

Osciloscopio de almacenamiento digital

Carlos A. Zerbini

Cátedra Medidas Electrónicas 2

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Córdoba

Año lectivo 2018

1. Señales

Propiedades de las señales

- Amplitud
 - Magnitud del máximo desplazamiento de una perturbación
 - Valor RMS \longrightarrow elevar la señal al cuadrado, encontrar el promedio en un ciclo y tomar la raíz 2
- Fase
 - Corrimiento horizontal entre dos ondas IDENTICAS o de una onda respecto a una REFERENCIA [rad, °]
- Periodo
 - Tiempo que le toma a la onda REPETIRSE A SÍ MISMA
- Frecuencia
 - # de veces que la onda periodica se repite a sí misma. Inversa del periodo. En 1 s: [Herz]

1. Señales

Formas de onda

- **Senoidal:** $y = \sin(w.t) = \sin(2.\pi.f.t)$. Pueden representar cualquier señal según Fourier
- **Cuadrada / Rectangular:** dos niveles con IGUAL O DISTINTA DURACIÓN
- **Triangular/diente de sierra (sawtooth):** dos rampas / una rampa + un flanco abrupto
- **Escalón/Pulso:** un disturbio ÚNICO en una tensión CONSTANTE (glitches, errores)
- **Tren de pulsos:** serie periódica de pulsos
- **“Complejas”:** COMBINACIÓN de las anteriores. NO NECESARIAMENTE periódica
- **Diagramas de ojo:** resultantes de superponer múltiples ciclos de una señal periódica
- **Diagramas de constelación:** señales con componentes en cuadratura

Tipos de señales

- **Analógicas:** toman CUALQUIER VALOR dentro de un cierto rango
- **Digitales:** DISCRETAS (tiempo) y CUANTIZADAS (AMPLITUD)

2. Propósito del osciloscopio

El osciloscopio muestra una variable en función de otra

- Tensión vs. tiempo (lo más común)
- Tensión vs. tensión (Lissajous)
- Múltiples entradas: múltiples variables en función de otra



INTEGRIDAD de la señal obtenida

- Habilidad del osciloscopio para RECONSTRUIR la forma de onda de modo que sea una REPRESENTACION PRECISA DE LA SEÑAL ORIGINAL
- NUNCA es una representación exacta, ya que al conectar el osciloscopio éste se vuelve PARTE DEL CIRCUITO (efectos de carga)

2. Propósito del osciloscopio

TIPOS de osciloscopios

a) Analógico

- **Procesa la señal de entrada mediante etapas analógicas.**
- **Requiere señal de TRIGGER para tener visualización estable**
- Visualiza mediante tubo de rayos catódicos (o podría hacerlo mediante pantalla digital)

Ventajas

- **La intensidad del punto depende de la intensidad de señal**, lo que lo hace tri-dimensional (x, y, z)
- Mediante **persistencia**, se identifican **naturalmente** glitches o irregularidades debido a su **menor brillo**

Desventajas

- No se puede congelar la señal por mucho tiempo (la “memoria” es la persistencia)
- No puede hacer mediciones automáticas sobre la señal
- Dificultad para capturar **eventos de disparo único**
- Limitado por la **máxima velocidad de barrido**

2. Propósito del osciloscopio

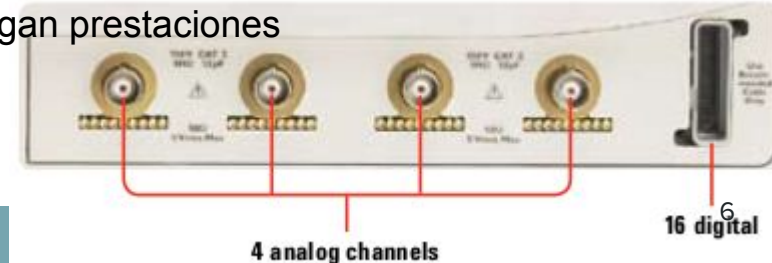
TIPOS de osciloscopios

b) De almacenamiento digital (Digital-Storage Oscilloscope, DSO)

- **Digitaliza y almacena la señal de entrada**
- La visualización puede ser mediante CRT (previa conversión D/A) o mediante pantallas digitales (puntos en memoria)
- **Hoy pueden emular el efecto tri-dimensional que no posee naturalmente**

c) De señal mixta (Mixed-Signal Oscilloscope, MSO)

- Disparan y visualizan independientemente señales **analógicas y digitales**. Por ejemplo, 4 canales analógicos + 16 canales digitales
- Pueden **disparar con combinación de valores analógicos y digitales**, y mostrar ambas señales sobre una misma base de tiempos
- Muy difundidos, mantienen las propiedades del DSO y agregan prestaciones



2. Propósito del osciloscopio

TIPOS de osciloscopios

d) Según aplicación:

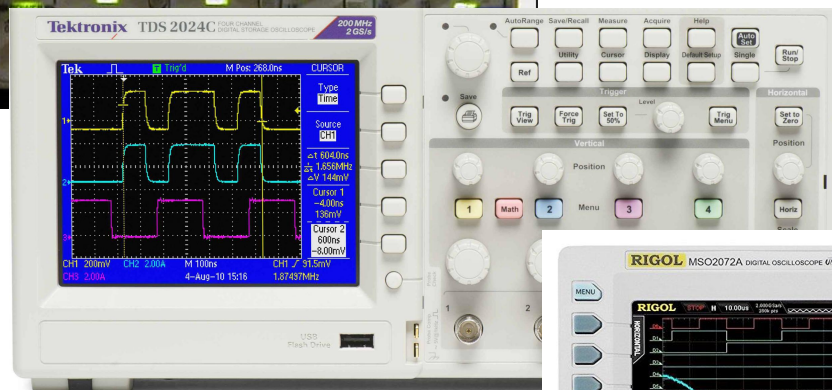
- **Economy:** bajo costo. Muy utilizados en pequeños laboratorios o como equipo de uso ocasional.
- **Portables:** chicos, robustos, costo moderado, sencillo de usar. Performance algo inferior y opciones básicas
- **De alto desempeño:** ofrecen las mejores prestaciones posibles según su campo de aplicación: gran ancho de banda, alta tasa de muestreo y actualización, gran profundidad de memoria, gran variedad de mediciones automatizadas, interfaz de usuario basada en SO Windows

e) Con prestaciones especiales, según fabricante

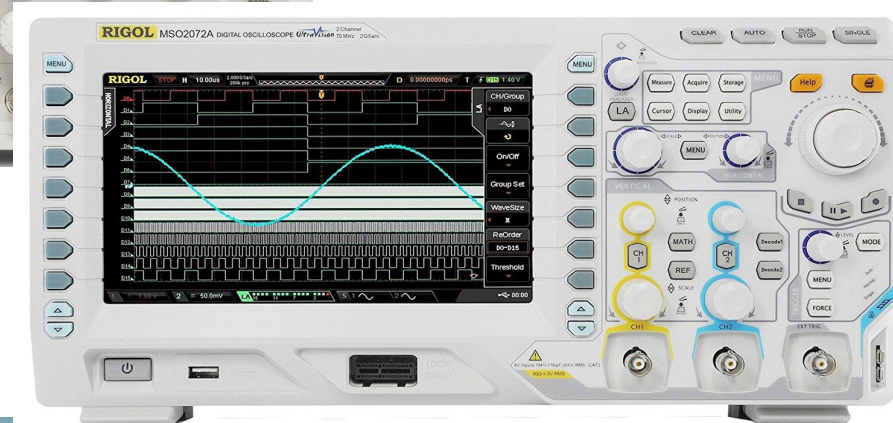
- **Digital Phosphor Oscilloscope (DPO, Tek)**
- **Digital Sampling Oscilloscope (Tek)**



DSO

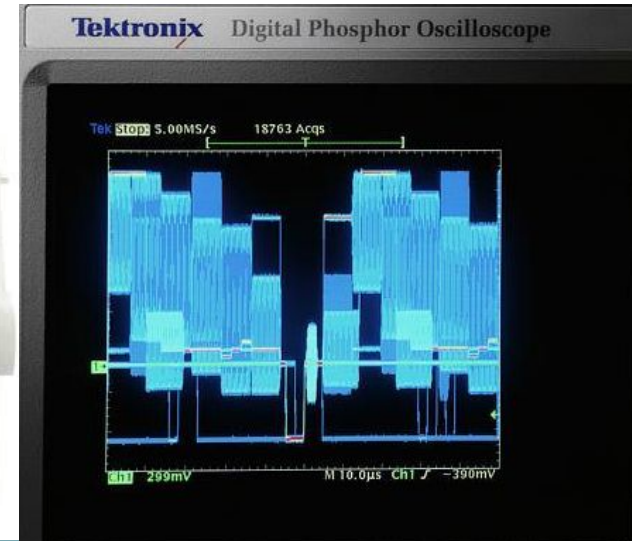
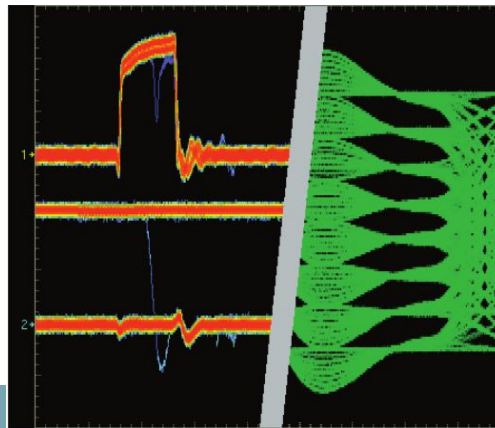
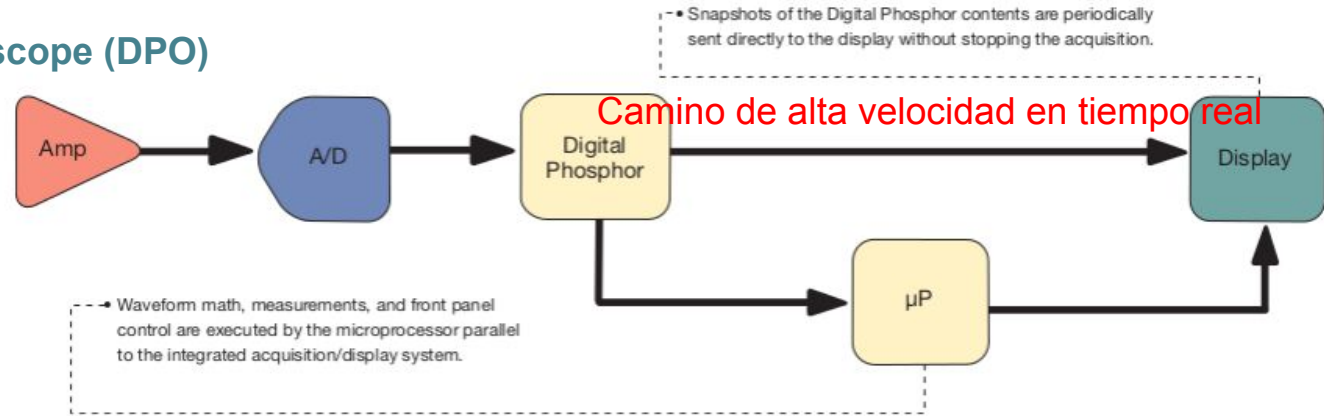


All-digital Oscilloscope



MSO

Digital Phosphor Oscilloscope (DPO)



Digital Sampling Oscilloscope

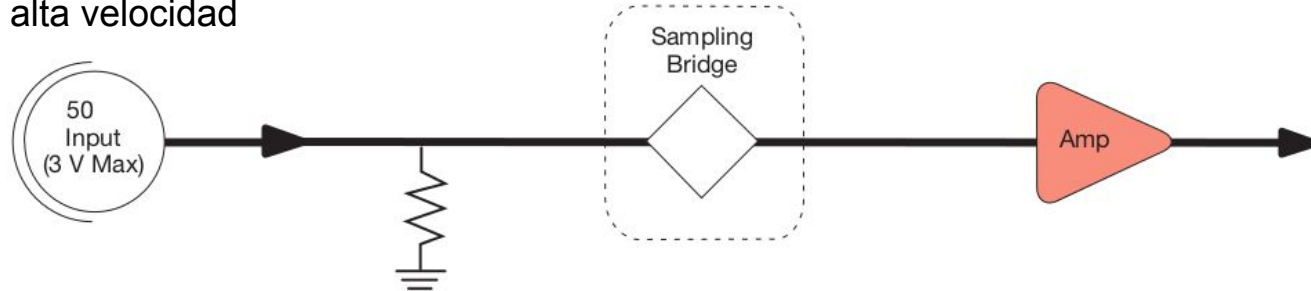
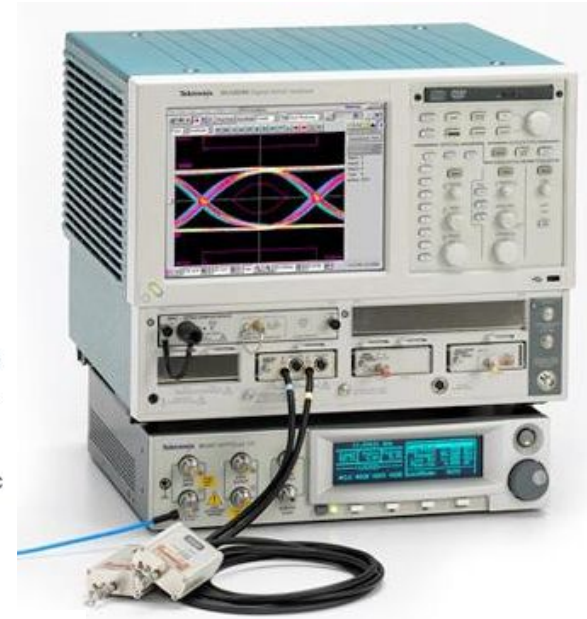
Utiliza el concepto de **punta muestreadora**. El amplificador, al estar luego del muestreador, puede ser de menor ancho de banda

Como contraparte, tiene limitado rango dinámico al no tener muchas posibilidades de ajuste de señal en la entrada

Se usan en mediciones de muy alta velocidad

DSA8300 Digital Sampling Oscilloscope

With intrinsic jitter of less than 100 femtoseconds for extremely accurate device characterization, the DSA8300 Series provides comprehensive support for [Optical Communications](#) Standards, Time Domain Reflectometry and S-parameters. The DSA8300 Digital Sampling Oscilloscope is a complete high-speed PHY Layer testing platform for data communications from 155 Mb/sec to 400G PAM4.



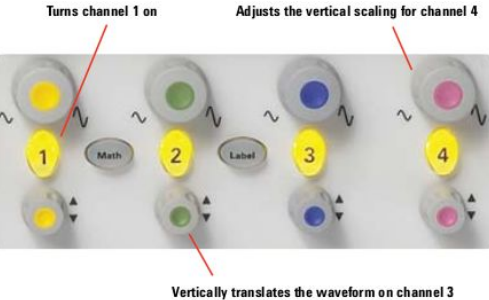
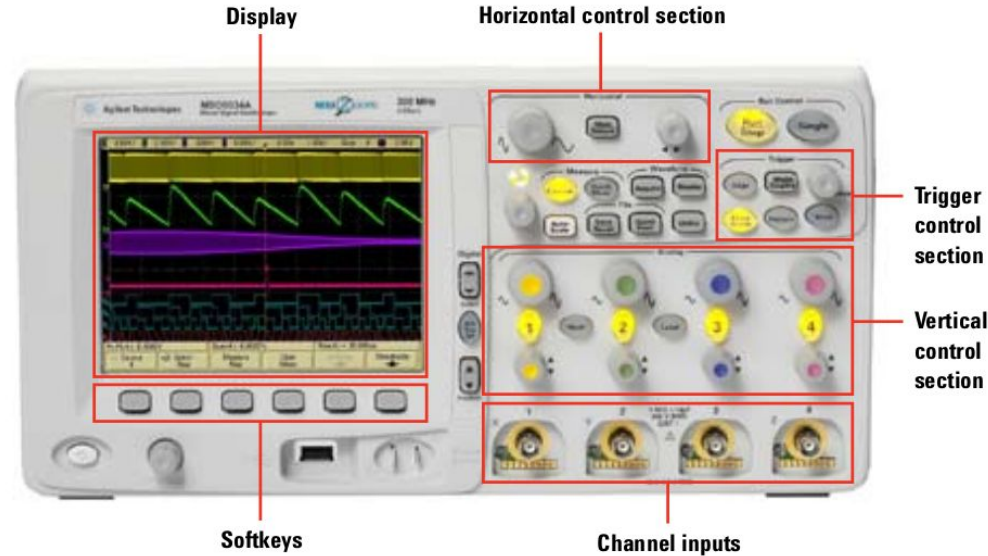
3. Sistemas y controles del OAD

Controles

- **De entrada:** asociados a la ADQUISICIÓN de la señal, 1/2/4 entradas analógicas
- **Vertical:** atenuación/amplificación, offset
- **Horizontal:** base de tiempo (NO modo XY!)
- **Disparo (Trigger):** repetitivo / single
- **Display:** relativos a presentación
- **Entradas:** acoplamiento DC/AC/GND, canal ON/OFF, Zin, tipo de muestreo (real/equivalente)
- **Soft-keys:** navegación por menús, múltiple propósito

a) De entrada

- **Terminación:** $50\ \Omega$ / $1\text{m}\Omega$
- **Acoplamiento:** interfaz circuito/instrumento. DC (señal completa), AC (centrada en 0V, cuando cuando la relación AC/DC es muy pequeña), GND (ajuste, **con auto-trigger**)
- **Límite AB:** reduce RUIDO, mostrando señal más limpia. **PUEDE ELIMINAR COMPONENTES!**
- **Mejora de AB:** ecualización mediante DSP. Aumenta AB, aplanar respuesta en frec., mejora linealidad de fase, y apareamiento de canales. **Empeora tr y respuesta al escalón**



3. Sistemas y controles del OAD

b) Control vertical

- **Amplificación y offset verticales:** V/div, y unidades de offset referidas a la escala anterior

c) Controles horizontales

- Base de tiempo y posición, modo XY, tasa de muestreo, resolución, posición del trigger, zoom
- **Adquisición:** “cómo se producen los puntos del display a partir de los puntos muestreados”
Puntos de muestra: directos del ADC, cada T_s tiempo (periodo o intervalo de muestra)
Puntos de onda: almacenados en a la memoria de pantalla, cada *periodo o intervalo de onda*

El periodo de muestra puede ó no ser igual al periodo de onda ➡ MODOS DE ADQUISICION

- **Longitud (o profundidad) del registro de tiempo**

Modos de Adquisición en el OAD

- **Sample mode:** el más simple, guarda un punto de muestra por cada intervalo de onda
- **Peak-detect mode:** guarda los puntos de muestra MIN y MAX en dos periodos de onda, y los muestra en pantalla. El ADC muestrea SIEMPRE a velocidad máxima, aunque la base de tiempo sea lenta. Útil para capturar GLITCHES/cambios rápidos, pulsos cortos muy espaciados
- **Hi-res mode:** se PROMEDIAN todas las muestras tomadas en un intervalo de onda para producir un punto de onda. Disminuye ruido y mejora resolución en señales lentas, y se puede utilizar aún en eventos de disparo único
- **Modo de envolvente:** similar a peak-detect, pero combina los max/min de múltiples barridos
- **Modo promedio:** se obtiene el promedio de múltiples barridos en sample mode. Así, se reduce el ruido sin perder ancho de banda
- **Modo waveform database:** el OAD acumula una base de datos en 3D con amplitud, tiempo y cuentas (DPO)

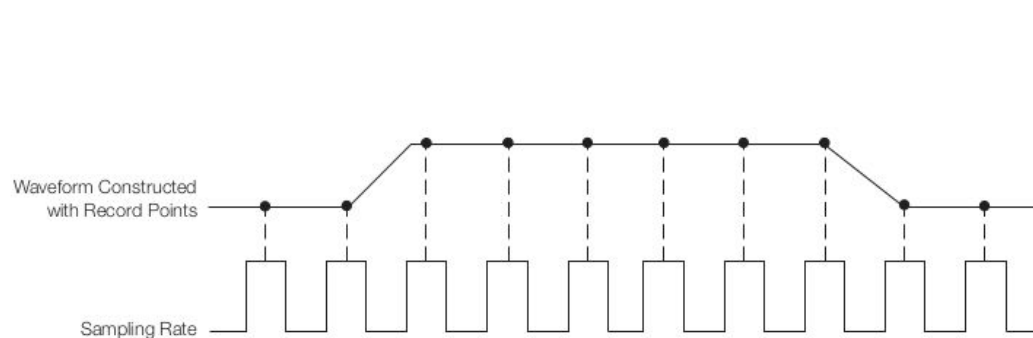
Modos de adquisición - Tipos de muestreo en el OAD

Inicio/fin de adquisición

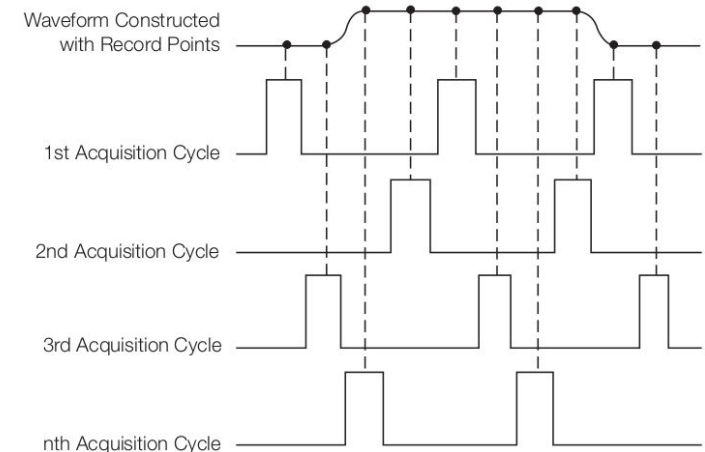
A fin de acumular formas de onda para luego obtener envolvente/promedio, etc, podemos:

- Iniciar/finalizar la adquisición manualmente
- Programar el fin luego de un # de barridos

Muestreos en tiempo real (coherente) y en tiempo equivalente (no coherente)



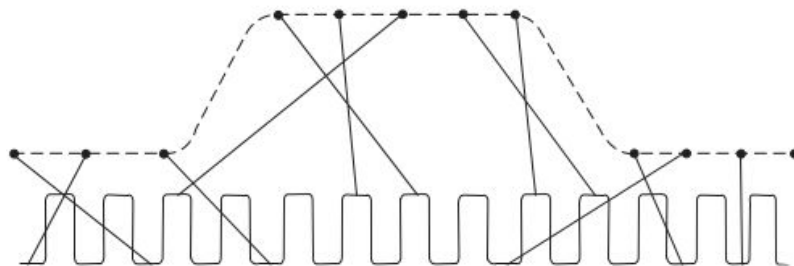
Muestreo en tiempo real



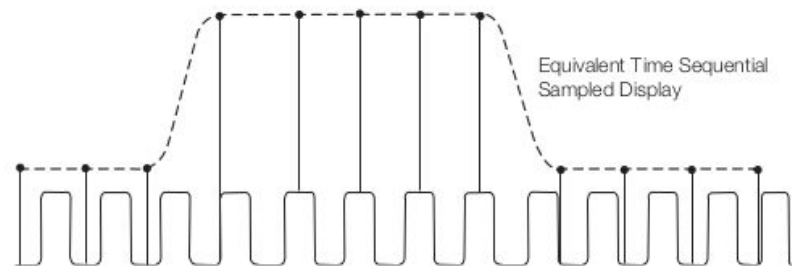
Muestreo en tiempo equivalente

Tipos de muestreo en el OAD

Muestreos en tiempo real (coherente) y en tiempo equivalente (no coherente)



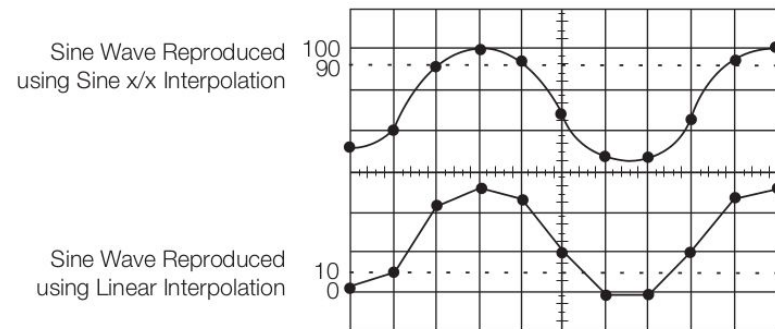
Muestreo equivalente aleatorio



Muestreo equivalente secuencial

Tipos de INTERPOLACION entre puntos

- **$\sin(x)/x$:** para señales de variación continua, tales como las sinusoidales
- **Lineal:** señales con flancos abruptos, tales como las cuadradas/rectangulares/pulsos



Tipos de Muestreo en el OAD

Muestreo en tiempo real

- Es el único modo de capturar señales muy rápidas, de disparo único, o transitorias con un OAD
- Las especificaciones fundamentales son *sample rate* (para evitar alias), y el tamaño de la memoria de datos (*record length*)

Muestreo en tiempo equivalente

- **Construye** una imagen de una señal repetitiva capturando **una parte de información en cada repetición**
- Existen dos tipos: *aleatorio* y *secuencial*.

Muestreo equivalente aleatorio

- Utiliza un clock interno, asíncrono a la señal y el trigger. Si bien las muestras son secuenciales en el tiempo, son **aleatorias respecto al trigger**, por lo que se deben ordenar previamente
- **Su principal ventaja es poder mostrar la señal antes del punto de trigger**
- Se puede lograr más BW que en el secuencial, pero se puede dar el caso de que capture menos de una vez por trigger

Muestreo equivalente secuencial

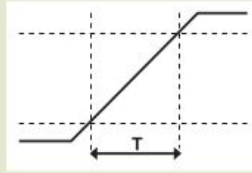
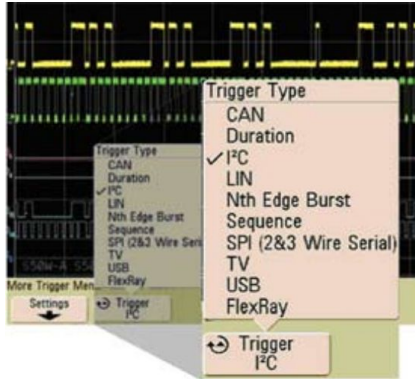
- **Adquiere siempre una muestra por disparo**, luego de un retardo Δt que se va incrementando hasta cumplir un periodo completo de la señal.
- **Su principal ventaja es poder medir tiempos muy precisos**

Sistema y controles de disparo (trigger)

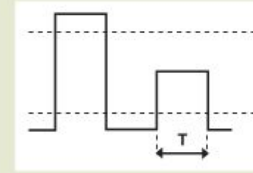
El disparo permite observar estáticamente señales repetitivas, o capturar eventos únicos

- **Disparo por flanco:** el más común en osciloscopios analógicos y digitales
- **Calificado por amplitud (nivel)**
- **Calificado por tiempo:** ancho de pulso, glitches, slew rate, setup+hold, time-out
 - **“Glitch triggering”:** eventos o pulsos **mayores o menores que cierto tiempo**
- **Según un patrón lógico** (en MSOs)
- **Pattern lock trigger:** detecta ciertas secuencias seriales de estados
- **Serial pattern trigger:** provee recuperación de clock, identifica transiciones, y busca un patrón serial
- **A&B trigger:** permite combinar dos eventos de trigger A y B, y la condición de *reset* (tiempo, estado, transición)
- **Search&scan:** permite buscar *múltiples eventos*, por ej. buscar violaciones de tiempo de hold en múltiples canales
- **Trigger correction:** permite compensar retardos entre los caminos de trigger y de datos, eliminando el jitter de disparo en la pantalla

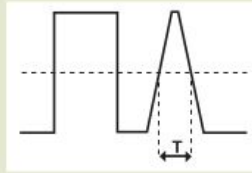
Sistema y controles de disparo (trigger)



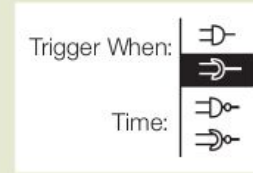
Slew Rate Triggering. High frequency signals with slew rates faster than expected or needed can radiate troublesome energy. Slew rate triggering surpasses conventional edge triggering by adding the element of time and allowing you to selectively trigger on fast or slow edges.



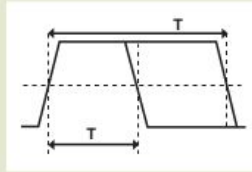
Runt Pulse Triggering. Runt triggering allows you to capture and examine pulses that cross one logic threshold, but not both.



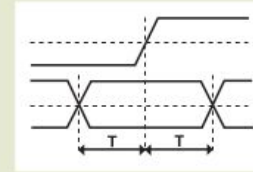
Glitch Triggering. Glitch triggering allows you to trigger on digital pulses when they are shorter or longer than a user-defined time limit. This trigger control enables you to examine the causes of even rare glitches and their effects on other signals.



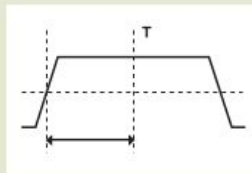
Logic Triggering. Logic triggering allows you to trigger on any logical combination of available input channels – especially useful in verifying the operation of digital logic.



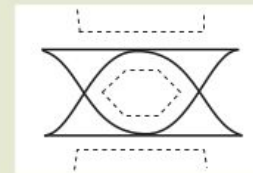
Pulse Width Triggering. Using pulse width triggering, you can monitor a signal indefinitely and trigger on the first occurrence of a pulse whose duration (pulse width) is outside the allowable limits.



Setup-and-Hold Triggering. Only setup-and-hold triggering lets you deterministically trap a single violation of setup-and-hold time that would almost certainly be missed by using other trigger modes. This trigger mode makes it easy to capture specific signal quality and timing details when a synchronous data signal fails to meet setup-and-hold specifications.



Time-out Triggering. Time-out triggering lets you trigger on an event without waiting for the trigger pulse to end, by triggering based on a specified time lapse.



Communication Triggering. Optionally available on certain oscilloscope models, these trigger modes address the need to acquire a wide variety of Alternate-Mark Inversion (AMI), Code-Mark Inversion (CMI), and Non-Return to Zero (NRZ) communication signals.

Sistema y controles de disparo (trigger)

Posición del disparo

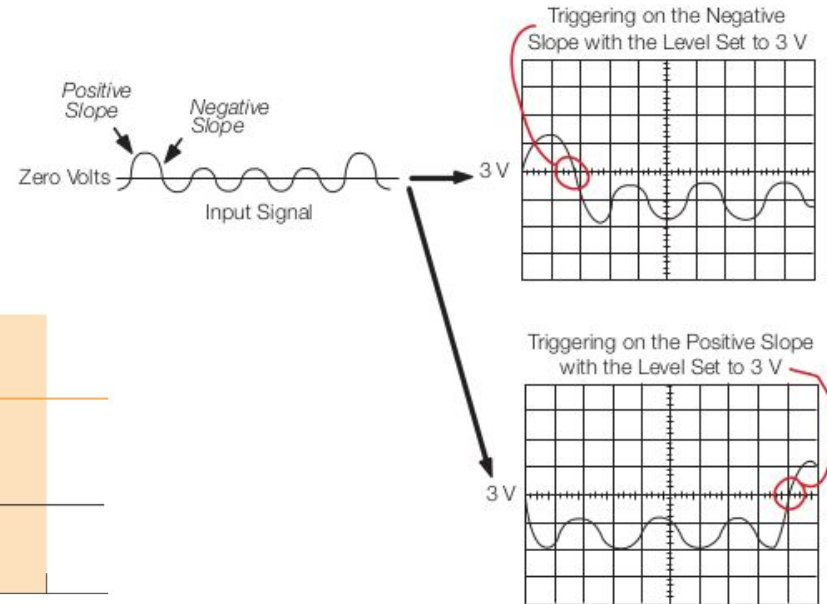
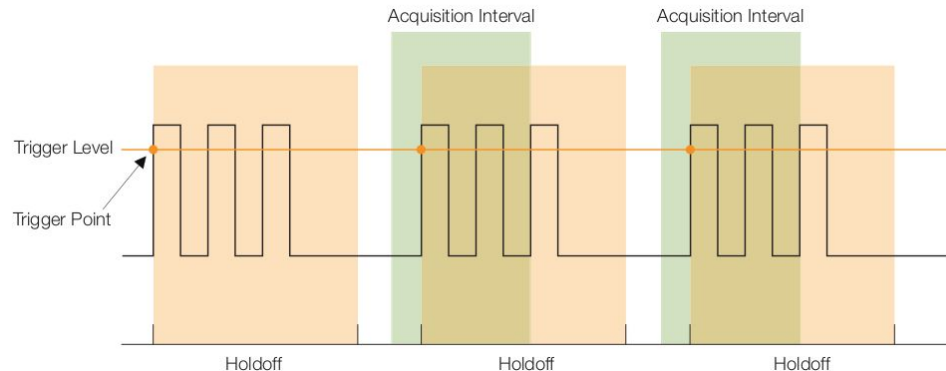
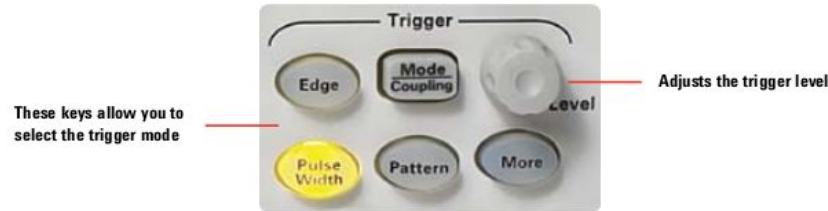
- **Sólo disponible en DSOs (en forma directa).** Suele estar en el menú horizontal. Permite realizar *pre-trigger* y *post-trigger*, pro ej, para encontrar la *causa* de un evento
- Los OAD pueden hacer *pre-trigger* ya que la señal de entrada se adquiere constantemente, ya sea que se haya recibido un trigger o no. El osciloscopio recibe así una corriente continua de datos, mientras que el trigger simplemente le dice al OAD si muestra está información o no y cómo lo hace. Los osciloscopios analógicos, en tanto, sólo adquieren la señal si se encuentra un trigger, pro lo que sólo se puede hacer *pre-trigger* en forma limitada mediante *líneas de retardo*

Nivel, pendiente, fuente, modo, acoplamiento

- *Nivel y pendiente* son los ajustes básicos que definen el punto específico de trigger. La señal de trigger puede ser la misma señal mostrada u otras fuentes
 - Otro canal de entrada
 - Otra fuente externa
 - La señal de línea de CA
 - Una señal definida internamente en base a uno o más canales
- Los *modos* comunes son **normal y auto**
 - **Normal:** sólo se barre si se detecta el trigger. Caso contrario, en el OA nose muestra nada y en el OAD se congela la última imagen. **Puede ser algo confuso de interpretar**
 - **Auto:** el OAD barre aún sin trigger. **Requiere menor ajuste y es más intuitivo**

Sistema y controles de disparo (trigger)

- **Acoplamiento:** AC/DC (al igual que el sistema vertical). HF REJ, LF REJ, NOISE REJ
- **Trigger Holdoff:** permite posicionarse en distintas zonas de una señal compleja, **ajustando un periodo de tiempo luego de un trigger durante el cual no se detectan nuevos triggers**



Especificaciones del OAD

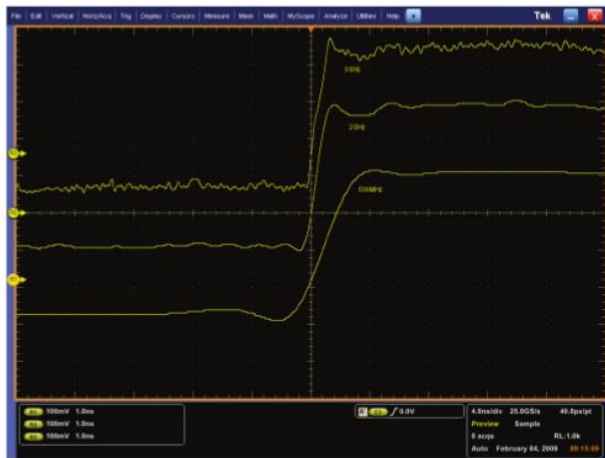
Ancho de banda BW: determina la capacidad del OAD para mostrar la señal en forma precisa con la frecuencia. **Se determina cómo la frecuencia a la cual una señal senoidal de entrada se muestra atenuada al 70.7% o -3 dB.** Los efectos concretos son: **distorsión de amplitud, mala calidad de flancos, pérdida de los cambios rápidos y detalles. La regla es: $BW_{OAD} = 5 \times f_{MAX\text{ señal}}$** Esto se puede mejorar en algunos casos mediante DSP que aplanan la respuesta en amplitud, mejora la linealidad de fase, y apareja mejor los canales.

Tiempo de subida tr : especialmente importante para señales digitales. Se relaciona con el BW como $BW = K / tr$ ($0,35 < K < 0,45$. $K=0,35$ para $BW < 1\text{GHz}$, $K=0,45$ para $BW > 1\text{GHz}$)

Tasa de muestreo (Sample Rate) f_s : la máxima tasa determina la mejor resolución horizontal de la señal y se pueden detectar eventos cortos. La mínima tasa puede limitar la mínima frecuencia de señal observada. Típicamente, la tasa varía automáticamente al cambiar la base de tiempo para obtener un # de puntos cte en la pantalla.

Según Nyquist, para señales continuas y memoria infinita, $f_s \geq 2.f_{max}$. En la práctica, esto se ve afectado por el método de interpolación:

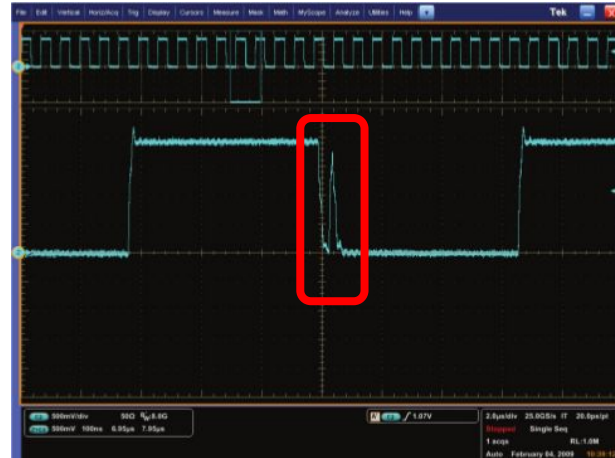
- Interpolación $\sin(x)/x$: $f_s \geq 2,4 f_{max}$
- Interpolación lineal: $f_s \geq 10 f_{max}$



Efectos del BW



Efectos del rise time

Efectos de f_s

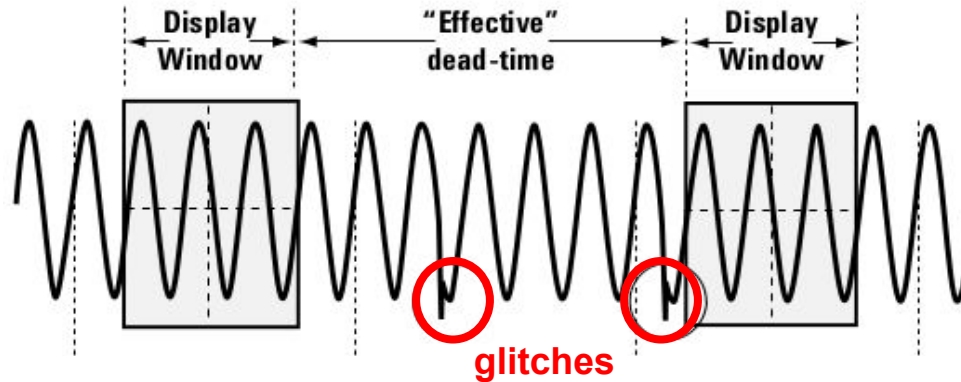
t_r y anchos de banda típicos de familias lógicas

Logic Family	Typical Signal Rise Time	Calculated Signal Bandwidth
TTL	2 ns	175 MHz
CMOS	1.5 ns	230 MHz
GTL	1 ns	350 MHz
LVDS	400 ps	875 MHz
ECL	100 ps	3.5 GHz
GaAs	40 ps	8.75 GHz

Especificaciones del OAD

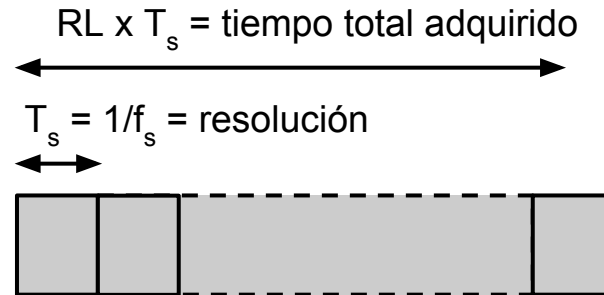
Waveform capture rate o update rate: indica la tasa de actualización de la “forma de onda” (display). Va entre 10-5000 wfms/s para DSOs (mejor aún con modo “memoria profunda”) a millones de wfms/s en DPOs.

En realidad, existe un tiempo muerto entre adquisiciones de formas de onda, durante el cual no se muestra la forma de onda, **que se reduce al aumentar el update rate.**



Especificaciones del OAD

Profundidad de memoria (memory depth, record length): representa el #puntos que se puede disponer de cada canal en una captura. **Para $RL=cte$, la duración en tiempo de la forma de onda es inversamente proporcional a la tasa de muestreo.** En muchos OADs es un parámetro ajustable.



Otras especificaciones: opciones de trigger, #bits efectivos (#bits ADC - efectos de ruido y distorsión), respuesta en frecuencia (fidelidad al pulso con mínimo sobreimpulso y oscilación), sensibilidad vertical ($\sim 1\text{mV/div}$, depende del amplif.), velocidad de barrido (sec/div), exactitud % de ganancia, exactitud % horizontal, resolución vertical (ADC), timing resolution (MSO), opciones de conectividad (GPIB, RS-232, USB, Ethernet), SO y post-procesamiento/documentación

Bibliografía

Oscilloscope Fundamentals, Agilent Application Note 1606, 2008

XYZs of Oscilloscopes, Tektronix Primer, 2016