nombre del archivo ingresado anteriormente se convertirá en el nuevo nombre de archivo predeterminado. Como el formato de los archivos de “configuración” utiliza una extensión de archivo diferente, podemos usar el mismo nombre de archivo.

24 Presione la tecla programable **Press to Save**.

El dispositivo de memoria USB debe tener ahora el archivo llamado “prueba.scp” que contiene los ajustes de la configuración actual del osciloscopio. Podemos recuperar estos ajustes de configuración más tarde. Tenga en cuenta que también podemos almacenar datos en uno de los registros de memoria flash interna del osciloscopio. Sin embargo, si uno de sus compañeros de estudios utiliza este osciloscopio podría sobrescribir este registro de memoria con su configuración. Por lo tanto, es siempre una buena práctica que un estudiante con un osciloscopio compartido guardar las configuraciones del osciloscopio y formas de onda en su propio dispositivo de memoria personal. Ahora vamos a guardar un archivo de datos de la forma de onda de referencia.

25 Presione la tecla [**Save/Recall**] del panel frontal.

26 Presione la tecla programable **Save**, luego presione la tecla programable **Format**.

27 Con la perilla **Entry**, seleccione **Reference Waveform data file (*.h5)**.

28 Presione la tecla programable **Save to** (o posiblemente **Press to go**).

29 Señale **\usb** con la perilla **Entry**; a continuación, presione la perilla **Entry**.

30 Presione la tecla programable **File Name**. Una vez más, no es necesario definir un nuevo nombre ya que este formato de archivo también tendrá una extensión de nombre de archivo único (prueba.h5).

31 Presione la tecla programable **Press to Save**.

Tenga en cuenta que cuando guardó el archivo tipo .png anteriormente, este fue sólo un mapa de píxeles de la pantalla del osciloscopio. Este tipo de archivo no se puede recuperar de nuevo en el osciloscopio, y no se pueden realizar mediciones sobre datos almacenados en este tipo de archivo. Este tipo de archivo, así como un archivo tipo .bmp, es principalmente útil para efectos de documentación, como por ejemplo incluirlos en los informes de laboratorio. Pero el archivo de datos “Forma de onda de referencia” (.h5) que acaba de almacenar guarda los datos de voltaje en función del tiempo como pares X-Y. Este tipo de archivo puede recuperarse en el osciloscopio para su posterior análisis. También se puede recuperar este tipo de archivo en diferentes aplicaciones de PC para un análisis más amplio fuera de línea.

Ahora que hemos guardado los ajustes de configuración del osciloscopio, y guardado la forma de onda (4 ciclos de una onda sinusoidal), vamos a ver si podemos recuperar estos archivos. Pero primero vamos a empezar con la configuración predeterminada con el fin de destruir la configuración actual y la forma de onda que se ve en pantalla.

32 Presione [**Default Setup**].

33 Presione [**Save/Recall**].

34 Presione la tecla programable **Recall**; a continuación, presione la siguiente tecla programable **Recall**.

35 Seleccione **Setup** como el tipo de archivo a recuperar con la perilla **Entry**.

36 Presione la tecla programable **Location** (o posiblemente **Press to go** o **Load from**); a continuación, elija “prueba” utilizando la perilla **Entry**.

37 Presione la tecla programable **Press to Recall** o la perilla **Entry**.

Deberíamos haber restaurado los ajustes de configuración del osciloscopio a su configuración anterior. Sin embargo, el osciloscopio NO guarda el estado de las señales de capacitación. Así que en este momento la única forma de onda que debemos ver es una señal de referencia (0,0 V) ya que no hay señales presentes en las entradas de nuestras sondas. Ahora vamos a recuperar la forma de onda que hemos guardado previamente.

38 Presione la tecla programable **Recall**; a continuación, seleccione **Reference Waveform data (*.h5)** con la perilla **Entry**.

39 Presione la tecla programable **Load from** (o posiblemente **Press to go** o **Location**); a continuación, elija “prueba” utilizando la perilla **Entry**.

40 Presione la tecla programable **Press to Recall** o la perilla **Entry**.

Ahora debería ver la versión almacenada de nuestra onda sinusoidal (junto con la señal de referencia en vivo 0,0 V) utilizando los parámetros de configuración anterior, como se muestra en la [Figura 19](#). En este punto puede cambiar la configuración si lo desea, y también puede seguir haciendo mediciones en esta forma de onda almacenada. Tenga en cuenta que puede quitar el dispositivo de memoria USB en cualquier momento después de guardar o recuperar sus datos.

2 Laboratorios básicos de medición del osciloscopio y del generador de onda

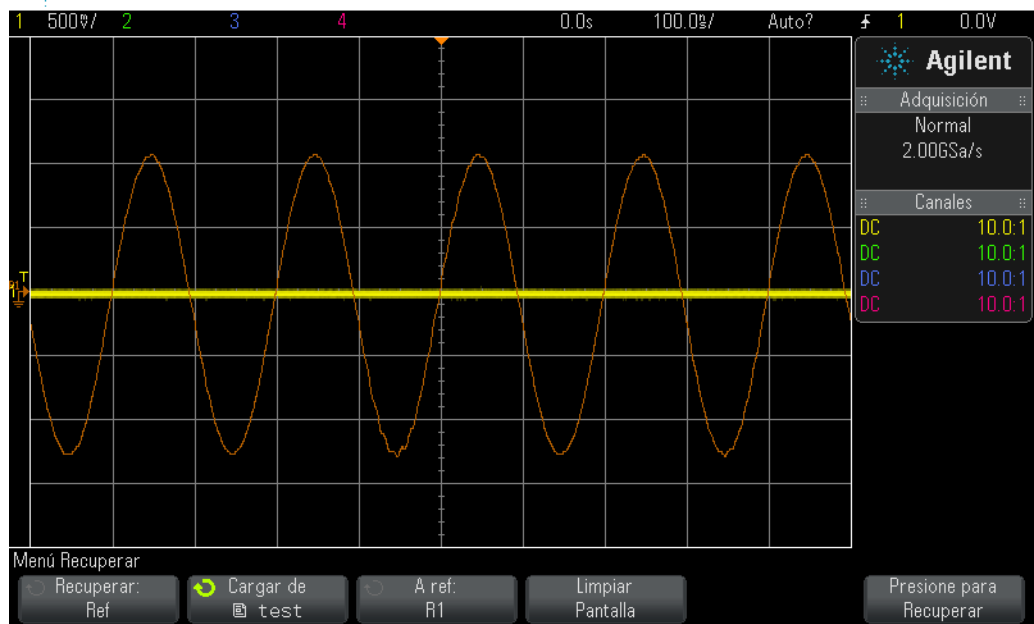


Figura 19 Recuperar la forma de onda y los ajustes de configuración del osciloscopio

Laboratorio N°5: Compensación de sus sondas pasivas de 10:1

Ahora que ha completado los primeros cuatro laboratorios en esta guía de capacitación del osciloscopio y debe estar familiarizado con el uso de un osciloscopio para hacer mediciones de tiempo y voltaje básicas, vamos a dar un paso atrás y hablar de nuevo de las sondas. En la sección [Bibliografía relacionada con Agilent](#) de esta guía analizamos brevemente las sondas y mostramos el modelo de entrada eléctrico de la combinación de una sonda pasiva 10:1 y la entrada del osciloscopio. Este modelo eléctrico de la sonda y el osciloscopio se muestra de nuevo aquí en la [Figura 20](#).

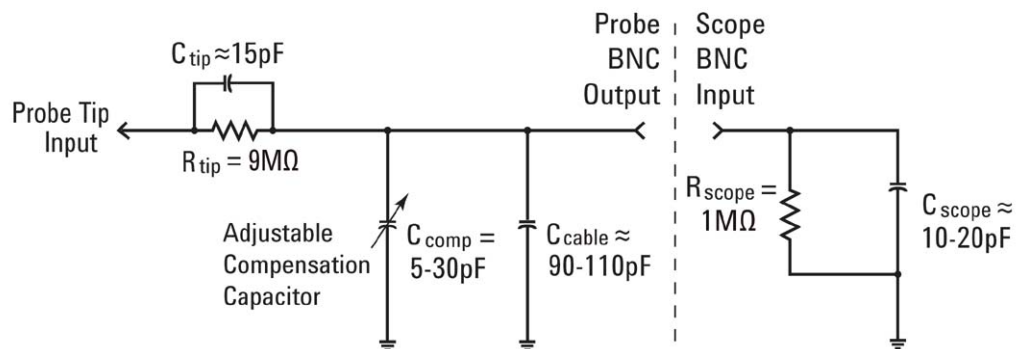


Figura 20 Esquema simplificado de una sonda pasiva de 10:1 conectada a la impedancia de entrada de 1 MΩ del osciloscopio

Si usted recuerda, se les instruyó ignorar los componentes capacitivos en este modelo eléctrico y considerar sólo los componentes de resistencia. Cuando miramos sólo los componentes de resistencia, determinamos que la combinación de la resistencia de la punta de la sonda de 9 MΩ más la impedancia de entrada de 1 MΩ del osciloscopio establece una relación del divisor de voltaje de 10 a 1. Para aplicaciones de corriente continua o de baja frecuencia, es apropiado hacer caso omiso de los elementos capacitivos. Pero si necesita medir señales dinámicas, que es la aplicación de medición principal de los osciloscopios, los elementos capacitivos de este modelo eléctrico no pueden ignorarse.

Todas las sondas y entradas del osciloscopio son capacidades inherentes/parásitas. Estas incluyen la capacitancia del cable de la sonda (C_{cable}), así como la capacitancia de entrada del osciloscopio ($C_{\text{osciloscopio}}$). “Inherente/parásita” simplemente significa que estos elementos del modelo eléctrico no fueron incorporados al diseño intencionalmente, pero son sólo un hecho desafortunado de la vida en el mundo real de la electrónica. Y la cantidad de capacitancia inherente/parásita variará de un osciloscopio a otro y de una sonda a otra. Pero sin componentes capacitivos adicionales diseñados e incorporados para compensar los elementos capacitivos inherentes en el

sistema, la reactancia del sistema en condiciones de señal dinámica (no-CC) puede cambiar la atenuación dinámica total del sistema de sondeo a algo diferente a la relación 10:1 deseada. El propósito de un condensador de punta de la sonda adicional/diseñado e incorporado (C_{punta}) junto con el condensador de compensación (C_{comp}) ajustable es establecer una atenuación de reactancia capacitiva que coincida con la atenuación de la resistencia de 10:1. Si el condensador de la compensación está bien ajustado, esto también asegura de que la constante de tiempo de capacitancia de la punta de la sonda en paralelo con la resistencia de 9 M Ω coincide con la constante de tiempo de las capacitancias inherentes y de compensación en paralelo con la resistencia de entrada de 1 M Ω del osciloscopio.

En lugar de desperdiciar mucho más tiempo hablando de la teoría, vamos a conectar una señal y ver el efecto de la baja compensación, sobre compensación, y de la compensación adecuada. Pero en primer lugar tenga en cuenta que vamos a conectar nuestra sonda de canal 1 a un terminal diferente de los laboratorios anteriores.

- 1 Conecte **ambas** sondas del osciloscopio al terminal marcado **Probe Comp**. Tenga en cuenta que es el mismo terminal también etiquetado como **Demo2**.
- 2 Presione la tecla [**Default Setup**] en el panel frontal del osciloscopio.
- 3 Configure el canal 1 en **1,0 V/div**.
- 4 Configure la posición/compensación del canal 1 en **0,0 V** (ajuste predeterminado).
- 5 Presione la perilla de nivel de disparo para establecer el nivel de disparo a aproximadamente **50%** en el canal 1.
- 6 Presione la tecla [**2**] del panel frontal para encender el canal 2.
- 7 Configure el canal 2 en **1,0 V/div**.
- 8 Configure la posición/compensación del canal 2 a aproximadamente **+3,5 V**.
- 9 Configure la base de tiempo del osciloscopio en **200,0 $\mu\text{s}/\text{div}$** .

Si las sondas están adecuadamente compensadas, verá que hay dos ondas cuadradas de 1 kHz con una respuesta muy plana en la pantalla de osciloscopio, similar a la [Figura 21](#). Ahora vamos a ajustar la compensación de la sonda en cada sonda.

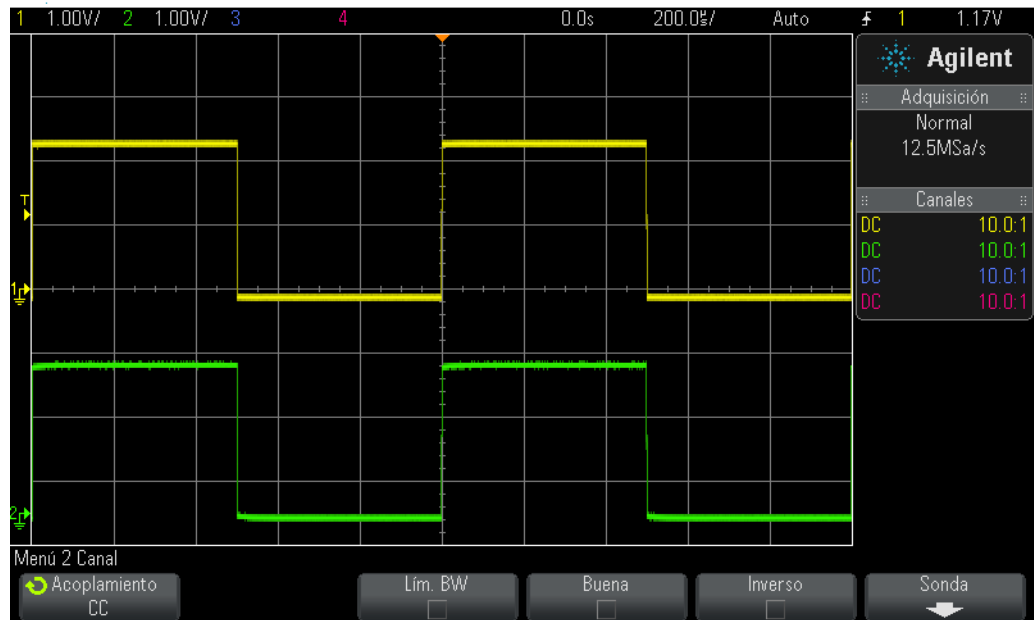


Figura 21 Usar la señal de compensación de la sonda de 1 kHz del osciloscopio para compensar sondas pasivas 10:1

- 10 Con un destornillador pequeño ranurado, ajuste el condensador variable que se encuentra en el cuerpo de cada sonda. Tenga en cuenta que este ajuste a veces se encuentra cerca del extremo de la conexión BNC de algunas sondas.

La [Figura 22](#) muestra un ejemplo de la sonda del canal 1 (forma de onda amarilla) sobre compensada, y un ejemplo de la sonda del canal 2 (onda verde) con una baja compensación. Si no se observa una onda cuadrada casi perfecta, a continuación, vuelva a ajustar la compensación de la sonda en sus sondas hasta que las formas de onda en su osciloscopio sean similares a la [Figura 21](#).

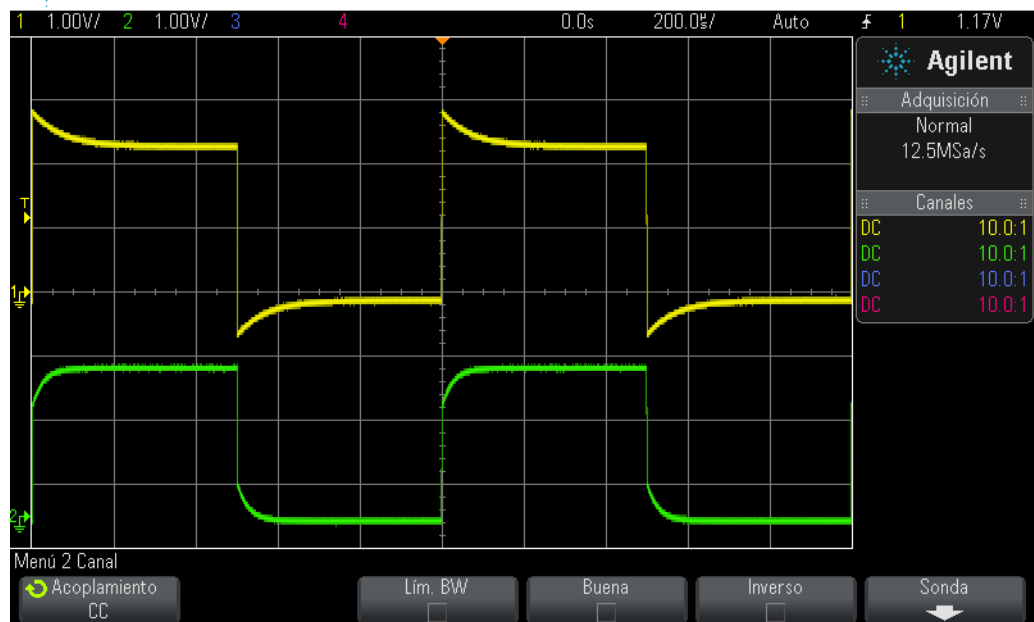


Figura 22 Sondas compensadas incorrectamente

Después de ajustar correctamente las sondas, siempre y cuando siga utilizando estas sondas en este osciloscopio, no es necesario volverla a ajustar la próxima vez que utilice el osciloscopio.

Ahora ha completado la parte práctica de este laboratorio. Si no dispone de mucho tiempo y necesita completar el último laboratorio en este capítulo, vaya al laboratorio N°6 y lea el contenido restante de esta práctica de laboratorio más tarde.

Cálculo de la cantidad adecuada de compensación capacitiva

Si acepta un reto, calcule la cantidad de capacitancia de compensación (C_{comp}) necesaria para obtener una compensación adecuada con los siguientes supuestos:

$$R_{punta} = 9 \text{ M}\Omega$$

$$R_{osciloscopio} = 1 \text{ M}\Omega$$

$$C_{osciloscopio} = 15 \text{ pF}$$

$$C_{cable} = 100 \text{ pF}$$

$$C_{punta} = 15 \text{ pF}$$

$$C_{paralelo} = C_{osciloscopio} + C_{cable} + C_{comp}$$

$$C_{comp} = ?$$

Para calcular la cantidad necesaria de capacitancia de compensación (C_{comp}), el método más sencillo es igualar la constante de tiempo ($1/RC$) de la combinación en paralelo de R_{punta} y C_{punta} con la constante de tiempo de la combinación en paralelo de $R_{osciloscopio}$ y $C_{paralelo}$:

$$\frac{1}{R_{tip} \times C_{tip}} = \frac{1}{R_{scope} \times C_{parallel}}$$

Recuerde que $C_{paralelo}$ es la combinación de tres elementos capacitivos en el modelo de sonda/osciloscopio.

Otro método de cálculo sería equiparar 9X la reactancia capacitiva de $C_{paralelo}$ con 1X la reactancia de capacidad de C_{punta} . Esto establecerá el mismo factor de atenuación aportado por las reactancias capacitivas que el factor de atenuación aportado por la red resistiva solamente (10:1):

$$\frac{1}{2\pi f C_{tip}} = 9 \times \frac{1}{2\pi f C_{parallel}}$$

$$C_{comp} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Carga de sondas

Además de compensar adecuadamente las sondas pasivas 10:1 con el fin de lograr mediciones más exactas en el osciloscopio, otro aspecto que debe considerarse es la carga de la sonda. En otras palabras, ¿conectar la sonda y el osciloscopio a su dispositivo bajo prueba (DUT), cambiará el comportamiento de su circuito? Al conectar cualquier instrumento a su circuito, el instrumento en sí mismo se convierte en una parte de su DUT y puede “cargar” o cambiar el comportamiento de sus señales en algún grado. Si utilizamos los valores dados de resistencias y capacitancias mencionados anteriormente (junto con el valor de C_{comp} que calculó), podemos modelar el efecto de la carga de la sonda y el osciloscopio juntos como la combinación en paralelo de una resistencia y condensador únicos, como se muestra en la [Figura 23](#).

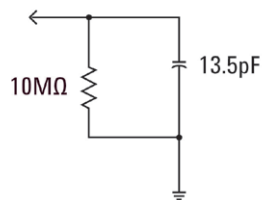


Figura 23 modelo de carga del osciloscopio y sonda pasiva 10:1

Para aplicaciones de baja frecuencia o CC, la carga está dominada por la resistencia de 10 MΩ que en la mayoría de los casos no debería ser un problema. ¿Pero que pasa si está probando una señal de reloj digital de 100 MHz? El 5º armónico de este reloj digital, que es un componente

importante en la creación de la forma de esta señal, sería 500 MHz. Ahora calcule la reactancia aportada por la capacitancia de 13,5 pF de este modelo de carga que se muestra en la [Figura 23](#):

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi \times 500 \times 10^6 \times 13,5 \times 10^{-12}} = 23,6\Omega$$

Aunque 13,5 pF puede no parecer mucho, a frecuencias más altas, esta cantidad de capacidad de carga puede ser significativa. Para aplicaciones de alta frecuencia como estas, la mayoría de los proveedores de osciloscopios proporcionan soluciones de sondeo opcionales activas que tienen capacidades de entrada significativamente menores (sub pF). Pero este tipo de sondas especiales cuestan bastante más que la típica sonda pasiva 10:1.

Por último, tenga en cuenta que los modelos osciloscopio + sonda que se presentan en este laboratorio están muy simplificados. Los modelos más precisos también incluyen elementos de inducción. El cable, especialmente su cable de tierra, debe ser considerado como un elemento inductivo, especialmente para aplicaciones de alta frecuencia.

Laboratorio N°6: Uso del generador de funciones WaveGen integrado

Además de los osciloscopios, va a utilizar una amplia gama de equipos de prueba en los diferentes laboratorios de circuitos de Física y/o EE, incluyendo fuentes de alimentación, multímetros digitales, generadores de funciones. Generadores de funciones pueden producir una amplia gama de diferentes tipos/formas de señales que utilizará como entradas dinámicas para sus diseños y experimentos de circuitos. Los osciloscopios InfiniiVision 2000 & 3000 serie X de Agilent han incorporado un generador de funciones opcional llamado WaveGen. Para completar este pequeño laboratorio, es necesario que su universidad haya adquirido esta opción en el osciloscopio que está utilizando. Si no sabe si se ha sido autorizado y habilitado la capacidad del generador de funciones, presione la tecla [**Wave Gen**] en el panel frontal. Si esta opción está activada, aparecerá el menú de Wavegen. Si esta opción no está activada, aparecerá un mensaje en pantalla que indica que esta opción aún no ha sido autorizada. Suponiendo que su osciloscopio tiene la opción de Wavegen, vamos a comenzar esta pequeña práctica y aprender a utilizar un generador de funciones de propósito general.

- 1 Desconecte todas las sondas del osciloscopio.
- 2 Conecte un cable BNC coaxial de 50Ω entre la salida del generador (al lado del interruptor de encendido) y el BNC de entrada del canal 1.
- 3 Presione [**Default Setup**].
- 4 Si está usando un osciloscopio Agilent 2000 series X, tendrá que configurar manualmente el factor de atenuación de la sonda del canal 1 a 1:1. Presione la tecla [**1**] del panel frontal y luego presione la tecla programable **Probe**. Presione la nueva tecla programable **Probe**; a continuación, gire la perilla **Entry** para establecer el factor de atenuación en **1,00:1**.
- 5 Presione la tecla [**WaveGen**] del panel frontal (justo por encima de la perilla V/div del canal 1).
- 6 Presione la tecla programable **Settings**; luego presione la tecla programable **Default Wave Gen**.

Tenga en cuenta que [**Default Setup**] en el osciloscopio NO cambia los valores de Wavegen. Así que para asegurarse de que todos estamos comenzando desde el mismo punto de partida, tenemos que definir también la configuración predeterminada del generador.

- 7 Presione la tecla [**WaveGen**] del panel frontal nuevamente.
- 8 Configure el ajuste V/div del canal 1 en **100 mV/div**.
- 9 Configure la base de tiempo del osciloscopio en **100,0 μ s/div** (configuración predeterminada).

Ahora debería ver un ciclo de una onda sinusoidal en el osciloscopio similar al de la [Figura 24](#). Una onda sinusoidal de 1,000 kHz con una amplitud pico a pico de 500 mV es la señal Wavegen predeterminada. Ahora vamos a hacer algunos cambios en la señal.

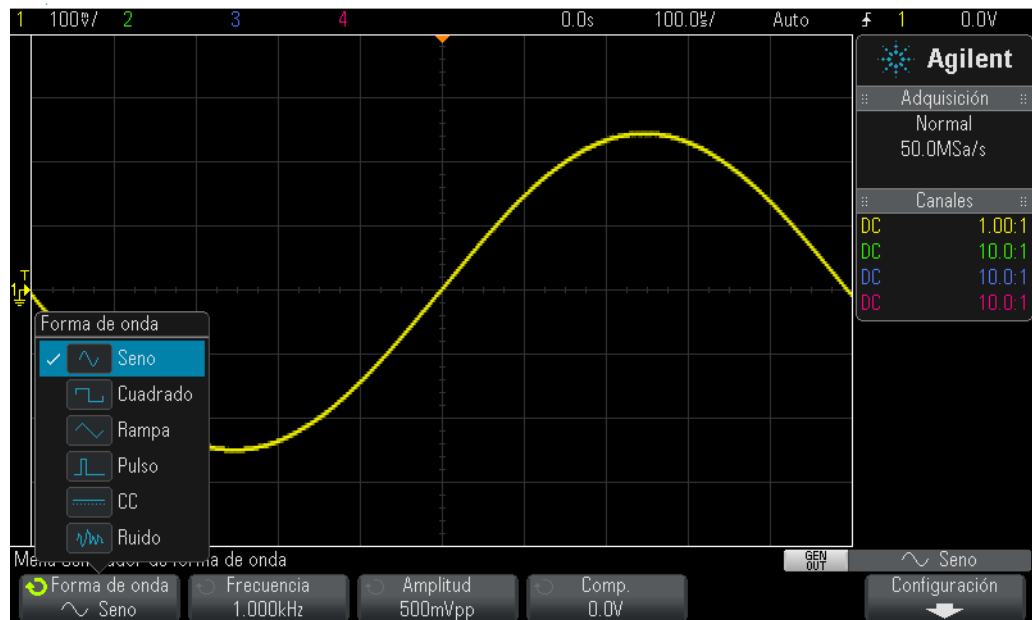
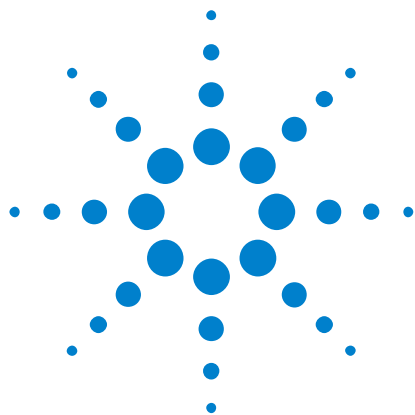


Figura 24 Uso del generador de funciones WaveGen integrado del osciloscopio

- 10 Presione la tecla programable **Frequency**; a continuación, gire la perilla **Entry** para aumentar o disminuir la frecuencia. Tenga en cuenta que el ajuste de frecuencia máximo es de 20,00 MHz.
- 11 Presione la tecla programable **Amplitude**; a continuación, gire la perilla **Entry** para cambiar la amplitud de esta señal.
- 12 Presione la tecla programable **Offset**; a continuación, gire la perilla **Entry** para cambiar la compensación de esta señal.
- 13 Presione la tecla programable **Waveform**; a continuación, gire la perilla **Entry** para seleccionar varias formas de onda.

Tenga en cuenta que cuando selecciona **Square**, también puede ajustar el **Duty Cycle**. Y cuando selecciona **Pulse** puede ajustar el ancho de pulso. A partir de este momento, usted probablemente no va a conectar la salida del generador directamente en el osciloscopio. Probablemente va a conectar la salida del generador a la entrada de los circuitos. Y entonces usaría el osciloscopio con sondas para controlar tanto las entradas como las salidas de sus circuitos. ¡Eso es todo!



3 Laboratorios de medición avanzados del osciloscopio

- Laboratorio N°7: Disparo en una ráfaga digital con retraso de disparo 46
- Laboratorio N°8: Disparo, captura y análisis de un evento poco frecuente 50
- Laboratorio N°9: Captura de un evento de un solo disparo 54
- Laboratorio N°10: Realización de mediciones paramétricas automáticas en formas de ondas digitales 57
- Laboratorio N°11: Uso de la base de tiempo del zoom del osciloscopio para efectuar mediciones admitidas 63
- Laboratorio N°12: Mediciones de retrasos de fases y formas de onda Lissajous 67
- Laboratorio N°13: Uso de la matemática de formas de onda 71
- Laboratorio N°14: Uso de la detección de pico para superar el submuestreo 75
- Laboratorio N°15: Uso de la memoria segmentada para capturar más formas de onda 78



Laboratorio N°7: Disparo en una ráfaga digital con retraso de disparo

Las señales en el mundo real de la electrónica rara vez son tan simples como las ondas sinusoidales y las ondas cuadradas repetitivas. El establecimiento de puntos únicos de disparo (toma sincronizada de imágenes) o señales más complejas a veces requiere el uso de "retraso" de disparo. En este laboratorio aprenderá cómo utilizar la capacidad de retraso de disparo a fin de disparar una ráfaga de pulsos digitales.

- 1 Conecte una sonda del osciloscopio entre el BNC de entrada del canal 1 y la terminal de salida etiquetada "Demo1". Conecte la pinza de conexión a tierra de esta sonda a la terminal central (conexión a tierra).
- 2 Conecte una segunda sonda del osciloscopio entre el BNC de entrada del canal 2 y la terminal de salida etiquetada "Demo2". Conecte la pinza de conexión a tierra de esta sonda a la terminal central.
- 3 Presione [**Default Setup**] en el panel frontal del osciloscopio.
- 4 Presione [**Help**]; luego presione la tecla programable **Training Signals**.
- 5 Con la perilla **Entry**, seleccione la señal "**Digital Burst**"; luego presione la tecla programable **Output** para encenderlo.
- 6 Establezca la configuración de V/div del canal 1 en **1,00 V/div**.
- 7 Establezca la compensación/posición del canal 1 en aproximadamente **+1,7 V** a fin de centrar esta forma de onda en la pantalla del osciloscopio.
- 8 Presione la perilla Trigger Level para establecer automáticamente el nivel de disparo en aproximadamente el **50%**.
- 9 Establezca la base de tiempo del osciloscopio en **20,00 μ s/div**.

Debe ver en la pantalla de su osciloscopio lo que puede parecer una pantalla no disparada de una serie de pulsos digitales similares a la [Figura 25](#). El osciloscopio dispara en realidad en cruces aleatorios de borde ascendente de este complejo flujo de datos digitales, que es efectivamente una "ráfaga" de pulsos. Lamentablemente, no podemos "ver" la actividad de la ráfaga debido a que aún no hemos configurado el osciloscopio para establecer un punto único de disparo en esta señal compleja. Entonces ahora "detengamos" las adquisiciones repetitivas para poder ver una adquisición de un disparo único de las ráfagas y luego efectuar algunas mediciones. Luego utilizaremos estas mediciones para ingresar un tiempo de retraso de disparo específico a fin de sincronizar el disparo en el primer pulso de cada ráfaga.

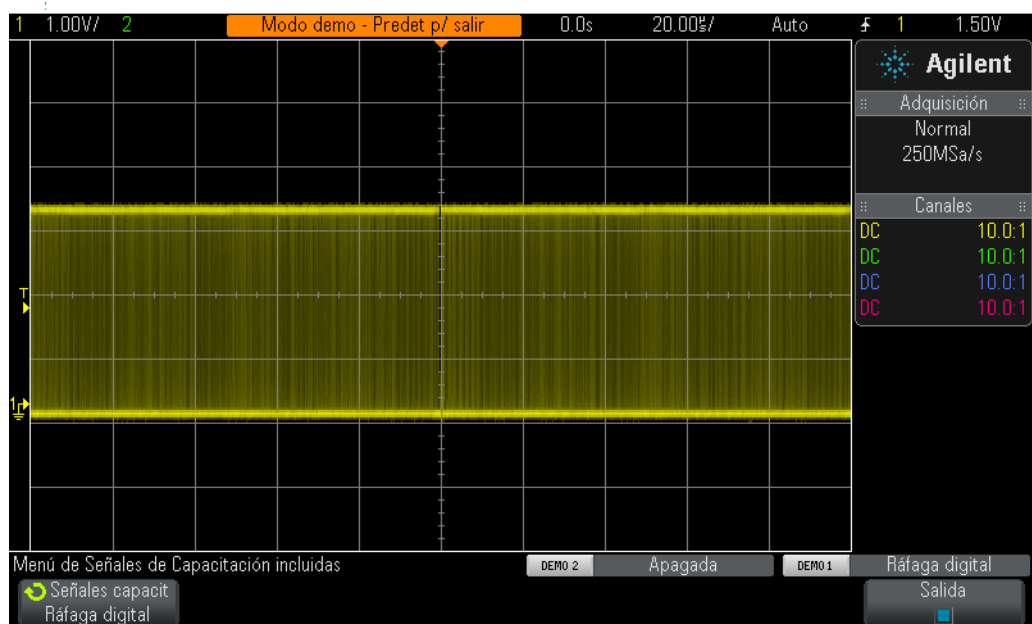


Figura 25 Intento de visualizar una ráfaga de pulsos mientras se usan las condiciones de configuración predeterminada de disparo del osciloscopio

- 10 Presione la tecla del panel frontal **[Run/Stop]** para detener las adquisiciones repetitivas.

Una vez detenidas las adquisiciones repetitivas, ahora debería poder ver la actividad de la ráfaga digital como se muestra en la [Figura 26](#). En otras palabras, existe una serie de pulsos negativos seguida de un tiempo muerto corto de la señal (alto nivel) y luego se repite. Si presiona **[Single]** varias veces, debería observar que el evento de disparo (borde ascendente más cercano al centro de la pantalla) para cada adquisición es casi siempre un pulso diferente dentro de la ráfaga.

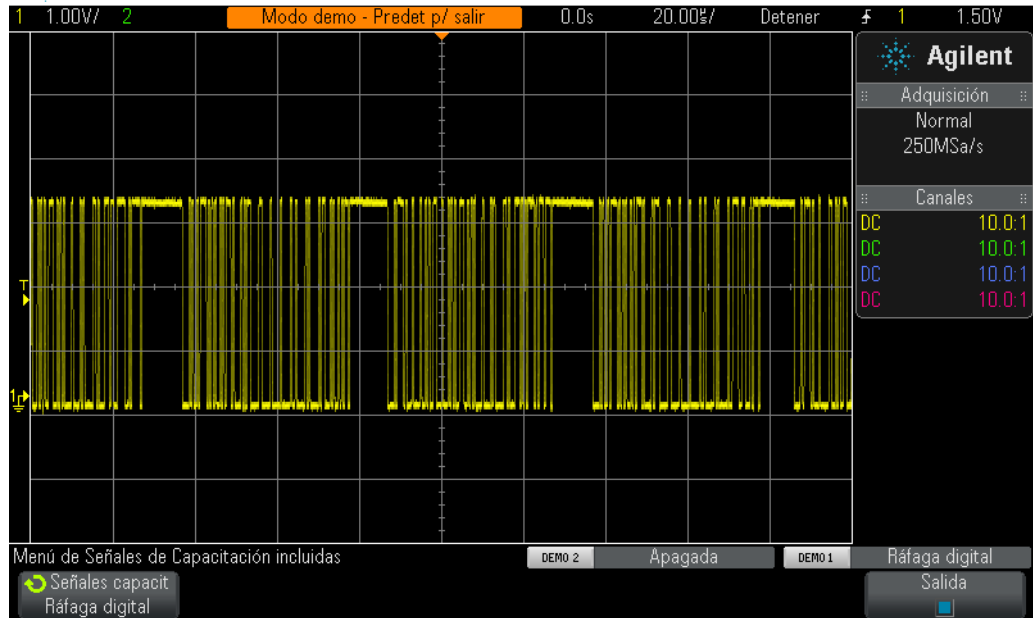


Figura 26 Disparo de borde aleatorio en una señal de entrada de ráfaga digital

Con lo que aprendió durante el Laboratorio N°1, estime o utilice los cursores de temporización del osciloscopio (X1 y X2) para medir la amplitud de una de las ráfagas de pulsos y medir también el tiempo desde el comienzo de una ráfaga de pulsos hasta el comienzo de la siguiente ráfaga de pulsos. Debería determinar que la amplitud de cada ráfaga es de aproximadamente 40 μs y el tiempo de ráfaga a ráfaga es de aproximadamente 50 μs .

Cuando utilizamos la condición predeterminada de disparo del osciloscopio, el osciloscopio dispara "cualquier" borde aleatorio de esta señal. En otras palabras, a veces el osciloscopio dispara el 1° borde de la ráfaga, a veces el 11° borde de la ráfaga, a veces el 5° borde, etc. Un punto de sincronización ideal sería configurar el osciloscopio de modo tal que siempre dispare justo en el 1° borde de cada ráfaga, en lugar de un borde aleatorio. Podemos hacerlo utilizando la capacidad de "retraso de disparo" del osciloscopio.

Con el retraso de disparo, podemos instruir al osciloscopio que siempre arme el disparo durante el tiempo muerto de la señal entre cada ráfaga de pulsos. De esta manera el osciloscopio disparará siempre en el próximo borde ascendente después de armarse, que será siempre el 1° borde de cada ráfaga. Un tiempo de retraso ideal para lograrlo sería un tiempo de retraso de disparo que oscile entre 40 μs (amplitud de la ráfaga) y 50 μs (tiempo de ráfaga a ráfaga). Esto puede parecer confuso, entonces hagámoslo y veamos qué sucede.

- 11 Presione la tecla del panel frontal [**Run/Stop**] para comenzar las adquisiciones repetitivas nuevamente.
- 12 Presione la tecla [**Mode/Coupling**] en la sección Disparo en el panel frontal.
- 13 Presione la tecla programable **Holdoff**; luego rote la perilla **Entry** en hacia la derecha hasta que el valor de retraso quede establecido en aproximadamente **45.000 μs** .

Ahora debería ver una pantalla sincronizada como se muestra en la [Figura 27](#). El osciloscopio dispara en el 1º borde ascendente de una ráfaga de pulsos (centro de la pantalla) y luego desactiva el disparo durante 45,00 μ s (tiempo de retraso). Durante este tiempo de retraso, el osciloscopio ignora el 2º, 3º, 4º, etc. cruces y luego rearma el disparo después de finalizada la ráfaga, pero antes de comenzar la siguiente ráfaga, que es durante el "tiempo muerto" de la señal. El próximo evento de disparo válido será de nuevo el cruce del 1º borde ascendente en la siguiente ráfaga.

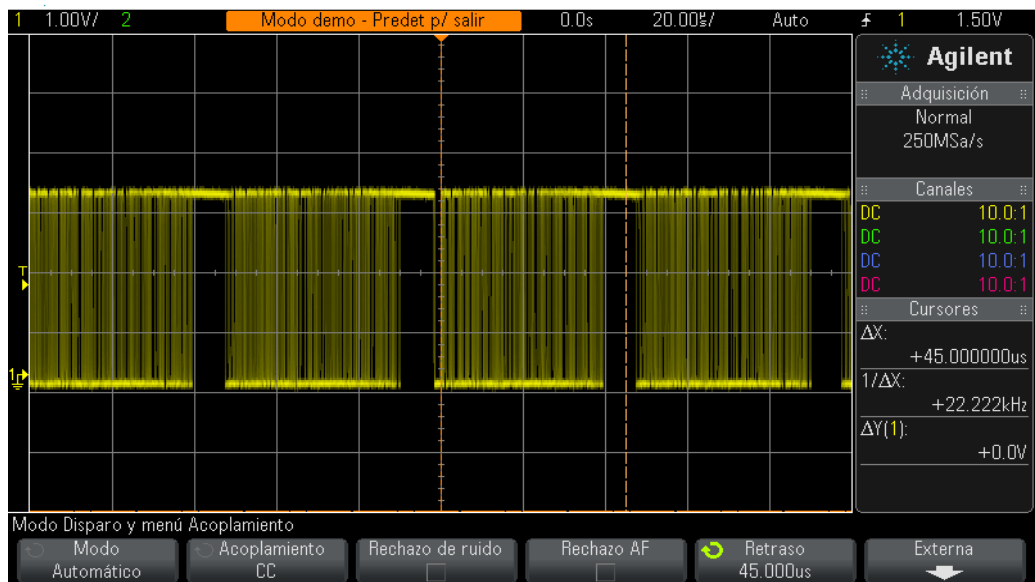


Figura 27 Uso de la capacidad de retraso de disparo del osciloscopio para sincronizar en una ráfaga de pulsos

Laboratorio N°8: Disparo, captura y análisis de un evento poco frecuente

En este laboratorio aprenderá cómo utilizar algunas de las diversas modalidades de la pantalla de persistencia del osciloscopio para mejorar la visualización de un fallo que no se produce con frecuencia. Además, aprenderá cómo utilizar el modo de disparo Amplitud de pulso del osciloscopio para disparar en el fallo.

- 1 Asegúrese de que las dos sondas de su osciloscopio estén aún conectadas entre las terminales etiquetadas Demo1 y Demo2 y los BNC de entrada del Canal 1 y del Canal 2, respectivamente.
- 2 Presione [**Default Setup**] en el panel frontal del osciloscopio.
- 3 Presione [**Help**]; luego presione la tecla programable **Training Signals**.
- 4 Con la perilla **Entry**, seleccione la señal “**Reloj con fallo no frecuente**”; luego presione la tecla programable **Output** para encenderlo.
- 5 Establezca la configuración de V/div del canal 1 en **500 mV/div**.
- 6 Establezca la posición/compensación del canal 1 en **1,00 V** a fin de centrar la forma de onda en la pantalla.
- 7 Presione la perilla del nivel de disparo a fin de establecer automáticamente el nivel de disparo en aproximadamente el **50%** (~1,0 V).
- 8 Establezca la base de tiempo del osciloscopio en **20,00 ns/div**.

En este punto puede observar un "parpadeo" no frecuente y tenue cerca del centro de la pantalla. Este es un fallo que no se produce con frecuencia (o pulso estrecho) que captura el osciloscopio. Si bien el osciloscopio generalmente dispara en un borde ascendente de la señal del reloj, ocasionalmente dispara en un borde ascendente de este fallo no frecuente. El motivo por el cual este fallo aparece tenue es porque el osciloscopio muestra las señales que se producen con frecuencia brillantemente, en tanto que cuando muestra las señales que no se producen con frecuencia tenuemente. Esto nos da una idea de que este fallo no se produce con mucha frecuencia.

- 9 Presione el pequeño botón [**Intensity**] (ubicado debajo de la perilla **Entry**); luego gire la perilla **Entry** hacia la derecha hasta que la intensidad se ajuste al **100%**.

Una vez que la intensidad de la forma de onda está ajustada al 100%, el osciloscopio muestra todas las formas de onda capturadas en la misma intensidad brillante y ahora podemos ver claramente este fallo que no se produce con frecuencia como se muestra en la [Figura 28](#). La captura de un evento no frecuente como éste mientras se dispara un cruce del borde (tipo predeterminado de disparo) requiere el uso de un osciloscopio que tiene una tasa de actualización de forma de onda muy rápida (toma rápida de imágenes). Ahora exploremos algunas de las modalidades especiales de la pantalla del osciloscopio que pueden mejorar aún más nuestra capacidad para ver este fallo.

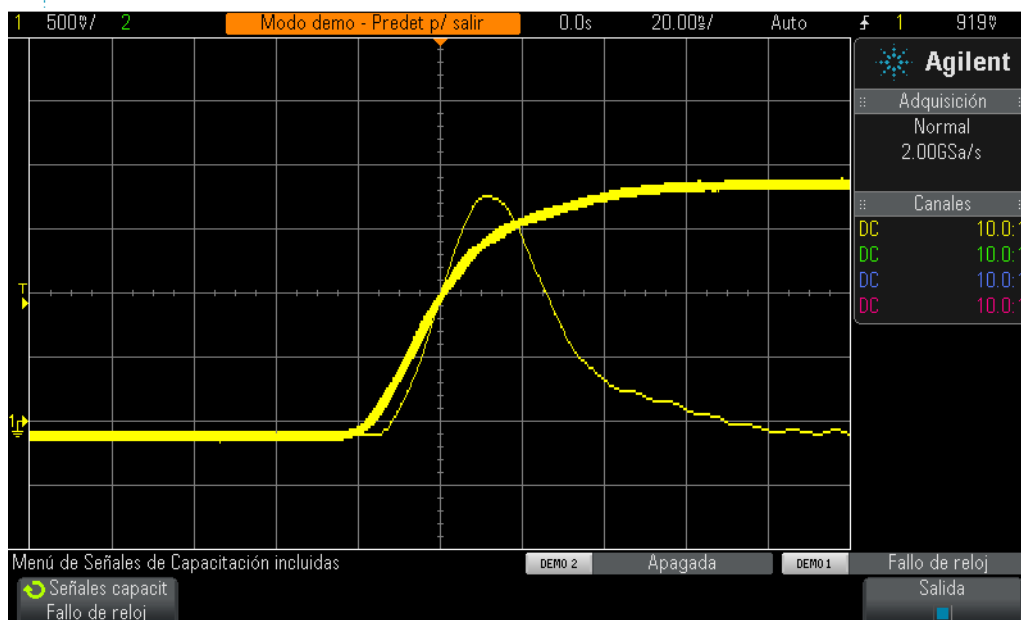


Figura 28 La rápida tasa de actualización de la forma de onda del osciloscopio captura un fallo que no se produce con frecuencia

10 Presione la tecla del panel frontal [**Display**] (debajo de la perilla Cursors).

11 Presione la tecla programable **Persistence**; luego, seleccione el modo de visualización **Infinite Persistence** con la perilla **Entry**.

Una vez encendida Infinite Persistence, el osciloscopio mostrará una imagen permanente de todas las formas de onda capturadas (nunca borra). Sin Infinite Persistence encendida, el osciloscopio borra todas las formas de onda capturadas a una tasa de 60 Hz. El uso de Infinite Persistence puede resultar extremadamente útil cuando se intenta capturar un evento que no se produce con suma frecuencia, por ejemplo un fallo que puede producirse sólo una vez cada 2 horas. Por ejemplo, podría configurar una prueba durante la noche para ver si se producen fallos y luego determinar si se produjo alguno cuando llegue de vuelta a su laboratorio en la mañana siguiente. El modo de visualización Infinite Persistence también resulta útil para capturar y mostrar fluctuaciones y ruido del peor caso de temporización. Observe que además del modo de visualización Infinite Persistence, este osciloscopio también tiene un modo de visualización Variable Persistence donde puede definir la tasa de borrado de la visualización de la forma de onda.

Configuremos ahora el osciloscopio para un solo disparo en este fallo no frecuente con el disparo de tipo **Pulse Width** del osciloscopio. Pero primero calcule visualmente la amplitud aproximada de este pulso con respecto a la configuración del nivel de disparo, que debe establecerse en aproximadamente +1.0 V. Debe parecer de aproximadamente 30 ns de ancho.

12 Presione la tecla programable **Persistence** y seleccione **Off** para desactivar el modo de visualización de persistencia.

13 Presione la tecla programable **Clear Persistence**.

- 14 Presione la tecla del panel frontal [**Trigger**].
- 15 Presione la tecla programable **Trigger – Edge**; luego gire la perilla **Entry** para cambiar del disparo de tipo predeterminado **Edge** al disparo de tipo **Pulse Width**.
- 16 Presione la tecla programable **< 30 ns**; luego gire la perilla **Entry** para cambiar el tiempo de la amplitud del pulso de **< 30 ns** a **< 50 ns**.

Si está utilizando uno de los osciloscopios 2000 serie X de Agilent, ahora debería una pantalla estable que muestra sólo el fallo. Si utiliza uno de los osciloscopios 3000 serie X de Agilent de mayor rendimiento, el osciloscopio se disparará automáticamente, en lugar de disparar en el fallo. Esto es porque el fallo no frecuente generado por estos osciloscopios no es demasiado frecuente para el modo de disparo Automático predeterminado del osciloscopio. Entonces este es un caso clásico cuando podría necesitar utilizar el modo de disparo Normal (el osciloscopio espera que se produzcan los eventos de disparo y no se generen disparos automáticos y asíncronos). Independientemente de si utiliza un osciloscopio InfiniiVision 2000 o 3000 serie X de Agilent, seleccionemos el modo de disparo Normal.

- 17 Presione la tecla [**Mode/Coupling**] en la sección Disparo en el panel frontal.
- 18 Presione la tecla programable **Mode-Auto**; luego gire la perilla **Entry** para seleccionar el modo de disparo **Normal**.

Ahora debería ver una pantalla estable que muestra sólo el fallo estrecho similar a la [Figura 29](#). Con el disparo de tipo Pulse Width, puede definir una amplitud única de un pulso negativo un pulso negativo sobre el cual disparar. Las variables de tiempo incluyen “<”, “>”, así como también un rango de tiempo “><”. El punto de disparo real se produce al final del pulso calificado por tiempo. En este ejemplo, dado que hemos configurado el osciloscopio para disparar en un pulso positivo con una amplitud de menos de 50 ns, el osciloscopio dispara en el último borde (borde descendente) del pulso de ~30 ns de ancho. Si desea verificar que no hay ningún fallo más estrecho que este pulso de 30 ns, seleccione el menú [**Trigger**] y reajuste el valor del tiempo de amplitud del pulso a su configuración mínima y vea si su osciloscopio dispara.

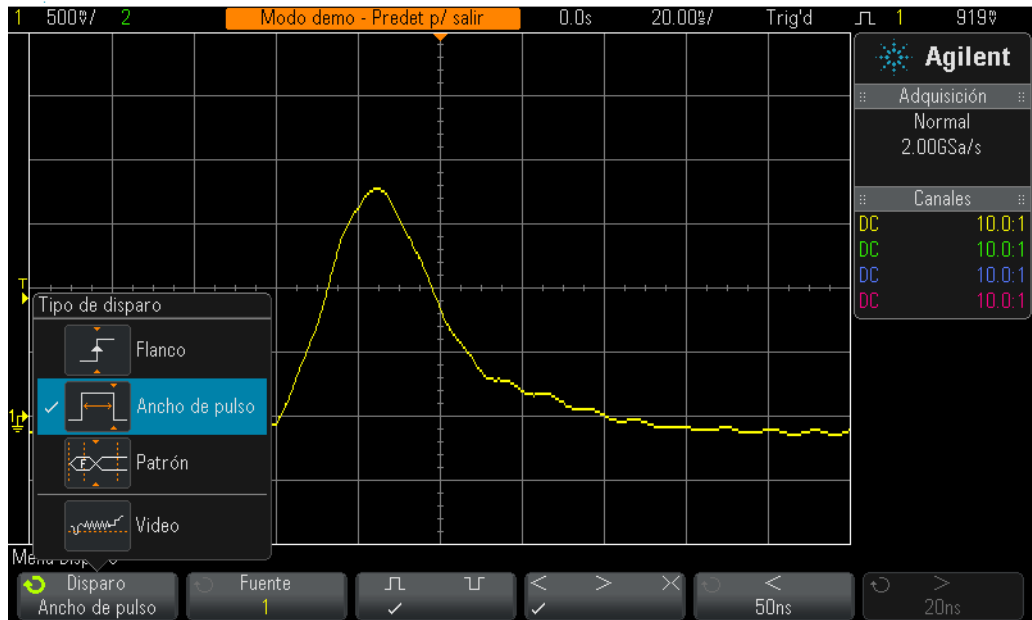


Figura 29 Uso del disparo Pulse Width para calificar en un pulso estrecho único

El disparo Pulse Width no sólo es útil para disparar en fallos no deseados, sino también que puede resultar útil para establecer un único punto de disparo en un tren de pulso digital válido.

Laboratorio N°9: Captura de un evento de un solo disparo

Si un evento que desea capturar es verdaderamente un "solo disparo", lo que significa que se produce sólo una vez, debe tener ciertos conocimientos de las características de la señal a fin de configurar el osciloscopio para que la capture. Cuando capture señales repetitivas, generalmente puede visualizar la forma de onda capturada en la pantalla en distintas condiciones de configuración y luego comenzar a "ajustar" la escala del osciloscopio hasta que se escala adecuadamente la forma de onda. Pero no tenemos ese lujo con eventos de un solo disparo.

Supongamos que sabemos que el evento de un solo disparo que deseamos capturar es un pulso digital que debería tener una amplitud de aproximadamente 2,5 Vp-p con una compensación de +1,25 V. En otras palabras, la señal debería fluctuar desde cero (0,0 V) a aproximadamente +2,5 V. Quizás este es un pulso de reinicio del sistema que se produce sólo durante el momento del arranque.

Una buena configuración vertical para capturar esta señal sería entonces de 500 mV/div, lo que nos permitiría capturar una fluctuación de señal de hasta 4 Vp-p. Una buena configuración de compensación/posición sería +1,25 V a fin de centrar la forma de onda en pantalla y un buen nivel de disparo también sería +1,25 V con una condición de disparo de borde ascendente estándar.

Y supongamos que también sabemos que la amplitud de nuestro evento de un solo disparo debería ser de alrededor de 500 ns de ancho. Entonces, una buena configuración de la base de tiempo sería 200 ns/div. Esto nos proporcionará 2,0 μ s de tiempo de captura en la pantalla, que sería más que suficiente para capturar un pulso de 500 ns de ancho. Ahora configuremos el osciloscopio para capturar este pulso de un solo disparo.

- 1 Asegúrese de que las dos sondas de su osciloscopio estén aún conectadas entre las terminales etiquetadas Demo1 y Demo2 y los BNC de entrada del Canal 1 y del Canal 2, respectivamente.
- 2 Presione [**Default Setup**] en el panel frontal del osciloscopio.
- 3 Establezca la configuración de V/div del canal 1 en **500 mV/div**.
- 4 Establezca la posición vertical/compensación del canal 1/s en **+1,25 V**.
- 5 Establezca el nivel de disparo en **+1,25 V**.
- 6 Establezca la base de tiempo del osciloscopio en **200.0 ns/div**.
- 7 Presione la tecla del panel frontal [**Mode/Coupling**] (al lado de la perilla del nivel de disparo).
- 8 Presione la tecla programable **Mode-Auto**; luego cambie de **Auto** a **Normal**.

Observe que debe utilizarse el modo de disparo **Normal** para capturar un evento de un solo disparo. Si deja el osciloscopio en su modo de disparo **Auto**, el osciloscopio continuará generando sus propios disparos asíncronos automáticos y omitirá el disparo en el evento de un solo disparo. El modo de disparo **Normal** espera que se produzca un evento de disparo válido (cruce del borde ascendente en +1,25 V en este caso) antes de capturar y visualizar

cualquier cosa. En este momento, debemos configurar el osciloscopio adecuadamente y esperar que se produzca un evento de un solo disparo. Entonces generemos un evento de un solo disparo.

- 9 Presione **[Help]**; luego presione la tecla programable **Training Signals**.
- 10 Con la perilla **Entry**, seleccione la señal “**Pulso de un solo disparo con timbre**”; luego presione la tecla programable **Output** para encenderlo. Observe que esto NO genera el evento de un solo disparo. Sólo activa esta salida.
- 11 A continuación, **NO** presione la tecla programable **Auto Setup**. La selección Auto Setup sobrescribirá las configuraciones que acaba de efectuar. Este recurso sólo es útil para configurar el osciloscopio para que capture esta señal específica de capacitación de un solo disparo. No se encuentra disponible cuando se configura el osciloscopio para capturar una señal arbitraria de un solo disparo, que es lo que intentamos simular.
- 12 Presione la tecla programable **Transmit Single-shot** para genera un evento de un solo disparo.

Su osciloscopio debería haber capturado sólo este evento de un solo disparo y la pantalla de su osciloscopio debería asemejarse a la [Figura 30](#). Cada vez que presione la tecla programable **Transmit Single-shot**, el osciloscopio lo capturará de nuevo. Para capturar este evento, hemos estado utilizando el modo de disparo **Normal** del osciloscopio en un modo de adquisición **Run**. Ahora utilicemos el modo de adquisición **Single** del osciloscopio.

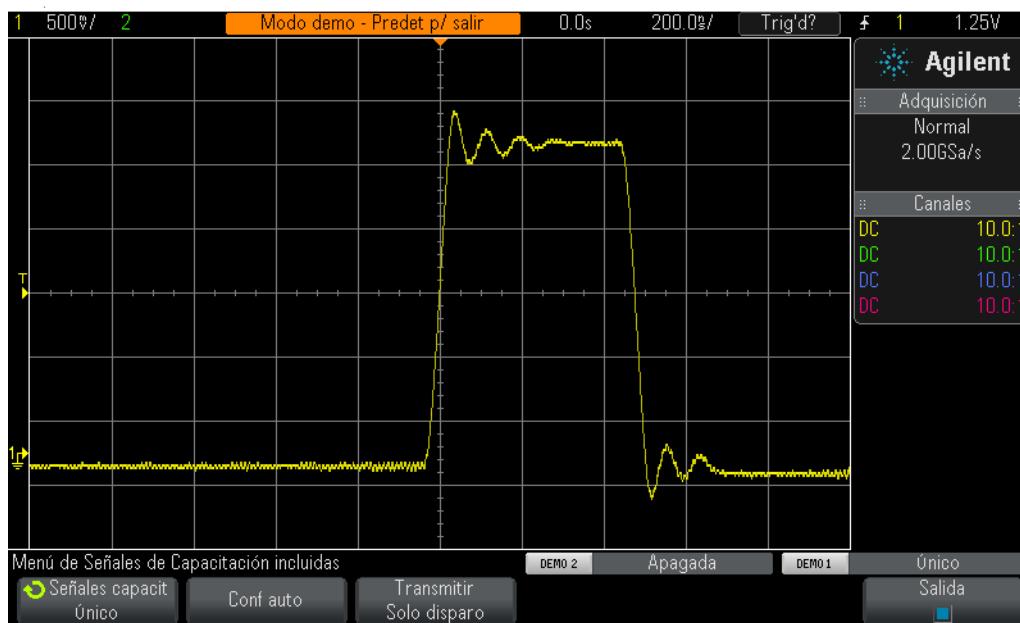


Figura 30 Configuración del osciloscopio para capturar un evento de un solo disparo

- 13 Presione la tecla **[Single]** del osciloscopio en el ángulo superior derecho del panel frontal.
- 14 Ahora presione la tecla programable **Transmit Single-shot**.

3 Laboratorios de medición avanzados del osciloscopio

Cuando utilice el modo de adquisición **Single** del osciloscopio, el osciloscopio capturará un evento de un solo disparo **una vez y sólo una vez**. Para rearmar el osciloscopio para que capture otro evento de un solo disparo, debe presionar **[Single]** nuevamente (antes de que se produzca el disparo único). Observe también que el modo de adquisición **Single** selecciona automáticamente el modo de disparo **Normal**.

Laboratorio N°10: Realización de mediciones paramétricas automáticas en formas de ondas digitales

Durante el laboratorio N°1 de esta guía de capacitación del osciloscopio para EE/Física, aprendió cómo efectuar mediciones simples de voltaje y temporización ya sea contando las divisiones y luego multiplicando por los factores de escala del osciloscopio o utilizando la función de los cursores del osciloscopio. Ahora aprenderá cómo utilizar la capacidad de medición paramétrica automática del osciloscopio para efectuar estas mediciones (junto con muchas mediciones adicionales) más rápido y con mayor precisión.

- 1 Asegúrese de que las dos sondas de su osciloscopio estén aún conectadas entre las terminales etiquetadas Demo1 y Demo2 y los BNC de entrada del Canal 1 y del Canal 2, respectivamente.
- 2 Presione [**Default Setup**] en el panel frontal del osciloscopio.
- 3 Presione [**Help**]; luego presione la tecla programable **Training Signals**.
- 4 Con la perilla **Entry**, seleccione la señal “**Pulso repetitivo con timbre**”; luego presione la tecla programable **Output** para encenderlo.
- 5 Establezca la configuración de V/div del canal 1 en **500 mV/div**.
- 6 Establezca la posición/compensación del canal 1 en **1,40 V**.
- 7 Presione la perilla del nivel de disparo a fin de establecer automáticamente el nivel de disparo en aproximadamente el **50%** (~1.3 V).
- 8 Establezca la base de tiempo del osciloscopio en **500.0 ns/div**.

En este punto debería ver un pulso digital repetitivo con sobredisparo y timbre similar al que se muestra en la [Figura 31](#).

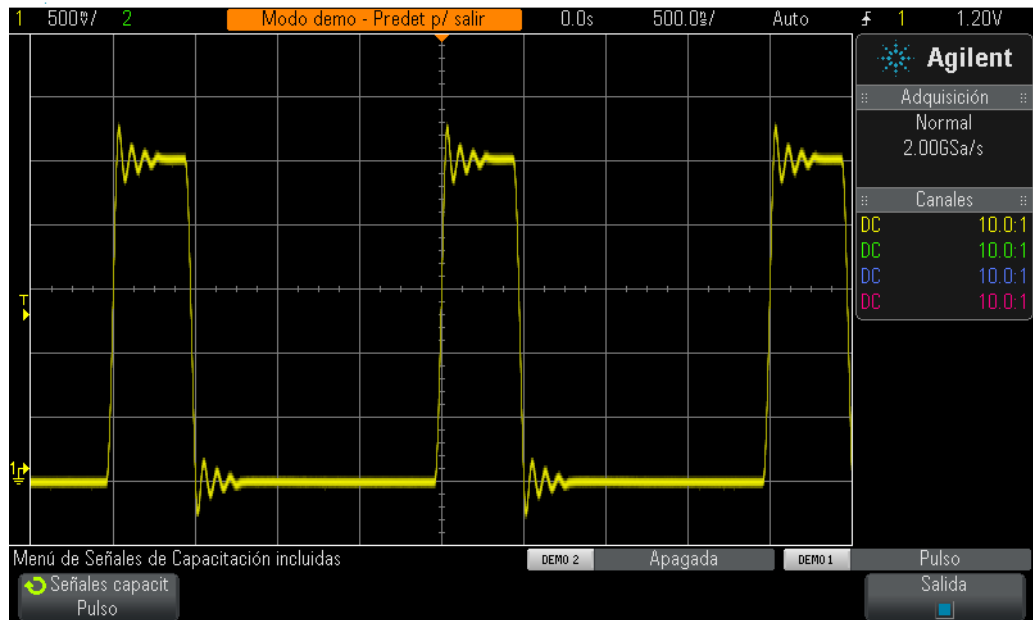


Figura 31 Configuración del osciloscopio para capturar y mostrar un pulso digital repetitivo con timbre y sobredisparo

9 Presione la tecla del panel frontal [**Meas**] (al lado de la perilla Cursors).

Si comienza con una configuración predeterminada (como lo hemos hecho), cuando se presiona la tecla [**Meas**] el osciloscopio activará una frecuencia automática y una medición de Vp-p. Dado que este osciloscopio puede mostrar hasta cuatro mediciones actualizadas continuamente, agreguemos dos mediciones más a esta combinación.

10 Presione la tecla programable **Type**; luego gire la perilla **Entry** hasta que la flecha señale a **Maximum**.

11 Ahora presione la perilla **Entry** para seleccionar esta medición o presione la tecla programable **Add Measurement**. Observe el indicador de nivel que muestra dónde se efectúa esta medición.

12 Gire la perilla **Entry** nuevamente hasta que la flecha señale a **Minimum**; luego presione la perilla **Entry**.

La pantalla de su osciloscopio ahora debería asemejarse a la [Figura 32](#) que muestra cuatro mediciones actualizadas continuamente; Frequency, Vp-p, Vmax y Vmin. Observe que si utiliza un osciloscopio 3000 serie X de Agilent, el osciloscopio también mostrará las estadísticas actualizadas continuamente de cada medición. Configuremos ahora el osciloscopio para efectuar cuatro mediciones diferentes del parámetro de pulso.

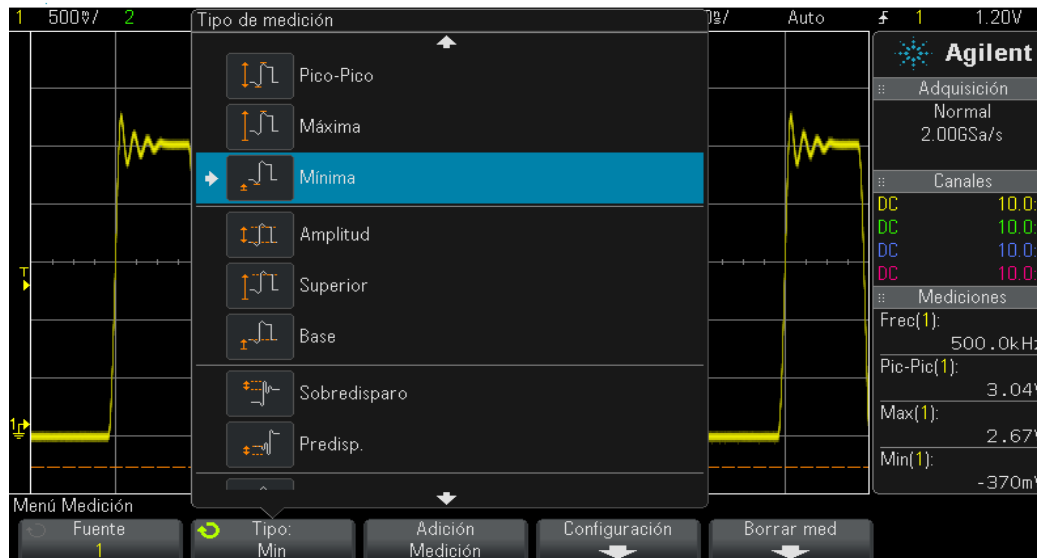


Figura 32 El osciloscopio efectúa automáticamente hasta cuatro mediciones paramétricas

- 13 Presione la tecla programable **Clear Meas**; luego presione la tecla programable **Clear All**.
- 14 Establezca la base de tiempo del osciloscopio en **200.0 ns/div**. La expansión del pulso nos proporcionará una mayor resolución de la medición.
- 15 Ahora seleccione para medir **Top**, **Base**, **Rise Time** y **Fall Time**.

La pantalla de su osciloscopio ahora debería asemejarse a la [Figura 33](#). Si **Fall Time** fue la última medición que seleccionó, entonces los cursores mostrarán dónde se efectúa esta medición.

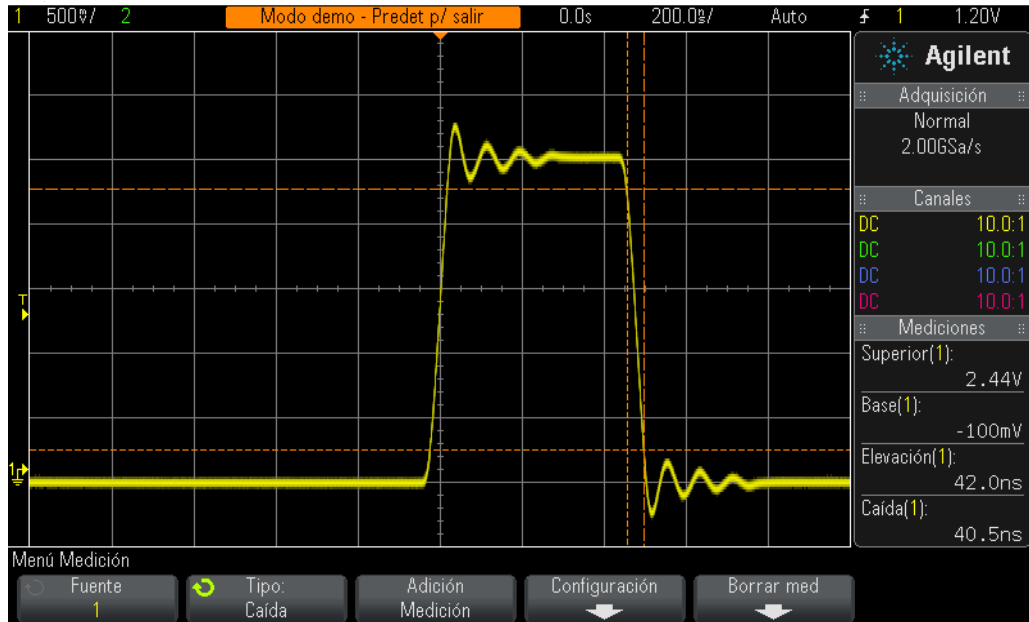




Figura 33 Realización de mediciones adicionales del parámetro de pulso en un pulso digital

En este punto podrá estar preguntándose cuál es la diferencia entre el “valor superior” de una forma de onda (V_{top}) y el “máximo” de una forma de onda (V_{max}), así como también la diferencia entre la “base” de una forma de onda (V_{base}) y el “mínimo” de una forma de onda (V_{min}).

V_{top} es el alto nivel en estado estable de la forma de onda. Este es el nivel de voltaje de la forma de onda después de establecidos el sobredisparo y el timbre. De la misma manera, V_{top} es el bajo nivel en estado estable de la forma de onda. Para las mediciones de parámetros de pulsos digitales, V_{top} y V_{base} son a menudo parámetros más importantes para medir que los voltajes máximo y mínimo absolutos de la forma de onda (V_{max} y V_{min}), que son los valores pico del sobregiro.

Las mediciones de Rise Time y Fall Time que realizamos son tiempos de transición relativa. Esto significa que se han efectuado en relación con niveles específicos del umbral de voltaje. Los niveles de umbral predeterminados del osciloscopio para estas mediciones son los niveles del 10% y del 90% con respecto a V_{base} y V_{top} . En otras palabras, V_{base} se considera el nivel del 0% y V_{top} se considera el nivel del 100%. Pero muchos de los dispositivos de mayor velocidad actuales han especificado tiempos de elevación y caída con relación a los niveles de umbral del 20% y del 80% o quizás con relación a los niveles de voltaje absoluto, por ejemplo, desde/hacia $\pm 1,0$ V. Configuremos ahora nuestro osciloscopio para medir sólo el tiempo de elevación de este pulso con respecto a los niveles de umbral del 20% y del 80%.

16 Presione la tecla programable **Clear Meas**; luego presione la tecla programable **Clear All**.

- 17 Presione la tecla programable **Settings**; luego presione la tecla programable **Thresholds**.
- 18 Presione la tecla programable **Lower**; luego gire la perilla **Entry** hasta que se lea **20%**.
- 19 Presione la tecla programable **Upper**; luego gire la perilla **Entry** hasta que se lea **80%**.
- 20 Para volver al menú anterior, presione la tecla del panel frontal  (Back) (justo encima del interruptor de encendido).
- 21 Presione la tecla  (Back) nuevamente dado que descendimos dos niveles en este menú.
- 22 Presione la tecla programable **Type**; luego gire la perilla de entrada general hasta que la flecha señale a **Rise Time**.
- 23 Ahora presione la tecla programable **Add Measurement**, o presione la perilla **Entrada** para agregar esta medición.

Con estos niveles de umbral de medición definidos por el usuario (20% y 80%), nuestra medición del tiempo de elevación debería ser más rápida dado que ahora estamos midiendo en un segmento más corto de la forma de onda como se muestra en la [Figura 34](#). La medición ahora debería leerse en aproximadamente 30 ns. Cuando utilizamos los niveles de umbral predeterminados del 10%/90% del osciloscopio, la medición debe haberse leído en aproximadamente 40 ns.

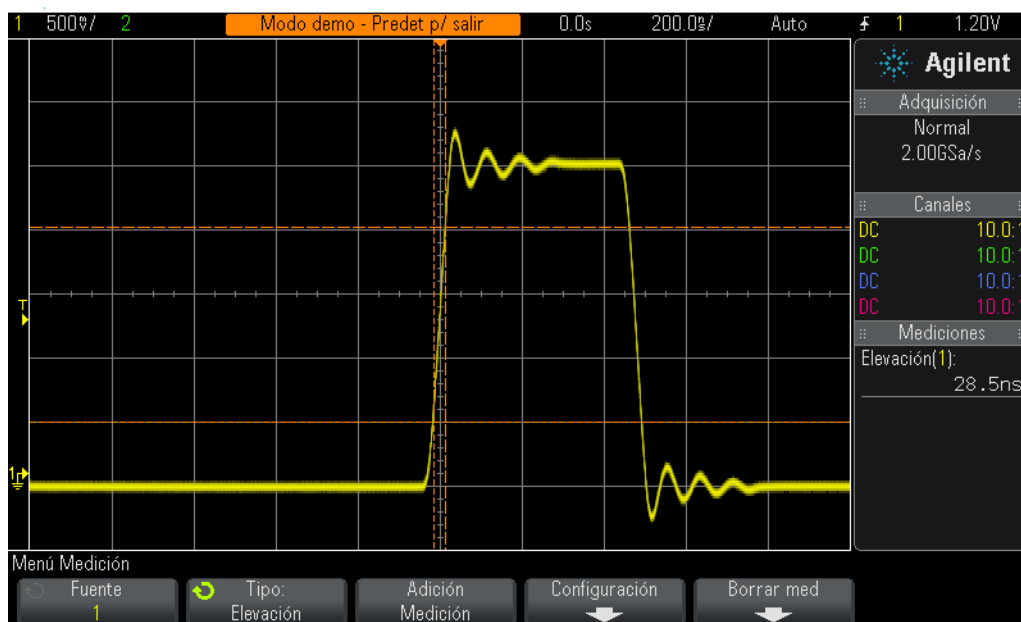


Figura 34 Realización de una medición del tiempo de elevación con respecto a los niveles de umbral del 20% y 80%

Durante el paso N°14 de este laboratorio, mencionamos que la expansión de la forma de onda nos brindaría una mayor resolución y exactitud de la medición. Intente establecer la base de tiempo en 50.0 μ s/div y observe la reducción en la resolución de la medición.

Tomemos ahora una medición más antes de finalizar este laboratorio. Pero esta vez realicemos una serie más completa de mediciones en esta forma de onda.

- 24 Establezca la base de tiempo del osciloscopio en **500.0 ns/div**.
- 25 Presione la tecla programable **Type**; luego gire la perilla **Entry** hasta que la flecha señale a **Snapshot All** (parte superior de la lista).
- 26 Ahora presione la tecla programable **Add Measurement**, o presione la perilla **Entrada** para agregar esta serie de mediciones.

La medición “Snapshot-All” nos proporciona una medición por única vez (instantánea) de varios parámetros a fin de caracterizar por completo nuestra señal de entrada como se muestra en la **Figura 35**. Observe que esta serie de mediciones no se actualiza continuamente y si presiona cualquier tecla o tecla programable del panel frontal, desaparecerá la visualización de estas mediciones.

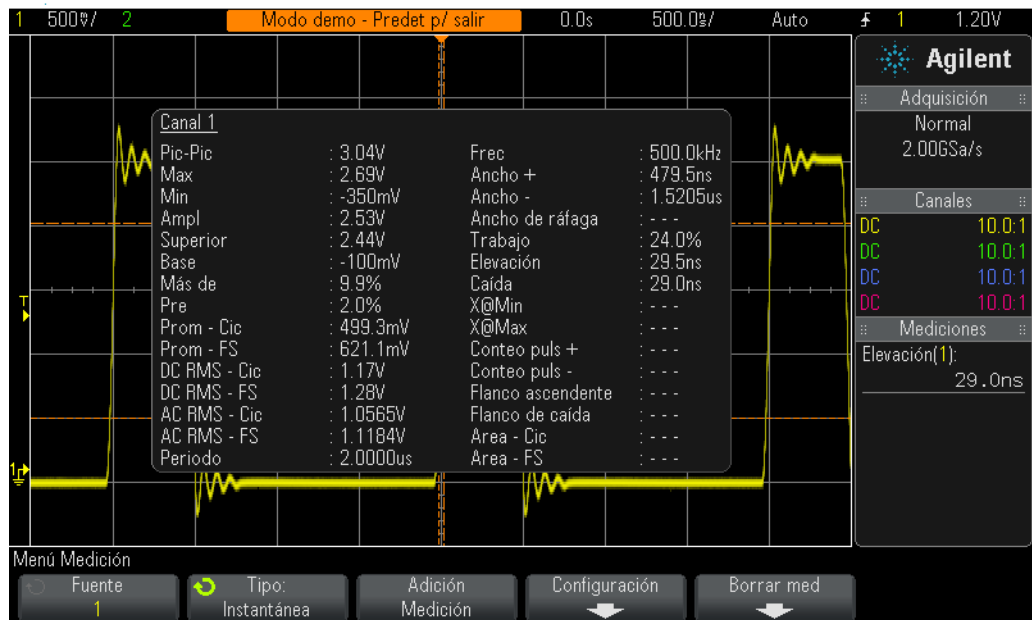


Figura 35 Realización de una serie completa de mediciones paramétricas automáticas con la función "Snapshot All"

Laboratorio N°11: Uso de la base de tiempo del zoom del osciloscopio para efectuar mediciones admitidas

Cuando realice mediciones paramétricas automáticas, por ejemplo mediciones de la amplitud del pulso positivo, en una señal de entrada exactamente repetitiva, por ejemplo una onda sinusoidal o una onda cuadrada, no importa realmente en qué pulso en particular el osciloscopio opta por efectuar la medición... cada pulso es igual. Pero, ¿qué sucede si la señal de entrada que está sondeando es más compleja; donde cada pulso tiene características paramétricas únicas? En este caso, primero sería necesario configurar el osciloscopio para disparar en un punto único del tiempo en la señal compleja, y luego sería necesario configurar las mediciones del osciloscopio de modo tal que el osciloscopio fuese más selectivo en cuanto a qué pulso elige para efectuar las mediciones. En este laboratorio, aprenderá cómo efectuar mediciones selectivas, o “admitidas”, en pulsos específicos con el modo de la base de tiempo del Zoom del osciloscopio.

- 1 Asegúrese de que las dos sondas de su osciloscopio estén aún conectadas entre las terminales etiquetadas Demo1 y Demo2 y los BNC de entrada del Canal 1 y del Canal 2, respectivamente.
- 2 Presione [**Default Setup**] en el panel frontal del osciloscopio.
- 3 Presione [**Help**]; luego presione la tecla programable **Training Signals**.
- 4 Con la perilla **Entry**, seleccione la señal “**Ráfaga digital con fallo no frecuente**”; luego presione la tecla programable **Output** para encenderlo.
- 5 Establezca la configuración de V/div del canal 1.0 en **1,00 V/div**.
- 6 Establezca la configuración de la posición/compensación del canal 1 en **2,0 V** a fin de centrar la forma de onda en la pantalla.
- 7 Presione la perilla del nivel de disparo a fin de establecer automáticamente el nivel de disparo en aproximadamente el **50%** (~ 1.7 V).
- 8 Establezca la base de tiempo del osciloscopio en **1.000 µs/div**.

Observe que en esta configuración puede observar cierto "parpadeo" de la forma de onda. Este "parpadeo" puede aparecer como "fantasmas" de la forma de onda que se producen antes de la ráfaga de pulsos. Si cambia la intensidad de la forma de onda del osciloscopio al 100%, se volverá más clara. La causa de este "parpadeo" es porque el osciloscopio generalmente dispara en el 1º borde ascendente en esta ráfaga digital, pero a veces dispara en bordes posteriores. Necesitamos utilizar la función de retraso del disparo del osciloscopio para forzar al osciloscopio a que sólo dispare en el 1º borde ascendente de la ráfaga.

- 9 Presione la tecla del panel frontal [**Mode/Coupling**] cerca de la perilla del nivel de disparo.
- 10 Presione la tecla programable **Holdoff**; luego gire la perilla de entrada general hacia la derecha para establecer el valor de retraso del disparo en **4.000 µs**.

3 Laboratorios de medición avanzados del osciloscopio

Una vez que la función de retraso del disparo del osciloscopio se ha activado y establecido en $4,0 \mu\text{s}$, el osciloscopio ahora dispara en el 1º borde ascendente de la ráfaga, desarma el disparo durante $4,0 \mu\text{s}$ y luego rearma el disparo después del último pulso de la ráfaga para que el osciloscopio dispare de nuevo en el 1º pulso durante la próxima repetición de la ráfaga. Hemos establecido ahora un punto de disparo estable y único en esta señal digital completa con Trigger Holdoff.

Ahora debe observar 6 pulsos positivos con amplitudes variables, además de un fallo no frecuente que se produce después del 6º pulso como se muestra en la [Figura 36](#). Activemos ahora una medición "+ Width".

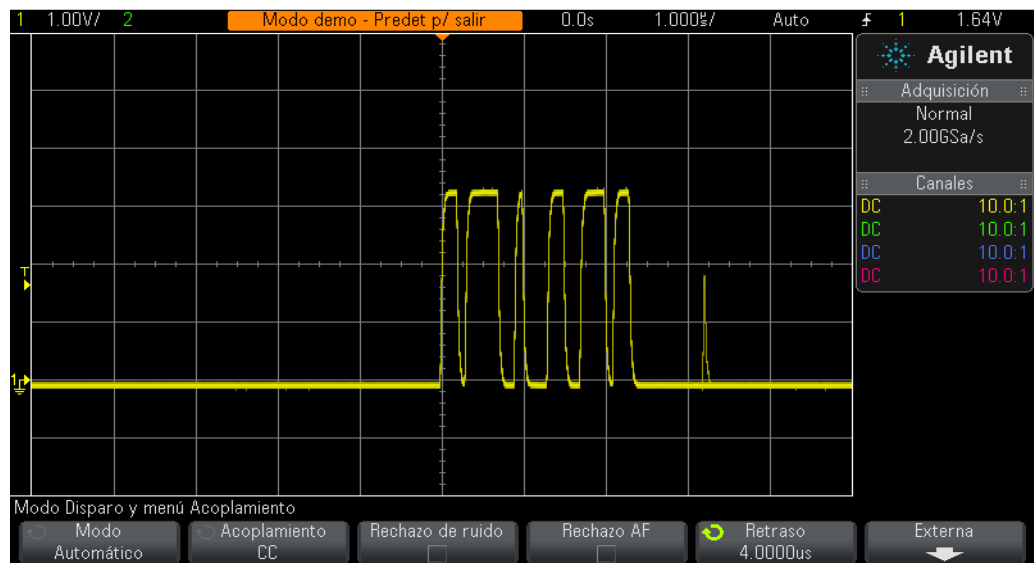


Figura 36 Configuración del osciloscopio para capturar una ráfaga de pulsos digitales con diferentes amplitudes de pulsos

- 11 Presione la tecla del panel frontal [**Meas**] (al lado de la perilla Cursors).
- 12 Presione la tecla programable **Clear Meas**; luego presione la tecla programable **Clear All**.
- 13 Presione la tecla programable **Type**; luego, seleccione la medición **+ Width** con la perilla **Entry**.
- 14 Presione la perilla **Entry** o presione la tecla programable **Add Measurement** para seleccionar esta medición.

El osciloscopio siempre realiza mediciones en el pulso ubicado más cerca del centro de la pantalla. En este caso el osciloscopio mide la amplitud del pulso positivo del 1º pulso en esta ráfaga digital como se muestra en la [Figura 37](#). Pero, ¿qué sucede si deseamos conocer las amplitudes de los 2º, 3º, 4º, etc., pulsos?

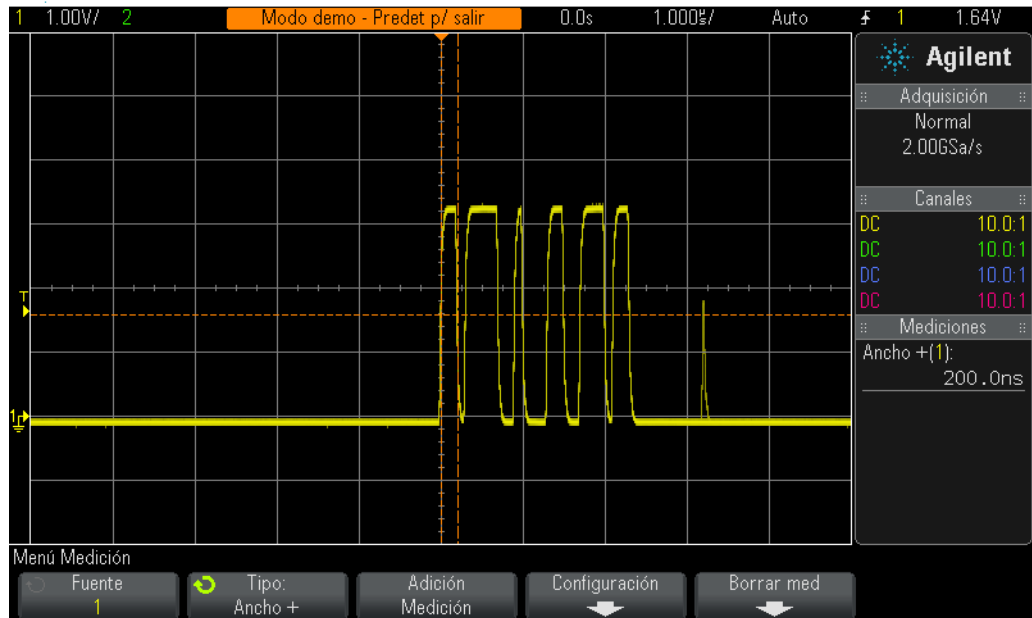



Figura 37 Medición de la amplitud del pulso positivo del 1º pulso de la ráfaga

- 15 Presione el botón  en la sección Horizontal del panel frontal para activar el modo de tiempo de base del "zoom" del osciloscopio.
- 16 Establezca la base de tiempo del Zoom en **50,00 ns/div** al girar la perilla grande de la base de tiempo.
- 17 Establezca la posición horizontal en **100,0 ns** al girar la perilla de la posición horizontal.

Cuando se ha activado la base de tiempo del "zoom", los controles horizontales (s/div y posición) controlan las configuraciones de la base de tiempo con zoom (o ampliadas). Si su profesor no está familiarizado con el funcionamiento de un osciloscopio analógico más antiguo, puede referirse a esta modalidad de operación como modo de la base de tiempo "Delayed Sweep".

3 Laboratorios de medición avanzados del osciloscopio

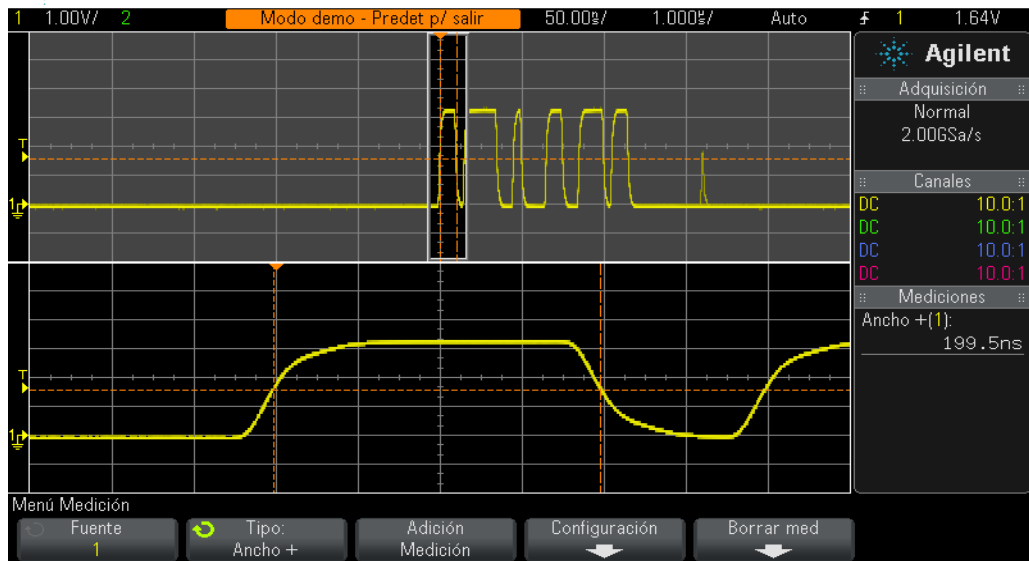


Figura 38 Uso del modo de la base de tiempo del Zoom del osciloscopio para efectuar mediciones "admitidas"

Ahora debería ver en la pantalla de su osciloscopio una expansión de sólo el 1º pulso en esta ráfaga en la parte inferior de la pantalla como se muestra en la [Figura 38](#). Y la medición + Width debería medir la amplitud del pulso positivo sólo del 1º pulso. ¿Cuál es la amplitud de este pulso?

+ Width (1º pulso) = _____

Midamos ahora la amplitud del 2º pulso.

18 Establezca la posición horizontal/retraso en **500,00 ns** a fin de "tener una ventana" al 2º pulso.

¿Cuál es la amplitud del 2º pulso?

+ Width (2º pulso) = _____

19 Mida la amplitud de los 4 pulsos restantes (excluido el fallo no frecuente) con una "ventana" en cada pulso.

+ Width (3º pulso) = _____

+ Width (4º pulso) = _____

+ Width (5º pulso) = _____

+ Width (6º pulso) = _____

Laboratorio N°12: Mediciones de retrasos de fases y formas de onda Lissajous

En este laboratorio, aprenderá cómo efectuar dos mediciones de canales en ondas sinusoidales de fase retrasada. La realización de esta clase de medición puede ser importante si deseara considerar la respuesta de fase de un amplificador de inversión. Este laboratorio le mostrará cómo medir la respuesta de fase entre una entrada y una salida. Además, también aprenderá cómo visualizar estas formas de onda como una curva Lissajous.

- 1 Asegúrese de que las dos sondas de su osciloscopio estén aún conectadas entre las terminales etiquetadas Demo1 y Demo2 y los BNC de entrada del Canal 1 y del Canal 2, respectivamente.
- 2 Presione [**Default Setup**] en el panel frontal del osciloscopio.
- 3 Presione la tecla del panel frontal [**2**] para encender el Canal 2.
- 4 Presione [**Help**]; luego presione la tecla programable **Training Signals**.
- 5 Con la perilla **Entry**, seleccione la señal “**Seno de desfase**”; luego presione la tecla programable **Output** para encenderlo.
- 6 Establezca la configuración de V/div del canal 1 en **500 mV/div**.
- 7 Establezca la configuración de V/div del canal 2 en **500 mV/div**.
- 8 Establezca la base de tiempo del osciloscopio en **200.0 µs/div**.

En este punto debería ver dos ondas sinusoidales, una capturada por el canal 2 retrasada de aquella capturada por el canal 1 en aproximadamente 90 grados como se muestra en la [Figura 39](#). Midamos ahora el tiempo de retraso y el desfase con las mediciones automáticas de dos canales del osciloscopio.

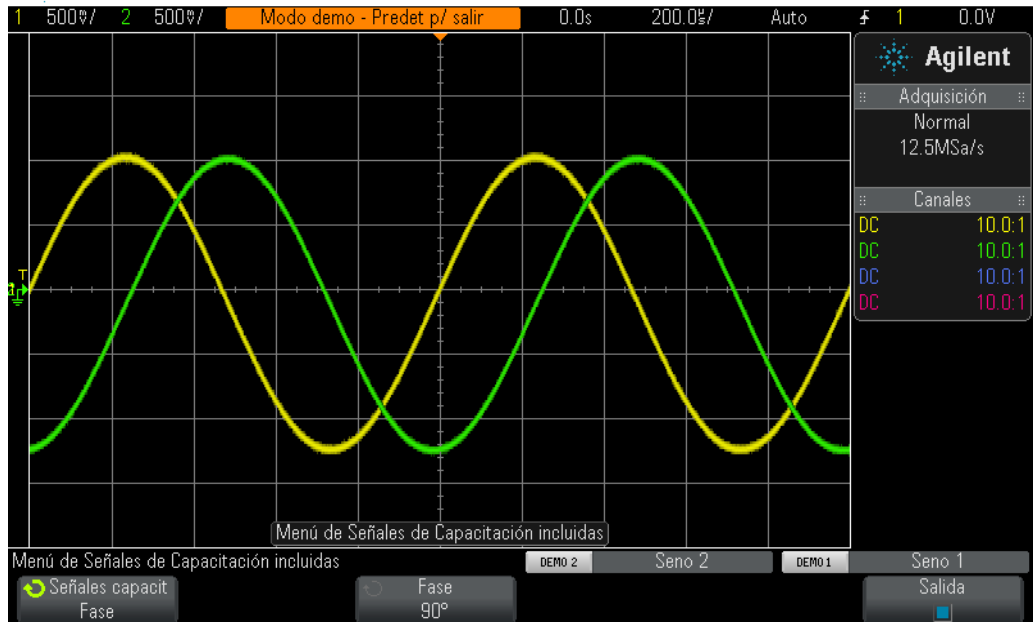


Figura 39 Realización de mediciones en señales de fase retrasada

- 9 Presione la tecla del panel frontal [**Meas**] (al lado de la perilla Cursors).
- 10 Presione la tecla programable **Type**; luego, señale a la medición **Delay** con la perilla **Entry**.
- 11 Presione la tecla programable **Add Measurement**, o presione la perilla **Entrada** para agregar esta medición.
- 12 Con la perilla **Entry**, señale ahora a la medición **Phase**.
- 13 Presione la tecla programable **Add Measurement**, o presione la perilla **Entrada** para agregar esta medición.

Su osciloscopio debería tener ahora cuatro mediciones en la pantalla; dos mediciones predeterminadas (frecuencia y Vp-p), además de las mediciones del tiempo de retraso y el desfase. Variemos ahora el desfase entre estas dos señales.

- 14 Presione [**Help**]; luego presione la tecla programable **Training Signals** (esto restaura nuestro menú Training Signals).
- 15 Presione la tecla programable **Phase**; luego gire la perilla **Entry** para variar el desfase de 0 a 360 grados.

Veamos ahora estas formas de onda en un formato diferente; ¡probablemente uno de los formatos de visualización del osciloscopio favoritos de su profesor! Visualizaremos estas formas de onda como una curva Lissajous; llamada así por Jules Antoine Lissajous (1822-1880), un matemático francés.

- 16 Presione la tecla del panel frontal [**Horiz**] (cerca de los controles de la base de tiempo del osciloscopio).

- 17 Presione la tecla programable **Time Mode**; luego gire la perilla **Entry** para seleccionar **XY**.
- 18 Presione **[Help]**; luego presione la tecla programable **Training Signals**.
- 19 Presione la tecla programable **Phase**; luego gire la perilla **Entry** para variar el desfase.

El osciloscopio ya no traza nuestras formas de onda en un formato de Voltios versus Tiempo. Ahora traza nuestras formas de onda en un formato Voltios (canal 1) versus Voltios (canal 2). Cuando el desfase es de exactamente 90 grados o 270 grados, debería ver un círculo perfecto. Cuando el desfase es de exactamente 0 grados, deberíamos ver una línea ascendente a los 45 grados. Cuando el desfase es de exactamente 180 grados, deberíamos ver una línea descendente a los 45 grados. En cualquier otra configuración de fase, deberíamos ver una curva ovalada como se muestra en la [Figura 40](#). Las curvas Lissajous de las ondas sinusoidales de la misma frecuencia producen las formas de curvas más simples.



Figura 40 Un patrón Lissajous con un modo XY del osciloscopio de dos ondas sinusoidales de la misma frecuencia, pero 48 grados desfasadas entre sí

Los ingenieros de amplificadores analógicos a veces utilizan las curvas Lissajous en un osciloscopio para ajustar sus circuitos. Los patrones Lissajous a veces pueden ser muy complejos, pero el ingeniero analógico generalmente conoce el patrón que está buscando. La [Figura 41](#) muestra un patrón Lissajous más complejo de dos señales con diferentes frecuencias.

3 Laboratorios de medición avanzados del osciloscopio

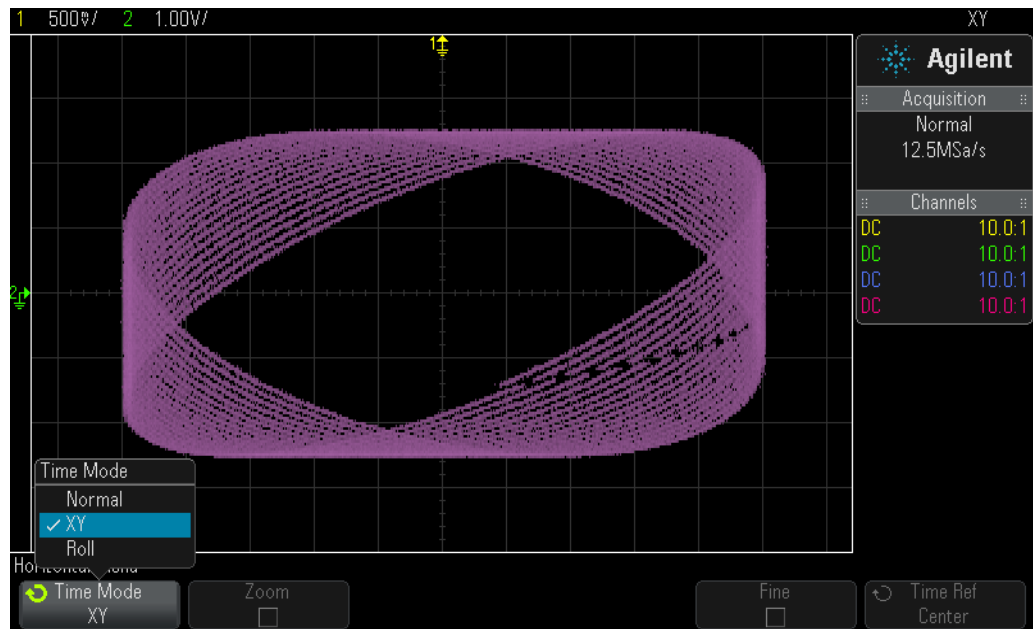


Figura 41 Un patrón Lissajous más complejo derivado de dos señales de diferentes frecuencias

Laboratorio N°13: Uso de la matemática de formas de onda

Además de realizar mediciones paramétricas automáticas en datos de formas de onda, el osciloscopio también puede realizar operaciones matemáticas en una forma de onda completa o en un par de formas de onda. Una función matemática muy común de la forma de onda que puede desear que efectúe el osciloscopio es restar una forma de onda de otra. Por ejemplo, si está utilizando sondas pasivas de 10:1 estándar para capturar formas de onda en su circuito, estaría limitado a capturar estas formas de onda sólo con respecto a la conexión a tierra. Pero, ¿qué sucedería si deseara ver cómo luce una forma de onda en un componente específico donde ningún extremo del componente está conectado a tierra? En este caso podría capturar formas de onda en ambos extremos del componente con respecto a la conexión a tierra y luego restar una forma de onda de la otra. Intentémoslo.

- 1 Asegúrese de que las dos sondas de su osciloscopio estén aún conectadas entre las terminales etiquetadas Demo1 y Demo2 y los BNC de entrada del Canal 1 y del Canal 2, respectivamente.
- 2 Presione **[Default Setup]** en el panel frontal del osciloscopio.
- 3 Presione la tecla del panel frontal **[2]** para encender el Canal 2.
- 4 Presione **[Help]**; luego presione la tecla programable **Training Signals**.
- 5 Seleccione la señal “**Seno de desfase**” con la perilla **Entry**; luego presione la tecla programable **Output** para encenderlo.
- 6 Establezca la configuración de V/div del canal 1 en **500 mV/div**.
- 7 Establezca la configuración de V/div del canal 2 en **500 mV/div**.
- 8 Establezca la base de tiempo del osciloscopio en **200.0 μ s/div**.
- 9 Presione la tecla del panel frontal **[Math]** (lado derecho del panel frontal).
- 10 Presione la tecla programable **Operator**; luego gire la perilla **Entry** para seleccionar “-“.

Ahora debería ver tres formas de onda en la pantalla de su osciloscopio como se muestra en la [Figura 42](#). La forma de onda púrpura es el resultado de la función matemática del osciloscopio de restar la forma de onda del canal 2 de la forma de onda del canal 1. Variemos ahora el desfase de las dos ondas sinusoidales y observemos los resultados.

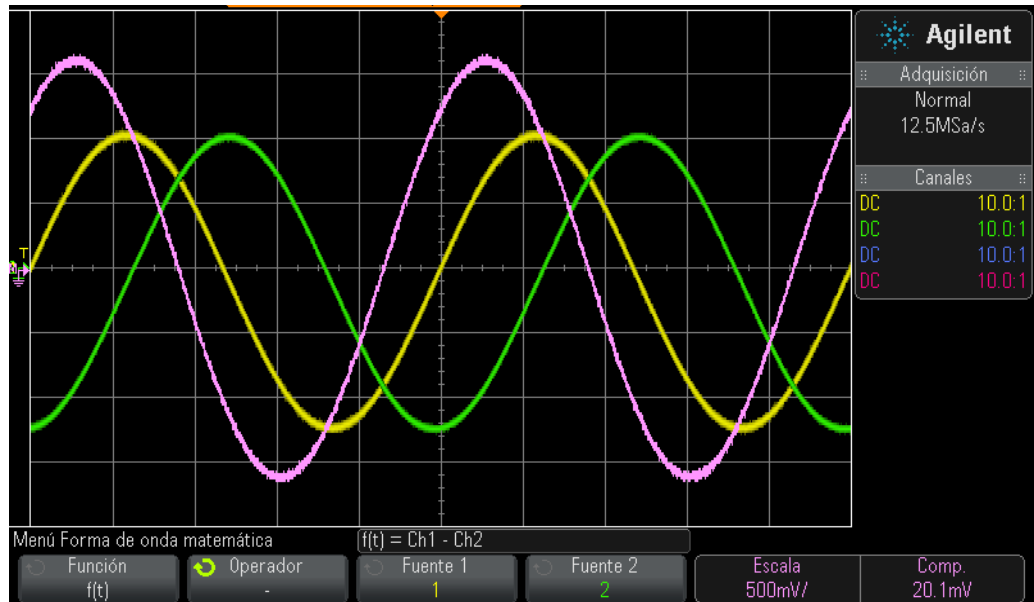


Figura 42 Uso de la matemática de formas de onda para restar el canal 2 del canal 1

- 11 Presione la tecla del panel frontal [**Help**]; luego presione la tecla programable **Training Signals**.
- 12 Presione la tecla programable **Phase**; luego gire la perilla **Entry** para variar el desfase.

Cuando el desfase es de exactamente 180 grados, la forma de onda matemática resultante estará en su amplitud más alta, según lo previsto. Cuando el desfase es de exactamente 0 o 360 grados, la forma de onda matemática resultante es una línea plana (0,0 V). Observe que ahora puede cambiar la escala de la forma de onda matemática con las perillas a la derecha del panel frontal del osciloscopio cerca de la tecla [**Math**]. Efectuemos ahora una función matemática más compleja; FFT (Fast Fourier Transform).

- 13 Presione [**Default Setup**].
- 14 Presione [**Help**]; luego presione la tecla programable **Training Signals**.
- 15 Seleccione la señal “**Reloj con fallo no frecuente**” con la perilla **Entry**; luego presione la tecla programable **Output** para encenderlo.
- 16 Establezca la configuración de V/div del canal 1 en **500 mV/div**.
- 17 Establezca la compensación del canal 1 en aproximadamente **1,00 V** a fin de centrar la forma de onda en la pantalla.
- 18 Presione la perilla del nivel de disparo para establecer el nivel de disparo en aproximadamente el **50%**.
- 19 Establezca la base de tiempo en **100,0 µs/div**. En esta configuración de la base de tiempo habrá muchos ciclos de la señal del reloj en la pantalla, que

se requiere generalmente cuando se realiza una función matemática de precisión de FFT.

- 20 Presione la tecla del panel frontal [**Math**]; luego presione la tecla programable **Operator**.
- 21 Seleccione la función matemática **FFT** con la perilla **Entry**.

Ahora debería ver una pantalla similar a la [Figura 43](#). El osciloscopio muestra ahora tanto una forma de onda de dominio de tiempo (Voltaje versus Tiempo) así como también una forma de onda de dominio de frecuencia (Energía en unidades de dB versus Frecuencia). Una función matemática FFT descompone las señales en sus componentes de frecuencia de onda sinusoidal individuales. Y si recuerda de algunos de sus circuitos EE o clases de Física, todas las señales eléctricas, incluidas las señales digitales, se componen de múltiples ondas sinusoidales de diferentes frecuencias. Una señal de reloj ideal que tiene un ciclo de trabajo del 50% debería constar de un componente de frecuencia de onda sinusoidal fundamental (frecuencia repetitiva de la señal), además de su armonía impar (3^o, 5^o, 8^o, etc.). Observe que las ondas cuadradas no ideales también incluirán armonía par de menor nivel. Verifiquemos ahora las frecuencias de la armonía fundamental e impar.



Figura 43 Realización de una función matemática FFT en un reloj digital repetitivo

- 22 Presione la tecla del panel frontal [**Cursors**] (cerca de la perilla Cursors).
- 23 Presione la tecla programable **Source**; luego gire la perilla **Entry** para cambiar la **Source** del canal **1** a **Math: f(t)**
- 24 Presione la perilla Cursors y seleccione el cursor **X1**.

3 Laboratorios de medición avanzados del osciloscopio

- 25 Después de que se cierre el menú Cursors, gire la perilla **Entry** hasta que el cursor X1 esté en la parte superior del pico de frecuencia más alto (cerca del lado izquierdo de la pantalla).
- 26 Presione la perilla Cursors nuevamente y seleccione el cursor **X2**.
- 27 Después de que se cierre el menú Cursors, gire la perilla **Entry** hasta que el cursor X2 esté en la parte superior del 2º pico de frecuencia más alto.
- 28 ¿Cuál es la frecuencia X1, cuál es el componente fundamental (lea cerca de la parte inferior de la pantalla)?

F1 = _____

- 29 ¿Cuál es la frecuencia X2, cuál debería ser la 3º armonía?

F3 = _____

Observe que la frecuencia fundamental de esta señal de capacitación es diferente en los osciloscopios InfiniiVision 2000 serie X en comparación con los osciloscopios 3000 serie X.

Laboratorio N°14: Uso de la detección de pico para superar el submuestreo

Todos los DSO y MSO tienen una cantidad fija de memoria de adquisición. Esta es la cantidad de muestras que el osciloscopio puede digitalizar para cada ciclo de adquisición. Si la base de tiempo del osciloscopio se establece en una configuración de seg/div relativamente rápida, por ejemplo 20 ns/div, entonces el osciloscopio siempre tendrá una cantidad suficiente de memoria para capturar una forma de onda en esa configuración con la frecuencia máxima especificada de muestreo del osciloscopio. Por ejemplo, si la frecuencia máxima especificada de muestreo de un osciloscopio es de 2 GSa/s (500 ps entre muestras) y si la base de tiempo del osciloscopio se establece en 20 ns/div, entonces una profundidad de memoria de adquisición de 400 puntos es todo lo que se necesita para capturar y visualizar una forma de onda completa. En 20 ns/div, una forma de onda completa en la pantalla del osciloscopio constaría de 200 ns de tiempo (20 ns/div x 10 divisiones horizontales). La profundidad de memoria necesaria para completar este tiempo mientras aún se muestrea a 2 GSa/s es de tan sólo 400 puntos (200ns/500ps = 400).

Si establece la base de tiempo del osciloscopio en una configuración de seg/div mucho más lenta a fin de capturar formas de onda más lentas y un tiempo más prolongado, entonces el osciloscopio puede necesitar reducir automáticamente su frecuencia de muestreo para completar el tiempo de forma de onda necesario. Todos los DSO y MSO hacen esto. Por ejemplo, supongamos que desea capturar una señal relativamente lenta y necesita establecer la base de tiempo del osciloscopio en 10 ms/div (100 ms en la pantalla). Si la profundidad máxima de memoria del osciloscopio es de 100k puntos, entonces será necesario que el osciloscopio reduzca su frecuencia de muestreo a 1 MSa/s (100ms/100k = período de muestreo de 1 µs).

Si bien en la mayoría de los casos esto no es un problema, dado que la captura de formas de onda más lentas no requiere frecuencias rápidas de muestreo, ¿qué sucedería si la señal de entrada constara de una combinación de características de baja velocidad y alta velocidad? Por ejemplo, ¿qué sucedería si la señal de entrada que desea capturar es una onda sinusoidal de 30 Hz con fallos muy estrechos sobre ella? La captura de la onda sinusoidal de 30 Hz no requiere una frecuencia rápida de muestreo, pero la captura de los fallos estrechos puede requerir una frecuencia de muestreo muy rápida. Preparemos una prueba para capturar una señal como ésta.

- 1 Asegúrese de que las dos sondas de su osciloscopio estén conectadas entre las terminales etiquetadas Demo1 y Demo2 y los BNC de entrada del Canal 1 y del Canal 2, respectivamente.
- 2 Presione **[Default Setup]** en el panel frontal del osciloscopio.
- 3 Presione **[Help]**; luego presione la tecla programable **Training Signals**.
- 4 Con la perilla **Entry**, seleccione la señal "**Seno con fallo**"; luego presione la tecla programable **Output** para encenderlo.
- 5 Establezca la configuración de V/div del canal 1 en **500,0 mV/div**.
- 6 Establezca la base de tiempo del osciloscopio en **10,00 ms/div**.
- 7 Presione el botón **[Intensity]** (debajo de la perilla **Entry**); luego establezca la intensidad de la traza de la forma de onda en el **100%** con la perilla **Entry**.

3 Laboratorios de medición avanzados del osciloscopio

En este punto debería ver una onda sinusoidal similar a la [Figura 44](#). Pero si observa de cerca debería ver también algunos fallos (pulsos estrechos) cerca de los picos de esta onda sinusoidal. Y la amplitud de estos fallos parecería variar (rebotando hacia arriba y hacia abajo). La amplitud de estos fallos es efectivamente muy estable. El problema es que el osciloscopio ha reducido su frecuencia de muestreo (observe la frecuencia de muestreo que aparece debajo del logotipo de Agilent en la pantalla del osciloscopio) y el osciloscopio ahora captura los fallos estrechos en forma intermitente. El osciloscopio realiza un submuestreo de los fallos estrechos. A veces el osciloscopio captura sólo un punto en el pico de un fallo. A veces captura un punto en una transición del fallo. Y a veces no captura nada en el fallo (la amplitud del fallo es más estrecha que el intervalo de muestreo). Este osciloscopio cuenta con un modo de adquisición especial denominado “Peak Detect” que resolverá este problema. Activémoslo.

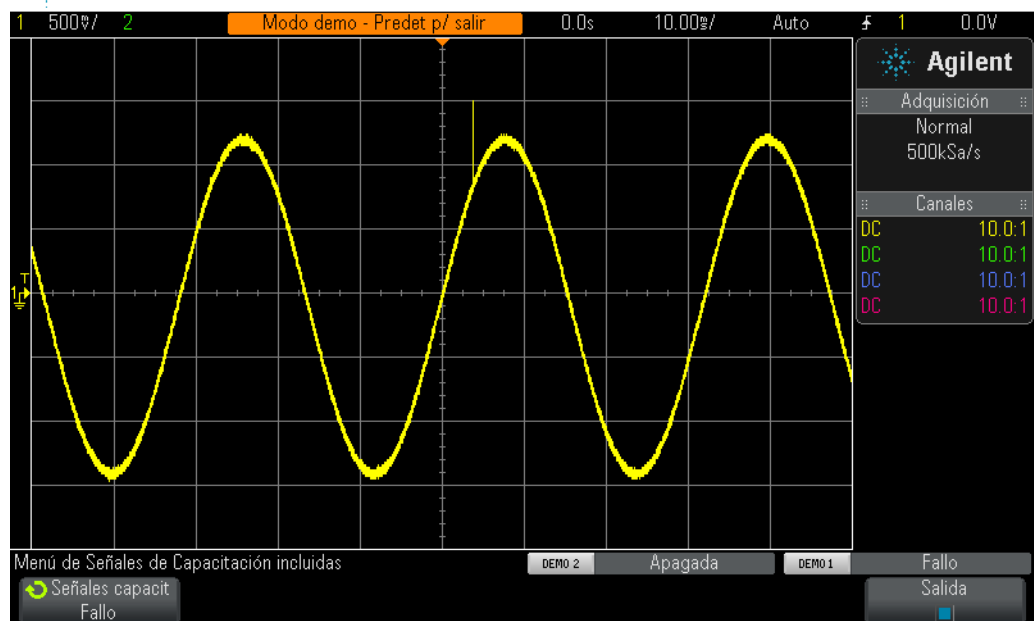


Figura 44 La frecuencia de muestreo reducida automáticamente del osciloscopio submuestra el fallo repetitivo

- 8 Presione la tecla del panel frontal [**Acquire**] (debajo de la perilla Cursors).
- 9 Presione la tecla programable **Acq Mode**; luego gire la perilla **Entry** para seleccionar **Peak Detect**.

La altura de los fallos debería aparecer ahora mucho más estable como se muestra en la [Figura 45](#). Cuando se ha seleccionado el modo de adquisición **Peak Detect**, en lugar del muestreo de formas de onda con una frecuencia reducida, el osciloscopio excluye inteligentemente los datos adquiridos en una frecuencia de muestreo más alta. Por ejemplo, supongamos que el osciloscopio necesita funcionar con una frecuencia de muestreo que es $1/100^{\circ}$ de su frecuencia máxima de muestreo. Esto sería equivalente a operar el osciloscopio con su frecuencia máxima de muestreo, pero almacenando sólo

cada $1/100^{\circ}$ punto, lo que es una exclusión "no inteligente". En el modo Peak Detect, el osciloscopio analizaría un grupo de 200 muestras consecutivas en tiempo real (muestreo con una frecuencia alta) y luego almacenaría sólo los valores máximos y mínimos digitalizados para este grupo de 200 puntos, que es sólo 2 puntos. Esto sería un factor de exclusión de 100.

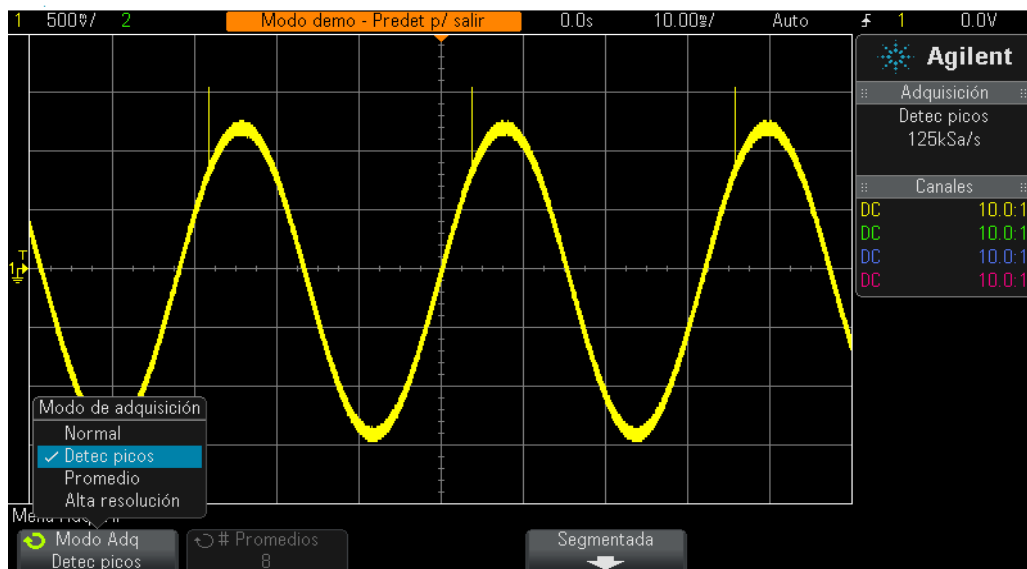


Figura 45 El modo de adquisición Peak Detect captura confiablemente los fallos estrechos sobre la onda sinusoidal lenta

Entonces, usted podría preguntar ¿por qué no utilizar siempre el modo **Peak Detect**? Existen algunas desventajas cuando se utiliza este modo de adquisición. En primer lugar, se reduce la frecuencia máxima absoluta de muestreo del osciloscopio. En segundo lugar, los puntos guardados NO tendrán una separación uniforme. Y este es un criterio importante del teorema de muestreo de Nyquist. Entonces, para esta aplicación de medición en particular, el uso del modo **Peak Detect** es una buena opción. Pero, para otras aplicaciones de medición, **Peak Detect** puede no ser el modo de adquisición adecuado.

Para conocer más sobre el muestreo en tiempo real del osciloscopio, consulte el documento de Agilent que lleva el título de "*Evaluación de las frecuencias de muestreo vs. la fidelidad de muestreo del osciloscopio*". Esta nota de aplicación aparece al final de este documento con instrucciones sobre cómo descargarla.

Laboratorio N°15: Uso de la memoria segmentada para capturar más formas de onda

La adquisición de memoria segmentada es una opción con licencia de los osciloscopios InfiniiVision 2000 y 3000 serie X de Agilent. Entonces, para completar este laboratorio su osciloscopio debe contar con esta opción. Como aprendió en el laboratorio anterior, todos los osciloscopios tienen una cantidad limitada de memoria de adquisición. Y la cantidad de memoria de adquisición que tenga su osciloscopio determinará el período de tiempo que puede capturar mientras aún utilizan una frecuencia de muestreo rápida. Siempre puede capturar un período de tiempo prolongado con sólo configurar la base de tiempo en un valor de seg/div extenso. Pero el osciloscopio puede reducir su frecuencia de muestreo en forma automática a fin de capturar el período de tiempo prolongado que reducirá el detalle y la resolución de medición de la forma de onda adquirida. El uso de este modo de adquisición Segmented Memory del osciloscopio es otra solución para optimizar la profundidad de la memoria y la frecuencia de muestreo, en especial cuando se intenta capturar múltiples señales de tipo ciclo de trabajo bajo. Intentemos ahora capturar y visualizar una ráfaga de radar de ciclo de trabajo bajo simulada.

- 1 Asegúrese de que las dos sondas de su osciloscopio estén aún conectadas entre las terminales etiquetadas Demo1 y Demo2 y los BNC de entrada del Canal 1 y del Canal 2, respectivamente.
- 2 Presione [**Default Setup**] en el panel frontal del osciloscopio.
- 3 Presione [**Help**]; luego presione la tecla programable **Training Signals**.
- 4 Con la perilla **Entry**, seleccione la señal “**RF Burst**”; luego presione la tecla programable **Output** para encenderlo.
- 5 Establezca la configuración de V/div del canal 1 en **500,0 mV/div**.
- 6 Establezca la base de tiempo del osciloscopio en **200.00 ns/div**.
- 7 Establezca el nivel de disparo del osciloscopio en aproximadamente **+700 mV** (~1,5 divisiones por encima del centro de la pantalla).
- 8 Presione el botón [**Intensity**] (debajo de la perilla **Entry**); luego establezca la intensidad de la traza de la forma de onda en el **100%** con la perilla **Entry**.

Debería ver una única ráfaga de ondas sinusoidales similar a la que se muestra en la [Figura 46](#). Re-escalemos ahora la base de tiempo en un intento por capturar varias de estas ráfagas.

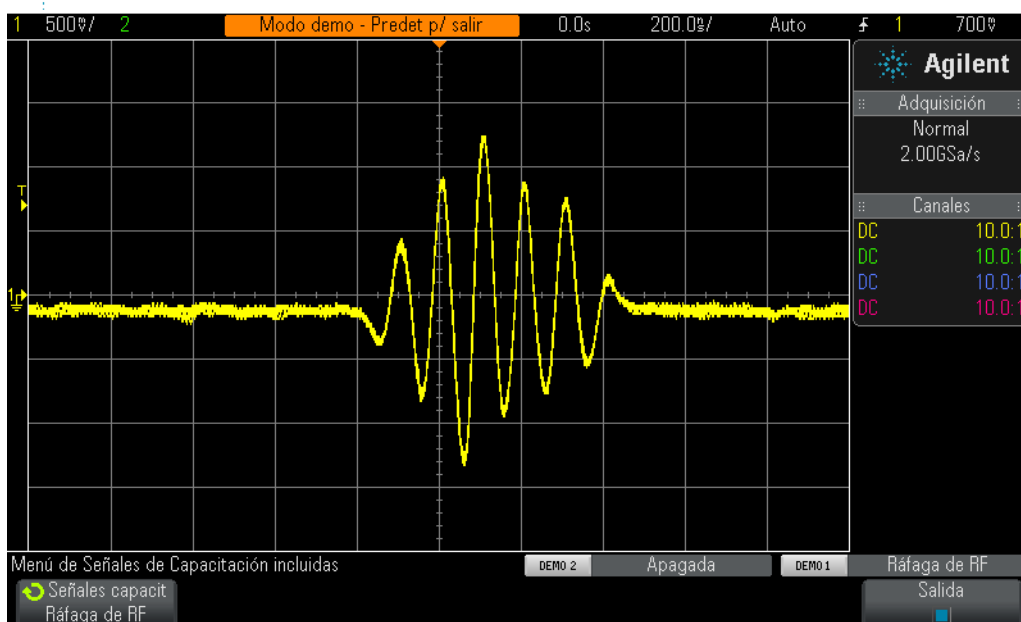


Figura 46 Captura y visualización de una ráfaga RF a 200,0 ns/div

- 9 Si está utilizando un osciloscopio 2000 serie X de Agilent (el número de modelo aparece por encima de la pantalla del osciloscopio), establezca la base de tiempo del osciloscopio en **1.000 ms/div**.
- 10 Si está utilizando un osciloscopio 3000 serie X de Agilent, establezca la base de tiempo del osciloscopio en **10.000 ms/div**.

Cuando intentamos capturar múltiples ráfagas RF que están separadas por 4,0 ms, el osciloscopio submuestra y muestra amplitudes variables de la señal como se muestra en la [Figura 47](#). De nuevo, esto es porque el osciloscopio redujo su frecuencia de muestreo en forma automática a fin de capturar un período de tiempo más prolongado con su cantidad limitada de memoria de adquisición (los osciloscopios 3000 serie X tienen más memoria que los osciloscopios 2000 serie X). Ahora apliquemos el zoom y observemos más de cerca estos datos con submuestreo.

3 Laboratorios de medición avanzados del osciloscopio

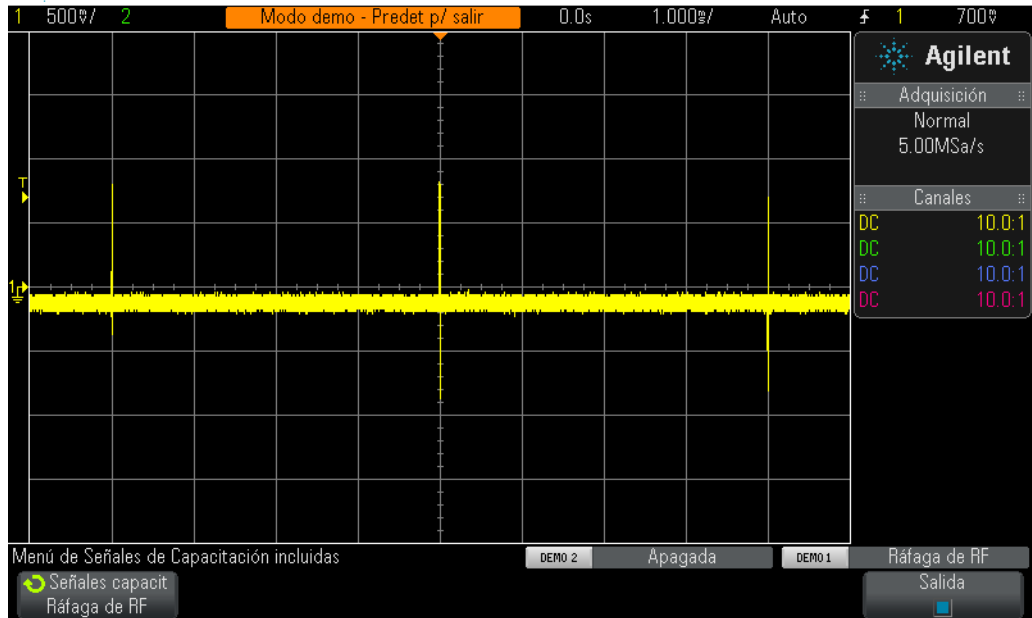


Figura 47 Captura de múltiples formas de onda de la ráfaga RF con una configuración de base de tiempo más lenta

11 Presione **[Run/Stop]** para detener las adquisiciones repetitivas (la tecla **[Run/Stop]** se volverá roja).

12 Ahora establezca la base de tiempo del osciloscopio en **200,0 ns/div**.

Después de adquirir la forma de onda en la configuración de base de tiempo más lenta y luego de acercarnos, podemos observar claramente que nuestra forma de onda tuvo un submuestreo de acuerdo con las formas de onda triangulares que se muestran en la [Figura 48](#). Recuerde, esto debe ser una ráfaga de ondas sinusoidales.

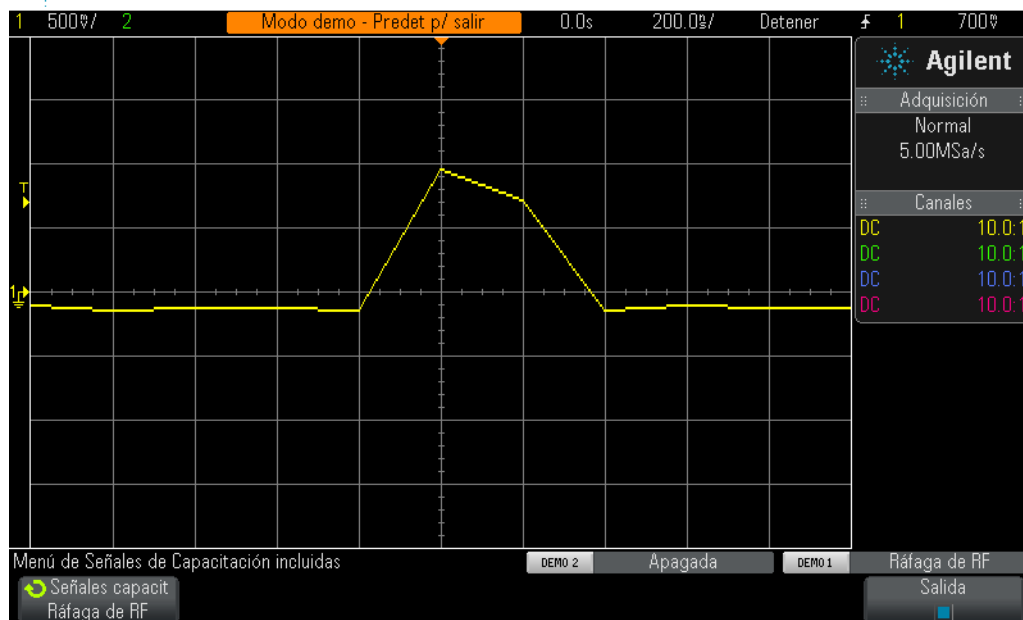


Figura 48 El acercamiento revela una forma de onda con submuestreo

Si bien el uso del modo Peak Detect del osciloscopio nos proporcionaría una medición más precisa de las amplitudes pico de cada ráfaga cuando se capturan en la configuración de la base de tiempo más lenta (Figura 47), observaríamos que la forma de onda aún tendría un submuestreo después de acercarnos en una traza guardada. Otra solución sería comprar un osciloscopio con una memoria mucho más profunda. Pero el departamento de EE o Física de su universidad no podría solventar esta solución. Utilicemos ahora el modo de adquisición Segmented Memory del osciloscopio para capturar múltiples ráfagas con alta resolución.

- 13 Presione **[Run/Stop]** para comenzar las adquisiciones repetitivas nuevamente con la base de tiempo aún establecida en 200,0 ns/div (**[Run/Stop]** debería volverse verde).
- 14 Presione la tecla del panel frontal **[Acquire]** (cerca de la perilla Cursors); luego presione la tecla programable **Segmented** (sólo se encuentra disponible si tiene una licencia con la opción SGM).
- 15 Gire la perilla **Entry** hasta que **# of Segs = 25**.
- 16 Presione ahora la tecla programable **Segmented** para activar este modo de adquisición.

El osciloscopio debería haber capturado sólo 25 eventos consecutivos de esta ráfaga. Examinémoslos.

- 17 Presione la tecla programable **Current Seg**; luego gire la perilla **Entry** para examinar las 25 formas de onda.

18 Ahora establezca el **Current Seg = 25** con la perilla **Entry** (último segmento/forma de onda capturados).

Al mismo tiempo que captura ráfagas de señales de ciclo de trabajo bajo consecutivas, el osciloscopio también "retrasa" cada segmento/forma de onda para que pueda conocer el tiempo de cada segmento/forma de onda de captura con respecto al primer segmento/forma de onda capturado. Los retrasos se muestran en el ángulo inferior izquierdo de la pantalla. El segmento N°25 debería tener un retraso de aproximadamente 96 ms junto con un sello de la hora del día como se muestra en la [Figura 49](#). La forma de onda capturada también debería tener una resolución muy alta dado que el osciloscopio utilizó su frecuencia máxima de muestreo para capturar cada forma de onda. Si intentó capturar ~100 ms (10 ms/div) de un período de tiempo con el modo de adquisición Normal del osciloscopio, éste habría reducido considerablemente su frecuencia de muestreo y, por lo tanto, habría proporcionado una resolución de la muestra sumamente deficiente en cada ráfaga.

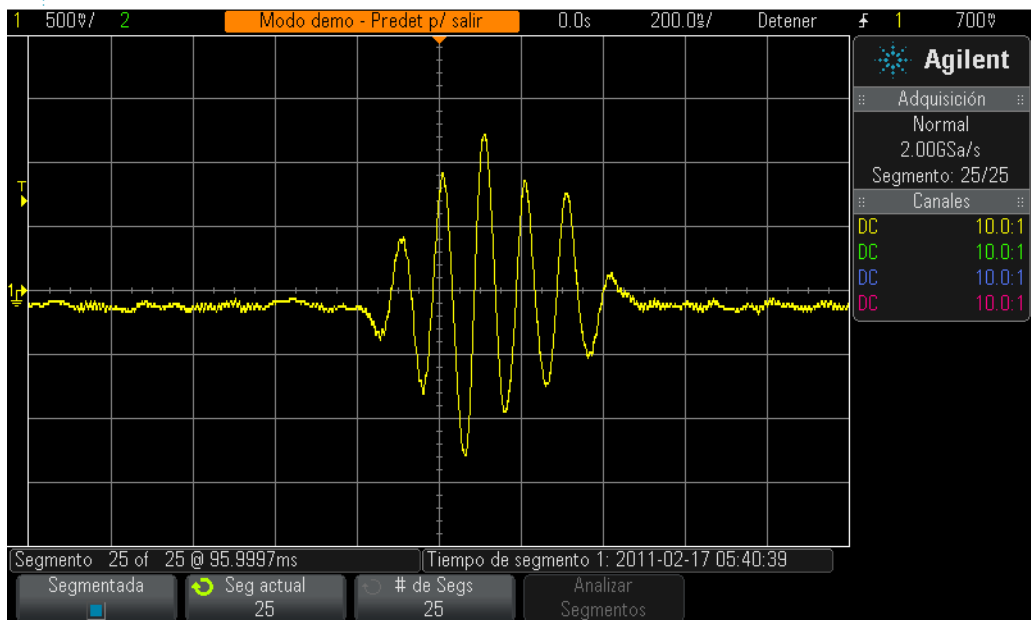
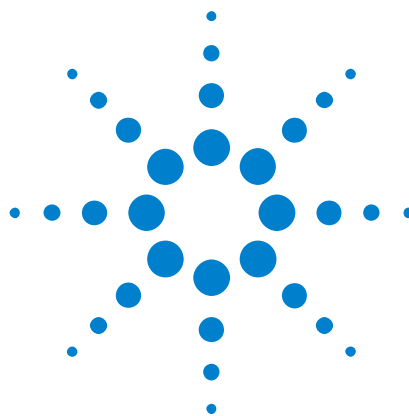


Figura 49 Uso de la adquisición de memoria segmentada para capturar más formas de onda con alta resolución

La adquisición de memoria segmentada optimiza la memoria de adquisición del osciloscopio al capturar sólo los datos de la forma de onda en torno a porciones pequeñas (o segmentos) de una señal (una ráfaga breve de onda sinusoidal en este caso). El osciloscopio no captura el tiempo muerto de la señal no importante entre cada ráfaga. La adquisición de memoria segmentada también puede resultar una herramienta muy útil para capturar múltiples paquetes en serie de datos digitales.



4 Resumen

Bibliografía relacionada con Agilent 84

Si pudo completar todos los laboratorios en esta guía y tutorial de laboratorio del osciloscopio, entonces debería comprender bien lo que es un osciloscopio y saber cómo utilizarlo de manera competente. Esto no sólo lo ayudará a completar sus experimentos de circuitos asignados de manera más eficiente y con mayor comprensión de los conceptos teóricos de EE y física, sino que cuando se gradúe y comience a usar los osciloscopios para comprobar y probar sus diseños en la industria, podrá depurar sus diseños más rápido y lanzar sus productos al mercado más rápidamente. Si desea obtener más información sobre los osciloscopios y las mediciones del osciloscopio, Agilent ofrece una amplia gama de notas de aplicación sobre este tema enumerada en la página siguiente.

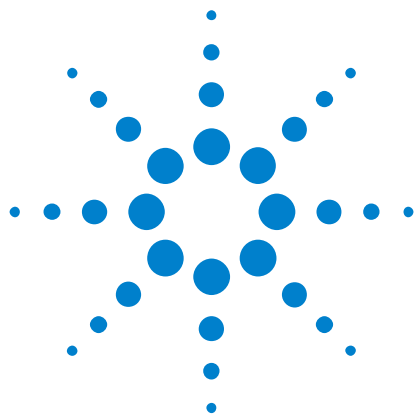


Bibliografía relacionada con Agilent

Tabla 1 Bibliografía relacionada con Agilent

Título de la publicación	Tipo de publicación	Número de publicación
Evaluación de los fundamentos del osciloscopio	Nota de aplicación	5989-8064EN
Evaluación de los anchos de banda del osciloscopio para su aplicación	Nota de aplicación	5989-5733EN
Evaluación de las frecuencias de muestreo vs. la fidelidad de muestreo del osciloscopio	Nota de aplicación	5989-5732EN
Evaluación de los osciloscopios para obtener las mejores tasas de actualización de la forma de onda	Nota de aplicación	5989-7885EN
Evaluación de las características del ruido vertical del osciloscopio	Nota de aplicación	5989-3020EN
Evaluación de los osciloscopios para obtener la mejor calidad de visualización	Nota de aplicación	5989-2003EN
Evaluación de los osciloscopios para depurar los diseños de señal mixta	Nota de aplicación	5989-3702EN
Evaluación de la memoria segmentada del osciloscopio para aplicaciones de bus serial	Nota de aplicación	5990-5817EN

Para descargar estos documentos, inserte el número de publicación en la dirección URL: <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/xxxx-xxxxEN.pdf>



A

Diagrama de bloques y teoría de la operación del osciloscopio

Diagrama de bloque del osciloscopio de almacenamiento digital (DSO) 86

Bloque del conversor de analógico a digital (ADC) 86

Bloque atenuador 87

Bloque de compensación de CC 87

Bloque amplificador 87

Bloques lógicos de disparo y comparador de disparo 88

Bloques de la memoria de adquisición y base de tiempo 89

Bloque DSP (pantalla) 90



Diagrama de bloque del osciloscopio de almacenamiento digital (DSO)

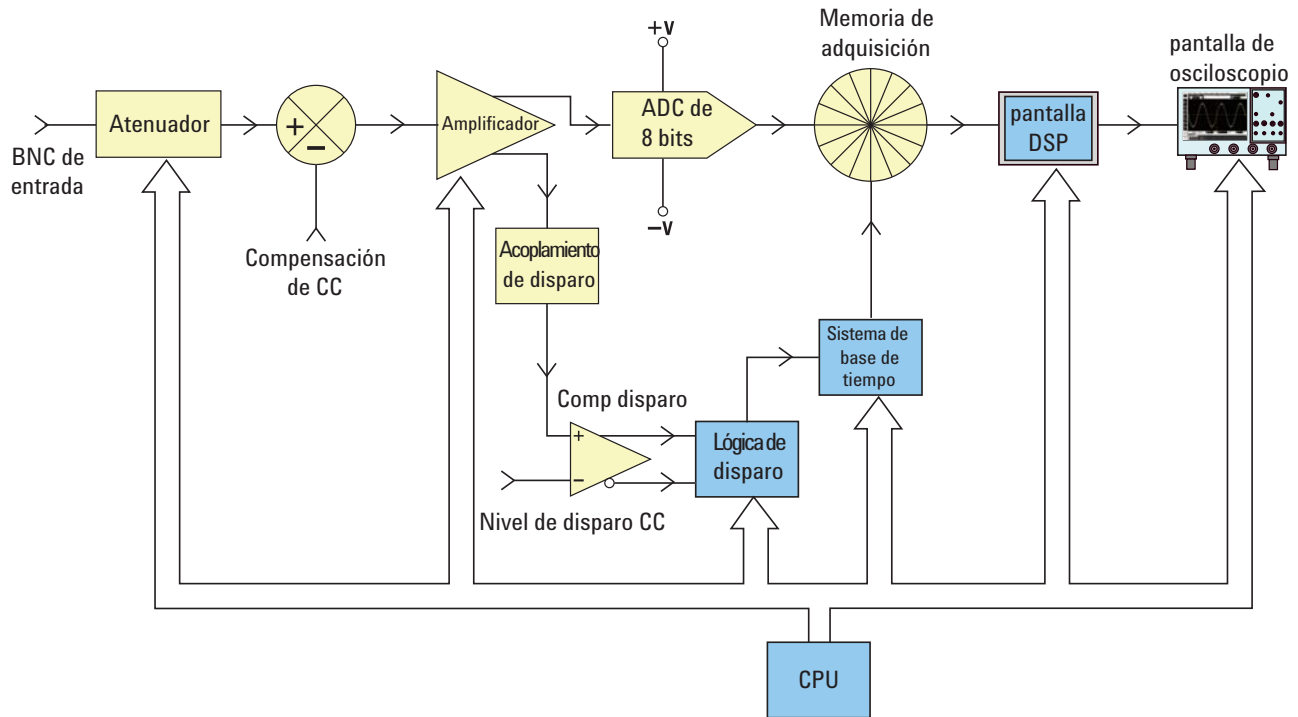


Figura 50 Diagrama de bloque del osciloscopio de almacenamiento digital (DSO)

La [Figura 50](#) muestra el diagrama de bloques de un canal de adquisición de un osciloscopio de almacenamiento digital (DSO) típico. Los bloques de color amarillo representan los componentes del sistema distintivos de un canal de adquisición único, tales como Canal 1 o Canal 2. Los bloques de color azul representan los componentes del sistema que son comunes entre todos los canales de adquisición, como el sistema de la CPU y la base de tiempo común del osciloscopio.

Bloque del convertor de analógico a digital (ADC)

Cerca de la mitad de este diagrama de bloques se muestra el convertor de analógico a digital (ADC). El bloque del convertor de analógico a digital (ADC) es el núcleo o componente central de todos los DSO. La función de este bloque es la de convertir la entrada analógica en una serie de palabras digitales. La mayoría de los DSO de hoy utilizan ADC de 8 bits que proporcionan 256 códigos o niveles únicos de salida digital. Estos códigos binarios digitales se almacenan en la memoria de adquisición del osciloscopio, tema que será discutido más adelante. Si el nivel de entrada analógica para el ADC es igual o inferior a $-V$, la salida del ADC será 00000000 (0 decimal). Si el nivel de entrada

analógica para el ADC es igual o superior a $+V$, la salida del ADC será 11111111 (255 decimal). Si el nivel de entrada analógica para el ADC es igual o superior a 0,0 V, la salida del ADC será 10000000 (128 decimal).

Para obtener la más alta resolución y mediciones exactas, la entrada al ADC debe escalarse dentro de su rango dinámico, que es $\pm V$. Aunque el ADC tiene un rango dinámico de entrada limitado y fijo basado en los voltajes de referencia del ADC ($\pm V$), los osciloscopios deben poder detectar un amplio rango dinámico de señales incluyendo tanto señales de entrada de nivel alto como de nivel bajo. La función combinada del atenuador, la compensación de CC y los bloques del amplificador es escalar la entrada analógica ADC para estar dentro del rango dinámico del ADC, lo cual se discute a continuación.

Bloque atenuador

El bloque atenuador es básicamente una red de divisores de resistencia que sirve para escalar la señal de entrada a fin de que esté dentro del rango dinámico del ADC y amplificador análogo de ganancia variable del osciloscopio. Al introducir una señal de entrada de nivel alto, tal como 40 Vpp, el nivel de señal debe reducirse (atenuado). Si ingresa una señal de entrada de nivel bajo, tal como 10 mVpp, entonces la señal de entrada se pasa a través del amplificador sin atenuación (1:1). Cuando se cambia el ajuste V/div del osciloscopio, es posible que escuche sonidos similares a un clic. El clic que se oye son relés mecánicos que se activan en diferentes redes de resistencias del divisor. Tenga en cuenta que el bloque atenuador también incluye la activación de la impedancia de entrada que puede ser seleccionada por el usuario (1 M Ω o 50 Ω), así como el acoplamiento de entrada de CC o AC.

Bloque de compensación de CC

Al introducir una señal con Compensación de CC, como una señal digital que oscila entre 0V a 5V, si queremos mostrar esta señal centrada en la pantalla del osciloscopio, entonces debemos agregar una compensación de CC interna de la polaridad opuesta a la señal con el fin de cambiar la señal de entrada para que esté dentro del rango dinámico del ADC. Por otra parte, el acoplamiento de CA se puede seleccionar para eliminar el componente de CC de la señal de entrada.

Bloque amplificador

La etapa final de procesamiento analógico para escalar la señal de entrada a fin de que esté dentro del rango dinámico del sistema ADC es el amplificador de ganancia variable del osciloscopio. Si ingresa una señal de entrada de nivel muy bajo, normalmente el ajuste V/div se establecería en un valor relativamente bajo. Con un ajuste V/div bajo la etapa del atenuador pasaría la

señal directamente a través del amplificador sin atenuación (ganancia =1), y luego el amplificador impulsaría (ganancia >1) la amplitud de la señal con el fin de aprovechar todo el rango dinámico del ADC. Si ingresa una señal de entrada de nivel muy alto, normalmente el ajuste V/div se establecería en un valor relativamente alto. Con un ajuste V/div alto la etapa del atenuador primero atenuaría la señal de entrada (ganancia < 1) para que quede dentro del rango dinámico del amplificador, y luego, el amplificador puede atenuar aún más la señal (ganancia <1) para que quede dentro del rango dinámico del ADC.

Tenga en cuenta que al seleccionar un ajuste específico de V/div, el osciloscopio determina automáticamente la cantidad necesaria de atenuación en el bloque atenuador y la cantidad necesaria de ganancia (o, posiblemente, la atenuación adicional) en el bloque amplificador. Puede pensar que el bloque atenuador, el bloque de compensación de CC y el bloque amplificador son un solo bloque de acondicionamiento de la señal de entrada analógica que condiciona linealmente una señal que representa la señal de entrada que debe estar dentro del rango dinámico del bloque ADC sobre la base del ajuste de V/div y compensación de un canal del osciloscopio en particular.

Bloques lógicos de disparo y comparador de disparo

El objetivo de los bloques lógicos de disparo y comparador de disparo consiste en establecer un punto único en el tiempo en la señal de entrada (o una combinación de señales de entrada múltiples) sobre el cual establecer una adquisición sincronizada. Después de haber completado el Laboratorio 2 (Conceptos básicos del disparo en el osciloscopio) en este documento, debería comprender mejor de qué se trata la función de disparo.

Supongamos que la señal de entrada es una onda sinusoidal y que desea disparar adquisiciones en el borde ascendente de la onda sinusoidal a un nivel del 50%. En este caso la salida no invertida del comparador de disparo sería una onda cuadrada con un ciclo de trabajo del 50%. Si establece el nivel de disparo por encima del nivel del 50%, entonces la salida no invertida del comparador de disparo sería inferior al 50%. Por otra parte, si establece el nivel de disparo por debajo del nivel del 50%, entonces la salida no invertida sería superior al 50%. Suponiendo que el disparo se basará solamente en un cruce de borde positivo de un canal único, el bloque lógico de disparo pasaría la salida no invertida del comparador de disparo al bloque de base de tiempo. Si ha seleccionado disparar sobre un cruce de borde negativo de un canal único, entonces el bloque lógico de disparo pasaría la salida invertida del comparador de disparo al bloque de base de tiempo. El bloque de base de tiempo a continuación, utiliza el borde ascendente de la señal de disparo como el punto de sincronización único en el tiempo. También tenga en cuenta que el disparo puede basarse en muchas otras variables, incluyendo la calificación de tiempo, así como una combinación de señales de entrada de múltiples canales de entrada.

Bloques de la memoria de adquisición y base de tiempo

El bloque de base de tiempo controla cuando se inicia y se detiene el muestreo ADC en relación con el evento de disparo. Además, el bloque de base de tiempo controla la frecuencia de muestreo del ADC basado en la profundidad de la memoria de adquisición disponible y el ajuste de base de tiempo del osciloscopio. Por ejemplo, supongamos que el osciloscopio se ha configurado para disparar exactamente en el centro de la pantalla (predeterminado) utilizando un ajuste de base de tiempo de 1 ms/div. Vamos a suponer también para simplificar, que la profundidad de la memoria de adquisición del osciloscopio es de 1000 puntos. Con estos supuestos, el osciloscopio debería adquirir 500 puntos antes del evento de disparo, seguido de otra adquisición de 500 puntos después del disparo. En este ajuste de base de tiempo, el osciloscopio adquirirá 1000 puntos en un lapso de 10 ms (1 ms/div x 10 divisiones). Aunque la frecuencia máxima especificada de muestreo del osciloscopio sea de 2 GSa/s, con este ajuste de base de tiempo el bloque de base de tiempo reducirá la frecuencia de muestreo continua del osciloscopio a 100 k muestras/seg (Frecuencia de muestreo = Memoria/Lapso = 1000 muestras/10ms = 100 kSa/s).

Cuando se pulsa la tecla Run, el bloque de base de tiempo permite almacenar de manera permanente los datos digitalizados en la memoria de adquisición “circular” del osciloscopio a la frecuencia de muestreo apropiada (100 kSa/s). Mientras que el bloque de base de tiempo incrementa, incorporando datos al búfer de la memoria de adquisición circular después de cada muestra, también cuenta el número de muestras tomadas hasta 500 (suponiendo una profundidad de memoria de 1000 y también asumiendo el disparo en el centro de la pantalla). Después de que el bloque de base de tiempo determina que se han almacenado un mínimo de 500 muestras (es decir, que por lo menos la mitad de la memoria de adquisición está llena), el bloque de base de tiempo activa el disparo y comienza a buscar el primer borde ascendente del comparador de disparo de salida (suponiendo que usamos el modo de disparo de borde simple). Mientras buscamos el evento de disparo, las adquisiciones continúan almacenándose en el búfer de la memoria de adquisición circular del osciloscopio. Si el evento de disparo es muy poco frecuente, las muestras almacenadas en realidad pueden sobrescribirse mientras espera el evento de disparo. Pero esto está bien. Una vez que se detecta el evento de disparo, el bloque de base de tiempo comienza a contar hasta 500 nuevo. Cuando se han almacenado 500 muestras adicionales, el bloque de base de tiempo desactiva (cierra) el muestreo. Esto significa que las últimas 500 muestras almacenadas representan los puntos secuenciales en la forma de onda que se produjeron **después** del evento de disparo, mientras que los 500 puntos anteriores representan los puntos secuenciales en la forma de onda que se produjeron **antes** del evento de disparo. En este punto, la operación se pasa al bloque DSP (pantalla).

Aunque hemos utilizado un ejemplo de disparo en el centro de la pantalla, usando el control de posición/retraso horizontal puede colocar el punto de disparo en cualquier punto. Por ejemplo, si ajusta el retraso de tal manera que el punto de disparo ocurra en el punto representando el 75% a lo largo del eje horizontal (en relación con el lado izquierdo de la pantalla), entonces el bloque de base de tiempo establecería el contador para que almacene inicialmente 750 puntos (suponiendo una profundidad de memoria de 1000 puntos) antes de activar el disparo, y luego capturaría 250 puntos adicionales después de detectar el evento de disparo.

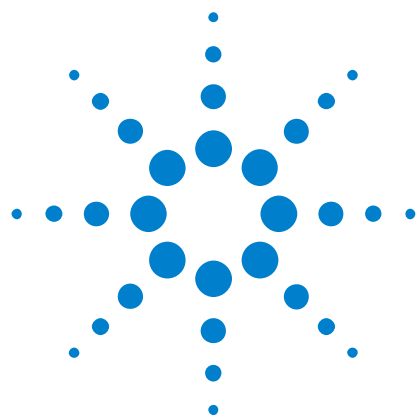
Bloque DSP (pantalla)

Una vez finalizada la adquisición, el bloque DSP (pantalla) vuelve atrás los datos almacenados en el bloque de memoria de adquisición en una secuencia LIFO (último en entrar, primero en salir). El bloque DSP (pantalla) no sólo puede realizar rápidamente el procesamiento de señales digitales en los datos almacenados como si ejecutara un filtro de reconstrucción digital $\text{Sin}(x)/x$, sino que también puede “canalizar” los datos almacenados y/o procesados en la memoria de visualización de píxeles del osciloscopio. Después de que los datos han sido “retractados” de la memoria de adquisición, el bloque DSP le indica al bloque de base de tiempo que puede comenzar otra adquisición.

Tenga en cuenta que las primeras generaciones de DSO no incluían un bloque DSP (pantalla) explícito. Esta función tradicionalmente la utilizaba el sistema de la CPU del osciloscopio, pero con una eficiencia mucho menor que producía frecuencias de actualización de forma de onda mucho más lentas. Con el procesamiento DSP personalizado, algunos de los DSO actuales pueden actualizar las formas de onda tan rápido como 1.000.000 formas de onda por segundo.

AVISO

Para conocer más sobre los fundamentos de los osciloscopios, descargue la nota de la aplicación de Agilent que lleva el título *Evaluación de los fundamentos del osciloscopio*. Esta publicación aparece en la sección "[Bibliografía relacionada con Agilent](#)" de este documento con instrucciones sobre cómo descargarla.



B Tutorial del ancho de banda del osciloscopio

Definición de ancho de banda del osciloscopio 91

Ancho de banda requerido para aplicaciones analógicas 93

Ancho de banda requerido para aplicaciones digitales 94

Comparaciones de las mediciones de reloj digital 96

Los osciloscopios tienen muchas características diferentes que determinan la exactitud con las que las señales se pueden capturar y medir. Pero la especificación principal de un osciloscopio es su ancho de banda. Los osciloscopios que utiliza en sus laboratorios para estudiantes de ingeniería eléctrica probablemente tienen suficiente ancho de banda para la mayoría, si no todos, de los experimentos que el profesor le asignará. Cuando finalmente se gradúe de su programa de EE y entre en la industria electrónica, es muy posible que tenga que seleccionar un osciloscopio de un conjunto de instrumentos en su compañía para realizar pruebas en sus diseños, o quizás deba evaluar diferentes osciloscopios para comprar. Este tutorial sobre el ancho de banda del osciloscopio le proporcionará algunos consejos útiles sobre cómo seleccionar un osciloscopio con el ancho de banda adecuado para las aplicaciones digitales y analógicas. Pero primero, vamos a definir el ancho de banda del osciloscopio.

Definición de ancho de banda del osciloscopio

Todos los osciloscopios presentan una respuesta de frecuencia de paso bajo que se atenúa en las frecuencias más altas, como se muestra en la [Figura 51](#). La mayoría de los osciloscopios con especificaciones de ancho de banda de 1 GHz e inferior suelen tener lo que se denomina respuesta de frecuencia de Gauss. Una respuesta de frecuencia gaussiana de un osciloscopio se aproxima a un filtro de paso bajo de polo único, que es algo que ya ha estudiado en algunas de sus clases de circuitos y tal vez haya graficado como un diagrama de Bode.



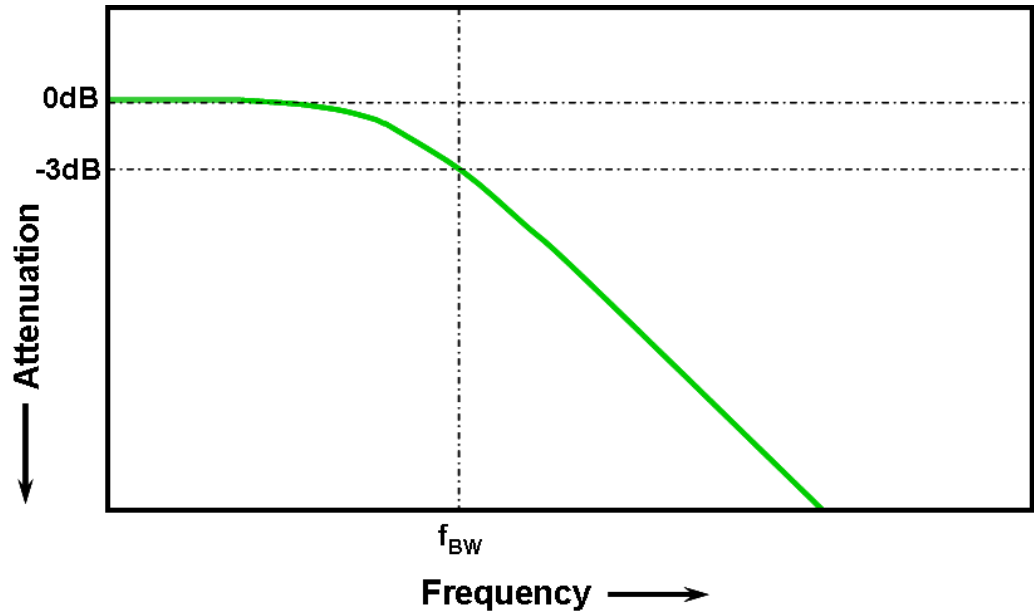


Figura 51 Respuesta de frecuencia de Gauss del osciloscopio

La menor frecuencia a la que se atenúa la señal de entrada en 3 dB es el ancho de banda del osciloscopio (f_{BW}). La atenuación de la señal en una frecuencia de -3 dB se traduce en aproximadamente un error de amplitud de -30%. En otras palabras, si ingresa una onda sinusoidal de 1 Vp-p, 100 MHz en un osciloscopio con un ancho de banda de 100 , el voltaje pico a pico medido con este osciloscopio estaría en el rango de aproximadamente 700 mVp-p (-3 dB = $20 \text{ Log } [0,707/1,0]$). Por lo que no puede esperar hacer mediciones precisas en señales que tienen frecuencias significativas cercanas al ancho de banda del osciloscopio.

Muy relacionada con la especificación de ancho de banda del osciloscopio está la especificación de tiempo de elevación. Los osciloscopios con una respuesta de frecuencia de tipo Gauss tienen un tiempo de elevación de alrededor de $0,35/f_{BW}$ basado en un criterio de 10% a 90%. Pero es necesario recordar que el tiempo de elevación de un osciloscopio no es la velocidad de borde más rápida a la que el osciloscopio puede medir correctamente. Es la velocidad de borde más rápida que el osciloscopio posiblemente puede producir si la señal de entrada tiene un tiempo teórico de elevación infinitamente rápido (0 ps). Aunque esta especificación teórica es imposible de probar, dado que los generadores de pulso no tienen bordes infinitamente rápidos, desde una perspectiva práctica, puede probar el tiempo de elevación de su osciloscopio introduciendo un pulso que tenga velocidades de borde que son de 5 a 10 veces más rápidas que la especificación del tiempo de elevación del osciloscopio.

Ancho de banda requerido para aplicaciones analógicas

Hace años, la mayoría de los vendedores de osciloscopios recomendaban que el ancho de banda del osciloscopio sea al menos tres veces superior a la frecuencia de la señal de entrada más alta. Y es posible que esta recomendación de uso común sea lo que su profesor recuerda. Aunque este factor de multiplicación “3X” no se usaría en aplicaciones digitales basadas en frecuencias de reloj o velocidades de borde, todavía se aplica a aplicaciones analógicas, como la RF modulada. Para entender de dónde proviene este factor multiplicador de 3 a 1, vamos a ver una respuesta de frecuencia real en un osciloscopio con un ancho de banda de 1 GHz.

La [Figura 52](#) muestra una prueba de respuesta de frecuencia medida (1 MHz a 2 GHz) en un osciloscopio Agilent con un ancho de banda de 1 GHz. Como puede ver, exactamente en 1 GHz la salida medida (forma de onda en la pantalla del osciloscopio) se atenúa por un poco menos de 3 dB ($V_o/V_i > 0,7$). Para realizar mediciones precisas de las señales analógicas, tendría que usar el osciloscopio en la parte de la banda de frecuencia que todavía es relativamente plana con una atenuación mínima. A aproximadamente un tercio del ancho de banda de 1 GHz del osciloscopio, este presenta muy poca atenuación (-0,2 dB).

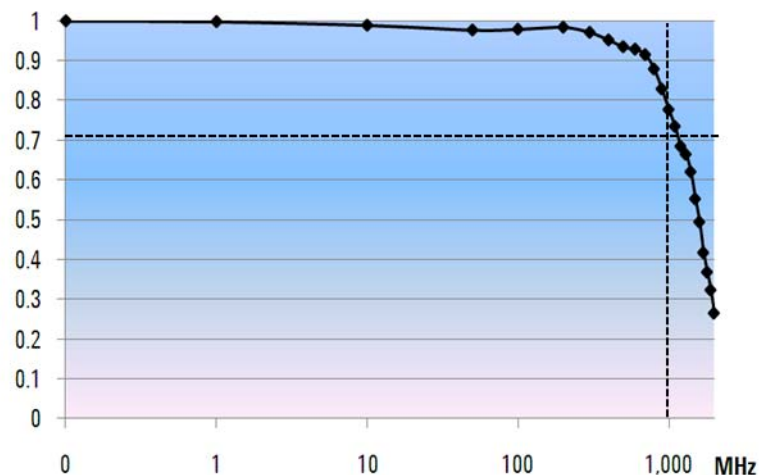


Figura 52 Respuesta de frecuencia real de un osciloscopio Agilent con un ancho de banda de 1 GHz

Ancho de banda requerido para aplicaciones digitales

La gran mayoría de los graduados de EE de hoy se centrarán en aplicaciones de diseño digital cuando entren en la industria electrónica. Y actualmente los enlaces de datos en serie y frecuencias de reloj digital en un rango de multi giga bits/seg son muy comunes.

Recomendación de uso común

Como recomendación de uso común, el ancho de banda de su osciloscopio debe ser por lo menos cinco veces superior a la frecuencia más rápida de reloj digital de su sistema bajo prueba. Si su osciloscopio cumple con este criterio, entonces será capaz de capturar hasta el quinto armónico con una atenuación mínima de la señal. Este componente de la señal es muy importante para determinar la forma general de las señales digitales.

$$f_{BW} \geq 5 \times f_{reloj}$$

Pero si usted necesita hacer mediciones precisas en los bordes de alta velocidad, esta sencilla fórmula no tiene en cuenta los componentes actuales de mayor frecuencia incorporados en los bordes de elevación y caída rápidos.

Paso 1: Determinar las velocidades reales de borde más rápidas

Un método más preciso para determinar el ancho de banda necesario del osciloscopio es determinar la frecuencia máxima presente en las señales digitales, que no es la frecuencia máxima del reloj. La frecuencia máxima se basará en las velocidades de borde más rápidas en sus diseños. Así que lo primero que tiene que hacer es determinar los tiempos de elevación y caída de sus señales más rápidas. Esta información por lo general se puede en las especificaciones publicadas para los dispositivos utilizados en sus diseños.

Paso 2: Calcular f_{corte}

A continuación, puede utilizar una fórmula sencilla para calcular el componente de frecuencia "práctica" máxima. Dr. Howard W. Johnson escribió un libro sobre este tema, "*Diseño digital de alta velocidad - Un manual de magia negra.*"¹ Él se refiere a este componente de frecuencia como la frecuencia "de corte" (f_{corte}). Todos los bordes rápidos tienen un espectro infinito de componentes de frecuencia. Sin embargo, hay una inflexión (o "corte") en el espectro de frecuencia de los bordes rápidos donde los componentes de frecuencia por encima de f_{corte} son insignificantes para determinar la forma de la señal.

$$f_{corte} = 0,5/RT \text{ (10\% 90\%)}$$

$$f_{corte} = 0,4/RT \text{ (20\% 80\%)}$$

Para señales con características de tiempo de elevación basadas en umbrales de 10% a 90%, f_{corte} es igual a 0,5 dividido por el tiempo de elevación de la señal. Para señales con características de tiempo de elevación basadas en umbrales de 20% a 80%, que es muy común en muchas de las especificaciones del dispositivo de hoy, f_{corte} es igual a 0,4 dividido por el tiempo de elevación de la señal. Ahora no hay que confundir estos tiempos de elevación con el tiempo de elevación especificado del osciloscopio. Estamos hablando de la velocidad real del borde de la señal.

Paso 3: Calcular el ancho de banda del osciloscopio

El tercer paso es determinar el ancho de banda del osciloscopio necesario para medir esta señal, según el grado deseado de exactitud al medir tiempos de elevación y caída. La [Tabla 2](#) muestra los factores de multiplicación para diversos grados de precisión para osciloscopios con una respuesta de frecuencia de Gauss.

Tabla 2 Factores de multiplicación para calcular el ancho de banda necesario del osciloscopio según la precisión deseada

Precisión necesaria	Ancho de banda necesario
20%	$f_{\text{BW}} = 1,0 \times f_{\text{corte}}$
10%	$f_{\text{BW}} = 1,3 \times f_{\text{corte}}$
3%	$f_{\text{BW}} = 1,9 \times f_{\text{corte}}$

Ejemplo

Ahora vamos a examinar este sencillo ejemplo:

Determine el ancho de banda necesario de un osciloscopio con una respuesta de frecuencia de Gauss aproximada para medir un tiempo de elevación de 1 ns (10-90%)

Si la señal tiene un tiempo aproximado de elevación o caída de 1 ns (basado en un criterio de 10% a 90%), entonces el componente de frecuencia máxima práctico (f_{corte}) en la señal sería aproximadamente de 500 MHz.

$$f_{\text{corte}} = 0,5 / 1 \text{ ns} = 500 \text{ MHz}$$

Si es capaz de tolerar errores de temporización de hasta un 20% al realizar mediciones de tiempo de elevación y caída paramétricas en sus señales, entonces podría usar un osciloscopio con un ancho de banda de 500 MHz para sus aplicaciones de medición digital. Pero si usted necesita una precisión de tiempo en el rango del 3%, entonces un osciloscopio con un ancho de banda de 1 GHz sería la mejor opción.

Precisión de tiempo en el rango del 20%:
Ancho de banda del osciloscopio = $1,0 \times 500 \text{ MHz} = 500 \text{ MHz}$

Precisión de tiempo en el rango del 3%:
Ancho de banda del osciloscopio = $1,9 \times 500 \text{ MHz} = 950 \text{ MHz}$

Ahora vamos a realizar algunas mediciones en una señal de reloj digital con características similares a este ejemplo, utilizando osciloscopios con diversos anchos de banda...

Comparaciones de las mediciones de reloj digital

La [Figura 53](#) muestra los resultados de la forma de onda al medir una señal de reloj digital de 100 MHz con velocidades de bordes rápidas utilizando un osciloscopio con un ancho de banda de 100 MHz. Como puede ver, este osciloscopio principalmente sólo pasa a través de los 100 MHz fundamentales de esta señal de reloj, y así representa nuestra señal de reloj como una onda sinusoidal aproximada. Un osciloscopio de 100 MHz puede ser una buena solución para muchos diseños de 8 bits basados en MCU con frecuencias de reloj en el rango de 10 MHz a 20 MHz, pero un ancho de banda de 100 MHz es claramente insuficiente para esta señal de reloj digital de 100 MHz.

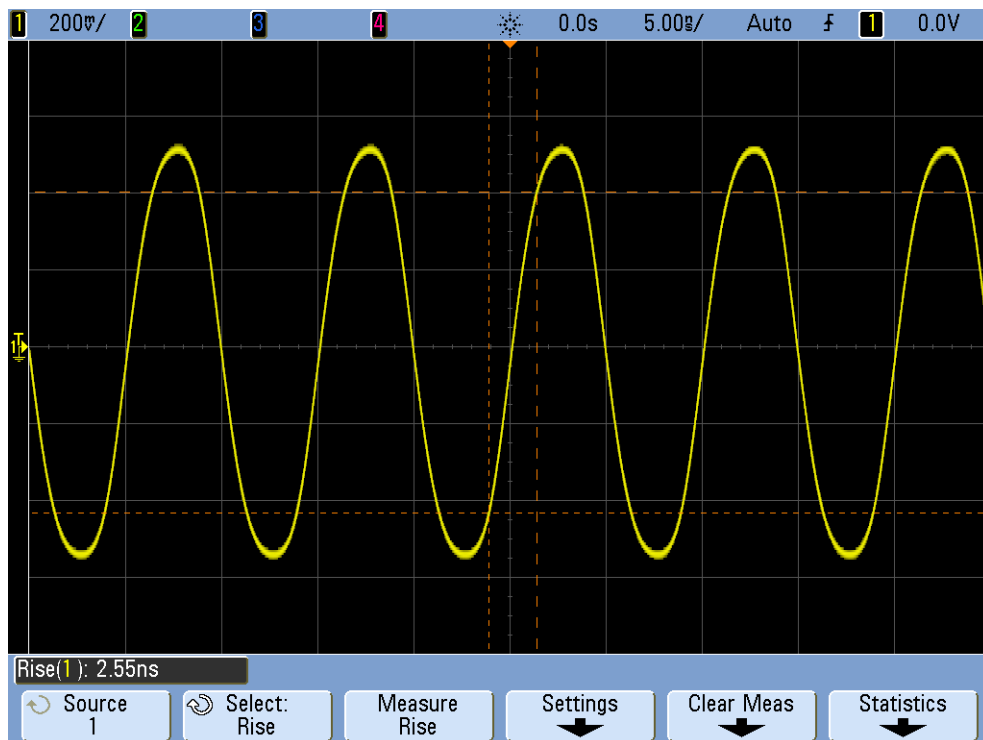


Figura 53 Señal de reloj digital de 100 MHz capturada en un osciloscopio con un ancho de banda del 100 MHz

Usando un osciloscopio con un ancho de banda de 500 MHz, la [Figura 54](#) muestra que este osciloscopio es capaz de capturar hasta el quinto armónico, que fue nuestra primera recomendación. Pero cuando medimos el tiempo de elevación, vemos que el osciloscopio mide aproximadamente 750 ps. En este caso, el osciloscopio no realiza una medición muy precisa en el tiempo de elevación de esta señal. El osciloscopio en realidad mide algo más cercano a su propio tiempo de elevación (700 ps), no el tiempo de elevación de la señal, que está más cerca de los 500 ps. Necesitamos un osciloscopio de mayor ancho de banda para esta aplicación de medición digital si las mediciones de tiempo son importantes.

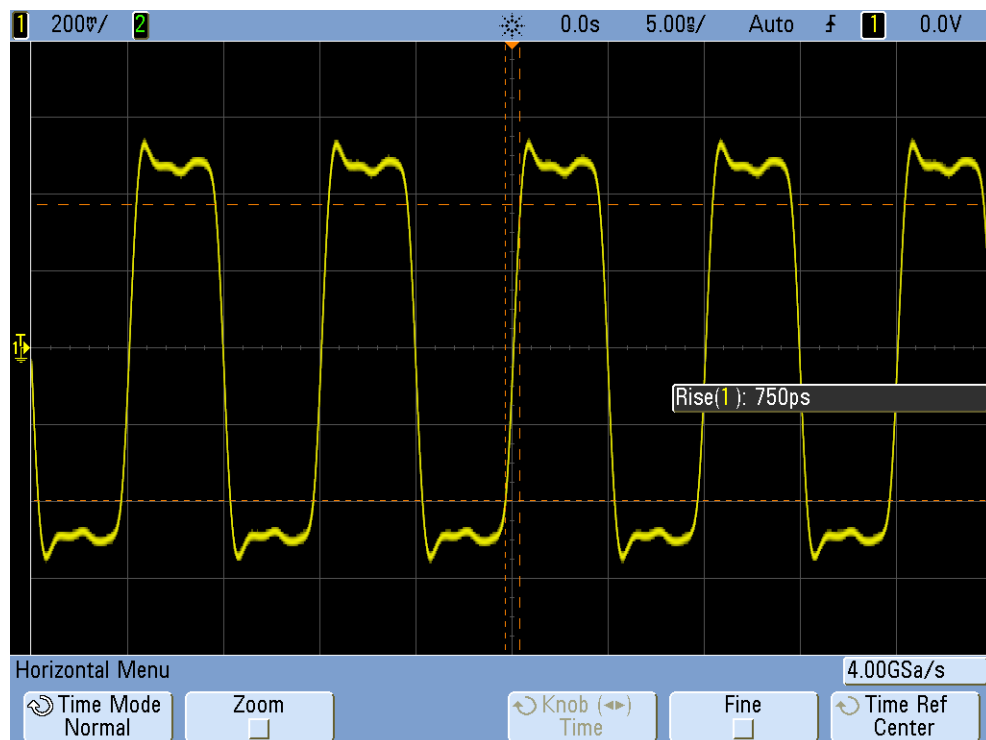


Figura 54 Señal de reloj digital de 100 MHz capturada en un osciloscopio con un ancho de banda del 500 MHz

Cuando se utiliza un osciloscopio con un ancho de banda de 1 GHz para capturar este reloj digital de 100 MHz, el resultado es que ahora tenemos una idea mucho más precisa de esta señal, como se muestra en la [Figura 55](#). Podemos medir tiempos de elevación y caída más rápidos, se observan menos sobredisparos, e incluso podemos observar sutiles reflejos que el osciloscopio con menor ancho de banda ocultaba.

B Tutorial del ancho de banda del osciloscopio

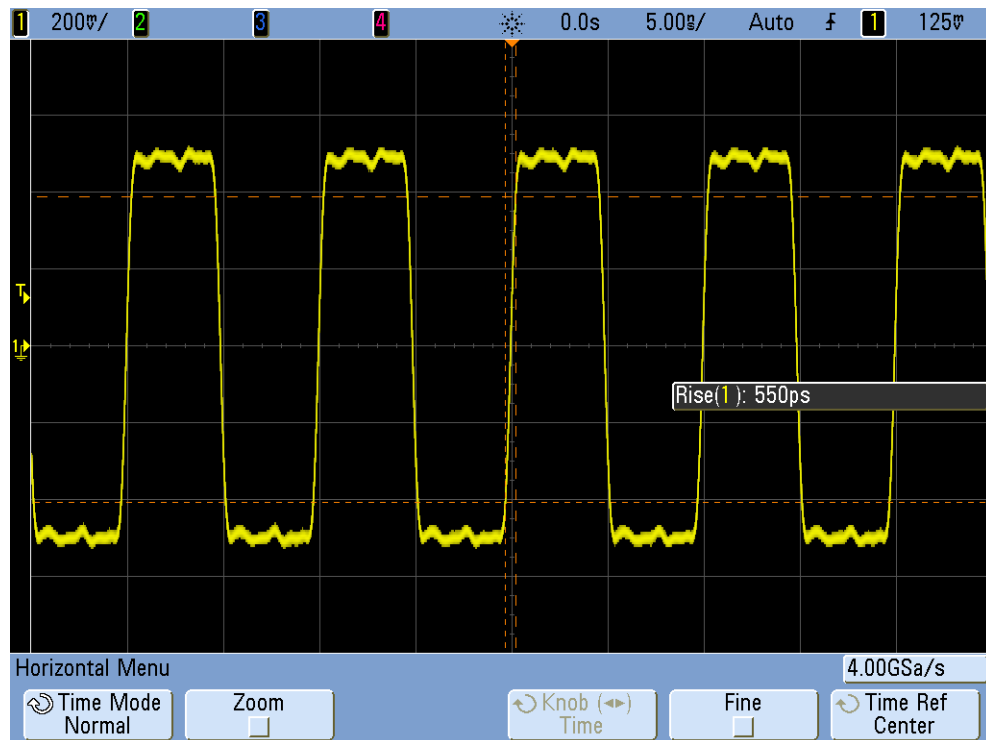


Figura 55 Señal de reloj digital de 100 MHz capturada en un osciloscopio con un ancho de banda del 1 GHz

Este tutorial del ancho de banda del osciloscopio se centró en osciloscopios que muestran que una respuesta de frecuencia de Gauss, que es típica de los osciloscopios que tienen especificaciones de ancho de banda de 1 GHz e inferior. Muchos osciloscopios de alto ancho de banda presentan una respuesta de frecuencia que tiene una característica de atenuación más nítida. Con este tipo de respuesta de frecuencia, las frecuencias dentro de la banda (frecuencias por debajo de la frecuencia -3 dB) se atenúan menos, mientras que las frecuencias fuera de la banda (frecuencias por encima de la frecuencia -3 dB) se suprimen en un grado más alto. Este tipo de respuesta de frecuencia, que comienza a aproximadamente un filtro ideal de “pared de ladrillos”, es algunas veces llamado una respuesta de frecuencia “binomial”. Las fórmulas para calcular el ancho de banda necesario del osciloscopio en estos osciloscopio con mayor ancho de banda (> 1 GHz) son diferentes a las presentadas en esta guía tutorial. Si desea obtener más información sobre el ancho de banda del osciloscopio, puede descargar la nota de la aplicación de Agilent que lleva el título, “*Evaluación de los anchos de banda del osciloscopio para su aplicación*”. Esta publicación aparece en la sección “Bibliografía relacionada” de este documento con instrucciones sobre cómo descargarla.

¹ Diseño digital de alta velocidad – Un manual de magia negra, Howard Johnson, Martin Graham, 1993, Prentice Hall PTD, Prentice-Hall, Inc, Upper Saddle River, New Jersey 07458

Índice

A

Adquisición de memoria segmentada, 78
ajuste, compensación de la sonda, 39
Archivo de datos de la forma de onda de referencia, 35
avisos, 2

B

base de tiempo del zoom, 65
bibliografía, relacionada con Agilent, 84

C

capacitancia de carga, 42
capacitancia de compensación, 40
capacitancia inherente/parásitas, 37
capacitancias parásitas, 37
carga de sondas, 41
compensación de la sonda, 38
compensación, sonda, 38
configuración, guardar, 32
conteo de división, 21
control/perilla del nivel de disparo, 12
Controles horizontales, 11
Controles verticales, 12
cursors, 19
Curva Lissajous, 68

D

desfase, 69, 71
disparo, 22
disparo automático, 24
disparo de fallo, 50
DSO, 7
DSOXEDK, 3

E

evento de un solo disparo, 54

F

factor de atenuación de sonda, 11
factor de atenuación, sonda, 11
forma de onda de dominio de frecuencia, 73
forma de onda de dominio de tiempo, 73
forma de onda, guardar, 32
frecuencia, 19

frecuencia fundamental, 74
función matemática FFT, 73

G

generadores de funciones, 43
guardar configuración, 32
guardar forma de onda, 32
guardar imagen, 32

H

histéresis del disparo, 30

I

imagen, guardar, 32
incremento automático, 33
introducción, 3

K

Kit de capacitación del educador (DSOXEDK), 3

M

marcas registradas, 2
matemática de formas de onda, 71
máximo de una forma de onda, 60
Medición "Snapshot-All", 62
Medición del tiempo de caída, 60
Medición del tiempo de elevación, 60
medición paramétrica automática, 57
medición paramétrica, automática, 57
medición, paramétrica automática, 57
mediciones admitidas, 63
mediciones de parámetros de pulsos digitales, 60
mediciones de retrasos de fases, 67
memoria de adquisición, 75
modelo eléctrico de una sonda pasiva de 10 1, 10
Modo Auto Trigger, 25
Modo de adquisición Averaging, 30
Modo de adquisición Segmented Memory, 81
Modo de disparo Amplitud de pulso, 50
Modo de disparo Normal para un solo disparo, 54
Modo de la base de tiempo Delayed Sweep, 65
Modo Normal Trigger, 25
Modo Peak Detect, 76

MSO, 7

N

nivel de intensidad de la forma de onda, 13
nivel de voltaje pico a pico, 19
niveles de umbral de medición, 61
niveles de umbral del voltaje, 60
niveles de umbral para mediciones, 60
Nota al Profesor de EE/Física, 4

O

operaciones matemáticas en formas de onda, 71
osciloscopio, 7
osciloscopio de almacenamiento digital, 7
osciloscopio de señal mixta, 7
osciloscopios analógicos, 7

P

Perilla de control Entry, 13
período, 18
persistencia infinita, 51
persistencia, infinita, 51
punto de tiempo de disparo, 23

R

ráfaga, 46
rango dinámico, 10
rechazo de baja frecuencia, 29
rechazo de ruido, 30
retraso de disparo, 46
retraso, disparo, 46
retraso/posición, 23

S

sensibilidad del disparo, 30
sonda activa diferencial, 9
sondas pasivas de voltaje de 10 1, 9
sondeo del osciloscopio, 9
sondeo, osciloscopio, 9

T

teclas programables, 13
Teorema de muestreo de Nyquist, 77

Índice

V

valor superior de una forma de onda, [60](#)