

# ÍNDICE MEMORIA

Índice memoria .....	1
Resumen .....	3
<b>Capítulo 1 Introducción .....</b>	<b>4</b>
<b>Capítulo 2 El osciloscopio .....</b>	<b>5</b>
2.1. ¿Qué es un osciloscopio? .....	5
2.2. ¿Qué muestra un osciloscopio?.....	6
2.3. ¿Qué podemos hacer con un osciloscopio? .....	7
2.4. Osciloscopio digital .....	7
2.5. El mercado actual .....	8
<b>Capítulo 3 Funcionamiento del Osciloscopio .....</b>	<b>10</b>
3.1. ¿Cómo funciona un osciloscopio? .....	10
3.1.1. Osciloscopio analógico.....	10
3.1.1. Osciloscopio digital .....	11
<b>Capítulo 4 Osciloscopio a proyectar .....</b>	<b>13</b>
4.1. Factores que influyen en la calidad de un osciloscopio .....	13
4.1.1. Ancho de banda .....	13
4.1.2. Tiempo de subida .....	13
4.1.3. Sensibilidad vertical .....	14
4.1.4. Velocidad.....	14
4.1.5. Exactitud de la ganancia.....	14
4.1.6. Exactitud en la base de tiempos .....	14
4.1.7. Velocidad de muestreo .....	14
4.1.8. Resolución vertical.....	14
4.1.9. Longitud del registro .....	14
4.2. Bloques osciloscopio .....	15
4.2.1. Etapa de entrada .....	15
4.2.2. ADC .....	16
4.2.3. Memoria .....	16
4.2.4. Microcontrolador.....	17
4.2.5. Diagrama de bloques .....	18
4.3. Elección componentes .....	19

---

4.3.1.	Etapa de entrada .....	19
4.3.2.	ADC .....	20
4.3.3.	Memoria y contadores .....	21
4.3.4.	Microcontrolador.....	21
4.4.	Cálculos ganancias y ancho banda .....	24
4.5.	Instrumentación necesaria.....	26
4.6.	Software .....	26
<b>Capítulo 5 Estado actual y conclusiones .....</b>		<b>28</b>
5.1.	Estado actual y previsión.....	28
5.2.	Ideas y cosas por resolver .....	29
5.3.	Conclusiones.....	30
<b>Capítulo 6 Diagrama de Gantt.....</b>		<b>32</b>
<b>Capítulo 7 Bibliografía .....</b>		<b>34</b>
7.1.	Referencias bibliográficas .....	34
7.2.	Bibliografía de consulta .....	34

Annexos a la memoria

## **RESUMEN**

Este proyecto final de carrera, se propone realizar el estudio, diseño e implementación de un osciloscopio de memoria digital de bajo coste y su comunicación con un PC, mediante el sistema de comunicación serie universal USB. Comentar cada uno de los estudios, los errores aparecidos durante el diseño y la implementación del proyecto y establecer una comparación con los osciloscopios que hay, hoy en día, en el mercado. El resultado se difundirá en forma de memoria y con la creación de un DVD.

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

Este proyecto fue escogido debido a que un osciloscopio es seguramente el instrumento más apreciado por cualquier ingeniero electrónico y, por eso, se quiere realizar un estudio detallado de la vida de estos, desde la aparición del primero hasta lo que se conoce actualmente, conocer el funcionamiento detalladamente y, posteriormente, con los conocimientos adquiridos, diseñar y montar un osciloscopio de memoria digital.

La implementación de un osciloscopio no es algo que sea muy novedoso, ya que ya hay gente en todo el mundo que ha construido este tipo de instrumentos de manera casera. Pero lo importante no es sólo la construcción y el buen funcionamiento de dicho osciloscopio, sino también, las ventajas que se puedan dar a los posibles usuarios del prototipo que se va a diseñar.

Los osciloscopios de mesa son instrumentos grandes, pesados y bastante caros, por lo que se ha propuesto diseñar uno pequeño, ligero y de bajo coste. Esto será una gran ventaja en el caso que nos ocupa, ya que lo que se propone es crear un prototipo para luego distribuirlo en escuelas para que los estudiantes puedan usarlos.

Un hecho importante de este proyecto será la caracterización de nuestro osciloscopio, es decir, la comparativa de resultados con otros osciloscopios que haya en el mercado, y así, determinar los errores cometidos para poder rectificarlos o justificarlos en el caso que no se puedan resolver

# CAPÍTULO 2

## EL OSCILOSCOPIO

### 2.1. ¿Qué es un osciloscopio?

El osciloscopio es un dispositivo electrónico de medición que representa gráficamente señales eléctricas variables en el tiempo.



A través de una pantalla, dividida en 8 divisiones verticales y 10 horizontales, vemos la señal que se introduce. El eje horizontal, X, representa el tiempo en el que queremos visualizar la señal, y el eje vertical, Y, nos indica la amplitud con la que la queremos ver. En el caso de analizar una señal, esto nos ayudaría a saber su amplitud en tensión y su frecuencia.

**Figura 1.** Osciloscopio

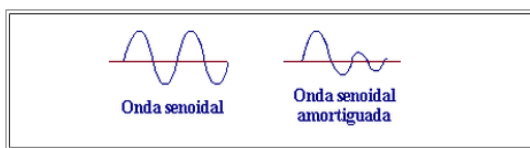
Hasta hace poco, los osciloscopios eran todos analógicos, los cuales mostraban la señal directamente en una pantalla iluminada por un tubo de rayos catódicos. Estos nos mostraban como iba variando la señal en el tiempo, pero su gran handicap es que no podemos guardar la memoria para, por ejemplo, tratar con ella o imprimirla. Por ello, entre otras cosas, se crearon los osciloscopios digitales que, actualmente, ya están sustituyendo a los osciloscopios analógicos.

## 2.2. ¿Qué muestra un osciloscopio?

A continuación, veremos los tipos de señal que nos puede mostrar un osciloscopio.

Ondas senoidales:

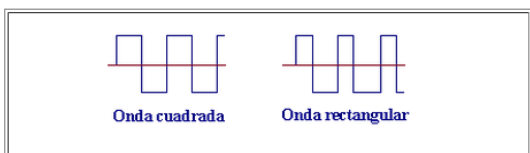
Es la onda fundamental de cualquier señal. Con esto, se quiere decir que, operando con esta señal, es decir, sumándole otras senoidales de diferente amplitud y frecuencia, se obtiene otra señal de cualquier tipo, por ejemplo, una cuadrada. La mayoría de fuentes de corriente alterna, ofrecen a su salida una señal con una forma de onda de este tipo.



**Figura 2.** Onda senoidal

Onda cuadrada o rectangular:

Este tipo de onda es, básicamente, una señal que pasa de un estado a otro de tensión en un tiempo muy pequeño. Estos cambios de estado se dan en un intervalo de tiempo que determina la frecuencia de esta señal. Este tipo de señal se da habitualmente en el ámbito digital, como por ejemplo, en ordenadores, o incluso actualmente, en la televisión con la inclusión de la Televisión Digital Terrestre.

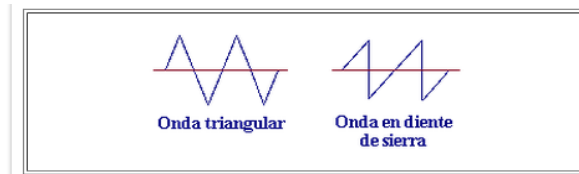


**Figura 3.** Onda cuadrada

Ondas triangulares:

Se trata de una señal que aumenta y disminuye a tiempo constante. A esto se le conoce como rampa, y forma este tipo de señal, la cual habitualmente se usa para el control lineal de voltaje. Cuando el tiempo en el que disminuye la señal

es muy pequeño, se da un caso muy conocido en esta forma de onda, llamada diente de sierra.



**Figura 4.** Onda triangular

Sabiendo que es un osciloscopio y que podemos ver en el, antes de entrar en su funcionamiento, nos podemos plantear:

### 2.3. ¿Qué podemos hacer con un osciloscopio?

Con un osciloscopio podemos, entre otras cosas:

- Determinar la frecuencia y la amplitud de una señal de voltaje.
- Diferenciar en una señal que parte es en corriente continua y que parte es en corriente alterna.
- Localizar errores en un circuito.
- Medir el ruido que hay en una señal.
- Etc.

### 2.4. Osciloscopio digital

Nuestro proyecto se basará en este tipo de osciloscopio. La gran diferencia entre un osciloscopio analógico y uno digital es que, el primero, trabaja directamente con la señal aplicada, mientras que el segundo, la almacena digitalmente y luego la muestra. Esto lo hace mediante un ADC que convierte la señal de entrada en información digital.

El osciloscopio digital se recomienda para poder visualizar la señal y si se desea trabajar con ella, además de cuando se desea ver eventos no repetitivos, como picos de tensión. El analógico, en cambio, se usa cuando se desea ver señales rápidas en tiempo real.

Nuestro objetivo es poder obtener la señal que aplicamos, por ello se hará el osciloscopio digital. Existen distintos tipos de osciloscopio digital, entre los cuales tendremos que escoger cual haremos:

- Osciloscopio de memoria digital
- Osciloscopio de muestreo
- Osciloscopio de fósforo

Nosotros hemos optado por el de memoria digital, ya que para la visualización de señales al completo es el más recomendado. El osciloscopio de muestreo no muestra la señal completa, si no que parte de ella, lo que sirve para un mejor análisis de esa parte mostrada. Es más rápido que el de memoria digital, pero buscamos ver toda la señal. El osciloscopio de fósforo utiliza una pantalla especial, y nosotros lo hemos enfocado al uso con el PC, es decir, ver la señal en nuestro ordenador para poder, entre otras cosas, guardarla.

## 2.5. El mercado actual

Hoy en día todos los fabricantes trabajan para mejorar las prestaciones de sus osciloscopios y así poder competir en un mercado cada vez más exigente. Actualmente se tienen muy en cuenta factores como el ancho de banda, los tiempos de muestreo y los canales que se puedan visualizar.

Como en cualquier otro producto podemos distinguir entre diferentes gamas que van desde osciloscopios básicos para trabajadores autónomos que sólo necesitan equipos básicos de medida para efectuar sus labores, hasta osciloscopios muy completos con anchos de banda que no se habían imaginado en tiempos pasados, velocidades de muestreo realmente muy rápidas y un sinfín de opciones, que pueden ser muy útiles para algunos laboratorios o puestos de trabajo muy minuciosos, pero que pueden convertirse en un engorro si el operario no sabe utilizarlo.

No sería necesario comentar que los precios de estos osciloscopios son cada vez más caros dependiendo de las prestaciones que contengan.

Actualmente, la gama más alta que se encuentra en el mercado, o al menos, que se conozca, serían osciloscopios de la marca Tektronix, que son los líderes en la venta de osciloscopios actualmente.

Una vez descrito el mercado actual, se va a proceder a enumerar las características básicas de los osciloscopios de gama media y alta, para después, poder hacer una comparativa entre éstos y el diseño que se propone. Para eso, vamos a escoger un osciloscopio de cada gama y se escribirán las características de cada uno.

- DL9000 MSO SERIES (gama alta):
  - Ancho de banda: 500MHz/1GHz
  - Velocidad de muestreo: 5GS/s
  - 4 canales analógicos



- Modelo 2530 (gama media)
  - Ancho de banda: 25MHz
  - Velocidad de muestreo: 250MS/s
  - 2 canales

Tal y como se ha dicho anteriormente, las principales diferencias entre estos osciloscopios son el ancho de banda, los tiempos de muestreo y los canales a visualizar, aunque no son las únicas diferencias que existen entre ellos.

# CAPÍTULO 3

## FUNCIONAMIENTO DEL OSCILOSCOPIO

### 3.1. ¿Cómo funciona un osciloscopio?

Debido a que el funcionamiento del osciloscopio analógico y digital es parecido, primero se explicará el funcionamiento de un osciloscopio analógico y luego se verán las diferencias entre uno y otro.

#### 3.1.1. Osciloscopio analógico

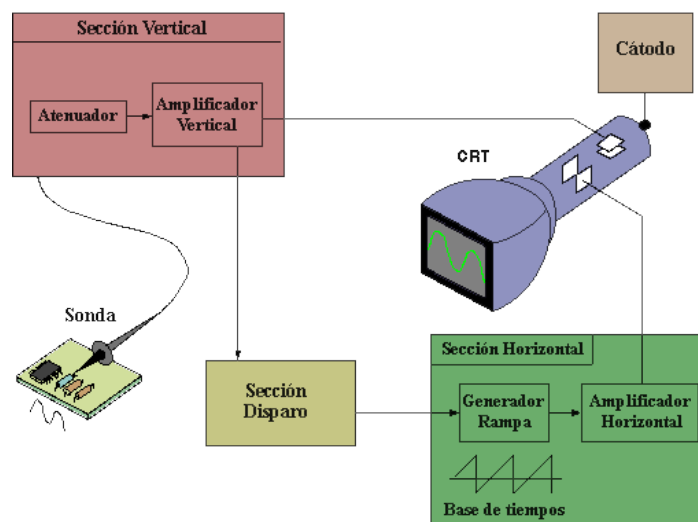


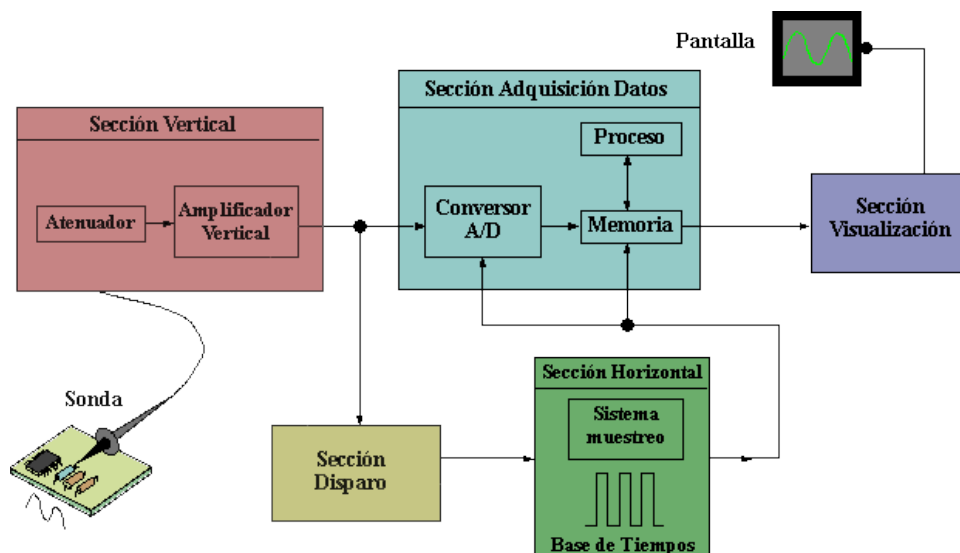
Figura 5. Bloques osciloscopio analógico

En la imagen vemos los bloques de un osciloscopio analógico. Primero vemos el circuito a analizar y la sonda por donde se introducirá la señal al osciloscopio. Esta señal se dirige hacia un atenuador-amplificador de la sección vertical. Que sea atenuador o amplificador depende de cómo tengamos el mando de control del amplificador, el cual variará la ganancia del amplificador operacional. A la salida de este bloque, nos dirigimos directamente a las placas de deflexión verticales, que son las encargadas de desviar el haz de electrones que representa la onda. Este haz de electrones viene del cátodo y se ve gracias a una capa fluorescente que hay en la pantalla. Las placas se moverán hacia arriba cuando la señal sea positiva y hacia abajo cuando esta sea negativa.

La señal, amplificada o atenuada, también se dirigirá al bloque de disparo, el cual realiza el barrido horizontal. Este se encarga de mover de izquierda a derecha las placas horizontales en un tiempo determinado. Este movimiento de izquierda a derecha, el trazado, se consigue aplicando la rampa ascendente de un diente de sierra a dichas placas de deflexión horizontal. El tiempo de esta rampa viene configurado por el mando regulador del tiempo que queramos por división. El movimiento de derecha a izquierda se consigue en un tiempo mucho menor, ya que es la bajada de este diente de sierra.

Esta es la forma en la que trabaja un osciloscopio analógico. Podemos ver que es bastante sencillo, pero esto también hace que las funciones de este sean limitadas.

### 3.1.1. Osciloscopio digital



**Figura 6.** Bloques osciloscopio digital

La diferencia entre el osciloscopio digital y el analógico la encontramos después de la etapa de entrada. Es decir, que la fase de amplificación-atenuación será prácticamente la misma. En nuestro caso tendrá una

pequeña diferencia, y es que la elección tanto del tipo de entrada que queremos, AC, DC o GND, y escoger cuantos Volts y tiempo por división queremos, no se hará manualmente si no que se hará mediante el PC, aprovechando que no vamos a usar una pantalla para visualizar la señal si no que lo haremos mediante PC, y por tanto podemos usar el Software para hacer estas elecciones. Pero lo que es el montaje en si, es todo igual tanto en analógico como en digital.

Después de esta etapa de entrada, encontramos el sistema de adquisición de datos. Este se basa en un ADC, que convertirá la señal analógica en información digital, una memoria que vendrá controlada por unos contadores y un microcontrolador, el cual se encargará tanto de procesar la señal para ser mostrada por PC, como de ordenar a los distintos componentes como se deben comportar para poder adquirir bien la señal, además de las elecciones anteriormente comentadas de la etapa de entrada. Este microcontrolador irá conectado mediante USB al ordenador, donde se visualizará la señal por software. Además, el trigger, disparo, a elegir entre flanco ascendente, flanco descendente, se hará también por software.

# **CAPÍTULO 4**

# **OSCILOSCOPIO A**

# **PROYECTAR**

El osciloscopio que se pretende diseñar tiene como objetivo ser económico, por ello se limitará en ciertas características que lo harán mas barato, pero también empeorará su calidad. Se trata de un osciloscopio sencillo, no tiene como final que se use para circuitos muy específicos, si no que haga la función general de un osciloscopio, la de mostrar la señal. A continuación veremos que factores influyen en la calidad y limitación de un osciloscopio.

## **4.1. Factores que influyen en la calidad de un osciloscopio**

### *4.1.1. Ancho de banda*

Esta característica indica el rango de frecuencias en el que el osciloscopio medirá bien. Este valor irá desde continua, 0 Hz, hasta la frecuencia en la que la señal senoidal se atenúe 3 dB, o lo que es lo mismo, su amplitud se aproximadamente un 70% de lo esperado.

### *4.1.2. Tiempo de subida*

Es el tiempo de subida que veremos en las señales de pulsos. Un osciloscopio no puede visualizar pulsos con un tiempo de subida mayor que

el del propio osciloscopio, por tanto, esto influye mucho en la medida de señales con pulsos.

#### *4.1.3. Sensibilidad vertical*

Este parámetro indica la mínima escala que tiene el osciloscopio en cuanto a visualización de señales pequeñas. Normalmente es de 5 mV/div. Esto nos marca las señales mínimas que puede amplificar el osciloscopio

#### *4.1.4. Velocidad*

En este caso, nos indica el mínimo tiempo posible que podemos visualizar. Cuanto mayor sea este valor, los eventos que podamos ver serán más lentos. En osciloscopios normales, oscilan los nanosegundos.

#### *4.1.5. Exactitud de la ganancia*

Indica, como su propio nombre indica, la exactitud que proporciona el osciloscopio a la hora de amplificar o atenuar la señal, según la escala de V/div que elijamos.

#### *4.1.6. Exactitud en la base de tiempos*

Lo mismo que en el caso anterior, pero en este se indica la precisión que hay en la base de tiempos.

#### *4.1.7. Velocidad de muestreo*

Se da en los osciloscopios digitales. Es la velocidad con la que es capaz de tomar el sistema de adquisición de datos un número de muestras. Viene dado por el ADC. Para ver periodos rápidos se precisan velocidades de muestreo altas, pero también son necesarias bajas para ver variaciones de señales lentas.

#### *4.1.8. Resolución vertical*

Se mide en bits y es un parámetro que nos da la resolución del conversor ADC. El número de bits del ADC es el que marca la precisión con la que se convierten los datos.

#### *4.1.9. Longitud del registro*

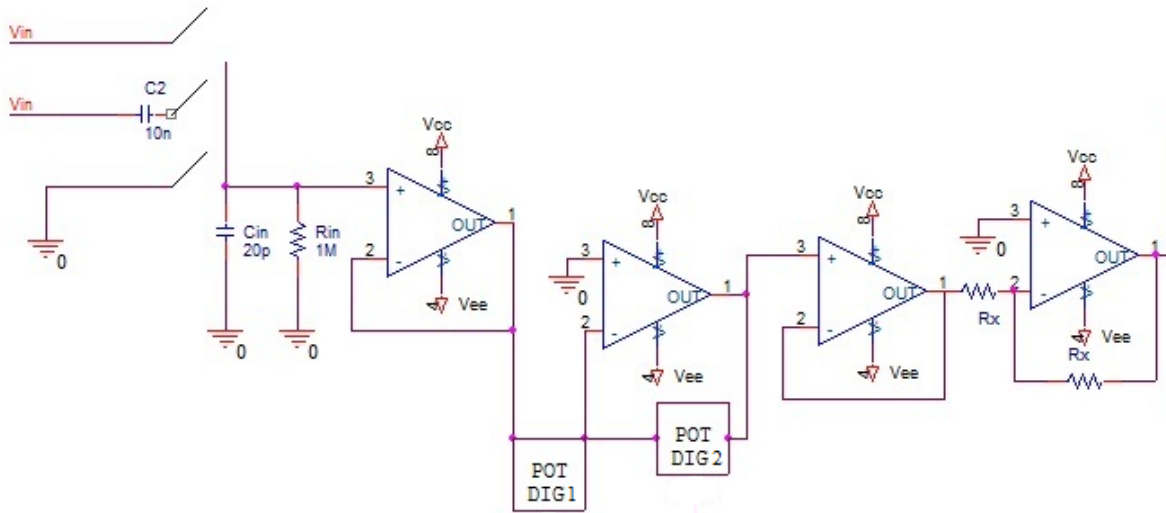
Indica la cantidad de puntos que se pueden memorizar para reconstruir la onda. Esto depende exclusivamente de la memoria. Cuanto más puntos se tengan que visualizar, más lento será el muestro de la señal.

Estas son las características que creemos más importantes en la influencia de la calidad y, por tanto, el coste, del osciloscopio. Ahora entraremos en nuestro montaje y luego iremos viendo el porque de algunas elecciones que hemos hecho y como influyen en nuestro montaje.

## 4.2. Bloques osciloscopio

En este apartado veremos los bloques del osciloscopio explicados por separado. Destacar que esta todo montado para un solo canal de entrada, el montaje será exactamente el mismo para el segundo canal.

### 4.2.1. Etapa de entrada



**Figura 7.** Circuito etapa de entrada

Como se ha comentado anteriormente, la etapa de entrada de cualquier osciloscopio tiene siempre la misma función, por tanto la base siempre será la misma, cambiando cosas a placer del diseñador.

En nuestro caso encontramos:

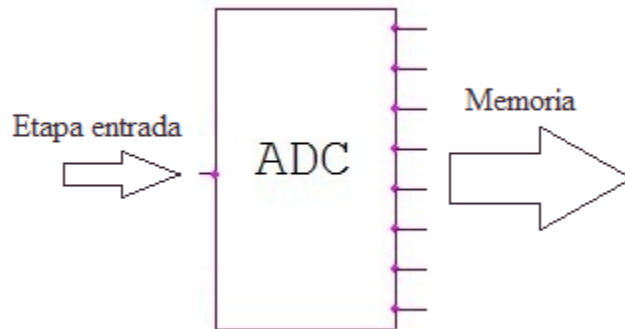
Primero la elección de la entrada, si se desea en DC, AC o GND. Luego nos encontramos con la resistencia y condensador de entrada del osciloscopio, ambos valores típicos de cualquier osciloscopio.

Posteriormente, tras un seguidor de tensión para aislar ambas partes del circuito, nos encontramos con la parte amplificadora-atenuadora. Para esta parte hemos optado por poner un montaje amplificador inversor, y en vez de resistencias hemos puesto dos potenciómetros digitales, que, controlados por microcontrolador, podemos poner distintos valores de resistencia para obtener distintas ganancias. La ganancia queda:

$$V_o = V_{in} \cdot \left( \frac{POTDIG2}{POTDIG1} \right) \Rightarrow G = \left( \frac{POTDIG2}{POTDIG1} \right) \quad (1)$$

Después de la etapa de ganancia encontramos otro seguidor de tensión para volver a aislar el circuito y, finalmente, encontramos una etapa inversora, ya que el amplificador anterior, para que tenga la capacidad de atenuar, debía de ser inversor, por tanto, necesitamos invertir otra vez la señal para que no nos quede invertida.

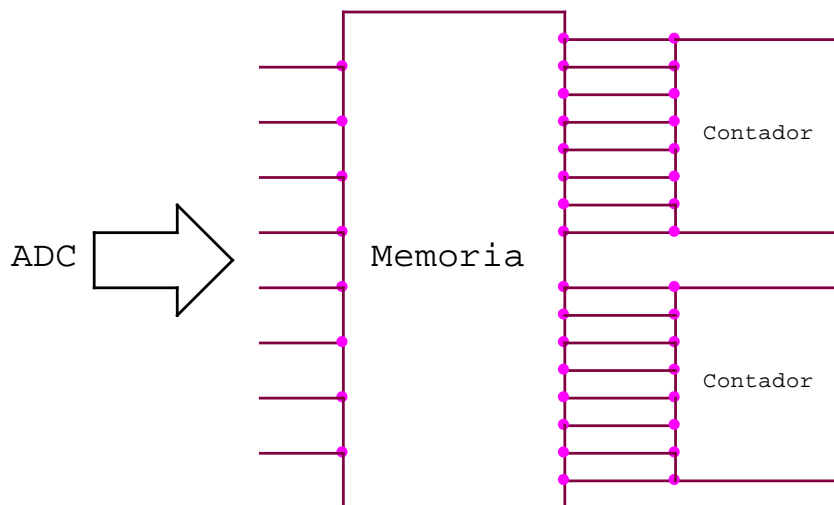
#### 4.2.2. ADC



**Figura 8.** Bloque ADC

Tras la etapa de entrada, nos encontramos con el ADC. Este componente es el que se encargará de convertir la señal analógica que se recibe de dicha etapa de entrada en datos binarios, para que puedan ser leídos por el resto de componentes. Su salida, de n bits, se almacenará en una memoria.

#### 4.2.3. Memoria

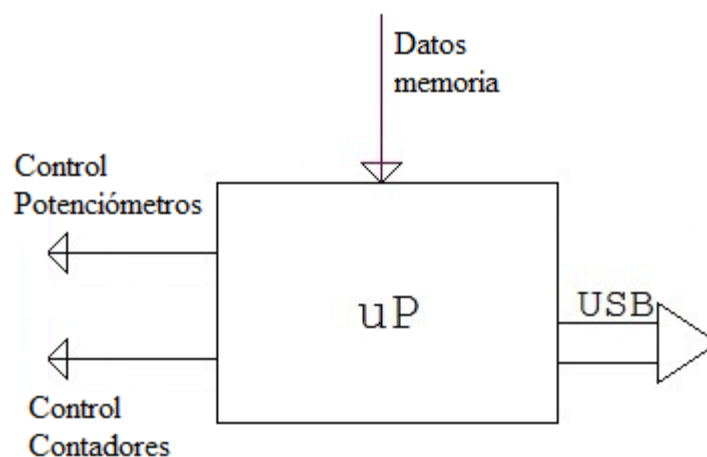


**Figura 9.** Bloque memoria



En la figura se muestra el montaje que se ha hecho para la memoria. Esta se encargará del almacenar que provienen los datos del ADC. Se direccionará mediante unos contadores que se controlarán por procesador microcontrolador. Este proceso de controlar la memoria por contadores en vez de directamente desde el microcontrolador se hace, principalmente, para ganar velocidad y, además, porque así no utilizamos muchas patas del micro solo para este propósito.

#### 4.2.4. Microcontrolador

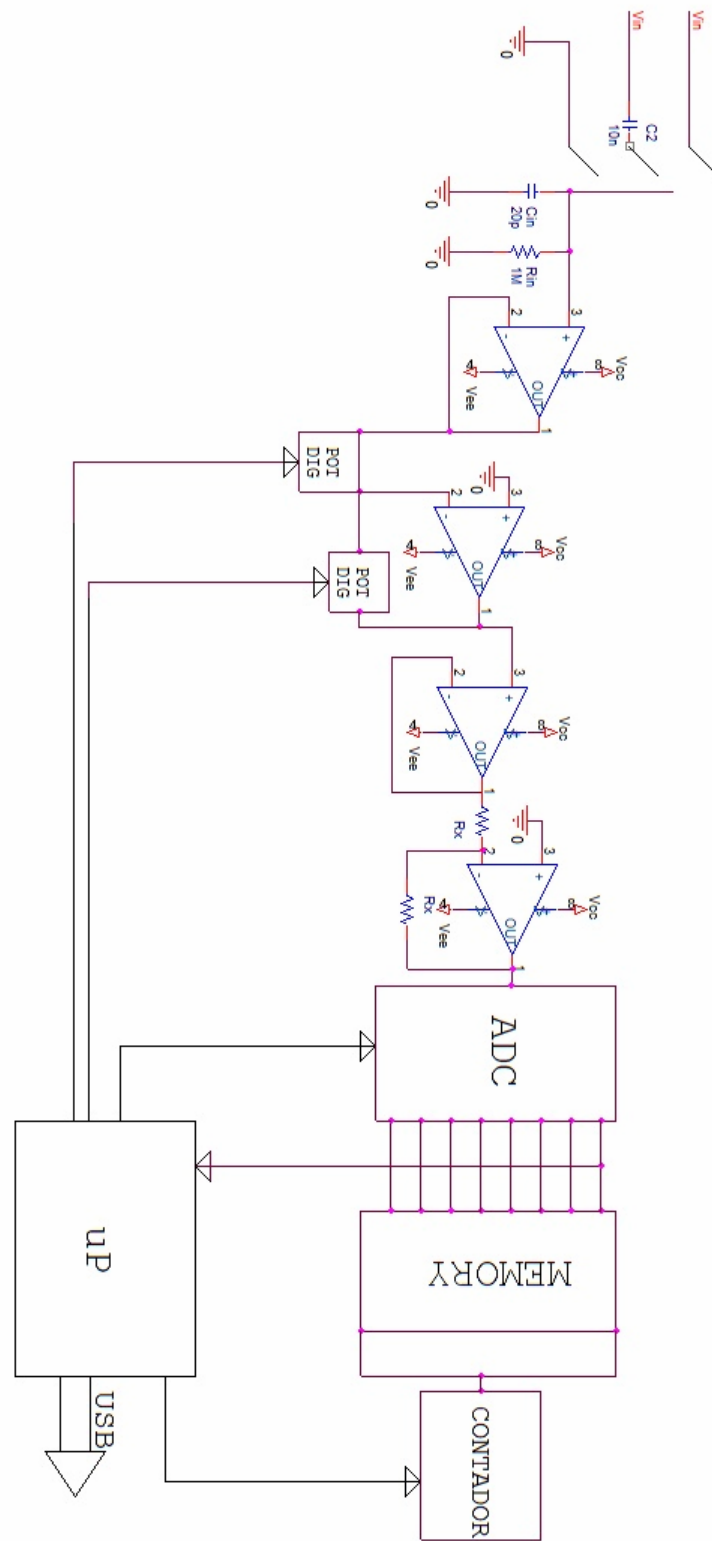


**Figura 10.** Bloque microcontrolador

El microcontrolador es como el director del montaje. Desde aquí se dan todas las órdenes al circuito, desde elegir la escala de visionado hasta el envío de información al PC. Sus funciones principales serán las de:

- Ordenar a los potenciómetros digitales que posición tomar, así tener distintas ganancias y, por tanto, escalas.
- Recibir la información proporcionada de la memoria.
- Controlar los contadores que dirigen la memoria.
- Enviar la información al PC.

4.2.5. Diagrama de bloques



### 4.3. Elección componentes

En este apartado se expondrán los componentes elegidos para cada etapa. Explicaremos el porque de cada elección, que depende de las características que busquemos en estos componentes. Lo que si que buscaremos en todos es que estén disponibles y que sean lo más económicos posible.

#### 4.3.1. Etapa de entrada

En esta etapa encontramos dos componentes principales a elegir:

- Amplificadores operacionales
- Potenciómetros digitales

Dado que es la etapa donde se trata la señal de entrada, tenemos que encontrar componentes que añadan el mínimo error posible a dicha entrada. Buscamos precisión por encima de todo. Todo lo que son componentes pasivos, resistencias y condensadores, tendrán que tener la mínima tolerancia posible.

#### *Amplificadores operacionales*

Para buscar la precisión que hemos comentado, tenemos que buscar que este componente introduzca el mínimo ruido posible a la señal de entrada. Además, hemos buscado que tenga un ancho de banda un poco alto para que no nos quede un osciloscopio muy corto de ancho de banda, ya que este componente es el que marca esta característica de nuestro osciloscopio.

El componente elegido ha sido el AD8676:

**Tabla 1.** Características AD8676

<i>Modelo</i>	<i>BW (Hz)</i>	<i>Input offset voltage (V)</i>	<i>Rin</i>	<i>Input Noise Voltage (V/<math>\sqrt{\text{Hz}}</math>)</i>	<i>Input Noise Current (A/<math>\sqrt{\text{Hz}}</math>)</i>	<i>Precio (€)</i>
AD8676	10M	12u	1000G	2.5n	2n	3,92

Como se puede comprobar, el precio no es excesivo y cumple con las características que buscábamos. Se han buscado más componentes, pero por falta de disponibilidad o por su alto precio, hemos acabado optando por este.

Lo hemos encontrado disponible en la página de Rs Amidata.

### Potenciómetros digitales

En este componente, la característica principal que buscamos es que su valor de resistencia tenga la mínima tolerancia posible. Como es conocido, el mínimo valor de tolerancia más conocida en el mercado es del 1%. Hemos buscado un integrado que tuviera, en un mismo modelo, dos potenciómetros incluidos, pero no lo hemos encontrado por el momento. Esta búsqueda se debe a que, generalmente, cuando uno de los dos potenciómetros tiene una tolerancia de un 1% para arriba o para abajo, el que esta a su lado la tiene hacia el lado contrario, con lo que se compensa más o menos ese error. Pero, como se ha dicho, de momento el modelo encontrado dispone de un único potenciómetro digital.

El modelo elegido es el AD5293:

**Tabla 2.** Características AD5293

<i>Modelo</i>	<i>Pins</i>	<i>Posiciones</i>	<i>Valores</i>	<i>Fmax</i>	<i>Temperature coeficient</i>	<i>Precio (€)</i>
AD5293	14	1024	20k, 50k o 100k	520k	35ppm/°C	3.11

La mayoría de modelos encontrados, ofrecían una tolerancia del 20%, inadmisibles en este proyecto. El producto se encuentra disponible en la página oficial de Analog Devices.

#### 4.3.2. ADC

En esta etapa sólo tenemos que elegir el conversor analógico digital. Las características principales que buscamos en este conversor son: el número de bits, su máxima frecuencia y, a ser posible, que incluya *Sample & Hold* integrado.

Dado que los ADC de los osciloscopios digitales suelen ser habitualmente de 8 bits, buscaremos un conversor de ese número de bits.

El modelo elegido es el AD7822:

**Tabla 3.** Características AD7822

<i>Modelo</i>	<i>BW (Hz)</i>	<i>Bits</i>	<i>S&amp;H</i>	<i>Precio (€)</i>
AD7822	2M	8	Sí	7,33

Se trata de un ADC de la tecnología half-flash. Los otros modelos encontrados eran muy parecidos a este, ya que ADCs hay muchos en el mercado, pero el hecho que este disponga de *S&H* integrado es lo que ha hecho que nos decantemos por él.

Se encuentra disponible en Rs Amidata.

### 4.3.3. Memoria y contadores

En este bloque tenemos que buscar dos componentes, la memoria y los contadores que vamos a usar.

#### Memoria

Como ya se sabe, existen dos tipos de memoria, la estática y la dinámica. La estática es más cara que la dinámica, pero su uso es más sencillo y son más rápidas que las dinámicas. Debido a que no necesitamos una memoria excesivamente grande, hemos optado por escoger una memoria estática por las razones expuestas. Que el tamaño de la memoria no sea muy grande hace que su precio no se dispare.

El modelo elegido es uPD431000A:

**Tabla 4.** Características uPD431000A

Modelo	Pins	Cantidad/encapsulado	Tiempo acceso	Tamaño	Precio (€)
μPD431000A	32	1	120ns	8 bits x 128k	2,6

El precio no es muy alto, y además, nos es muy fácil acceder a ella ya que la hemos encontrado disponible en Onda Radio.

#### Contadores

En este caso, hemos buscado sencillamente unos contadores que sean rápidos y comunes. Los más encontrados son contadores de 8 bits, por lo que hemos optado por poner dos en cascada simulando uno de 16 bits.

El modelo escogido es 74F269:

**Tabla 5.** Características 74F269

Modelo	Pins	Bits	Fmáx	Precio (€)
74F269	24	8	115MHz	3,66

Se trata de un contador Up/Down de 8 bits. Es un modelo muy barato, de una alta frecuencia máxima y, además, común en otros trabajos investigados.

Se encuentra disponible en Rs Amidata.

### 4.3.4. Microcontrolador

En este apartado se va a realizar una breve descripción del método de elección que se ha seguido para la elección del microcontrolador que vamos a utilizar.

Para escoger el microcontrolador hemos tenido en cuenta, entre otras cosas, que fuese bastante conocido y utilizado, para poder encontrar información fácilmente. Además, debía cumplir una serie de requisitos impuestos por nuestro montaje, para que pudiera funcionar bien en nuestro osciloscopio.

Buscando información por la Web y pidiendo consejo a personas más experimentadas, se decidió utilizar un PIC (Peripheral Interface Controller), ya que son unos dispositivos muy fácilmente programables y que están en plena expansión en el mundo de la electrónica. Existen multitud de manuales de funcionamiento y de programación de estos dispositivos, así como páginas Web donde se solucionan problemas típicos de estos microcontroladores, y por eso se optó por esta opción.

Aún así, debíamos encontrar el PIC que cumpliera los requisitos para nuestro osciloscopio.

Las características que creemos que eran más importantes para la elección del PIC, eran la velocidad y la memoria del mismo, ya que, debería tener suficiente capacidad para guardar y ejecutar las funciones del programa que se iban a introducir. Por eso, se empezó a investigar en las características que ofrecían estos dispositivos y, de esta forma, encontramos los PIC de la familia PIC18, que son los que tienen las prestaciones más elevadas. Las características fundamentales de esta familia de PIC son las siguientes:

Arquitectura RISC avanzada Harvard: 16 bits con 8 bits de datos

77 instrucciones

Desde 18 a 80 pines

Hasta 64K bytes de programa

Multiplicador Hardware 8x8

Hasta 3968 bytes de RAM y 1 Kbytes de EEPROM

Frecuencia máxima de reloj 40MHz

Pila de 32 niveles

Múltiples fuentes de interrupción

Periféricos de comunicación avanzada (CAN y USB)

Esta última característica nos pareció muy interesante ya que estos PIC, vienen dotados de un soporte nativo para USB, es decir, incluyen un controlador interno que ya proporciona las patas de salida para conectarlo directamente al PC. Esto, nos sirvió para acabar de decantarnos por la utilización de los PIC ya que, una parte del osciloscopio que más problemas pensamos que nos podría dar, era la conexión de nuestra placa con el PC, y esto, nos podía ahorrar muchos dolores de cabeza.

Teniendo en cuenta las características descritas anteriormente nos decantamos finalmente por el PIC18F4550.

**Tabla 6.** Características principales PIC18F4550

Modelo	Pins	Flash (bytes)	USB	Fmax	Precio (€)
PIC18F4550	40	32k	Si	48 MHz	5

Sobre este modelo hemos encontrado mucha información en Internet, manuales, ejemplos de uso, etc. Esta ha sido otra razón que nos ha llevado a escoger este modelo. Sus 32 kb de memoria flash son más que suficientes para introducir el programa.

Se encuentra disponible en la página oficial de Microchip, la empresa creadora de estos tipos de microcontrolador, los PIC y, además, en Rs Amidata.

A continuación, analizaremos más a fondo este modelo y la información que hemos visto sobre él.

### PIC 18F4550

El PIC finalmente escogido tiene las siguientes características:

**Tabla 7. Características PIC18F4550**

#### MICROCONTROLADORES PIC18F2455, PIC18F2550, PIC18F4455 y PIC18F4550

CARACTERISTICAS	PIC18F2455	PIC18F2550	PIC18F4455	PIC18F4550
Frecuencia de Operación	Hasta 48MHz	Hasta 48MHz	Hasta 48MHz	Hasta 48MHz
Memoria de Programa (bytes)	24.576	32.768	24.576	32.768
Memoria RAM de Datos (bytes)	2.048	2.048	2.048	2.048
Memoria EEPROM Datos (bytes)	256	256	256	256
Interrupciones	19	19	20	20
Líneas de E/S	24	24	35	35
Temporizadores	4	4	4	4
Módulos de Comparación/Captura/PWM (CCP)	2	2	1	1
Módulos de Comparación/Captura/PWM mejorado (ECCP)	0	0	1	1
Canales de Comunicación Serie	MSSP,EUSART	MSSP,EUSART	MSSP,EUSART	MSSP,EUSART
Canal USB	1	1	1	1
Puerto Paralelo de Transmisión de Datos (SPP)	0	0	1	1
Canales de Conversión A/D de 10 bits	10 Canales	10 Canales	13 Canales	13 Canales
Comparadores analógicos	2	2	2	2
Juego de instrucciones	75 (83 ext.)	75 (83 ext.)	75 (83 ext.)	75 (83 ext.)
Encapsulados	PDIP 28 pines SOIC 28 pines	PDIP 28 pines SOIC 28 pines	PDIP 40 pines QFN 40 pines TQFP 40 pines	PDIP 40 pines QFN 40 pines TQFP 40 pines

Tal y como se puede observar en la tabla anterior, las prestaciones que nos proporciona el microcontrolador escogido, son más que suficientes para nuestro proyecto. Tiene una frecuencia de operación muy elevada, de 48 MHz, que permitirá no perder velocidad en la ejecución. La memoria de programa de 32 KBytes es suficiente para las instrucciones que vamos a introducir y, además, contiene el canal USB y una variedad de timers e interrupciones elevada.

Investigando por Internet, hemos encontrado que este microcontrolador soporta cristales y osciladores de varias frecuencias como entrada, y el hecho de que pueda trabajar a una frecuencia de 48MHz, se convierte en un requisito indispensable para poder transferir a full-speed por el puerto USB. Si se consigue transferir a full-speed (1.5Mbytes/seg) el sistema será compatible con el estándar USB 2.0.

Las instrucciones, tal y como se indica en el manual del microprocesador encontrado por Internet, son de 1 byte de longitud salvo algunas que son de 2 bytes. Utiliza el sistema de pipeline para la ejecución del código por lo cual hace que las instrucciones consecutivas se ejecuten en 4 CLK (ciclos de reloj).

También se puede observar en la tabla que internamente posee un convertido AD de 10 bits, pero no se va a poder utilizar este convertidor debido a la baja velocidad que tiene (200 KHz).

Una vez escogido el uC y sabiendo que tenemos el controlador interno para USB, deberemos buscar como comunicar el micro con el ordenador y que software se va a utilizar.

## 4.4. Cálculos ganancias y ancho banda

En la etapa de entrada ya se ha comentado que mediante dos potenciómetros, se elegirá la escala de Volts por división a la que se quiere ver la señal. Esto se consigue mediante la modificación de la ganancia del amplificador operacional. El cálculo de estas ganancias depende de distintas cosas, no se puede hacer al azar. Para ello, hay que tener claro:

- El número de bits del ADC.
- La tensión de referencia que utilizaremos en el ADC.
- El voltaje en el que queremos que oscile la señal que le llega al ADC.

Como podemos ver, esta etapa de amplificación va muy relacionada con la configuración y las características del ADC. Puesto que como se ha dicho anteriormente, se ha elegido un ADC de 8 bits, sabemos que la visualización se podrá hacer en 256 valores distintos ( $2^{n \text{ bits}} = 2^8 = 256$  valores).

Hemos elegido una  $V_{ref}$  de 2,5 V. Por ello, si tenemos  $V_{ref}=2,5$  Volts, la dividimos entre el número de valores que tenemos, 256, y obtenemos la resolución de aproximadamente 10 mV/bit (9,8mV/bit).

La señal que le llegue al ADC tendrá oscilar entre 0 y 2,5 Volts. Para que no le llegue ninguna señal negativa al ADC, optaremos por sumarle 1,25 volts a la señal que sale de la etapa amplificadora, así conseguimos:

- Una masa virtual (simulará 0 Volts) en 1,25 Volts.
- De 1,25 V a 0 V, simulará las señales negativas.
- De 1,25 V a 2,5 V simularán las señales positivas.



En cuanto a posiciones, tendremos que el número 0 corresponderá a -1,25 Volts, mientras que el 255 corresponderá a 1,25 Volts.

Sabiendo esto, vamos a ver las escalas de las que podrá disponer nuestro osciloscopio:

**Tabla 8.** Escalas osciloscopio

V/Div
5V
2V
1V
0,5V
200mV
100mV
50mV
20mV
10mV
5mV

A partir de aquí, podemos calcular las ganancias, tomando como referencia que 1,25 V es la masa virtual y simula 0 V.

Fórmula: 
$$G = \frac{V_M}{V_{pfe}} \tag{2}$$

Dónde:

$V_M$  =tensión masa virtual (1,25 V)

$V_{pfe}$  =Tensión de pico del fondo de escala en el que nos encontremos. Por ejemplo, si nos encontramos en una escala de 1V/Div, tenemos que, con 4 divisiones, la máxima tensión de pico que podremos ver es 4Vp.

De esta forma, calculamos las ganancias y los resultados los encontramos en la siguiente tabla:

**Tabla 9.** Ganancias osciloscopio

V/Div	Vp	G
5V	20V	0,0625
2V	8V	0,15625
1V	4V	0,3125
0,5V	2V	0,625
200mV	0,8V	1,5625
100mV	400mV	3,125
50mV	200mV	6,25
20mV	80mV	15,625
10mV	40mV	31,25
5mV	20mV	62,5

Como podemos ver, la máxima ganancia es  $G=62,5$ . Con esto, y sabiendo la  $f_{m\acute{a}x}$  del modelo elegido del amplificador operacional, 10MHz, se deduce que la máxima frecuencia, es decir, el ancho de banda, de nuestro osciloscopio, será de unos:

$$BW=160kHz$$

Este valor es habitual en osciloscopios caseros, comparándolos con otros proyectos vistos.

Tenemos alguna duda que, en el apartado final de cosas por resolver, exponemos y que estamos pensando en como solucionarlas.

## 4.5. Instrumentación necesaria

Aparte de todos los componentes de montaje, para este proyecto necesitaremos el uso de instrumentación electrónica muy común. Entre otras cosas, destacamos:

- Osciloscopio: Podremos ir viendo como avanza nuestro proyecto. Además es muy útil para encontrar errores. Finalmente nos servirá para comparar como muestra nuestro osciloscopio la señal y como la muestra más avanzado, de mercado, como por ejemplo, los que encontramos en la universidad.
- Fuentes de alimentación del circuito: Fuentes tanto simétricas, como de señal digital (5V).
- Generador de funciones: Necesitaremos este generador para introducir señales a nuestro osciloscopio.
- Componentes relacionados con el montaje: Protoboard, soldador, programas de diseño (Pspice, Psim, Proteus, etc.), etc.

## 4.6. Software

En este apartado, encontramos dos fases distintas:

- El software del microcontrolador, el cual se comunicará con el PC, recibirá los datos y ordenará a todos los componentes del circuito.
- El software del PC, el cual será un programa que simule un osciloscopio. Este se obtendrá de Internet, de algún otro proyecto o preguntando por páginas.

Nosotros nos tenemos que centrar en el software del microcontrolador. Por Internet estamos encontrando ejemplos de comunicación entre el PC y el PIC mediante USB. Como se verá en las conclusiones, este tema lo

queremos tratar más a fondo cuando tengamos decidido casi al completo la parte de hardware, ya que mientras que nos llegan algunos componentes, como puede ser el propio microcontrolador, podemos entrar más a fondo en este apartado del software de control de los componentes y de comunicación microcontrolador-PC. Además, cuando nos llegue el PIC, podremos encontrar ejemplos de los que disponemos para guiarnos mejor.

# **CAPÍTULO 5**

## **ESTADO ACTUAL Y**

### **CONCLUSIONES**

Este capítulo mostrará la parte casi final del PFC1. Se hablará sobre el estado actual del proyecto y las previsiones de futuro, las ideas y cosas por resolver que tenemos y, finalmente, la conclusión de todo ello.

#### **5.1. Estado actual y previsión**

El proyecto se encuentra prácticamente al final del análisis e investigación. Con los componentes elegidos, el siguiente paso es empezar a montar un prototipo e ir probando que las distintas partes del circuito cumplan con lo requerido.

La parte que nos queda por investigar más a fondo es la del software que utilizaremos en el microchip para ordenar todo lo que queremos y para transmitir los datos al PC. En esta parte queremos entrar más a fondo cuando tengamos decididos los montajes de todos los componentes con exactitud, ya que, por ejemplo, en el caso del ADC, tenemos que ver, entre otras cosas, como solucionar ciertos problemas que posteriormente se exponen. Quedan ciertos detalles que queremos limar lo antes posible, para pedir los componentes que sepamos ya definitivos en las distintas webs de empresas y, mientras estos llegan, ponernos lo máximo posible con el desarrollo del software.

## 5.2. Ideas y cosas por resolver

Tenemos ciertas ideas que están por confirmarse si se llevarán a cabo o no. Entre ellas, debido a que hay dos canales, tenemos en mente intentar utilizar solo un puerto para la entrada de datos de los dos canales, es decir, tendremos en total 16 bits de datos, divididos en 8 bits del canal I y 8 bits del canal II, pero queremos que solo se requiera un puerto de 8 bits del PIC para leer estos datos y procesarlos. Una idea que hemos pensado y que en otros trabajos hemos visto que se ha usado, es la de usar un buffer bidireccional. Estos buffers tienen la capacidad de tener un estado de salida de alta impedancia, lo que hace que el circuito quede abierto y no se transmita la señal. Utilizando estos buffers, conseguiríamos que, entrando cada señal a su buffer respectivo, uniendo ambas salidas, mediante el microcontrolador, elijamos que buffer queremos que tenga el estado de alta impedancia, así le entraría solo la señal que venga del otro buffer que si que dejaría pasar la señal. Esta, entre otras, son ideas que tenemos y que nos van surgiendo a medida que vamos avanzando y viendo como podemos mejorar el diseño del proyecto.

Además, tenemos cosas por resolver, como por ejemplo, como variar la base de tiempos. Esto seguramente se hará mediante el microcontrolador, pero tenemos que analizar más a fondo que opciones tenemos.

También tenemos por resolver la duda de si la elección de la entrada del osciloscopio, AC, DC o GND, se hará mediante software o mediante un switch. Tenemos que ver como afecta también el incluir un interruptor, ya que este añade una impedancia (condensador) que puede afectar al que se pone para la entrada de AC.

En el caso de las ganancias de la etapa de entrada nos encontramos con los siguientes problemas:

- La saturación de los amplificadores operacionales. Por ejemplo, si nos encontramos en la escala de 2V/Div, la máxima tensión de pico que podemos encontrar es de 10V. Los amplificadores estarán alimentados en principio a +-5 Volts, por lo tanto, con una tensión de 10 V de entrada se saturarían los operacionales y la conversión no se realizaría bien. Posibles soluciones que hemos pensado:
  - Cambiar la tensión de alimentación. Esta es la menos viable, ya que en el caso de estar en la escala máxima, nos podemos encontrar con tensiones de 25 Volts de pico, por lo que se tendría que poner una alimentación muy alta y que probablemente el integrado no soporte.
  - Atenuar la entrada. Poner otro amplificador operacional en la entrada de la señal que atenúe la señal y que quede en los márgenes permitidos. Esto nos haría recalcular las ganancias.
  - Limitar la señal de entrada. Puede hacerse de dos formas: por especificaciones del osciloscopio, o limitando de alguna forma

la entrada, con algún circuito o componente que aun estamos pensando.

- Otro problema, relacionado en cierta parte con el anterior, es poner una tensión más alta de la que se puede ver en una escala. Por ejemplo, si nos encontramos en la escala de 500mV/Div, la máxima tensión de pico que se puede ver es de 2,5 Volts. Sin embargo, si ponemos una tensión de, por ejemplo, 3 Volts de pico, la amplificación-atenuación superará los 1,25 Volts, que sumados a los 1,25 anteriormente comentados, superarían a su vez los 2,5 Volts que ha de oscilar la señal que le llega al ADC. Tendríamos que estudiar que reacción tendría esto en el ADC y como procurar que, aunque no este en la escala correcta, la señal se siga visualizando, aunque sea cortada.

Tampoco sale reflejado en el esquema como sumar 1,25 Volts, estamos pensando en poner un simple sumador o algunas otras formas.

Estas y más cosas nos han surgido y nos irán surgiendo mediante avancemos en el proyecto, por eso no esta todo resuelto y hay cosas que quedan por verificar mientras se avanza.

### 5.3. Conclusiones

Finalmente, antes de ver el diagrama de Gantt donde encontraremos las previsiones del tiempo que nos va a llevar cada etapa del proyecto, hemos sacado algunas conclusiones de todo lo investigado y analizado en este proyecto.

Primero, hemos visto que hemos conseguido componentes ciertamente baratos y que el osciloscopio puede salir muy económico. Sin embargo también hay un problema: la mayoría de componentes se han de pedir online, ya que en las tiendas a las que solemos acudir no disponen de cosas específicas, como pueden ser el potenciómetro digital, el PIC, etc. Esto hará que el precio aumente por sus portes de envío, pero este aumento de precio iría aparte del montaje.

Nuestra idea es la de pedir muestras a empresas como Analog Devices. Sabemos de otros estudiantes que lo han hecho, así que nos informaremos para poder hacer las pruebas necesarias con lo que nos puedan dar.

A la vista esta que el proyecto no es corto y requiere una dedicación bastante alta. Además, la cantidad de factores no previstos que nos pueden surgir a la hora de empezar a montar y probar, nos llevará mucho más tiempo. Sin embargo, gracias a que engloba tanto una etapa analógica, como digital, como de programación, creemos que el proyecto puede ayudarnos muy positivamente a trabajar nuestros conocimientos en todos los ámbitos que hemos tratado durante la carrera. Además, se trata de un instrumento muy común en nuestro ámbito, por ello creemos que es bueno saber como funciona por dentro y saber como se podría hacer uno.

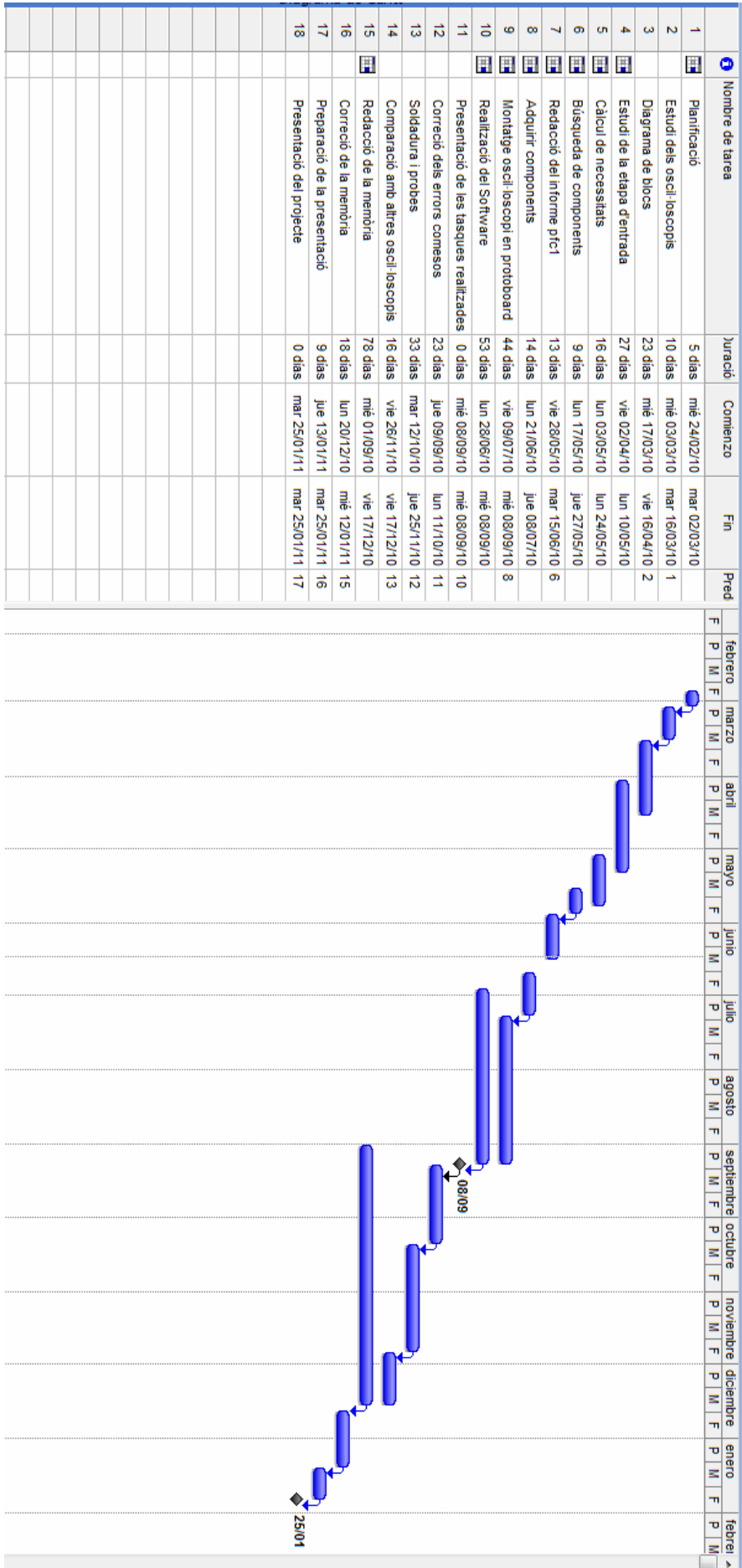
Este verano tenemos previsto avanzar lo máximo posible, durante Julio y parte de Agosto, para poder llegar a septiembre con un montaje lo más avanzado posible. Se irá actualizando la memoria mientras se haga el montaje con todos los problemas que vayamos encontrándonos en el camino.

# **CAPÍTULO 6**

## **DIAGRAMA DE GANTT**

A continuación, se mostrará el diagrama de Gantt con las previsiones de los plazos de cada etapa del proyecto, tanto realizada, como por realizar.





# CAPÍTULO 7

## BIBLIOGRAFIA

Este apartado se divide en dos partes, la de referencia bibliográfica y bibliografía de consulta.

### 7.1. Referencias bibliográficas

[Pallás Areny, Ramón](#) Universitat Politècnica de Catalunya, cop. 1992

**Instruments electrònics bàsics / Ramon Pallàs ; Departament d'Enginyeria Electrònica ETSETB**

XYZs of Oscilloscopes - Tektronix

### 7.2. Bibliografía de consulta

Etapa anàlisis funcionamiento osciloscopio:

<http://xoscope.sourceforge.net/>

[http://html.rincondelvago.com/osciloscopio\\_10.html](http://html.rincondelvago.com/osciloscopio_10.html)

<http://electronica.ugr.es/~amroldan/asignaturas/curso03-04/cce/practicas/manuales/osciloscopio/introduccion.htm>

Etapa elección componentes:

<http://80.24.233.45/AO/pag8.htm>

<http://www.mcelectronics.com.ar/>

<http://www.microchip.com/ParamChartSearch/chart.aspx?branchID=1004&mid=10&lang=en&pageId=74>

<http://www.microchip.com/>

<http://icatron.org/nuevas-tecnologias/277-potenciometros-digitales-la-consola.sosada.html>

Microcontrolador

<http://es.rs-online.com/web/search/searchBrowseAction.html?method=getProduct&R=6230803>

Contador

[http://es.rs-online.com/web/search/searchBrowseAction.html?method=retrieveTfg&binCount=1&Ne=4294958129&Ntt=\\*74f269\\*&Ntk=I18NBrandPartNumber&Nr=AND\(avl:es,searchDiscon\\_es:N\)&Ntx=mode%2Bmatchallpartial&N=4294577074&Nty=1&LanguageId=en](http://es.rs-online.com/web/search/searchBrowseAction.html?method=retrieveTfg&binCount=1&Ne=4294958129&Ntt=*74f269*&Ntk=I18NBrandPartNumber&Nr=AND(avl:es,searchDiscon_es:N)&Ntx=mode%2Bmatchallpartial&N=4294577074&Nty=1&LanguageId=en)

ADC

<http://es.rs-online.com/web/search/searchBrowseAction.html?method=searchProducts&searchTerm=ad7822&x=0&y=0>

AO

<http://es.rs-online.com/web/search/searchBrowseAction.html?method=getProduct&R=6977381>

Potenciometros digitales

<http://www.analog.com/en/digital-to-analog-converters/digital-potentiometers/ad5293/products/product.html>

Memoria

<http://www.ondaradio.es/esp/catalogoConsulta.aspx?TextBuscar=431000>

#### Manual e información PIC y software

<http://www.dtforum.net/index.php?topic=21401.msg1010634478>

<http://174.123.172.210/~todopicc/foros/index.php?topic=28166.0>

<http://micros.mforos.com/1149901/6251289-saben-usar-el-pic18f4550/>

<http://www.diselc.es/diselc/utilidades.htm>

<http://www.unpocodelectronica.netau.net/mis-primeros-pasos-con-el-18f4550>

<http://www.unpocodelectronica.netau.net/mis-primeros-pasos-con-el-18f4550-parte5#picusb>

<http://www.todopic.com.ar/foros/index.php?topic=29412.0>

#### Ejemplos y consultas en Internet

<http://todopic.mforos.com/58527/4745637-osciloscopio-quien-se-anima/>

<http://www.enetsystems.com/~lorenzo/scope/>

<http://www.hardcore-modding.com/modules.php?name=Forums&file=viewtopic&t=31188>

[https://www.xing.com/net/ne\\_electronica/general-133472/construir-un-osciloscopio-10540045/](https://www.xing.com/net/ne_electronica/general-133472/construir-un-osciloscopio-10540045/)

[http://www.eosystems.ro/eoscope/eoscope\\_en.htm](http://www.eosystems.ro/eoscope/eoscope_en.htm)

<http://www.forosdeelectronica.com/f26/osciloscopio-digital-mediante-pc-5122/>

<http://www.psicofxp.com/forums/electronica.149/437866-osciloscopio-para-pc.html>

<http://www.carcassweb.com/circuitos/instrum/oscilopic.htm>

<http://pablohoffman.com/cgi-bin/twiki/bin/view/Oscusb/WebHome>