

**PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE EQUIPO PARA  
AUDIOLOGÍA OBJETIVA PEATC**

**A02-2: DISEÑO DE LOS CIRCUITOS ELECTRÓNICOS**

**CONTENIDO**

	<b>Pág</b>
INTRODUCCIÓN	2
1. DIAGRAMA A BLOQUES	3
1.1 AMPLIFICACIÓN	3
1.2 FILTRADO	10
1.3 PROMEDIACIÓN DE LA SEÑAL	13
1.4 CONVERSIÓN ANÁLOGA - DIGITAL	13
1.5 COMUNICACIÓN SERIAL	18
1.6 SALIDA A COMPUTADOR PERSONAL	20
1.7 FUENTE DE ALIMENTACIÓN	23

## **INTRODUCCIÓN**

De acuerdo al diagrama de bloques realizado en la etapa A02-1: Elaboración de las etapas que conforman el circuito de Amplificación de los potenciales evocados auditivos, se procede a realizar los diseños electrónicos de cada una de ellas.

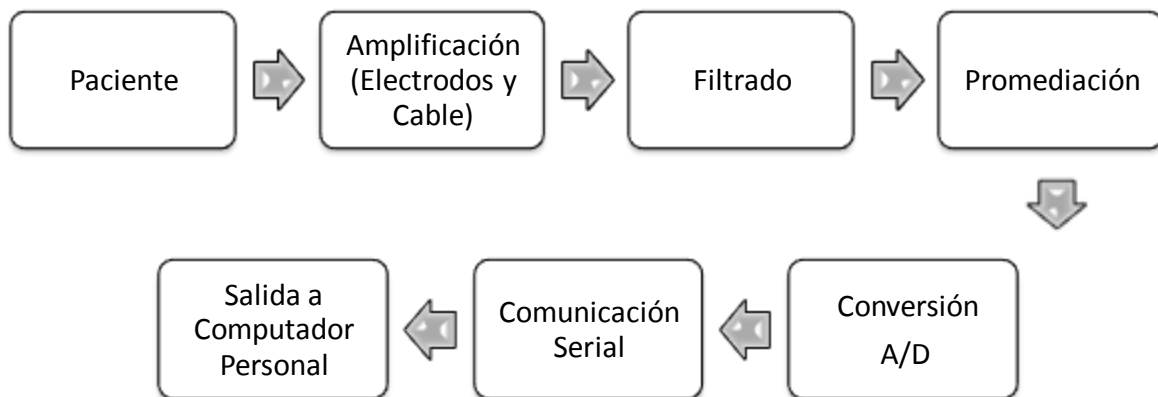
Para estos diseños se tienen en cuenta las siguientes características:

- En el diseño de la recepción de los Potenciales Evocados Auditivos se contempla el espectro de frecuencia, así como su tiempo de respuesta a los estímulos.
- Voltaje de alimentación de +5V, -5V y +12 Voltios.
- El diseño del total de las etapas debe tener un consumo máximo de 0,5 Amperios y un voltaje máximo de 12 voltios.

## 1. DIAGRAMA A BLOQUES

En la Figura siguiente se presenta el diagrama a bloques para la adquisición de los potenciales evocados auditivos de Tallo Cerebral (PEATC), desarrollado en la actividad anterior:

Figura 1 Diagrama a bloques para la adquisición de los PEATC

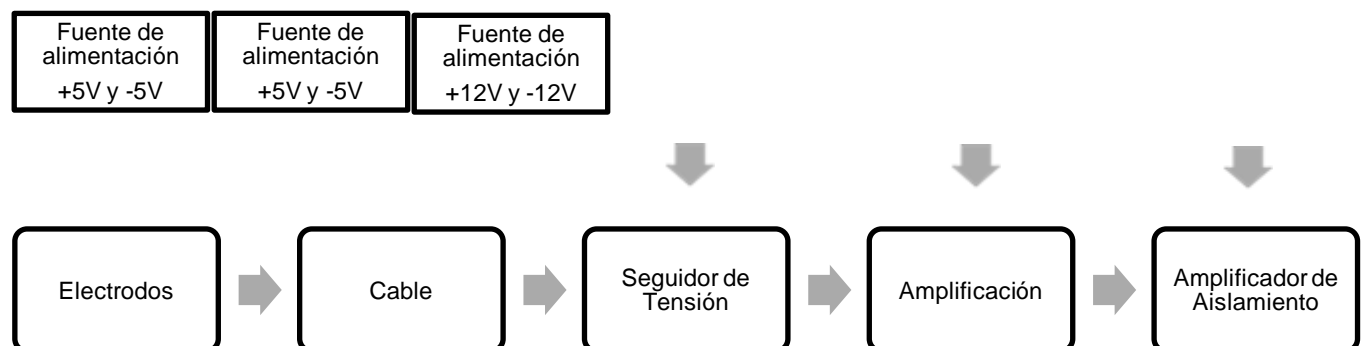


Fuente: Los Autores

### 1.1 AMPLIFICACIÓN

Para la realización del diseño electrónico usado en la amplificación se sigue el siguiente diagrama a bloques:

Figura 2 Diagrama a bloques de la etapa de Amplificación



Fuente: Los Autores

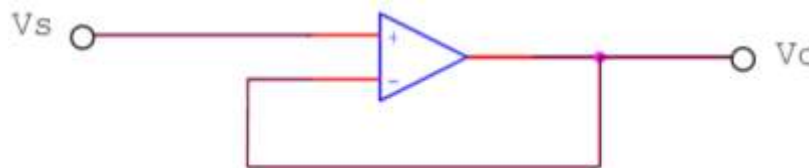
## Electrodos y Cable

- Se utilizan electrodos Ag-AgCl, que son discos de plata con un electrolito (gel o pasta conductora), como se describió en la actividad anterior.
- El cable a utilizar para este circuito, es el utilizado para Electrocardiografía o Electromiografía, llamado cable clip o botón. Es un cable de conexión con clip de presión para electrodos adhesivos, como se describió en la actividad anterior.

## Seguidor de Tensión

Un circuito seguidor de tensión se realiza con amplificadores operacionales y su función es proporcionar a la salida de este, la misma señal de entrada. A continuación se presenta la configuración ideal de un seguidor de tensión:

Figura 3 Seguidor de Tensión



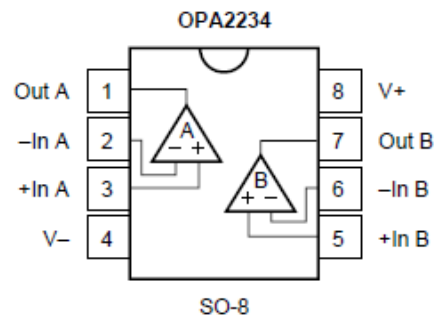
Fuente: [http://www.uhu.es/raul.jimenez/SEA/ana\\_guia.pdf](http://www.uhu.es/raul.jimenez/SEA/ana_guia.pdf)

Este circuito es muy importante implementarlo en nuestro desarrollo por las siguientes ventajas que presenta:

- Es idóneo para adaptar impedancias, porque presenta una alta impedancia a la entrada y muy baja a la salida del circuito. Este tipo de configuración lo hace ideal para obtener señales provenientes de un sensor que sean muy pequeñas (como es nuestro caso con la señal de PEATC) y el cual no la afecta.
- Debido a su alta impedancia de entrada y baja a la salida, otra de sus funciones es aislar dos circuitos: el que viene con la señal de entrada y el que recoge la señal de salida del seguidor de tensión. Esto es importante porque un circuito no cargará al otro, logrando que la señal no sea modificada.
- De acuerdo a su configuración el valor de ganancia es uno ( $A_v=1$ ).

Para el desarrollo de esta configuración (seguidor de tensión) se utiliza el circuito integrado [OPA2234](#) (Ver Figura 4), el cual presenta la siguiente distribución de su patillaje:

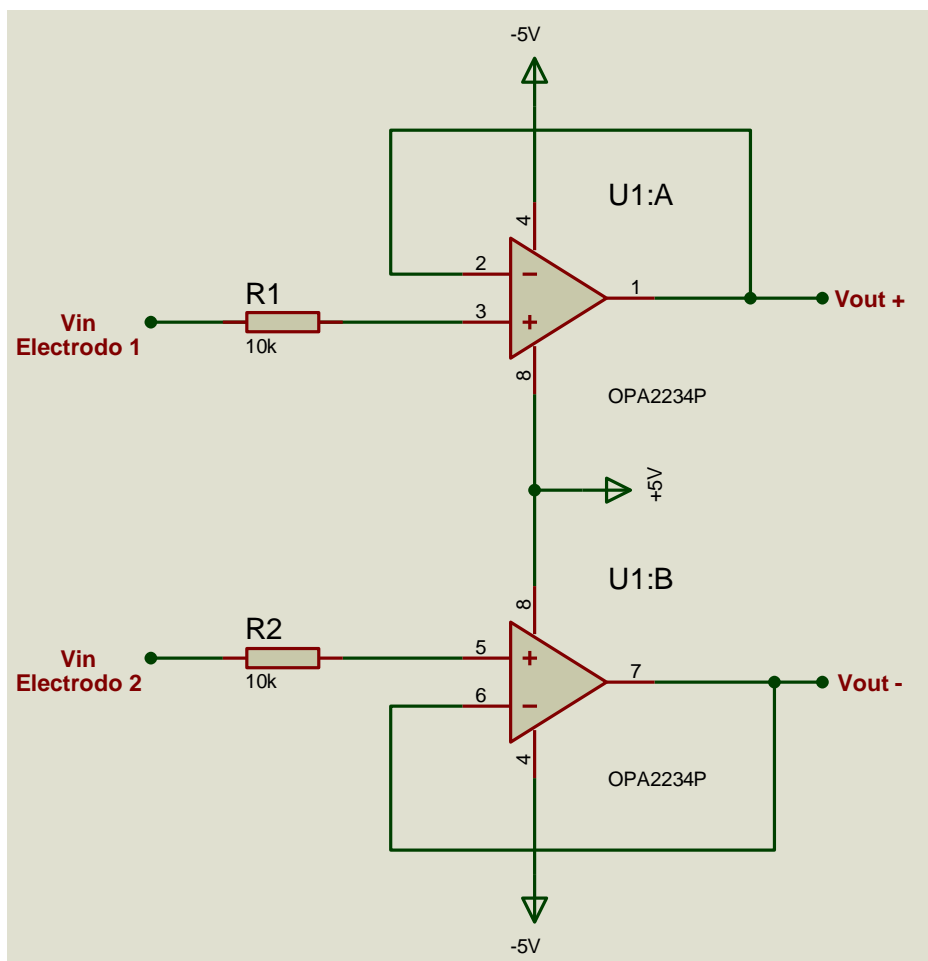
Figura 4 Configuración del OPA2234



Fuente: Datasheet de fabricante.

Para utilizar el OPA2234 como seguidor de tensión, se necesitan los dos amplificadores que este trae, utilizando cada amplificador para cada electrodo. En la Figura 5 se puede observar el circuito electrónico para la conexión de los dos electrodos (+ y -) utilizados para adquirir la señal PEATC:

Figura 5 Seguidor de Tensión



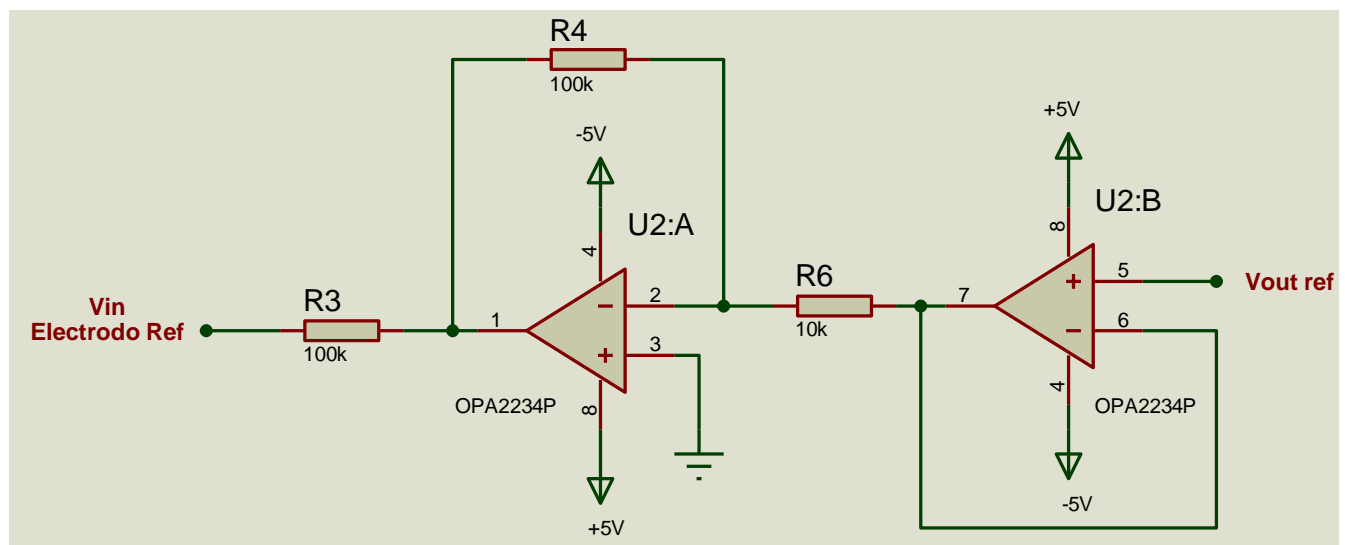
Fuente: Datasheet de fabricante, modificación de los Autores

En el circuito anterior se obtienen dos señales: Una positiva (+) y otra negativa (-), las cuales serán las entradas del amplificador de instrumentación; pero como es una señal de tipo biomédico se requiere una señal de referencia, la cual la genera el tercer electrodo (electrodo de referencia), el cual tiene las siguientes funciones:

- Este electrodo será una tierra aislada, diferente a la tierra del circuito electrónico. Este tipo de tierra ayuda a la seguridad del paciente.
- Este electrodo ayudará a reducir el voltaje en modo común.

En la siguiente figura (Figura 6) se observa el circuito para el electrodo de referencia:

Figura 6 Circuito para Electrodo de referencia



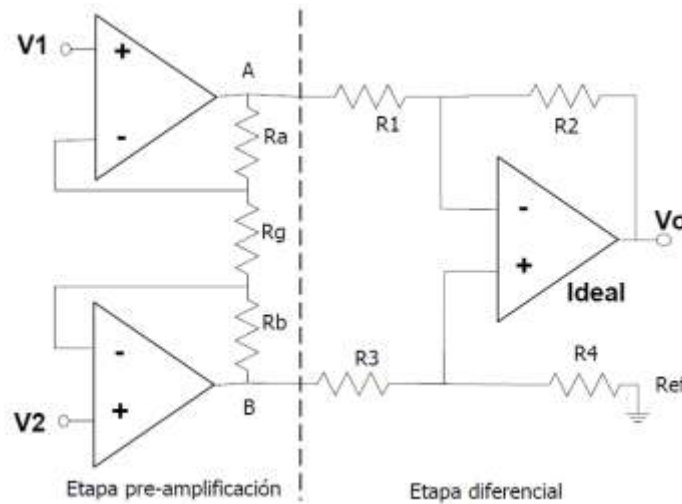
Fuente: Datasheet de fabricante, modificación de los Autores

## Amplificación

Una vez adquiridas las señales: positiva (Electrodo 1), negativa (Electrodo 2) y de referencia (Electrodo Ref) del seguidor de tensión, se debe realizar una amplificación. Esta etapa se implementa porque la señal de PEATC es de amplitud muy pequeña, lo cual impide su tratamiento y posterior digitalización.

Para realizar la amplificación se utilizará un amplificador de instrumentación; este dispositivo está desarrollado con amplificadores operacionales de configuración diferencial (Figura 7), el cual presenta las siguientes características: ganancia se establece de manera muy precisa, entrada diferencial con alto rechazo en modo común, alta impedancia de entrada, baja impedancia de salida y el error es prácticamente nulo por su baja corriente y tensión de offset.

Figura 7 Esquema de un amplificador de instrumentación



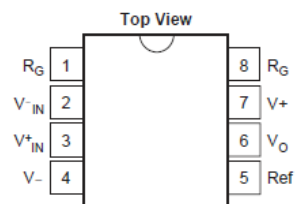
Fuente: <http://www.unet.edu.ve/~ielectro/42-AmplificadorInstrumentacion.pdf>

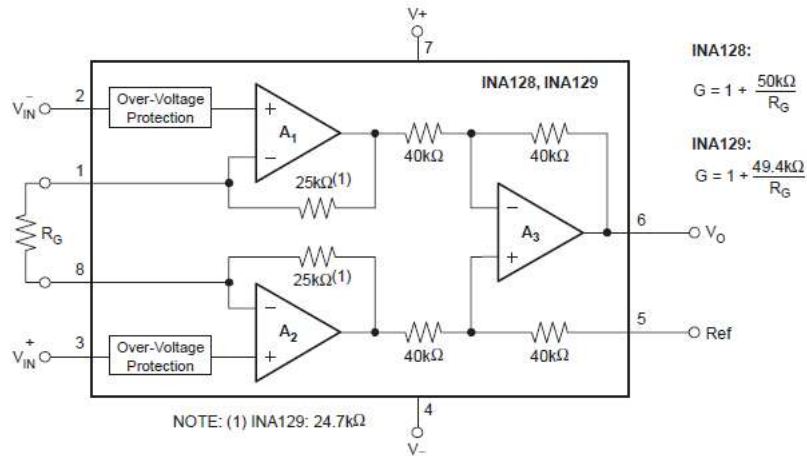
Para esta aplicación se utilizará el amplificador de instrumentación [INA128](#); el cual se escogió por sus características técnicas:

- Dentro de sus aplicaciones se encuentra la instrumentación médica.
- Baja tensión offset:  $50\mu\text{V}$  máximo
- Bajo drift:  $0.5\mu\text{V} / \text{C}$  máximo
- Baja corriente de entrada:  $5\text{nA}$  max
- Alto rechazo de modo común:  $120\text{dB}$  min
- Voltaje de protección de entrada:  $40\text{V}$
- Rango de alimentación:  $2.25\text{V}$  a  $18\text{V}$
- Baja corriente en reposo:  $700\mu\text{A}$

El INA128 tiene la siguiente configuración dada por el fabricante:

Figura 8 Amplificación de Instrumentación INA128

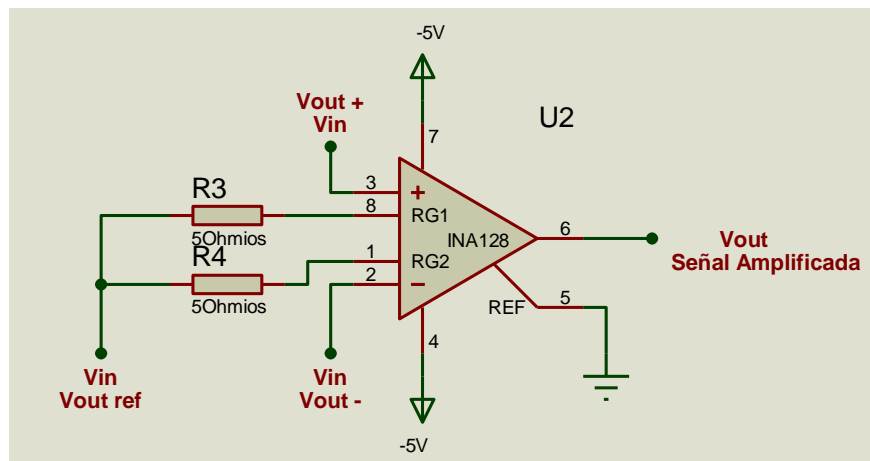




Fuente: Datasheet de fabricante

En la Figura 9, se puede observar el circuito electrónico a utilizar en esta etapa. Esta configuración se realizó de acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante y las necesidades requeridas para la amplificación de la señal PEATC, con una ganancia de 5.000 veces:

Figura 9 Circuito de Amplificación



Fuente: Datasheet de fabricante, modificación de los Autores

### Amplificador de Aislamiento

Un Amplificador de aislamiento es un amplificador que tiene como función aislar de forma electrónica dos (2) circuitos, manteniendo el paso de señal entre ellos sin modificarla. Este dispositivo es utilizado cuando se utilizan voltaje de alimentación diferentes, como en nuestro caso se utilizará  $\pm 5V$  y  $\pm 12V$ .

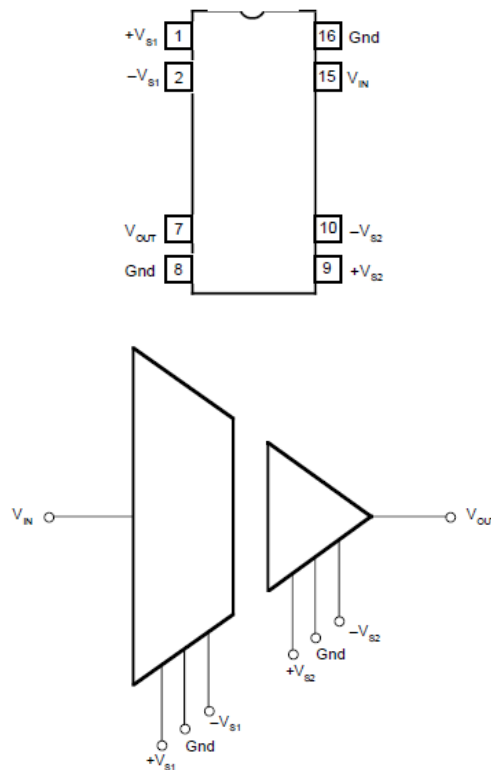


Para esta aplicación se utilizará el amplificador de aislamiento [ISO122](#), según su datasheet se describen sus características:

- Amplificador de aislamiento que incluye un ciclo de modulación-demodulación.
- Barrera capacitiva de 2pF.
- La modulación y la barrera capacitiva no afectan a la señal.

En la Figura 10 se muestra la configuración dada por el fabricante del amplificador de aislamiento ISO122.

Figura 10 Amplificador de Aislamiento

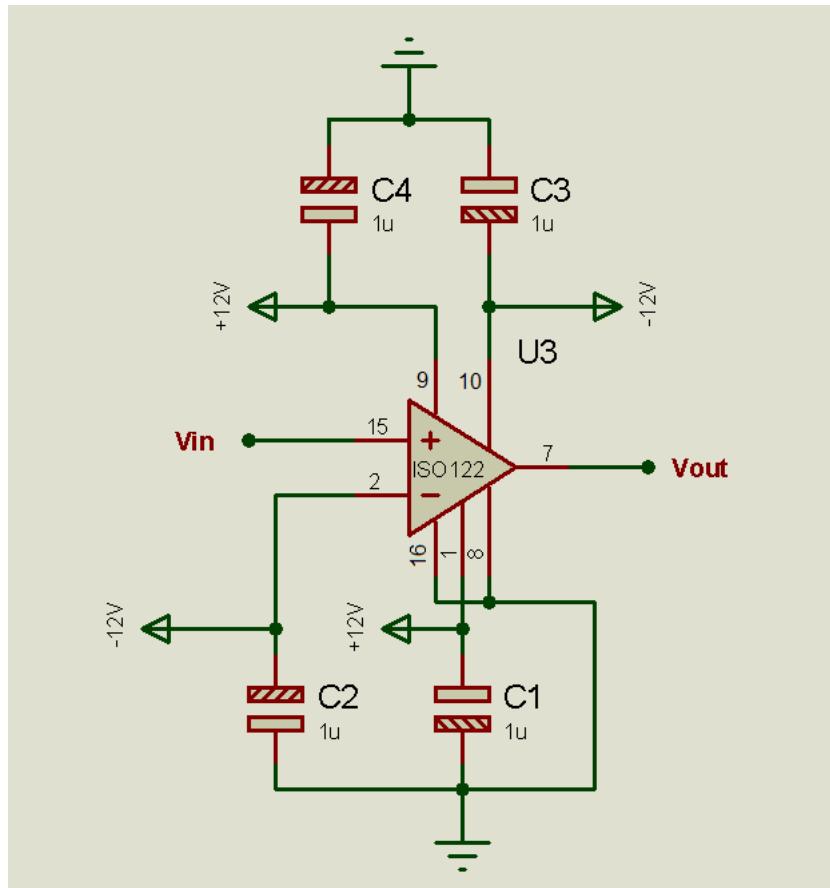


Fuente: Datasheet del Fabricante

En la Figura 11 se muestra el diseño electrónico desarrollado para utilizar este dispositivo en nuestra aplicación, y se tendrá en cuenta las sugerencias del fabricante:

- Alimentación =  $\pm 4.5V$  a  $\pm 18V$
- Linealidad = 0.020%
- $V_{OS}$  deriva = 200mV
- Corriente inactiva =  $\pm 5.0mA$  ( $V_{S1}$ ) y  $\pm 5.5mA$  ( $V_{S2}$ )
- Ancho de banda = 50kHz

Figura 11 Circuito Amplificador de Aislamiento ISO122



Fuente: Datasheet de fabricante, modificación de los Autores

## 1.2 FILTRADO

Para la realización del diseño electrónico de la etapa de filtrado se utilizó el siguiente diagrama a bloques:

Figura 12 Diagrama a bloques de la etapa de filtrado



Fuente: Los Autores

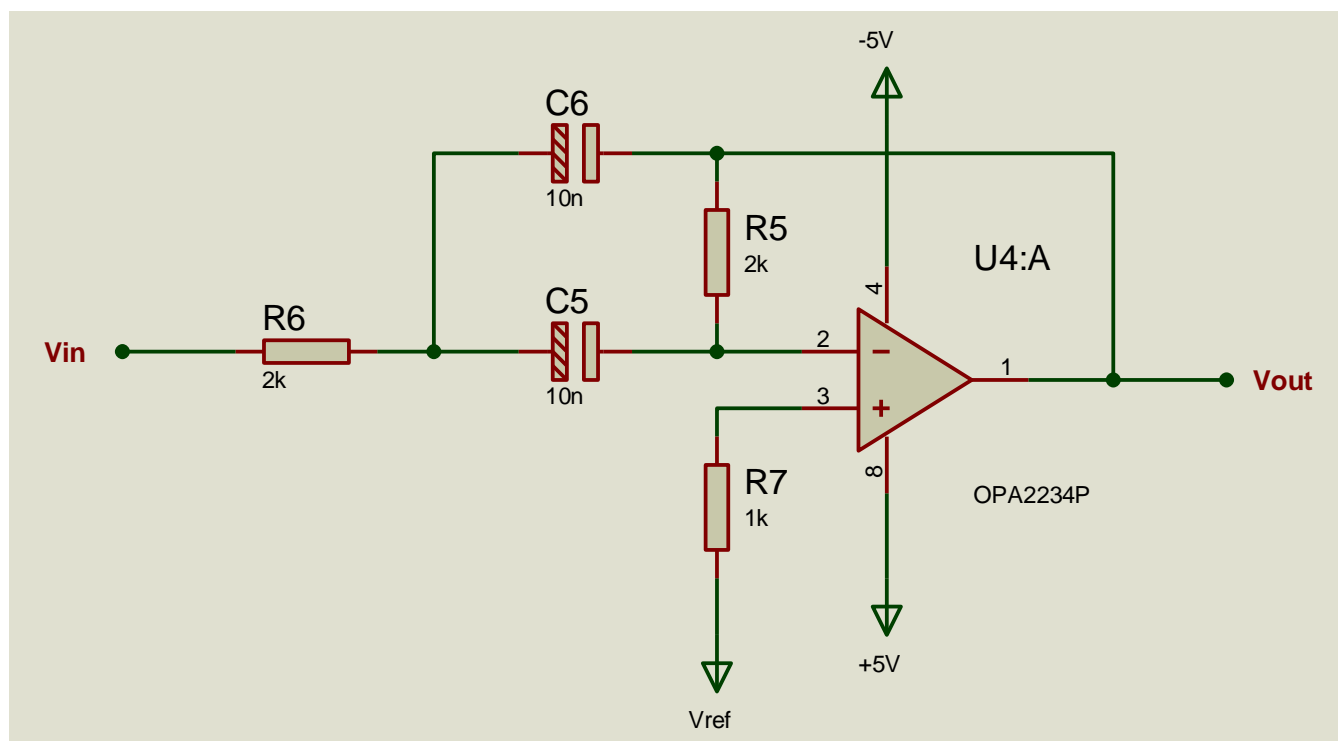
## Estabilización de la señal

Para un buen registro de las señales bioeléctricas (ECG, EMG, EEG, EOG, entre otras) es muy importante el manejo del corrimiento de la línea base y la interferencia de 60 Hz, que comúnmente afectan a este tipo de señales.

El corrimiento de la línea de base o drift baseline wander baseline puede ser inducido por varias fuentes, entre ellas se tienen: movimientos involuntarios del cuerpo, problemas en los electrodos (contacto, ausencia de gel, entre otros), cambios en la temperatura, entre otros. Para eliminar este corrimiento de la línea de base y establecer un voltaje constante para la señal de PEATC se implementará un circuito basado en el amplificador operacional OPA2234. El circuito presenta un conjunto de resistencias y condensadores para estabilizar la señal con un voltaje de referencia para mantener la señal en una línea base constante.

En la Figura 13 se puede ver el circuito electrónico que estabilizará la señal:

Figura 13 Circuito estabilizador de señal



Fuente: Datasheet de fabricante, modificación de los Autores

## Filtrado Activo Pasa-Altas

Para el filtrado se utilizará de tipo activo, esto indica que dentro de sus componentes se encuentran amplificadores operacionales o elementos activos. Para esta aplicación específica se utilizará la configuración Chebyshev. En la Figura 14 se puede observar el diseño del filtro pasa altas, en el cual se utiliza el amplificador operacional [OPA2234](#), de alta

precisión. Este tipo de dispositivo es seleccionado por sus grandes virtudes técnicas, entre las cuales están:

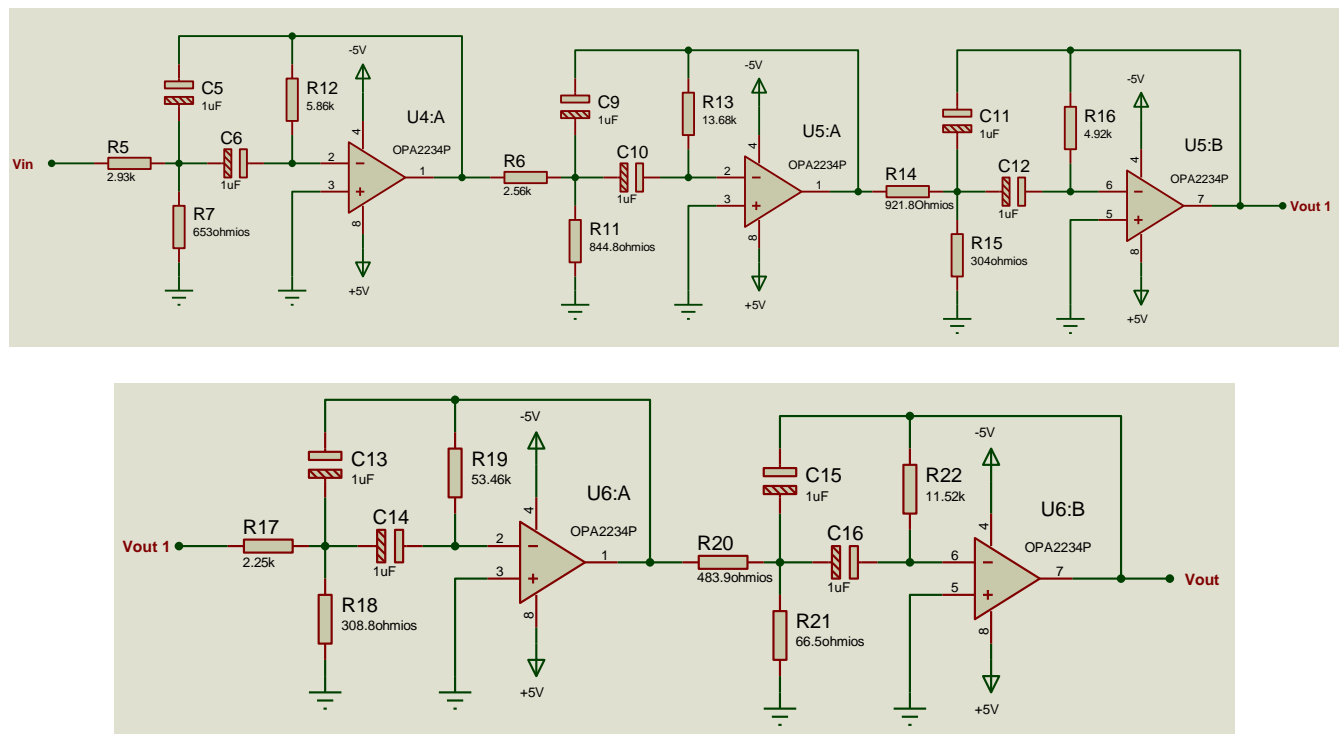
- $100\mu\text{V}$  max = Voltaje (bajo) de offset
- $25\text{nA}$  max = Baja corriente de entrada
- Alto rechazo en modo común
- $250\mu\text{A}/\text{amp}$  = Baja corriente en reposo

Como su nombre lo indica el filtro pasa altas, permite el paso de frecuencias superiores a la frecuencia de corte, bloqueando las de menor frecuencia, para este caso la frecuencia de corte es de 30 Hz.

### Filtrado Activo Pasa-Bajas

Igual que el filtro pasa altas, este es tipo activo de configuración Chebyshev, con una frecuencia de corte de 150 Hz; esto indica que este circuito permite el paso de frecuencias inferiores a esta frecuencia, bloqueando a las mayores de 150Hz. En la Figura 14 se puede observar el diseño del filtro pasa altas.

Figura 14 Filtro Pasa banda (30Hz – 150Hz)



Fuente: Datasheet de fabricante, modificación de los Autores

### 1.3 PROMEDIACIÓN DE LA SEÑAL

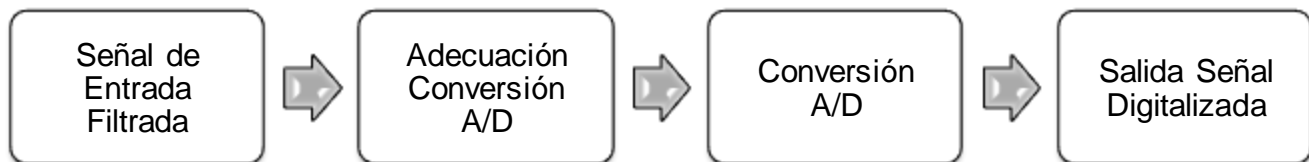
La función del promediador es precisamente mejorar este cociente señal-ruido, mediante el proceso de promediación de la señal. El promediador muestrea la actividad electroencefalográfica de forma sincrónica a la presentación del estímulo y almacena posteriormente este dato en la memoria del microcontrolador.

Toda esta etapa se desarrollará de manera interna en el microcontrolador PIC18F4550; para esto se desarrollará un software embebido que promedie la señal de PEATC.

### 1.4 CONVERSIÓN ANÁLOGA - DIGITAL

Para la realización del diseño electrónico de la etapa de conversión analógica - digital se utilizó el siguiente diagrama a bloques:

Figura 15 Diagrama a bloques de la etapa de filtrado



Fuente: Los Autores

#### Adecuación Conversión Analógica Digital

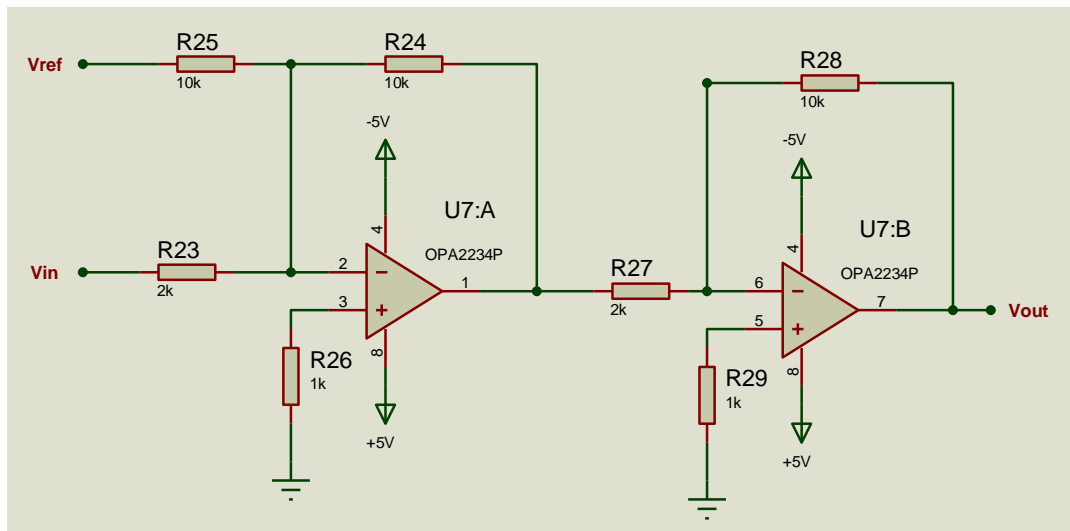
Para una correcta recepción y posterior tratamiento de la señal (PEATC) lo primero que se debe hacer, es garantizar que la señal cumpla con algunos parámetros, entre los cuales están:

- Proteger al conversor (microcontrolador) de voltajes positivos muy altos y de voltajes negativos.
- Mantener el voltaje de entrada en el rango adecuado entre 0 a 5V.
- Correcta recepción de la señal por parte del microcontrolador.
- Garantizar el ancho de banda de la señal acorde al conversor (microcontrolador).

La señal proveniente de la etapa de filtrado contiene voltajes negativos; esto es debido por dos razones, la primera porque la señal presenta picos negativos y positivos y la segunda porque en el desarrollo electrónico se utilizarán amplificadores cuya alimentación es positiva y negativa (dual). Como el conversor (microcontrolador) solo registra voltajes positivos (0 a 5V), es necesario implementar una etapa llamada adecuación de la señal; es decir, desarrollar un circuito que eleve a la señal (sin modificarla) en el rango de 0 a 5V, para que pueda ser leída por el microcontrolador; esto se hace generando un offset constante o elevador de offset.

En la Figura 16, se puede observar el circuito elevador de offset, diseñado con amplificadores operacionales configurados como sumador. Lo que se hace es adicionar a la señal de entrada (señal filtrada) un voltaje DC que la mantenga constante; en este caso la señal DC es de 2.5V. Esta configuración nos permite tener una señal en un rango de 0 y 5V con una línea base de 2.5V.

Figura 16 Circuito Adecuador de señal



Fuente: Datasheet de fabricante, modificación de los Autores

## Conversión Análoga - Digital

La conversión A/D se realizará con el [PIC18F4550](#), el cual cumple con una serie de requisitos especiales para este propósito, como lo son, cantidad de puertos, velocidad, capacidad en memoria, tipo de transmisión, entre otros.

Esta etapa tiene como función recibir la señal análoga (PEATC), realizar la conversión, codificar esa información y almacenarla en la memoria del PIC para su posterior tratamiento.

Este microcontrolador es fabricado por la empresa Microchip y fue seleccionado porque sus características técnicas cumplen con los requisitos de este proyecto, ya que su convertor es de gran precisión, especial para este tipo de aplicación biomédica. En la Figura 17 se puede observar la distribución del patillaje de este dispositivo electrónico. De acuerdo a la selección del PIC se presentan las características más relevantes para este propósito:

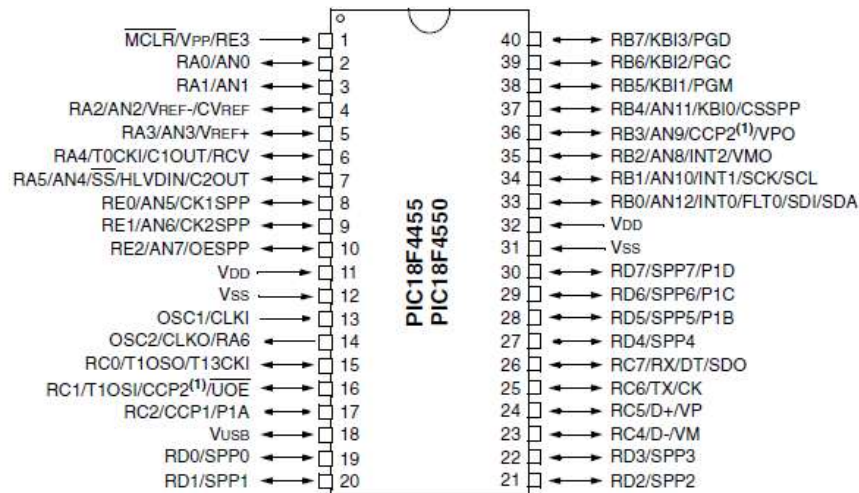
- **Convertor A/D**

El PIC18F4450 tiene un convertor A/D de diez (10) bits de resolución y trece (13) canales de entrada, distribuidos en los puertos A, B y E.

- **Módulo USART (Módulo de transmisión asíncrona)**

Este módulo tiene como función la comunicación serial utilizando la norma RS232. Esta transmisión se realizó en una sola línea en donde se transmite cada palabra o dato de forma independiente.

Figura 17 Distribución patillaje PIC18F4550



Fuente: Datasheet de fabricante

- Velocidad de funcionamiento

El PIC18F4550 funciona con un reloj de 20MHz, esto indica que cada instrucción es ejecutada en 200 nanosegundos; velocidad adecuada para la aplicación que se requiere en el proyecto.

- Puertos de In - Out (Entrada y salida)

Este microcontrolador tiene cuatro (4) puertos de In – Out, los cuales son Port A, Port B, Port C y Port D. Todos los pines de cada uno de los puertos son multifuncionales, pudiéndolos configurar de acuerdo a la aplicación que se requiera.

- Memoria del microcontrolador

El PIC18F4550 tiene una memoria flash programable de 32 Kbytes y puede almacenar hasta 16.384 en una sola palabra las instrucciones. La memoria RAM de datos tiene una memoria SRAM interna de 2048 bytes en la que están incluidos los registros de función especial y la memoria EEPROM de datos es una memoria no volátil de 256 bytes.

Para la realización de la conversión se elaborará un software embebido desarrollado en el software MPLAB. Este software es un editor gratuito solamente para productos de marca Microchip que corre bajo el sistema operativo de Windows. Además de su programación también permite la grabación de la programación en el microcontrolador; ya que posee editor de texto, compilación y simulación.

Específicamente para el módulo de la conversión A/D las señales de control más importantes y características son:

- SC - Start Conversion (Inicio de conversión):  
Esta señal de control le indicará al PIC18F4450 que debe iniciar la conversión A/D.
- EOC - End of Conversion (Fin de conversión):  
Esta señal de control es encendida por el PIC, indicando que ha terminado la conversión y que ha almacenado el dato en la memoria del PIC disponible para la conversión.

El funcionamiento de la conversión A/D es la siguiente: Inicia la conversión cuando la señal SC pasa a 1. El A/D comienza la conversión y avisa cuando termina mediante una bajada a 0 del EOC.

Esta configuración tiene dos características muy particulares:

- El pin de entrada que corresponde a la señal analógica a digitalizar denominada  $V_{AIN}$  y es seleccionable por software.
- Voltaje de entrada  $V_{REF+}$  y  $V_{REF-}$ . Su función principal es determinar la resolución de la conversión. En el PIC18F4550 se pueden identificar en los pins  $+RA3/AN3/VREF$  y  $RA2/AN2/VREF-/CVREF$ , respectivamente.

#### Especificaciones técnicas del Conversor

- Características fundamentales: bits de resolución = 10 (Es la cantidad de bits que entrega a su salida luego de completada la conversión); canales multiplexados = 13; la señal de reloj es configurable; tiempo de adquisición programable = 0 a 20T<sub>AD</sub>; se puede establecer un rango de voltaje de conversión con referencia externa.
- Selección del canal de conversión: Para la selección de un canal, este debe ser configurado previamente en el software embebido. Primero se debe configurar como una entrada analógica; para esto se utilizan los bits PCFG3:PCFG0 del registro ADCON1 (Figura 18), en donde A significa entrada analógica y D entrada digital. Una vez se configura como línea de entrada analógica se selecciona el canal a través de los bits CHS3:CHS0 del registro ADCON0 (Figura 19).
- Señal de reloj para la conversión A/D: esta señal es generada por el temporizador T<sub>AD</sub> que puede ser configurada con el registro ADCON2 (Figura 20) y significa el tiempo que el microcontrolador gasta para realizar la conversión A/D de un (1) bit. Como la conversión es de 10 bits se requiere un T<sub>AD</sub> de 11.
- Rango de voltaje para la conversión: El rango de tensiones del conversor A/D está entre 0 a 5V. Este valor se puede ajustar de acuerdo a la aplicación con voltajes de referencia máximo y mínimo a través de los pines  $V_{REF+}$  y  $V_{REF-}$  respectivamente.
- Almacenamiento de los datos al terminar la conversión A/D: Los 10 bits resultantes de la conversión son almacenados en los registros ADRESH y ADRESL. El microcontrolador posee dos formas de almacenamiento de acuerdo al registro ADFM (Figura 21) del registro ADCON2 (Figura 20).



Figura 18 Registro ADCON1 para la conversión A/D

**REGISTER 21-2: ADCON1: A/D CONTROL REGISTER 1**

U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0 <sup>(1)</sup>	R/W <sup>(1)</sup>	R/W <sup>(1)</sup>	R/W <sup>(1)</sup>
—	—	VCFG0	VCFG0	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
bit 7							bit 0

**Legend:**  
 R = Readable bit      W = Writable bit      U = Unimplemented bit, read as '0'  
 -n = Value at POR      '1' = Bit is set      '0' = Bit is cleared      x = Bit is unknown

bit 7-6      **Unimplemented:** Read as '0'  
 bit 5      **VCFG0:** Voltage Reference Configuration bit (VREF- source)  
             1 = VREF- (AN2)  
             0 = VSS  
 bit 4      **VCFG0:** Voltage Reference Configuration bit (VREF+ source)  
             1 = VREF+ (AN3)  
             0 = VDD  
 bit 3-0      **PCFG3:PCFG0:** A/D Port Configuration Control bits:

PCFG3: PCFG0	AN12	AN11	AN10	AN9	AN8	AN7 <sup>(2)</sup>	AN6 <sup>(2)</sup>	AN5 <sup>(2)</sup>	AN4	AN3	AN2	AN1	AN0
0000 <sup>(1)</sup>	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0001	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0010	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0011	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0100	D	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0101	D	D	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0110	D	D	D	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0111 <sup>(1)</sup>	D	D	D	D	D	A	A	A	A	A	A	A	A
1000	D	D	D	D	D	D	A	A	A	A	A	A	A
1001	D	D	D	D	D	D	D	A	A	A	A	A	A
1010	D	D	D	D	D	D	D	D	A	A	A	A	A
1011	D	D	D	D	D	D	D	D	D	A	A	A	A
1100	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	A	A	A
1101	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	A	A
1110	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	A
1111	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D

A = Analog input      D = Digital I/O

Fuente: Datasheet de fabricante

Figura 19 Registro ADCON0 para la conversión A/D

**REGISTER 21-1: ADCON0: A/D CONTROL REGISTER 0**

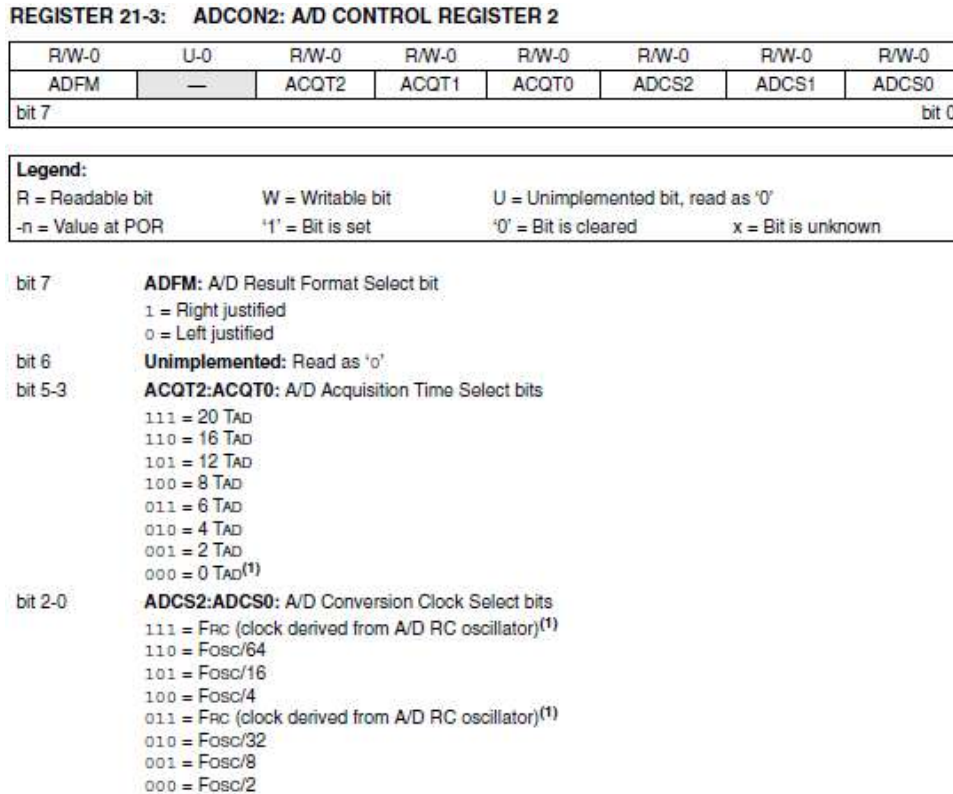
U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
—	—	CHS3	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	ADON
bit 7						bit 0	bit 0

**Legend:**  
 R = Readable bit      W = Writable bit      U = Unimplemented bit, read as '0'  
 -n = Value at POR      '1' = Bit is set      '0' = Bit is cleared      x = Bit is unknown

bit 7-6      **Unimplemented:** Read as '0'  
 bit 5-2      **CHS3:CHS0:** Analog Channel Select bits  
             0000 = Channel 0 (AN0)  
             0001 = Channel 1 (AN1)  
             0010 = Channel 2 (AN2)  
             0011 = Channel 3 (AN3)  
             0100 = Channel 4 (AN4)  
             0101 = Channel 5 (AN5)<sup>(1,2)</sup>  
             0110 = Channel 6 (AN6)<sup>(1,2)</sup>  
             0111 = Channel 7 (AN7)<sup>(1,2)</sup>  
             1000 = Channel 8 (AN8)  
             1001 = Channel 9 (AN9)  
             1010 = Channel 10 (AN10)  
             1011 = Channel 11 (AN11)  
             1100 = Channel 12 (AN12)  
             1101 = Unimplemented<sup>(2)</sup>  
             1110 = Unimplemented<sup>(2)</sup>  
             1111 = Unimplemented<sup>(2)</sup>  
 bit 1      **GO/DONE:** A/D Conversion Status bit  
             When ADON = 1,  
             1 = A/D conversion in progress  
             0 = A/D idle  
 bit 0      **ADON:** A/D On bit  
             1 = A/D converter module is enabled  
             0 = A/D converter module is disabled

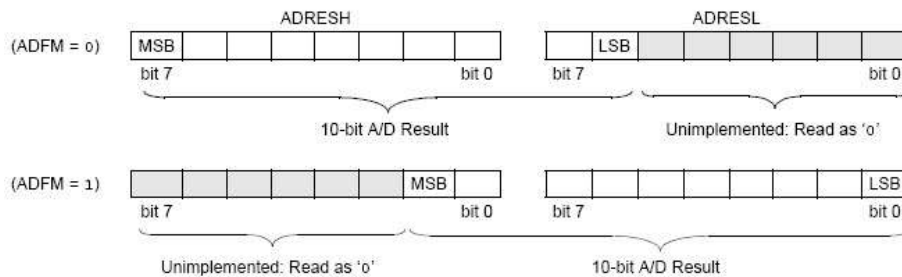
Fuente: Datasheet de fabricante

Figura 20 Registro ADCON2



Fuente: Datasheet de fabricante

Figura 21 Almacenamiento del dato



Fuente: [http://www.ermicro.com/blog/wp-content/uploads/2009/01/picadc\\_03.jpg](http://www.ermicro.com/blog/wp-content/uploads/2009/01/picadc_03.jpg)

## 1.5 COMUNICACIÓN SERIAL

La comunicación serial tiene como función la transmisión de los datos desde el microcontrolador hacia el Computador Personal, para su posterior graficación. Los datos enviados al PC son almacenados y etiquetados por el PIC para que el software los pueda reconocer, organizar y así hacer posible la distribución gráfica en la pantalla.

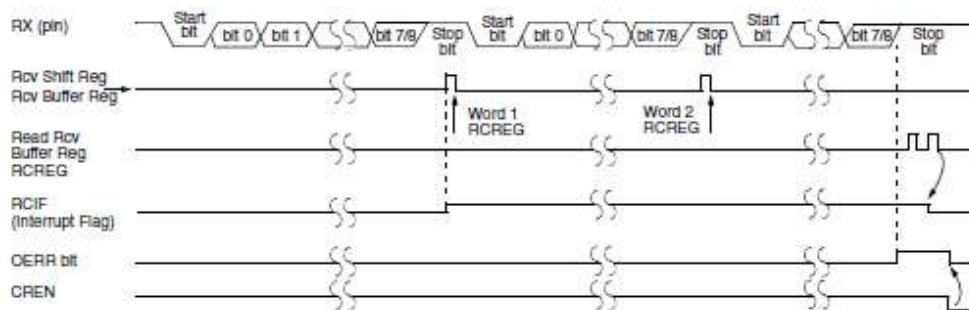
Para esta comunicación también se utilizará el PIC18F4550, el cual contiene un módulo específico llamado comunicación serial USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter). Algunas características importantes a tener en cuenta para la configuración del módulo USART son:

- Modo de operación a utilizar es tipo asíncrono, lo que significa que no se utiliza reloj en la transmisión de los datos. Este tipo de transmisión de datos, es aquella que transmite o recibe datos, bit por bit, incluyendo un bit de inicio y otro de finalización; esto se hace para separar los paquetes de datos que se envían y reciben, logrando una sincronización perfecta.
- Transmisión y recepción de datos en serie de 8 bits.
- Se pueden detectar errores.
- Se pueden generar interrupciones.
- Almacenamiento de los datos en buffers.
- Velocidad de transferencia de 33.400 bits por segundo.

Como el modo de operación es asíncrono, no se necesita configurar Rx y Tx, la velocidad de transmisión es fija y predeterminada y se tienen bits de comienzo y final de la transmisión. En esta comunicación asíncrona (Figura 24) comprende las siguientes características:

- Se tiene una línea de reposo la cual siempre permanece en esta alto (1 digital).
- El Bit de inicio siempre se encuentran en un nivel bajo.
- El Bit final, que le sigue a los datos MSB, siempre se encuentra en un nivel alto.
- Para el microcontrolador el LSB es el primer dato a transmitir.
- La frecuencia de muestreo del microcontrolador se define según el teorema de Nyquist (La señal se debe muestrear a una frecuencia mínimo de dos (2) veces arriba a la frecuencia de la señal). Como el ancho de banda tiene aproximadamente un corte superior a 150Hz, y para tener un rango amplio se decidió que la frecuencia de muestreo será de 1Khz.

Figura 22 Comunicación Asíncrona



Fuente: Datasheet PIC18F4550

### Aspectos técnicos de la programación del PIC

- Velocidad de Transmisión: Su unidad son los baudios o bits por segundo (bps); significa el número de bits por segundo que se transfieren en la comunicación. El PIC18F será configurado a 33.400 bps.

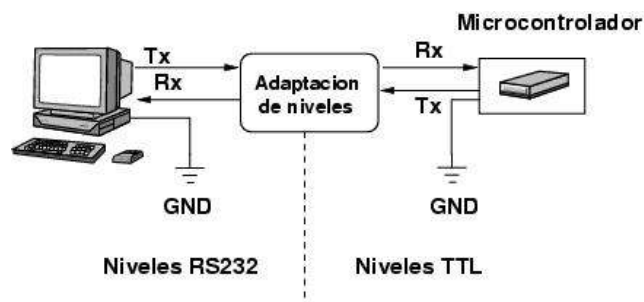
- Bits de datos: El paquete de datos es de 9 bits. Los datos están conformados por 8 bits más un bit de parada.
- Paridad: Se configura esta opción para verificar si en la transmisión de paquete se presentó algún error.
- Inicialización de la programación: El programa del PIC (microcontrolador) se inicia:
  - Configuración de la USART: Bit SPEN-RCSTA<7> activo, Bit TRISC<7> activo y Bit TRISC<6> activo
  - Configuración de la velocidad: Registro SPBRG, Bit BRGH y Bit BRG16.
  - Configuración del TX y RX: Registro TXSTA y Registro RCSTA.
  - Configuración de las interrupciones: Bit IPEN=1, Registro INTCON, Registro PIE1, Registro PIR1 y Registro IPR1.

## 1.6 SALIDA A COMPUTADOR PERSONAL

La función de esta etapa es enviar los datos desde el microcontrolador hacia el computador personal utilizando la comunicación serial de ambos dispositivos. El esquema a seguir es: el microcontrolador toma la bioseñal (PEATC) por el canal analógico (configurado anteriormente como entrada), la cual es convertida a forma digital (convertor A/D), para luego ser almacenada en la memoria del microcontrolador, donde se realiza el marcado (este marcado tiene como función etiquetar los paquetes para que el software del PC pueda discriminarlos y graficarlos) y posterior envío al computador de forma serial.

Para la comunicación entre el microcontrolador y el computador personal se debe utilizar un dispositivo electrónico convertor de niveles de voltaje (Figura 23), cuya función es servir de interfaz entre los niveles de tensión serial del computador personal (+12 y -12V) y los niveles de tensión TTL del microcontrolador (0 y 5V).

Figura 23 Esquema de los niveles RS232 y TTL



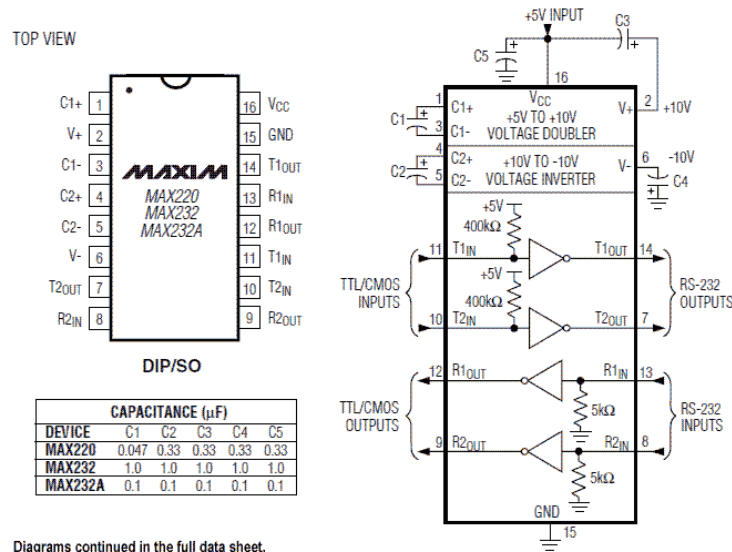
Fuente: <http://www.learobotics.com/proyectos/cuadernos/ct1/images/niveles.jpg>

El circuito integrado que cumple con estas características es el [MAX232](#), el cual cumple con las siguientes características técnicas:

- Voltaje de funcionamiento de 5V.
- El diseño de este circuito es de tecnología CMOS.
- Los voltajes de entrada son de  $\pm 30V$ .
- 8 miliamperios es la corriente de operación en condiciones normales.

El MAX232 (Figura 24) tiene 4 convertidores de niveles, la función de ellos es convertir los voltajes TTL al estándar RS232 cuando se realizar la transmisión, y de forma viceversa, convierte los valores del RS232 a TTL en el momento que se realiza la recepción.

Figura 24 Distribución patillaje MAX232



Diagrams continued in the full data sheet.

Fuente: Datasheet del fabricante

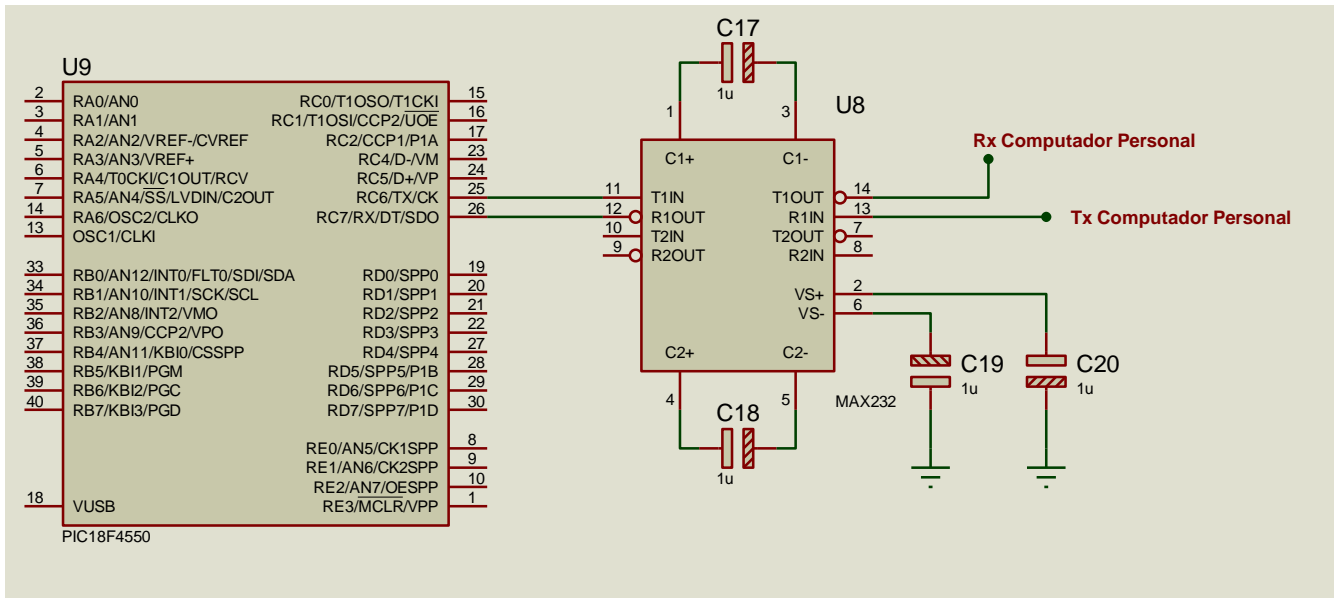
## Conexiones

Como se dijo anteriormente, este circuito integrado tiene internamente 4 convertidores, distribuidos de la siguiente manera:

- Dos (2) convertidores de voltaje TTL a RS232.
- Dos (2) convertidores de voltaje RS232 a TTL.

Esto nos indica que se pueden manejar un total de cuatro(4) señales del puerto serie del Computador, las más utilizadas son TXD, RXD, RTS, CTS. Para el correcto funcionamiento de este integrado (MAX232), el fabricante sugiere una configuración electrónica asociada a condensadores (todos los condensadores deben ser de 1 microfaradios) como se puede observar en la Figura 25.

Figura 25 Conexión de la MAX232

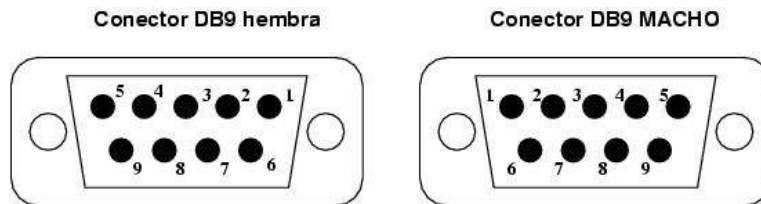


Fuente: Datasheet de fabricante, modificación de los Autores

La conexión del computador personal al microcontrolador se realiza por el puerto serie utilizando un cable serial con las señales Tx, Rx y GND. Esta comunicación se realiza utilizando la norma RS232. El puerto serie del computador trabaja en modo asincrónico, enviando información dato por dato, el cual indica que la señal ha sido recibida utilizando una interrupción. Para poder lograr esta comunicación (PC con microcontrolador) se desarrollará una aplicación en Labview.

Para conectar el Computador con el microcontrolador se utilizará un conector DB9 (macho-hembra) de 9 pines. El conector macho se utiliza a la entrada del computador y el conector hembra en el circuito o microcontrolador (Figura No. 26).

Figura 26 Conector DB9



Fuente: <http://www.learobotics.com/proyectos/cuadernos/ct1/images/db9.jpg>

Cada uno de los pines significa lo siguiente:

Número de pin	Señal
1	DCD (Data Carrier Detect)
2	Rx
3	Tx
4	DTR (Data Terminal Ready)

Número de pin	Señal
5	GND
6	DSR (Data Sheet Ready)
7	RTS (Request To Send)
8	CTS (Clear To Send)
9	RI (Ring Indicator)

## 1.7 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Una fuente de alimentación de DC es un circuito que proporciona a su salida una tensión constante en el tiempo. Las fuentes de alimentación “ideales”, pueden proporcionar esa tensión de DC a cualquier carga que se conecte a la fuente; es decir, sin que exista limitación alguna a la corriente que puede proporcionar la fuente.

Sin embargo, en fuentes de alimentación “reales”, existirá una limitación en la corriente máxima proporcionada por la fuente y, además, la tensión de salida presentará un rizado sobre el nivel de continua esperando si la generación se realiza en base a una tensión de alterna.

La fuente que se utilizará para esta aplicación, es una fuente de alimentación “real” que proporcione dos tensiones de salida de +5 Voltios, +12 Voltios, -5 Voltios y -12 Voltios en continua con un rizado considerablemente menor a 100mV y que soporte demandas de corrientes de hasta 3 Amperios.