

ÍNDICE MEMÓRIA

Índice memoria	1
Capítulo 1: Introducción.....	3
Capítulo 2: el osciloscopio	5
2.1. ¿Qué es un osciloscopio?	5
2.2. Tipos de osciloscopios	5
2.2.1. Osciloscopio analógico.....	5
2.2.2. Osciloscopio digital	6
2.3. Parámetros importantes a tener en cuenta	7
2.3.1. Ancho de banda	7
2.3.2. Tiempo de subida	7
2.3.3. Sensibilidad vertical	7
2.3.4. Velocidad	7
2.3.5. Velocidad de muestreo	7
2.3.6. Resolución vertical.....	8
2.3.7. Longitud del registro	8
2.3.8. Exactitud en la ganancia.....	8
2.3.9. Exactitud en base de tiempos	8
2.4. Estado del mercado	8
Capítulo 3: el front-end analógico.....	10
3.1. Acoplamiento de la entrada.....	11
3.1.1. Acoplo en DC	11
3.1.2. Acoplo en AC	11
3.1.3. Acoplo en GND.....	11
3.2. Etapa atenuadora	12
3.2.1. Atenuación mediante potenciómetros digitales	12
3.2.2. Atenuación mediante bancos atenuadores	12
3.3. Etapa de desacoplo de impedancias.....	15
3.4. Etapa amplificadora	16
3.5. Filtro pasivo	16
3.6. Protecciones	17
3.7. Etapas posteriores.....	17

3.8. Diagrama de bloques	17
Capítulo 4: Resumen	18
Capítulo 5: Diagrama de Gantt.....	19
Capítulo 6: Bibliografía.....	21
1.1. Bibliografía de Consulta	21

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

El objetivo de este proyecto es realizar el estudio, diseño e implementación de un front-end analógico para un osciloscopio digital de bajo coste.

Dicho front-end será compatible con una etapa digital y de comunicaciones con un ordenador personal, la cual también se está proyectando actualmente; esta etapa digital, a su vez, será compatible con un software e interfaz gráfica para Windows.

Ensamblando las tres etapas anteriores, el objetivo es obtener un osciloscopio digital de bajo coste cuyas prestaciones sean lo suficientemente altas para que pueda ser usado a nivel educativo por futuros estudiantes de la escuela.

CAPÍTULO 2:

EL OSCILOSCOPIO

2.1. ¿Qué es un osciloscopio?

Básicamente, un osciloscopio es un dispositivo de presentación de gráficas, es decir, traza una gráfica de una señal eléctrica. En la mayoría de las aplicaciones esta gráfica muestra la evolución de una señal en el tiempo: el eje vertical (Y) representa la tensión y el eje horizontal (X) representa el tiempo.

Dicho gráfico nos puede aportar mucha información acerca de una señal. No obstante, la información principal que nos muestra un osciloscopio es:

- La evolución de una señal en el tiempo.
- La frecuencia de una señal oscilante.
- Amplitud de una señal.
- La componente alterna y la componente continua de una señal eléctrica.

2.2. Tipos de osciloscopios

2.2.1. *Osciloscopio analógico*

Un osciloscopio analógico trabaja aplicando el voltaje medido de la señal al eje vertical de un haz electrónico que se mueve de izquierda a derecha a través de la pantalla del osciloscopio. La parte posterior de la pantalla está tratada con fósforo luminoso que brilla siempre que el haz electrónico incide sobre ella. El voltaje de la señal desvía el haz hacia arriba y hacia abajo proporcionalmente y conforme se mueve horizontalmente a través de la pantalla, trazando así la forma de onda en la pantalla.

El TRC limita el rango de frecuencias que puede mostrar un osciloscopio analógico, ya que cuando la frecuencia de la señal excede la velocidad de

escritura del TRC, la presentación se vuelve demasiado tenue en intensidad como para ser vista. A continuación se muestran los bloques principales de un osciloscopio analógico.

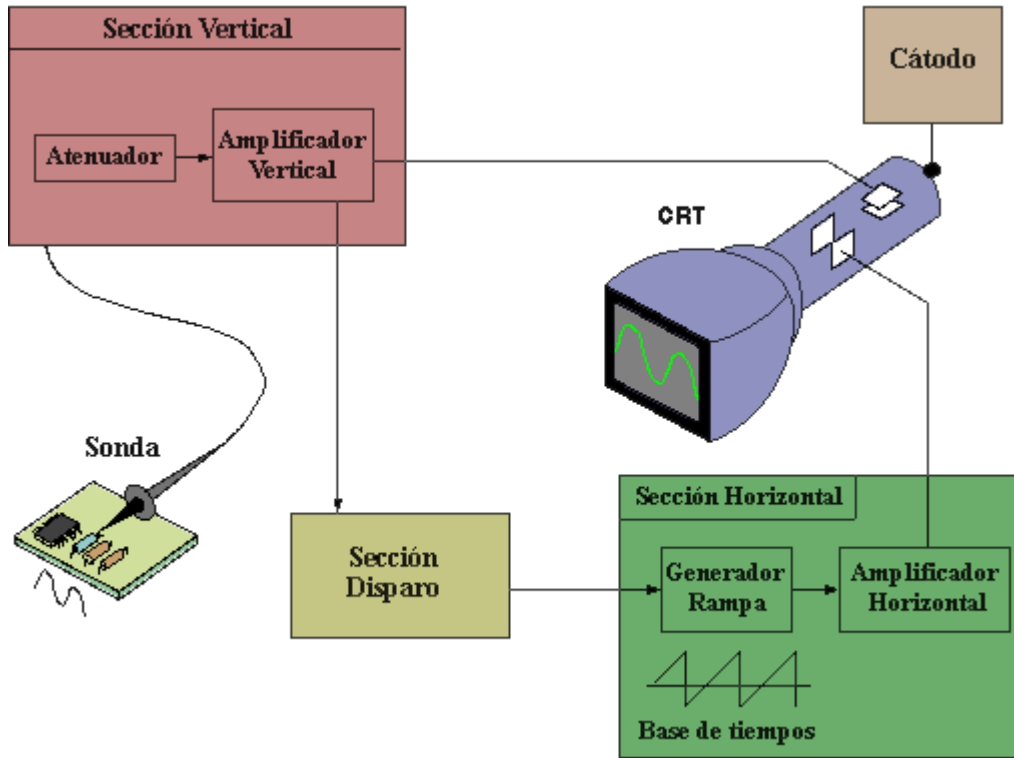


Figura 1. Bloques del osciloscopio analógico.

2.2.2. Osciloscopio digital

A diferencia de un osciloscopio analógico, un osciloscopio digital utiliza un convertidor analógico digital (ADC) para convertir el voltaje medido en información digital. Dichos osciloscopios están desplazando en la actualidad a los osciloscopios analógicos, entre otras razones por la facilidad de poder transferir las medidas a un ordenador personal o a una pantalla LCD.

Existen distintos tipos de osciloscopios digitales:

- Osciloscopios de memoria digital (DSO).
- Osciloscopios de fósforo digital (DPO).
- Osciloscopios de muestreo.

En la figura 2 se muestran los bloques principales de un osciloscopio digital.

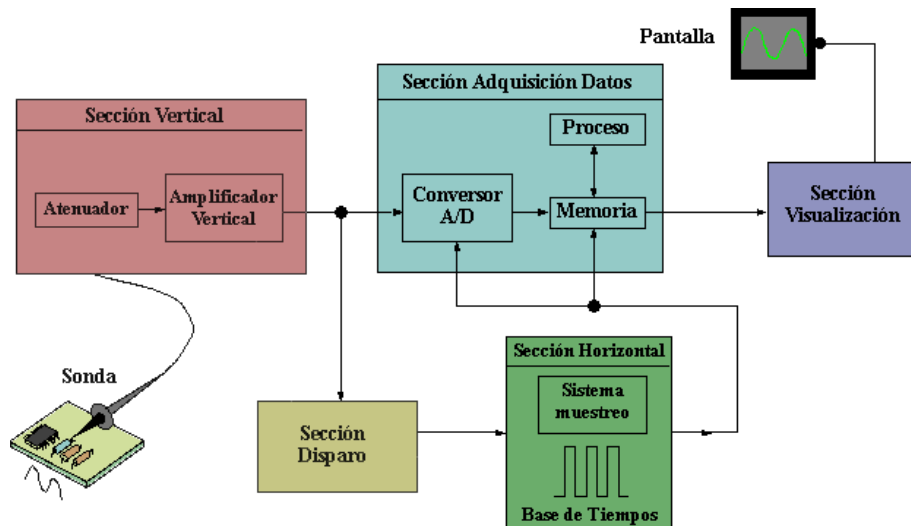


Figura 2. Bloques de un osciloscopio digital

2.3. Parámetros importantes a tener en cuenta

2.3.1. Ancho de banda

Nos especifica el rango de frecuencias en las que los osciloscopios pueden medir con precisión. El ancho de banda se calcula desde 0 Hz (continua) hasta la frecuencia a la cual una señal de tipo senoidal se visualiza a un 70.7% del valor aplicado a la entrada (-3dB).

2.3.2. Tiempo de subida

Éste es otro parámetro que nos dará, junto al anterior, la máxima frecuencia de utilización del osciloscopio. Es un parámetro importante si se desea medir con fiabilidad pulsos y flancos. Los osciloscopios no pueden visualizar correctamente pulsos con tiempos de subida más rápidos que el suyo propio.

2.3.3. Sensibilidad vertical

Indica la facilidad de los osciloscopios para amplificar señales débiles. Se suele proporcionar en mV por división vertical, normalmente es del orden de 5mV/div, llegando hasta 2 mV/div en algunas ocasiones.

2.3.4. Velocidad

Para los osciloscopios analógicos esta especificación nos indica la velocidad máxima del barrido horizontal, lo que nos permitirá observar sucesos más rápidos. Suele ser del orden de nano segundos por división horizontal.

2.3.5. Velocidad de muestreo

En los osciloscopios digitales indica cuantas muestras por segundo es capaz de tomar el sistema de adquisición de datos, en concreto el convertidor A/D. Una velocidad de muestreo grande es importante a la hora de poder visualizar

pequeños periodos de tiempo. En el otro extremo de la escala, también se necesita velocidades de muestreo bajas para poder observar señales de variación lenta. Generalmente la velocidad del muestreo cambia al actuar sobre la base de tiempos para mantener constante el número de puntos que se almacenaran para representar la forma de la onda.

2.3.6. Resolución vertical

Ésta se mide en bits y es un parámetro que nos da la resolución del convertidor analógico digital del osciloscopio digital. Nos indica con que precisión se convierten las señales de entrada en valores digitales almacenados en la memoria.

2.3.7. Longitud del registro

Nos indica cuantos puntos se memorizan en un registro para la reconstrucción de la forma de la onda. La máxima longitud del registro depende del tamaño de la memoria de que dispongan los osciloscopios.

2.3.8. Exactitud en la ganancia

Nos indica la precisión con la cual el sistema vertical de los osciloscopios amplifica ó atenúa la señal. Se proporciona normalmente en porcentaje máximo de error.

2.3.9. Exactitud en base de tiempos

Nos indica la precisión en la base de tiempos del sistema horizontal de los osciloscopios para visualizar el tiempo. También se suelen dar el porcentaje de error máximo.

2.4. Estado del mercado

En la siguiente tabla se muestra una comparativa de osciloscopios de distintas marcas y gamas, con sus correspondientes características tales como su ancho de banda, su velocidad de muestreo, su número de canales y su precio.

Tabla 2. Comparativa de osciloscopios

Modelo	Ancho de Banda	Velocidad de Muestreo	Nº Canales	Precio	Fuente
HM02524	250 MHz	2,5 GS/s	4	3.300 €	Diotronic
HM03524	350 MHz	4 GS/s	4	3.900 €	Diotronic
PROMAX OD-410	100 MHz	250MS/s	2	1.075 €	Diotronic
PROMAX OD-425	25 MHz	250MS/s	2	510 €	Diotronic
PROMAX OD-590	100 MHz	1GS/s	2	1.550 €	Diotronic
TDS2022B	200 MHz	2GS/s	2	1.720 €	Onda Radio
TDS2014B	100 MHz	1GS/s	4	1.840 €	Onda Radio
WTBS22300	20 MHz	100MS/s	2	650 €	Onda Radio

Se puede apreciar que el precio del osciloscopio varía en función de sus prestaciones, pero también de la marca. No obstante, hay que tener en cuenta características omitidas en la tabla anterior, como el tamaño de la pantalla, si es a color, etc.

Es muy importante, a la hora de seleccionar un osciloscopio, conocer el uso que le vamos a dar, ya que por ejemplo, a nivel educativo, un osciloscopio de gama media-baja sería suficiente, y a nivel de un laboratorio profesional, se necesitará un osciloscopio más completo y con mejores características.

CAPÍTULO 3: EL FRONT-END ANALÓGICO

El objetivo del front-end analógico es adaptar las tensiones para poder atacar al convertidor analógico digital.

El diseño de la etapa de entrada de cualquier osciloscopio, ya sea analógico o digital, es una parte fundamental para su rendimiento general. Un osciloscopio se utiliza generalmente para examinar formas de onda de tensión. Éstas pueden existir tanto en circuitos con baja impedancia, como en circuitos con impedancia alta. En el primer caso, la impedancia de entrada del osciloscopio tendrá poca importancia, pero para evitar la carga de los nodos de circuitos de alta impedancia, y por lo tanto cambiar la amplitud e incluso la forma de la señal de interés, los osciloscopios están siempre diseñados para tener una alta impedancia de entrada, que suele ser de 1 M Ω . En paralelo ésta, nos encontramos con una capacidad, que suele ser de un valor cercano a los 20 pF.

El front-end analógico a proyectar constará principalmente de seis bloques, los cuales se citan a continuación:

- Acoplamiento de la entrada.
- Etapa atenuadora
- Etapa de desacoplamiento de impedancias.
- Etapa amplificadora con ganancia variable.
- Filtro pasivo.
- Protecciones.

3.1. Acoplamiento de la entrada

El acoplamiento se refiere al método utilizado para conectar una señal eléctrica de entrada al resto del osciloscopio. Es una etapa fundamental en el osciloscopio ya que además de permitir seleccionar la componente de la señal que queremos visualizar, nos permite situar nuestra referencia de cero. Existen tres modos de acoplar la entrada a la sección vertical del osciloscopio:

- Acoplamiento DC.
- Acoplamiento AC.
- Acoplamiento GND.

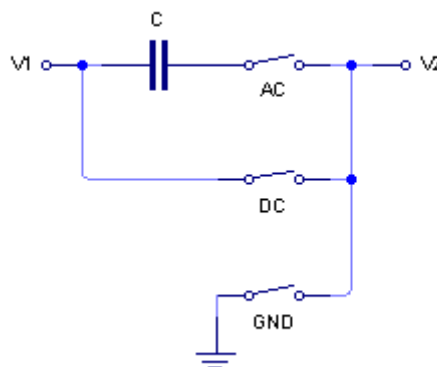


Figura 3. Acoplamiento de la entrada.

3.1.1. Acoplo en DC

El acoplamiento DC deja pasar la señal a la sección vertical tal y como viene del exterior, es decir, muestra la totalidad de la señal de entrada.

3.1.2. Acoplo en AC

El acoplamiento AC bloquea la componente continua de la señal de entrada, y nos la muestra centrada en cero volts. Dicho filtro se realiza mediante denominado condensador de desacoplo.

3.1.3. Acoplo en GND

El acoplamiento GND desconecta la señal de entrada del sistema vertical, lo cual permite ver dónde se encuentra la referencia de cero volts sobre la pantalla.

3.2. Etapa atenuadora

La etapa atenuadora nos la encontramos a continuación del acoplamiento de la entrada. El objetivo del atenuador es adecuar la amplitud de las señales que se pretenden medir a los rangos admitidos por las siguientes etapas. Para conseguirlo, podemos seguir distintas alternativas.

3.2.1. Atenuación mediante potenciómetros digitales

Tal y como se muestra en la figura 4, esta estructura se basa en una configuración inversora de un amplificador operacional, cuya ganancia sería igual a el cociente de los dos potenciómetros digitales.

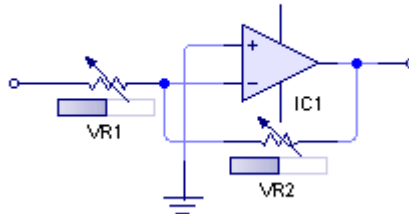


Figura 4. Atenuación mediante potenciómetros digitales.

Dicha configuración sería óptima en cuanto a la exactitud de la atenuación, ya que no habría que tener en cuenta ninguna tolerancia resistiva. No obstante, esta estructura tendría el inconveniente que la tensión de entrada del osciloscopio estaría limitada por la alimentación de este operacional.

3.2.2. Atenuación mediante bancos atenuadores

Este diseño sería tan sencillo como realizar un divisor resistivo como el que se muestra en la figura 5.

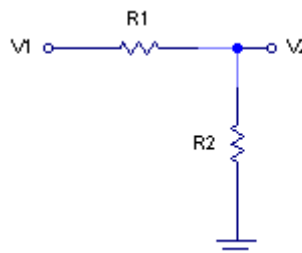


Figura 5. Divisor de tensión resistivo.

Utilizando dicho modelo obtendríamos una atenuación igual a $R_2/(R_1+R_2)$, puesto que:

Por otra parte, también se debería cumplir que la suma de las dos resistencias fuera igual a $1\text{ M}\Omega$ para conseguir que la impedancia de entrada cumpla con las especificaciones técnicas de nuestro osciloscopio.

No obstante, el modelo anterior sería bueno únicamente trabajando en corriente continua y a frecuencias bajas, ya que a medida que aumenta la frecuencia, las capacidades parásitas, tanto de las resistencias como del cableado, dejan de ser despreciables y tendríamos un circuito equivalente como el que se muestra en la figura 6

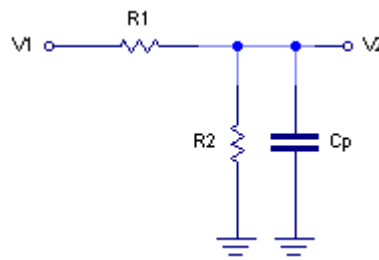


Figura 6. Divisor de tensión resistivo con su capacidad parásita.

Utilizar dicho atenuador no sería eficiente ya que actúa como un filtro pasa-bajos, y la atenuación no es constante en todo el ancho de banda, obteniendo una respuesta en frecuencia como la que se muestra en la figura siguiente:

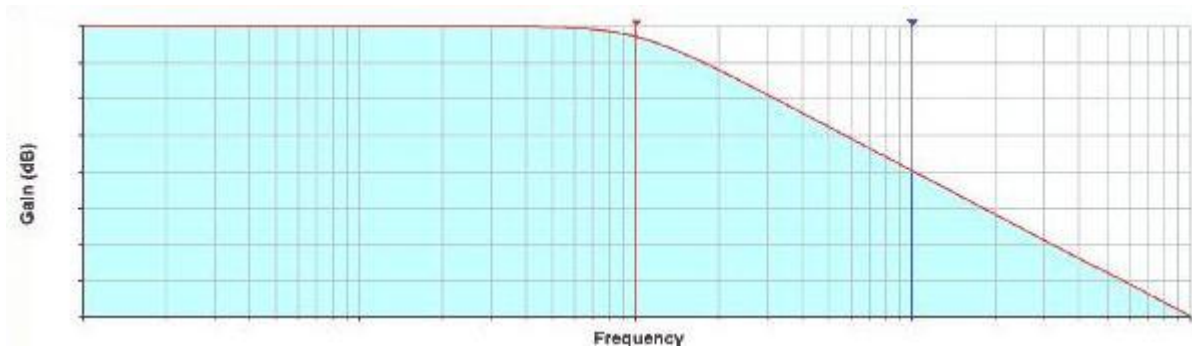


Figura 7. Respuesta en frecuencia del atenuador no compensado.

Para evitarlo, surge la necesidad de diseñar un atenuador compensado en frecuencia, cuya atenuación sea constante en el ancho de banda de interés. Para ello colocamos condensadores en paralelo como se muestra en la figura 8.

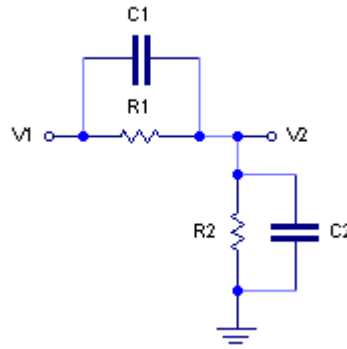


Figura 8. *Atenuador compensado en frecuencia.*

Colocando los condensadores se compensaría el efecto de las capacidades parásitas que podemos encontrar en el circuito. Para tener una atenuación constante en todo el ancho de banda se debería cumplir:

$$R_1 * C_1 = R_2 * C_2 \quad (1)$$

Siguiendo esta estructura, tenemos dos alternativas. La primera de ellas, tal y como se muestra en la figura 9, sería colocar los bancos atenuadores de -10 y -100 en paralelo, los cuales seleccionaríamos en función de las necesidades.

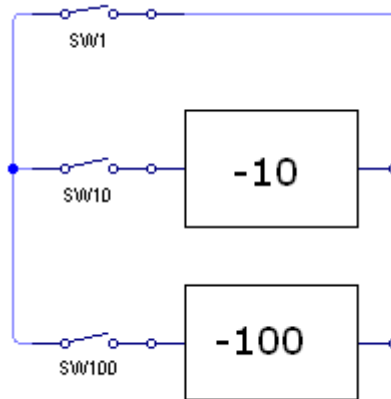


Figura 9. *Estructura atenuadora en paralelo.*

Una segunda opción sería hacer el sistema de atenuación mediante una estructura matricial tal y como se muestra en la figura 10.

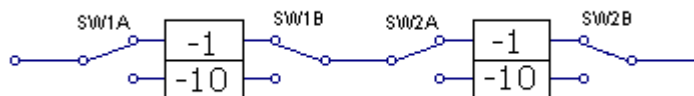


Figura 10. *Estructura atenuadora matricial.*

Donde la atenuación en la salida se ajustará mediante la posición de los interruptores SW1 y SW2, pudiendo tener así, las atenuaciones que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Atenuación en función de la posición de los interruptores

SW1	SW2	Atenuación
1	1	-1
1	2	-10
2	1	-10
2	2	-100

3.3. Etapa de desacoplo de impedancias

El objetivo de la siguiente etapa es que, la circuitería que viene a continuación de la etapa atenuadora, haga variar en la menor medida posible la impedancia de entrada de nuestro osciloscopio, ya que quedará en paralelo. Para ello, necesitamos que entre la etapa atenuadora y la amplificadora tengamos un componente que tenga una impedancia de entrada lo suficientemente alta para que modifique lo mínimo la impedancia de entrada de 1 MΩ del osciloscopio. La impedancia de entrada total (Z_t) se vería afectada tal y como expresa la siguiente expresión:

$$Z_t = (Z_{in} * Z'_{in}) / (Z_{in} + Z'_{in}) \quad (2)$$

Siendo Z_{in} la impedancia de entrada ideal, y Z'_{in} la impedancia de entrada de la siguiente etapa.

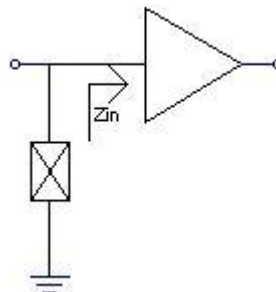


Figura 11. Esquema equivalente de la impedancia de entrada en paralelo con la siguiente etapa.

Por ejemplo, en el caso de tener un componente con una $Z_{in}=10\text{ M}\Omega$, la impedancia de entrada de nuestro osciloscopio sería de $909,09\text{ k}\Omega$, lo cual produciría una deriva del 10% aproximadamente.

No obstante, utilizándose un componente con una $Z_{in}=100\text{ M}\Omega$, la impedancia de entrada de nuestro osciloscopio sería de $990,099\text{ k}\Omega$, produciéndose así un error el 1% aproximadamente, el cual sería más admisible.

3.4. Etapa amplificadora

La etapa amplificadora es una de las etapas más importantes del front-end analógico de un osciloscopio ya que la función de esta etapa es adecuar la señal antes de atacar al DAC para poder aprovechar todo su margen dinámico. Para implementar esta etapa se han tenido en cuenta dos opciones:

- Mediante transistores.
- Mediante amplificadores operacionales.

La primera opción fue desestimada desde el primer momento dado la complejidad que tiene diseñar etapas amplificadoras con transistores. La opción que se llevará a cabo será la segunda, ya que se trata de una tecnología más avanzada y de más fácil implementación. No obstante, se utilizarán amplificadores de ganancia variable.

Para el diseño de esta etapa habrá que tener en cuenta las características del convertidor analógico digital; por un lado, el número de bits con los que trabajaremos, y por otro, el margen dinámico del cual dispondremos, ya que el objetivo de esta etapa es aprovechar dicho margen al máximo.

3.5. Filtro pasivo

Antes de atacar al convertidor analógico digital, es conveniente hacer pasar la señal por un filtro que nos elimine las frecuencias que estén fuera del ancho de banda del osciloscopio para evitar que se produzca aliasing.

Para evitar dicho fenómeno, debemos implementar un filtro pasa-bajos para eliminar las frecuencias que estén por encima de la mitad de la frecuencia de muestreo. Este filtro se denomina filtro anti-aliasing.



Figura 12a. Señal muestreada correctamente.

Figura 12b. Señal mal muestreada.

En la figura 12a se puede apreciar una señal que ha sido muestreada correctamente. En cambio, en la figura 12b, se aprecia como la señal muestreada, en este caso es de frecuencia mucho menor a la señal analógica a convertir.

3.6. Protecciones

Finalmente se colocarán protecciones contra sobretensiones para proteger los componentes del osciloscopio de usos indebidos.

Para ello, se estudiará colocar diodos en anti-paralelo o diodos zener.

3.7. Etapas posteriores

Como ya se ha comentado anteriormente, la función del circuito de entrada de un osciloscopio digital es adaptar las tensiones antes de atacar al convertidor analógico digital. Los bits obtenidos en la conversión, serán almacenados en una memoria para ser posteriormente procesados por un microprocesador y transmitidos a un ordenador personal, para finalmente ser mostrados en pantalla.

3.8. Diagrama de bloques

A continuación se muestra el diagrama de los bloques principales del front-end analógico.

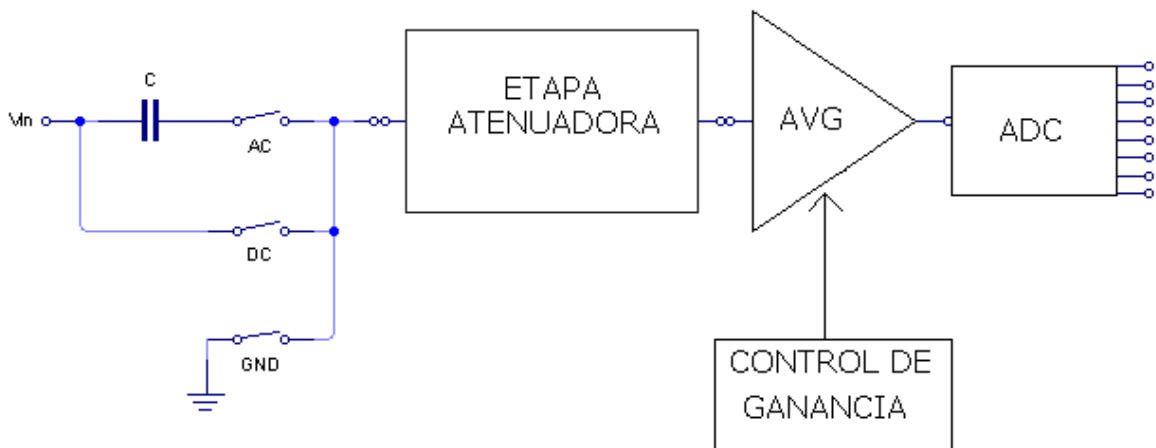


Figura 13. Diagrama de bloques del circuito de entrada.

Con los bloques que se muestran en la figura 13, el osciloscopio podría funcionar sin problemas. No obstante, se añaden los bloques mencionados anteriormente para mejorar las prestaciones del mismo.

CAPÍTULO 4:

RESUMEN

A día de hoy, se puede decir que la fase de investigación y análisis prácticamente ha concluido. Por otra parte se tienen claras tanto las etapas principales de las que debe constar el osciloscopio, como las distintas alternativas posibles para cada etapa.

El siguiente paso será decidir qué tipo de interruptores se usarán, que en principio serán relés, ya que los multiplexores analógicos introducirían ruido al sistema. No obstante, se estudiará la existencia de otras alternativas.

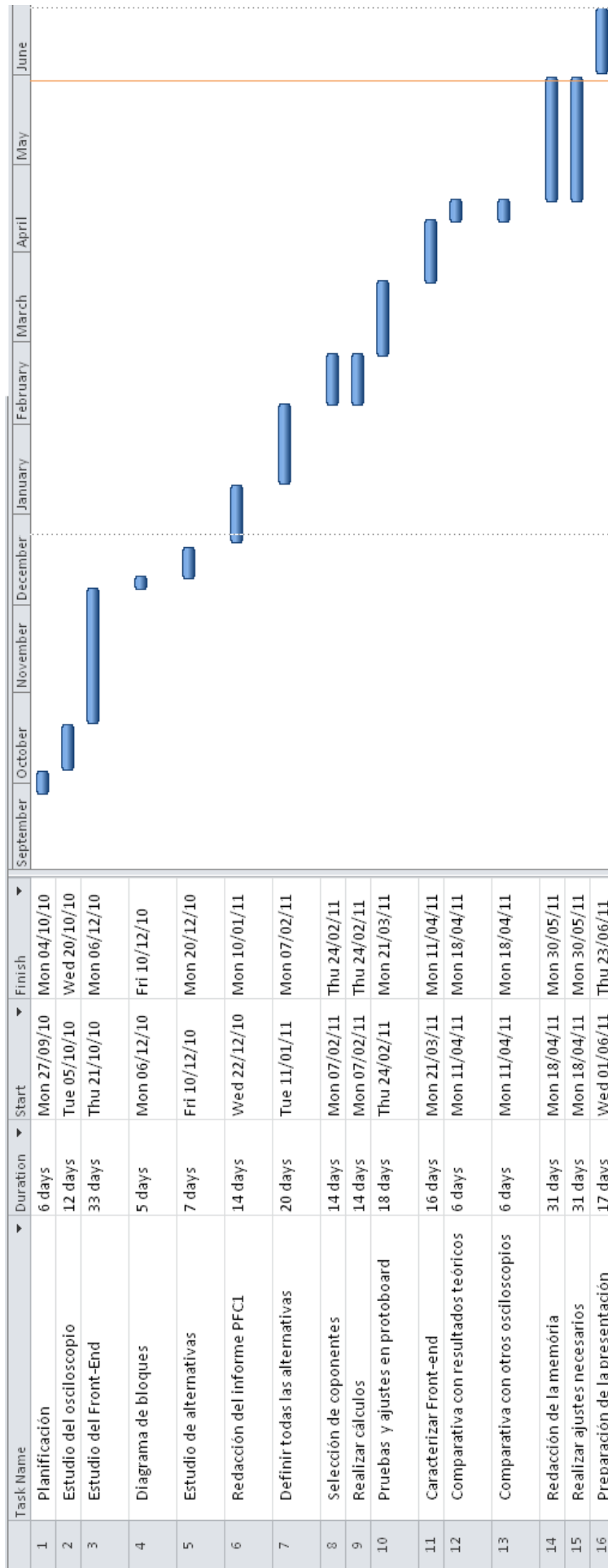
Posteriormente se escogerán los componentes que más se adapten a las necesidades del sistema. Habrá que tener en cuenta, en los componentes pasivos, que las tolerancias deberán ser mínimas, y que dichos componentes deberán soportar la potencia que se requiera. En la elección de los amplificadores operacionales habrá que tener en cuenta su ancho de banda, los tiempos de subida y de bajada, el ruido que introduzcan, y por supuesto su precio.

A continuación se calcularán los componentes, tanto de los bancos atenuadores, como de la etapa amplificadora, y se llevarán a cabo las primeras pruebas del prototipo básico, para posteriormente incorporarle mejoras.

En el siguiente capítulo se muestra un diagrama de Gantt, en el cual se muestran las tareas realizadas y las tareas que quedan por realizar, juntamente con la previsión de cuando se llevarán a cabo.

CAPÍTULO 5: DIAGRAMA DE GANTT

A continuación se muestra el diagrama de Gantt que contiene tanto las tareas realizadas, como las tareas por realizar y sus plazos.



CAPÍTULO 6:

BIBLIOGRAFIA

1.1. Bibliografía de Consulta

Tektronix – “XYZ de los Osciloscopios”

Ian Hickman. "Digital Storage Oscilloscopes

Peter D. Hiscocks. "Oscilloscope Development"

Charles M. Gilmore. "Instrumentos de Medida eléctrica"

Hameg – Manual de usuario

Thomas Grocutt – Digital Storage Oscilloscope