



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL TUCUMÁN**

Ingeniería Electrónica – Medidas Electrónicas II

“Osciloscopio de Sampling, Osciloscopio Digital (DSO) y Osciloscopio de Fósforo Digital (DPO)”

**Ing. J.C. Colombo
Prof. Medidas Electrónicas II
24/05/12**

1.- Osciloscopio de Sampling

1.1.- Introducción

El muestreo es el proceso de convertir una porción de una señal de entrada en un número de valores eléctricos individualizados con fines de almacenamiento, procesamiento o presentación de los mismos. La magnitud de cada punto muestreado es igual a la amplitud de la señal de entrada en el instante del muestreo de la señal en el tiempo.

Cuando se están midiendo señales de alta frecuencia, es posible que el osciloscopio no sea capaz de recoger suficientes muestras en un solo barrido.

Un osciloscopio de muestreo es una herramienta ideal para la captura precisa de señales cuyas componentes de frecuencia son mucho más elevadas que la velocidad de muestreo del osciloscopio.

Este osciloscopio es capaz de medir señales de un orden de magnitud más rápida que cualquier otro osciloscopio. Puede alcanzar anchos de banda y tiempos de alta velocidad diez veces más elevados que otros osciloscopios para señales repetitivas. Se dispone de osciloscopios de **muestreo secuencial en tiempo equivalente** con anchos de banda de hasta 50 GHz.

En contraste con las arquitecturas de memoria digital y de los osciloscopios de fósforo digital, la arquitectura del osciloscopio de muestreo invierte la posición del atenuador/amplificador y del puente de muestreo, como se indica en la **Figura 1. La señal de entrada se muestrea antes de que se realice cualquier atenuación o amplificación**. Posteriormente, se podrá utilizar un amplificador de bajo ancho de banda después del puente de muestreo, dado que la señal ya ha sido convertida a una frecuencia inferior por la puerta de muestreo, resultando un instrumento de ancho de banda mucho más elevado.

La cabeza de muestreo (sonda de entrada) deberá ser capaz de manejar en todo momento el rango dinámico de la señal en su totalidad. **Por lo tanto, el rango dinámico de la mayoría de los osciloscopios de muestreo queda limitado a, aproximadamente, 1 V pico a pico**. Por el contrario, los osciloscopios de memoria digital y los osciloscopios de fósforo digital pueden manejar de 50 a 100 voltios.

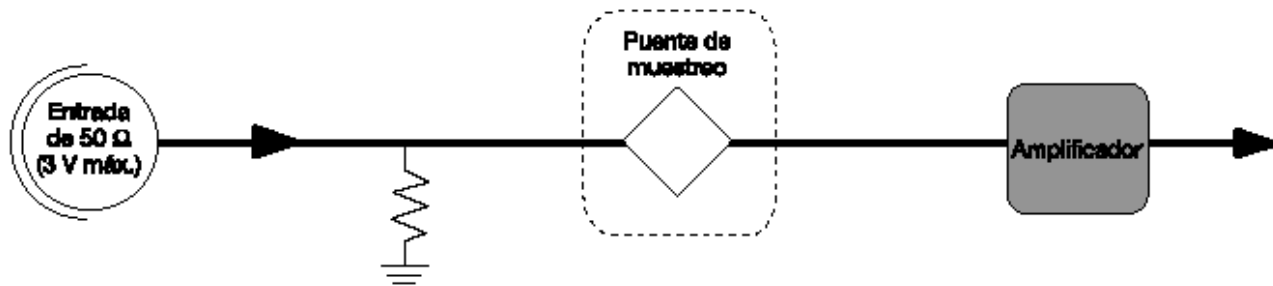


Figura 1. Arquitectura de un osciloscopio de muestreo.

1.2.- Consideraciones Generales

- 1.- En la actualidad se pueden diseñar amplificadores para Osciloscopios Convencionales de CC – a más de 200 MHz. y con tiempos de crecimientos menores a 2,5 ns.
- El Ancho de Banda (AB) del Amplificador Vertical es un Factor Limitativo para señales de frentes abruptos o sinusoidales de alta frecuencia.
- 2.- La técnica de Muestreo permite observar señales muy rápidas y para el caso de ser Señales Repetitivas la $f > 10$ GHz y pulsos con tiempo de crecimiento menor a 30 ps.
- 3.- Actualmente hay Osciloscopios de Muestreo (Sampling) de AB = 18 - 20 GHz, 50 GHz o superior.
- 4.- La Limitación de los Osciloscopios de Sampling es el Nivel de Señal de Entrada dado por la Sonda de Entrada con valores de 1 a 5 V.

1.3.- Amplificador Vertical de Muestreo

Circuito Básico de Muestreo

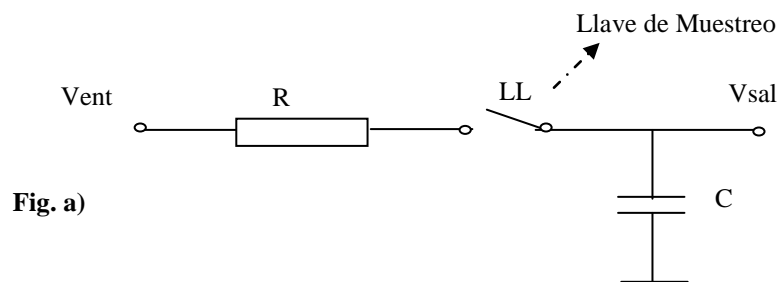


Fig. a)

Un circuito de muestreo básico como el de la Figura a), consiste de una llave de muestreo LL, un resistor en serie R y un capacitor, C, conectado a masa. El muestreo se realiza de la manera siguiente:

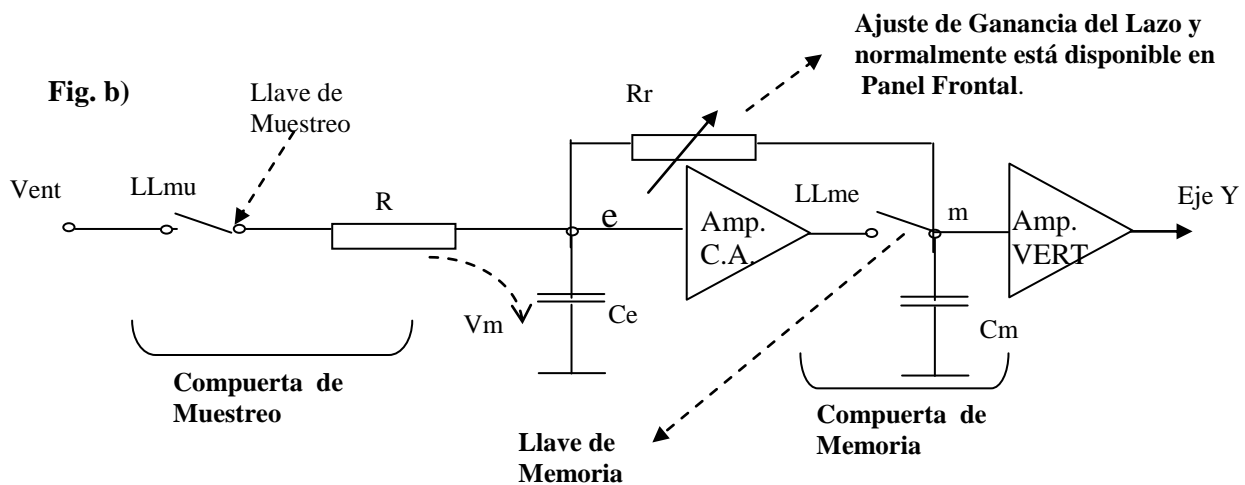
- Cuando se cierra LL, C se carga a un porcentaje de la V_{ent} porque su constante de tiempo es \gg tiempo de cierre de la llave LL.

Ejemplo:

$$V_{muestreo} = 5\% V_{ent} = 0,05 V_{ent} \quad - - \quad \text{si la } V_{ent} = 1V \rightarrow V_{muestreo} = 0,05V$$

- Cada vez que se cierra la llave LL el capacitor C, se carga un porcentaje determinado de Vent. Como la Vsal es sincrónica con la señal Vent se obtiene el valor de dicha señal en un instante dado, por lo tanto es un verdadero muestreador.
- Para otro instante de la señal, se repite el proceso y por consiguiente se puede reproducir la señal con una técnica de muestreo para señales periódicas.
- El tiempo que se tarda en reconstruir la señal es mayor cuanto mayor sea el número de muestras, a su vez la mayor cantidad de muestras aumenta la resolución por lo que hay que definir una situación de compromiso entre ambos elementos - **Tiempo y Cantidad de Muestras**.
- El Teorema de Muestreo dice que para reproducir una señal $f(t)$ se debe tomar muestras o muestrearla a razón de $2f_m$ muestras/seg. En la práctica se procura que la velocidad de muestreo sea superior en 5 – 10 veces la frecuencia de la señal bajo prueba.

Un esquema de muestreo más elaborado se presenta en la Figura b).



El muestreo se inicia cerrando momentáneamente la llave de muestreo LLmu, el Ce se carga a la tensión V de muestreo que para el caso y como ejemplo es $V_m = 0,05 \text{ Vent}$.

La V_m es amplificada y enviada a la llave de memoria LLme que se cierra en el instante que la compuerta de muestreo está en SI. El tiempo que está cerrada la Compuerta de Memoria es mayor que la Compuerta de Muestreo.

Esto último permite que el capacitor de memoria, C_m , tenga tiempo de cargarse a la V de Salida de Amp.C.A. Esta V de salida del Amp.C.A. es aplicada al Amp.Vert. que la amplifica lo suficiente para producir la deflexión Vertical del haz de electrones en el TRC. Este nuevo nivel amplificado es también aplicado a la realimentación vía un atenuador R_r al capacitor de entrada C_e .

La ganancia del Amp.C.A. y su realimentación se diseñan de tal manera que la Tensión de realimentación al capacitor de entrada C_e sea el 100% del nivel de la señal muestreada (esto está relacionado con la densidad de muestras). De esta forma cuando se tome la próxima muestra solo se detectarán variaciones a partir del nivel previo.

Ejemplo:

- 1.- Tensión a muestrear = $V_{ent} = 1V$
- 2.- Tensión de muestreo = $V_m = 0,05 V_{ent} = 5\% V_{ent}$
- 3.- Ganancia de Amp.C.A. = $G_{Amp.C.A.} = 20$

$$G_{Amp.C.A.} = 0,05 \times 20 = 1 V$$

Amp.VERT.

Cm

- 4.- La tensión de 1 V en el punto m se realimenta a C_e y se carga a 1 V de acuerdo a la constante de tiempo dada por $R_r C_e$.
- 5.- Si la siguiente lectura se toma al mismo nivel de entrada el C_e no detectará señal y el punto en TRC permanecerá en la misma deflexión vertical.
Por esta razón es que la Ganancia del Lazo debe ser 100 % ya que en caso contrario hay que compensarlo con mayor cantidad de muestras.

1.4.- Observación

Si la señal de entrada es de **muy alta frecuencia**, la señal que se obtiene de muestra es de **baja frecuencia** ya que la muestra se puede tomar ciclo por ciclo o cada 2, 3, o más ciclos. A cada valor de muestra le corresponde una fase, por lo tanto, la tensión que hay que aplicar al Horizontal para visualizar las muestras NO será una Rampa o Diente de Sierra sino una Escalera.

Para cada valor muestreado que va al Amp.VERT. o a deflexión Vertical, el haz debe pegar un Salto en forma Horizontal, o sea que a los canales verticales y horizontales se envían señales continuas.

La señal escalera es usada como señal de deflexión horizontal, debido a que su valor es proporcional al tiempo de ocurrencia de la porción muestreada de la forma de onda en estudio. Si el incremento del tiempo correspondiente a un paso o escalón es pequeño el display aparece continuo de la misma forma que un display chopeado en traza doble.

Si se desea resolución elevada o sea mayor cantidad de puntos de la señal aparece el problema del parpadeo de la imagen.

1.5.- Circuitería de un Osciloscopio con Muestreo

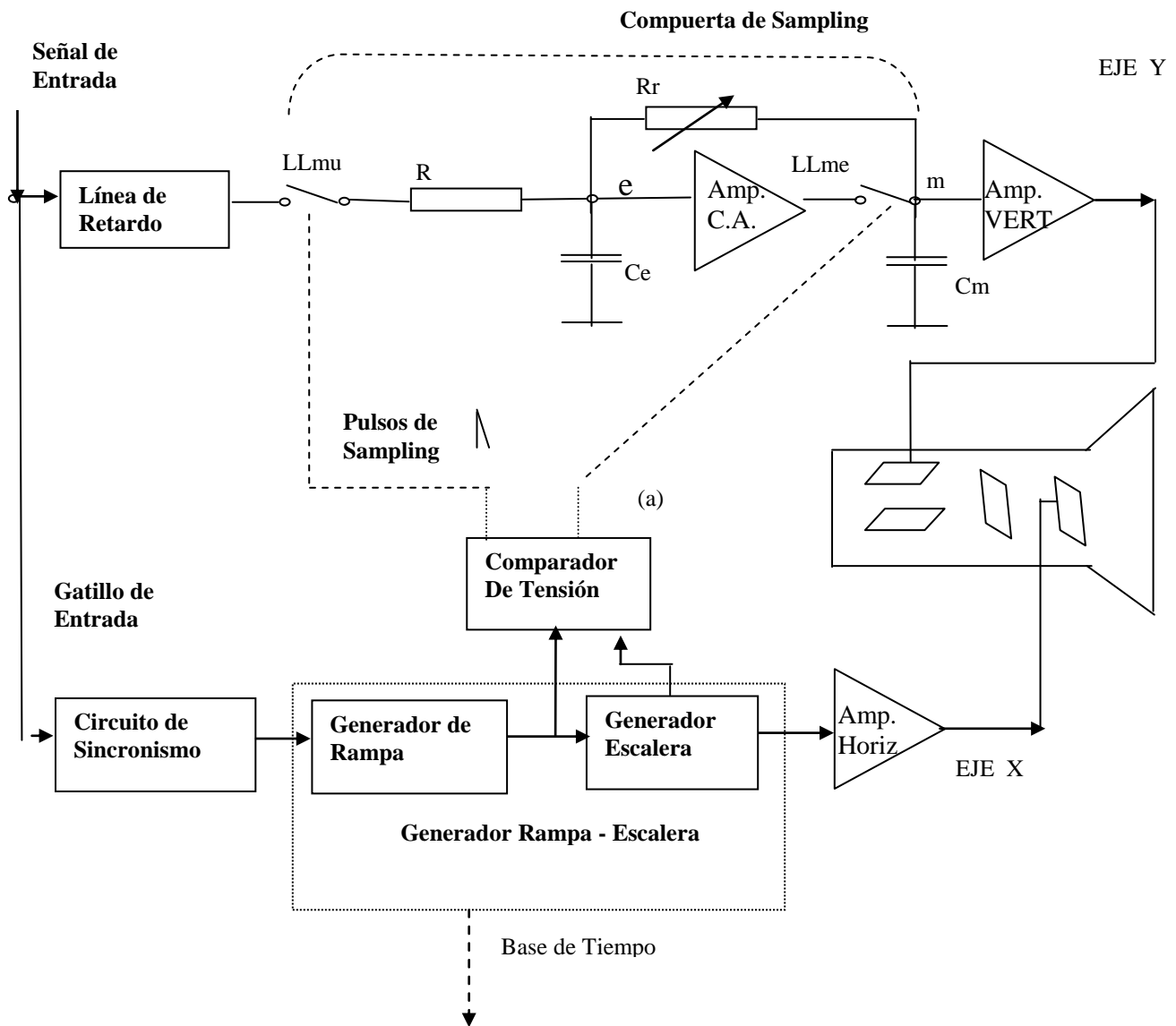
La circuitería especial de un Osciloscopio de Sampling consiste en circuitos de muestreo - retención y de sincronización. Los requerimientos del TRC, Amplificadores Verticales y Horizontales son idénticos a los Osciloscopios convencionales o de canales Verticales múltiples, vistos como son los casos del Leader de 20 MHz o del Tektronix 465, por lo que se pondrá **atención particular en las diferencias**.

1.6. Base de Tiempo

La Base de Tiempo de un Osciloscopio de Muestreo, y por consiguiente de un Osciloscopio con Almacenamiento o Memoria, difiere mucho de un Osciloscopio Convencional.

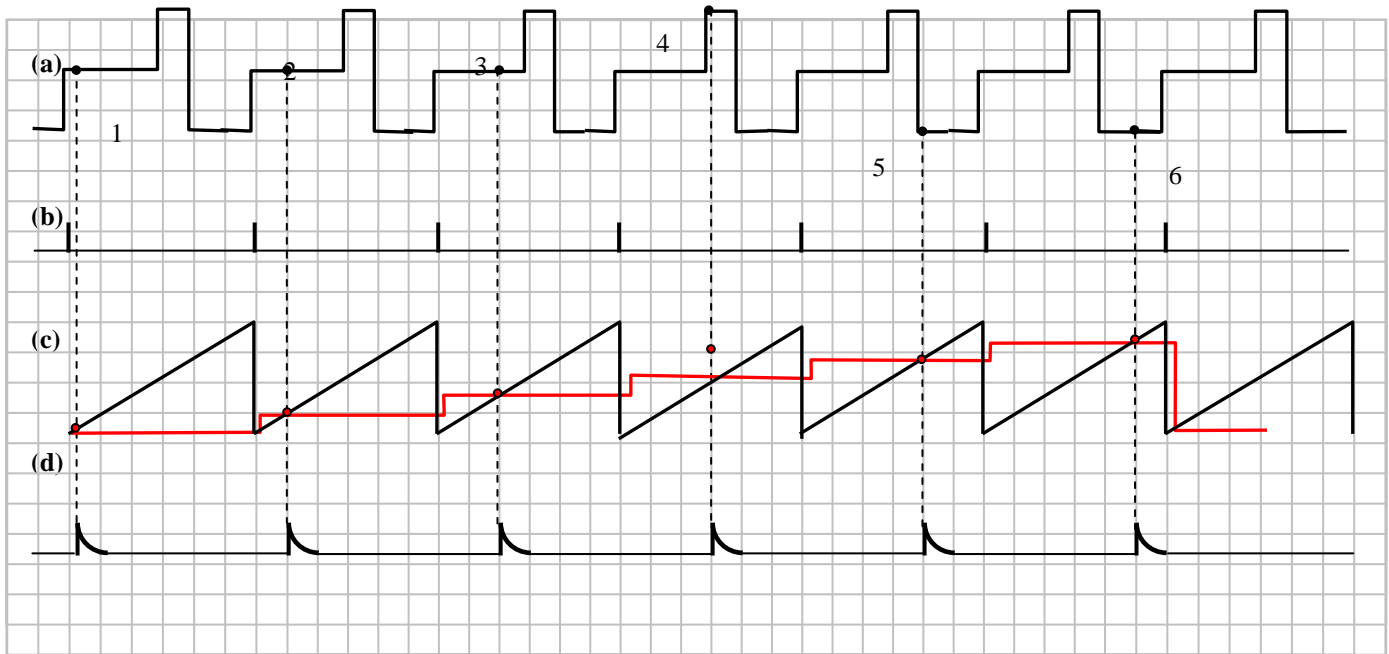
La función de la BT de Muestreo no es solo la de mover el punto a través de la pantalla en incrementos uniformes de tiempo, sino también la de generar un Gatillado o Disparo de comando de muestreo para los circuitos verticales.

Figura c) Osciloscopio de Muestreo con BT Equivalente



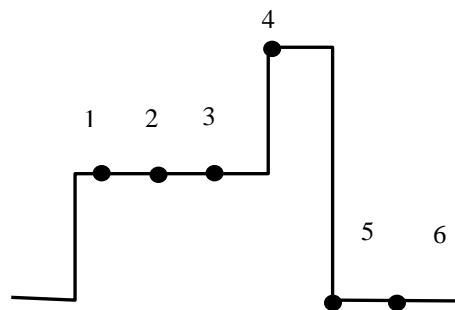
" Este sistema de Base de Tiempo se utiliza para evitar que la muestra de señal se haga siempre en la misma fase ya que hay una relación fija entre pulso de disparo y el de muestreo. Es equivalente a la Base Demorada ya que se hace una demora ajustable en el canal H y se puede tomar muestras en distintas fases del ciclo de la señal o sea que el pulso de muestreo está demorado con respecto al pulso de disparo. "

Figura d) Representación en el Tiempo del Proceso de Muestreo



- Referencias :
- (a) Señal de Entrada
 - (b) Pulso de Sincronismo
 - (c) Rampa Rápida y Escalera
 - (d) Pulso de Muestreo . El Pulso de Muestreo está demorado con respecto al Pulso de Disparo (es equivalente a un Osciloscopio con BT demorada).
 - (e) 1,2,3,4,5,6 Muestras de la Señal de Entrada

Figura e) Presentación en Pantalla de Osciloscopio de la señal muestreada



El Circuito de Sincronismo determina el Régimen de Muestreo y establece un punto de referencia en el tiempo respecto de la señal. La BT genera una Rampa a partir del pulso de disparo que sale del Circuito de Sincronismo y una Escalera que avanza un escalón por muestra al final de cada rampa.

Cuando se produce coincidencia entre la tensión rampa y la tensión escalera se genera una señal de comando para las llaves de muestreo y memoria. El Amplificador Horizontal lleva su señal al nivel necesario para producir la deflexión horizontal del haz en el TRC.

La particularidad de un Osciloscopio de Muestreo es que la señal escalera también es usada para la deflexión del haz horizontalmente, debido a que su valor es proporcional al tiempo de ocurrencia de la posición muestreada de la forma de onda en estudio. Si el incremento de tiempo correspondiente a un paso o escalón es pequeño, el display aparece continuo en la misma forma que un display chopeado en trazo doble.

El Generador de BT, igual que un Osciloscopio convencional, posiciona el haz horizontalmente, pero manteniendo su posición hasta la llegada de una nueva muestra. El haz es entonces reposicionado a un punto ligeramente desplazado en el tiempo sobre el TRC, donde nuevamente se mantiene hasta la próxima muestra, por esta razón es que la Base de Tiempo (BT) se llama Generador Rampa-Escalera.

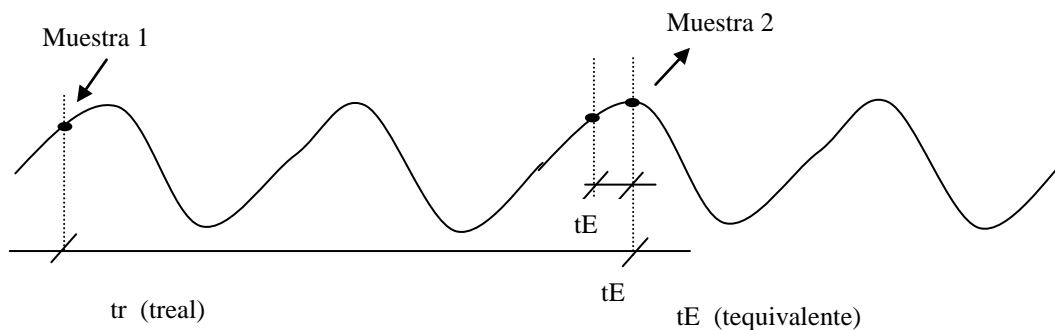
1.7.- Eficiencia de Muestreo

La Eficiencia de Muestreo está dada por la relación entre la tensión de muestreo y el valor de la tensión de la señal en el instante del cierre de la compuerta LLmu.

$$\text{Eficiencia de Muestreo} = \frac{\text{Tensión de muestreo}}{\text{Tensión de señal}} = \frac{V_m}{V_{ent}} = \eta$$

$$\eta = \frac{V_m}{V_{ent}} = \frac{0,05}{1} = 5\% \quad \text{para el caso del Ejemplo inicial}$$

1.8.- Tiempo Real y Tiempo Equivalente

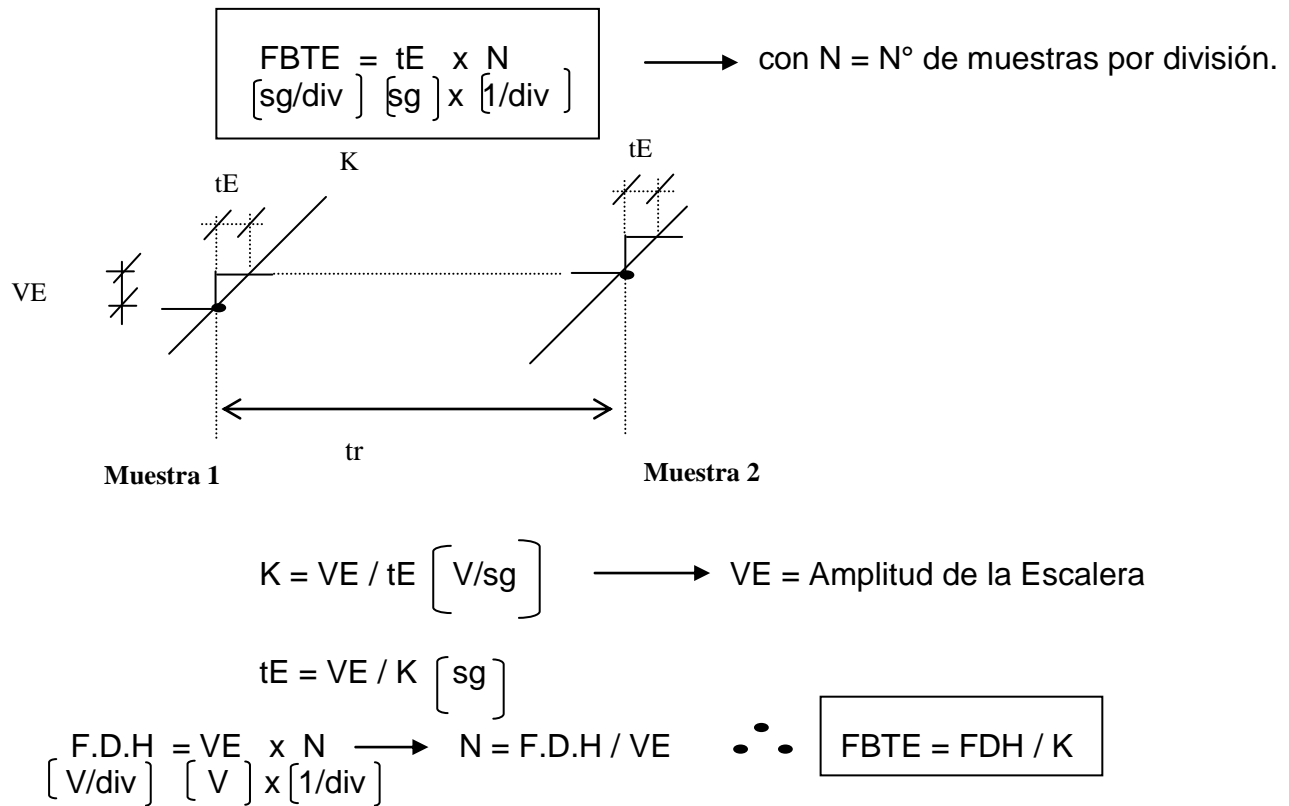


t_r = tiempo real o físico que transcurre entre una muestra y otra t_E = equivalente

En la pantalla aparecen las muestras 1 y 2 separadas un tiempo t_E . Esta es la razón por la que la BT se calibra en $t_{Equivalente}$.

El haz de electrones no varía con una velocidad dada por el t_E , sino que hay que considerar que el haz estuvo estático durante un cierto lapso de tiempo.

El Factor de BT Equivalente es FBTE:



El FBTE se modifica variando K, es independiente de N y de VE puesto que FDH es constante.

N se puede modificar variando VE, por lo tanto, la Amplitud de la Escalera es Variable y modifica el número de muestras por división con FDH constante

1.9.- Puerta de Muestreo o Cabeza de Muestreo (Sampling Head)

El circuito destinado a producir la compuerta de muestreo se denomina Cabeza de Muestreo.

La Figura f) muestra una Sección de Línea de Demora con Interruptores insertados en los puntos A y C.

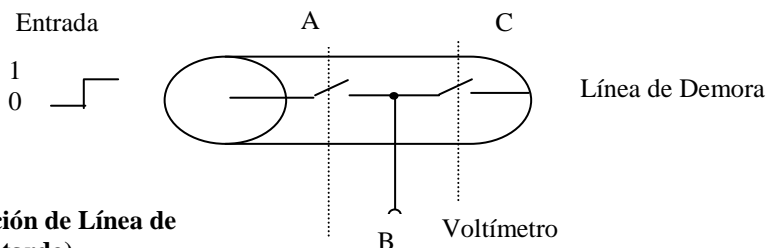


Figura f) Sección de Línea de Demora (o Retardo)

- Un Voltímetro que no carga, colocado en el punto B, mide el promedio del voltaje entre los interruptores cuando la sección interruptora está abierta
- Cuando el Escalón a propagarse en la línea está en A , cuando ambos interruptores están

abiertos, se observa 0 V en B.

- Si los interruptores A y C se cierran, en un tiempo posterior, se observa en B que cuando el frente de onda llega a C el Voltímetro indica 1 V.
Por lo tanto si el Escalón está a la entrada del interruptor A observamos 0 V y si el Escalón está saliendo en el punto C observamos 1 V.
- El Rise Time (T_r = tiempo de crecimiento) del sistema 0 - 100 % es determinado por la longitud de la sección interruptora A - C . Como la línea tiene capacitancia y voltaje, tenemos efectivamente "atrapada" una cantidad de carga $Q = C \times E$

Si aplicamos este concepto al modelo de la Fig. g) podemos notar algunas cuestiones importantes.

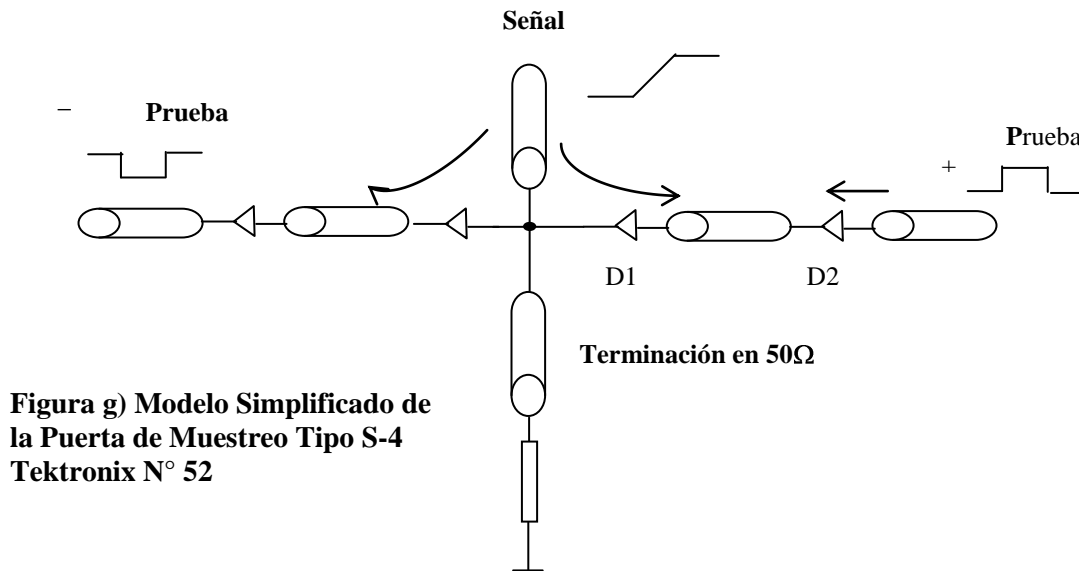


Figura g) Modelo Simplificado de la Puerta de Muestreo Tipo S-4 Tektronix N° 52

Los Diodos reemplazan a los interruptores y en lugar de abrir los interruptores simultáneamente colocamos o cambiamos los diodos al estado OFF uno después del otro. Es un sistema balanceado y, por lo tanto, analizaremos la mitad.

La ventaja principal del Pulso de Prueba es activar los diodos y la Señal se propaga a través de los diodos que están conduciendo y la línea de transmisión. Los diodos continúan en estado ON durante la duración del Pulso de Prueba, siendo cambiado a OFF por el frente de arrastre de la forma de onda. El Pulso de Prueba está diseñado para ser más largo que el tiempo de transición entre los diodos:

$$t_{ON - OFF \text{ diodo}} < t_s < t_{señal}$$

La acción de la puerta comienza cuando el frente de arrastre del Pulso de Prueba pone al diodo D2 en OFF. En el mismo tiempo, se supone que entra un frente de señal a través del diodo D1 haciéndolo conducir. Cuando el frente llega a D2, él está OFF debido a que el Pulso de Prueba llegó antes que el frente de Señal. El frente de Señal se refleja y alcanza D1 el cual está ahora OFF debido a que el frente de arrastre del Pulso de Prueba ha precedido al frente de Señal. De este modo, el frente de Señal ha sido efectivamente atrapado en la línea de transmisión entre los dos diodos.

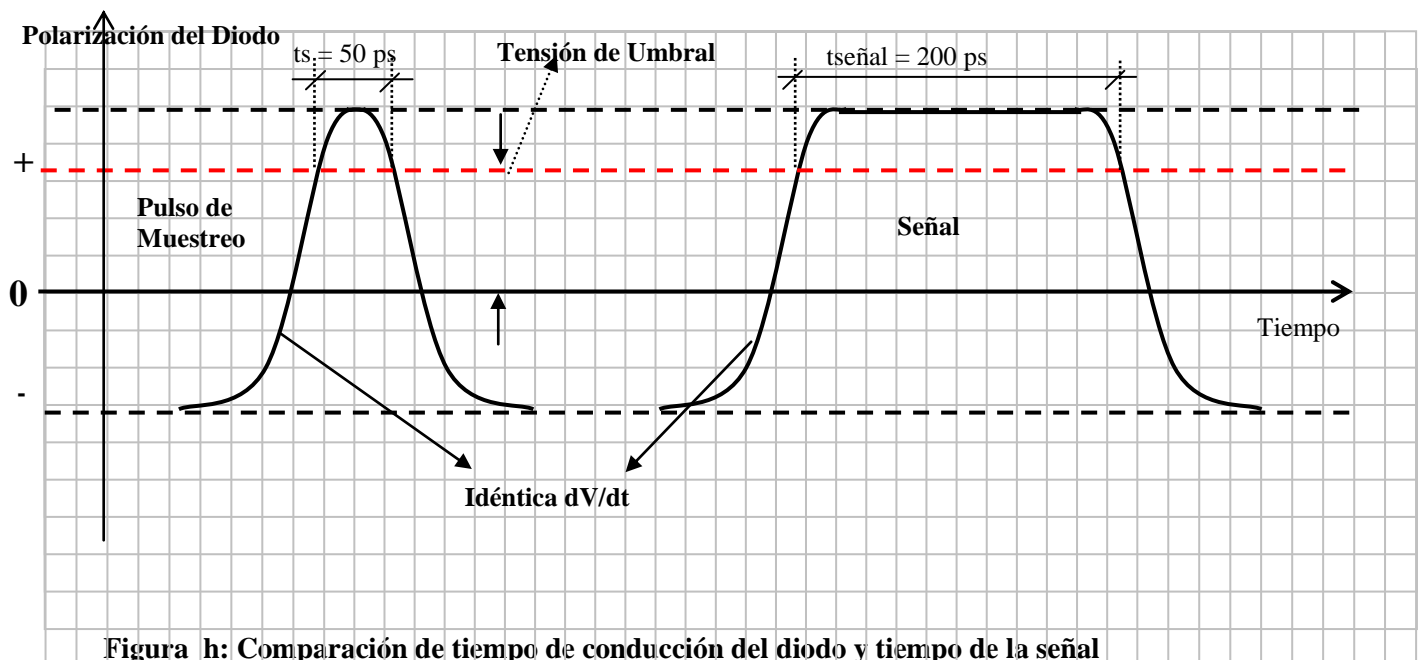
Observaciones:

- 1.- Solamente se requiere de una **transición** para la acción de puerta. La acción de gate ocurre desde la condición de Total Conducción a la condición de No Conducción Total.
Usando una transición ofrece importantes posibilidades de reducción del ruido.
- 2.- El Tr del sistema **no depende** del ancho del Pulso de Prueba.
- 3.- El tiempo de propagación entre los diodos en este sistema, 8 psg, es mucho menor que el período de prueba de aproximadamente 200 psg,
- 4.- Debido a que los diodos usados comúnmente pueden ser cambiados a OFF en 5 - 10 psg, ellos no presentan una limitación significativa al Tr. t_s = tiempo de conducción del diodo
- 5.- La puerta de muestreo convencional hace que el diodo deba pasar de la condición de OFF total, cambiando a ON Total y retornando a la condición de OFF total. El tiempo entre las dos condiciones de OFF total, t_s , es el ancho del pulso de prueba y determina el Tr del sistema.

En la puerta del ejemplo, los diodos están totalmente ON cuando comienza la acción de Puerta y solamente es necesario una transición.

La Punta de Prueba convencional para una puerta de muestreo rápida es muy estrecha (angosta) debido a que el ancho del pulso de prueba determina el Tr del sistema.

El tipo S-4 usa prueba amplia y minimiza los problemas inherentes a generadores de prueba estrecho.



1.10.- Muestreo Irregular (Incoherente)

La mayor ventaja de la técnica de muestreo es que solo la cabeza de muestreo debe trabajar a velocidades muy elevadas de la señal a medir mientras que el resto del circuito puede trabajar a velocidades relativamente bajas. Sin embargo, los retardos de los circuitos de Base de Tiempo tienen que ser compensados a fin de poder observar la parte delantera de la señal.

Esto requiere, entonces, una Línea de Retardo en el paso de la señal al vertical del Osciloscopio. La misma debe estar delante de la compuerta de muestreo en contraste con los Osciloscopios convencionales que pueden estar en cualquier lugar del Amplificador Vertical.

Si la Línea de Retardo se inserta en el paso de la señal, debe transmitir todo el ancho de banda de la señal. Este método se encuentra a menudo en las unidades de muestreo que tiene un **gatillado interno**.

Un método diferente, el muestreo irregular o aleatorio anula completamente la línea de retardo. Las ventajas con este método son varias:

- Se elimina la línea de retardo de baja impedancia de entrada ($50\ \Omega$), y con ello las limitaciones de ancho de banda y la distorsión inherente, se puede reducir el temblequeo (jitter) respecto de los sistemas gatillados.
- En contraposición con estas ventajas está el echo de que se requiere un régimen de repetición de muestreo relativamente alto para poder obtener una muestra adecuada en un intervalo de tiempo dado para la presentación de la imagen. Esta desventaja se reduce si se utiliza una cámara fotográfica, como se empleaba originalmente, o un TRC de almacenamiento en pantalla o un Osciloscopio con Almacenamiento Digital.

La Operación de muestreo irregular se realiza en dos etapas

- El primer paso consiste en desarrollar una distribución de muestreo útil, con una elevada densidad de muestras durante el tiempo en que la señal es esperada y con baja densidad para el resto del tiempo. Luego se derivan dos señales analógicas, **ex** y **ey**, para representar las coordenadas (X , Y) para una muestra en particular.
- La coordenada Y (o vertical) se obtiene por el mismo proceso de muestra y retención utilizado en osciloscopios de muestreo convencional como el visto hasta ahora.
- La coordenada X (u horizontal) se obtiene de la manera indicada en la **Figura I** donde se ilustran 5 muestras ubicadas al azar. Cada una de estas muestras ha sido tomada en repeticiones sucesivas de la señal.
- La componente de Y, **ey**, de la primera muestra se mantiene y se la utiliza subsecuentemente para posicionar verticalmente el punto en el TRC.
- Luego se retarda en un tiempo τ al comando de muestreo que debe obtener la primera muestra.
- Este comando de muestreo retardado $1''$ es utilizado para muestrear una rampa temporizadora que se inició por el gatillado a **t₀**,. La muestra resultante **ex**, se mantiene y luego se utiliza para posicionar el punto horizontalmente en el TRC.

Mediante la repetición de este proceso, se obtienen subsecuentemente muestras para posicionar horizontal y verticalmente de un punto a otro el haz sobre el TRC y construir así la imagen de la señal durante el tiempo de apertura (ventana). Se observa que, si se incrementa τ , se obtendrá un mayor adelanto en la imagen. Tal incremento de τ requiere un defasaje de tiempo en la distribución del muestreo a un punto anterior en el tiempo a fin de recoger muestras útiles para la presentación de la imagen.

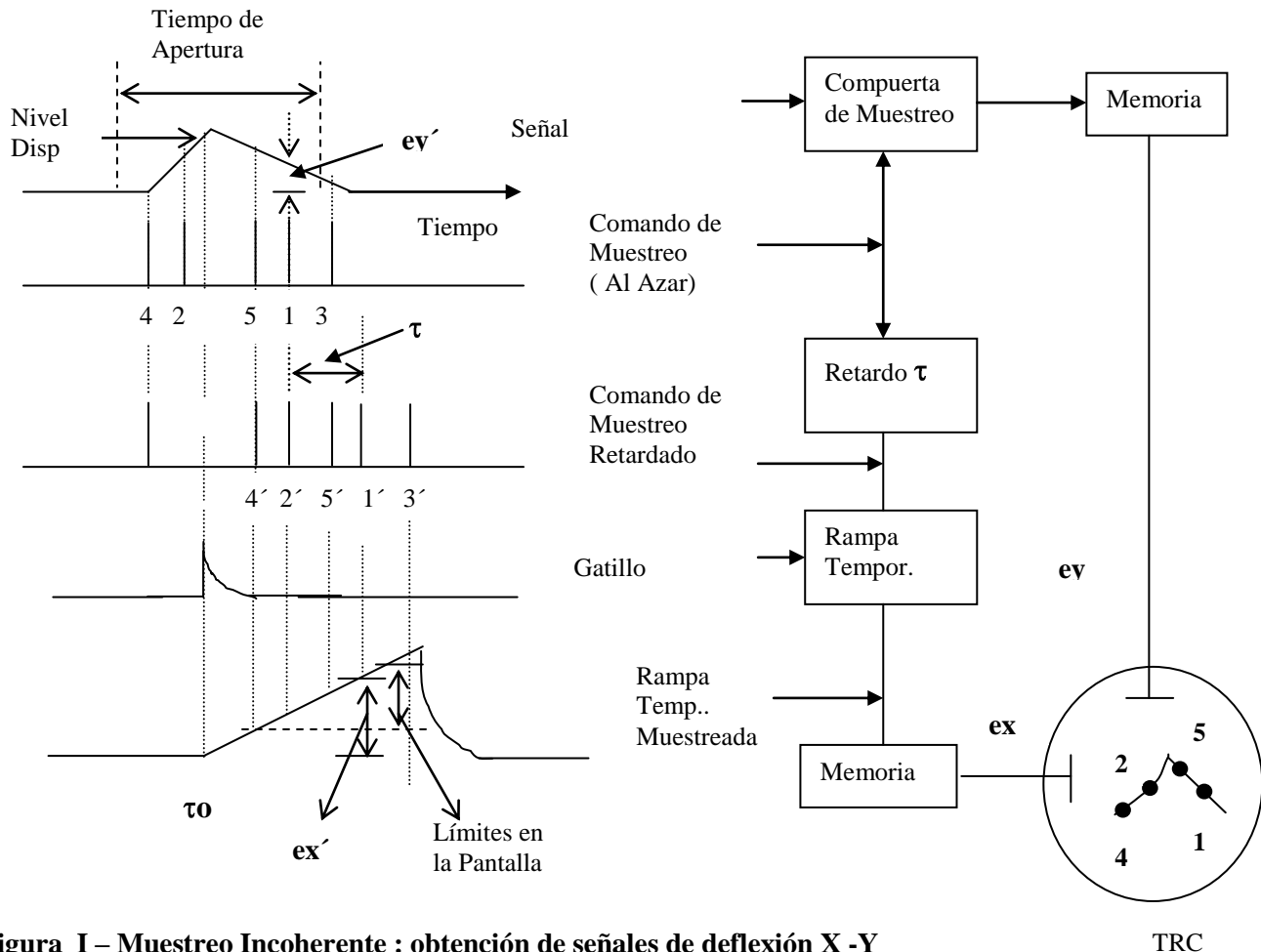


Figura I – Muestreo Incoherente : obtención de señales de deflexión X -Y

1.11.- Tipos de Muestreo

En los Osciloscopios de Almacenamiento Digital (OAD-DSO) se utilizan técnicas de muestreos conocidas como Muestreo en Tiempo Real y Muestro en Tiempo Equivalente.

Las técnicas de muestreo explican como hacen los osciloscopios digitales para reunir los punto de muestreo para reproducir una señal. Para señales de lenta variación, los osciloscopios digitales pueden reunir más puntos de los necesarios para reconstruir posteriormente la señal en la pantalla.

No obstante, para señales rápidas (la rapidez dependerá de la máxima velocidad de muestreo del instrumento) el osciloscopio no puede recoger muestras suficientes y debe recurrir a una de las dos técnicas siguientes: **Muestreo en Tiempo Real y Muestreo en tiempo equivalente:**

1.11.1.- Muestreo en Tiempo Real

El método estándar de muestreo en los osciloscopios digitales es el muestreo en tiempo real: el osciloscopio reúne los suficientes puntos como para reconstruir la señal en un único barrido, siendo adecuado para medir señales transitorias o de disparo único. De manera que **para señales no repetitivas ó la parte transitoria de una señal es el único método válido de muestreo.**

El Muestreo en Tiempo Real requiere muy altas velocidades de muestreo (rate – tasas) , se utiliza para capturar (medir) formas de ondas NO REPETITIVAS como pulsos simples. La ventaja de este tipo de OAD (DSO) es que no tiene Línea de Demora, razón por la que reduce el tiempo de establecimiento de la señal.

La mayoría de los OAD (DSO) utilizan tasas de muestreo en tiempo real muy altas, incluso superiores a 500 Ms/seg aunque hay otros más económicos que tienen una tasa de muestreo baja de 10 Ms/sg.

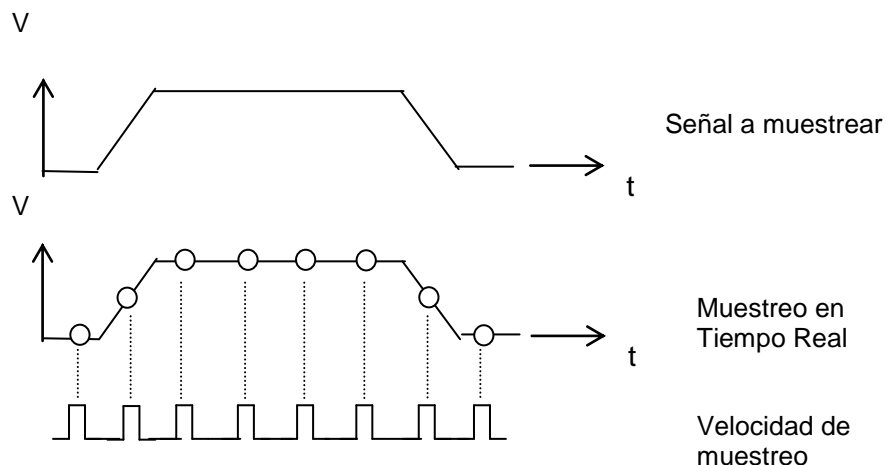


Figura J: Muestreo en tiempo real

El muestreo en tiempo real representa una gran dificultad para los osciloscopios digitales debido a la velocidad de muestreo que se requiere para digitalizar con precisión eventos transitorios de alta frecuencia. Estos eventos ocurren solamente una vez, y deben ser muestreados en el mismo intervalo de tiempo en que ocurren. Si la velocidad de muestreo no es lo suficientemente rápida, las componentes de alta frecuencia pueden "descender" a una frecuencia menor, produciendo **aliasing** en la pantalla. Adicionalmente, el muestreo en tiempo real se complica aún más por las memorias de alta velocidad necesarias para almacenar la forma de onda una vez que se la ha digitalizado. La velocidad de muestreo y longitud de registro, caracterizan con precisión las componentes de alta frecuencia.

1.11.2.- Muestreo en tiempo equivalente

El Muestreo en Tiempo Equivalente se utiliza para medir formas de ondas repetitivas o periódicas. O sea que no ocurren como eventos simples. Algunos osciloscopios digitales

utilizan este tipo de muestreo. Se trata de reconstruir una señal repetitiva capturando una pequeña parte de la señal en cada ciclo. Existen dos tipos básicos:

- M.T. Equivalente
- Aleatorio: el muestreo se realiza constantemente, sin esperar el disparo. Los puntos aparecen aleatoriamente para formar la señal.
 - Secuencial: Espera un cierto tiempo después del disparo para tomar muestras. Los puntos aparecen de izquierda a derecha en secuencia para conformar la señal.

Aunque los resultados visuales son idénticos el muestreo aleatorio permite la detección de glitcher y otros aspectos de la señal antes o después de producirse el disparo.

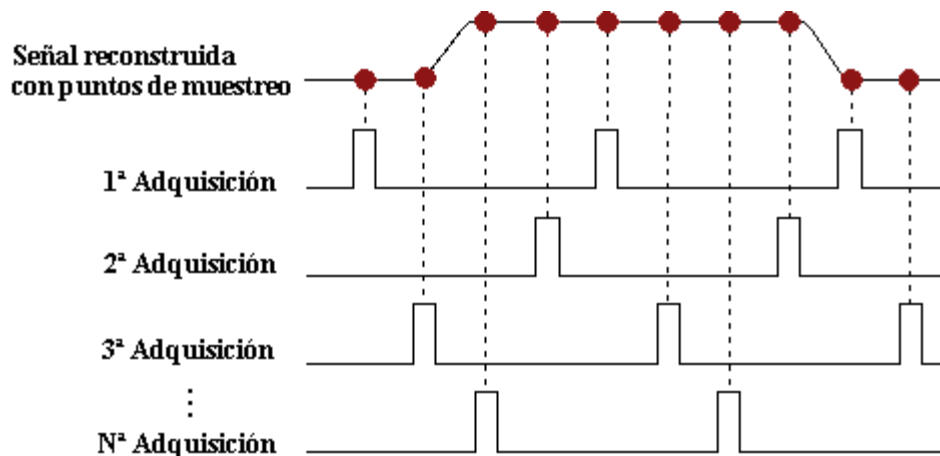


Figura K: Muestreo en tiempo equivalente

Aunque los resultados visuales son idénticos, el muestreo aleatorio permite la detección de glitcher y otros aspectos de la señal antes o después de producirse el disparo, como se mencionó anteriormente.

En el **muestreo aleatorio** el funcionamiento está dado por un reloj interno que produce un tren de pulsos independiente de la señal de entrada y de la señal de disparo. Trabaja de manera asincrónica y las muestras se toman continuamente al margen de la posición del disparo. Luego se representan midiendo la diferencia entre los tiempos de la muestra y de disparo. A pesar que las muestras sean tomadas una continuación de otra, son aleatorias, puesto que no dependen del disparo en función de una ocurrencia o presencia. Esto se conoce como trabajar antes del disparo o mediante un predisparo, por lo tanto no requiere de señales externas de disparo ni de líneas de retardo de acuerdo a la velocidad de la señal bajo prueba.

En el **muestreo secuencial** se toma una muestra de la señal en cada disparo, al margen de la velocidad de barrido, puesto que cuando se **detecta un disparo se toma una muestra**. Esta muestra se toma después de un pequeño tiempo de retardo que se conoce con exactitud δt . Este pequeño tiempo de retardo se agrega al disparo siguiente de manera que

siempre la muestra se produce en un punto diferente y desplazado un tiempo pequeño y controlado, δt , hasta completar el período de muestreo.

Es más simple generar pequeños incrementos de tiempo δt que determinar la posición horizontal y vertical de la muestra respecto al punto de disparo. El muestreo secuencial tiene más resolución y exactitud que el aleatorio. No obstante como la muestra se toma después de detectar un disparo, el punto de disparo no se puede representar sin una línea de retardo adicional o mediante un predisparo externo.

1.11.3.- Interpolación Lineal y Seno

Los osciloscopios utilizan la interpolación para poder visualizar señales con una traza continua. La **interpolación** consiste en hallar un dato dentro de un intervalo en el que conocemos los valores en los extremos.

Para el caso de la aplicar la interpolación en un osciloscopio, la interpolación es una función de estimar un valor entre dos valores medidos de una señal. Existen dos tipos de interpolación: **lineal y seno**.

Interpolación Lineal

Conecta los puntos muestreados con líneas rectas. La interpolación "conecta los puntos" mediante líneas rectas, se aplica a casos de una señal que solamente se ha muestreado unas pocas veces en cada ciclo pueda ser presentada de forma precisa. Al utilizar muestreo en tiempo real con interpolación como presentación o para su visualización, el osciloscopio recoge unos pocos puntos de muestreo de la señal en un solo barrido en modo de tiempo real, y utiliza la interpolación para rellenar los espacios intermedios entre dos puntos próximos entres si. La interpolación es una técnica de procesamiento que se utiliza para estimar el aspecto de la forma de onda, basándonos tan solo en unos pocos puntos.

ón lineal conecta los puntos de las muestras mediante líneas rectas. Este método está limitado a la reconstrucción de señales de flancos rectos, tales como las ondas cuadradas, según se ilustra en la **Figura M-a**.

Sean dos puntos (x_0, y_0) , (x_1, y_1) , de la **Figura L**, la interpolación lineal consiste en hallar una estimación del valor y , para un valor x tal que $x_0 < x < x_1$. Teniendo en cuenta que la ecuación

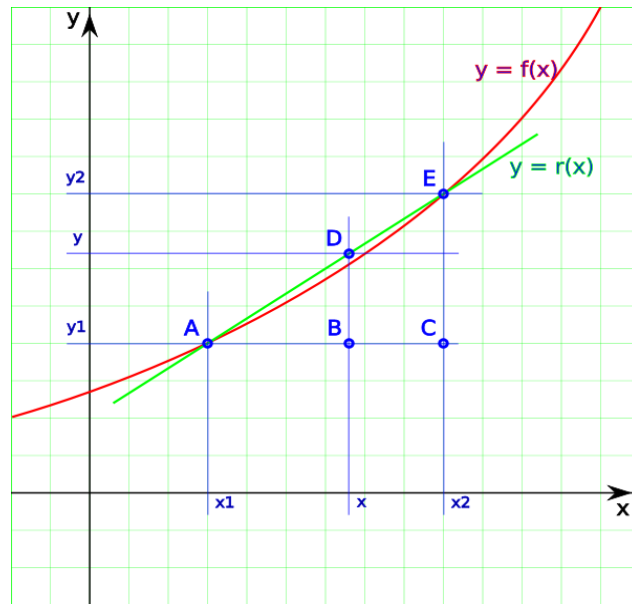
$$y - y_0 = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0)$$

de la recta que pasa por esos dos puntos es:
de la interpolación lineal:

. Obtenemos la fórmula

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0)$$

Figura L



Interpolación Senoidal

Conecta los puntos muestreados con curvas según una expresión matemática de la forma **sen (x)/ x**. De esta forma es posible visualizar señales con mucha precisión disponiendo de pocos puntos de muestreos.

La interpolación **sen (x)/ x** es más versátil que la anterior, conecta los puntos de las muestras mediante curvas, como se muestra en la **Figura M-b**. La interpolación **sen (x)/ x** es un proceso matemático en el que se calculan los puntos que rellenarán el espacio entre las muestras reales. Este tipo de interpolación se presta más a formas de señales curvadas e irregulares, que son más habituales en el mundo real que las formas de ondas cuadradas y los pulsos.

En consecuencia, la interpolación **sen (x)/ x** es el método preferido para aplicaciones donde la velocidad de muestreo es de 3 a 5 veces el ancho de banda del sistema.

De esta forma los puntos intermedios se calculan para rellenar los espacios entre puntos reales de muestreo.

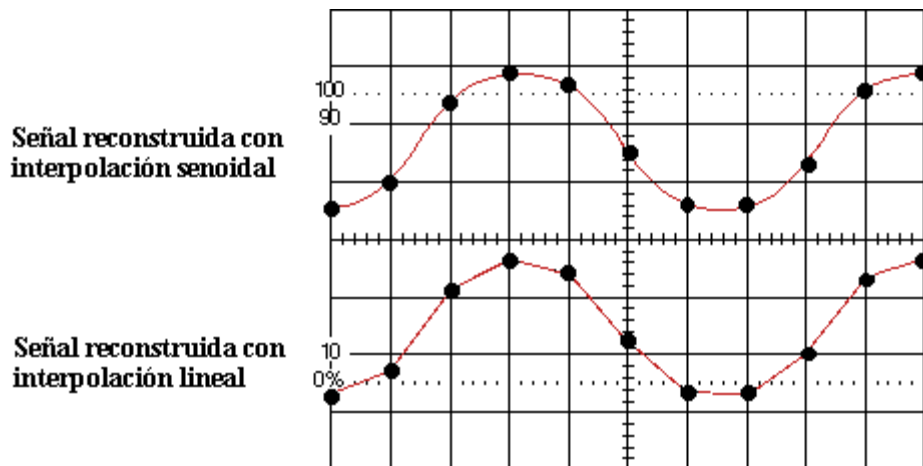


Figura M-b

Figura M-a

Figura M: Tipos de interpolación

2.- OSCILOSCOPIOS DE ALMACENAMIENTO

En un osciloscopio convencional se observan imágenes de señales repetitivas. Pero si el ritmo es a inferior a unas 30 veces por segundo, la imagen parpadea. Por otra parte, si la forma de onda a observar sólo se produce una vez, la observación de su imagen en pantalla del TRC es muy fugaz y no se puede hacer un análisis detallado. Para estudiar en detalle señales de estas características se recurría a la **fotografía de la imagen**, como lo hacían los osciloscopios más avanzados con una antigüedad superior a los 15 años.

El TRC de almacenamiento de imagen, tiene sin embargo, la propiedad de retener la imagen de un trazo único durante una hora o más, después de haberse producido. El osciloscopio de almacenamiento proporciona otras posibilidades respecto de la fotografía, ya que se puede emplear en casi todas las aplicaciones en las que se requiera el estudio detallado de una forma de onda única, **pero no su registro permanente**. Difiere de un Osciloscopio convencional en el TRC de almacenamiento y en lo demás es idéntico.

Dos son las técnicas utilizadas para el almacenamiento en los TRC, **almacenamiento por malla y almacenamiento por fósforo**. Ambos eran costosos por lo que fueron reemplazados por los Osciloscopios de almacenamiento digital actualmente conocidos como DSO, en los cuales el almacenamiento se produce en una memoria digital y no en el tubo de rayos catódicos.

2.1.- Almacenamiento por Fósforo (biestable)

En el tubo de almacenamiento biestable, se utiliza el mismo material para la pantalla de almacenamiento y para el indicador normal, **Figura N**.

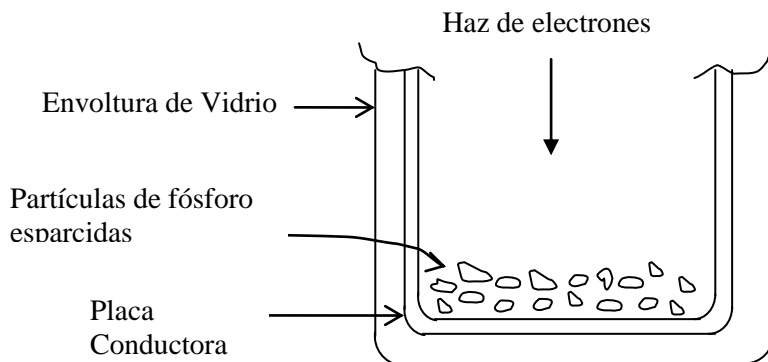


Figura N: Estructura de la pantalla de un TRC de almacenamiento por fósforo

El material utilizado es un fósforo P1, dopado para obtener una buena característica de emisión secundaria. Para que se cumpla esta condición es necesaria que la migración de las partículas cargadas sea eliminada.

Para su obtención, las partículas de fósforo esparcidas, deben ser levemente depositadas de manera que su superficie no sea eléctricamente continua.

La capa debe ser de un espesor mayor que una partícula, lo que permite obtener una visión del fósforo como si fuese de naturaleza continua, pero existe un espesor por encima del cual el almacenamiento se hace imposible.

El electrodo de control para un fósforo biestable es **la placa conductora**, un fino metal depositado en la superficie interior, antes de haber sido depositado el fósforo. Un amplio rango de tensión para este electrodo (cerca de 100 a 200 Voltios), da una característica de almacenamiento estable, tensiones mayores de 100 V borrarán uniformemente la pantalla, y tensiones por encima de los 200V excitarán uniformemente la pantalla.

La naturaleza biestable del almacenamiento en el fósforo significa que el trazo está, ya sea almacenado o no. Es por ello que no se puede obtener medios tonos. El tubo biestable ha sido fabricado con pantalla partida mediante el depósito de dos placas conductoras independientes, una cubriendo la mitad superior y la otra la inferior. Si se opera la placa superior con $\approx 150V$ para los cañones de inundación y con $\approx 50V$ la mitad inferior, la mitad superior estará almacenando y la mitad inferior en condición normal. Para borrar la imagen se aplica un potencial negativo al electrodo de control.

2.2.- Osciloscopio digital

Retiene y cuantifica señales que varían en el tiempo para su posterior análisis. Permite además la comparación de señales previamente almacenadas con otras de tiempo real.

Las señales son digitalizadas y almacenadas físicamente en una memoria digital, lo cual posibilita el estudio detallado de la señal mediante un análisis punto a punto, pudiéndose expandir o contraer la señal para analizar solo parte de la misma.

No existe limitación en cuanto al tiempo de almacenamiento y el costo en relación con Osciloscopio de Almacenamiento en Pantalla es muy inferior.

Además la cuantificación de señales o digitalización permite efectuar operaciones de controles a través de interfaces como las Normas IEEE488, IEC625 bus, etc y a ejecutar ordenes o instrucciones por teclado del mismo instrumento o por intermedio de una Computadora tipo PC si está formando parte de un Sistema de Mediciones Automáticas (SMAT) junto con otros instrumentos que reconocen las normas de comunicación mencionadas: voltímetros, frecuencímetros, analizador de espectro, Osciloscopio, Generadores, vatímetros, etc.

La limitación del Osciloscopio Digital es el Ancho de Banda condicionado por los convertidores A/D, y Memoria pero a medida que se desarrollan estos elementos aumenta el Ancho de Banda (AB) utilizado y más aún si se combina con las técnicas de muestreo.

Hay Osciloscopios Digitales de con AB de 10 MHz por muestreo en Tiempo Real y hasta 400 MHz por medio de las Técnicas de Muestreo Aleatorio o en "no Tiempo Real para ondas repetitivas", pueden llegar hasta los 18-20 GHz o más combinados con Sampling apropiado.

En la **Figura O)** siguiente, el Osciloscopio con Memoria Digital tiene una cadena básica para el tratamiento de la señal compuesta por un Atenuador, Un elemento de Muestreo y Retención (Sampling and Hold), Conversor Analógico/ Digital, y la Memoria utilizada para almacenar la señal digitalizada. Además hay un Conversor Digital/ Analógico y un Filtro Pasa Bajo que junto con los datos almacenados en la memoria reproducen la señal grabada.

La actuación y control de estos elementos es realizada por un Microprocesador con un firmware apropiado, en el que está grabado el programa de funcionamiento interno de los diferentes elementos que conforman el Osciloscopio con Memoria digital (hardware) y de programación operativa del instrumento por parte del usuario en lo referente a las prestaciones o aplicaciones que se pueden seleccionar , así como la comunicación con otros instrumentos si están conectados vía una PC controladora de un Sistema SMAT.

“A título de ejemplo elemental, puesto que las configuraciones actuales son muy superiores, la sincronización de toda la cadena básica proviene de la señal de un reloj de 1 MHz, u otro valor, que se divide por el período de trabajo de cada parte del sistema según la lógica de control , para permitir el comando de la memoria por intermedio de su propia lógica de control, con la que se grabará la señal digitalizada enviada por el CA/ D.

Si el contador es un módulo de 80 pulsos u otro valor, 6 pulsos habilitan el comando de la memoria en su lógica de control asociada, con lo que se grabará la señal digital enviada por el CA/ D.

Al mismo tiempo el elemento de Muestreo y retención toma una nueva muestra de la señal analógica y repite el proceso.

En los 74 pulsos restantes el generador de direcciones avanza una dirección en memoria y el CA/ D hace una nueva conversión. Cuando el generador de direcciones llega a la dirección 255 genera una señal a través del decodificador, inhabilitando el reloj, dando por concluido el proceso de grabación.”

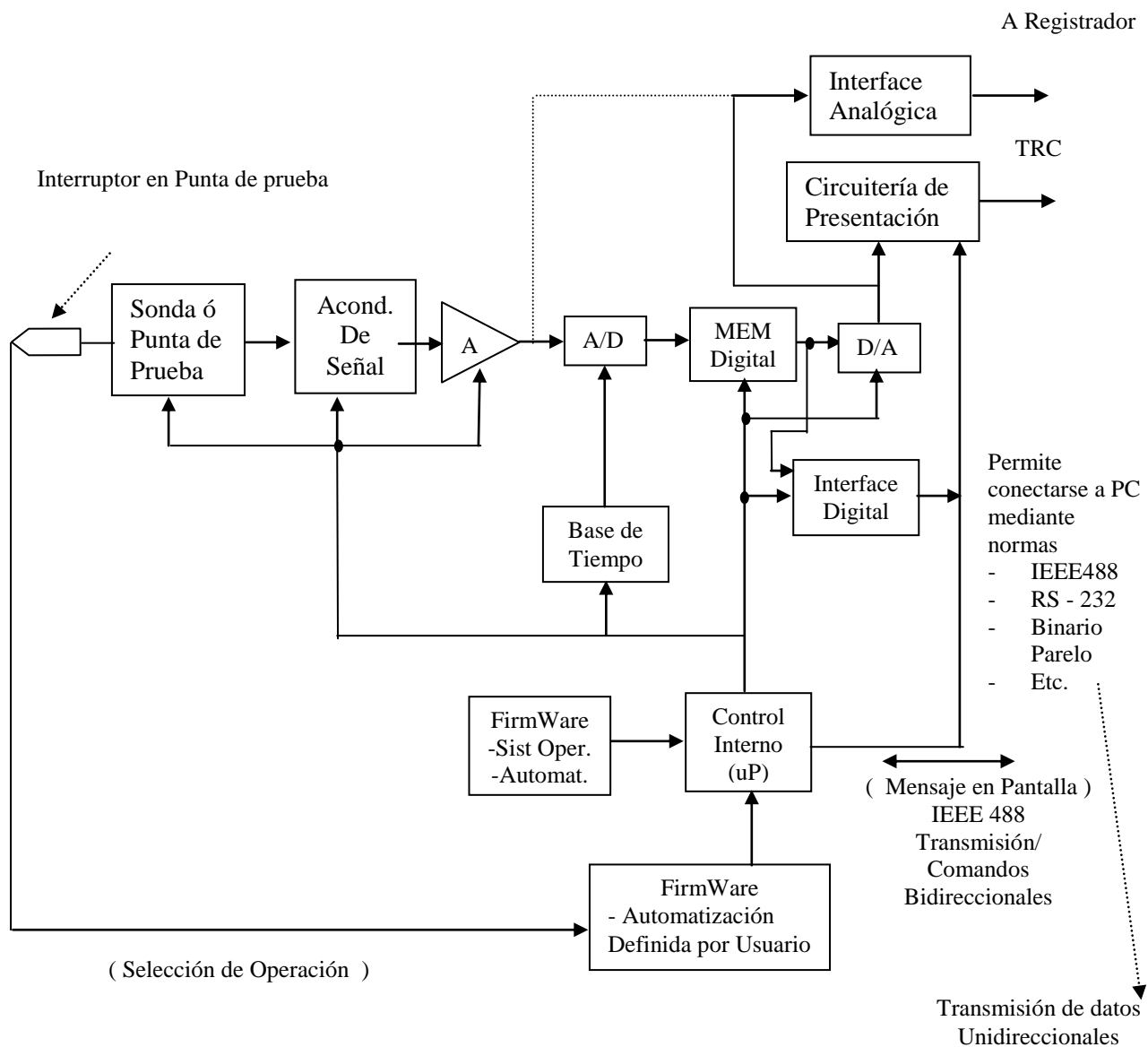


Figura O: Diagrama de Bloque de un Osciloscopio Digital

Convertidor CA/ D:

Por aplicación del teorema del muestreo, para que una señal pueda ser reconstruida a partir de sus muestras, la frecuencia de muestreo debe ser por lo menos igual o mayor que el doble de la frecuencia de la señal a muestrear ($f_m = f_{entrada} \times 2$).

El sistema tiene un ciclo de trabajo fundamental, luego de tratar la señal de entrada toma una muestra de la misma, la convierte a digital y la almacena en la memoria.

De manera que cuanto más rápido sea este ciclo, mayor será la frecuencia admisible de la señal de entrada, lo cual lleva a fijar la atención en el CA/ D y en la memoria en cuanto al tiempo de acceso de la misma.

Hay varios métodos de conversión Analógico / Digital, como ser de comparación en paralelo, de aproximaciones sucesivas o generadores de rampa. El más rápido es el primero pero requiere de elevado número de comparadores y le sigue el de aproximaciones sucesivas.

El convertidor entrega a la salida una palabra digital que representa un cierto escalón de tensión a un nivel dado. El error de la conversión mejora cuando mayor sea la cantidad de escalones en que se divide la señal de entrada. Este es el llamado error de cuantificación que viene dado por $e^2 = S^2/12$ donde S es el escalón más alto medidos en Voltios y 12 es la resolución en bits de la CA/D que como ejemplo se toma este valor.

De manera que el CA/D se mide en bits y es un parámetro que da la resolución del conversor A/D del osciloscopio digital.

Indica con cuanta precisión puede discernir entre valores ligeramente diferentes en las magnitudes de los mismos. También se puede decir que indica con que precisión se convierten las señales de entrada en valores digitales almacenados en la memoria.

El CA/ D determina la velocidad de muestreo de la señal y por lo tanto el Ancho de Banda de almacenamiento del ORC y su amplitud en bits limita la resolución o diferencia de niveles 8,10,12 bits, etc.

Un convertidor A/ D para discriminación de tensión tiene una resolución de **n bits** o **2^n** niveles capaces de ser discriminados sobre la banda a fondo de escala. A mayor velocidad y mayor Resolución mayor será la gama de señales que puede procesar.

Si el CA/ D es de 8 bits (longitud de palabra) se tendrá una resolución o diferencia de niveles de $1/256 = 1/2^8$ que es equivalente a decir que se tendrá en la pantalla 2^n posiciones = 256 posiciones diferentes en memoria.

De manera que por cada muestreo de la entrada se puede tener cualquiera de las 256 posiciones verticales o puntos particulares.

Para estar en condiciones de formular el ejemplo dado a continuación, se considera que:

MSB - Bit de mayor peso

LSB - Bit de menor peso

FSR - Tensión de Fondo de Escala.

Ejemplo:

| CA/D | Señal (FSR) | Mínima Magnitud Significativa (LSB) | |
|---------------|-------------|---|---|
| 8 bits | 10 V | $1/2^8 \rightarrow 1/256 \times 10 = 40 \text{ mV}$ | → Cualquier magnitud inferior a esta no podrá ser representada. |
| N bits | | $1/2^N \times \text{FSR}$ | → 2^N números diferentes o posiciones diferentes en memoria |
| 12 bits | 10V | $1/2^{12} = 0,000244$ $0,000244 \times 10 = 2,44 \text{ mV}$ | → mínima señal que se puede reproducir |
| 8 bits | 1000V | $1/2^8 \rightarrow 1/256 \times 1000 = 4V$ | |
| 16 bits | 1000V | $1/2^{16} \rightarrow 1/65536 \times 1000 = 15\text{mV}$ | |

Error de Cuantificación: $1/2^N \times V$. Fondo de Escala = LSB

De manera que el CA/ D debe combinar alta velocidad de conversión con elevada longitud de palabra y, al margen de su costo, se debe llegar a una solución de compromiso.

El CA/ D necesita una BT precisa, de manera que se produzca una mínima degradación del tiempo de presentación.

El control del tiempo de muestreo incide directamente en el PERIODO (tiempo), indirectamente en la AMPLITUD, ya que fluctuaciones en el control de intervalo de decisión de niveles discretos del CA/ D pueden producir que éste tome una decisión errónea de nivel a digitalizar, y por lo tanto el cálculo erróneo del valor de la señal en ese instante de tiempo. Por esta razón los fabricantes presentan la velocidad de digitalización como: frecuencia de muestreo, muestras por segundos de la señal, número de bits de datos almacenados en un segundo o como tiempo de muestra en un punto dado.

Memoria Digital

Este bloque es el encargado de almacenar las palabras digitales que entrega el CA/ D para su posterior lectura en la reproducción.

Cuanto mayor es la capacidad de memoria, mayor sería el tiempo de grabación de la señal de entrada, lo que trae aparejado un aumento de los integrados de memoria y los circuitos de control (o por lo menos un aumento en la complejidad de la circuitería al margen de los costos).

Debido a que la limitación de velocidad lo da el CA/D se pueden adoptar memorias de tecnología MOS para reducir el consumo y estáticas para evitar los circuitos de refrescos.

Indica cuantos puntos se memorizan en un registro para la reconstrucción de la forma de onda. Algunos osciloscopios permiten variar, dentro de ciertos límites, este parámetro. La máxima longitud del registro depende del tamaño de la memoria de que disponga el osciloscopio. Una longitud del registro grande permite realizar zooms sobre detalles en la forma de onda de forma muy rápida (los datos ya han sido almacenados), sin embargo esta ventaja es a costa de consumir más tiempo en muestrear la señal completa.

Limita el Ancho de Banda y la resolución horizontal que debe ser igual a la longitud de palabra del CA/ D. La memoria RAM debe almacenar idéntica palabra digital que la entregada por el CA/ D.

Por lo tanto una RAM de 512 x 8 debe tener igual palabra digital que el CA/D.

CA/D → 8 bits → $2^n = 2^8 = 256$ POSICIONES VERTICALES.
Resolución
en bits del
CA/D

Por cada muestreo de la entrada se debe tener cualquiera de las 256 posiciones verticales o puntos particulares

Una memoria de acceso lento produce una limitación en el ancho de banda de la señal a medir.

Si el Tiempo de Acceso a una RAM es de 200nsg la velocidad o frecuencia a guardar información en ella no supera los 5 MHZ → $1/200\text{nsg} = 5 \text{ MHZ}$.

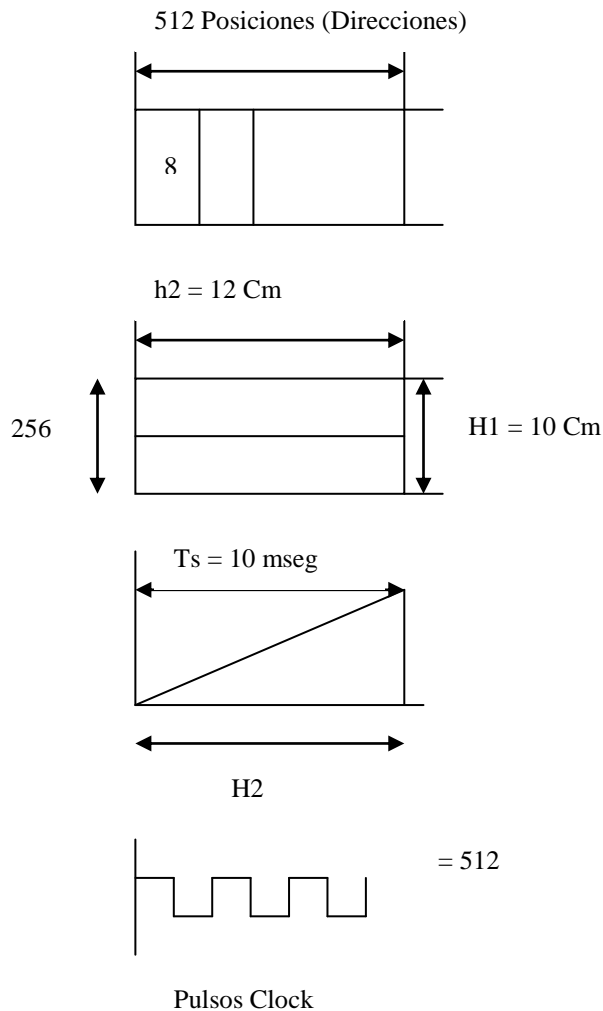
Otro factor a tener presente es la resolución en tensión de puntos de la señal capaces de ser determinados. De nada sirve un CA/ D preciso con una Base de Tiempo precisa, capaces de discriminar una gran cantidad de diferentes niveles, si no se pueden almacenar todos y cada uno de ellos. Por lo tanto la cantidad de memoria disponible en términos de números de células de amplitud igual a la de la palabra del Convertidor CA/ D, determinará la resolución de dicha señal tanto en el momento de la presentación como en el de su posterior tratamiento. En el Diagrama en Bloque del ORC, Fig. N, a continuación de la memoria tenemos los Acondicionadores de la señal para su presentación.

Como la presentación es sobre un Tubo de RC, el cual por ser un elemento analógico obliga a la reconversión de la señal digitalizada a su medio natural, para lo que se utiliza un CD /A que realiza el trabajo inverso al CA/ D y con prestaciones idénticas al mismo.

Tras el CD / A, se ubica la circuitería de presentación necesaria para operar el TRC y una Interface Analógica para conexión con un Registrador. Referente a la Interface Digital entre el ORC digital y el mundo exterior se han elegido, entre otras salidas disponibles: IEE-488, RS-232 y Binario Paralelo por ser los comunmente utilizados para interconexión con computadoras capaces de manejar Sistemas de Mediciones Automáticas.(SMA)

Figura P: Relación de la memoria con la dimensión de la pantalla de presentación.

RAM: 512 x 8 Bits = 512 Bytes



$DV = h1/256 = Y_{min} \rightarrow$ desviación vertical (distancia entre dos puntos)

$Dh = h2/512 = X_{min} \rightarrow$ desviación horizontal.

$10msg/512 = 0,02msg = 20\mu sg \rightarrow fcl = 1/20 \mu sg = 50 KHZ$

Reloj

Este bloque fija la velocidad de trabajo y sincroniza todo el sistema; es importante su estabilidad, siempre que la variación de frecuencia no sea grande ni varíe durante tiempos cortos, es decir, que su corrimiento sea bajo. Normalmente se usa lógica digital (CMOS)

Control Digital Interno (μP)

a) Actúa sobre los acondicionadores previos de la señal, preseleccionando, tras muestras sucesivas, todos los controles para que las mediciones se realicen de manera correcta. Esto se traduce en sencillez de manejo, exactitud y repetibilidad de la medida, sin que el usuario actúe sobre ningún control.

b) se puede preseleccionar los diferentes medios de conversión y almacenamiento de la señal digitalizada.

c) Permite mediciones preprogramadas e incluso secuencias de mediciones totalmente automatizadas.

d) El firmware interno permite mayor flexibilidad en la interface con el control central, en el intercambio de información y control.

e) Tiene posibilidad de programación de secuencias de mediciones y la autocalibración.

Comparación entre Osciloscopios Analógicos y Digitales

A continuación se muestra en un cuadro comparativo las diferencias entre un osciloscopio digital y un osciloscopio analógico

| OSCILOSCOPIO DIGITAL (con muestreo) | OSCILOSCOPIO ANALÓGICO |
|--|--|
| | |
| Traza limpia y brillante sin modulación de intensidad | Permite la modulación de intensidad. En alta frecuencia el brillo es poco. |
| Almacenamiento ilimitado | Tiempo limitado de memoria en pantalla y técnicas fotográficas complejas. |
| Incremento de resolución mediante cursores. | Menor resolución aunque pueden disponer de cursores. |
| Información anterior al disparo mediante pretrigger. | No permite predisparo. |
| Ancho de banda variable en muestreo real. Gran ancho de banda en muestreo equivalente (hasta 15 GHZ o más). | Ancho de banda constante dependiente de la amplitud (difícilmente superior a 1 GHZ). |
| Velocidad de actualización de la pantalla lenta. | Adquisición continua. |
| Mayor costo que los osciloscopios analógicos. | Precios moderados. |
| Facilidad de manejo y análisis de señales de ocurrencia única. | Imposibilidad de captura de señales unicity. |
| Posibilitan una fácil documentación mediante conexión a plotter, impresoras, y comunicación con ordenadores. | . |

3.- DPO (Digital Phosphor Oscilloscop) - Osciloscopio con Fósforo Digital (Tektronixc)

Presenta, almacena y analiza señales complejas en tiempo real, empleando las tres dimensiones de la información de la señal: Amplitud, tiempo y distribución de la amplitud en el tiempo.

Se puede capturar toda la información relevante de una señal en tres dimensiones: amplitud, tiempo e intensidad (revela la distribución de amplitud en el tiempo).

Incorpora las facilidades de los osciloscopios digitales, como almacenamiento de ondas y datos, con los distintos tipos de disparos. Es una combinación de osciloscopio analógico con una pantalla con graduación de la intensidad según la repetitividad de la señal y en tiempo real, **emulando digitalmente el proceso químico de la fosforescencia** que produce una graduación de intensidad en la pantalla de los osciloscopios analógicos.

El osciloscopio digital se convierte en un instrumento universal para la adquisición de señales y datos relacionados.

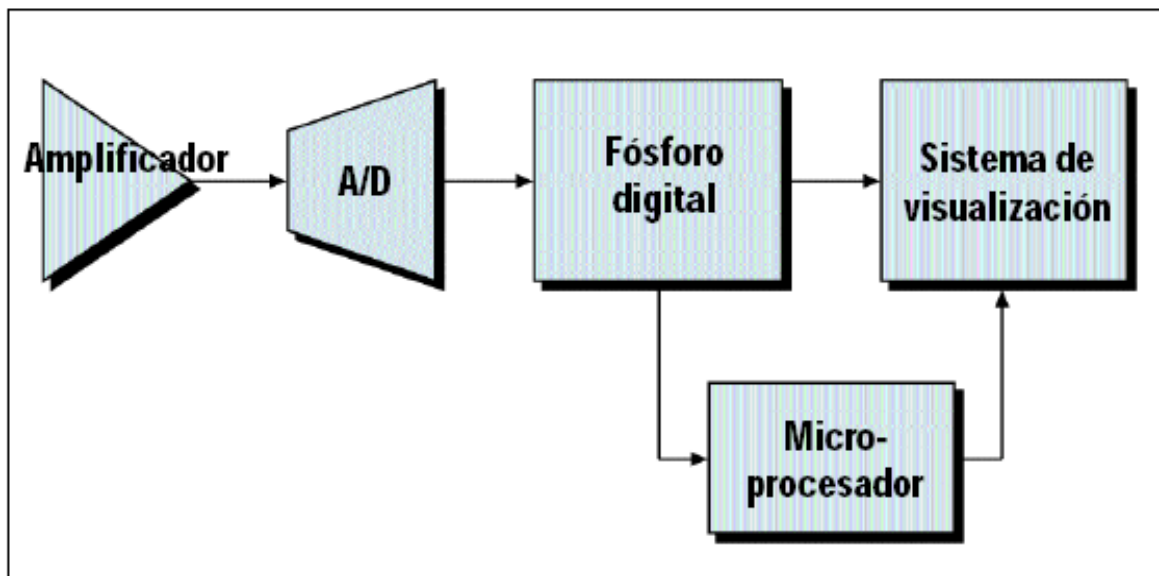


Figura Q.- En un osciloscopio de fósforo digital (DPO), primero se digitaliza la señal al igual que en los osciloscopios digitales normales. A continuación, el osciloscopio de fósforo digital efectúa un barrido dinámico por líneas (rastering, en inglés) de la onda y lo guarda en una base de datos tridimensional denominada "fósforo digital" enviando la información periódicamente al sistema de visualización. Al mismo tiempo, el microprocesador realiza mediciones automáticas y funciones matemáticas.

El osciloscopio de fósforo digital es capaz de adquirir y visualizar continuamente información en tres dimensiones debido a su arquitectura de proceso en paralelo que integra la visualización y el sistema de adquisición. El microprocesador del osciloscopio de fósforo digital no está sobrecargado con las tareas de visualización. El procesador está dedicado exclusivamente a las mediciones automáticas y al análisis de señales. Esto se diferencia mucho de los osciloscopios digitales tradicionales, en los que cada bit de datos que va a la pantalla debe pasar primero por el procesador, que también se ocupa de realizar cálculos, el manejo de la interfaz de usuario, etc.

Este proceso en paralelo permite al osciloscopio de fósforo conseguir una excepcional velocidad de captura, que permite visualizar en pantalla la actividad de la señal en tiempo

real. Los osciloscopios digitales convencionales adquieren señal durante una pequeña fracción de tiempo, menos del 1 por ciento. El resto del tiempo se consume en procesar los datos de la onda adquirida, crear la pantalla e, inevitablemente, se ignora toda la actividad de la señal mientras se realizan las tareas anteriormente mencionadas. En contraste, los osciloscopios de fósforo digital crean la imagen de la onda directamente en el sistema de adquisición a la misma velocidad que se dispara la señal. Como resultado, la imagen responde a la actividad de la señal en tiempo real, utilizando una abundante cantidad de datos que permiten representar en pantalla la onda con precisión. Los modos de “persistencia” se utilizan a veces en los osciloscopios digitales convencionales para recrear el trazo de una onda con graduación de intensidad luminosa. Pero las pantallas con persistencia simulada se consiguen a base de un proceso posterior de las ondas ya adquiridas y no son, por tanto, en tiempo real. La persistencia así obtenida se basa en la acumulación de varias “pantallas” de datos en la memoria de pantalla, pero el tiempo que se precisa para crear la pantalla de persistencia está limitado por la velocidad de captura de ondas de los osciloscopios digitales convencionales. Los osciloscopios de fósforo digital, por otra parte, integran los sistemas de visualización y de adquisición para producir una pantalla en tiempo real con tres dimensiones de información de la señal, que se pueden ver instantáneamente en la pantalla del equipo, como sucede en los osciloscopios analógicos.

4.- Uso de los osciloscopios de fósforo digital en el mundo real

Los osciloscopios analógicos y los digitales tienen sus respectivos defectos y virtudes. Los osciloscopios de fósforo digital constituyen la primera plataforma que reúne, por primera vez, las ventajas de los dos sistemas anteriores —pero ninguno de sus defectos—, y superan con claridad a ambos. La mejor forma de comprobar esto es hacer algunas mediciones de la vida real.

Una solución para la captura de señales de vídeo

Las señales formadas por varios componentes con secciones de períodos relativamente largos son especialmente difíciles de capturar con buena precisión mediante un osciloscopio digital. Esto resulta particularmente cierto en las señales de vídeo compuesto de la Figura 2A. Estas precisan la captura de un largo período de tiempo (y, por tanto, el uso de velocidades lentas de la base de tiempos) para obtener todas las características de la onda completa.

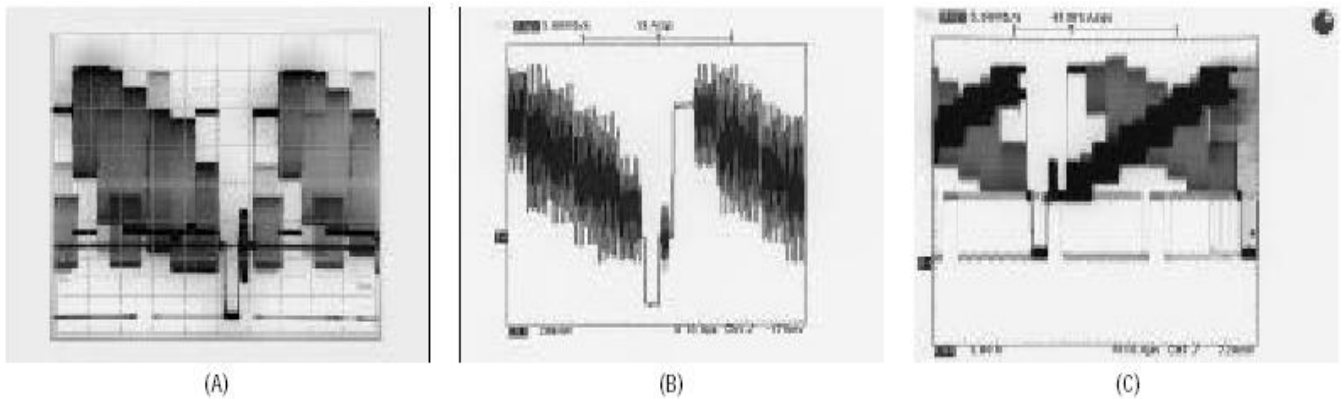


Figura 2 (A) La pantalla del osciloscopio analógico representa el perfil de la onda aceptada como correcta; (B) La pantalla del osciloscopio digital que muestra la señal de vídeo está distorsionada por el Aliasing provocado por una baja velocidad de muestreo, necesaria para poder capturar toda la onda en un solo barrido; (C) El osciloscopio de fósforo digital visualiza la señal de vídeo sin problemas de Aliasing; porciones de la onda se ven intensificadas, indicando que la señal consume más tiempo en esos puntos.

El procedimiento normal es ajustar la base de tiempos horizontal del osciloscopio digital (y por tanto la velocidad de muestreo) a un valor suficientemente bajo como para adquirir la señal al completo. En un osciloscopio digital convencional, las velocidades de muestreo lentas producen Aliasing (señales falsas) por la ausencia (o bajo contenido) de datos de la señal. El resultado es una onda distorsionada, que no representa adecuadamente el original, como se muestra en la Figura 2B. Pero aún puede ser más grave; puede representarse en pantalla una onda con precisión con una frecuencia inferior a la que realmente tiene.

La solución hasta ahora ha sido utilizar un osciloscopio analógico para ver este tipo de señales. La imagen analógica de la Figura 2A se considera como un perfil de onda “correcta”. Pero el osciloscopio analógico en tiempo real no ofrece ninguna posibilidad de almacenar, analizar o medir automáticamente la onda. La gran abundancia de datos de onda resuelve el problema de la distorsión de Aliasing en los osciloscopios de fósforo digital. La onda resultante, Figura 2C, es clara y completa, aun cuando se haya adquirido en las velocidades más lentas de la base de tiempos.

La distorsión de Aliasing es uno de los principales problemas de los osciloscopios digitales. Además de aparecer en las mediciones de señales de vídeo, el Aliasing se presenta en las mediciones de los canales de lectura de los controladores de discos, en los sistemas de comunicación sin hilos y otras señales que requieren la captura de largos paquetes de datos formados por rápidos pulsos, lo que obliga a los ingenieros a seguir utilizando los osciloscopios analógicos en tiempo real. Con la aparición de los osciloscopios de fósforo digital de Tektronix, el Aliasing de los osciloscopios digitales finalmente ha pasado a ser un problema resuelto.

Un osciloscopio digital con un modo XY que funciona

En algunas aplicaciones, resulta esencial el modo de pantalla XY de un osciloscopio. En el modo de pantalla XY se compara la fase de dos señales aplicando una de ellas a la entrada vertical (como es habitual) y la otra en la entrada horizontal (en vez de usar la base de tiempos interna). El modo XY es el punto más fuerte, la característica más destacable de los

osciloscopios analógicos frente a los digitales, debido al elevado flujo de datos en tiempo real que se precisa trabajar en este modo y por ello, es un punto débil de los osciloscopios digitales. Pero en la actualidad, la complejidad de las señales moduladas digitalmente que se usan en comunicaciones inalámbricas precisan de las capacidades adicionales de los osciloscopios digitales — el ancho de banda, el disparo, el análisis, etc. En la **Figura 3** se muestra un diagrama de constelación QAM capturado con un osciloscopio de fósforo digital de Tektronix. Los lóbulos que describen los puntos de 90 grados de desplazamiento de fase son claros y estables.

El osciloscopio de fósforo digital dibuja muestras continuamente en el “fósforo digital”, leyendo y enviando esta información en serie a la pantalla, a una velocidad de 1 Mpixel/s (1 millón de puntos de pantalla cada segundo). Esta continua adquisición proporciona una dinámica y precisa pantalla XY.

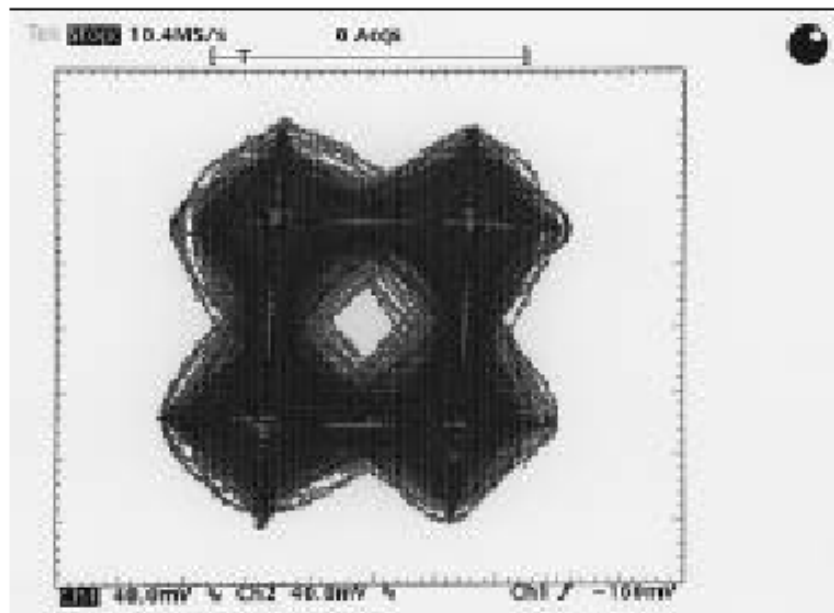


Figura 3.- Un diagrama de constelación QAM, visto en la pantalla de un osciloscopio de fósforo digital. La adquisición continua del osciloscopio de fósforo digital proporciona una dinámica y precisa pantalla XY.

La Potencia del DPX

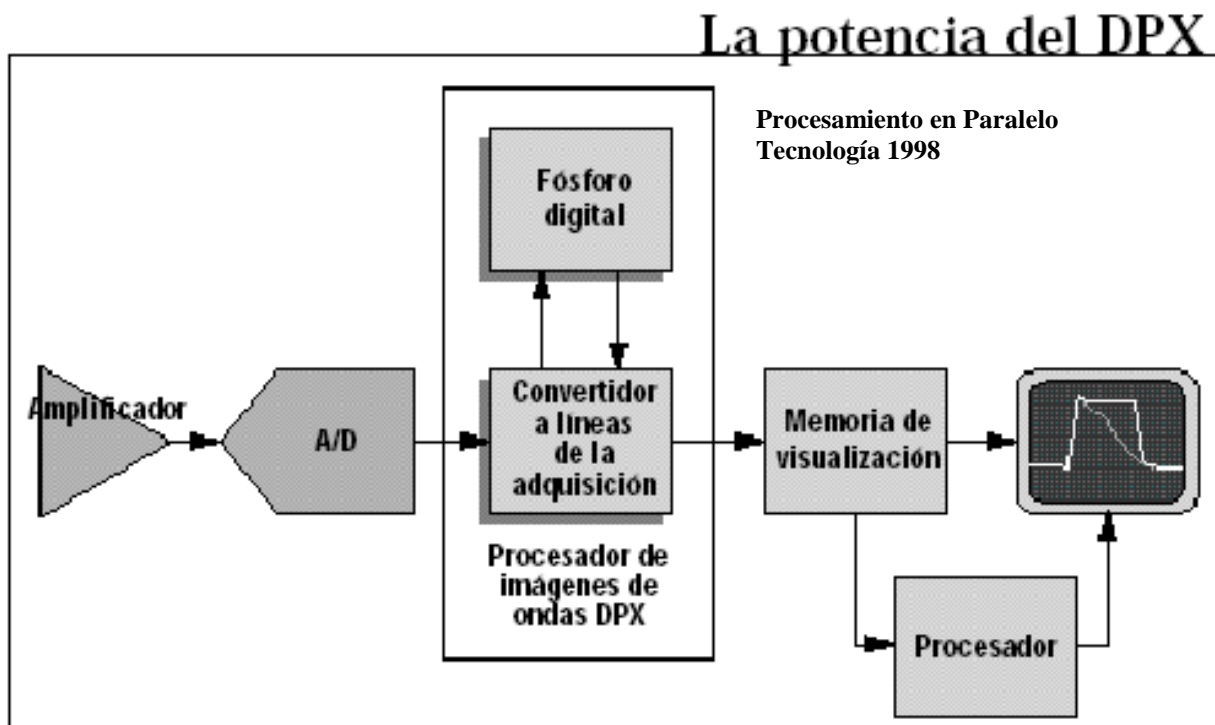
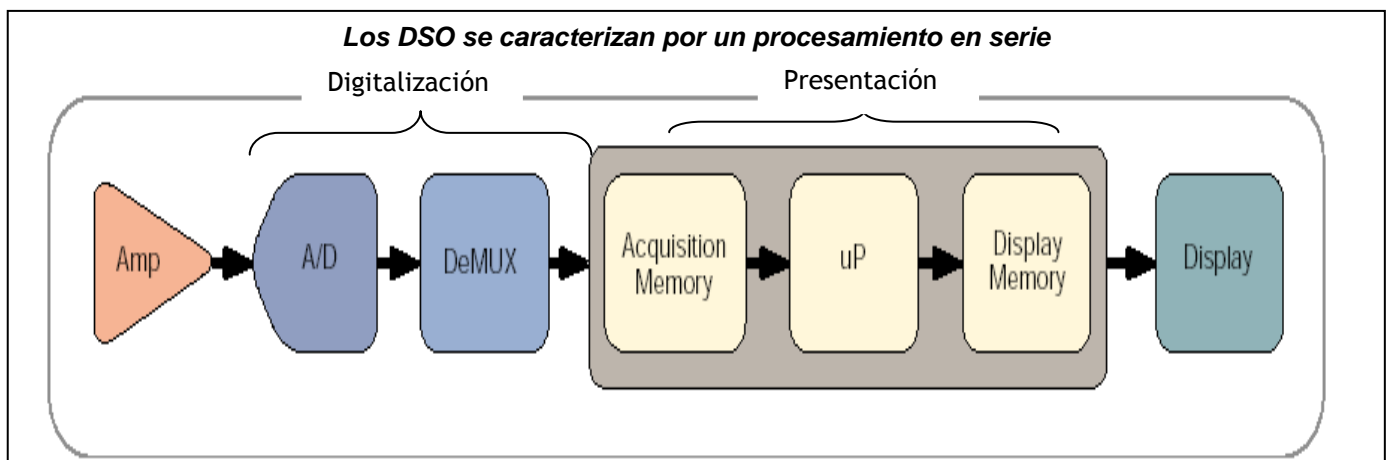


Figura 4. Diagrama de bloques simplificado de un sistema basado en el procesador DPX. Amplificador, Convertidor A/D, Fósforo digital, Convertidor a líneas de la adquisición, Memoria de visualización, Procesador de imágenes de ondas DPX.

5.- Procesamiento Serie – Procesamiento Paralelo

5.1.- Procesamiento en Serie

DSO (Digital Storage Oscilloscope) – Osciloscopio de Almacenamiento Digital



► Figure 5.The serial-processing architecture of a digital storage oscilloscope (DSO)

Arquitectura de Procesamiento en Serie de un DSO: se inicia en los DSO, en 1980, con la aparición de la Tecnología con DSP y Filtros digitales. Especial aplicación para FFTs, en DSO de varios canales. El DeMUX lo saca Tektronix en 2005 para DSO de 4 canales.

Un DSO utiliza una arquitectura de procesamiento en serie para capturar, presentar, y analizar señales. La presentación **depende de una pantalla de barrido** en lugar de una de fósforo luminoso.

Los osciloscopios de memoria digital (DSO) permiten la captura y visualización de eventos que ocurren solamente una vez y a los que se conoce como transitorios. Debido a que la información de la forma de onda existe en forma digital como una serie de valores binarios almacenados, ésta puede ser analizada, archivada, imprimida, y procesada de cualquier otra forma dentro del propio osciloscopio o por un ordenador externo.

Como en un osciloscopio analógico, la primera etapa (de entrada) de un DSO es un amplificador vertical. Los controles verticales permiten ajustar la amplitud y el rango de posición en esta etapa. Seguidamente, el convertidor analógico digital (CAD) del sistema horizontal muestrea la señal en puntos aislados en el tiempo y convierte el voltaje de la señal presente en estos puntos en valores digitales, denominados **puntos de muestreo**. Este proceso se conoce como **digitalización de una señal**. El reloj de muestreo del sistema horizontal determina con qué frecuencia el CAD recoge muestras. Esta velocidad se llama **velocidad de muestreo y se expresa en muestras por segundo (S/s)**.

Las muestras del CAD son almacenadas en la memoria de adquisición como puntos de la forma de onda. Varias muestras pueden conformar un punto de la forma de onda. Todos **los puntos de la forma de onda en conjunto conforman el registro de forma de onda**. El **número de puntos de forma de onda utilizados para crear un registro se denomina longitud de registro**. El disparo del sistema determina los puntos de comienzo y parada del registro. La ruta de la señal del DSO incluye un microprocesador (**µP**) a través del cual pasa la señal medida en su camino hacia la pantalla. Este microprocesador procesa la señal, coordina las actividades de presentación, gestiona los controles del panel frontal, etc. La señal pasa entonces a través de la memoria de presentación, y aparece en la pantalla del osciloscopio.

Dependiendo de las capacidades del osciloscopio, se puede efectuar procesamiento adicional en los puntos de muestreo, lo que mejorará la presentación. También puede disponerse de un **predisparo**, que permite ver eventos antes del punto de disparo. Un DSO proporciona altas prestaciones en un instrumento multicanal de tiempo real (ver la Figura 17). **Los DSO son ideales para aplicaciones de baja velocidad de repetición o de ocurrencia única, de alta velocidad, y de diseño que precisen múltiples canales**. En el mundo real del diseño digital, normalmente se examina 4 o más señales simultáneamente, lo que hace del DSO un colaborador muy estimable.

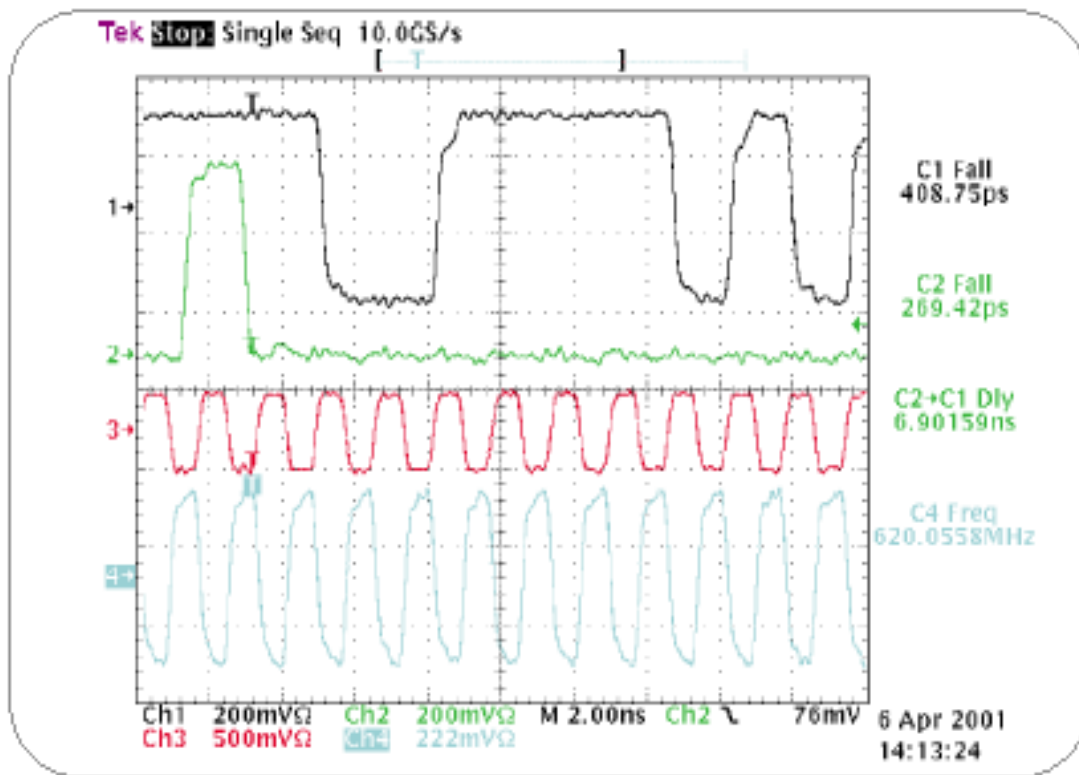


Figura 6: El TDS694C proporciona alta velocidad y adquisición en disparo único a través de canales múltiples, aumentando la posibilidad de capturar espurios infrecuentes así como eventos transitorios.

5.2.- Procesamiento en Paralelo

DPO (Digital Phosphor Oscilloscop) - Osciloscopio con Fósforo Digital

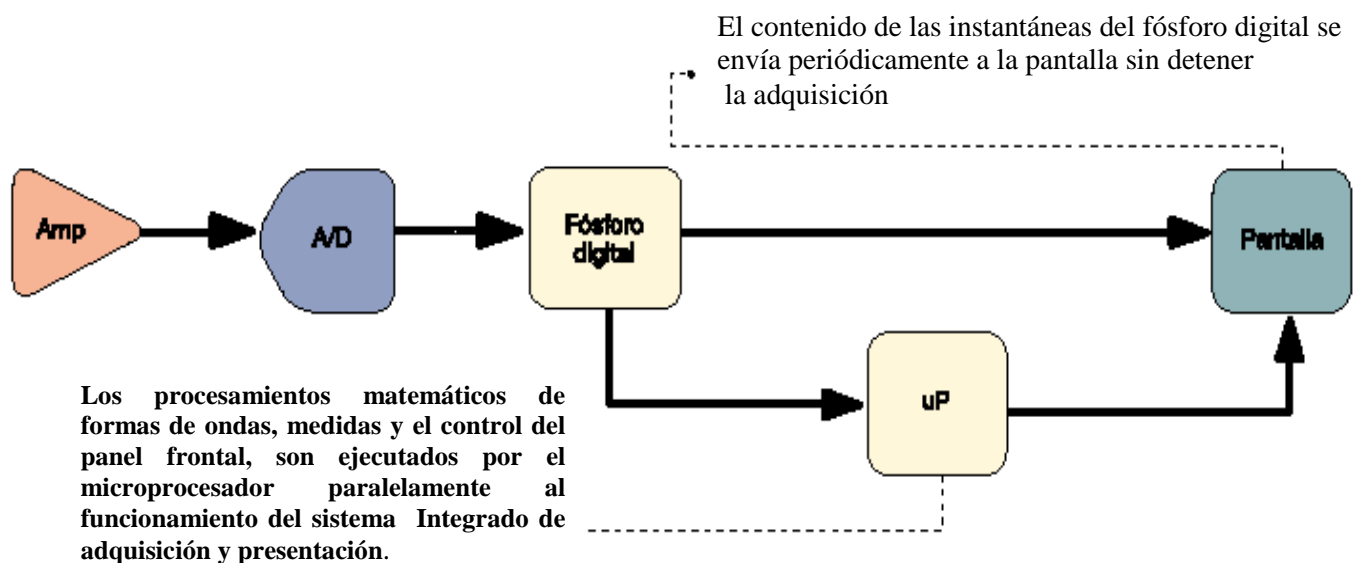


Figura 7. Arquitectura de procesado en paralelo de un osciloscopio de fósforo digital (DPO). (Tektronix 2001)

Un DPO utiliza una arquitectura de procesamiento en paralelo para llevar a cabo estas funciones, como se indica en la Figura 18. La arquitectura del DPO utiliza ASIC de hardware exclusivo para adquirir imágenes de las formas de onda, proporcionando altas velocidades de captura de forma de onda, que redundan en un elevado nivel de visualización de la señal. Esta prestación aumenta la probabilidad de observar los eventos transitorios que ocurren en los sistemas digitales, tales como pulsos de escasa amplitud (seudopulsos o "runt"), espurios y errores de transición.

La primera etapa (de entrada) de un DPO es similar a la de un osciloscopio analógico, un amplificador vertical, y su segunda etapa es similar a la de un DSO, un ADC. Pero el DPO difiere significativamente de sus predecesores a partir de esta conversión analógica/digital. En cualquier osciloscopio —analógico, DSO o DPO— hay siempre un tiempo de retención ("holdoff") durante el cual el instrumento procesa los datos más recientemente adquiridos, restaura el sistema, y espera el siguiente evento de disparo. Durante este tiempo, el osciloscopio está ciego ante cualquier actividad de la señal. La probabilidad de ver un evento infrecuente o de baja repetición, disminuye conforme aumenta este tiempo de retención.

Hay que tener en cuenta que **es imposible determinar la probabilidad de captura simplemente analizando la velocidad de actualización de la pantalla**. Si se depende solamente de la velocidad de actualización, es fácil cometer el error de creer que el osciloscopio está capturando toda la información pertinente acerca de la forma de onda cuando, en realidad, esto no es así.

Se ha visto que el osciloscopio de memoria digital procesa en serie las formas de onda capturadas. La velocidad de su microprocesador es un cuello de botella en este proceso, porque limita la velocidad de captura de las formas de onda.

El DPO explora los datos digitalizados de la forma de onda sobre una base de datos de fósforo digital. Cada **1/30 de segundo** —tan rápido como la propia percepción del ojo humano— se envía directamente al sistema de presentación una instantánea de la imagen de la señal que está almacenada en esta base de datos. ***Esta exploración directa de los datos de la forma de onda y su copia directa en la memoria de presentación desde la base de datos, elimina el cuello de botella del procesamiento de datos, inherente a otras arquitecturas.*** El resultado es una mejora del tiempo de actividad del osciloscopio, y una viva actualización de la presentación. Los detalles de la señal, los eventos intermitentes, y las características dinámicas de la señal, se capturan en tiempo real. El microprocesador del DPO trabaja en paralelo con este sistema de adquisición integrado para la gestión de la presentación, la automatización de las medidas, y el control del instrumento, para que ello no afecte a la velocidad de adquisición del osciloscopio.

Un DPO emula fielmente los mejores atributos de presentación de un osciloscopio analógico, presentando la señal en tres dimensiones: tiempo, amplitud y distribución de la amplitud en el tiempo, y todo ello en tiempo real. Contrariamente a ***la confianza en el fósforo químico de un osciloscopio analógico, un DPO utiliza un fósforo digital puramente electrónico que, en realidad, es una base de datos constantemente actualizada.*** Esta base de datos dispone de una "celda" individual de información por cada pixel en la pantalla del osciloscopio. Cada vez que se captura una forma de onda —es decir, cada vez que el osciloscopio se dispara— ésta queda mapeada dentro de las celdas del fósforo digital de la base de datos. Cada celda representa un punto de la pantalla y si una

celda resulta "tocada" por la forma de onda, su información de intensidad quedará reforzada, mientras que las otras celdas no cambiarán. De esta forma, la información de la intensidad aumentará en las celdas por donde la forma de onda pasa con mayor frecuencia.

Cuando la información de la base de datos de fósforo digital llega a la pantalla del osciloscopio, la presentación ilumina áreas de la forma de onda en proporción a la frecuencia de ocurrencia de la señal en cada punto, muy similar a las características de la gradación de intensidad. El DPO también permite la presentación en pantalla de información acerca de la variación de la frecuencia de ocurrencia mediante contraste de colores, a diferencia de un osciloscopio analógico. **Con un DPO es fácil observar la diferencia entre una forma de onda que ocurre en casi todos los disparos y otra que ocurre, por ejemplo, cada 100 disparos.** Los osciloscopios de fósforo digital (DPO) rompen la barrera existente entre las tecnologías de osciloscopios digitales y analógicos. Son igualmente apropiados para la visualización de altas y bajas frecuencias, para formas de onda repetitivas, transitorios, y para variaciones de la señal en tiempo real. **Solamente un DPO proporciona el eje Z (intensidad) en tiempo real, el cual no está disponible en los DSO convencionales.**

Un DPO es magnífico para test de máscaras de comunicaciones, depuración digital de señales intermitentes, diseño digital repetitivo, y aplicaciones de medidas de tiempo. de captura de eventos infrecuentes e intermitentes, y revela el comportamiento dinámico de la señal.

En el corazón de los osciloscopios de fósforo digital de altas prestaciones de Tektronix, se encuentra el procesador de ondas de imagen DPX; un circuito diseñado a medida (ASIC) por Tektronix que permite obtener velocidades de captura de ondas comparables a los más rápidos osciloscopios analógicos en tiempo real.

El DPX combina la conversión a líneas de los datos adquiridos con una gran base de datos en tres dimensiones (3-D) y altas velocidades de captura de ondas, consiguiendo visualizar en la pantalla del osciloscopio de fósforo digital una excepcional densidad de datos.

El DPX acumula la información de la señal en una matriz de números enteros de 500 x 200. Cada entero de la matriz representa un punto de imagen (pixel) en la pantalla del osciloscopio de fósforo digital, que incluye 21 bits de información de graduación de brillo (o intensidad luminosa). Si la señal atraviesa repetidamente el mismo, se actualiza también repetidamente el valor de la posición de la matriz de datos para reflejar este hecho. A lo largo de un número elevado de muestras, la matriz consigue obtener un detallado mapa de la intensidad de la señal en cada punto. El resultado es una forma de onda cuya intensidad varía en proporción con la frecuencia de repetición de cada punto — una variante de “escala de grises” propia de los osciloscopios analógicos en tiempo real.

Pero, a diferencia de los osciloscopios analógicos, el DPX puede traducir los diferentes grados de luminosidad en colores. En la **Figura 8) siguiente** se usa la onda de un circuito lógico metaestable para ilustrar este efecto. Los niveles de intensidad claramente expresan la frecuencia de “ocurrencia” o repetición en cada punto de la pantalla. El histograma que aparece encima del trazo principal representa estadísticamente la información de intensidad de la señal.

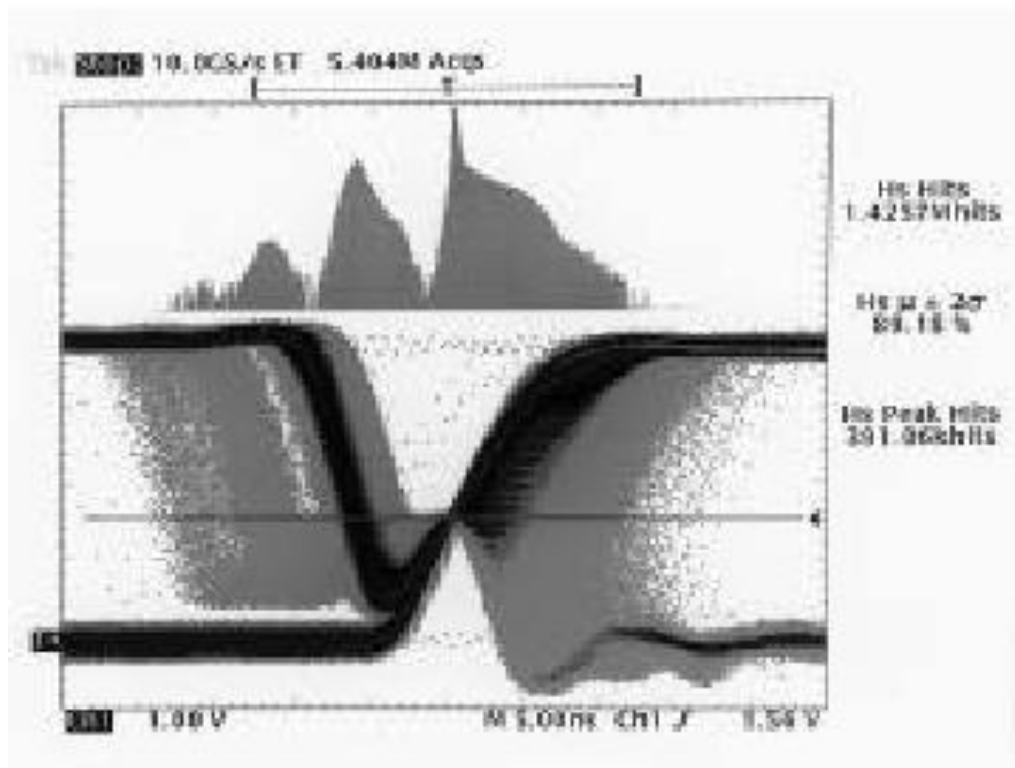


Figura 8. Una imagen de un osciloscopio de fósforo digital con tecnología DPX que muestra cómo la intensidad del trazo revela la frecuencia de repetición de paso por ese punto.

El sistema de adquisición muestrea continuamente a la máxima velocidad, disparando y construyendo la imagen e introduciendo un tiempo muerto mínimo entre dos adquisiciones consecutivas. El DPX puede registrar hasta 200,000 formas de onda por segundo —1000 veces más datos que un osciloscopio convencional— y 500,000 muestras en una adquisición. Se envía una nueva instantánea del “fósforo digital” al sistema de visualización cada 1/30 de segundo, sin interrumpir el proceso de adquisición. Los datos de la onda que están en la matriz tridimensional dinámica del DPX se pueden acceder para obtener información estadística sobre la señal. En el modo de histograma, el procesador del DPX extiende cada punto del “fósforo digital” de una profundidad de 32 bits a 64 bits. Esto permite al osciloscopio construir una base de datos con significado estadístico en unos pocos minutos en vez de tener que esperar horas e incluso días. La función interna de histograma reúne información cuantitativa de la distribución de la señal en tiempo real o la guarda junto con la onda almacenada. El DPX permite también obtener pantallas XYZ, donde la entrada Z se usa para activar la información XY cuando se crean, por ejemplo, diagramas de constelación en señales de comunicación inalámbrica. La base de datos en 3-D puede ser exportada a través del puerto paralelo GPIB, el lector de disquetes o un lector de discos Zip a una computadora personal (PC) para su posterior análisis o trazado en 3D. Estos datos componen una imagen tridimensional en la que el eje Z representa la frecuencia de repetición del punto XY. Al igual que en la propia pantalla del osciloscopio, se puede utilizar el color para aumentar la legibilidad. La Figura C muestra el gráfico resultante.

Los osciloscopios digitales convencionales simplemente no pueden producir este tipo de pantallas, porque no consiguen la suficiente densidad de muestras o adquisición continuada.

6.- Eventos aleatorios o poco frecuentes puestos al descubierto

La ventaja de poder capturar eventos aleatorios o poco frecuentes convierte a los osciloscopios de fósforo digital en los instrumentos ideales para depurar los más avanzados diseños electrónicos. De nuevo aquí, la extraordinaria velocidad de captura de ondas de los osciloscopios de fósforo digital significa que el instrumento consume mucho más tiempo adquiriendo datos que procesándolos para representarlos en pantalla, por lo que los transitorios infrecuentes u ocasionales pasan difícilmente ignorados por el sistema; es decir, son capturados y visualizados. Adicionalmente, la graduación de intensidad luminosa del trazo proporciona la información de la frecuencia con que se produce el transitorio, en relación con otros componentes de la señal de pantalla.

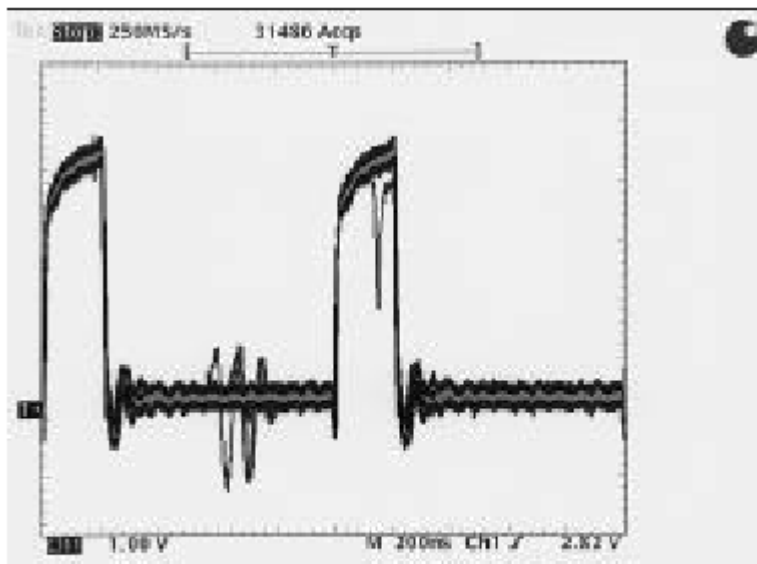


Figura 9.- La aberración de menor luminosidad en el pulso que está en el centro de la pantalla significa que sucede con menos frecuencia que la onda normal del pulso. La diferencia de luminosidad pone rápidamente de manifiesto el transitorio

La Figura 9) anterior muestra una señal formada por pulsos ampliamente separados, ruido intermitente y transitorios. Advierta la aberración de menor luminosidad en el pulso que está en el centro de la pantalla. Esta es una variante del pulso que se produce menos frecuentemente que el resto de la forma de onda de pulsos. La ventaja de poder detectar tales aberraciones resulta especialmente útil para localizar averías y problemas en diseños y aplicaciones.

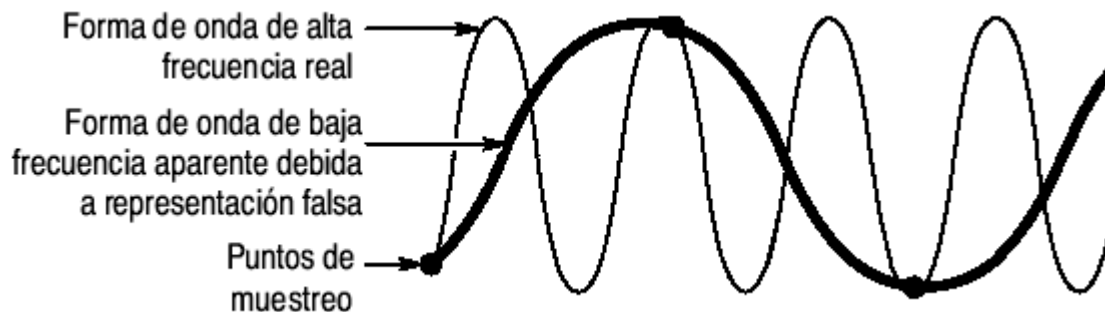
Síntesis

Los nuevos osciloscopios de fósforo digital superan las prestaciones de los osciloscopios analógicos y digitales. Su arquitectura de adquisición y visualización integrada permite a los osciloscopios de fósforo digital conseguir su trazo gradualmente intensificado con la repetitividad del evento y la ausencia de Aliasing que puede esperarse de un osciloscopio analógico, además de la capacidad de almacenar y analizar ondas propias de los osciloscopios digitales. La herramienta de medición resultante es superior a la suma de sus

partes, proporcionando detalles del comportamiento de las señales con una precisión nunca antes alcanzada.

7.- Representaciones falsas en el dominio de tiempo - Aliasing

Se produce una representación falsa (aliasing) cuando el osciloscopio no realiza muestreos de la señal con rapidez suficiente como para generar un registro de forma de onda exacto. Cuando esto sucede, el osciloscopio muestra una forma de onda de frecuencia inferior a la forma de onda real de entrada, o bien, dispara y presenta una forma de onda inestable.



El osciloscopio representa señales con exactitud, pero esto se ve limitado por el ancho de banda de la sonda, el ancho de banda del osciloscopio y la velocidad de muestreo. Para evitar representaciones falsas, el osciloscopio debe realizar muestreos de la señal a una velocidad superior al doble de la del componente de frecuencia más alta de la señal.

La frecuencia más alta que la velocidad de muestreo del osciloscopio puede teóricamente representar corresponde a la frecuencia de Nyquist. La velocidad de muestreo se denomina velocidad de Nyquist y equivale al doble de la frecuencia de Nyquist.

Los modelos de osciloscopio con anchos de banda de 60 MHz o de 100 MHz realizan muestreos a velocidades de hasta una giga muestra por segundo (GS/s). Modelos con ancho de banda de 200 MHz realizan muestreos a velocidades de hasta 2 GS/s. En ambos casos, las velocidades de muestreo máximas equivalen por lo menos a diez veces el ancho de banda. Las velocidades de muestreo altas permiten reducir la posibilidad de representaciones falsas.

En la tabla siguiente se da una lista de las bases de tiempo que se deben utilizar para evitar las representaciones falsas a distintas frecuencias, con su respectiva velocidad de muestreo. Con el valor más rápido de SEC/DIV, es probable que no se produzca una representación falsa debido a las limitaciones del ancho de banda de los amplificadores de entrada del osciloscopio.

Valores para evitar representaciones falsas en modo de muestreo

| Base de tiempos (SEC/DIV) | Muestreos por segundo | Componente de máxima frecuencia |
|----------------------------------|------------------------------|--|
| De 25 a 250,0 ns | 1 GS/s o 2 GS/s* | 200,0 MHz** |
| 500,0 ns | 500,0 MS/s | 200,0 MHz** |
| 1,0 μ s | 250,0 MS/s | 125,0 MHz** |
| 2,5 μ s | 100,0 MS/s | 50,0 MHz** |
| 5,0 μ s | 50,0 MS/s | 25,0 MHz** |
| 10,0 μ s | 25,0 MS/s | 12,5 MHz** |
| 25,0 μ s | 10,0 MS/s | 5,0 MHz |
| 50,0 μ s | 5,0 MS/s | 2,5 MHz |
| 100,0 μ s | 2,5 MS/s | 1,25 MHz |
| 250,0 μ s | 1,0 MS/s | 500,0 kHz |
| 500,0 μ s | 500,0 kS/s | 250,0 kHz |

*** Según el modelo de osciloscopio.**

**** Ancho de banda reducido a 6 MHz con una sonda 1X.**

Valores para evitar representaciones falsas en modo de muestreo (continuación)

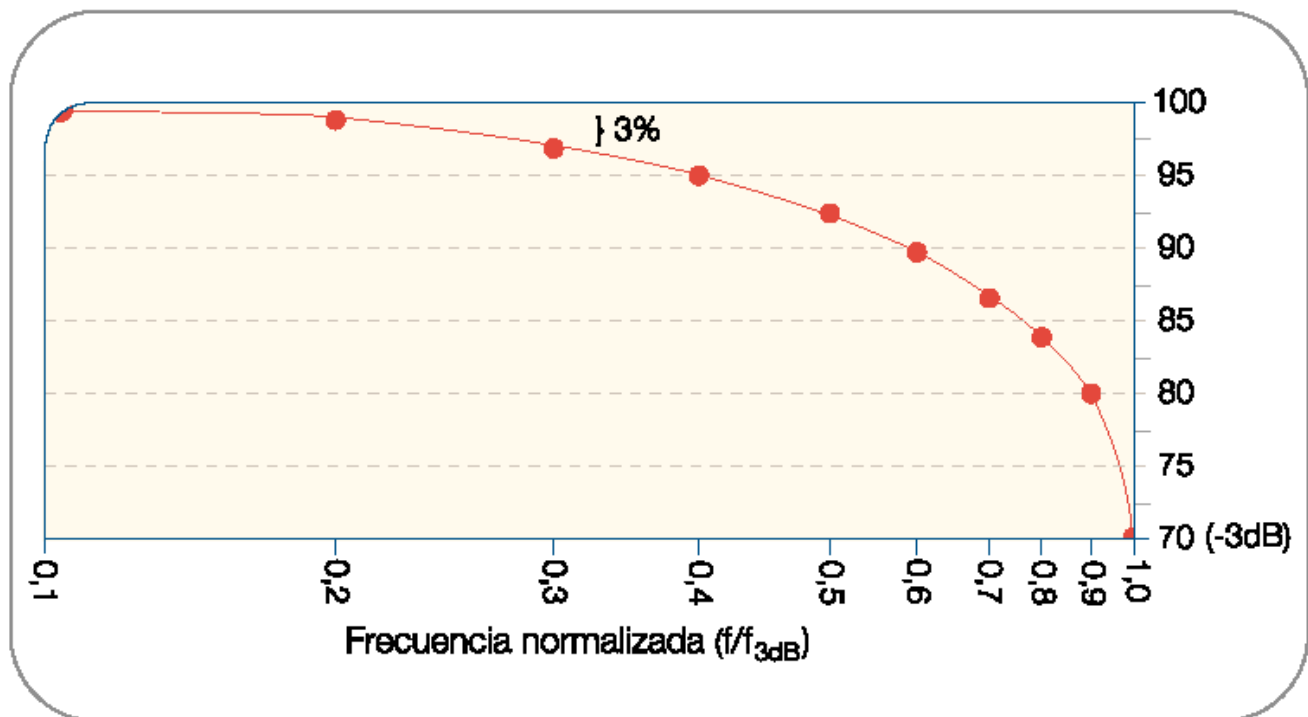
| Base de tiempos (SEC/DIV) | Muestreos por segundo | Componente de máxima frecuencia |
|----------------------------------|------------------------------|--|
| 1,0 ms | 250,0 kS/s | 125,0 kHz |
| 2,5 ms | 100,0 kS/s | 50,0 kHz |
| 5,0 ms | 50,0 kS/s | 25,0 kHz |
| 10,0 ms | 25,0 kS/s | 12,5 kHz |
| 25,0 ms | 10,0 kS/s | 5,0 kHz |
| 50,0 ms | 5,0 kS/s | 2,5 kHz |
| 100,0 ms | 2,5 kS/s | 1,25 kHz |
| 250,0 ms | 1,0 kS/s | 500,0 Hz |
| 500,0 ms | 500,0 S/s | 250,0 Hz |
| 1,0 s | 250,0 S/s | 125,0 Hz |
| 2,5 s | 100,0 S/s | 50,0 Hz |
| 5,0 s | 50,0 S/s | 25,0 Hz |
| 10,0 s | 25,0 S/s | 12,5 Hz |
| 25,0 s | 10,0 S/s | 5,0 Hz |
| 50,0 s | 5,0 S/s | 2,5 Hz |

8.- Características técnicas principales

8.1.- Ancho de banda (BW)

Esta especificación indica el rango de frecuencia que el osciloscopio puede medir con precisión. Conforme aumenta la frecuencia de la señal, disminuye la capacidad del osciloscopio para presentar la señal con exactitud. **Esta especificación indica el rango de frecuencia que el osciloscopio puede medir con precisión.**

Por lo general, el ancho de banda se calcula desde 0Hz (continua) hasta la frecuencia a la cual una señal de tipo sinusoidal se visualiza a un 70.7% del valor aplicado a la entrada (lo que corresponde a una atenuación de 3dB).



El ancho de banda de un osciloscopio es la frecuencia a la que una señal sinusoidal se presenta atenuada en un 70,70% respecto a la verdadera amplitud de la señal. Este punto se conoce como el punto a -3 dB.

Sin un ancho de banda adecuado, el osciloscopio no podrá resolver los cambios de alta frecuencia. La amplitud se distorsionará. Los flancos se desvanecerán. Los detalles se perderán. Sin un ancho de banda adecuado, todas las características y prestaciones de un osciloscopio no tendrán ningún valor.

Regla de las 5 veces: Ancho de banda requerido del osciloscopio = Componente de más alta frecuencia de la señal a medir x 5

Un osciloscopio que se haya seleccionado utilizando la Regla de las 5 veces presentará menos del +/-2% de error en las medidas, típicamente suficiente para las aplicaciones actuales.

8.2.- Tiempo de Subida (t_r)

El osciloscopio deberá tener un tiempo de subida suficientemente pequeño para capturar con precisión los detalles de las transiciones rápidas.

El tiempo de subida describe el rango de frecuencia útil de un osciloscopio. Para el cálculo del tiempo de subida requerido en un osciloscopio, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Tiempo de subida requerido en el osciloscopio} = \frac{\text{Tiempo de subida más rápido de la señal medida}}{5}$$

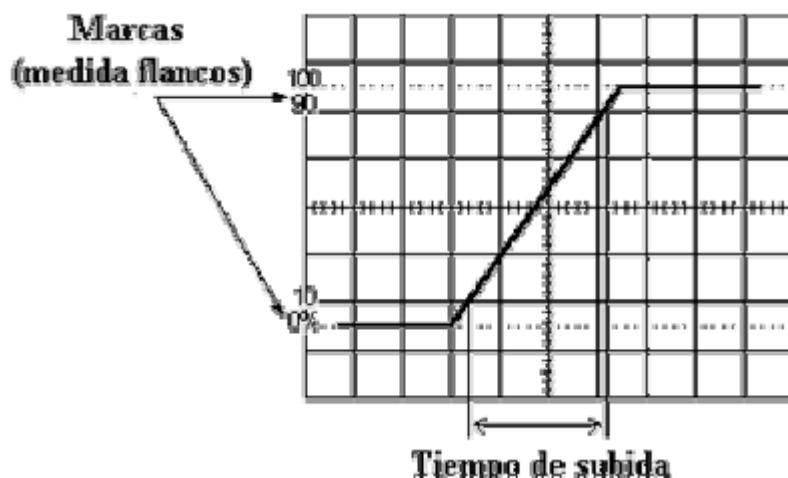
Como en el caso del ancho de banda, la consecución de esta regla práctica puede no siempre ser posible dada la alta velocidad de las señales actuales. Hay que recordar siempre

que un osciloscopio con tiempos de subida más rápidos capturará más precisamente los detalles críticos de las transiciones rápidas.

El ancho de banda, BW, y el tiempo de subida, t_r , de un osciloscopio se pueden relacionar mediante una constante, utilizando la ecuación:

$$\text{Ancho de banda} = \frac{k}{\text{Tiempo de subida}}$$

donde k ($k = \text{constante}$, $0.35 < k < 0.45$) es un valor entre 0,35 y 0,45, dependiendo de la forma de la curva de respuesta de frecuencia del osciloscopio y de la respuesta del tiempo de subida. Los osciloscopios con un ancho de banda < 1 GHz típicamente tienen un valor de 0,35, mientras que los osciloscopios con un ancho de banda > 1 GHz tienen habitualmente valores entre 0,40 y 0,45.



Algunas familias lógicas producen tiempos de subida inherentemente más rápidos que otras, según se ilustra en la figura siguiente

| Familia lógica | Señal típica Tiempo de subida | Ancho de banda calculado de la señal |
|----------------|----------------------------------|--|
| 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 |

8.3.- Velocidad de Muestreo

La velocidad de muestreo se expresa en muestras ("Samples") por segundo (**S/s**), e indica con qué frecuencia un osciloscopio digital tomará una instantánea, o una muestra, de la señal. Cuanto más rápida es la velocidad de muestreo de un osciloscopio, mayores serán la resolución y el detalle de la forma de onda presentada, y menor la probabilidad de que se pierda información crítica o eventos de interés, como se muestra en la **Figura 10**.

La velocidad de muestreo mínima también puede ser importante si se necesitan ver señales que cambian lentamente a lo largo de grandes períodos de tiempo. Típicamente, la velocidad de muestreo presentada cambia según los cambios que se realizan en el control de la escala horizontal con el fin de mantener un número constante de puntos en el registro de la forma de onda presentada.

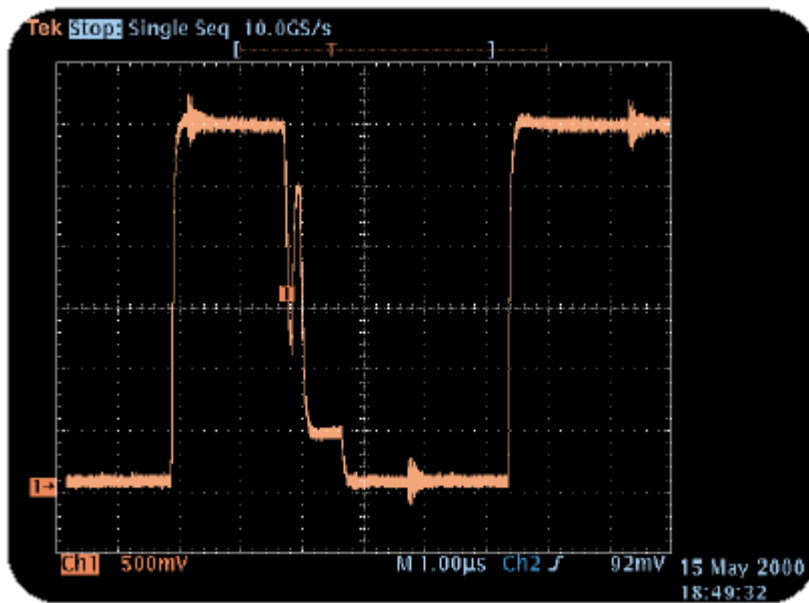


Figura 10: Una mayor velocidad de muestreo proporciona una mayor resolución de la señal, asegurando así la observación de eventos intermitentes.

Para reconstruir con precisión una señal y evitar el aliasing (presentación de señales no existentes), el teorema de Nyquist dice que hay que muestrear la señal al menos dos veces más rápido que su componente de frecuencia más elevada. Este teorema, sin embargo, da **por supuesto una longitud de registro infinita y una señal continua**. Puesto que ningún osciloscopio ofrece una longitud de registro infinita y, por definición, los espurios no son continuos, **el muestreo a solamente dos veces la velocidad de la componente de frecuencia más elevada generalmente no será suficiente**.

En realidad, la reconstrucción precisa de una señal depende de la velocidad de muestreo para capturar muestras de la señal de entrada, del método de interpolación utilizado para presentar la señal en display para rellenar los espacios entre dos muestras consecutivas o puntos. Algunos osciloscopios permiten seleccionar una interpolación **seno (x)/x** para la medida de señales sinusoidales, o bien una interpolación lineal para señales cuadradas, pulsos y otros tipos de señal. Esta última consiste en unir dos puntos de muestras según la ecuación de una línea recta.

Para una reconstrucción precisa utilizando la interpolación **seno (x)/x**, el osciloscopio deberá tener una velocidad de muestreo de **al menos 2,5 veces la** componente de frecuencia más elevada de la señal. Utilizando la interpolación lineal, la velocidad de muestreo deberá ser al menos **10 veces la componente de frecuencia** más elevada de la señal.

Algunos sistemas de medida con velocidades de muestreo de hasta **20 GS/s** y **anchos de banda de hasta 4 GHz** están optimizados para capturar eventos muy rápidos, de ocurrencia única, y transitorios, muestreando en exceso (sobremuestreo) hasta una velocidad de 5 veces el ancho de banda.

8.4.- Velocidad de captura de formas de onda

Todos los osciloscopios parpadean, es decir, todos abren y cierran "sus ojos" un determinado número de veces por segundo para capturar la señal. ***Esto es la velocidad de captura de formas de onda, expresada en formas de onda por segundo (wfms/s).*** Mientras que la velocidad de muestreo indica con qué frecuencia el osciloscopio toma muestras de la señal de entrada dentro de una forma de onda o ciclo, ***la velocidad de captura indica la rapidez con la que un osciloscopio adquiere formas de onda completas.***

Las velocidades de captura de forma de onda varían ampliamente, dependiendo del tipo y nivel de prestaciones del osciloscopio. Los osciloscopios con altas velocidades de captura de forma de onda ofrecen una profundidad visual más completa acerca del comportamiento de la señal, y aumentan extraordinariamente la probabilidad de que el osciloscopio capture rápidamente anomalías transitorias tales como inestabilidades, pseudopulsos, espurios o errores de transición (Ver Figuras 11 y 12).

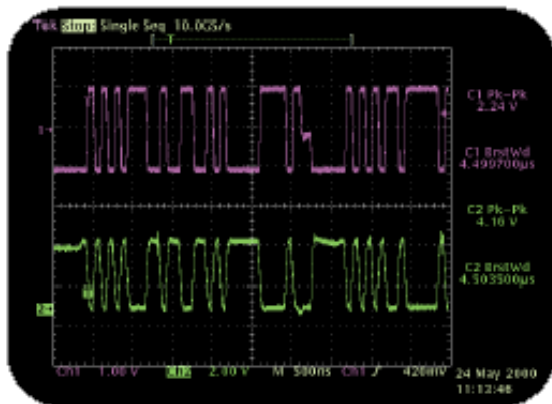


Figura 11. Un DSO es la solución ideal para aplicaciones de diseño digital con requerimientos multicanal, de alta velocidad y de señal no repetitiva.

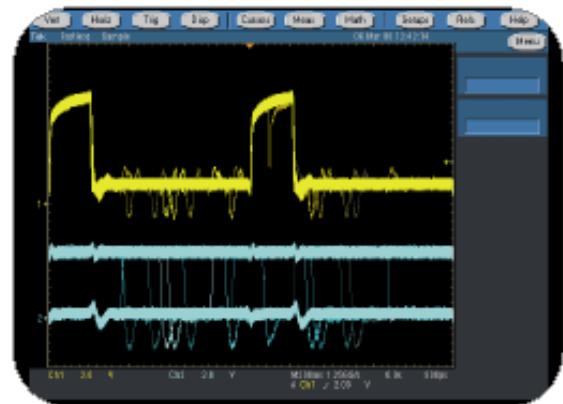


Figura 12. Un DPO permite un nivel superior de observación del comportamiento de la señal, proporcionando velocidades de captura de forma de onda mucho más grandes y una presentación tridimensional, convirtiéndose en la mejor herramienta de diagnóstico y localización de fallos en diseños de tipo general para un amplio rango de aplicaciones.

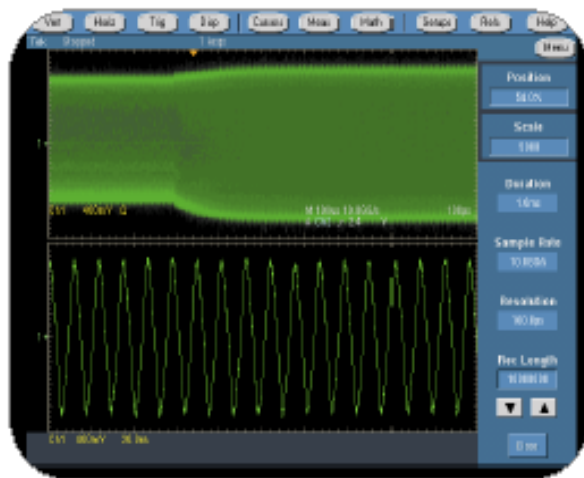


Figura 13. La captura en detalle de las altas frecuencias en esta portadora de señal modulada de 85 MHz requiere una elevada resolución de muestreo (100 ps). La observación de la envolvente completa de modulación de la señal requiere un gran período de tiempo (1 ms). Utilizando una gran longitud de registro (10 MB), el osciloscopio podrá mostrar ambos elementos de la señal.

Los osciloscopios de memoria digital (DSO) utilizan una arquitectura de procesamiento en serie para capturar entre **10 y 5.000 wfms/s**. Algunos DSO poseen un modo especial que **captura una ráfaga de múltiples señales sobre una gran memoria**, proporcionando temporalmente velocidades muy elevadas de captura de formas de onda, **seguidas por largos períodos de tiempo de procesamiento**, que reducen la probabilidad de capturar eventos esporádicos e intermitentes.

La mayoría de los osciloscopios de fósforo digital (DPO) **utilizan una arquitectura de procesamiento en paralelo para proporcionar velocidades de captura de forma de onda muchísimo más elevadas**. Algunos DPO pueden adquirir millones de formas de onda en **cuestión de segundos**, lo cual aumenta de forma significativa la probabilidad de captura de eventos infrecuentes e intermitentes, permitiendo ver más rápidamente los posibles problemas en la señal. Además, la capacidad del DPO para adquirir y presentar tres dimensiones del comportamiento de la señal en tiempo real —amplitud, tiempo y distribución de la amplitud en el tiempo— da como resultado un nivel superior de análisis del comportamiento de la señal.

8.5.- Longitud de registro

La longitud de registro, expresada como el número de puntos que conforman un registro completo de longitud de onda, determina la cantidad de datos que se pueden capturar en cada canal. Puesto que un osciloscopio puede almacenar solamente un número limitado de muestras, la duración (el tiempo) de la forma de onda será inversamente proporcional a la velocidad de muestreo del osciloscopio.

$$\text{Intervalo de tiempo} = \frac{\text{Longitud de registro}}{\text{Velocidad de muestreo}}$$

Los actuales osciloscopios permiten seleccionar la longitud de registro para optimizar el nivel de detalle necesario en su aplicación. Si se está analizando una señal sinusoidal

extremadamente estable, puede que una longitud de registro **de 500 puntos** sea suficiente, pero si se están aislando las causas de anomalías de tiempo en una trama compleja de datos digitales, pueden ser necesarios **un millón de puntos o más** para una longitud de registro determinada.

8.6.- Disparo

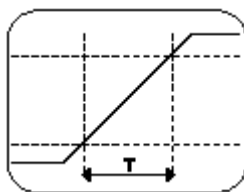
La función de disparo de un osciloscopio, sincroniza el barrido horizontal con el punto correcto de la señal, siendo esencial para una clara caracterización de la señal. Los controles de disparo permiten estabilizar las formas de onda repetitivas y la captura de formas de onda de ocurrencia.

El disparo hace que las formas de onda repetitivas aparezcan inmóviles en la pantalla del osciloscopio, mostrando repetidamente la misma sección de la señal de entrada.

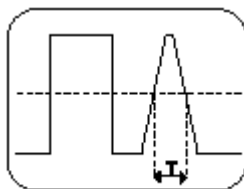
El disparo por flanco, disponible en los osciloscopios analógicos y digitales, es el tipo de disparo básico y más común en la actualidad. Anteriormente en los analógicos eran comunes los disparos por nivel, pero los hacían lentos frente a señales de rápido tiempo de crecimiento. Además del umbral de disparo que ofrecen los osciloscopios analógicos y digitales, muchos osciloscopios digitales ofrecen un conjunto de configuraciones de disparos especializados que no ofrecen los instrumentos analógicos. Estos disparos responden a condiciones específicas de la señal de entrada y facilitan la detección, por ejemplo, de un pulso que sea más estrecho de lo que debería ser. Sería imposible detectar tal condición con un disparo de umbral de voltaje solamente.

El disparo en osciloscopios digitales y de fósforo es similar a la de los Analizadores Lógicos.

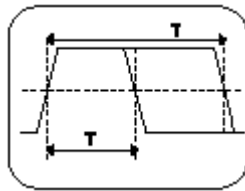
Disparo por velocidad de transición. Las señales de alta frecuencia con velocidades de transición más rápidas de lo esperado o de lo necesario, pueden radiar energía causante de problemas. El disparo por velocidad de transición supera al disparo por flanco convencional, añadiendo el elemento tiempo y permitiendo el disparo selectivo sobre flancos lentos o rápidos.



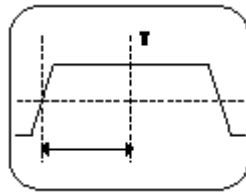
Disparo por espurios ("glitch"). El disparo por espurios permite disparar en pulsos digitales que son más estrechos o más anchos que un límite de tiempo definido por el usuario. Este control de disparo permite examinar las causas de los más infrecuentes espurios y sus efectos sobre otras señales.



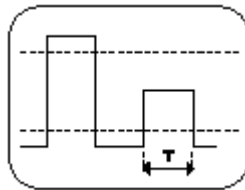
Disparo por ancho de pulso. Utilizando el disparo por ancho de pulso se puede monitorizar indefinidamente una señal y efectuar el disparo en la primera ocurrencia de un pulso cuya duración (ancho de pulso) esté fuera de los límites permisibles.



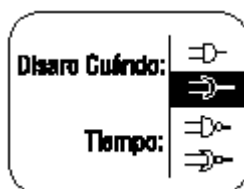
Disparo por lapso de tiempo (timeout). El disparo por lapso de tiempo permite disparar en un evento sin necesidad de esperar a que termine el pulso del disparo, disparando en base a un lapso de tiempo especificado.



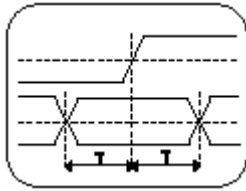
Disparo por seudopulso ("runt"). El disparo por seudopulso permite capturar y examinar pulsos que cruzan un umbral lógico, pero no ambos.



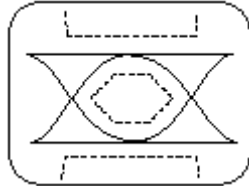
Disparo lógico. El disparo lógico permite disparar en cualquier combinación lógica de canales de entrada disponibles, siendo especialmente útil en la verificación de operaciones de lógica digital.



Disparo por tiempo de establecimiento y retención ("Setup" y "Hold"). Solamente el disparo por tiempo de establecimiento y retención permite capturar de forma determinística una transgresión aislada de los tiempos de establecimiento y retención de un dispositivo que, casi con toda seguridad, no sería posible capturar utilizando otros modos de disparo. Este modo facilita la captura de detalles específicos de calidad de la señal y de temporización cuando una señal de datos síncronos no llega a cumplir las especificaciones de los tiempos de establecimiento y retención.



Disparo de comunicaciones. Disponible opcionalmente en ciertos modelos de osciloscopios, estos modos de disparo cubren la necesidad de adquirir una amplia variedad de señales de comunicaciones tales como Inversión Alternada de Marca (AMI), Inversión de Código y Marca (CMI) y No Retorno a Cero (NRZ).



Retención del disparo ("holdoff")

A veces se requiere una gran habilidad para conseguir que el osciloscopio dispare en la parte deseada de una señal. Muchos osciloscopios tienen características especiales para facilitar esta tarea. La retención del disparo es un período de tiempo ajustable después de un disparo válido durante el cual el osciloscopio no puede disparar. Esta característica es útil cuando se está disparando sobre formas de onda complejas, de manera que el osciloscopio solamente pueda disparar sobre un punto de disparo válido. La **Figura 14**, muestra cómo la utilización de la retención del disparo ayuda a crear una presentación útil.

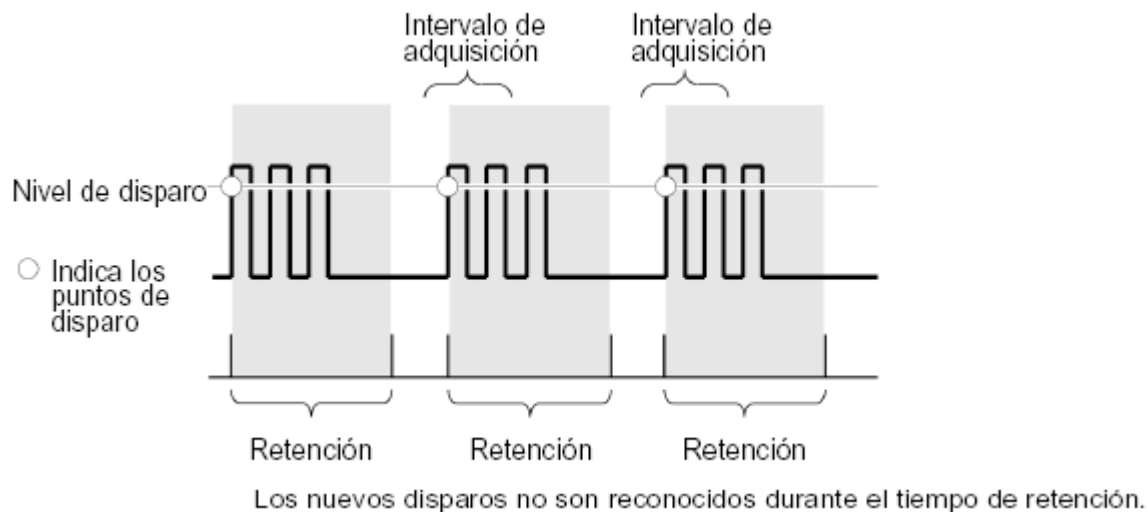


Figura 14. Retención del disparo ("holdoff").

8.7.- Sensibilidad vertical

La sensibilidad vertical indica hasta qué punto el amplificador vertical puede amplificar una señal débil —medida habitualmente en milivoltios (mV) por división. El voltaje más pequeño

que puede detectar un osciloscopio de tipo general es, típicamente, de alrededor de **1 mV** por división vertical de la pantalla.

8.8.- Velocidad de barrido

La velocidad de barrido indica la rapidez con la que la traza puede barrer la pantalla del osciloscopio, permitiendo ver la imagen con total nitidez. La velocidad de barrido de un osciloscopio se mide en tiempo (segundos) por división (tiempo/div).

8.9.- Resolución vertical (CAD-convertidor analógico/digital)

La resolución vertical del ADC, y por lo tanto, del osciloscopio digital, indica la precisión con la que el instrumento puede convertir señales de voltaje a valores digitales. La resolución vertical se mide en bits. Las técnicas de cálculo pueden mejorar la resolución efectiva, como en los ejemplos con modo de adquisición de alta resolución. Consulte Sistema horizontal y controles, en la sección Sistemas y controles de un osciloscopio.

8.10.- Conectividad

La necesidad de análisis de los resultados de medida sigue siendo de máxima importancia. La necesidad de documentar y compartir la información y resultados de medida de forma fácil y frecuente a través de las redes de comunicaciones de alta velocidad ha crecido también en importancia.

La conectividad de un osciloscopio proporciona capacidades avanzadas de análisis y simplifica la documentación y la posibilidad de compartir los resultados. Las interfaces estándar (GPIB, RS-232, USB, Ethernet) y módulos de comunicación en red permiten a algunos osciloscopios proporcionar un amplio conjunto de funcionalidad y control.

Algunos osciloscopios avanzados también permiten:

- Crear, editar y compartir documentos en el osciloscopio, todo ello, a la vez que se continúa trabajando con el osciloscopio en su entorno particular
- Acceder a los recursos de impresión y compartir ficheros en la red
- Acceder al entorno Windows®
- Ejecutar software de análisis y documentación
- Enlace a redes
- Acceso a Internet
- Enviar y recibir correo electrónico

8.11.- Capacidades de expansión

Un osciloscopio debe ser capaz de adaptarse a sus necesidades conforme éstas van evolucionando. Algunos osciloscopios permiten:

- Añadir memoria a los canales para análisis con mayores longitudes de registro
- Añadir capacidades específicas de aplicaciones de medida
- Complementar la potencia del osciloscopio con un amplio rango de sondas y módulos
- Trabajar con software genérico para análisis y productividad, compatible con Windows. Como el MATLAB.

- Añadir accesorios, tales como paquetes de baterías y kits de montaje en bastidor

Los módulos de aplicación y el software pueden permitir la transformación de un osciloscopio en una herramienta de análisis altamente especializada, capaz de realizar funciones tales como análisis de inestabilidad ("jitter") y tiempo, verificación del sistema de memoria de un microprocesador, test de estándares de comunicaciones, medidas de unidades de disco, medidas de vídeo, medidas de potencia, etc.

9.- Bibliografía:

- Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición; W. Cooper, A. Helfrick
- Notas de aplicación de Tektronix:
 - "XYZ de los osciloscopios" (xyz-of-oscilloscopes-tektronix.pdf ; XYZ de los osciloscopios.pdf)
 - "Tektronix Oscilloscopes" (Tektronix Oscilloscopes.MHTML)
 - "TDS 1000 2000 manual usuario" (TDS 1000 2000 manual usuario.pdf)
 - "El Osciloscopio de Fósforo Digital" (dpomajor.pdf)
 - "La innovación de los osciloscopios de fósforo digital" (55M_12023_2.pdf)

Ing. J.C. Colombo
 Prof. Medidas Electrónicas II
 FRT-UTN
 24/05/12