



Capítulo 4

Hardware

| | |
|---|-------|
| 4.1.- Esquema final | ..... |
| 4.2.- Sensores | ..... |
| 4.3.- Amplificadores | ..... |
| 4.3.1.- INA166 | ..... |
| 4.3.2.- INA331 | ..... |
| 4.3.3.- Referencias de tensión: Philips 5532 | ..... |
| 4.4.- PIC | ..... |
| 4.4.1.- Descripción general | ..... |
| 4.4.2.- Módulo CCP (Capture/Compare/PWM Module) | ..... |
| 4.4.3.- Timers | ..... |
| 4.4.4.- Módulo de transmisión serie | ..... |
| 4.5.- Multiplexores y switches | ..... |
| 4.5.1.- Multiplexores | ..... |
| 4.5.2.- Switches | ..... |
| 4.6.- Diagrama de señales final | ..... |
| 4.7.- Adaptación RS-232 | ..... |
| 4.7.1.- Comunicaciones serie | ..... |
| 4.7.2.- MAX232 | ..... |

4.1.- Esquema final

En esta primera parte se van a describir los elementos usados en el diseño final tras ser seleccionados por sus características o por su funcionamiento entre varios dispositivos con la misma funcionalidad. Se tienen sensores, amplificadores en la etapa de acondicionamiento, multiplexores y switches, adaptación a la norma RS-232 para el envío de datos al puerto serie y un microcontrolador para manejar las operaciones. En la siguiente figura se tiene un esquema completo del anemómetro:

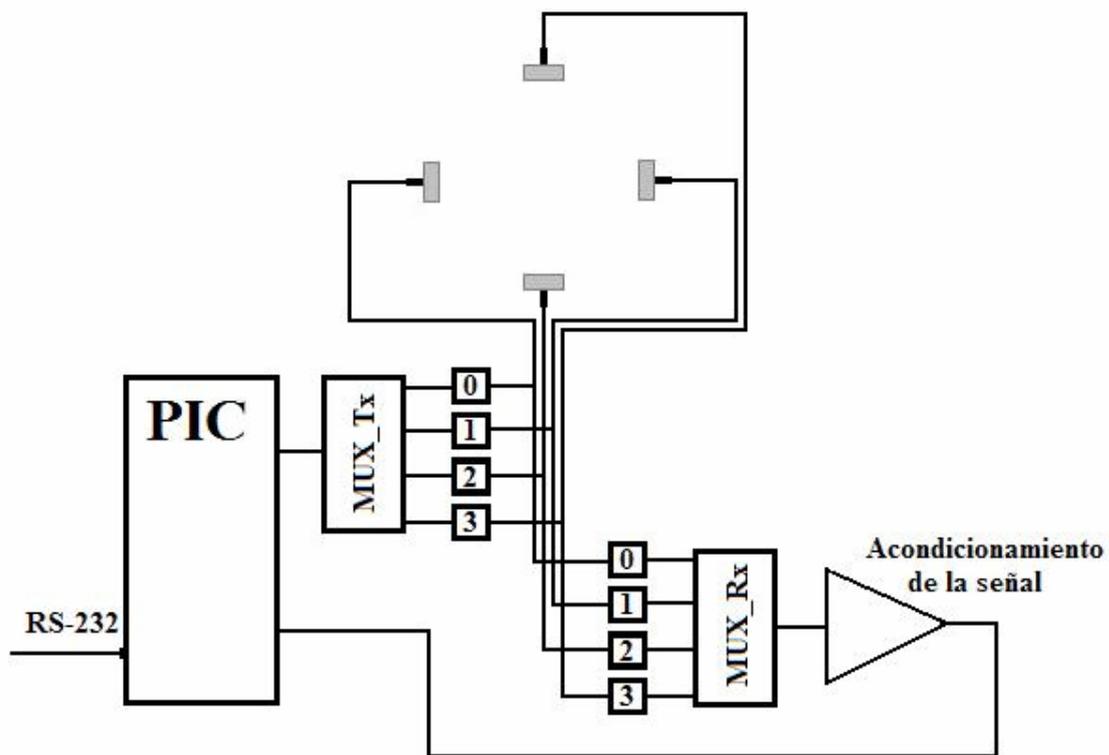


Ilustración 17: Esquema completo

4.2.- Sensores

Durante la realización de las pruebas se pudo contar con unos nuevos sensores piezoeléctricos (*transceptor Prowave 400EP250*), que a priori mejoraban a los anteriores. Por ello se comenzó con su estudio y pruebas, y a la vista de los resultados obtenidos, se decidió su inclusión en el diseño final. Más adelante se expondrán las razones por las cuales parecían mejores a los anteriores, sus características y los resultados de sus pruebas en el laboratorio.



Ilustración 18: Prowave 400EP250



Ilustración 19: Presentación del transceptor 400EP250

Los sensores transceptores que se van a utilizar en el diseño final serán los de la figura, en nuestro caso el que esta forrado con la carcasa de aluminio. Las dimensiones se indican en la figura de debajo así como la diferencia entre los pines, donde el más corto se debe conectar a tierra.

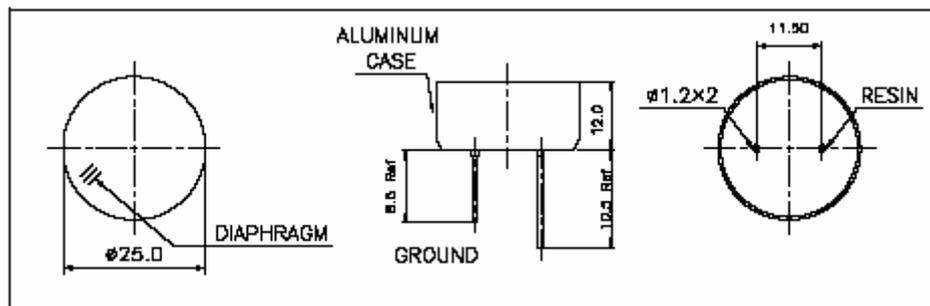


Ilustración 20: Dimensiones del transceptor

El fabricante ofrece este tipo de sensor transmisor-receptor abierto o cerrado, en nuestro caso elegimos el segundo tipo por especificación necesaria. Además, avisa de que está especialmente diseñado para aplicaciones que necesiten bajo ringing, diciendo que ofrece un bajo eco, comparado con los transductores estándar del propio fabricante.

En la siguiente tabla se exponen sus principales características:

| | |
|---|--------------|
| Modelo del Transceptor | 400EP250 |
| Frecuencia Central | 40.0±1.0 KHz |
| Nivel de presión de sonido en Transmisión (a la frecuencia de resonancia) | 113dB min. |
| Sensibilidad en Recepción | -72dB min. |
| Impedancia nominal | 300Ω |
| Capacidad (a 1KHz ±20%) | 2400pF |
| Periodo de oscilación | 1.2ms. máx. |
| Máxima excitación (cont.) | 20Vrms |
| Ángulo de radiación (-6dB) | 30° |
| Temperatura de funcionamiento | -30° - 80°C |



Ilustración 21: Codo

Los sensores se colocaron en un extremo de un conector en L (codo), usado para ocultar cableado en obras civiles, que al tener el mismo diámetro que los sensores (20mm) ofrecía la posibilidad de que la colocación de los transductores fuera uno enfrente del otro en la misma dirección y elevados unos centímetros de la superficie (tratando de evitar reflexiones en la superficie).

4.3.- Amplificadores

El esquema que se quiere montar para recibir, amplificar y acondicionar la señal a la entrada del PIC es el siguiente:

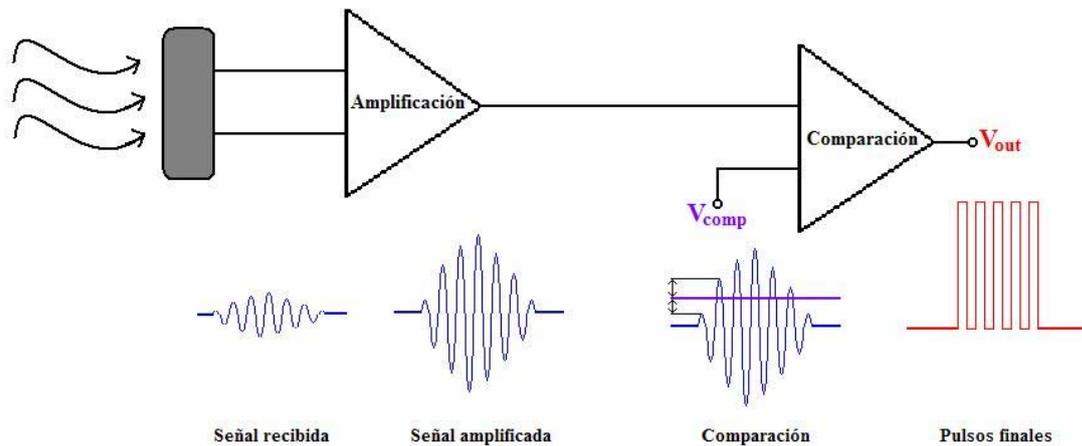


Ilustración 22: Acondicionamiento de la señal

En él se distinguen claramente los dos bloques de amplificación/comparación. Cada uno de ellos pedirá distintas condiciones a los elementos que vayan a tratar la señal. En el primero de ellos se va a usar el **INA166**, amplificador diferencial de alta ganancia, y en el segundo caso se va a usar el **INA331**, amplificador que se ajusta a los valores de tensión del PIC.

4.3.1.- INA166

Se trata de un amplificador de instrumentación. Este tipo de amplificadores es más usado cuando se tratan señales diferenciales (como es el caso). Se dan las siguientes ventajas al escoger este dispositivo:

- Muy alta ganancia, ajustable mediante una resistencia externa:

$$G = 2000 + \frac{60000}{R_G}$$

- Se trata de un amplificador diferencial, con el que se puede prever un buen resultado en la primera etapa
- Posibilidad de tener un nivel de referencia sobre el que se dará la salida

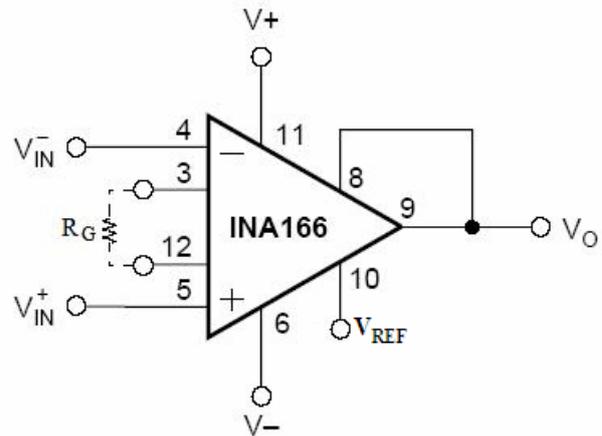


Ilustración 23: INA166

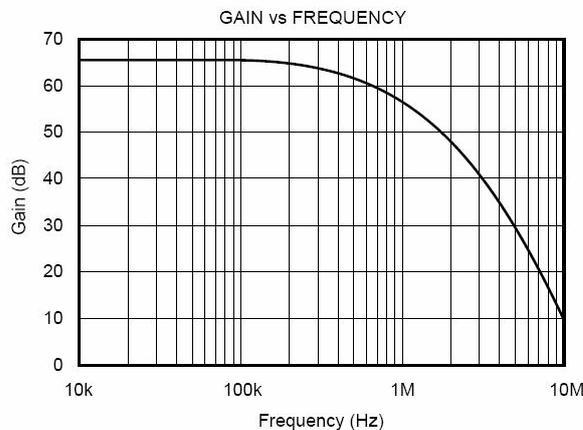


Ilustración 24: Diagrama de análisis en frecuencia

Para la primera de las etapas ofrece un buen rendimiento ya que esa alta ganancia se puede usar a favor para establecer márgenes grandes a la hora de hacer la comparación. Como se observa en la gráfica extraída del datasheet, la ganancia para los 40 KHz puede llegar a ser mucho mayor que 2000 (≈ 66 dB), usando para ello la resistencia externa R_G . En nuestro caso esa resistencia tendrá un valor de 120Ω por lo que su ganancia total ascenderá a 2500 a los 40 KHz.

En la siguiente ilustración se tiene un ejemplo de su funcionamiento, donde se observa un gran margen para realizar la posterior comparación y así dar una interrupción lo más cercana siempre al mismo punto:

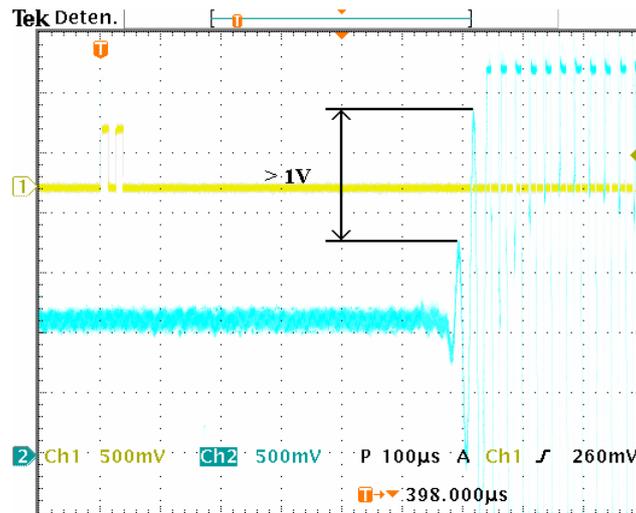


Ilustración 25: Amplificación con INA166

Ese margen que se puede llegar a conseguir será muy importante para evitar errores en lo posible en la comparación. Con un buen margen se quieren evitar situaciones de inestabilidad en el primer ciclo de saturación de la comparación, es decir, se quiere tener la mayor precisión posible en el momento de la interrupción. Más adelante se presentarán situaciones no deseables que fueron surgiendo hasta encontrar esta solución final.

Por tanto, el bloque primero de amplificación será el de la figura siguiente:

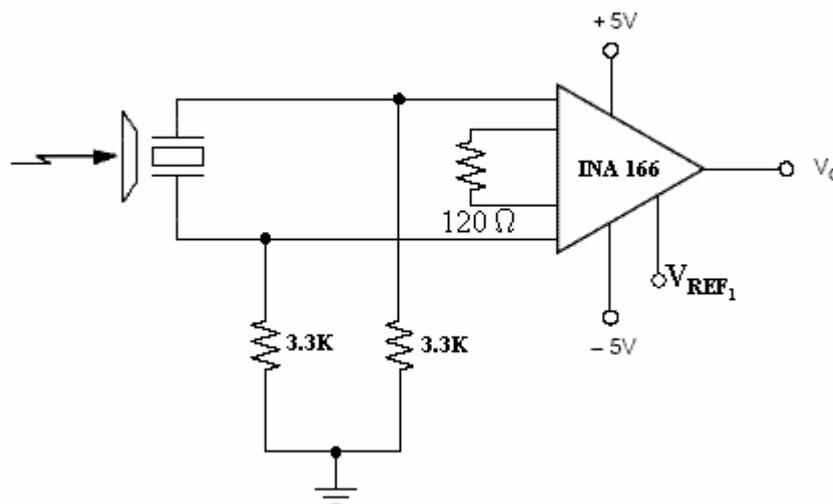


Ilustración 26: Bloque de amplificación

4.3.2.- INA331

Para realizar una buena comparación se necesitan principalmente tres factores:

- Señal lo suficientemente clara procedente de la etapa de amplificación, con buenos márgenes para afrontar la comparación
- Alto producto-ancho de banda del amplificador, para tener la mayor rapidez posible
- Adaptación a los valores del PIC

Se pueden enunciar las siguientes ventajas que se tienen al utilizar este amplificador:

- Ganancia ajustable mediante dos resistencias externas (con la configuración de la figura):

$$G = 5 + 5 \cdot \left(\frac{R_2}{R_1} \right)$$

- Posibilidad de tener un nivel de referencia sobre el que se dará la salida
- Salida rail-to-rail
- Puede funcionar a los niveles de tensión del PIC, 0-5V

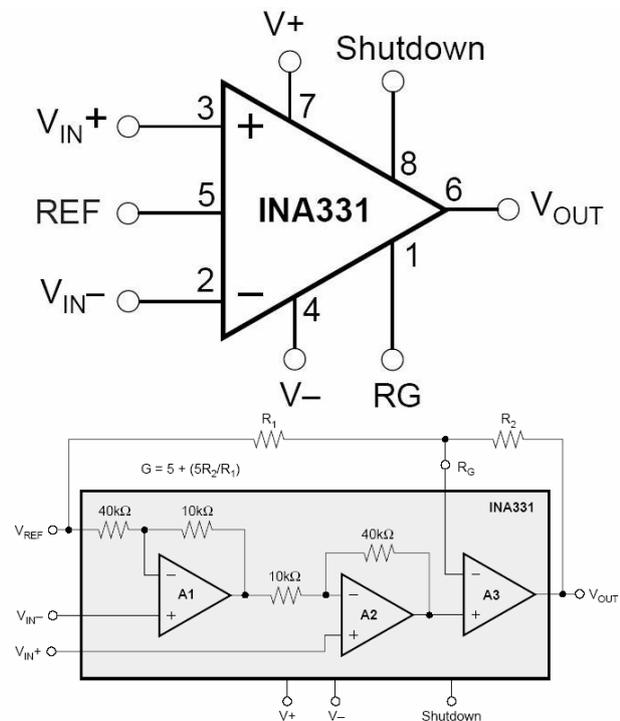


Ilustración 27: INA331

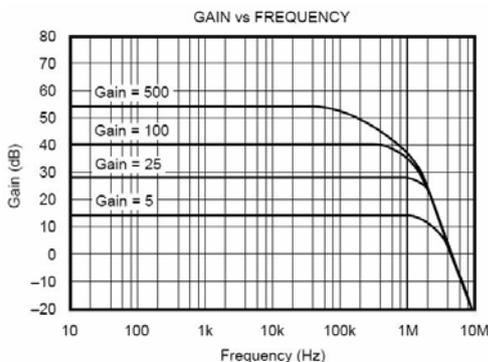


Ilustración 28: Diagrama en frecuencia

Las dos últimas características junto con la de alta ganancia (en la figura siguiente se observa como a los 40KHz acepta la ganancia de 500) lo hacen muy interesante para la segunda etapa, ya que se adaptaría directamente su salida para que sea procesada por el PIC.

4.3.3.- Referencias de tensión: Philips NE5532

Este amplificador operacional posee las siguientes características:

- Buen producto ganancia-ancho de banda: 10 MHz
- Facilidad para pruebas (se puede obtener en formato DIP)

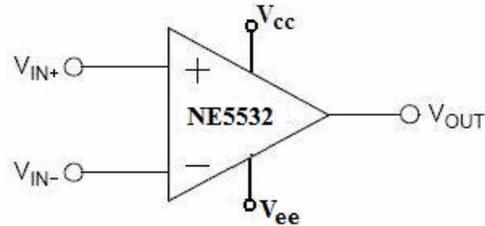


Ilustración 29: Philips NE5532

Este amplificador operacional va a ser usado como fuente de voltaje constante, con un rango más amplio de tensiones, desde tensiones positivas cercanas a V_{CC} hasta valores negativos próximos a V_{EE} . Se van a necesitar en la placa final unos valores de referencia, por ejemplo para establecer el nivel de comparación en la etapa final, por lo que se hizo necesario, para que ese nivel fuera lo más estable posible, un amplificador operacional en configuración de seguidor de tensión, como se muestra en la figura.

Se tiene que saber que el dispositivo introduce un cierto offset en el nivel que se le da como entrada. Con ello, la tensión de salida queda de la siguiente forma:

$$V_{OUT} = V_{IN} + V_{OFF}$$

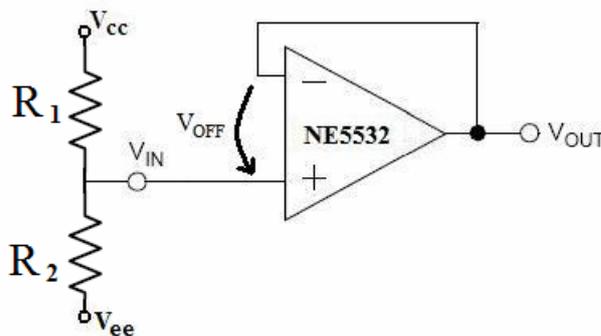


Ilustración 30: Seguidor de tensión

En principio no causará grandes problemas, ya que esa tensión de entrada será regulada por un potenciómetro, con lo que ese error de offset puede ser corregido viendo los resultados.

| | Referencia | R1 | R2 | Rango para Vref |
|-------|---|-----|-------------------|---|
| Vref1 | Tensión de modo común a la salida de la amplificación | 4k7 | Potenciómetro 10k | Desde Vee hasta 1,8 V Se quiere que ronde los 0 V |
| Vref2 | Nivel para realizar la comparación | 2k2 | Potenciómetro 10k | Desde Vee hasta 3,2 V Buen funcionamiento en torno a los 2,2 V |

4.4.- PIC

Se necesita un microcontrolador que controle todo el proceso durante la medición. En este caso se debe encargarse de contar el tiempo con precisión desde que se envían unos pulsos de excitación al transmisor hasta que se recibe una interrupción tras la cadena de sensor receptor y acondicionamiento de señal para el PIC. También sería tarea suya el control de todas las señales de activación/desactivación del resto de dispositivos.

Para ello se van a usar pines de propósito general para la excitación de sensores y para el manejo de señales de control, y algunos módulos internos del microprocesador. Entre ellos estará el TIMER que lleva la cuenta de tiempo y el módulo CCP que recibirá un flanco en el pin 17 (*RC2/CCP1*) tras una recepción. Para comunicaciones se usará el módulo de comunicaciones serie SCI.

4.4.1.- Descripción general

El microcontrolador usado en el proyecto es el PIC18F458 de *Microchip*, ya que cuenta con diferentes características que lo hacen propicio para su uso. A continuación se definirán los módulos del PIC usados y sus principales características, que llevaron a su elección.

El PIC18F458 es un microcontrolador que se puede obtener en diferentes encapsulados, de 40 y de 44 pines, ya sea en formato **PDIP** (40-Lead Plastic Dual In-line (P) – 600 mil Body), formato **PLCC** (44-Lead Plastic Leaded Chip Carrier (L) –

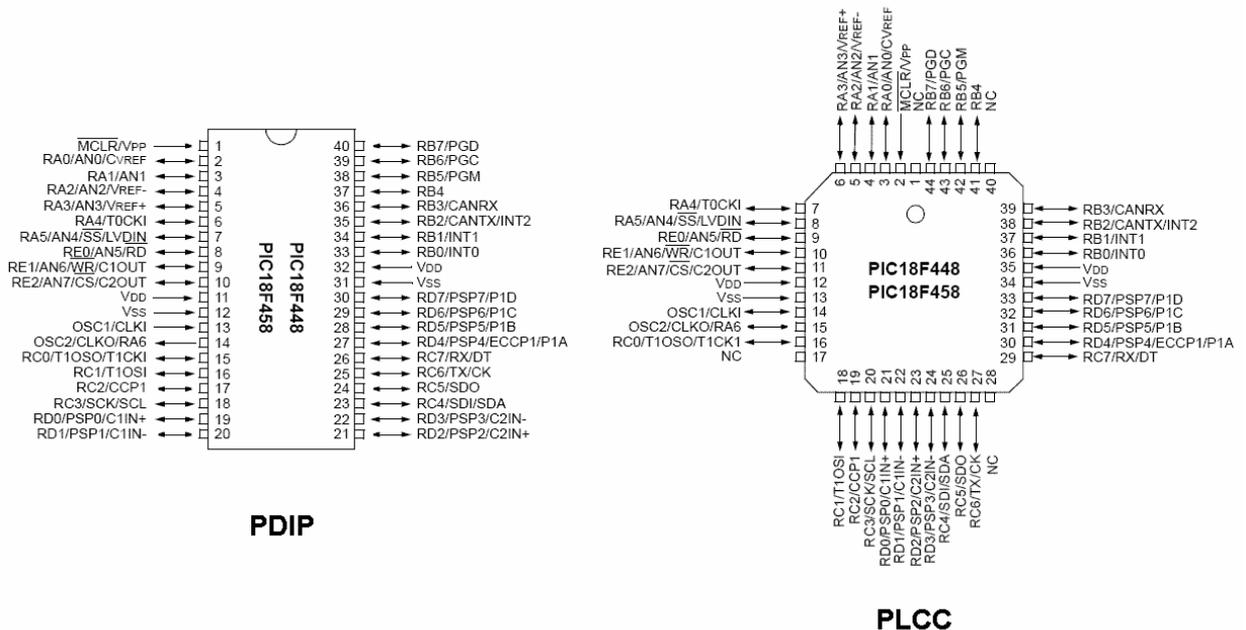


Ilustración 31: Distintos encapsulados del PIC18F458

Square) o **TQFP** (*44-Lead Plastic Thin Quad Flatpack (PT) 10x10x1 mm Body, 1.0/0.10 mm Lead Form*). La diferencia principal entre ellos estará en el tamaño ya que todos tienen la misma funcionalidad, por lo que se escogerá en un principio el formato PDIP por facilidad.

Este microcontrolador posee diferentes módulos y periféricos con muchas funcionalidades. Cuenta con módulos conversores analógico-digital, comparadores analógicos, pines para interrupciones externas, bus CAN, osciladores secundarios, e incluso un multiplicador hardware de un solo ciclo 8x8. Maneja interrupciones de distinto nivel de prioridad y puede llegar a alcanzar un régimen de operación de 10 MIPS. Además de todas estas características, este dispositivo tiene muchas más, pero los módulos y periféricos reseñables por su utilización serán los que se definan a continuación.

4.4.2.- Módulo CCP (Capture/Compare/PWM Module)

El PIC18F458 cuenta con un módulo de **CCP** y con un módulo **ECCP** (*Enhanced Compare/Capture/PWM Module*), ambos con una funcionalidad similar exceptuando cuestiones relacionadas con el bus CAN o con la posibilidad de auto-apagado del módulo PWM, aunque ambas características no serán necesarias en nuestro caso, por lo que cualquiera de ellos podría ser de la misma utilidad.

En el modo Comparación, el valor de los registros internos de 16 bits CCPR1 (o ECCPR1) es constantemente comparado con el valor del TIMER1 o TIMER3 (se describirán a continuación en el apartado referido a los timers) y cuando coincidan sus valores se podrá dar la correspondiente interrupción o forzar un cambio en el pin CCP1. Esta funcionalidad podría ser útil si se quisiera lanzar una interrupción cada cierto valor de tiempo, aunque en nuestro caso carece de interés.

El modo PWM (*Pulse-Width Modulation*) puede llegar a alcanzar una resolución de 10 bits en su salida PWM. El valor del periodo y del 'duty cycle' serán comparados con el valor del TIMER2 y de esta forma se modulara la salida que se quiere ofrecer. Después de cada periodo el valor del TIMER2 se limpiará, y el valor del pin CCP1 se ajustará al cambio correspondiente, excepto si el valor del 'duty cycle' es del 0%, donde no se procederá a ningún ajuste.

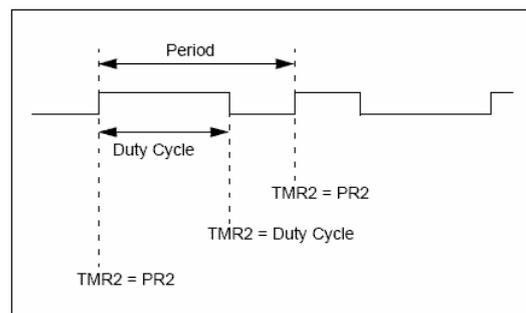


Ilustración 32: Modo PWM

En nuestro caso usaremos el modulo de Captura, ya que lo que queremos hacer es **capturar el momento en el que se satura tras amplificar por primera vez**, y medir el tiempo que ha transcurrido entre la transmisión y ese momento de saturación en recepción. Al producirse esa captura, se dará una interrupción que pondrá fin a la cuenta de tiempo. En este modo de funcionamiento el registro de 16 bits CCPR1 (CCPR1H:CCPR1L) captura el valor del TIMER1 o del TIMER3 cuando ocurre un evento en el pin CCP1. Este evento puede ser de 4 tipos distintos:

- Cada flanco de bajada
- Cada flanco de subida**
- Cada 4 flancos de subida
- Cada 16 flancos de subida

Para configurar toda la interrupción y el módulo CCP en el código fuente, se necesitan incluir las siguientes líneas de código al inicio de la rutina principal del programa en C, y la rutina de interrupción para manejar la llegada de los eventos:

```
#int_CCP1
CCP1_isr()
{
    ...          //Rutina interrupción
}

void main()
{
    ...
    setup_ccp1(CCP_CAPTURE_RE|CCP_CAPTURE_DIV_4);
    enable_interrupts(GLOBAL);
    enable_interrupts(INT_CCP1);
    ....
}
```

En estas líneas se quiere decir que el módulo CCP será usado en modo captura, y en este ejemplo, que capturará cada 4 flancos. En nuestro caso no será necesaria este tipo de captura porque es el primero de los flancos el que tiene que dar la interrupción. Además, las interrupciones para ser usadas necesitan primero ser habilitadas. Por ello, se necesitará habilitar la bandera de interrupciones global y la bandera propia del módulo CCP.

4.4.3.- Timers

El PIC cuenta con 4 timers diferentes, que pueden ser programados como timers/contadores de 8 ó de 16 bits, y que además, para el caso que nos interesa, tiene características asociadas con el módulo CCP. Como ya hemos visto anteriormente, distintas interrupciones pueden estar relacionadas de algún modo con los valores de los timers:

- En el modo PWM los valores del periodo y del ‘duty cycle’ son comparados con el valor del TIMER2
- En el modo de comparación, un valor guardado se va comparando constantemente con el valor del TIMER1 (ó TIMER3)
- En el modo de captura, se espera a que ocurra un evento en el pin de entrada para hacernos con el valor que en ese instante tenga el TIMER1 (ó TIMER3)

Además de estos usos, los 4 timers pueden ser usados para distintas tareas aparte de las descritas. Pueden ser programados como contadores síncronos o asíncronos, pueden producir interrupciones por desbordamiento y también tener distintos niveles de escalado en su cuenta. En este caso los timers 1-3 tienen un escalado que va desde 1:1 a 1:8, y el TIMER0 alcanza un escalado de 1:256, que pueden ser usados para medir si no se llegara a alcanzar la precisión máxima deseada, que en nuestro caso sería de 0.1µs para un reloj de 40 MHz.

Un ejemplo de la parte de código fuente podría ser:

```
setup_timer_0(RTCC_INTERNAL);  
setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_1);  
setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);  
setup_timer_3(T3_DISABLED|T3_DIV_BY_1);
```

En estas líneas se ha descrito la parte del código C donde se configuran los timers. El timer que en nuestro caso usaremos es el TIMER1, que se configurará como interno y con un factor de división que irá desde 1 a 8 según el factor de división que queramos, en este caso no aparecería dividido por ningún valor y por lo tanto se actualizaría a la mayor velocidad posible (cada 0.1µs para un reloj de 40 MHz).

4.4.4.- Módulo de transmisión serie

Para la representación de resultados con LabView se necesita el envío de los datos resultado al ordenador. Para ello debe existir una comunicación entre la placa realizada y la computadora donde se mostrarán los resultados. El PIC ofrece la posibilidad de realizar fácilmente una transferencia de información a través de una conexión entre placa y puerto serie del ordenador.

El microcontrolador dispone de un módulo para esta tarea, el módulo USART (*Addressable Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter*). El USART es uno de los 3 módulos serie incorporados en el PIC para comunicaciones serie, también conocido como '*Serial Communications Interface*' o SCI. Puede ser configurado para transmisiones que requieran diferentes características. Por ejemplo, puede ser usado para transmisiones full-dúplex con distintos periféricos como ordenadores personales, o puede ser configurado para una comunicación half-dúplex síncrona con distintos dispositivos periféricos como convertidores A/D ó D/A, circuitos integrados o memorias EEPROMs serie. Por ello, la USART debe ser configurada en uno de los siguientes 3 modos:

| Modo | Comunicación |
|--------------------|--------------|
| Asíncrono | Full-dúplex |
| Síncrono – Maestro | Half-dúplex |
| Síncrono - Esclavo | Half-dúplex |

En nuestro caso lo que usaremos es el modo asíncrono, que nos permite tener una comunicación bidireccional con el programa LabView para representar los resultados obtenidos. El módulo asíncrono de la USART contiene los siguientes módulos:

| | |
|--|---|
| Generador de velocidad de transferencia | Generador dedicado, de 8 bits, usado para proporcionar distintas velocidades a partir de la del oscilador |
| Circuito de muestreo | Los datos recibidos en el pin RC7/RX/DT del micro son muestreados tres veces por el circuito que escoge mayoritariamente entre nivel alto o nivel bajo |
| Transmisor asíncrono | En este modo la USART usa el formato estándar NRZ, con un bit de comienzo, 8 ó 9 bits de datos y un bit de parada. El transmisor y el receptor son funcionalmente independientes pero tienen que usar el mismo formato de datos y la misma velocidad de transferencia. La paridad no está soportada por hardware, pero puede ser implementada vía software usando el 9º bit |
| Receptor asíncrono | |

Toda la transmisión seguirá el protocolo para la transmisión serie RS232, y para ello la placa contará con los dispositivos que soporten esta forma de transmisión y que adapten las señales del PIC a lo que la computadora entienda. En el siguiente apartado se definirán los componentes a montar para que se pueda soportar esta comunicación.

4.5.- Multiplexores y switches

4.5.1.- Multiplexores

El multiplexor escogido para este caso es el multiplexor **CD4052B** de *Texas Instruments*, obtenido como muestra gratuita para el proyecto al igual que los distintos amplificadores. También se probó el multiplexor **ADG609** de *Analog Devices*, aunque con peor resultado, de ahí la elección del primero de ellos.

Este multiplexor consta de cuatro canales que se seleccionan internamente a través de las dos líneas de selección **A** y **B**. Además cuenta con una entrada **INH** para la habilitación y deshabilitación del multiplexor.

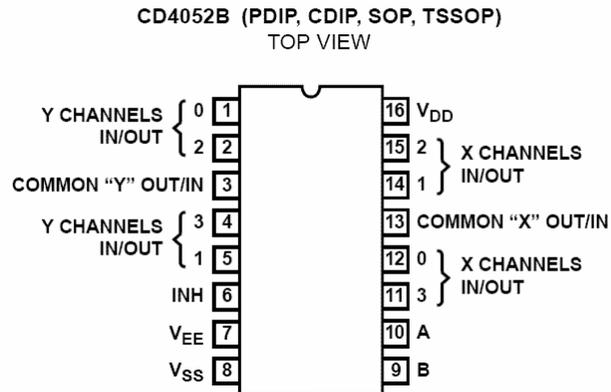


Ilustración 33: Multiplexor CD4052B

Estos canales de entrada-salida se ponen en contacto con la salida-entrada común. De esta forma se puede dar cobertura, tanto para recepción como para transmisión, a los cuatro transceptores que se usarán. Por tanto, añadiendo solamente un multiplexor que haga esta función en transmisión y otro en recepción se puede realizar la selección del sensor transmisor y del sensor receptor en cada momento.

En un primer momento para las pruebas cada uno de los cuatro sensores estaría conectado directamente a una de las entradas del multiplexor, tanto en recepción como en transmisión. Este esquema ofrece la simplicidad del conexionado directo pero producía problemas de aislamiento, y los pulsos que se querían transmitir por un canal se colaban en el resto de canales. Por esta razón fue necesaria la inclusión de switches que se interpusieran en el camino y produjeran una mayor separación. Los switches escogidos se describen a continuación.

4.5.2.- Switches

Como se ha dicho anteriormente, se necesitaba otro nivel de aislamiento entre canales, para que los pulsos que se quieren transmitir no afecten a la recepción. Esto traía consigo una recepción incierta y no deseada. Se eligió la opción de introducir un nuevo elemento como es el switch que ayudara al multiplexor en la tarea de aislamiento de canales.

Se realizaron diversas pruebas al *SN74LVC2G66*, de *Texas Instruments*, con resultados buenos. El *SN74LVC2G66* está compuesto por 2 switches con sus señales de control propias, y se obtuvo en encapsulado formato MSOP.

La elección de este switch vino debida a que con el *SN74LVC2G66* se tenía la posibilidad de tener una separación física de cada canal (dos canales no tendrían que compartir un mismo dispositivo) y por facilidad en el posterior rutado de la placa pcb.

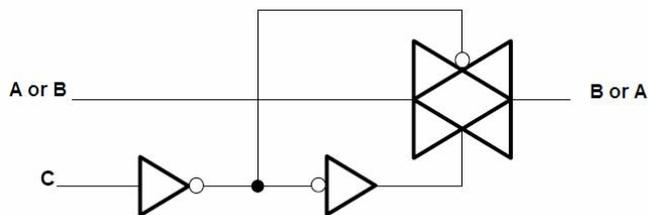


Ilustración 34: Esquema funcional del *SN74LVC2G66*

Este switch presentará otro nivel de aislamiento entre el sensor y lo que haya antes o después, teniendo

entonces un nivel de protección más frente a los pulsos de transmisión y un nivel más de protección también en recepción, para que la señal recibida por el transceptor receptor llegue lo más pura posible a la parte de amplificación.

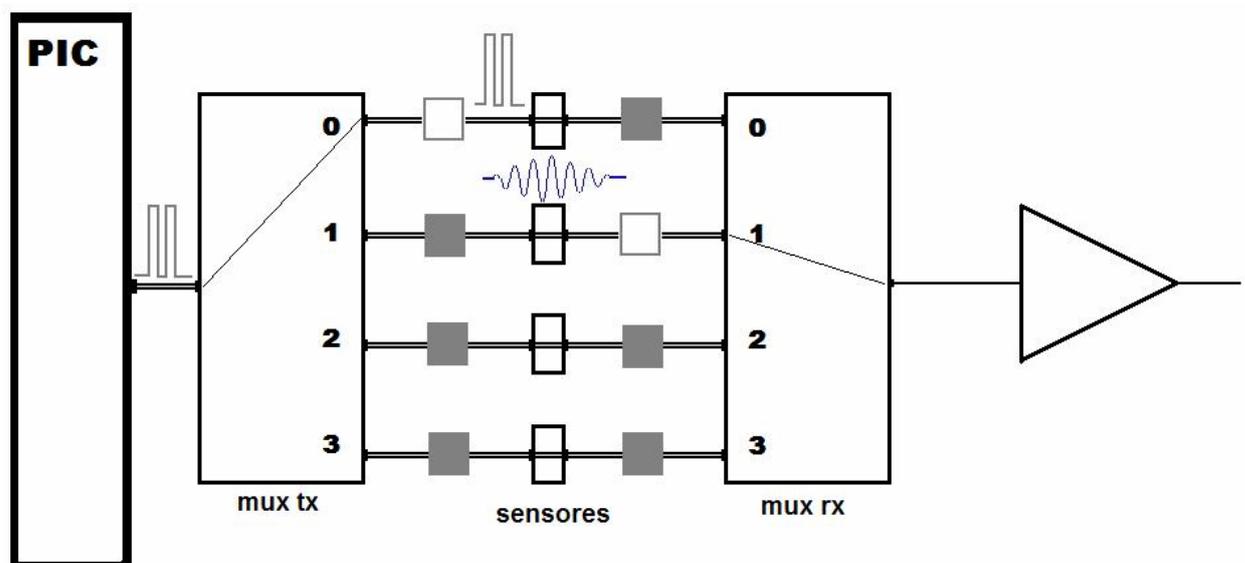


Ilustración 35: Esquema con multiplexores y switches

4.6.- Diagrama de señales final

En la siguiente figura se muestra el funcionamiento ideal que se tendrá en cuanto a habilitación y deshabilitación de switches y multiplexor de recepción en el intervalo de tiempo cercano a la interrupción. También se muestran las respuestas que se esperan y que se quieren obtener en condiciones normales de funcionamiento. Ellas son las salidas tanto después de la primera amplificación como tras la fase de comparación. En este segundo caso se tratará del pulso generado que va a dar la correspondiente interrupción.

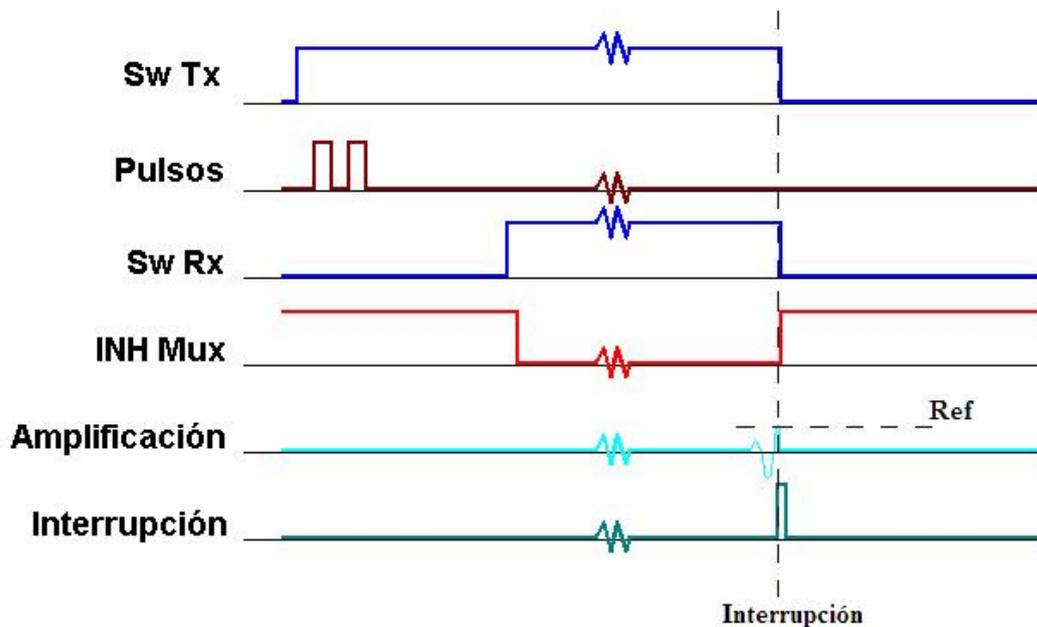


Ilustración 36: Diagrama de tiempos

Se observa como los switches serán habilitados a nivel alto y el multiplexor es activo a nivel bajo. Se muestran los resultados esperados para el caso. Además, si en el momento de la interrupción se deshabilitan esos switches y el multiplexor, estamos impidiendo que se sigan amplificando los siguientes ciclos, obteniéndose también una respuesta mucho más clara. Esto ayuda también a reducir esa frecuencia de unos 8KHz que se añadía a la señal.

Como se muestra en la figura siguiente se llega a un buen resultado tanto después de la primera amplificación como después de la etapa de comparación, tras la cual se tiene claramente ese primer pulso que indicará el momento de la llegada de la interrupción:

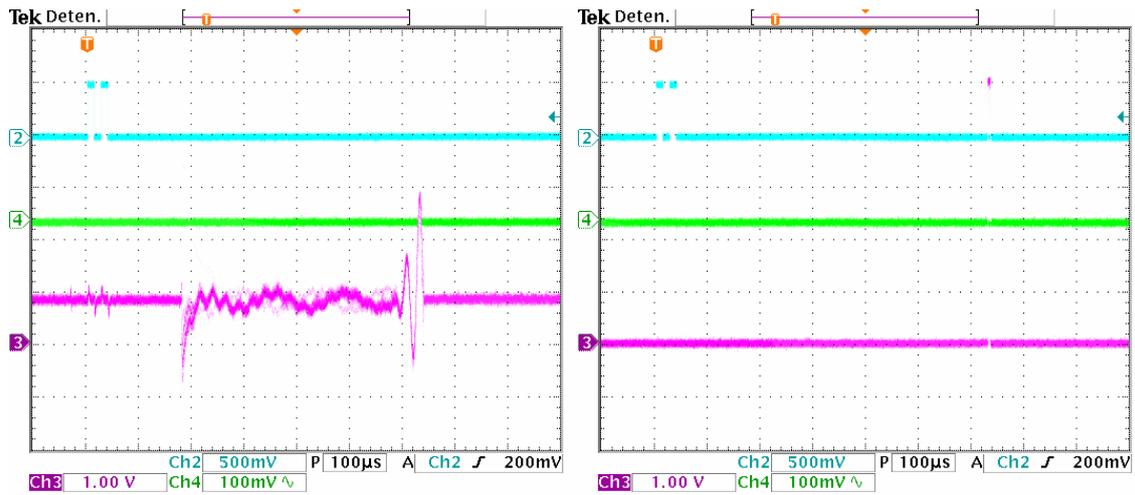


Ilustración 37: Resultado final

4.7.- Adaptación RS-232

4.7.1.- Comunicaciones serie

Las transmisiones serie se realizarán entre dispositivos que no requieren mucho cableado ni mucha velocidad de transferencia. La norma de nivel físico que define las transferencias serie es la **RS-232** (también conocido como EIA RS-232C). Es una interfaz que designa una norma para el intercambio serie de datos binarios entre un DTE (Equipo terminal de datos) y un DCE (Equipo de terminación del circuito de datos), aunque existen otras situaciones en las que también se utiliza la interfaz RS-232. La RS-232-C es el estándar aceptado por la industria para las conexiones de comunicaciones en serie. Adoptado por la Asociación de Industrias Eléctricas, el estándar RS-232-C recomendado (RS es acrónimo de Recommended Standard) define las líneas específicas y las características de señales que utilizan las controladoras de comunicaciones en serie. Con el fin de estandarizar la transmisión de datos en serie entre dispositivos. La letra C indica que la versión actual de esta norma es la tercera de una serie.

El conector en RS-232 no está definido en la norma, aunque normalmente consiste en un conector tipo DB-25 de 25 pines, aunque es normal encontrar la versión de 9 pines DB-9, más barato e incluso más extendido para cierto tipo de periféricos.

Como en todos los tipos de transmisiones, existen varias formas de realizar la misma, que indicará el nivel de bondad y de simplicidad de la misma:

| | |
|--------------------|---|
| Simplex | Este modo de transmisión permite que la información discorra en un solo sentido y de forma permanente. Con esta fórmula es difícil la corrección de errores causados por deficiencias de línea. Como ejemplos de la vida diaria tenemos, la televisión y la radio |
| Half-duplex | En este modo, la transmisión fluye como en el anterior, o sea, en un único sentido de la transmisión de dato, pero no de una manera permanente, pues el sentido puede cambiar. Como ejemplo tenemos los Walkie-Talkies |
| Full-dúplex | Es el método de comunicación más aconsejable, puesto que en todo momento la comunicación puede ser en dos sentidos posibles y así pueden corregir los errores de manera instantánea y permanente. El ejemplo típico sería el teléfono |

Las comunicaciones serie se pueden realizar de dos formas, de forma síncrona o asíncrona. La transmisión síncrona se caracteriza porque es necesario que el transmisor

y el receptor utilicen la misma frecuencia de reloj. La transmisión se efectúa en bloques, debiéndose definir dos grupos de bits denominados delimitadores, mediante los cuales se indica el inicio y el fin de cada uno de los bloques. Es mucho más eficiente que la asíncrona pero su uso se limita normalmente a líneas especiales entre ordenadores. En una transmisión síncrona, transmisor y receptor deben estar perfectamente sincronizados.

El puerto serie del PC es un dispositivo asíncrono, por tanto este modo será el utilizado. Este tipo de transmisión es conocida también como *start/stop*, ya que requiere de una señal que identifique el inicio del carácter y a la misma se la denomina bit de arranque. También se requiere de otra señal denominada señal de parada que indica la finalización del carácter o bloque. A pesar de ser una forma comúnmente utilizada, la desventaja de la transmisión asíncrona es su bajo rendimiento, puesto que como por ejemplo, un carácter que tiene 7 bits para efectuar la transmisión se pueden requerir 10. O sea que del total de bits transmitidos solo el 70% pertenecen a datos.

En este proyecto se va a utilizar el conector de 9 pines, aunque que sólo serán útiles los pines 2, 3 y 5 de los 9 que posee el DB9.

Para realizar esta comunicación serie se requiere de un dispositivo intermedio entre el microprocesador y el puerto que adapte los niveles de tensión de ambas partes y permita al PIC adaptarse al estándar. Se trata del MAX 232, descrito a continuación.

4.7.2.- MAX232

Para realizar la comunicación serie se hace necesaria la adaptación de tensiones a los valores del estándar serie RS-232, que son los valores que entenderá el puerto serie al que conectemos la placa. Para ello es muy usada la familia de drivers/receptores MAX220-MAX249, que sirven como un paso intermedio entre el microcontrolador y el puerto serie para esta adaptación de tensiones.

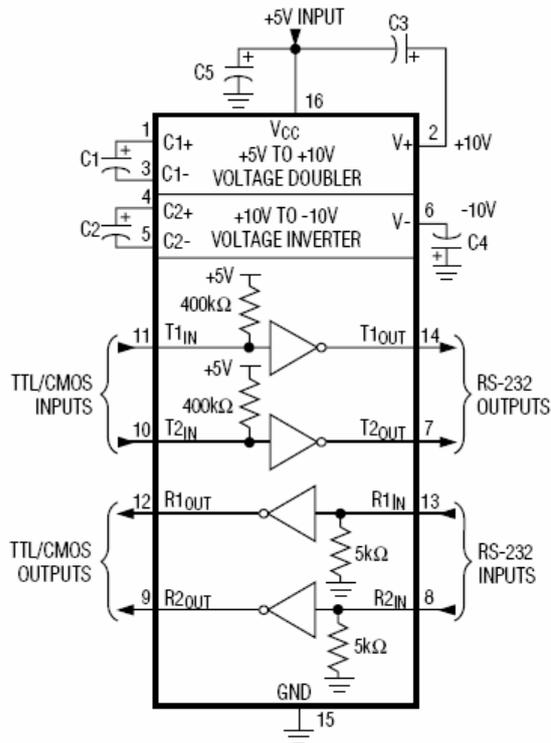


Ilustración 38: Esquema del MAX232

Con esta labor se añade este dispositivo, con su esquema detallado en la figura. Junto con él, son necesarios cuatro condensadores electrolíticos, de valor $10\mu\text{F}$, para generar las tensiones a partir de los 5 voltios de alimentación. El objetivo es conseguir los $\pm 12\text{V}$ que define la norma, y que el microcontrolador no es capaz de generar por sí mismo.

Esos condensadores deben respetar la polaridad requerida en el esquema, y se debe añadir también un quinto condensador (C5) para estabilizar la alimentación.

Internamente, el dispositivo se compone de un módulo doblador de tensión y de otro inversor. La otra parte se trata de convertidores para las entradas y salidas TTL/CMOS \rightarrow RS232 y viceversa.