

MEDIDAS ELÉCTRICAS

Guía de estudios

Capítulo 8

Ing. Jorge L. Dampé
Colaboraron: Ing. Ricardo Dias
Sr. Diego Palmieri
Sr. Ernesto Elie
Cátedra de Medidas Eléctricas

Capítulo 8

Osciloscopio de rayos catódicos

8.1. Generalidades.

El osciloscopio de rayos catódicos, o simplemente osciloscopio, es uno de los instrumentos más versátiles y usados en la técnica de las medidas eléctricas y electrónicas. Básicamente, puede considerarse que estos instrumentos son dispositivos capaces de mostrar representaciones de una tensión en función de otra. Casi siempre, una de ellas se hace proporcional al tiempo, por lo que se logra visualizar la variación temporal del fenómeno. Su campo de aplicación es virtualmente ilimitado, ya que con el auxilio de transductores adecuados, casi cualquier fenómeno resulta analizable. Constituyen una herramienta imprescindible en el análisis de muchos transitorios, y en el estudio del funcionamiento de circuitos complejos. En todo lo que sigue presentaremos el análisis del funcionamiento de los osciloscopios del tipo analógico, reservando el tratamiento de los digitales para el capítulo 12.

8.2. Constitución de un osciloscopio elemental

El osciloscopio es el primer instrumento complejo cuyo estudio encararemos. Consta de un conjunto de dispositivos electrónicos que tienen por misión adecuar los valores de señales a los necesarios para excitar al tubo de rayos catódicos, que constituye el corazón del instrumento, y en el cual aparece la imagen que es la representación del fenómeno en estudio. En un osciloscopio de tipo general se encuentran los siguientes bloques:

- * Tubo de rayos catódicos;
- * Amplificador vertical;
- * Amplificador horizontal;
- * Generador de barrido;
- * Sistema de disparo;
- * Fuentes auxiliares.

En la figura 8.1 se aprecia una disposición esquemática de los antes citados bloques constitutivos del osciloscopio:

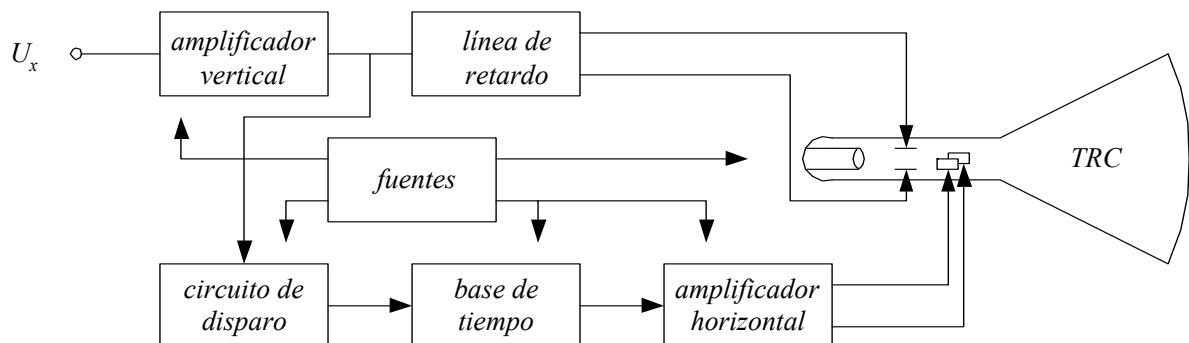


Figura 8.1: Esquema en bloques elemental de un osciloscopio

8.2.1. Principio de funcionamiento del tubo de rayos catódicos (T.R.C.)

El tubo de rayos catódicos de un osciloscopio consta del conjunto de dispositivos necesarios para lograr un haz de electrones, controlable en cantidad, que puede ser deflectado a voluntad, hasta lograr que impacte en un punto determinable de una pantalla revestida de un material fosforescente, que se ilumina en el punto de colisión. En consecuencia, todos sus dispositivos internos tienen por misión el lograr, en primer lugar, el haz de electrones necesario, y luego proveer los medios necesarios para gobernar la posición en la que chocará con la pantalla recubierta del material fosforescente. Dichos elementos son:

- * Un tubo de vidrio con alto vacío
- * El “cañón electrónico”
- * Las placas de deflexión
- * Los ánodos de aceleración
- * La pantalla recubierta de fósforo.

Los elementos antes citados, cuyo funcionamiento pasaremos a analizar en detalle adoptan la siguiente disposición esquemática:

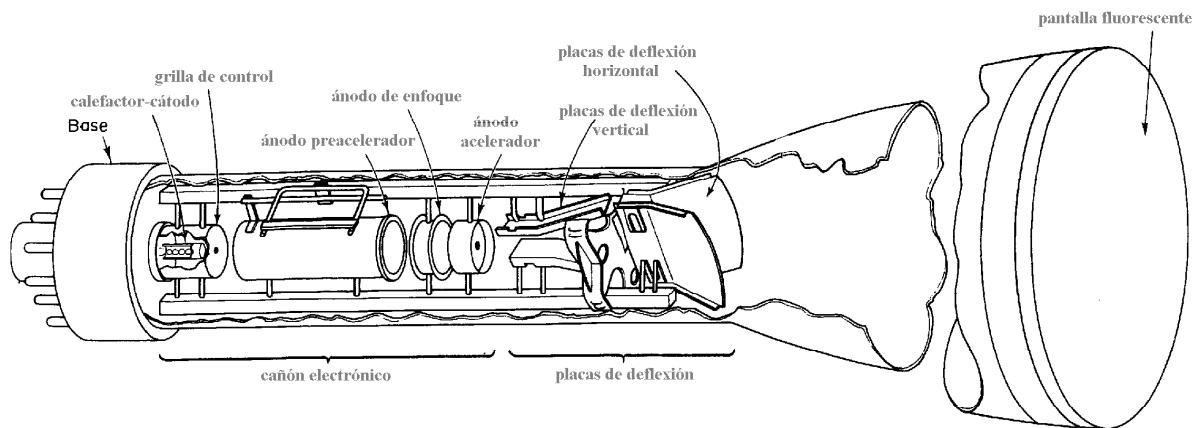


Figura 8.2: Esquema de un tubo de rayos catódicos

8.2.1.1 Cañón electrónico

Tiene por misión lograr el haz de electrones que serán enfocados sobre la pantalla para producir la imagen.

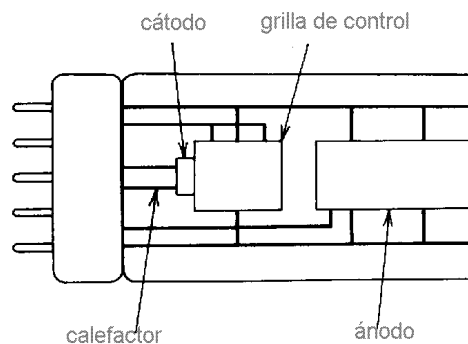


Figura 8.3: Esquema de un cañón electrónico

El calefactor tiene por misión calentar al cátodo, que es un elemento con alto poder de emisión de electrones, que es el encargado de proveer los electrones que luego serán acelerados y enfocados. El cátodo (la terminología es la que se emplea en las válvulas de alto vacío) está rodeado por un cilindro de metal con un orificio en su extremo que mira hacia el lado de la pantalla, *la grilla de control*, cuyo potencial, negativo respecto del cátodo es controlable dentro de ciertos límites mediante un control, accesible al operador, identificado como *control de intensidad* en el panel del instrumento. Como se comprende, si la grilla de control se hace muy negativa respecto del cátodo, los electrones que quedan libres por emisión termoiónica se encuentran con un campo retardador que impedirá que atraviesen el orificio antes indicado. Si por el contrario, la grilla se hace menos negativa, habrá una cierta cantidad de ellos en condiciones de traspasar dicho agujero, y por ende llegar a la zona ubicada a la derecha en la figura, donde serán deflectados. El control de intensidad opera justamente sobre el potencial relativo de estos elementos.

Los electrones que atraviesan el citado agujero son recibidos por un conjunto de dispositivos que constituyen el llamado “sistema de enfoque” o “lente electrónica” por la similitud entre su efecto sobre el haz de electrones y la difracción que una lente produce de los rayos de luz.

Estos cilindros están a potencial positivo respecto de la grilla de control, por lo que los electrones que pasaron el orificio de aquella son ahora acelerados en la zona del espacio en que se hallan estos elementos. Los cilindros de enfoque son normalmente dos, uno que provee la aceleración extra y otro que se ocupa de la puesta en foco del haz de electrones, de modo de lograr que éste dé un punto definido en el lugar de la pantalla en el que incida.

El funcionamiento de las lentes electrostáticas se entiende si se analiza el movimiento de los electrones en zonas del espacio cuyo potencial varía. Con referencia a la figura 8.4, consideremos que la zona a la izquierda de la misma se halle a un potencial U_1 , en tanto que a la derecha el potencial sea U_2 , en tanto que L represente la equipotencial que limita a ambas

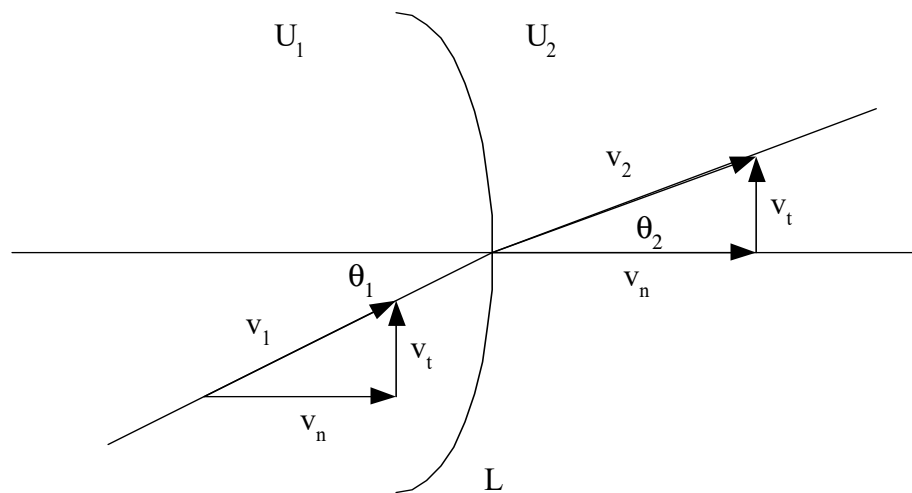


Figura 8.4: Movimiento de una partícula cargada en una zona de transición de potencial

Un electrón que incide sobre la línea divisoria con una velocidad v_1 , formando un ángulo θ_1 con la normal al punto de incidencia, experimentará una fuerza en la superficie L , que actuará en la dirección normal a la misma, por lo que su velocidad experimentará cambios sólo en la componente en esa dirección, no así en la componente tangencial, por lo que podremos escribir:

$$v_1 \text{ sen } \theta_1 = v_2 \text{ sen } \theta_2 \quad (8.1)$$

Relacionando las velocidades con los respectivos potenciales aceleradores se encuentra, con algunas suposiciones:

$$v_i = \sqrt{\frac{2 * e * U_i}{m}} \quad (8.2)$$

En la que:

- * e : carga del electrón;
- * U_i : potencial acelerador
- * m : masa del electrón.

Combinando la (8.2) con la (8.1) se tiene:

$$\frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} = \sqrt{\frac{U_2}{U_1}} \quad (8.3)$$

La (8.1) es formalmente similar a la expresión de la ley de refracción de un rayo de luz al atravesar dos zonas con distinto índice de refracción, por lo que suele llamársela ley de refracción electrónica, en tanto que la (8.3) nos dice que, si logramos controlar el potencial en distintas zonas del espacio lograremos controlar la trayectoria de los electrones que por ellas transiten.

El sistema de enfoque del tubo consta de una serie de cilindros, cuyo potencial se puede gobernar dentro de ciertos límites, que tienen por misión lograr que, en ausencia de otra excitación, el haz dé un punto en la zona de impacto en la pantalla. En la figura 8.5 se aprecia un esquema de un dispositivo de puesta en foco.

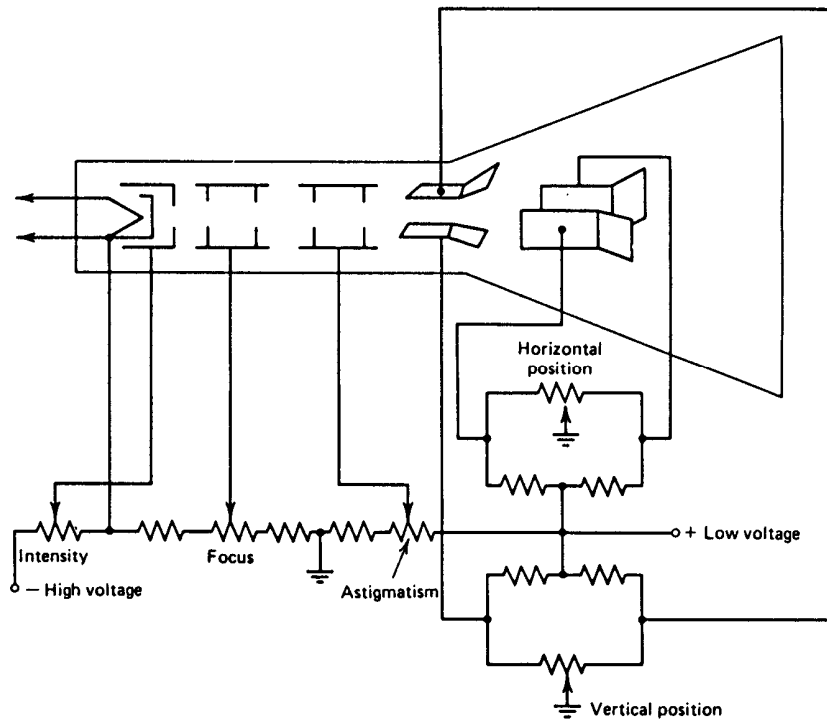


Figura 8.5: Dispositivo de enfoque y controles estáticos de un tubo

8.2.1.2. Sistema de deflexión

Logrado el haz enfocado, será necesario poder deflectorlo a voluntad. Ello se consigue, en un tubo de los empleados en un osciloscopio, con ayuda de un sistema de deflexión electrostático, cuyo principio puede estudiarse a partir de la figura siguiente:

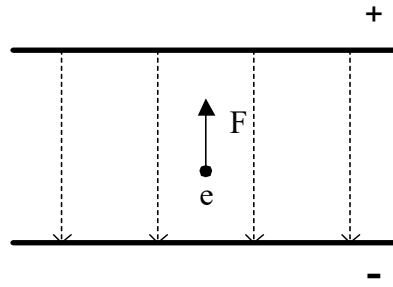


Figura 8.6: Fuerza sobre un electrón en un campo eléctrico

Al encontrarse en una zona del espacio con un campo como el representado en la figura anterior, el electrón experimenta una fuerza proporcional a su carga y al valor del campo, en dirección a la zona más positiva. Si él poseía una velocidad en sentido normal al campo, su componente en esta dirección no se modificará, y la trayectoria definitiva será una parábola, como se aprecia en la figura 8.7

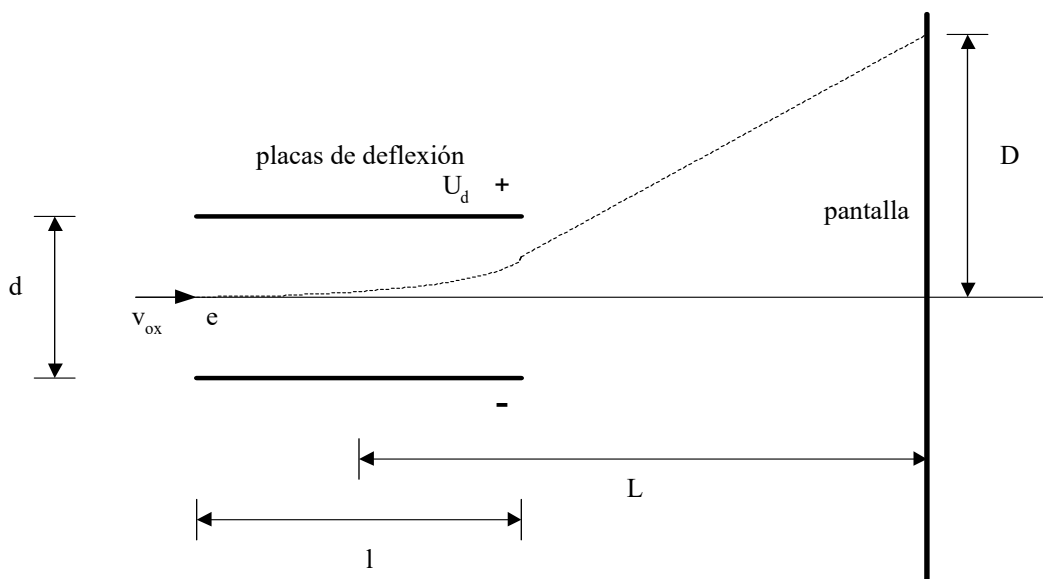


Figura 8.7: Esquema para la determinación de la trayectoria de los electrones en el tubo

Una vez traspuesta la zona del espacio en que se encuentran ubicadas las placas deflectoras, en ausencia de otro campo acelerador, el electrón continuará con movimiento rectilíneo y uniforme hasta hacer impacto en la pantalla. Interesa encontrar la deflexión alcanzada, D , en función de los parámetros eléctricos y mecánicos del tubo. Resolviendo la expresión de la trayectoria se puede encontrar que

$$D = \frac{L * l * U_d}{2 * d * U_a} \quad (8.4)$$

en la que los términos tienen el significado dado en la figura 8.7, siendo U_a el potencial acelerador del electrón (el que le dio la velocidad v_{ox} con la que entró a la zona de las placas).

La (8.4) es extremadamente importante: nos dice que la deflexión del haz de electrones en el tubo de rayos catódicos es una función lineal del potencial aplicado a las placas de deflexión, por lo que puede pensarse al dispositivo, salvando las distancias, como si fuera simplemente un voltímetro rápido. Todos los elementos que componen el diagrama en bloques visto en la figura 8.1

tienen por función asegurar los potenciales necesarios para lograr la deflexión correcta del haz. Una conclusión extra que puede extraerse de la anterior es que la deflexión es inversamente proporcional al potencial acelerador, lo que nos dice que cuanto mayor sea éste (motivado por necesidades de lograr un brillo adecuado en la pantalla en el caso de osciloscopios para fenómenos rápidos) tanto mayor será el potencial deflector necesario para lograr igual excursión a igualdad de los restantes parámetros del tubo.

Resulta ahora que si logramos situar dentro del tubo dos sistemas de placas, que provoquen deflexión según dos direcciones ortogonales, será posible, combinando sus efectos, lograr que el haz llegue al punto de la pantalla que deseemos. En los tubos reales, esos pares de placas son las llamadas *placas de deflexión horizontal y vertical*, respectivamente, aludiendo el nombre a las direcciones en las que mueven al haz.

8.2.1.3. Pantalla

Tiene por misión lograr que el haz de electrones que en ella incida dé una imagen brillante, y permitir la lectura de las posiciones relativas de las diferentes partes de la imagen que se obtenga. La imagen se logra mediante la propiedad que tienen algunas sustancias, entre ellas el fósforo, de absorber energía procedente del bombardeo provocado por el haz electrónico al incidir sobre ellas, y luego reemitirla en forma de radiación luminosa. Esta propiedad se llama *fluorescencia*, y *fosforescencia* a la propiedad de continuar emitiendo luz una vez que la excitación ha cesado. La pantalla de los tubos de rayos catódicos está recubierta interiormente de fósforo, de manera de lograr un punto brillante en el lugar de incidencia del haz. Se entiende por *persistencia* al intervalo durante el cual la emisión de luz se mantiene dentro de ciertos niveles. Un estudio detallado del fenómeno excede el marco de este libro, pero se puede encontrar en la bibliografía [1] Sólo diremos acá que el brillo que se logra en la pantalla depende de la cantidad de electrones que inciden por unidad de tiempo en el punto de impacto, y de la energía de los mismos. Esto depende del ajuste de los controles de *intensidad*, *foco*, *astigmatismo*, que se encuentran en el panel de comando del aparato, y del ajuste de la base de tiempo (ver punto 8.2.4). A medida que se lo usa al aparato para medir fenómenos cada vez más rápidos, se hace necesario incrementar la intensidad, actuando sobre el correspondiente comando. Si una vez que se ha trabajado a las máximas velocidades que consiente el osciloscopio se decide bajar sin hacer un previo ajuste del nivel de intensidad, se corre el riesgo de provocar daños irreversibles a la pantalla (“quemado” del fósforo, que se evita en los aparatos de alto precio mediante controles automáticos de intensidad)

El último elemento que compone el tubo es el conjunto de referencias y marcas que permiten efectuar la lectura de la amplitud y características de la señal desplegada, que se conoce como *gráticula*, y que se aprecia en su forma típica en la figura 8.8.

Usualmente la gráticula está formada por diez divisiones principales en sentido horizontal, y 8 o 10 en sentido vertical. Cada una de éstas, a su vez, está dividida en cinco divisiones menores. En algunos osciloscopios es posible cambiar las gráticulas a voluntad, en tanto que en otros, ésta suele estar grabada en el tubo.

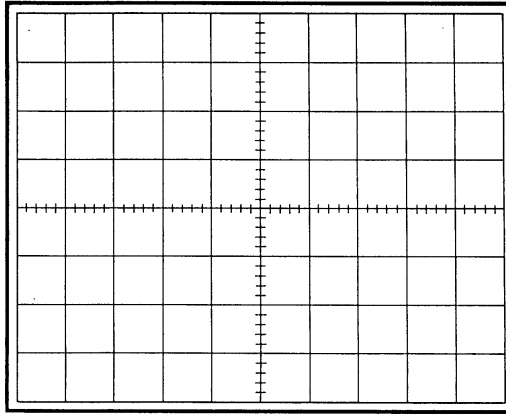


Figura 8.8: Esquema de la gráticula de un osciloscopio

8.2.1.4. Formación de una imagen en la pantalla

Aplicando las ideas anteriormente expuestas es posible determinar de qué manera se forma una imagen en la pantalla: bastará con aplicar a los conjuntos de placas de deflexión, verticales y horizontales, las señales que nos interesen. El haz electrónico irá adoptando la posición que corresponda a las dos excitaciones simultáneas. Debe notarse que al actuar los sistemas de deflexión según dos direcciones independientes en el plano, es posible ubicar al haz en cualquier punto. En particular, dichas direcciones son ortogonales, vertical y horizontal, lo que facilita el establecimiento de relaciones simples entre una y otra. En la figura 8.9 se aprecia el proceso de formación de la imagen.

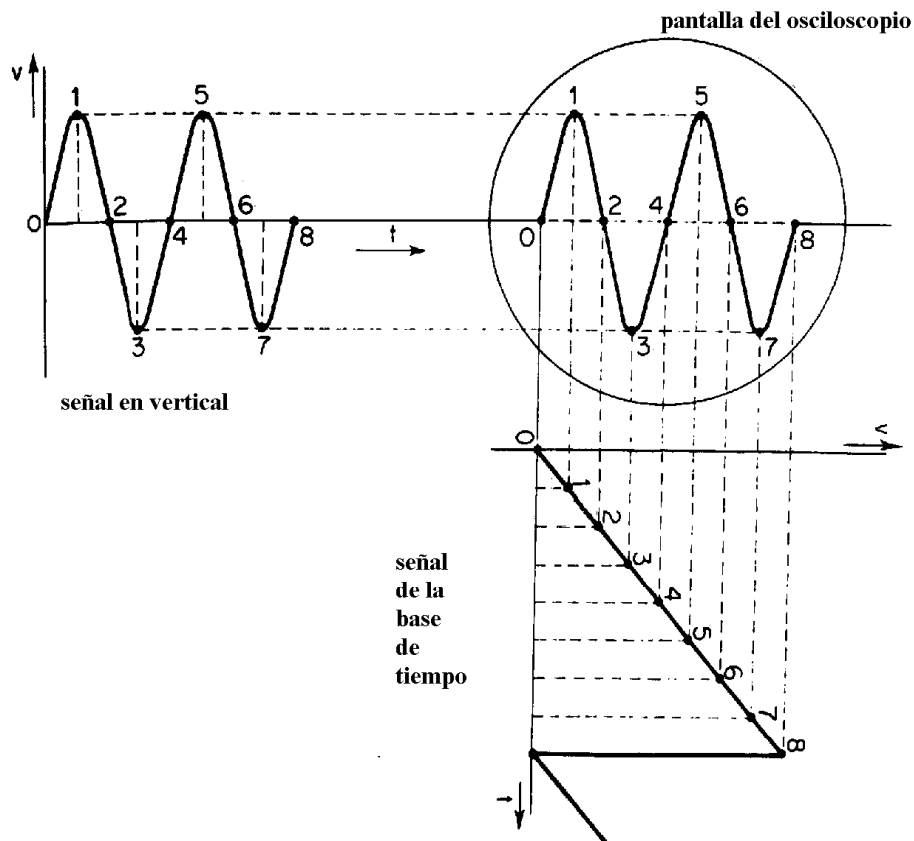


Figura 8.9: Formación de una imagen en la pantalla de un T.R.C.

8.2.2. Sistema de deflexión vertical. Atenuadores de entrada. Puntas de prueba

Es el encargado de proveer la señal que se aplicará a las placas de deflexión vertical, y que usualmente es la señal que interesa medir en función del tiempo. Su esquema en bloques es el siguiente:

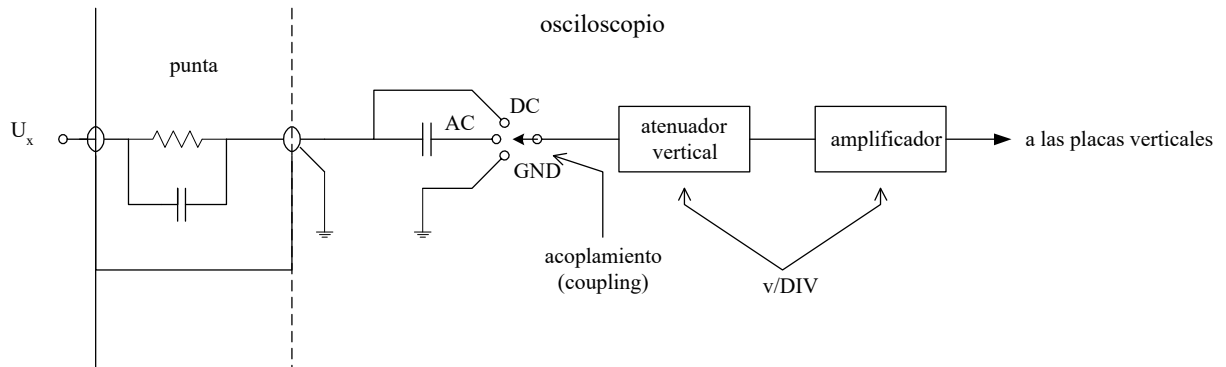


Figura 8.10: Esquema en bloques de la sección vertical de un osciloscopio

En la figura anterior se reconocen los siguientes elementos:

* **punta:** es el dispositivo que provee la conexión del osciloscopio con el circuito a medir, es externa a aquél, y suele proveer funciones de atenuación. Será tratada en detalle en el punto siguiente;

* **selector de acoplamiento:** permite que la señal incógnita ingrese al dispositivo de medición de diferentes maneras: toda ella, cuando se selecciona la variante DC, sólo las componentes a partir de una cierta frecuencia, (modo AC) para lo que se la pasa por un capacitor que filtra las muy bajas frecuencias, o bien coloca la entrada del conjunto atenuador – amplificador a tierra, con lo que se puede establecer la referencia de señal nula en la pantalla;

* **conjunto atenuador-amplificador:** tiene por misión adecuar los valores de señal a medir con los que son compatibles con el tubo particular. Se prefiere, por razones de exactitud, hacer un amplificador de ganancia variable en un número reducido de pasos, y complementarlo con un atenuador pasivo, con la cantidad necesaria de niveles de atenuación. El comando que acciona sobre este conjunto es el selector nombrado *V/div*, accesible en el panel de control del osciloscopio. Usualmente permite variar la atenuación en relación 1-2-5.

En cuanto al atenuador de entrada, cuya misión es adecuar los valores de la señal a aplicar al amplificador, tiene usualmente la forma de una red RC compensada, motivado por el hecho de que la impedancia de entrada del amplificador es un paralelo RC. En la figura 8.11 se presenta el esquema de un atenuador, para comprender su principio de funcionamiento

Interesa que la respuesta del atenuador sea independiente de la frecuencia. En continua, su relación de atenuación es

$$\frac{U_i}{U_x} = \frac{R_i}{R_i + R_a} \quad (8.5)$$

valor que queremos que se conserve a cualquier frecuencia. Para determinar en qué condiciones ello se cumple, calculamos en el dominio de Laplace:

$$\frac{U_i}{U_x} = \frac{\frac{R_i}{1 + sC_i R_i}}{\frac{R_i}{1 + sC_i R_i} + \frac{R_a}{1 + sC_a R_a}} = k \quad (8.6)$$

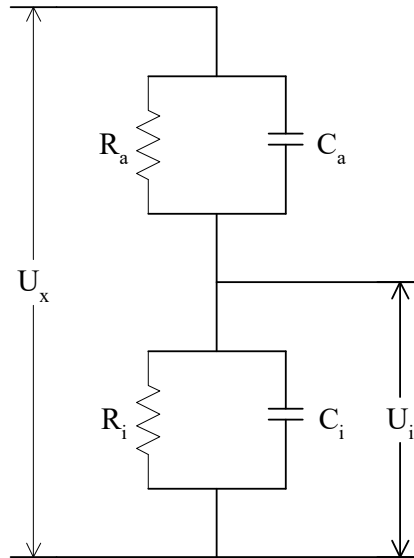


Figura 8.11: Esquema de un atenuador RC

e imponemos la condición que k sea un número real. Resolviendo la 8.6 se encuentra que si

$$R_i C_i = R_a C_a \quad (8.7)$$

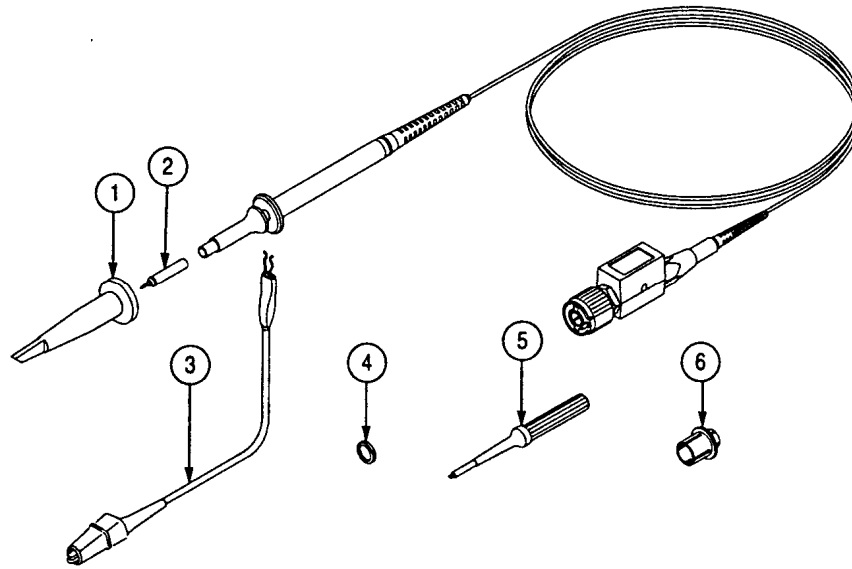
la relación del divisor es un número real igual al calculado en la (8.5)

Un divisor que opere en las condiciones de más arriba recibe el nombre de **divisor RC compensado**, y es extensamente usado en las técnicas de medición de transitorios. Es interesante notar que la relación del atenuador depende exclusivamente de los valores de las R_i , en el supuesto que la (8.7) se cumpla. Esto permite el empleo de capacitores que no necesariamente deben ser de gran estabilidad, siempre que exista la posibilidad de ajustarlos en caso de necesidad. En el ejemplo 8.1 veremos el efecto de un incorrecto ajuste del valor RC . En la casi totalidad de los osciloscopios, el atenuador de entrada, basado en los mismos principios de más arriba tiene un diseño algo más elaborado, con el fin de asegurar que la impedancia de entrada del instrumento (la que ve la fuente U_x) sea independiente del valor que se haya elegido de la atenuación. Típicamente, dicho valor es de $1 \text{ M}\Omega$ en paralelo con $10\text{...}30\text{...pF}$.

8.2.3. Puntas atenuadoras pasivas.

El ingreso de la señal al osciloscopio se hace por medio de las llamadas puntas de prueba. En su versión más común se trata de circuitos pasivos, que van desde un simple cable hasta un atenuador de relación fija o variable en no más de dos saltos. La figura 8.12 corresponde a una punta de prueba pasiva típica.

Teniendo en cuenta lo más arriba dicho, las puntas de prueba atenuadoras son también circuitos RC compensados, que brindan atenuaciones de 10 o de 100 (puntas 10X o 100X) con el fin de que la lectura de la deflexión sea inmediata, pues bastará multiplicar por esos factores lo que aparece en la pantalla.



Referencias:

- | | |
|------------------------------------|---------------------------------|
| 1: clipe de conexión | 2: contacto interno de la punta |
| 3: cable de tierra, con cocodrilo | 4: identificador |
| 5: destornillador para calibración | 6: adaptador BNC miniatura |

Figura 8.12: Punta de prueba pasiva (despiece)

El detalle a tener en cuenta para la determinación de los valores de R y C necesarios es que la capacidad del cable de la punta queda en paralelo con la entrada del osciloscopio, y debe ser considerada en el cálculo, como surge del análisis del siguiente circuito equivalente del conjunto osciloscopio – punta de prueba:

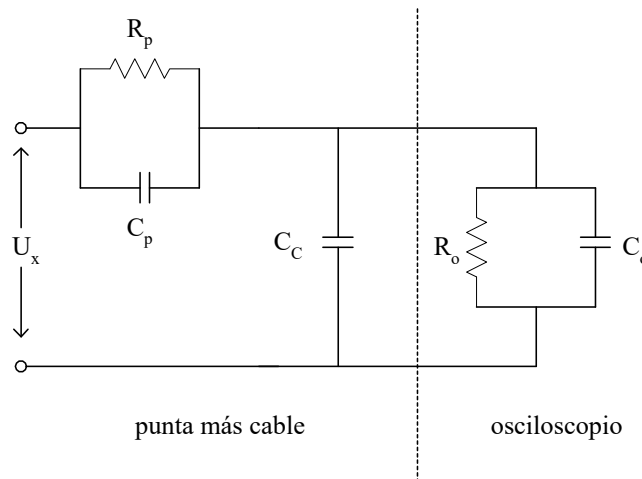


Figura 8.13: Circuito equivalente del conjunto punta atenuadora más osciloscopio

El valor de la capacidad del cable puede considerarse típicamente en el orden de los 100 pF/m, y condiciona el que debe tener el capacitor de la punta para lograr que el conjunto esté compensado. En las puntas atenuadoras, siempre existe la posibilidad de ajustar el valor de C_p , que es va-

riable, hasta lograr que la condición expresada por la (8.7) se cumpla; con tal objeto, el osciloscopio posee un generador interno de onda cuadrada, que al ser aplicada al conjunto, debido a su alto contenido armónico, permite detectar fácilmente cualquier apartamiento del valor de C_p necesario para lograr la compensación. El operador debe observar que la onda que aparece en la pantalla no presente deformaciones, y en caso de que existan, modificar el valor de la capacidad de ajuste de la punta hasta que desaparezcan. Es dable remarcar que una punta incorrectamente ajustada provocará errores en la determinación del valor cresta de la incógnita, y distorsión de la misma, pues sus armónicas se verán atenuadas de diferentes formas (con distintos módulos y fases).

La razón de ser del empleo de las puntas atenuadoras pasivas debe buscarse no sólo en la necesidad de aumentar los alcances del osciloscopio, sino también en la reducción de los errores de inserción resultantes, ya que la impedancia del conjunto punta atenuadora osciloscopio es siempre mayor que la de este último. Las puntas 1X, por el contrario, sólo agregan la capacidad de su cable en paralelo con la de entrada del instrumento, por lo que debe ser tenido en cuenta el efecto que produce su conexión en circuitos con altas impedancias de salida, o con señales de frecuencias elevadas.

Ejemplo 8.1

Encontrar qué valores deben tener la resistencia y capacidad de una punta atenuadora pasiva 10X, provista de 1 m de cable coaxial, cuya capacidad es de 100 pF, destinada a ser usada con un osciloscopio cuya impedancia de entrada es de 1 M Ω en paralelo con 30 pF. Determinar cómo se deformaría un escalón de tensión si la capacidad de la punta se elige 10 % por encima y 10 % por debajo de su valor teórico. La impedancia de salida del generador de escalón puede considerarse nula.

Solución

Los valores de R_p y C_p se encuentran a partir de la relación de atenuación buscada. Operando con la (8.5) se encuentra

$$R_p = 9 \text{ M}\Omega$$

por lo que

$$C_p = \frac{(C_o + C_c)R_o}{R_p} = 14,4 \text{ pF}$$

Para responder a la segunda parte de la pregunta, es conveniente el empleo de un simulador de circuitos, por lo que lo haremos empleando el PSpice.

Lo primero que deberemos hacer es dibujar el circuito en el subprograma "Schematics", y elegir el modo de simulación transitorio. Aplicando lo expuesto en el capítulo sobre uso del PSpice llegaremos al circuito que se ve en la figura 8.14. La llave dependiente del tiempo se armó con los siguientes parámetros:

- R_{open} : 10.000 M Ω ;
- R_{close} : 0,00001 Ω
- t_{tran} : 0,001 μs ;

- $t_{close}: 0$

Cambiando los parámetros de C_1 a los valores indicados en el ejercicio se obtuvieron los resultados que se aprecian en la figura 8.15.

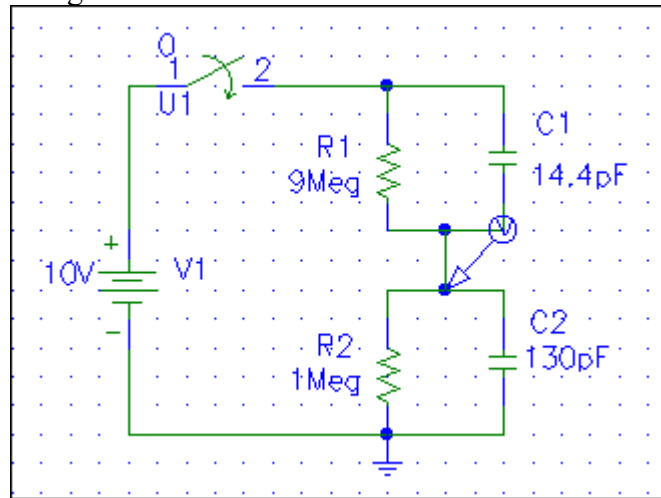


Figura 8.14: Circuito dibujado en el Schematics para analizar el comportamiento de una punta atenuadora

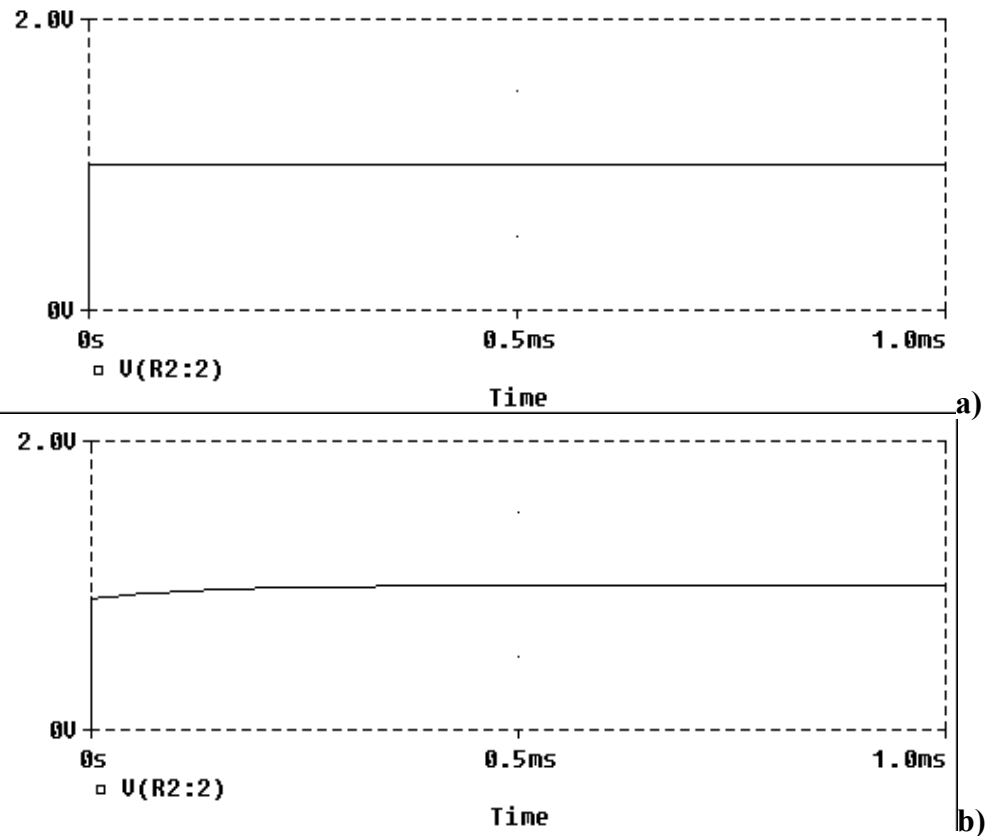


Figura 8.15: Efecto de la variación de la capacidad de la punta en la respuesta al escalón

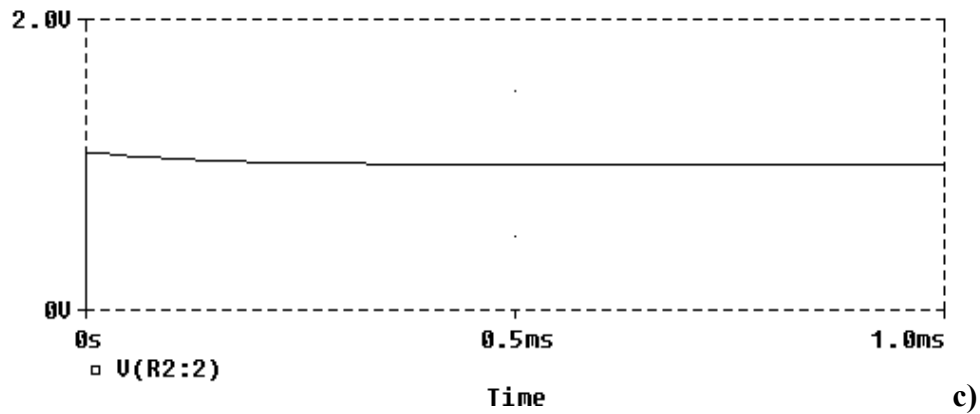


Figura 8.15 (cont.): Efecto de la variación de la capacidad de la punta en la respuesta al escalón

En la parte a) se aprecia el comportamiento de la punta compensada, en la b) lo que sucede cuando el capacitor de la punta tiene un valor 10 % por debajo de su valor correcto, y en la c) lo que pasa cuando dicho capacitor excede en 10 % a su valor nominal. Es de remarcar que esos comportamientos serían apreciados en la pantalla del osciloscopio cuando se aplica la señal de calibración.

8.2.4. Barrido horizontal

En la modalidad Y-t, en que el osciloscopio muestra en la pantalla la variación temporal de señal de entrada al canal vertical, se hace necesario aplicar al sistema de deflexión horizontal una señal que varíe linealmente con el tiempo:

$$h(t) = k * t \quad (8.8)$$

de modo que el haz electrónico, sometido a la acción de, por un lado la señal vertical, $y(t)$, y por el otro la horizontal, $h(t)$, dibuje sobre la pantalla la $y(t)$, como se aprecia en la figura 8.9. En cuanto a los límites de variación de $h(t)$ van desde $-U_h$ hasta $+U_h$, cubriendo en esta excursión todo el ancho de la pantalla

Es claro que si se cambia la pendiente de $h(t)$, cambia el tiempo necesario para una excursión completa, desde $-U_h$ hasta $+U_h$, y por lo tanto también lo hará la parte de la $y(t)$ que será representada. Si la $h(t)$ se hace periódica, a cada período de la misma corresponderá una representación de la parte correspondiente de la $y(t)$; es evidente que a menos que la frecuencia de la señal aplicada en vertical sea un múltiplo entero de la horizontal, no se logrará una presentación estable en la pantalla si el barrido está permanentemente disparado. (Se denomina *barrido* a la acción de la señal horizontal que provoca que el haz de electrones *barra* la pantalla) Aparece entonces la necesidad de **sincronizar el barrido**, para lo que se agrega un dispositivo que hace que el generador de barrido no arranque (no se dispare) hasta que no ocurra un determinado evento, que se caracteriza por su amplitud y su pendiente, en forma general.

Resulta entonces que si esas características se toman de la señal aplicada en vertical, no aparecerá el barrido hasta tanto ésta no llegue al valor prefijado con la pendiente indicada, lo que asegura, en el caso de las señales periódicas, una representación estable con independencia de la relación de frecuencias entre vertical y señal de barrido. Si no lo fueran, igualmente resulta válido el concepto, pues recién se tendrá imagen cuando se cumplan las condiciones que el operador ha fijado. La acción de disparar el barrido suele identificarse por la palabra inglesa correspondiente, trigger (gatillo).

En forma general en los osciloscopios comunes se distinguen las siguientes alternativas de disparo y sincronización del barrido horizontal, que el operador debe seleccionar en función de sus necesidades [2]:

* **Elección de la fuente de señal de gatillado (trigger source):**

- *Interna*: en que toma una muestra de la aplicada en vertical,
- *Externa*: el operador debe aplicar la señal que desea que dispare al osciloscopio en la entrada correspondiente
- *Línea*: en que automáticamente se toma una muestra de la tensión de alimentación del aparato.

* **Elección del modo de acoplamiento de la señal de gatillado**: d.c. , a.c. y eventualmente, en los osciloscopios de mejor calidad, acoplamiento de alterna a través de filtros que permiten eliminar algunas de las componentes de la excitación seleccionada.

* **Selección de pendiente**: positiva o negativa.

* A veces, **modo de gatillado** automático (auto) o disparado (triggered). En el primero se logra el gatillado con señales en vertical que tengan una cierta cadencia de repetición, y en ausencia de ellas el generador de barrido se dispara en forma automática, permitiendo la presentación en la pantalla de un trazo de referencia. En el segundo, no hay disparo a menos que esté presente la señal de trigger.

- **Selección de modo normal**, en que el barrido se realiza cumpliendo con lo mas arriba señalado, o barrido único (single sweep), en que el barrido se dispara una vez, cuando se han cumplido las condiciones que el operador fijó, y no vuelve a hacerlo, por más que éstas sigan presentes, hasta que no sea nuevamente predispuerto operando sobre un control de reposición (reset).

Lo antes expuesto se controla mediante el sistema de deflexión horizontal del osciloscopio, cuyo diagrama en bloques básico se aprecia en la figura 8.16, en la que además de los elementos básicos más arriba mencionados aparece la posibilidad de ingresar directamente al sistema horizontal con una señal externa, evitando el generador de diente de sierra de barrido. Cuando se trabaja en este modo, se dice que el osciloscopio se usa en **modo XY**. La imagen que aparecerá es, también aquí, la representación de una de las señales en función de la otra, con la diferencia de que el tiempo no será medible directamente en el eje X. En este modo el osciloscopio se dispara siempre, y quedan desactivados todos los comandos de trigger y de sincronismo.

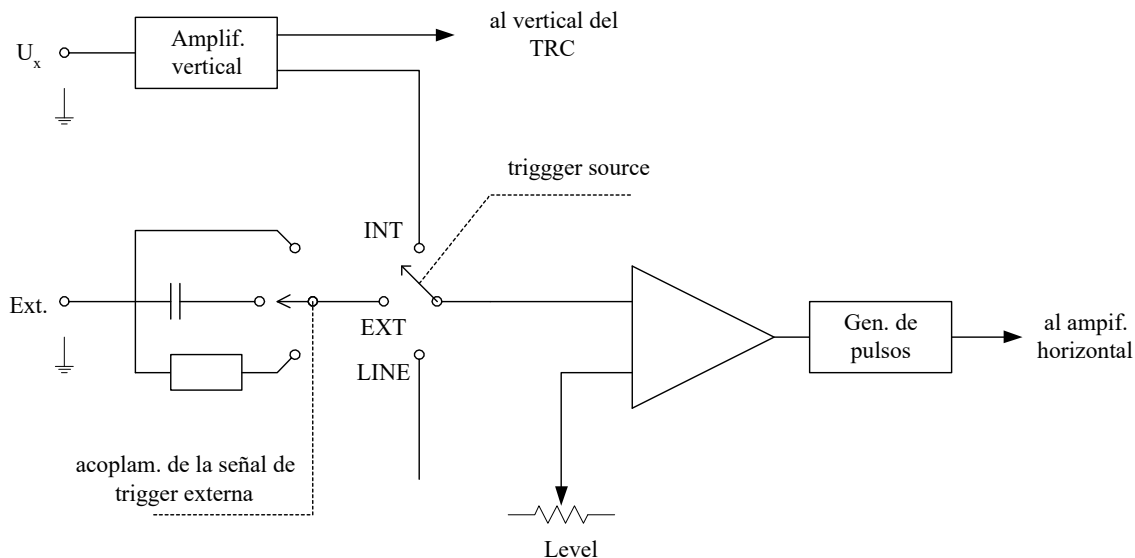


Figura 8.16: Esquema en bloques de la parte de trigger de la sección horizontal de un osciloscopio

8.3. Osciloscopios del tipo de laboratorio

En la parte previa se ha estudiado un tipo elemental de osciloscopio, apto para comprender su funcionamiento. La gran variedad de problemas de medición que se resuelven mediante estos instrumentos, ha ido llevando a los fabricantes al desarrollo de aparatos, que sin ser especiales, pueden considerarse como más elaborados que uno común. Aquí nos ocuparemos de las funciones que más frecuentemente se encuentran en los osciloscopios de calidad.

8.3.1. Osciloscopios de doble trazo.

El osciloscopio que hasta ahora hemos estudiado permite lograr la presentación de una única señal en vertical, en función de la que aparece en horizontal. Para muchas aplicaciones basta con estas funciones, pero existen innumerables casos en los que es necesario ver más de un fenómeno por vez. En el osciloscopio de doble trazo es posible ver simultáneamente dos señales en función del tiempo. Un aparato de estas características tiene un esquema en bloques que en su forma general responde a lo que se aprecia en la figura 8.17.

Este osciloscopio posee dos sistemas de deflexión vertical independientes, con sus correspondientes entradas, y un único sistema horizontal. Cada una de las entradas verticales posee sus correspondientes atenuadores y preamplificadores de entrada, los que, luego de pasar por las correspondientes líneas de retardo, envían sus señales a una llave electrónica, que puede ser comandada por el operador mediante un control llamado “modo” (mode), disponible en el panel de control, y cuya salida va a actuar sobre el amplificador vertical, y de ahí al tubo. Este comando posee diferentes posiciones, que pasamos a analizar:

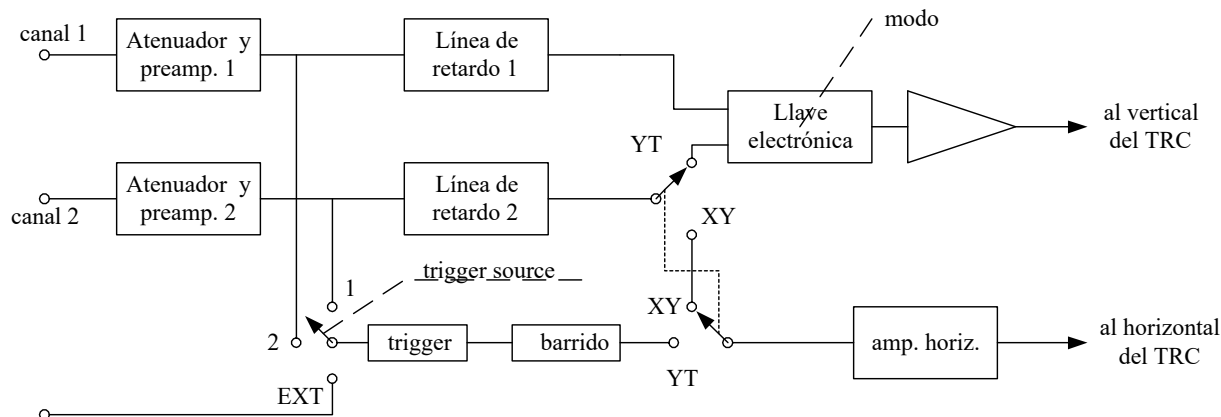


Figura 8.17: Esquema en bloques de un osciloscopio de doble trazo

* **canal 1 o canal 2:** envía al conjunto de placas de deflexión vertical, bien la señal del canal 1 o la del canal 2. En esta opción, salvo la doble entrada, el osciloscopio funciona en forma similar a uno de un solo canal;

* **modo troceado (chopped):** En esta opción la llave electrónica conmuta a una velocidad pre-determinada (propia de cada osciloscopio en particular, pero que es del orden de algún centenar de kHz), entre las señales que están presentes en cada uno de los dos canales del osciloscopio, por lo que al tubo llegan fracciones de las señales presentes en cada canal. Teniendo en cuenta que se poseen dos sistemas de deflexión independientes, se obtienen dos imágenes, cada una de las cuales está formada por pequeños segmentos, que, si son lo suficientemente numerosos, no se advertirán a simple vista, dando el aspecto de un fenómeno continuo. Estas dos imágenes tienen en común el origen de los tiempos, pero pueden ser sometidas a tratamientos de atenuación o proceso independientes. En cuanto al trigger, como se aprecia en la figura antes citada, puede ser tomado de cualquiera de los caminos usuales. Cuando el barrido se va haciendo cada vez más rápido, como la frecuencia de la llave electrónica es independiente de él, los segmentos empiezan a hacerse visibles, tomando las señales el aspecto de discontinuo que les corresponde en la realidad, llegando incluso a perderse detalles importantes si coinciden con el momento en que se está procesando la señal del otro canal. El remedio para este inconveniente lo constituye el modo de barrido alternado, que pasamos a discutir.

* **modo alternado (alternate)** En esta opción, cada vez que se cumplen las condiciones de trigger se produce un barrido completo de cada uno de los canales, por lo que aparecen alternativamente en la pantalla las presentaciones de las señales de los canales 1 y 2. Si el ritmo de los fenómenos es lo suficientemente rápido, al igual que lo que sucedía en el caso anterior, el observador tiene la sensación de simultaneidad de los mismos. No debe olvidarse que en la realidad, se ve primero una señal, y a continuación, cuando se vuelven a dar las condiciones de trigger, la siguiente. Esto hace que esta modalidad no sea aplicable en las situaciones en que es condición sine qua non la visualización simultánea, como sería el caso de ver corriente y tensión en un mismo punto de un circuito, con una excitación que no se repite.

* **modo sumado:** En este caso aparece una señal que es la suma, instante por instante, de las que se aplican a cada uno de los canales. Si uno de ellos tiene la posibilidad de inversión de lo que está presente en su entrada, se puede presentar la diferencia de las dos señales

* **modo XY:** Si bien esta presentación no es exclusiva de los osciloscopios con doble trazo, como surge de lo que más arriba se ha expresado respecto de los sistemas horizontal y vertical, estos aparatos poseen una ventaja importante cuando se los trata de usar en este modo, que deriva del

hecho de contar con un atenuador independiente por cada canal, lo que facilita la presentación y los hace más versátiles para esta aplicación.

8.3.2. Osciloscopios de doble haz.

Los osciloscopios de doble trazo, representan una solución para la gran mayoría de los casos en que se necesita ver simultáneamente dos señales. En los casos en que los fenómenos a registrar son muy rápidos se suele recurrir a los osciloscopios de doble haz.

Dentro de este grupo existen dos variantes fundamentales, los que usan un tubo especial con doble sistema de deflexión vertical y un único sistema horizontal, que son capaces de presentar dos fenómenos en forma simultánea, pero con un único barrido (fig. 8.18) y los que poseen un tubo especial en el que todos los sistemas se hallan duplicados, con excepción de la pantalla. En estos últimos es posible tener dos bases de tiempo independientes, lo que permite la visualización de los dos canales con diferentes barridos, lo que amplía mucho la versatilidad de estos aparatos. Tanto los de uno como los de otro tipo tienen un dispositivo de trigger común, que garantiza que los dos canales dan presentaciones con sus orígenes de tiempo coincidentes.

Este tipo de osciloscopios va cayendo en desuso con el transcurso de los años, ya que su alto costo, e inferior versatilidad que la de los osciloscopios digitales, hacen que estos últimos sean su reemplazo indicado.

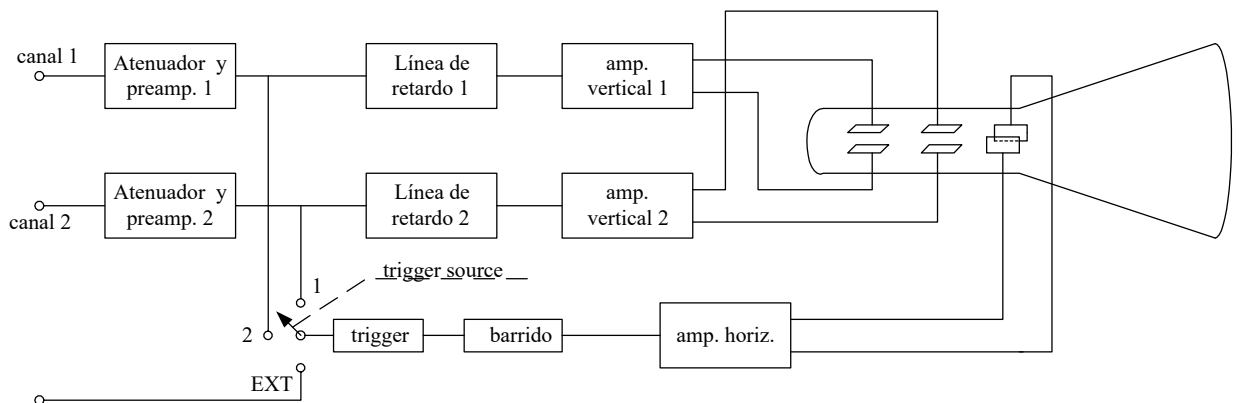


Figura 8.18: Esquema en bloques de un osciloscopio de doble haz con una única base de tiempo

8.3.3. Osciloscopios de almacenamiento (storage).

Cuando se trata de visualizar y analizar señales que no se repiten, o que son tan lentas que la imagen se desvanece antes que el haz haya completado el barrido, resulta imprescindible registrarlas o memorizarlas para su evaluación a posteriori. Las técnicas empleadas pueden resumirse en:

- **fotografía:** importante sobre todo en el caso de fenómenos muy rápidos;
- **almacenamiento en el osciloscopio:** del cual cabe distinguir dos casos particulares:
 - * *almacenamiento en el tubo de rayos catódicos*, característico de los osciloscopios analógicos como los que estamos estudiando;
 - * *almacenamiento digital:* propio de los osciloscopios de este tipo, que serán tratados en detalle en el Capítulo 12

La primera técnica no requiere mayores comentarios. De las segundas nos ocuparemos por ahora del almacenamiento en el tubo, que utiliza una variedad especial de éstos llamada de “almacenamiento” o frecuentemente “de storage”, por la palabra inglesa correspondiente.

Básicamente el funcionamiento de estos tubos consiste en cargar por medio del haz principal la zona en que éste incide, para que electrones provenientes de cañones auxiliares, que sin carga previa de la pantalla no darían imagen, lo hagan. Estos cañones auxiliares, son propios de este tipo de tubos, y se activan cuando el operador selecciona el modo de operación “storage”.

El siguiente esquema corresponde a un tubo de almacenamiento típico:

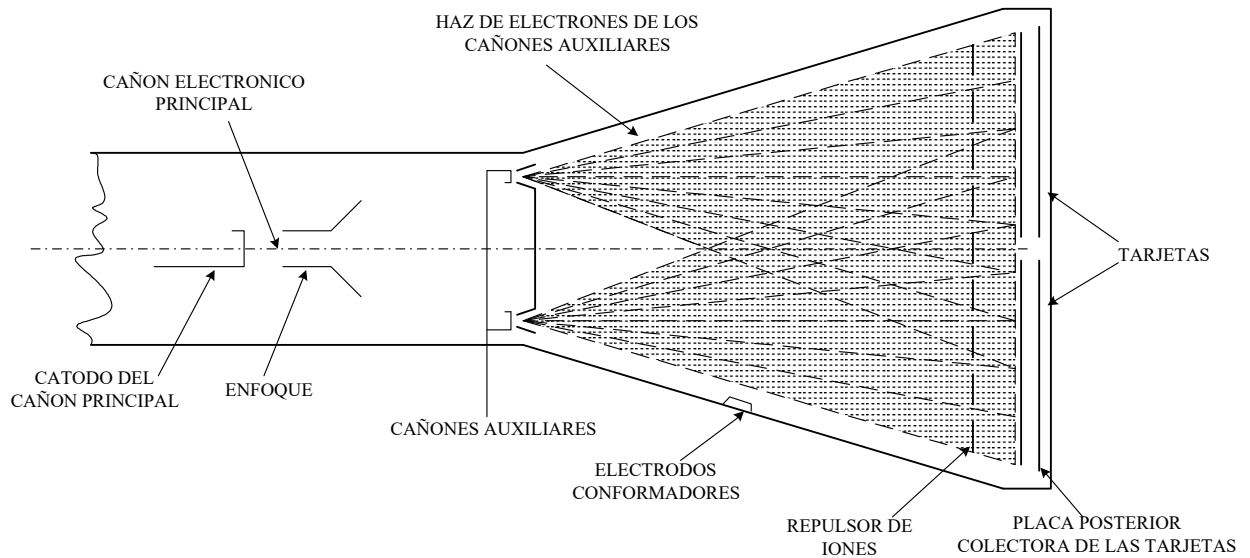


Figura 8.19: Vista en corte de un TRC del tipo de almacenamiento (storage)

El cañón electrónico principal no difiere en nada del de un tubo común. Los cañones auxiliares (“flood guns”) inundan toda el área de grilla y pantalla con electrones de baja energía, que no alcanzan a dar una imagen a menos que la grilla posea un potencial positivo que provea una aceleración extra. Si se consigue cargar positivamente sólo las zonas en que incidió el haz principal, aparecerá una imagen en ellas, provocada por los cañones auxiliares, que será copia de la debida al haz principal y que durará un tiempo relativamente prolongado, a condición que permanezcan encendidos los cañones auxiliares.

El proceso de carga de cierta zona puede lograrse mediante el fenómeno de emisión secundaria: cuando un material es bombardeado por electrones que posean una adecuada energía, es posible arrancar de él electrones, que serán de energía menor que la de los incidentes. Si la cantidad de electrones secundarios es diferente que la de electrones incidentes, el material podrá adquirir una cierta carga. Un parámetro de interés para juzgar el comportamiento de un material que exhiba emisión secundaria es la llamada relación de emisión secundaria, definida como “la cantidad de electrones secundarios emitidos dividida por la cantidad de electrones incidentes”:

$$\delta = \frac{I_s}{I_p} \quad (8.9)$$

en la que I_s e I_p corresponden a las corrientes debidas a los electrones de emisión secundaria e incidentes, respectivamente [1].

En presencia de un colector puesto a $+U_c$ respecto de los cañones auxiliares, puede encontrarse la variación de la relación de emisión secundaria con la tensión como se muestra en la figura 8.20, que corresponde a un caso típico:

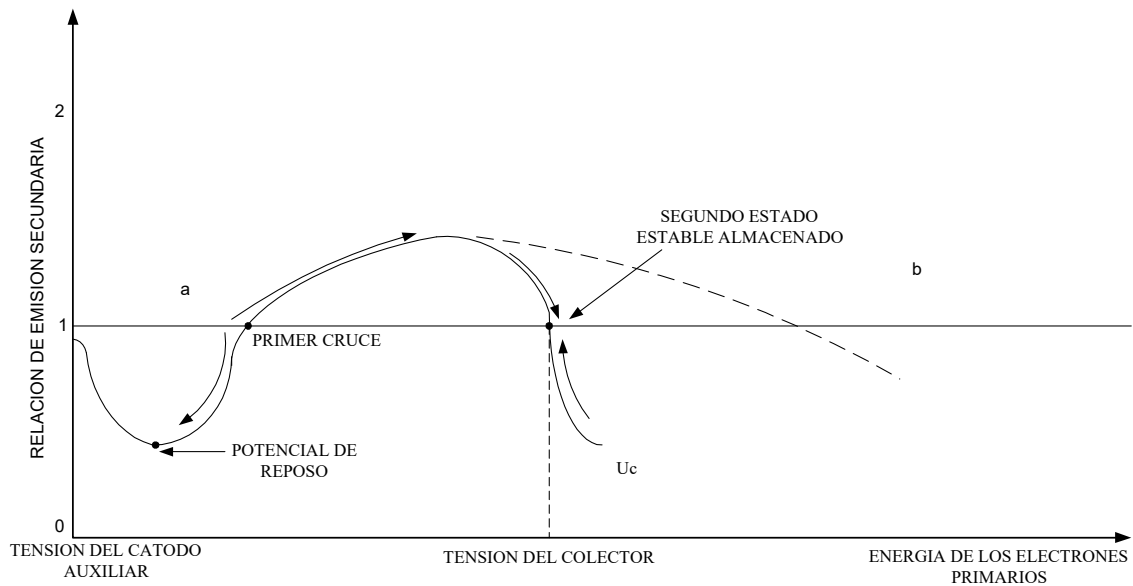


Figura 8.20 Curva típica de relación de emisión secundaria en función de la energía de los electrones incidentes

a y b reciben el nombre de puntos de cruce. De ellos, el primero es inestable, en el sentido que si se está a su izquierda, se va hacia el primer punto estable, y si a la derecha, al segundo, que es estable.

Si se presenta lo anterior en función del potencial de la rejilla de almacenamiento se encuentra lo siguiente

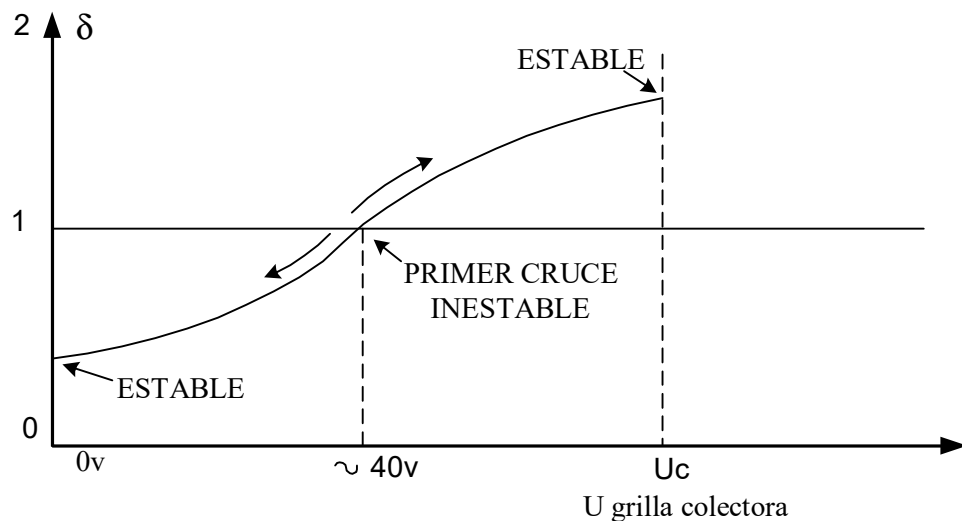


Figura 8.21: Relación de emisión secundaria en función de los potenciales de las grillas de control del TRC

Cuando se traspone el primer punto de cruce, debido a que han incidido electrones con energía suficiente como para hacerlo, el potencial de la grilla crece hasta U_c , (2^{do} punto estable), lo que equivale a decir que aumentará la energía de los electrones auxiliares que en ella inciden, que ahora podrán dar imagen. La figura 8.22 es indicativa de ello:

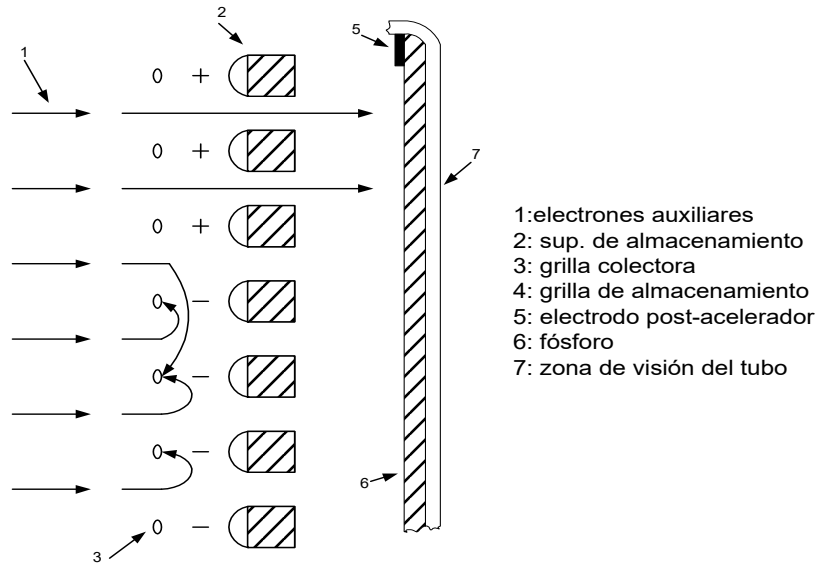


Figura 8.22: Tubo de almacenamiento en rejilla

Un comportamiento similar puede lograrse reemplazando la rejilla por un recubrimiento de gránulos de fósforo, y colocando el colector entre este recubrimiento y el vidrio, en forma de lámina transparente, como se aprecia en la siguiente vista de un tubo comercial:

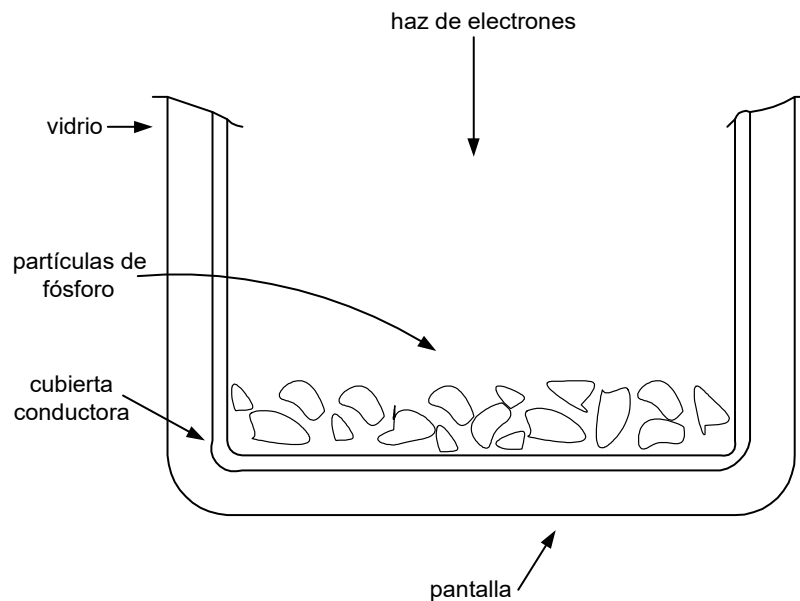


Figura 8.23: TRC de almacenamiento en fósforo

8.3.3.1. Comandos extras que aparecen en un osciloscopio de storage

Además del elemento de activación de la facilidad, que se empleará casi exclusivamente en la modalidad *single sweep*, se encuentran los siguientes:

- **Borrado (Erase):** Cuando se desea borrar la imagen se aplica un pulso positivo al colector, que lleva a condición de escrito a toda la superficie de la pantalla, y luego uno negativo hasta llegar a la zona estable anterior al primer punto de cruce.

- *Comandos para escritura rápida*: Cuando el fenómeno que se desea registrar es muy rápido, la velocidad de escritura en modo storage, menor que la del modo normal, puede resultar insuficiente. Los osciloscopios de mejor calidad poseen dispositivos que permiten reforzar la capacidad de escritura. Ellos son:
 - *Refuerzo (Enhance)*: Se aplica un pulso de aproximadamente 1 ms al blanco o tarjeta, lo que posibilita que menor corriente de electrones del cañón principal vire al conjunto al modo escrito. Este pulso puede ser controlado en amplitud por un control ad-hoc accesible al operador. El ajuste necesariamente debe realizarse por tanteos hasta lograr la imagen de mejor calidad.
 - *Integración (Integrate)*: Cuando la señal es repetitiva, se puede acumular cargas durante sucesivos pasajes del haz electrónico por la zona a escribir; al oprimir el botón “Integrate” se suman cargas hasta lograr que la superficie vire a la condición de escrito. También aquí es necesario proceder por tanteos hasta lograr la mejor presentación. Obviamente, esta técnica no es aplicable con señales no repetitivas, para las que resta sólo el “enhance”.

8.3.4. Osciloscopios de barrido retardado

Una facilidad adicional que puede presentarse en muchos osciloscopios para facilitar la presentación de señales y la medición de intervalos de tiempo es el llamado *barrido retardado*, o “*delayed sweep*”.

Se tienen dos bases de tiempo, una llamada retardadora, y la otra retardada. La retardadora arranca por medio de un sistema de trigger normal, y cuando se completa un tiempo fijado por el operador mediante un ajuste fino, imparte la orden de arranque a la retardada, que es la que barre la pantalla, y cuyo ajuste de tiempo puede hacerse en forma independiente de la retardadora.

Según el tipo de osciloscopio de que se trate existen diferentes modalidades de funcionamiento de este tipo de aparatos. Las formas más comunes son las dos siguientes:

- Automática: cuando ha transcurrido el tiempo ajustado en la base que da el retardo, arranca automáticamente el barrido de la retardada. La siguiente figura representa la sucesión temporal de eventos:

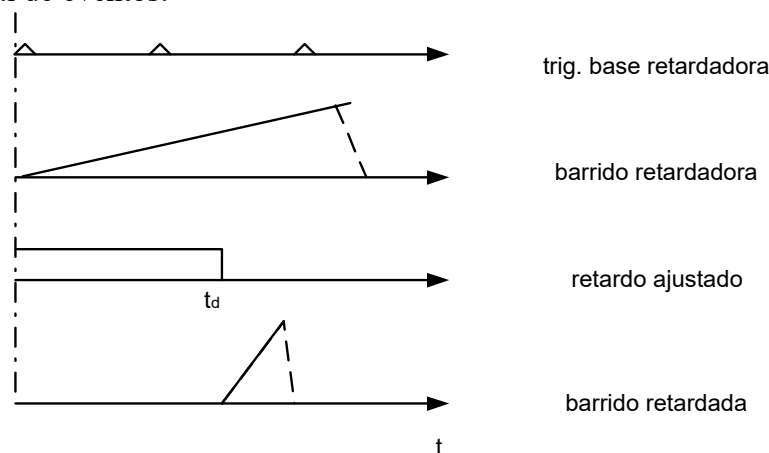


Figura 8.24: Relación entre las señales de disparo y los barridos de las bases de tiempo

El dispositivo que permite ajustar el retardo, indicado como “*delay time multiplier*” o multiplicador de tiempo de retardo, es casi siempre un potenciómetro de 10 vueltas que ajusta el nivel que debe alcanzar la señal de la retardadora para que se dispare la retardada. La ventaja radica en que el tiempo ajustado en el “*delay time multiplier*” se conoce con exactitud mayor que el que se lee directamente en la pantalla, por lo que la facilidad resulta útil para hacer medidas de tiempo con exactitud aumentada.

- Armado del trigger: opera en forma similar al anterior, con la única diferencia que el barrido de la retardada no arranca hasta tanto no aparezca un pulso de trigger posterior al intervalo ajustado en el *delay time multiplier*. Sirve cuando se trata de medir pulsos que tienen una dada cadencia pero con una oscilación en su ritmo de repetición.

El uso de las bases retardadas no se agota en la medición de tiempos con exactitud aumentada, sino que son irremplazables cuando se dan casos en que con un sistema de trigger normal es imposible ver con detalles aumentados alguna parte de una onda. Un ejemplo se presenta en la siguiente figura:

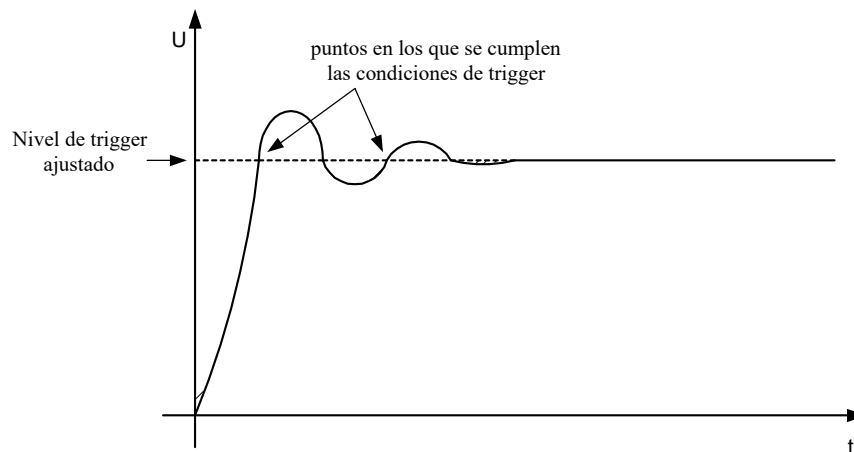


Figura 8.25: Ejemplo de onda en la que pueden aparecer problemas de trigger

Si se desea ver en detalle lo que sucede en la última oscilación positiva de la señal dibujada, interesará buscar un ajuste de trigger como el que se ha representado, con un nivel adecuado y pendiente positiva, en este caso en particular. Como se aprecia en la figura, se dan más de una combinación de valores de nivel y pendiente que provocan el disparo, por lo que en un osciloscopio común no será posible ver la parte de interés con el mayor detalle. Con uno de barrido retardado, en cambio, basta con lograr el disparo de la base retardadora con el primer punto estable, y luego, ajustando la base retardada se buscará el detalle buscado en la onda.

8.4. Ancho de banda y tiempo de subida. [7]

Cuando se trata de determinar la capacidad de un osciloscopio para reproducir fielmente señales que tienen un dado contenido armónico, se introduce el concepto de *ancho de banda*, que es en todo similar al que se emplea en otros dispositivos que se encuentran frente a exigencias similares, por lo que no haremos el tratamiento en detalle aquí.

Teniendo en cuenta que un osciloscopio es un instrumento destinado a medir o registrar fenómenos cuya frecuencia arranca idealmente en cero y se desea que llegue hasta valores relativamente altos, interesa encontrar de manera elemental los límites de su utilización.

Admitiremos que el **conjunto del osciloscopio** permite una representación circuital que en el rango de las altas frecuencias puede esquematizarse como se indica en la siguiente figura, que corresponde a un “pasabajos”:

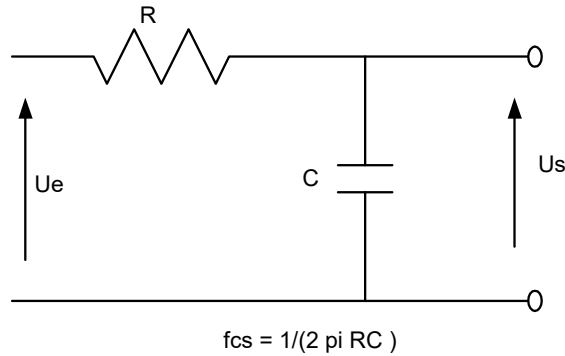


Figura 8.26: Circuito elemental para analizar la respuesta en frecuencia de un osciloscopio

Puede calcularse fácilmente la relación existente entre la tensión de salida y la de entrada, en función de la frecuencia:

$$U_s = U_e \frac{R}{R - j \frac{1}{\omega C}} = U_e \frac{1}{1 - j \frac{1}{\omega RC}} \quad (8.10)$$

Llamando

$$f_{cs} = \frac{1}{2\pi RC} \quad (8.11)$$

la 8.10 puede escribirse

$$\frac{U_s}{U_e} = A_u = \frac{1}{1 + j \frac{f}{f_{cs}}} \quad (8.12)$$

que nos dice que la relación entre la tensión de salida y la de entrada (conocida como ganancia en tensión de un dispositivo) es una función compleja de la frecuencia. Recordemos que en un osciloscopio o en cualquier otro elemento real, casi siempre se busca que la ganancia sea independiente de la frecuencia, y de ser posible un número real, con el fin de evitar fenómenos de distorsión.

En la figura 8.27 se ha representado el módulo de A_u en función de la frecuencia. Se observa que a medida que ésta aumenta, dicho módulo disminuye. Si se analizara la variación de fase de la transferencia, también se encontraría que es dependiente de la frecuencia. En dicha figura se ha seguido la práctica usual de expresar la variación de la característica en valores relativos, en particular en dB, definidos mediante:

$$[dB] = 20 \log \frac{U_s/U_e}{\left(U_s/U_e \right)_r} \quad (8.13)$$

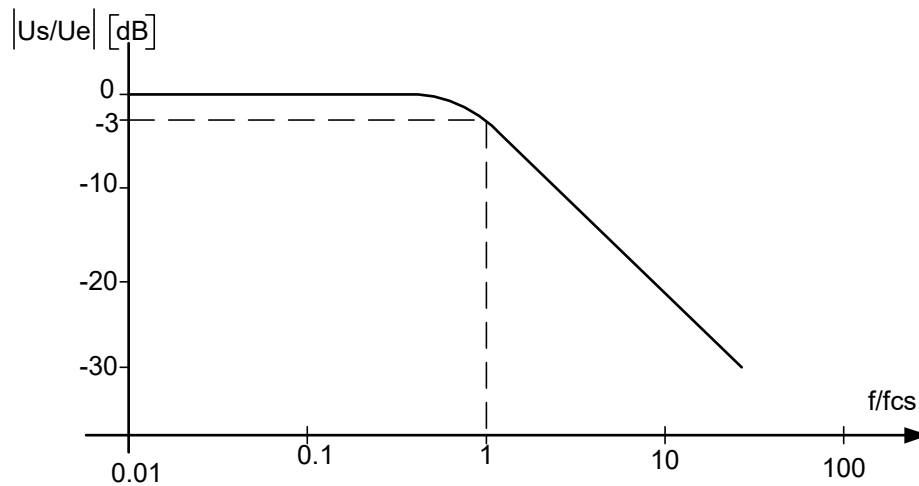


Figura 8.27: Variación de la ganancia del circuito en función de la frecuencia

en la que se ha tomado como valor de referencia el valor que adopta la relación de tensiones en la zona plana de la característica.

Se define la **frecuencia de corte superior**, f_{cs} , como el valor de f para el cual la salida ha caído 3 dB respecto de su valor en la zona plana de la curva. Análogamente puede definirse la **frecuencia de corte inferior** f_{ci} . A partir de estas dos pasamos a definir el **ancho de banda**, BW , como la frecuencia diferencia de f_{cs} y f_{ci} .

$$BW = f_{cs} - f_{ci} \quad (8.14)$$

En el caso particular del circuito elemental estudiado, f_{ci} es cero, por lo que el ancho de banda queda dado directamente por f_{cs} . Dos puntos merecen especial atención a esta altura de nuestras consideraciones:

- con las definiciones mas arriba señaladas, cuando se trabaja con frecuencias del orden de f_{cs} , ya se tiene un error de -3 dB, que puede resultar inadmisibile para un instrumento de medición.
- el desfase que aparece entre la excitación y la respuesta ayuda a empeorar aún mas la situación en los casos límites. Para f_{cs} dicho desfase es de 45° .

El breve estudio hasta aquí realizado sirve para analizar el comportamiento del osciloscopio cuando se aplican señales cuyo contenido de frecuencias se puede llegar a estimar. Un punto de vista alternativo, y frecuente, es el de relacionar lo antes visto con señales de las que se conoce su variación temporal directamente, a partir de su forma, como son los pulsos.

Se acostumbra a definir el **tiempo de subida**, t_r (*rise time*), de un pulso, como el intervalo que media entre los tiempos para los que el mismo alcanza el 10% y el 90% de su valor máximo, como se muestra en la figura 8.28:

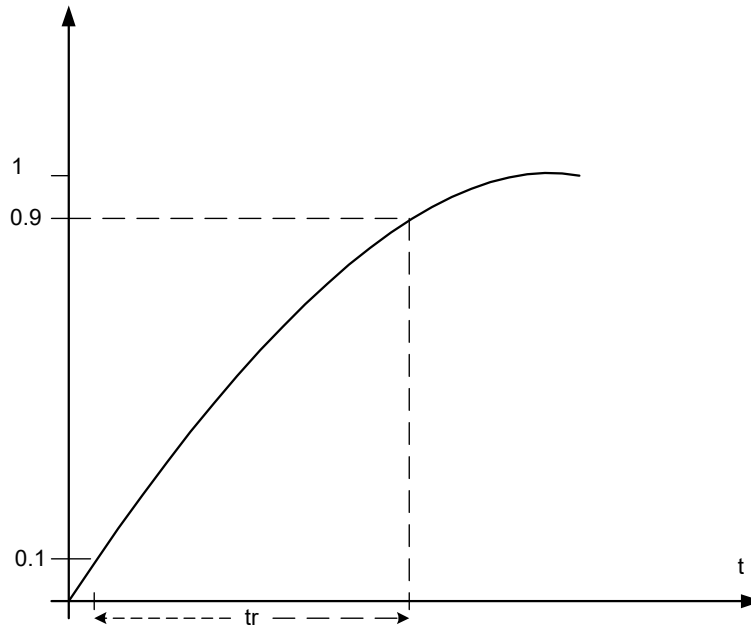


Figura 8.28: Valores característicos de un pulso

Vemos que la esquematizada en la figura anterior es justamente la respuesta de un circuito como el de la figura 8.26 a un escalón. Si consideramos un escalón normalizado de amplitud unitaria podemos escribir:

$$U_s = 1 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \quad (8.15)$$

a partir de la cual se pueden hallar los valores de t para los cuales la salida vale 0,1 y 0,9 veces su valor máximo, que llamaremos $t_{0,1}$ y $t_{0,9}$, respectivamente. A partir de ellos el tiempo de subida del circuito resulta:

$$t_r = 2,2 RC \quad (8.16)$$

que si lo relacionamos con la frecuencia definida en la ecuación 8.11 nos permite escribir:

$$t_r = \frac{0,35}{BW} \quad (8.17)$$

En un osciloscopio, el ancho de banda debe ser tal que la respuesta sea plana desde la continua hasta una frecuencia de corte superior dada por su BW. No debe olvidarse que para ella el error es del 30 % en amplitud, sin considerar el desfase.

Puede demostrarse que si llamamos t_{ro} al tiempo de subida del osciloscopio, t_{rs} al de la señal a medir y t_{rm} al medido en la pantalla, vale la relación:

$$t_{rm} = \sqrt{t_{ro}^2 + t_{rs}^2} \quad (8.18)$$

lo que nos permite determinar que si la señal a medir tiene un tiempo de subida del orden de 3 veces el del osciloscopio o mayor, el error cometido no será importante.

8.5. Comandos generales de un osciloscopio.

Como resumen de lo antes dicho se presenta la fotografía del panel de comandos de un osciloscopio completo, en el que se reconocen los hasta aquí analizados.

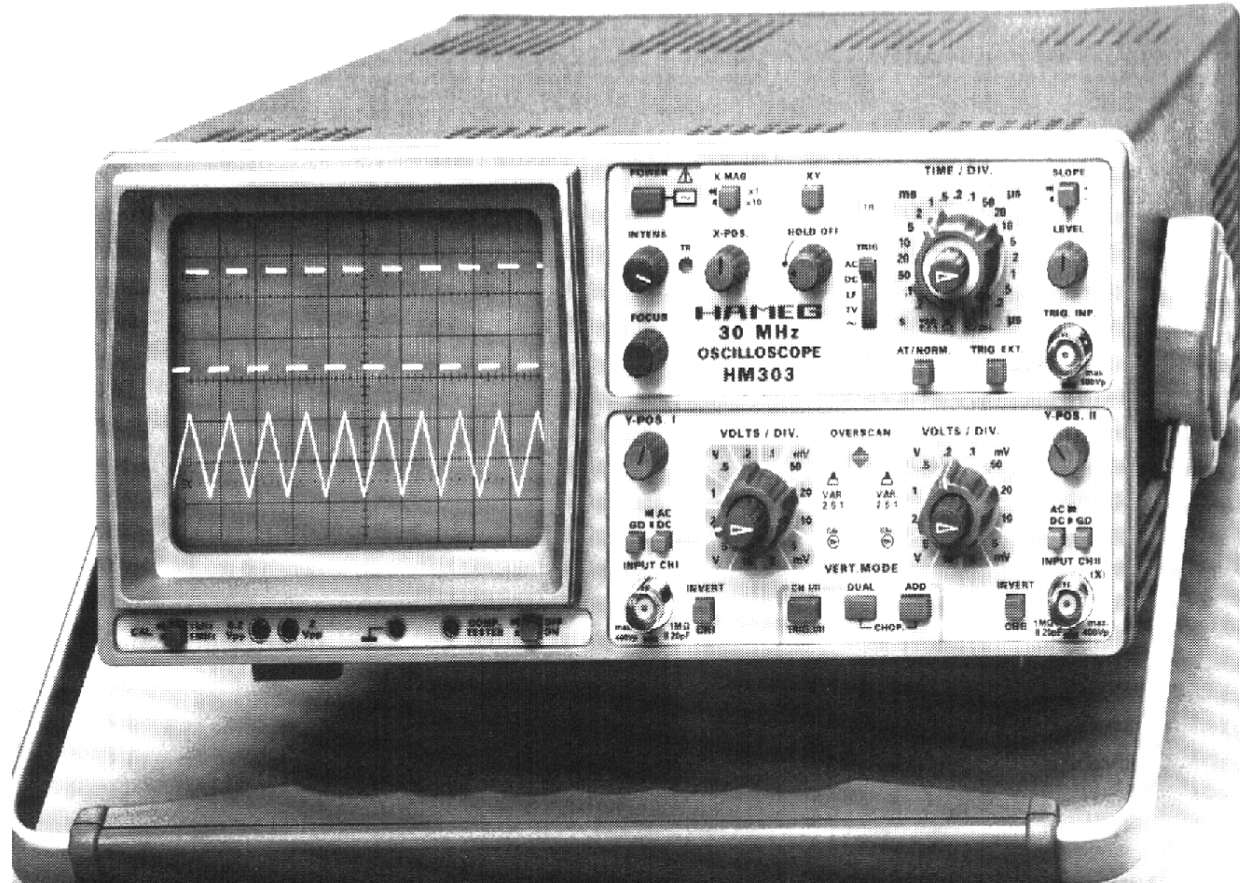


Figura 8.29: Osciloscopio de laboratorio típico

8.6. Ejemplos concretos de utilización

Como se dijera en el punto 8.1 el osciloscopio de rayos catódicos es uno de los aparatos más versátiles y empleados en la técnica de las medidas eléctricas y electrónicas. Si bien nada puede reemplazar al conocimiento teórico de su funcionamiento, acompañado de una ejercitación en el uso intensa con el fin de sacar el máximo provecho de sus características, se presentan a continuación ejemplos concretos de utilización, con el fin de advertir algunos de los puntos cuya consideración es imprescindible para efectuar mediciones correctas con este tipo de aparatos.

Ejemplo 8.2

Interesa medir la variación de la corriente de carga del capacitor del circuito de la figura 8.30, cuando se cierra la llave L. Se dispone de un osciloscopio de 10 MHz de ancho de banda, con almacenamiento en el tubo, atenuador vertical variable desde 2 mV/div hasta 10 V/div, en saltos

en relación 1-2-5, impedancia de entrada $1\text{ M}\Omega$ en paralelo con 30 pF , provisto de puntas atenuadoras 1X, 10X y 100X, todas con 1 m de longitud de cable. Se debe decir si el osciloscopio es apto, y proponer un circuito de medida, con indicación de todos los elementos que sea necesario agregar, y mencionar el ajuste de los controles básicos del osciloscopio.

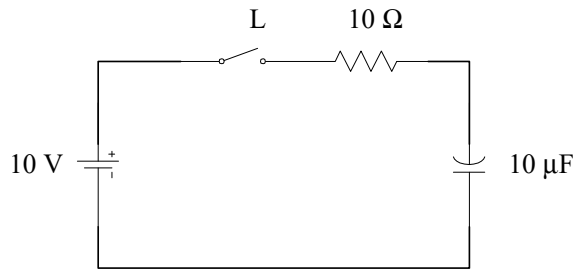


Figura 8.30: Circuito del problema 8.2

Solución

De los datos de la figura surge que la corriente que deseamos medir, cuyo comportamiento corresponderá a una exponencial decreciente, tendrá la siguiente ley de variación:

$$I = 1 \left(1 - e^{-t/10^{-4}} \right) A \quad (8.19)$$

Nos hace falta lograr una señal de tensión que sea proporcional a dicha corriente, para lo cual, en el caso general, habría que pensar en colocar al circuito un derivador, cuyo valor debe ser tal de cumplir con dos condiciones:

- * no modificar de modo apreciable las condiciones de funcionamiento del mismo:
- * proveer una caída de tensión medible con el osciloscopio.

En el caso particular del circuito dibujado, dicha función puede ser cumplida directamente por el resistor R , cuyo valor es tal que si se le coloca en sus bornes cualquiera de las puntas de conexión del osciloscopio, permitirá una medida sin error de inserción importante.

Resta determinar si el osciloscopio es apto, para lo que verificamos si la amplitud de la señal es medible, cosa que se cumple también con cualquiera de las puntas de que se dispone. En cuanto a la respuesta en frecuencia, el tiempo de subida de la señal es de

$$t_r = 2,2 RC = 0,22\text{ ms} \quad (8.20)$$

que es varios órdenes de magnitud mayor que el tiempo de subida propio del osciloscopio, de 35 ns , por lo que no existirá problema alguno motivado por la respuesta del aparato. En cuanto a la fuente de trigger, una alternativa aceptable es la de seleccionar trigger interno, con pendiente positiva, y nivel conveniente, que se irá ajustando por tanteos, hasta lograr una imagen estable.

Con el fin de poder registrar el fenómeno, que no es repetitivo con una cadencia fija, es imprescindible que el osciloscopio posea almacenamiento, cosa que se cumple en nuestro caso. Se seleccionará modo de disparo “single sweep”, y se ajustarán los controles de almacenamiento hasta lograr una imagen estable. En cuanto al atenuador vertical, si se busca que la imagen ocupe una gran porción de la pantalla, puede seleccionarse en, por ejemplo, 2 V/div. , con lo que se presentará el trazo en aproximadamente 5 divisiones principales. En horizontal, puede ser de interés

registrar todo el tiempo de subida (de bajada en este caso), de la señal, para lo que se puede optar por un ajuste de 0,5 ms/div. Con el fin de ver todas las componentes de la señal se opta por acoplamiento DC. En la figura 8.31 se aprecia el montaje de medición. Nótese que ahora uno de los puntos del circuito queda conectado, vía la malla del coaxial, al chasis del osciloscopio

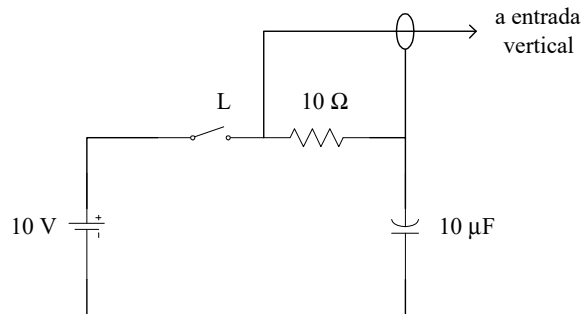


Figura 8.31: Esquema de medición para el problema 8.2

Ejemplo 8.3

Interesa ver la forma de onda de tensión en el capacitor del circuito de la figura 8.32, cuando se cierra la llave. Para ello se cuenta con un osciloscopio similar en todo al del ejemplo 8.2, excepto en su ancho de banda, que es de 40 MHz. Decir si será posible efectuar la medición, y determinar en cuánto se aparta la señal medida de la real.

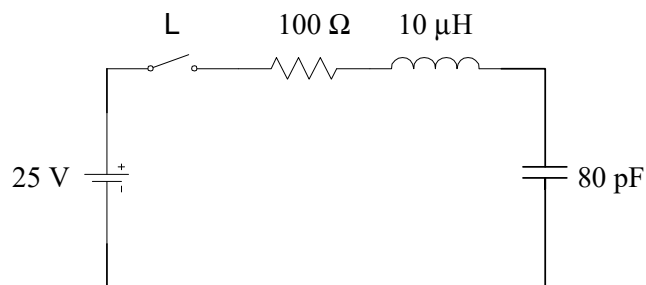


Figura 8.32: Circuito del ejemplo 8.3

Solución:

El ejercicio plantea exigencias similares a las del problema anterior, con la salvedad que ahora el error de inserción no es despreciable en todos los casos. En efecto, si se usara la punta 1X (lo que sería posible desde el punto de vista de la tensión a manejar por el osciloscopio), se conectaría en paralelo con el capacitor del circuito otro de 130 pF, por lo que las condiciones de funcionamiento diferirán notablemente. Otro tanto sucedería con la punta 10X, con una capacidad equivalente de 14,4 pF, que representa casi el 20 % de la del capacitor del circuito. La única chance es usar la punta 100X, con lo cual la capacidad equivalente se reduce a menos de 1,5 pF, y la señal disponible en el osciloscopio, 0,25 V máximo, es perfectamente medible. Para ver cómo cambia la forma de onda vista con las distintas alternativas analizadas, se puede recurrir a una simulación del circuito. En la figura 8.33 se observa una salida del Pspice, correspondiente al caso planteado.

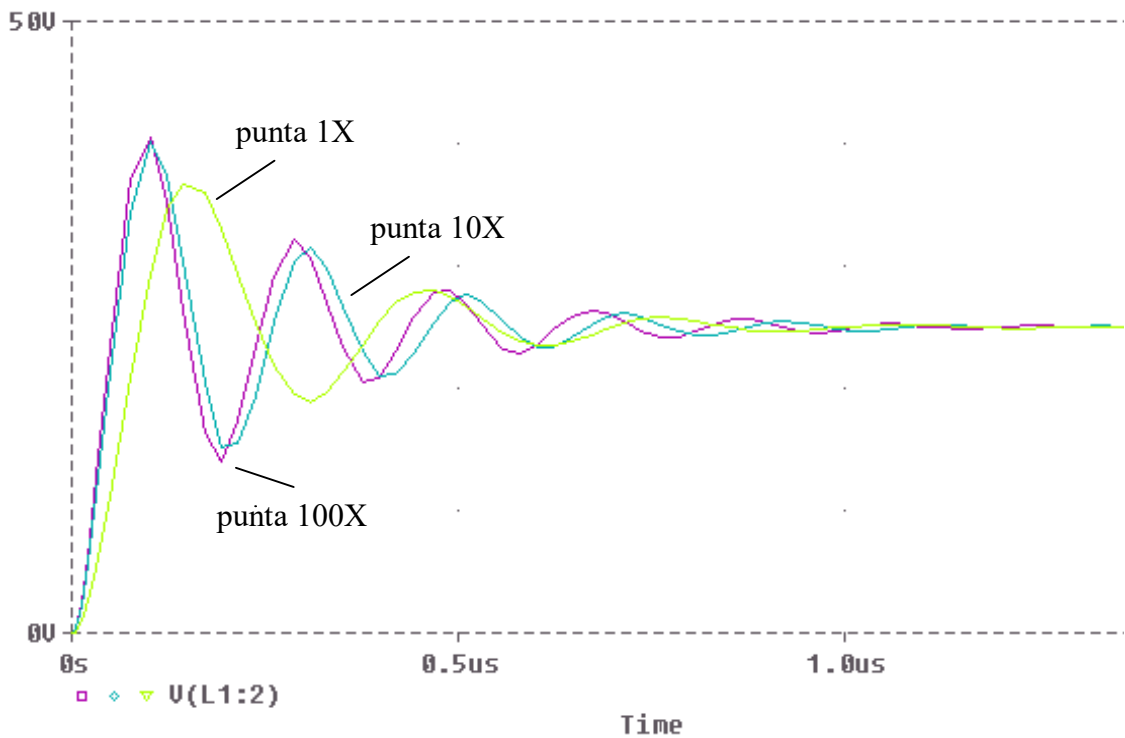


Figura 8.33: Salida de simulador correspondiente al ejemplo 8.3

8.7. Referencias bibliográficas

- [1] Cooper, William; “Instrumentación electrónica y mediciones”, Prentice Hall, 1982
- [2] Tektronix Inc.: “The XYZ’s of using a scope”, Publicación N° 41AX-4758 – 6/81.
- [3] Jones and Foster Chin: “Electronic instruments and measurements”, Prentice Hall, 1991.
- [4] Tektronix, manuales varios.
- [5] Oliver and Cage, “Electronic measurements and instrumentation”, Mc Graw Hill, 1978.
- [6] Manuales varios que corresponden a los osciloscopios usados en el laboratorio.
- [7] Millman y Halkias, “Electrónica integrada”, Mc Graw Hill 1985