

Osciloscopio de almacenamiento digital

Carlos A. Zerbini

Cátedra Medidas Electrónicas 2

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Córdoba

Año lectivo 2019

Agenda

- 1) Fundamentos de señales
- 2) Propósitos del osciloscopio y tipos de osciloscopios
- 3) Osciloscopio de almacenamiento digital (OAD)
 - a) Diagrama en bloques
 - b) Adquisición y almacenamiento de datos
 - c) Sincronismo y base de tiempos
- 4) Sistemas y controles del OAD
 - a) Modos de adquisición y tipos de muestreo
 - b) Disparos (trigger) clásicos y avanzados
- 5) Especificaciones del OAD

1. Señales

Propiedades de las señales

- Amplitud
 - Valor pico → magnitud del máximo desplazamiento de una perturbación
 - Valor RMS → 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)

Agenda

- 1) Fundamentos de señales
- 2) Propósitos del osciloscopio y tipos de osciloscopios
- 3) Osciloscopio de almacenamiento digital (OAD)
 - a) Diagrama en bloques
 - b) Adquisición y almacenamiento de datos
 - c) Sincronismo y base de tiempos
- 4) Sistemas y controles del OAD
 - a) Modos de adquisición y tipos de muestreo
 - b) Disparos (trigger) clásicos y avanzados
- 5) Especificaciones del OAD

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 naturalmente de su repetibilidad en múltiples barridos,** brindando un efecto tri-dimensional
- Mediante **persistencia**, se identifican fácilmente 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

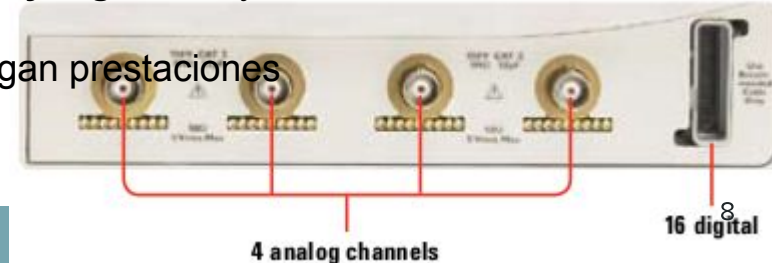
TIPOS de osciloscopios

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

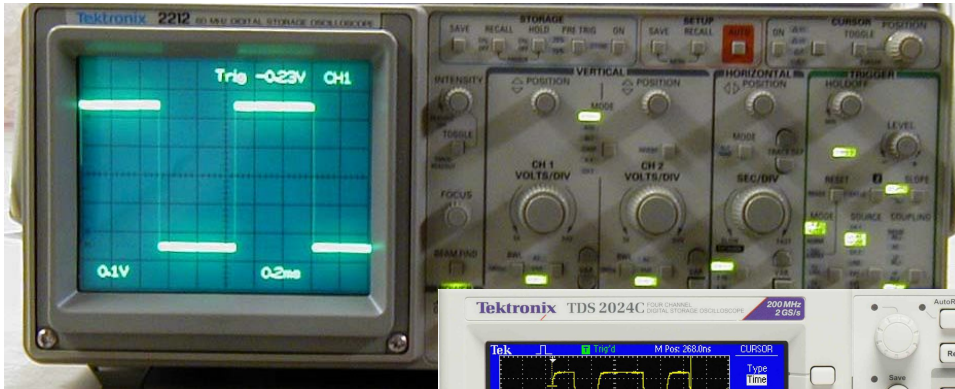
TIPOS de osciloscopios

d) Según aplicación:

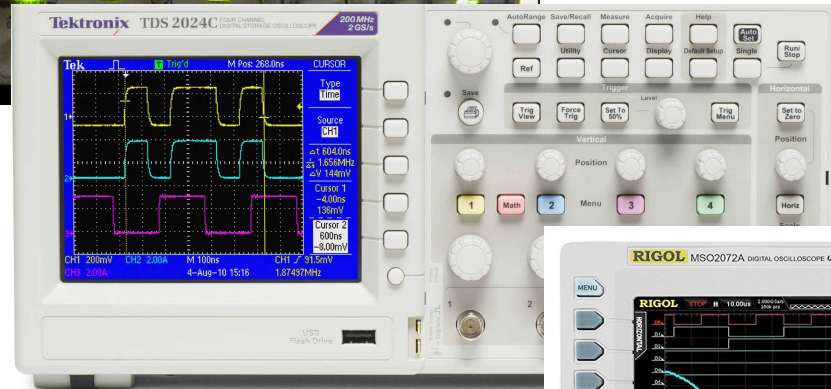
- **Economy:** bajo costo. Muy utilizados en pequeños laboratorios o como equipo de uso ocasional.
- **Portables:** chicos, robustos, costo moderado, sencillo de usar. Performance promedio y opciones básicas
- **De alto desempeño:** ofrecen las mejores prestaciones posibles según su campo de aplicación: 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:

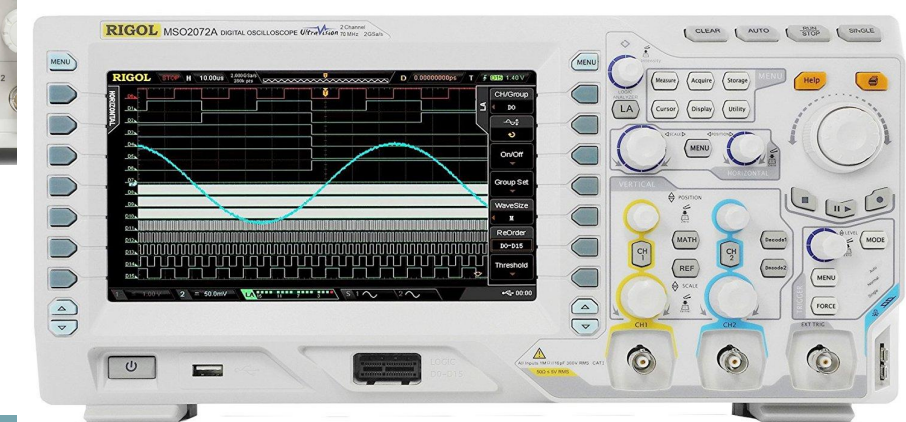
- **Digital Phosphor Oscilloscope (DPO, Tek)**
- **Digital Sampling Oscilloscope (Tek)**



DSO

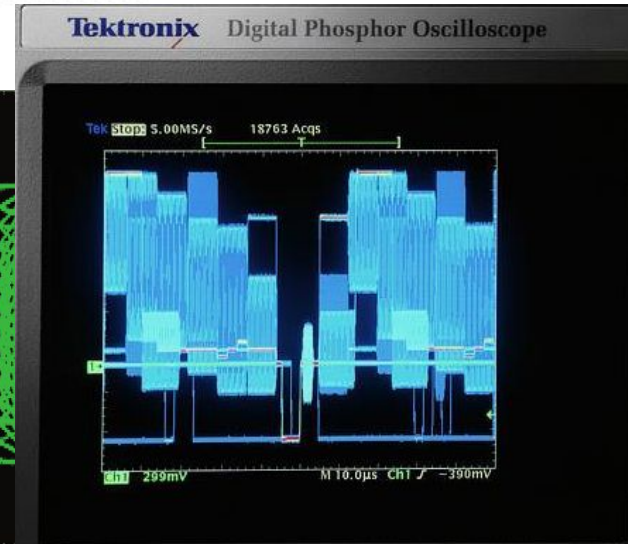
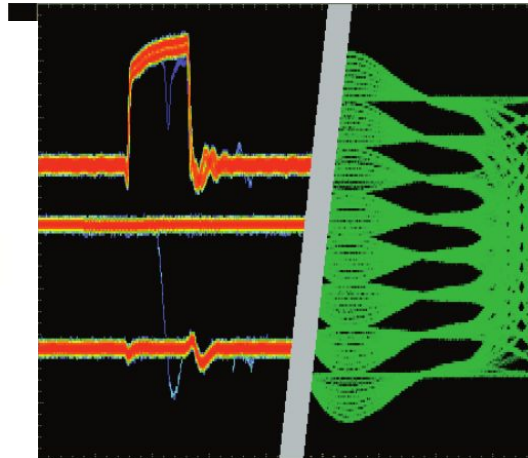
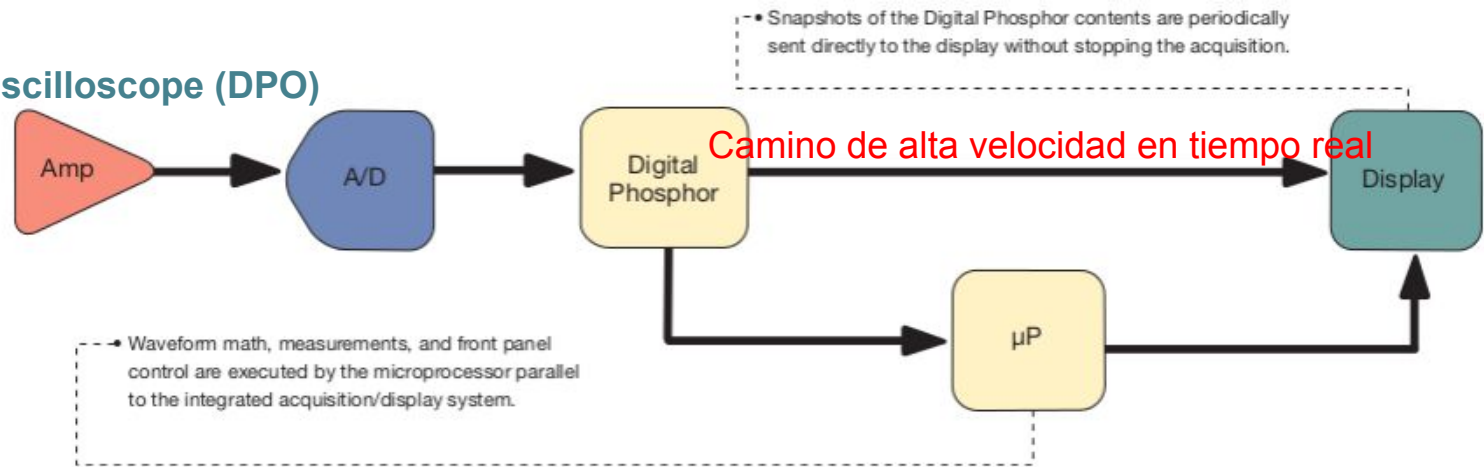


All-digital Oscilloscope



MSO

Digital Phosphor Oscilloscope (DPO)

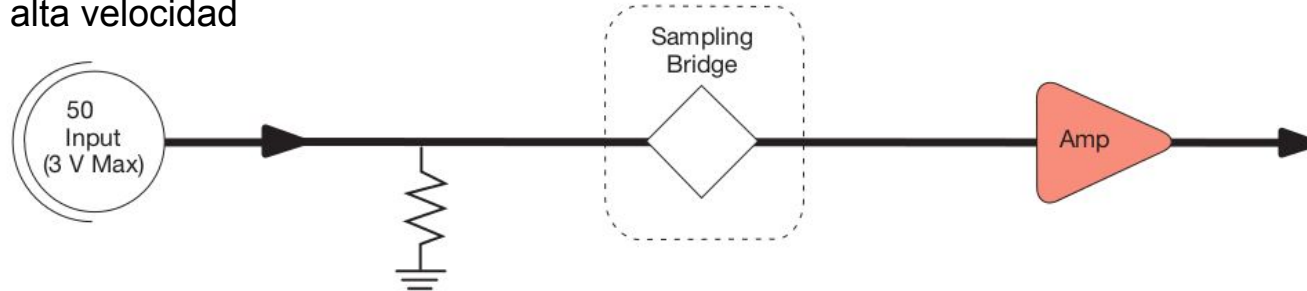


Digital Sampling Oscilloscope

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.



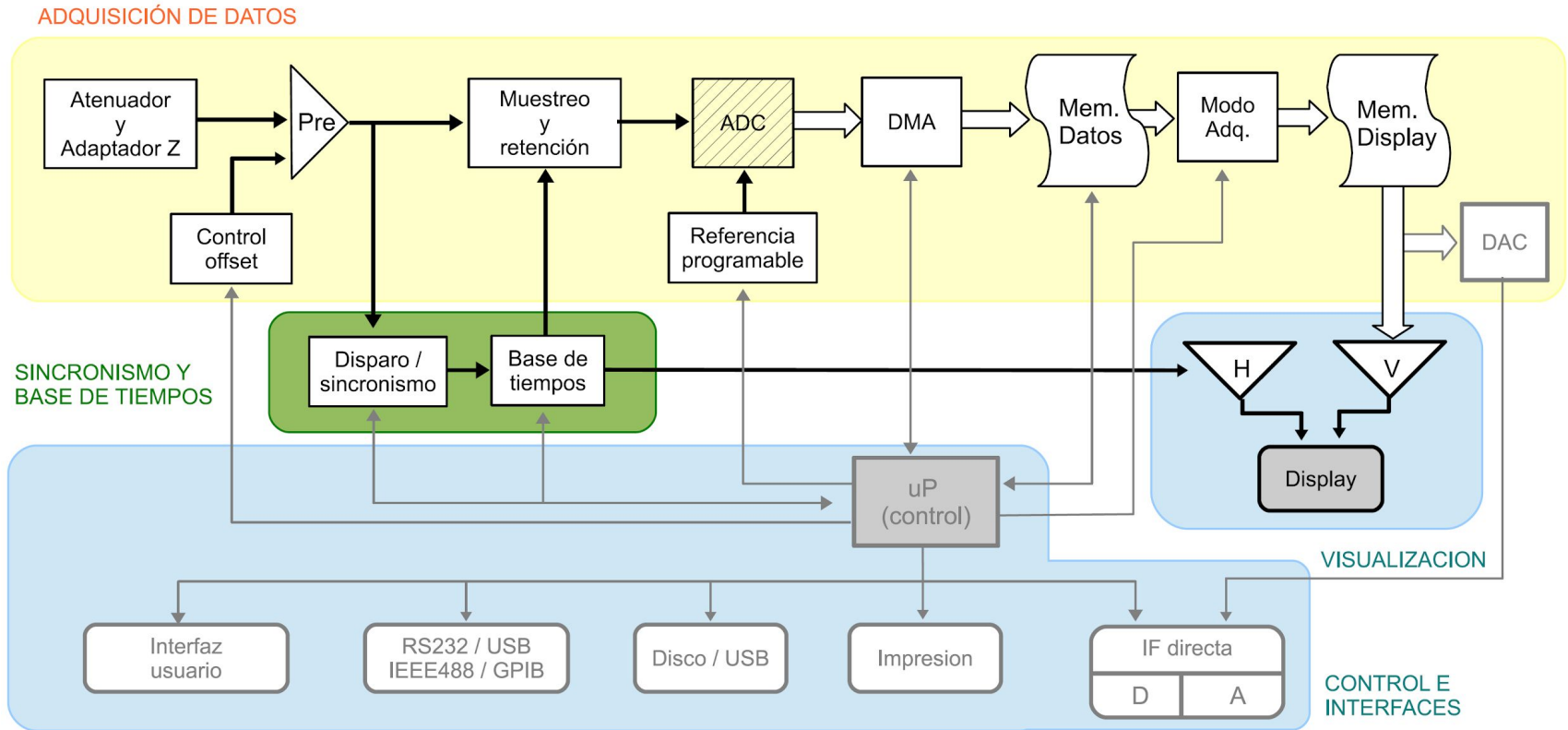
Agenda

- 1) Fundamentos de señales
- 2) Propósitos del osciloscopio y tipos de osciloscopios
- 3) Osciloscopio de almacenamiento digital (OAD)
 - a) Diagrama en bloques
 - b) Adquisición y almacenamiento de datos
 - c) Sincronismo y base de tiempos
- 4) Sistemas y controles del OAD
 - a) Modos de adquisición y tipos de muestreo
 - b) Disparos (trigger) clásicos y avanzados
- 5) Especificaciones del OAD

3. Osciloscopio de Almacenamiento Digital (OAD)

- Instrumento destinado a **capturar, visualizar forma y medir unas ondas de tensión en función de otras ondas de tensión**
- Una de estas formas de onda **puede ser** proveniente de un generador de barrido **interno**, que representa el **tiempo**
- Un osciloscopio de almacenamiento digital difiere del que no lo es por el hecho de que **muestrea y almacena las señales (ADC+memorias)**. De este modo, **facilita la medición de señales de disparo único, transitorios, o de conformación compleja**. Permite realizar **post-procesamiento** de la información (análisis **off-line**). Asimismo la **repetibilidad, precisión y estabilidad** son mejores que en los osciloscopios de adquisición analógica, **orientados fundamentalmente a señales periódicas**.
- El OAD **introduce nuevas especificaciones y amplía las ya existentes: velocidad de muestreo, resolución, longitud o profundidad de registro, #canales de entrada, tipos de disparo, opciones de programación, interfaces**

3. Osciloscopio de Almacenamiento Digital (OAD)



3. Osciloscopio de Almacenamiento Digital (OAD)

Nos concentraremos en estas etapas

Etapas

Adquisición de datos → muestreo, conversión AD, almacenamiento

Sincronismo y base de tiempos → cadencia de eventos en el tiempo

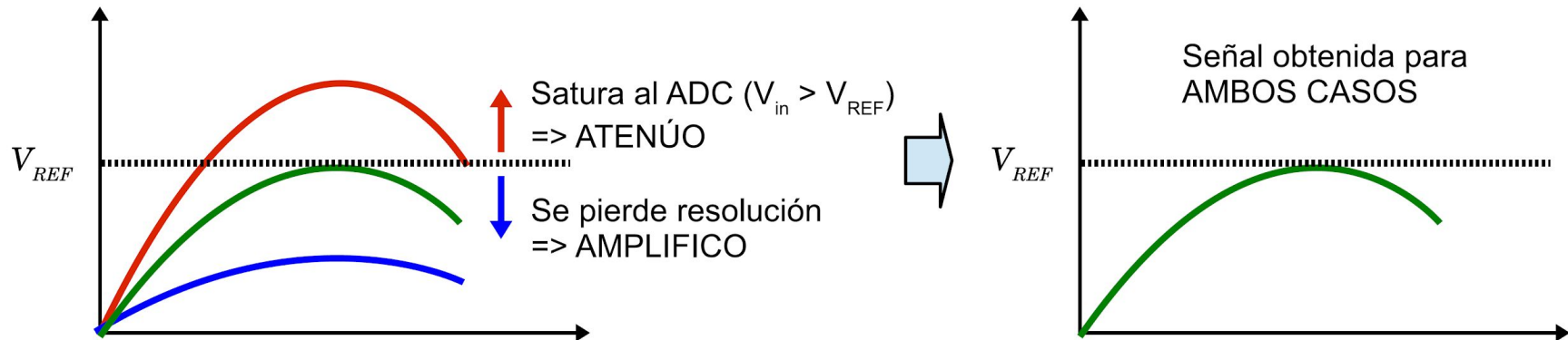
Presentación de datos → relevamiento de formas y medidas

Control e interfaces → comunicación con el entorno

Adquisición de datos

1) Atenuador y pre-amplificador

- Al ADC utiliza un valor de V_{REF} , que **debe ser muy estable ya que determina la exactitud en amplitud del OAD**. Esto significa que **no tiene muchas posibilidades de variarse**.
- Las señales de entrada se encuentran **dentro de alguna zona del rango dinámico** del OAD. De este modo, se puede optimizar para aprovechar el rango $[0, V_{REF}]$ mediante **atenuación o amplificación**, según la amplitud de señal.



Adquisición de datos

1a) Atenuador

- **Adapta impedancias** con el sistema a medir: acoplamiento CC/CA, $Z_{IN}=1M\Omega // 20-50 \text{ pF}$ ($< 50 \text{ MHz}$)
o $Z_{IN} = 50 \Omega$ ($> 50 \text{ MHz}$)
- **Variación por pasos y continuo**, en rango 40 mV - 40 V a fondo de escala. Factores de atenuación 1/2/5 y sus décadas, junto a **ajuste continuo de sensibilidad dentro de cada uno de esos rangos**

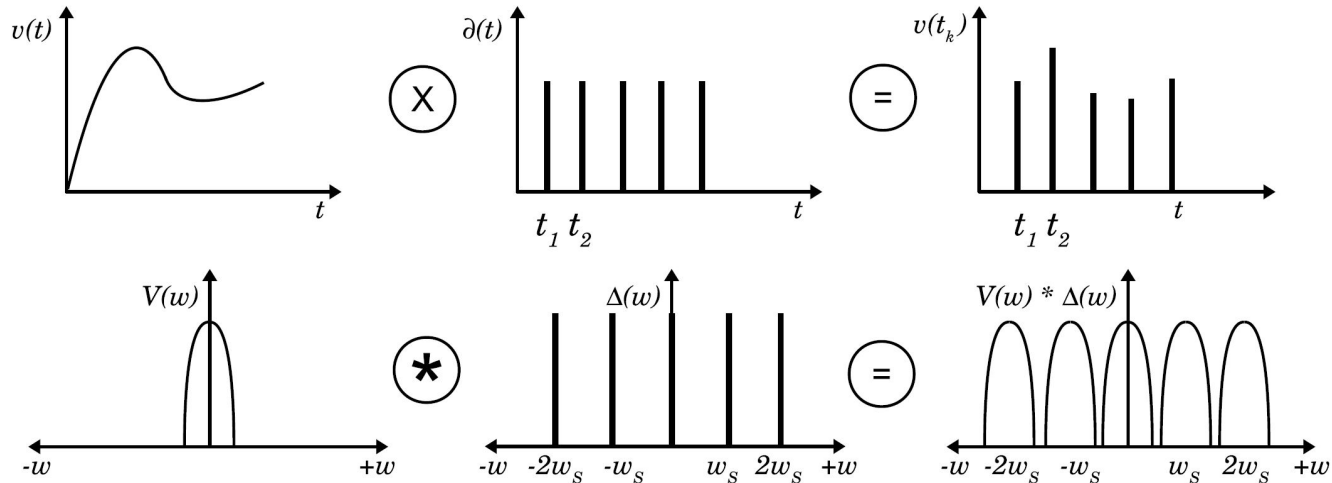
1b) Pre-amplificador

- Su ancho de banda determina el ancho de banda del OAD para señales **repetitivas** (que es mayor al fijado por Nyquist)
- Sensibilidad variable (2,5:1 con variación continua). Ruido menor al 0,2% del fondo de escala
- **Factor de ruido: DETERMINA LA RESOLUCIÓN DEL OAD.** Por ejemplo, si en un OAD de 12 bits el ruido equivale a “8 (2^3) niveles de cuantificación”, entonces la RESOLUCIÓN REAL será de $12-3=9$ bits. Es decir, se resuelven sólo 8 partes en 4096, o $4096/8=512=2^9$ niveles.

Adquisición de datos

Para **digitalizar** una señal, en primer lugar llevamos esa señal que es variable **continuamente** en el tiempo a una señal que varía en forma **discreta** en el tiempo (muestreo+retención). Luego, llevamos las muestras discretas en el tiempo a **palabras digitales** que se puedan almacenar en **memoria** para su procesamiento (digitalización).

2) Muestreo: captura de **valores instantáneos de tensión “ V_k ”** de señal a **intervalos regulares “ T ”**. Se realiza una **multiplicación de la señal con un tren de impulsos unitarios**. En la frecuencia, esto equivale a realizar una **convolución de contenido espectral de señal e impulsos**.



Adquisición de datos

- Al realizar el muestreo, se obtiene una **repetición periódica del espectro de la señal**.
- Para **mantener la información relevante** de la señal, se requiere que $\omega_s \geq 2 \omega_m$ (Nyquist)
- A fin de **limitar el contenido espectral** de la señal y **evitar el efecto de aliasing**, se coloca un **filtro antialias** antes de realizar el muestreo. Este filtro tiene una **pendiente**, que debe **tenerse en cuenta** a la hora de evaluar la atenuación de componentes
- Para el caso del OAD, esto es especialmente necesario para el caso de **señales no repetitivas (muestreo en tiempo real, ver slides siguientes)**
- En un OAD, el requerimiento es tener la mejor fidelidad posible a la señal (conservar su FORMA), que no es conocida de antemano

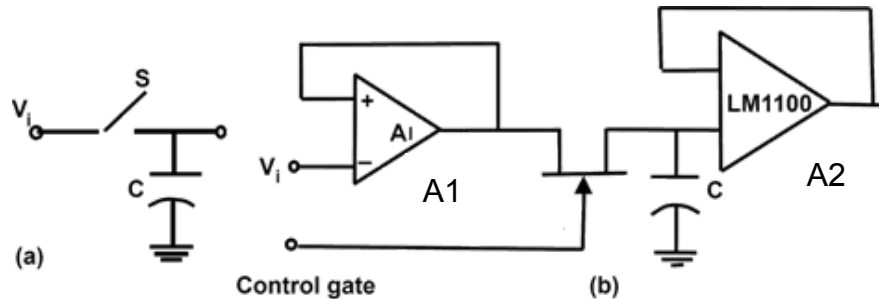
Consideramos una señal **cuadrada**, que sería el peor caso de contenido espectral con ∞ componentes. En la práctica, la máxima componente por encima del ruido se toma como **$10 \cdot f_{\text{fund.}}$** , por lo que el ancho de banda para señales generales no senoidales (cuadrada \rightarrow peor caso): **$BW = f_s / (2 \cdot 10)$** . Por ejemplo:

Si $f_s = 1 \text{ Gsps} \rightarrow BW = 1 \text{ Gsps} / 20 = 50 \text{ MHz}$

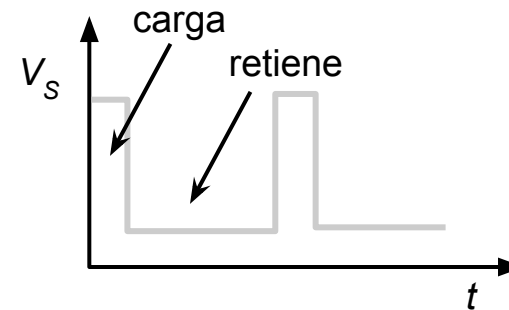
Adquisición de datos

3) Retención (hold): es necesaria ya que el conversor AD requiere un tiempo mínimo t_c para digitalizar la señal, durante el cual el nivel analógico debe conservarse estable.

- El circuito de hold es un **retenedor de orden cero**, es decir que **captura un valor y asume durante un tiempo t_H que la derivada de la señal es cero (valor cte)**. Naturalmente, $t_H \geq t_c$
- La frecuencia de muestreo f_s **controla** tanto al muestreador, el retenedor, y al ADC, En consecuencia, **la tasa de muestreo f_s está determinada por los tiempos de conversión f_c** (excepción: ADC time-interleaved, http://www.fundacionfulgor.org.ar/sitio/images/archivos/reyes_an_8-bit_2018.pdf)

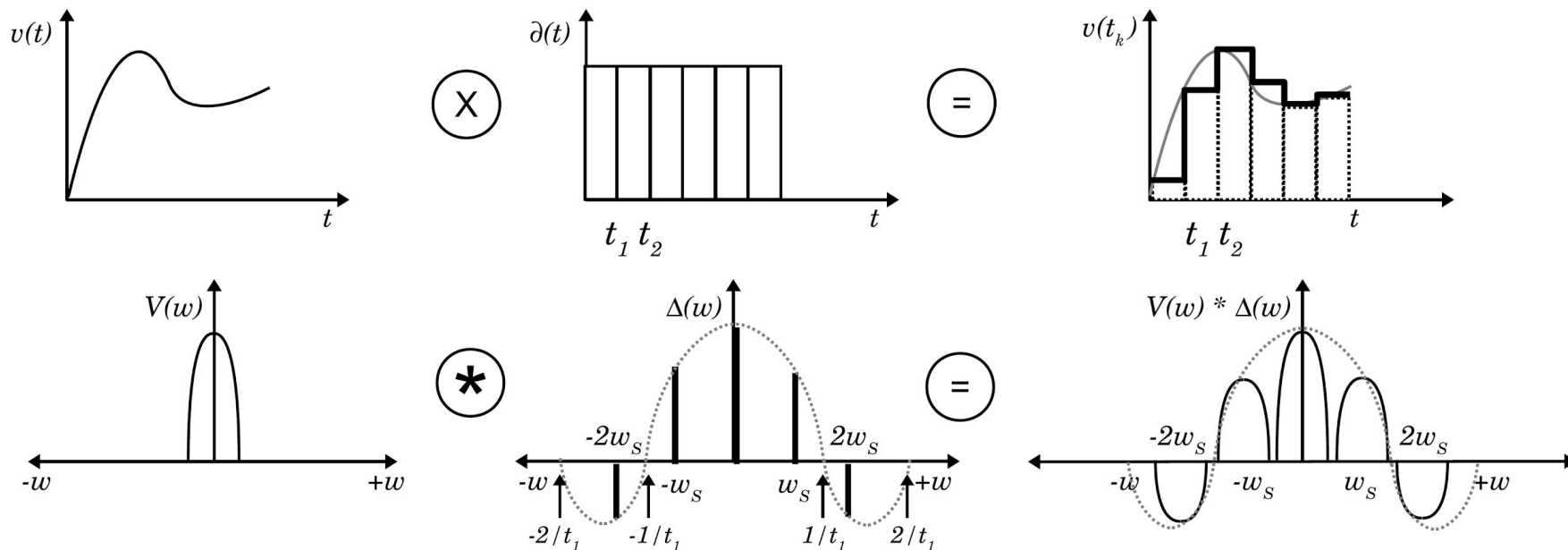


A1: alta velocidad, buen fanout, bajos offsets
 A2: alta Z_{IN} , bajo ruido



$$T_S = t_s + t_H ; t_s = 10-30 \% t_H$$

Adquisición de datos



Formas de onda y sus espectros, considerando tiempo de conversión finito

Adquisición de datos

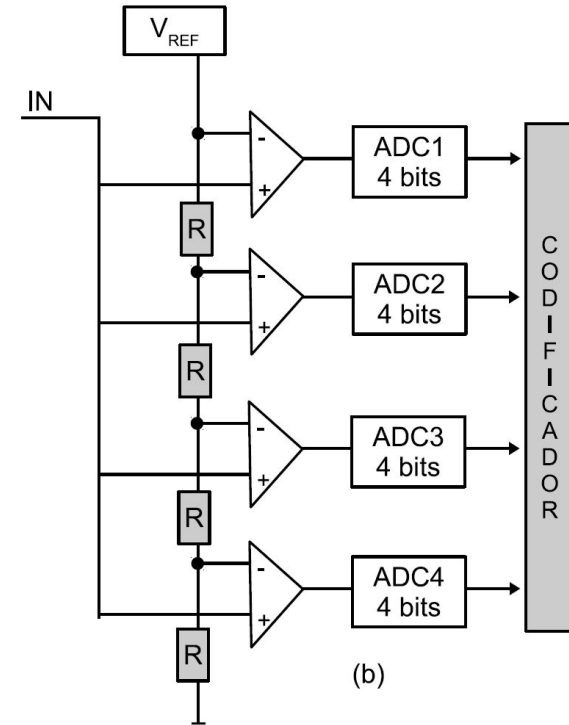
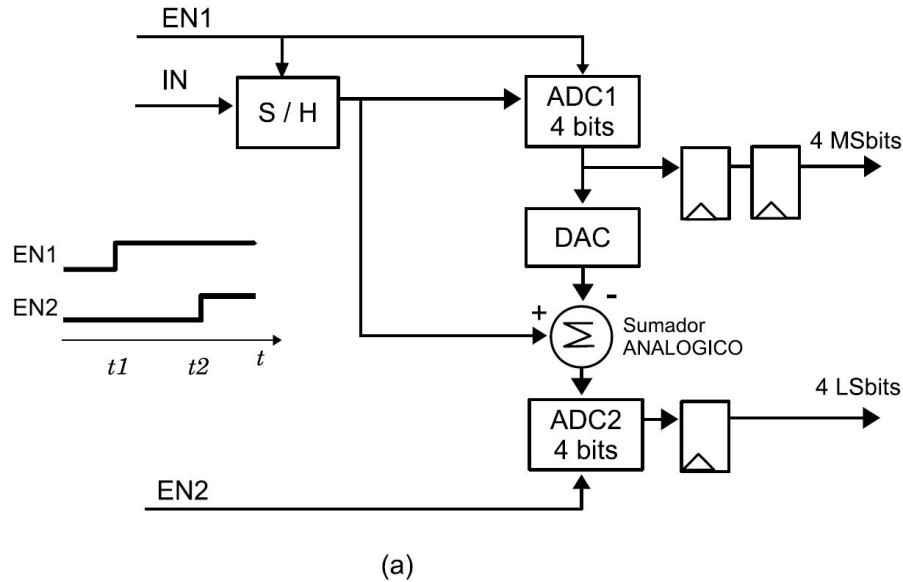
4a) Cuantización: los niveles analógicos capturados por el S/H, que pueden tener **infinitos valores entre 0 y V_{ref}** , se asignan a un grupo de **valores discretos, finitos, y fijos**. Es decir, se **asocia un cierto número de niveles de cuantificación a la señal analógica**. Ejemplo: 1024 valores.

4b) Codificación: asigna una **palabra digital de n bits a cada nivel de cuantización**. Esta palabra puede ser binaria natural o seguir cualquier código.

Ambos procesos, a menudo también junto con el S/H, se realizan hoy en el ADC:

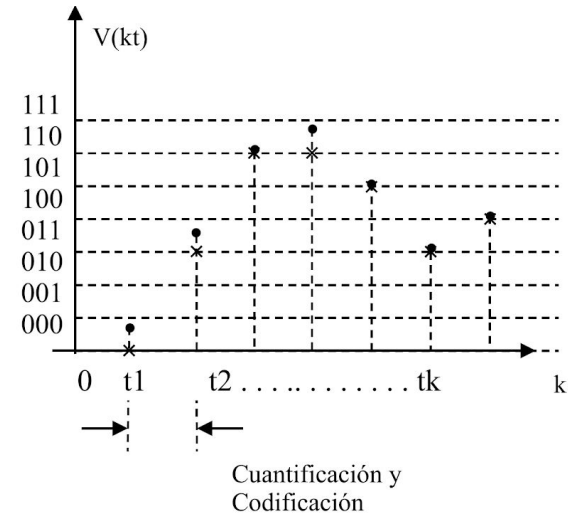
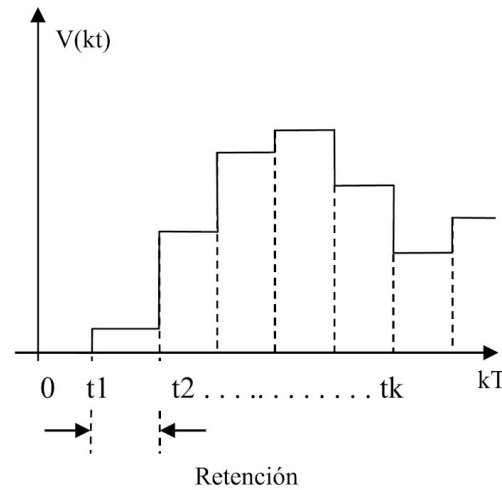
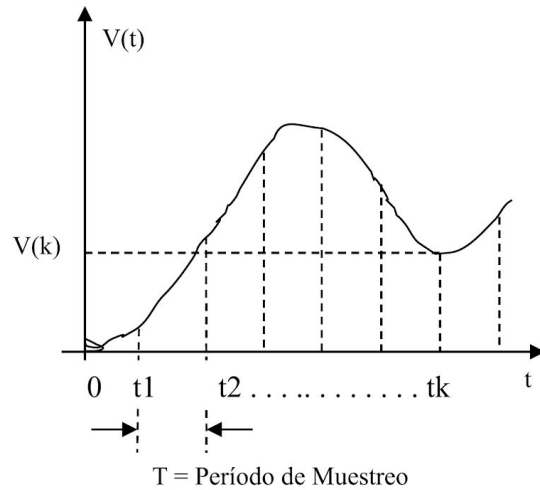
- **Cuantifica** la entrada respecto a V_{ref} . **Los pasos de cuantización están determinados por el #bits**, que a su vez determina **la resolución en amplitud (ej: 8 bits \rightarrow 256 niveles \rightarrow resolución $V_{ref} / 256$)**
- **Codifica** en un # de veces la resolución (Ej. código "m" de 8 bits \rightarrow tensión $m \times V_{ref} / 256$)
- **El tiempo de conversión** limita **directamente el max contenido espectral** de la señal de entrada
- **El tiempo de conversión** limita **indirectamente la resolución**: $< \text{paso} \rightarrow > t_c$
- Se utilizan conversores FLASH: V_{ref} estabilizada + cadena de 2^n resistencias + $2^n - 1$ comparadores + combinacional de salida que realiza la codificación. Esta arquitectura limita su **cantidad de bits (4-8)**
- Para escalar **resolución/velocidad en los ADCs FLASH \rightarrow 2 variantes**:
 - **Simple rango:** múltiples ADCs de 4 bits en //
 - **Doble (sub-) rango:** combina flash y aprox. sucesivas. **Reduce el #comparadores y complejidad lógica, pero es algo más lento.** 2 ADCs de 4 bits + DAC + suma analógica

Adquisición de datos



Opciones en ADCs FLASH: (a) doble rango, (b) conexión en cascada

Adquisición de datos



Proceso completo de digitalización de datos

Adquisición de datos

5) Almacenamiento de datos

Desde la etapa de digitalización, se obtiene un **flujo de palabras de n bits a alta velocidad**. Sin embargo, el display puede representar sólo 300 a 1000 palabras por barrido donde debemos capturar la información de interés. Para ello, el almacenamiento **se divide en dos memorias, cada una con “páginas” por canal**

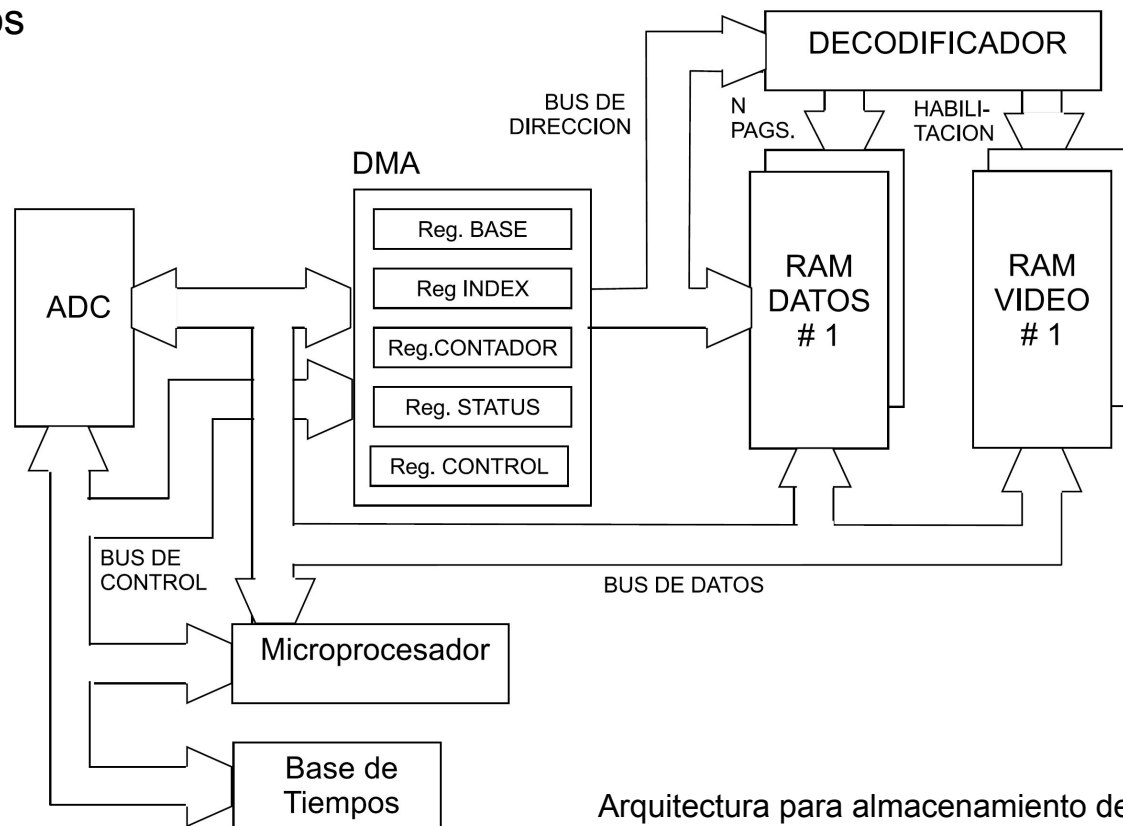
5a) Memoria de DATOS

- Posee una **longitud o profundidad**, comunmente configurable, por ej 1Kbit, 2, 4, ..., 1Mbit
- Tecnología ECL de alta velocidad
- Los datos se almacenan mediante un DMA:
 - Buses de **data, address y control**
 - Registros: base por canal (página), índice de almacenamiento/página, contador de espacio disponible/página

5b) Memoria de VIDEO

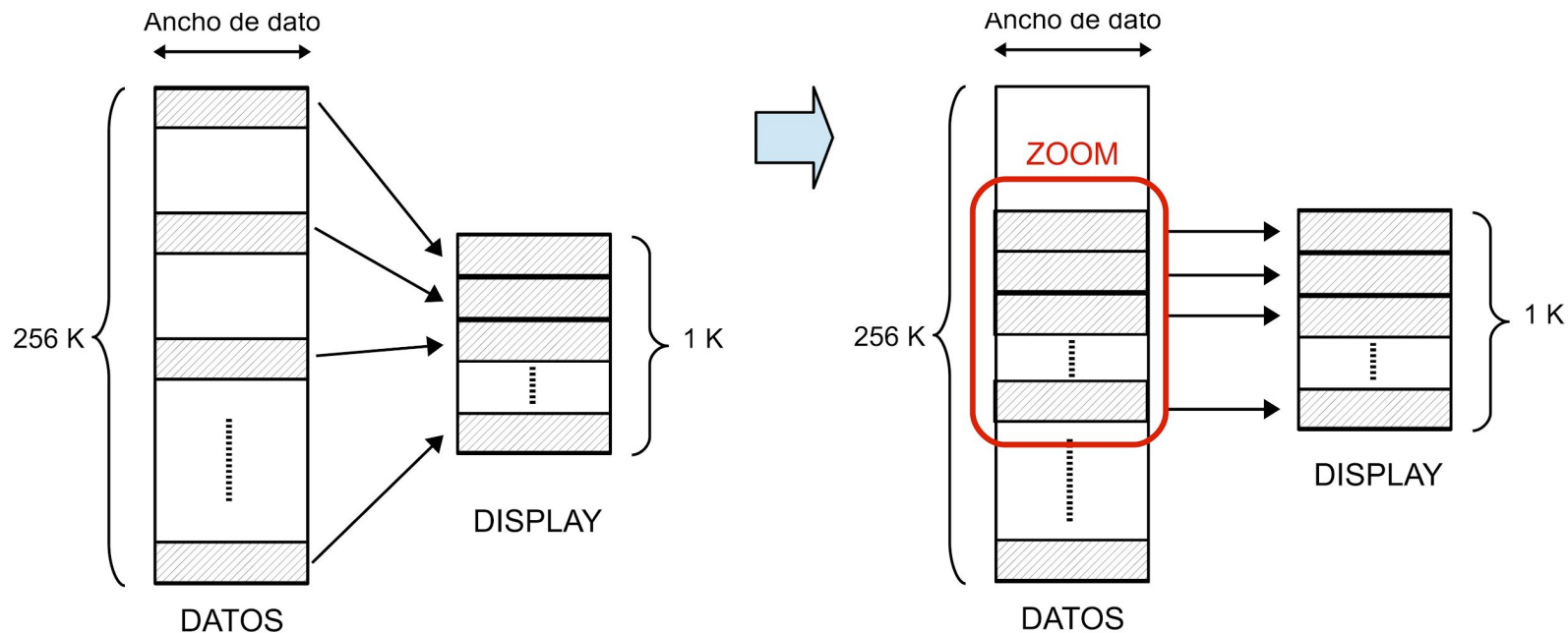
- Recibe los valores desde la memoria de datos, previo procesamiento para distintos fines:
 - Cálculo de valores **promedio, máximo, mínimo, etc**
 - Protección de zonas para **congelamiento de frames y comparación con otras señales**
 - **Zoom**: el usuario indica mediante cursores la zona y ancho de interés. Luego el OAD vuelve a la mem. de datos, busca la nueva zona, y la envía a la mem. de display

Adquisición de datos



Arquitectura para almacenamiento de datos

Adquisición de datos



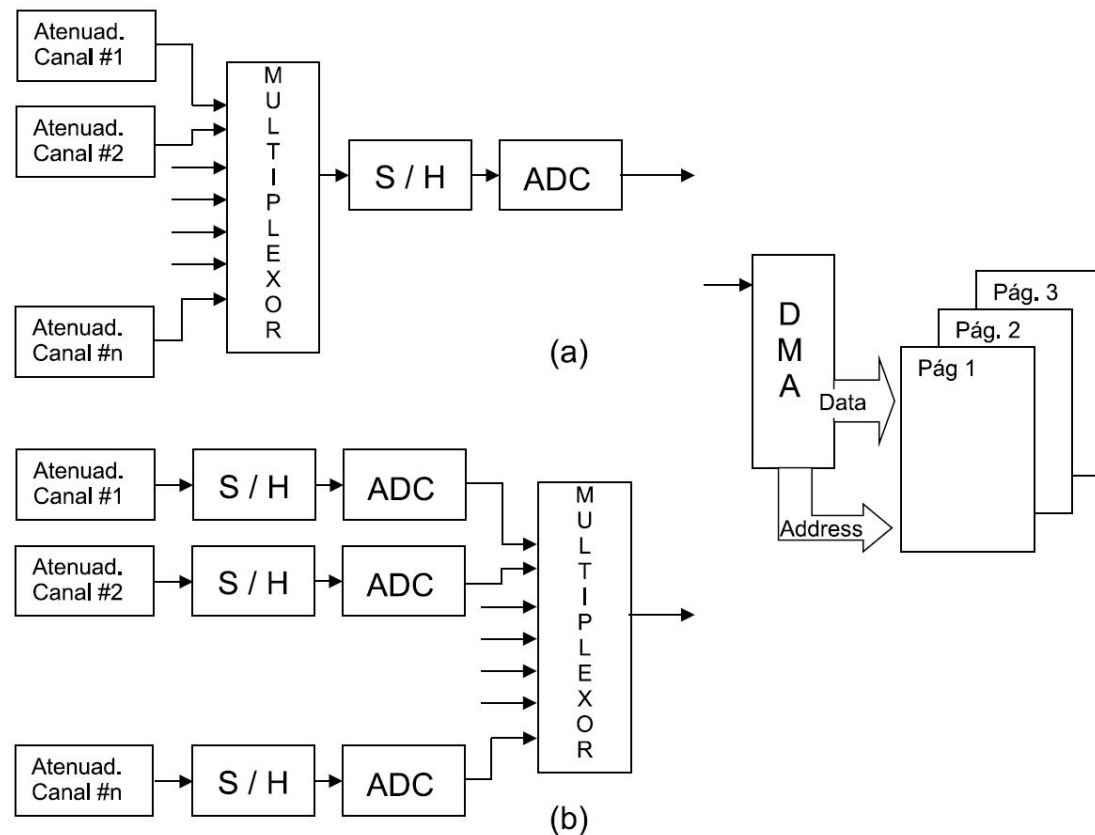
Caso de *zoom* entre memorias de datos y display

Adquisición de datos

Implementación de múltiples canales: existen 2 OPCIONES:

1. Duplicar **todos los bloques de entrada y conversión**
 - Multiplex digital
 - Mayor costo
 - Aptos para aplicaciones de **alta frecuencia**
2. Duplicar **sólo los atenuadores/amplificadores**, compartiendo desde al ADC en adelante
 - Multiplex analógico
 - Costo reducido
 - Apto para **frecuencias bajas y medias**

Adquisición de datos



Multiplex de canales: (a) analógico, (b) digital

Sincronismo y base de tiempos

- Ajuste de captura de eventos (**muestreo**), según **entradas de reloj internas o externas**
- Adecúa el **intervalo de muestreo óptimo para cada aplicación**
- Puede utilizarse en modo **coherente (real) o no coherente (equivalente)**, como se verá luego
- **Sincronismo interno:** frecuencias de muestreo óptimas para cada señal (**“base de tiempo”**). Intervalos de muestreo desde 1 ns a 100 ms/muestra en secuencias de 1, 2, 4, pudiendo variarse continuamente con resolución de 1 ns por muestra mediante PLLs
- **Sincronismo externo:** puede programarse por **pendiente, nivel o variaciones aleatorias** de una señal externa
- Actualmente se cuenta con un **control adaptativo** de velocidad de muestreo. La exploración de la base de tiempos se inicia en frecuencias bajas o medias según el rango de la señal de entrada, conmutando a frecuencias elevadas de muestreo cuando se detectan componentes de alta frecuencia en la señal, permitiendo ahorrar espacio de la memoria de adquisición
- **Inicio de la adquisición:** depende la **señal de disparo**, con opciones específicas (nivel, pendiente, y muchas nuevas) que se verán más adelante.

Agenda

- 1) Fundamentos de señales
- 2) Propósitos del osciloscopio y tipos de osciloscopios
- 3) Osciloscopio de almacenamiento digital (OAD)
 - a) Diagrama en bloques
 - b) Adquisición y almacenamiento de datos
 - c) Sincronismo y base de tiempos
- 4) **Sistemas y controles del OAD**
 - a) **Modos de adquisición y tipos de muestreo**
 - b) **Disparos (trigger) clásicos y avanzados**
- 5) Especificaciones del OAD

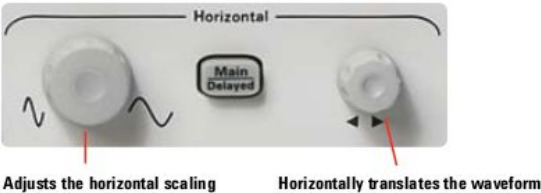
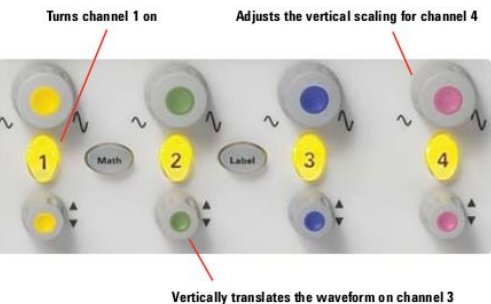
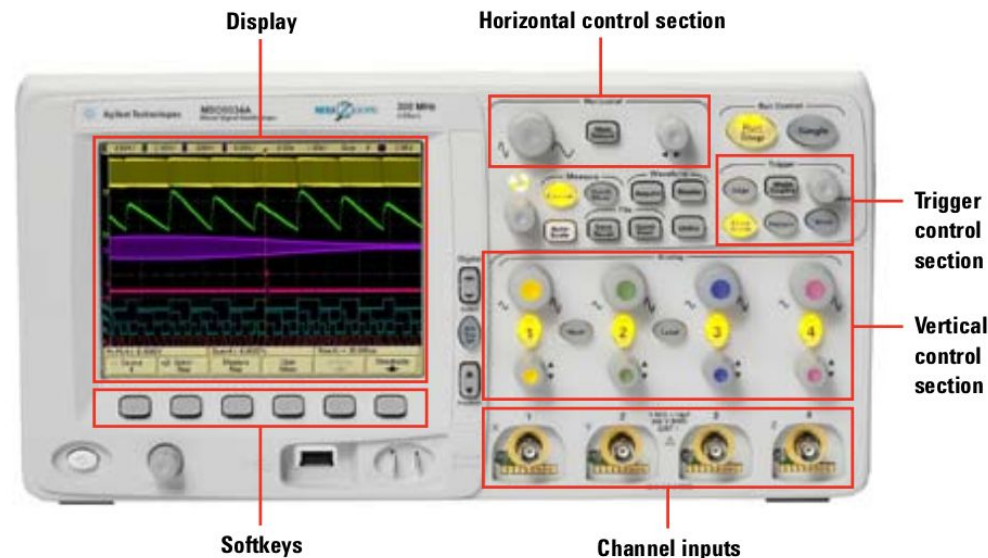
4. Sistemas y controles del OAD

Controles

- **De entrada:** asociados a la ADQUISICIÓN de la señal, 1/2/4 entradas analógicas. Acoplamiento DC/AC/GND, canal ON/OFF, Zin, tipo de muestreo (real/equivalente)
- **Vertical:** atenuación/amplificación, offset
- **Horizontal:** base de tiempo (NO VALIDA en modo XY!)
- **Disparo (Trigger):** repetitivo / único (single)
- **Display:** aspectos relativos a presentación
- **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**



4. 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 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 ADQUISICIÓN

- Longitud (o profundidad) del registro de tiempo (Time Register, TR)

Modos de Adquisición en el OAD - relación entre memorias de datos y de pantalla

- **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 debe ser más 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 promediado:** se obtiene el promedio de múltiples barridos en sample mode. Así, se reduce el ruido aleatorio sin perder ancho de banda.
- **Modo waveform database:** el OAD acumula una base de datos en 3D con amplitud, tiempo y cuentas (DPO),

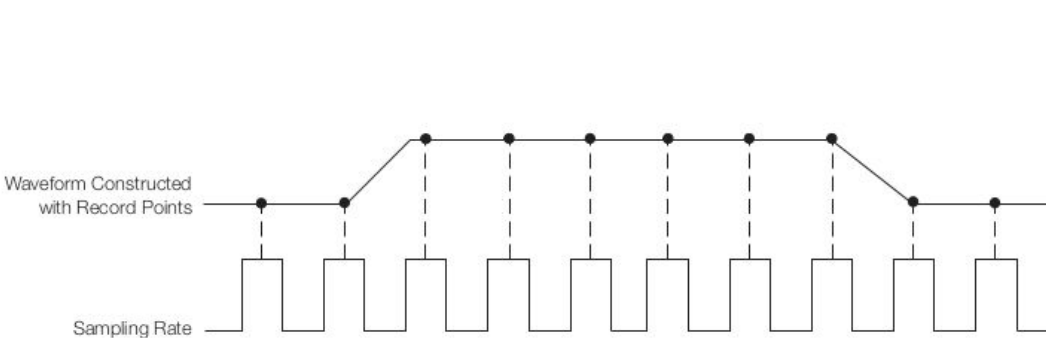
Modos de adquisición - Tipos de muestreo en el OAD

Inicio/fin de adquisición

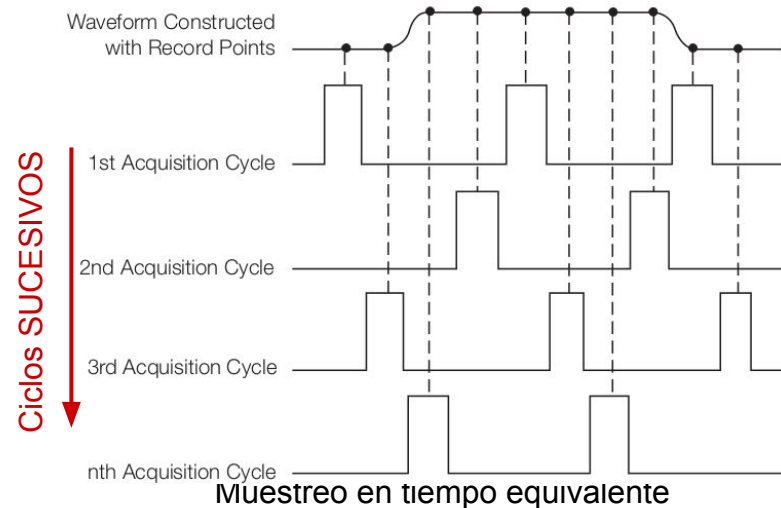
A fin de acumular formas de onda para luego obtener envolvente/promedio, etc, podemos:

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

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



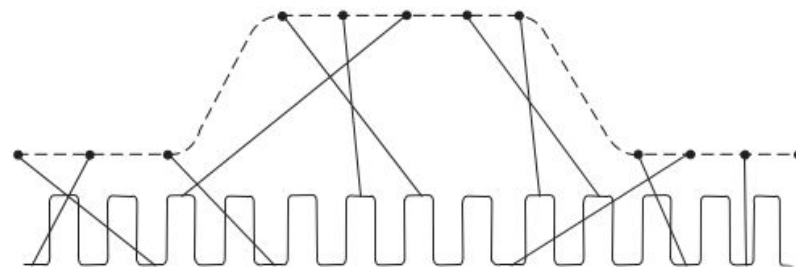
Muestreo en tiempo real



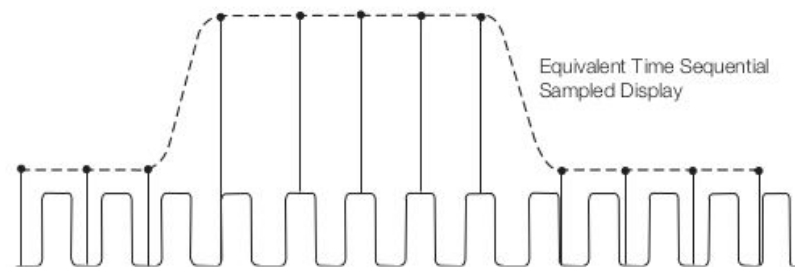
Muestreo en tiempo equivalente

Tipos de muestreo en el OAD

Muestreo en tiempo equivalente (no coherente): secuencial y aleatorio



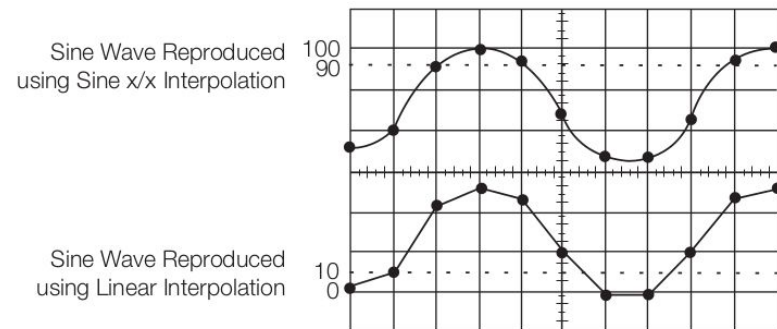
Muestreo equivalente aleatorio



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

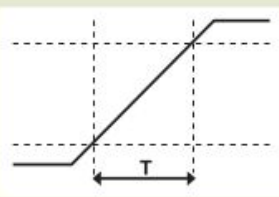
- **Adquiere siempre una muestra por disparo**, luego de un retardo Δt que se va incrementando hasta cumplir un periodo completo de la señal.
- **Su principal ventaja es poder medir tiempos muy precisos**

Sistema y controles de disparo (trigger)

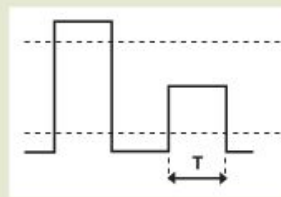
El disparo permite observar estáticamente señales repetitivas, o capturar eventos únicos

- **Disparo por flanco:** el más común en osciloscopios analógicos y digitales
- **Calificado o ponderado 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

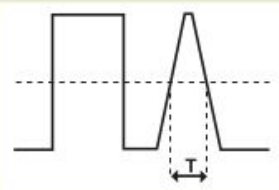
Actividad: relacione estos tipos de trigger con el diagrama de la filmína 12.



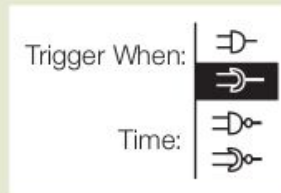
Slew Rate Triggering. High frequency signals with slow rates faster than expected or needed can radiate troublesome energy. Slew rate triggering surpasses conventional edge triggering by adding the element of time and allowing you to selectively trigger on fast or slow edges.



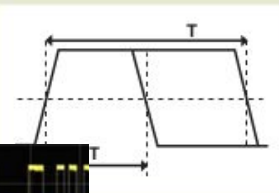
Runt Pulse Triggering. Runt triggering allows you to capture and examine pulses that cross one logic threshold, but not both.



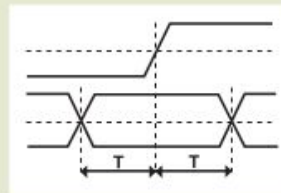
Glitch Triggering. Glitch triggering allows you to trigger on digital pulses when they are shorter or longer than a user-defined time limit. This trigger control enables you to examine the causes of even rare glitches and their effects on other signals.



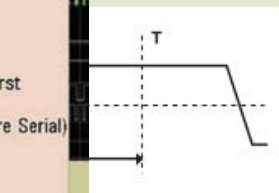
Logic Triggering. Logic triggering allows you to trigger on any logical combination of available input channels – especially useful in verifying the operation of digital logic.



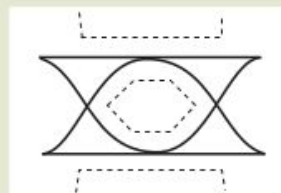
Pulse Width Triggering. Using pulse width triggering, you can monitor a signal indefinitely and trigger on the first occurrence of a pulse whose duration (pulse width) is outside the allowable limits.



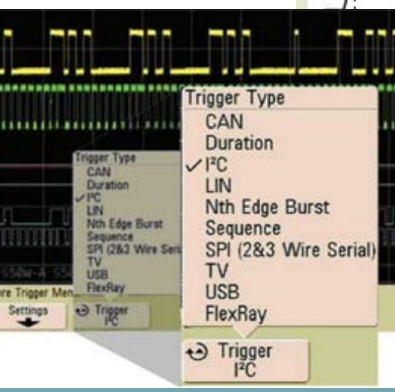
Setup-and-Hold Triggering. Only setup-and-hold triggering lets you deterministically trap a single violation of setup-and-hold time that would almost certainly be missed by using other trigger modes. This trigger mode makes it easy to capture specific signal quality and timing details when a synchronous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

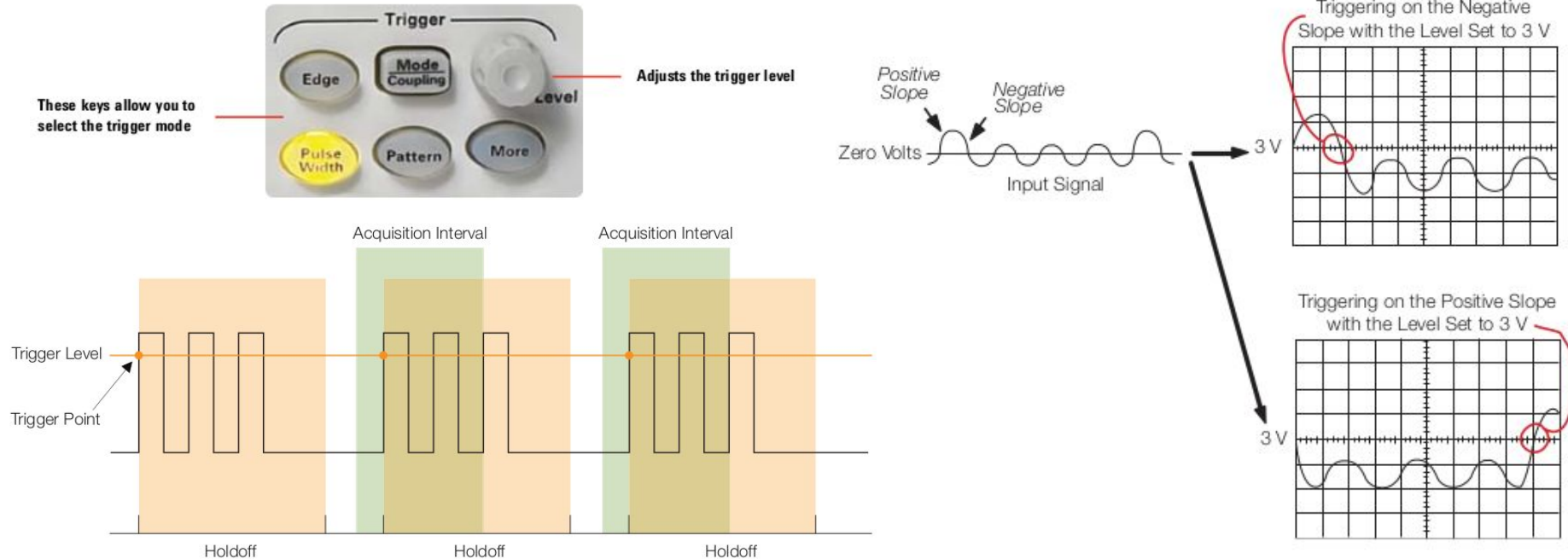
- **Sólo disponible en OADs (en forma directa).** Suele encontrarse en el menú horizontal. Permite realizar *pre-trigger* y *post-trigger*, por ej, para encontrar la *causa* de un evento
- Los OAD pueden hacer *pre-trigger* ya que la señal de entrada *se adquiere constantemente*, ya sea que se haya recibido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



Agenda

- 1) Fundamentos de señales
- 2) Propósitos del osciloscopio y tipos de osciloscopios
- 3) Osciloscopio de almacenamiento digital (OAD)
 - a) Diagrama en bloques
 - b) Adquisición y almacenamiento de datos
 - c) Sincronismo y base de tiempos
- 4) Sistemas y controles del OAD
 - a) Modos de adquisición y tipos de muestreo
 - b) Disparos (trigger) clásicos y avanzados
- 5) Especificaciones del OAD

Especificaciones del OAD

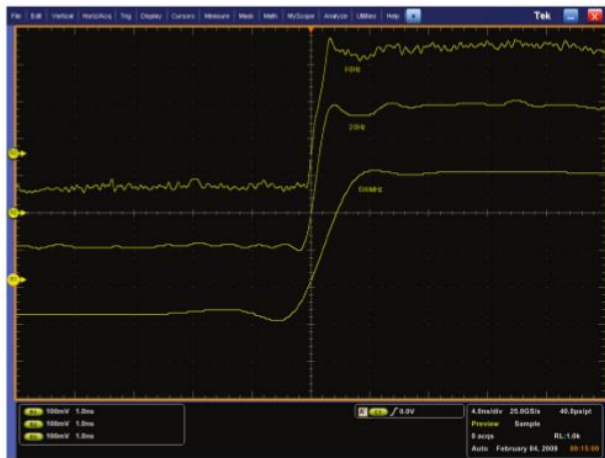
Ancho de banda BW : determina la capacidad del OAD para mostrar la señal en forma precisa al aumentar la frecuencia. **Se determina como la frecuencia a la cual una señal senoidal de entrada se muestra atenuada al 70.7% o -3 dB.** Los efectos concretos son: **distorsión de amplitud, mala calidad de flancos, 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 aparea 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 $BW < 1\text{GHz}$ y respuesta gaussiana, $K=0,45$ para $BW > 1\text{GHz}$ y respuesta de máxima planicidad)

Tasa de muestreo (Sample Rate) f_s : la máxima tasa determina la mejor resolución horizontal de la señal, y su capacidad de 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:

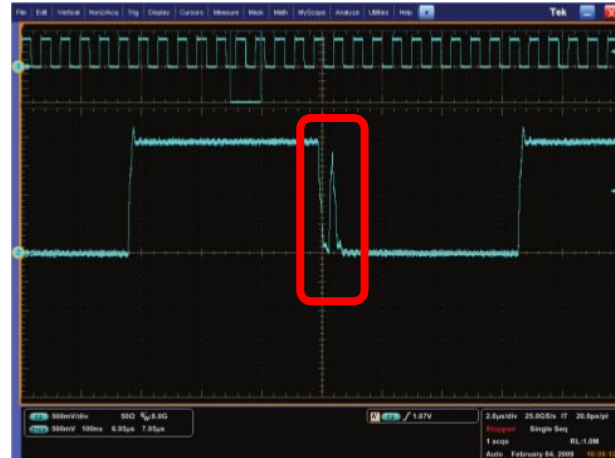
- Interpolación $\sin(x)/x$: $f_s \geq 2,4 f_{max}$
- Interpolación lineal: $f_s \geq 10 f_{max}$



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

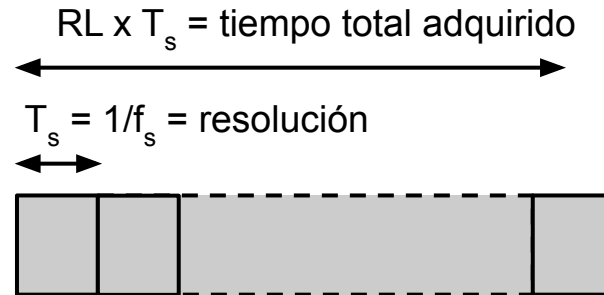
Waveform capture rate, acquisition rate, o update rate: indica la tasa de actualización de la “forma de onda” (display). Va entre 10-5000 wfms/s para DSOs (mejor aún con modo “memoria profunda”) a millones de wfms/s en DPOs. Fundamental para transitorios; se deteriora al utilizar mediciones automáticas.

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 o record length RL): 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 disponibles 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. de entrada), **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 utilizado y post-procesamiento/documentación (OADs de alto desempeño)**

Bibliografía

Notas de clase Profs. J. Fernández, S. Rabinovich y J.Zozaya

Oscilloscope Fundamentals, Agilent Application Note 1606, 2008

XYZs of Oscilloscopes, Tektronix Primer, 2016