

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE FORMACIÓN TECNOLÓGICA TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CALIBRADOR TELEMÉTRICO  
DIGITAL PARA EL DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA DE LA  
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN  
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**MIRYAM ELIZABETH PAREDES QUINTANILLA**  
(mparedes@igepn.edu.ec)

**DIRECTOR: INGENIERO PATRICIO CARRASCO**  
(patricio.carrasco@epn.edu.ec)

**Quito, Marzo 2007**

## **DECLARACIÓN**

Yo, Miryam Elizabeth Paredes Quintanilla, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**Miryam Elizabeth Paredes Quintanilla**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Miryam Elizabeth Paredes Quintanilla bajo mi supervisión.

---

**Ing. Patricio Carrasco**  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

## **RESUMEN**

El Departamento de Geofísica de la Escuela Politécnica Nacional es una organización encargada de realizar la investigación científica permanente en lo referente al monitoreo sísmico y volcánico del país a través de estaciones sísmicas y repetidoras localizadas en todo el Ecuador.

Una de las maneras de realizar dichas investigaciones está basada en el monitoreo mediante instrumentación, es decir, se utilizan equipos de alta tecnología para detectar cambios en el comportamiento de volcanes y de la tierra.

La información es enviada desde las diferentes estaciones sísmicas hasta la estación base (ubicada en el Instituto Geofísico) a través de un sistema de Telemetría Analógico; y es aquí en donde es de gran importancia la construcción del presente proyecto "Calibrador Telemétrico Digital".

El calibrador digital se encargará de generar señales de amplitudes específicas, semejantes a las que proporciona un sensor sísmico, a través de un microcontrolador PIC.

Este equipo ingresará al sistema que conforma una estación sísmica en lugar del sensor y proporcionará las señales mencionadas para luego ser transmitidas telemétricamente hasta la base.

Las medidas que se tomen al enviar cada una de las señales permitirán calibrar apropiadamente el sistema de recepción de datos, ya que se contará con una escala adecuada de amplitudes y al momento de enviar la información sísmica se podrá conocer con exactitud la magnitud de los eventos que ocurran en los volcanes y en la tierra.

Como se mencionó su funcionamiento se basa en la tecnología digital, por lo que provee al equipo de confiabilidad y precisión. Además es un dispositivo práctico, de fácil uso y de bajo costo de construcción que contribuirá a la modernización de la Red Nacional de Sismógrafos del Departamento de Geofísica.

Una de las grandes ventajas que posee el presente proyecto es la flexibilidad que provee, ya que si se necesita cambiar algún parámetro o alguna característica del equipo, se lo puede hacer sin necesidad de modificar el hardware.

## **SITUACIÓN ACTUAL**

Actualmente el Área de Instrumentación del Departamento de Geofísica dispone de un equipo de calibración telemétrico cuyo funcionamiento se basa en un sistema analógico, por lo que el instrumento conlleva a las restricciones que esta tecnología abarca.

Al ser un equipo analógico, presenta varios inconvenientes como por ejemplo el alto consumo de energía ya que necesita de un sistema de alimentación extra para trabajar.

Además, provee de una baja velocidad de respuesta y de datos no confiables ni exactos, que son características necesarias en el trabajo de campo tanto sísmico como volcánico.

El dispositivo analógico no provee de ayuda visual para el usuario, ya que para poder determinar su funcionamiento es necesario disponer de un equipo extra como un multímetro o un osciloscopio.

Además su aplicación no va acorde al avance tecnológico dentro del Departamento y del país.

# CAPITULO 1

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 SISTEMA DE MONITOREO SÍSMICO Y VOLCÁNICO

#### 1.1.1 MONITOREO VOLCÁNICO<sup>1</sup>:

Los volcanes activos deben ser estudiados y monitoreados con el objeto de establecer el tipo de actividad eruptiva y los peligros asociados. La mejor manera de percibir y evaluar el estado de actividad y riesgo asociado a un volcán, es a través de la observación y vigilancia sistemática mediante diversos métodos visuales e instrumentales de monitoreo.

**1.1.1.1 Monitoreo por observación:** Este método de monitoreo se basa en la detección de los cambios en la actividad de un volcán, únicamente por los sentidos humanos, por lo tanto pueden ser descubiertos por la población. El monitoreo por observación visual consiste en realizar observaciones de manera sistemática para determinar la formación de fracturas, deslizamientos o hinchamientos de la cima del volcán, del cráter activo o de uno de sus flancos; la detección de cambios en las emisiones fumarólicas, como altura de la columna de gases, color, olor, intensidad, etc., o de cambios en el caudal, color, olor de las fuentes termales; la detección de daños o muerte de la vegetación; la percepción de cambios en el comportamiento de los animales, entre otros. Este método incluye, además, la percepción de ruidos subterráneos y sismos de origen volcánico. Este método puede ser reforzado con el uso de imágenes satelitales que permiten monitorear parámetros cuantificables y hacer un seguimiento de las nubes de ceniza producidas por las emisiones volcánicas.

**1.1.1.2 Monitoreo por instrumentación:** Consiste en utilizar instrumentos científicos muy sensibles, capaces de detectar cambios en el comportamiento

---

<sup>1</sup> Ver página web [www.igeppn.edu.ec](http://www.igeppn.edu.ec)

físico-químico del sistema magmático del volcán, cambios que generalmente son imperceptibles para las personas. El monitoreo científico moderno de un volcán utiliza métodos diferentes y complementarios. Los más comunes son la detección de la actividad sísmica, la medición de la deformación del suelo, el estudio de los cambios químicos de las emisiones de gases en las fumarolas y de las fuentes termales y la observación sistemática de la actividad volcánica.

### **1.1.2 MONITOREO SÍSMICO:**

El monitoreo sísmico consiste en detectar la actividad sísmica, determinar su magnitud y distribuir mensajes informativos a las autoridades y la población.

## **1.2 SISTEMAS TELEMÉTRICOS**

### **1.2.1 LA TELEMETRÍA<sup>2</sup>:**

Es una tecnología que permite la medición remota de magnitudes físicas y el posterior envío de la información hacia el operador del sistema para ser analizada y registrada. El envío de información hacia el operador en un sistema de telemetría se realiza típicamente mediante comunicación inalámbrica, aunque también se puede realizar por medios alámbricos (teléfono, redes de ordenadores, enlace de fibra óptica, etc). La transmisión en los sistemas de telemetría se lleva a cabo enviando una señal cuyas variaciones análogas en amplitud o frecuencia son una función conocida de las variaciones de las señales de los transductores. Los sistemas de telemetría digital envían la información como un conjunto de símbolos, cada uno representando uno de los posibles valores de las señales compuestas en el instante del muestreo.

**1.2.1.1 Telemetría Alámbrica:** Es la más simple. Las limitaciones consisten en el bajo ancho de banda y la baja velocidad de transmisión que pueden soportar. Sin embargo, es utilizada cuando las líneas de transmisión pueden usar la infraestructura existente. Ejemplo: las líneas de transmisión eléctrica.

---

<sup>2</sup> Ver página web <http://www.astromia.com/glosario/telemetria.htm>



**1.2.1.2 Telemetría Inalámbrica:** Es más compleja que la alámbrica, ya que requiere una etapa final de radiofrecuencia. A pesar de su complejidad es ampliamente empleada porque la información se puede transmitir a grandes distancias y altas velocidades.

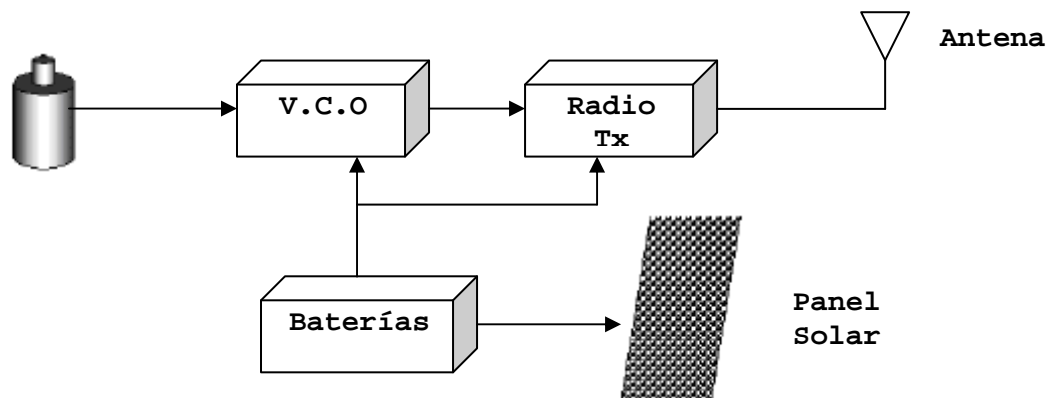
**1.2.1.3 Equipo de Campo:** La estación sísmica (fig 1.1) está conformada por los siguientes equipos: un sensor sísmico (sismómetro), modulador de frecuencia (VCO), radio transmisor, sistema de alimentación y antena.

### 1.2.2 SISTEMA DE TELEMETRÍA SÍSMICA ANALÓGICA

La telemetría analógica todavía se usa hoy en muchas redes sísmicas por su bajo costo y buen rendimiento para cantidades de información muy pequeñas, a diferencia de las tecnologías digitales que todavía son muy caras y de complicado mantenimiento.

Los enlaces analógicos permiten la utilización de canales tipo voz y de bajo costo (cable, línea telefónica o radio en VHF/UHF), además su diseño se basa en componentes de bajo consumo para poder trabajar con fuentes de alimentación de capacidad limitada.

La estación sísmica con telemetría analógica está constituida por dos unidades, la primera de ellas corresponde al equipo de campo y la segunda al sistema de recepción de la información y por ello suele disponerse habitualmente en el observatorio o centro de registro que en este caso lo constituye el Departamento de Geofísica de la Escuela Politécnica Nacional.



**Fig 1.1 Diagrama de bloques de una estación sísmica**

**1.2.2.1 Sistema de Recepción:** La estación base (fig 1.2) está formada por: antenas receptoras, radios receptores, discriminador de señales (demodulador), registro analógico, sistema digital de adquisición (AD y multiplexor), software de adquisición ACQ y software de tratamiento de datos.

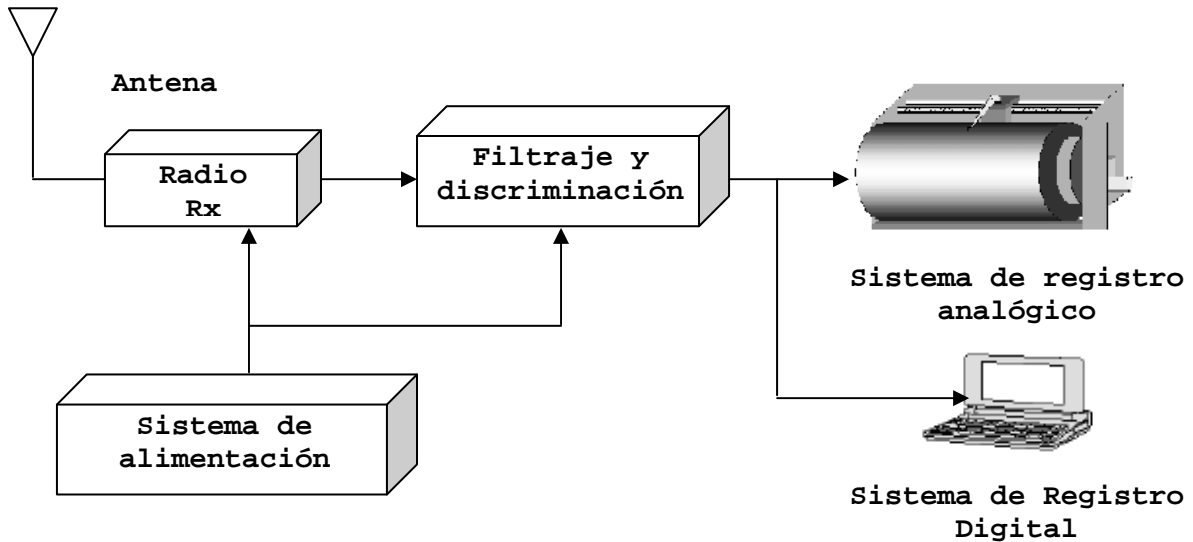


Fig 1.2 Diagrama de bloques de una estación base

### 1.2.3 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TELEMETRÍA SÍSMICA ANALÓGICA

**1.2.3.1 Equipo de Campo:** El sensor sísmico o geófono es el dispositivo que nos proporciona información sobre el movimiento del suelo. Éste es ubicado cerca de la falla donde queremos captar la señal para predecir una posible erupción volcánica. Dicha señal analógica está en el orden de los milivoltios y pasa al oscilador controlado por voltaje (VCO<sup>3</sup>, en donde será adaptada, es decir, amplificada, filtrada y modulada para poder ser transmitida. La señal de salida del VCO es una señal modulada en frecuencia, proporcional a la entrada de voltaje procedente del sensor. La transmisión se la realiza con los radios transmisores que son los encargados de proporcionarnos la potencia requerida para enviar la información a largas distancias.

<sup>3</sup> Ver página web [http://es.wikipedia.org/wiki/Oscilador\\_controlado\\_por\\_tensión](http://es.wikipedia.org/wiki/Oscilador_controlado_por_tensión)

También se utiliza una antena yagui uda que nos permite transmitir las ondas de radio, ya que convierte la onda guiada por la línea de transmisión en ondas electromagnéticas que se pueden transmitir por el espacio libre.

**1.2.3.2 Sistema de Recepción:** Una vez que la señal de información ha sido enviada, en la estación base se realiza la recepción de la misma. Se emplea una antena receptora de las mismas características de la antena de transmisión, luego se realiza el proceso inverso del VCO con la ayuda del discriminador, que no es más que un demodulador analógico que transforma las señales de frecuencia en señales de voltaje.

La señal de voltaje obtenida a la salida del discriminador pasa a un registro analógico que permite controlar visualmente la actividad sísmica a través de sismógrafos y a un sistema de tratamiento digital que realiza un procesamiento más profundo de la información y permite visualizar la información en una PC.

#### **1.2.4 SENSORES SÍSMICOS**

Un sensor sísmico es un instrumento que señala y registra la dirección y amplitud de las oscilaciones y sacudimientos de la tierra que se producen durante un sismo o erupción. Los sismómetros que son usados en la Sismología de exploración tienen nombres según el medio en que se usan, el caso de los usados en Tierra son llamados Geófonos y los usados en Agua, son Hidrófonos.

### **1.3 MICROCONTROLADORES PIC**

Los PIC (Peripheral Interface Controller: Controlador de Interfaz Periférico<sup>4</sup>) son los circuitos integrados basados en memoria EPROM/FLASH de Microchip Technology Inc., que pertenece a la categoría de los microcontroladores es decir, aquellos componentes que integran en un único dispositivo todos los circuitos necesarios para realizar un completo sistema digital programable.

---

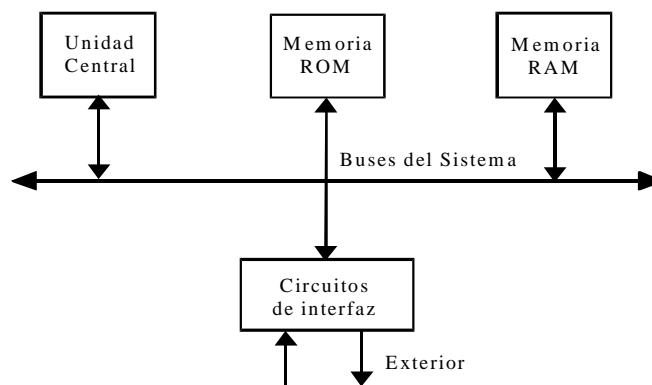
<sup>4</sup> Ver página web [http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador\\_PIC](http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador_PIC)

Los PIC son disponibles en una amplia gama de modelos para adaptarse mejor a las exigencias de los proyectos, diferenciándose por el número de líneas I/O y por la dotación de dispositivos. Se parte de los modelos más pequeños identificados con la sigla PIC12Cxx dotados de solo 8 pines, hasta llegar a modelos más grandes con una sigla PIC17Cxx dotados de 40 pines.

### 1.3.1 ARQUITECTURA INTERNA DE UN MICROCONTROLADOR

Los PIC se presentan externamente como los normales circuitos integrados TTL<sup>5</sup> o CMOS, pero internamente (fig 1.3) disponen de todos los dispositivos típicos de un sistema a microprocesador es decir:

- Unidad central de procesamiento
- Memoria de programa
- Memoria de datos
- Líneas de entrada/salida
- Dispositivos auxiliares



**Fig 1.3 Arquitectura Interna de un Microcontrolador**

**1.3.1.1** Unidad Central de Procesamiento: Es el elemento más importante del microcontrolador y determina sus principales características, tanto a nivel hardware como software. Se encarga de interpretar las instrucciones de programa. Se encarga de direccionar la memoria de instrucciones, recibir el

---

<sup>5</sup> Ver página web [http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador\\_PIC](http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador_PIC)

código OP de la instrucción en curso, su decodificación y la ejecución de la operación que implica la instrucción, así como la búsqueda de los operandos y el almacenamiento del resultado.

En la actualidad se usan procesadores de arquitectura Harvard<sup>6</sup> aunque inicialmente todos los microcontroladores adoptaron la arquitectura clásica de von Neumann<sup>7</sup>. La arquitectura de von Neumann (fig 1.4) se caracteriza por disponer de una sola memoria principal donde se almacenan datos e instrucciones de forma indistinta. A dicha memoria se accede a través de un sistema de buses único (direcciones, datos y control).

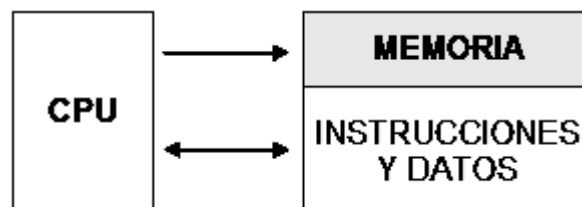


Fig 1.4 Arquitectura Von Neumann

La arquitectura Harvard (fig 1.5) dispone de dos memorias independientes una, que contiene sólo instrucciones y otra, sólo datos. Ambas disponen de sus respectivos sistemas de buses de acceso y es posible realizar operaciones de acceso (lectura o escritura) simultáneamente en ambas memorias.

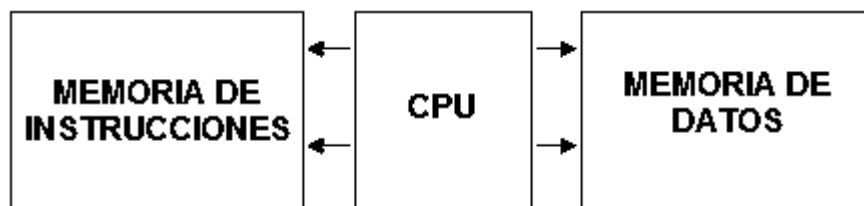


Fig 1.5 Arquitectura Harvard

Existen tres orientaciones en cuanto a la arquitectura y funcionalidad de los procesadores actuales.

---

<sup>6</sup> Ver página web <http://usuarios.lycos.es/sfriswolker/pic/uno.htm>

<sup>7</sup> Ver página web <http://etsiit.ugr.es/alumnos/mlii/ArqVonNeumann.htm>

**CISC**<sup>8</sup>: Un gran número de procesadores usados en los microcontroladores están basados en la filosofía CISC (Computadores de Juego de Instrucciones Complejo). Disponen de más de 80 instrucciones máquina en su repertorio, algunas de las cuales son muy sofisticadas y potentes, requiriendo muchos ciclos para su ejecución.

Una ventaja de los procesadores CISC es que ofrecen al programador instrucciones complejas que actúan como macros.

**RISC**<sup>9</sup>: Tanto la industria de los computadores comerciales como la de los microcontroladores están decantándose hacia la filosofía RISC (Computadores de Juego de Instrucciones Reducido). En estos procesadores el repertorio de instrucciones máquina es muy reducido y las instrucciones son simples y, generalmente, se ejecutan en un ciclo.

La sencillez y rapidez de las instrucciones permiten optimizar el hardware y el software del procesador.

**SISC**<sup>10</sup>: En los microcontroladores destinados a aplicaciones muy concretas, el juego de instrucciones, además de ser reducido, es “específico”, o sea, las instrucciones se adaptan a las necesidades de la aplicación prevista. Esta filosofía se ha bautizado con el nombre de SISC (Computadores de Juego de Instrucciones Específico).

**1.3.1.2 Memoria de Programa:** Contiene las instrucciones organizadas en una secuencia particular para realizar una tarea. El microcontrolador está diseñado para que en su memoria de programa se almacenen todas las instrucciones del programa de control. Como éste siempre es el mismo, debe estar grabado de forma permanente lo que permite que el microcontrolador ejecute el programa almacenado en la memoria inmediatamente después de

---

<sup>8</sup> Ver página web <http://www.disam.upm.es/cybertech/2005/tprocesadores.pdf>

<sup>9</sup> Ver página web <http://www.disam.upm.es/cybertech/2005/tprocesadores.pdf>

<sup>10</sup> Ver página web <http://www.disam.upm.es/cybertech/2005/tprocesadores.pdf>

ser energizado. Existen algunos tipos de memoria adecuados para soportar estas funciones, de las cuales se citan las siguientes:

- ROM: Read Only Memory (memoria de sólo lectura). Se graba mediante el uso de máscaras durante su fabricación, implica costos altos y únicamente se recomienda cuando se produce en serie. Es una memoria de semiconductor no destructible, es decir, que no se puede escribir sobre ella, y que conserva intacta la información almacenada, incluso en el caso de interrupción de corriente (memoria no volátil).
- EPROM: Erasable Programmable Read-Only Memory (ROM borrable programable). Se graba eléctricamente con un programador controlador por un PC. Disponen de una ventana en la parte superior para someterla a luz ultravioleta, lo que permite su borrado. Puede usarse en fase de diseño, aunque su costo unitario es elevado. Se graba con un dispositivo que es gobernado mediante un computador personal. Es no volátil. Una EPROM programada, retiene sus datos durante diez o veinte años, y se puede leer un número ilimitado de veces.
- EEPROM: Electrical Erasable Programmable Read Only Memory (ROM borrable programable eléctricamente). Se trata de memorias de sólo lectura, programables y borrables eléctricamente desde el propio grabador y bajo el control programado de un PC. Es muy cómoda y rápida la operación de grabado y la de borrado. No disponen de ventana de cristal en la superficie. No se pueden conseguir grandes capacidades y su tiempo de escritura y su consumo es elevado.
- FLASH: Es una memoria no volátil, de bajo consumo, que se puede escribir y borrar en circuito al igual que las EEPROM, pero que suelen disponer de mayor capacidad y velocidad que estas últimas, además de tolerar más ciclos de escritura/borrado. La Memoria flash permite que múltiples posiciones de memoria sean escritas o borradas en una misma operación de programación mediante impulsos eléctricos, frente a las EEPROM que sólo permiten escribir o borrar una única celda cada vez. Son recomendables para aplicaciones en las que es necesario modificar el programa a lo largo de la vida del producto.

**1.3.1.3 Memoria de Datos:** Lo constituye la memoria RAM (Random Access Memory: memoria de acceso aleatorio) que es utilizada para memorizar las variables utilizadas en el programa. El almacenamiento es considerado temporal por que los datos y programas permanecen en ella mientras que la computadora este encendida o no sea reiniciada.

**1.3.1.4 Líneas de entrada/salida:** Los microcontroladores requieren de una interfase para comunicarse con la circuitería externa. Esta interfase es denominada comúnmente como puertos. Existen puertos de entrada y salida que permiten manejar dispositivos externos o recibir impulsos de sensores, pulsantes, etc. Cuando son entradas, pueden adquirir datos, interpretando si en ellos existe un valor lógico 1 o 0, mientras que cuando son salidas, pueden controlar su valor lógico. Las líneas de E/S que se adaptan con los periféricos manejan información en paralelo pero también existen modelos con líneas que soportan la comunicación en serie; otros disponen de conjuntos de líneas que implementan puertos de comunicación para diversos protocolos, como el I2C, el USB, etc.

**1.3.1.5 Dispositivos auxiliares:** Según las aplicaciones a las que orienta el fabricante cada modelo de microcontrolador, incorpora una diversidad de complementos que refuerzan la potencia y la flexibilidad del dispositivo. Entre los recursos más comunes se citan los siguientes: circuito de reloj, convertidores análogo/digital y digital/análogo, temporizadores, UART's, buses de interfaz serie como I2C<sup>11</sup> y CAN<sup>12</sup> que serán explicados posteriormente.

## **1.3.2 VENTAJAS DE LOS PIC**

Los microcontroladores PIC ofrecen varias ventajas entre las que se pueden destacar:

---

<sup>11</sup> Ver anexo Especificaciones del Microcontrolador PIC 16F873A

<sup>12</sup> Ver anexo Especificaciones del Microcontrolador PIC 16F873A



- Menor consumo de batería, ya que el consumo de potencia de un PIC es menor que el de la combinación equivalente de dispositivos discretos.
- Menor complejidad de los circuitos impresos, porque integran muchos módulos en un mismo chip, disminuyendo de esta manera el hardware.
- Proveen de una mayor flexibilidad, ya que nos permiten conectar cualquier tipo de periférico, añadir una memoria externa que aumentará las prestaciones del sistema global. Además las características de control están programadas por lo que su modificación sólo necesita cambios en el programa de instrucciones.
- Proveen de mayor fiabilidad en el sistema, ya que existe menor número de componentes y por ende disminuyen las conexiones proporcionando menor cantidad de errores. Además con la reducción de espacio en los circuitos impresos, la densidad disminuye incrementando la confiabilidad del impreso por si mismo.
- Disminución de costos, debido a que la cantidad de componentes reduce notablemente; también puede usarse el mismo PIC en varios proyectos.
- Ahorro de tiempo
- Aumento de prestaciones, ya que nos proporciona mayor control sobre un determinado elemento.
- Reducción de tamaño en el producto acabado.

#### **1.4 PIC 16F873A**

Para la realización del presente proyecto he escogido trabajar con los microcontroladores PIC debido a las ventajas que proporcionan y a las características que poseen ya que van de acuerdo con los requerimientos existentes. En particular se trabajará con el PIC16F873A que es un circuito integrado fabricado por Microchip con características que lo convierten en un dispositivo muy versátil, eficiente y práctico.

### 1.4.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

- Soporta modo de comunicación serial por dos pines: MSSP<sup>13</sup>, USART<sup>14</sup>.
- Amplia memoria para datos y programa.
- Memoria reprogramable
- Procesador con tecnología RISC avanzada.
- Set de 35 instrucciones con 14 bits de longitud. Todas ellas se ejecutan en un ciclo de instrucción menos las de salto que tardan 2.
- Frecuencia de trabajo de 20 Mhz
- Hasta 8K palabras de 14 bits para la memoria de código, tipo flash.
- Hasta 368 bytes de memoria de datos RAM
- Hasta 256 bytes de memoria de datos EEPROM
- Hasta 14 fuentes de interrupción internas y externas
- Pila con 8 niveles
- Modos de direccionamiento directo, indirecto y relativo
- Código de protección programable
- Modo Sleep de bajo consumo
- Amplio rango de voltaje de trabajo comprendido entre 2 y 5.5 voltios
- Bajo consumo (menos de 2 mA a 5 V y 5 Mhz)
- Tres timers
- Dos módulos CCP
- Cinco líneas de entrada de CAD de 10 bits
- Dos canales PWM
- 28 pines
- Reset de encendido (POR)
- Timer de encendido (PWRT)
- Timer de arranque del oscilador (OST)
- Sistema de vigilancia watchdog timer (WDT)
- Bajo consumo de potencia

---

<sup>13</sup> Ver página web [http://labatc.umh.es/sed/Documentos/Tema\\_7\\_SED.pdf](http://labatc.umh.es/sed/Documentos/Tema_7_SED.pdf)

<sup>14</sup> Ver página web <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/31018a.pdf>

## CARACTERISTICAS PIC16F873A

Frecuencia Máxima Operacional	_____	DC – 20 MHz
Resets	_____	POR, BOR (PWRT, OST)
Memoria Flash programable	_____	7168 bytes
Memoria Data (bytes)	_____	192
EEPROM Memoria Data (bytes)	_____	128
Interrupciones	_____	14
Puertos I/O	_____	Puertos A, B, C
Capture/Compare/PWM módulos	_____	2
Comunicaciones en serie	_____	MSSP, USART
Comunicaciones en paralelo	_____	No
Módulo Análogo-a-Digital	_____	5 canales de entrada
Comparadores Análogos	_____	2
Set de instrucciones	_____	35 instrucciones

### 1.4.2 Diagrama de Pines:

En la fig 1.6 se muestra la distribución de pines del pic16F873A.

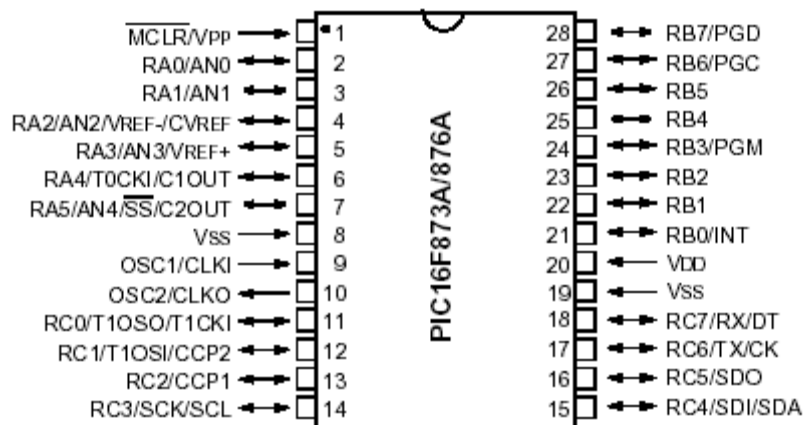


Fig 1.6 Diagrama de Pines del PIC16F873

### 1.4.3 DESCRIPCIÓN DE PINES

A continuación se indica el trabajo que realiza cada uno de los pines del microcontrolador pic16f873a.

<b>NOMBRE DEL PIN</b>	<b>PIN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
OSC1/CLKIN	9	Entrada del oscilador de cristal/ Entrada de señal de reloj externa.
OSC2/CLKOUT	10	Salida del oscilador.
MCLR/Vpp/THV	1	Entrada del Master clear (Reset) o entrada de voltaje de programación o modo de control high voltaje test.
RA0/AN0	2	Puede actuar como línea digital de E/S o como entrada analógica del conversor AD (canal 0).
RA1/AN1	3	Puede actuar como línea digital de E/S o como entrada analógica del conversor AD (canal 1).
RA2/AN2/ Vref-	4	Puede actuar como línea digital de E/S o como entrada analógica del conversor AD (canal 2) o entrada negativa de voltaje de referencia.
RA3/AN3/Vref+	5	Puede actuar como línea digital de E/S o como entrada analógica del conversor AD (canal 3) o entrada positiva de voltaje de referencia.
RA4/T0CKI	6	Línea digital de E/S o entrada del reloj del timer 0.
RA5/SS/AN4	7	Línea digital de E/S, entrada analógica o selección como esclavo de la puerta serie síncrona.
RBO/INT	21	Puerto B pin 0, bidireccional. Este pin puede ser la entrada para solicitar una interrupción.
RB1	22	Puerto B pin 1, bidireccional.
RB2	23	Puerto B pin 2, bidireccional.
RB3/PGM	24	Puerto B pin3, bidireccional o entrada del voltaje bajo para programación. Pin de interrupción
RB4	25	Puerto B pin 4, bidireccional.
RB5	26	Puerto B pin 5, bidireccional.
RB6/PGC	27	Puerto B pin 6, bidireccional. Puede programarse como petición de interrupción cuando el pin cambia de estado. En la programación serie recibe las señales de reloj.
RB7/PGD	28	Puerto B pin 7, bidireccional. Puede programarse como petición de interrupción cuando el pin cambia de estado. En la programación serie actúa como entrada de datos.
RCO/T1OSO/T1CKI	11	Línea digital de E/S o salida del oscilador del timer 1 o como entrada de reloj del timer 1.

RC1/T1OS1/CCP2	12	Línea digital de E/S o entrada al oscilador del timer 1 o entrada al módulo captura 2/salida comparación 2/ salida del PWM 2
RC2/CCP1	13	Línea digital de E/S. También puede actuar como entrada captura 1./salida comparación 1/ salida de PWM 1
RC3/SCK/SCL	14	E/S digital o entrada de reloj serie síncrona /salida de los módulos SP1 e I2C.
RC4/SD1/SDA	15	E/S digital o entrada de datos en modo SPI o I/O datos en modo I2C.
RC5/SD0	16	E/S digital o salida digital en modo SPI.
RC6/Tx/CK	17	E/S digital o patita de transmisión de USART asíncrono o como reloj del síncrono.
RC7/RX/DT	18	E/S digital o receptor del USART asíncrono o como datos en el síncrono.
Vss	8 19	Referencia de tierra para los pines lógicos y de I/O
Vdd	20	Fuente positiva para los pines lógicos y de I/O

#### 1.4.4 DIAGRAMA DE BLOQUES

En la fig. 1.7 se puede observar el diagrama de bloques del PIC16F873A y del PIC16F876A que constan de 28 pines, en el cual se puede identificar claramente los elementos que estos microcontroladores poseen internamente: el procesador, memoria de programa, memoria de datos, periféricos (puertos A, B, C, el TMR0, TMR1 y TMR2). También se encuentra el registro de instrucción, registro de estado, contador de programa, bloque de la pila, FSR, conversor, etc.

Para los modelos de 40 pines la arquitectura solo difieren en que se aumentan las puertas de E/S D y E.



## **1.4.5 ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA**

El PIC16F873A está conformado por bloques de memoria de datos y de programa.

**1.4.5.1 Memoria de Programa:** El PIC16F873 posee un contador de programa de 13 bits, capaz de direccionar 8k palabras de 14 bits memoria de código tipo FLASH.

**1.4.5.2 Memoria de Datos:** Está dividida en dos registros que son de Propósito Especial y de Propósito General.

Los Registros de Propósito Especial (SFR<sup>15</sup>: Special Function Register), son usados por la Unidad Central de Procesamiento y por los módulos periféricos para controlar las operaciones del dispositivo. Ayudan a configurar el hardware interno así como sirven para escribir o leer valores de los diferentes componentes que constituyen el microcontrolador.

Los Registros de Propósito General (GFR<sup>16</sup>: General Function Register), pueden ser accedidos directa o indirectamente a través del SFR. Son posiciones de memoria que podemos usar para almacenar valores que emplean nuestros programas.

## **1.4.6 RECURSOS ESPECIALES DEL PIC16F873**

El PIC16F873 cuenta con varios recursos entre los cuales se destacan:

**1.4.6.1 Puertos:** Los microcontroladores requieren de una interfase para comunicarse con la circuitería externa. Esta interfase se denomina Puerto. El PIC16F873 dispone de 3 puertos multifuncionales, es decir, realizan diversas funciones según estén programadas.

---

<sup>15</sup> Ver anexo Especificaciones del microcontrolador PIC16F873A

<sup>16</sup> Ver anexo Especificaciones del microcontrolador PIC16F873A

El puerto A con 6 líneas de entrada/salida, de las cuales RA0-RA3 y RA5 pueden ser utilizadas alternativamente como entradas análogas y RA4 como entrada de tensión de referencia para los periféricos que la precisan.

Los puertos B, C tienen 8 líneas de entrada/salida. Tres pines del puerto B: RB3, RB6 y RB7 son utilizados también para fines de programación con voltaje bajo. Las líneas RB0, RB4-RB7 pueden programarse para generar interrupciones cuando existe un cambio en su estado.

Todos los pines del puerto C pueden cumplir diferentes funciones además de ser líneas bidireccionales.

**1.4.6.2 Temporizadores:** Se emplean para controlar periodos de tiempo (temporizadores) y para llevar la cuenta de acontecimientos que suceden en el exterior (contadores).

El PIC16F873 dispone de 2 timers de 8 bits y de 1 timer de 16 bits.

**1.4.6.3 Perro guardián o "Watchdog":** El Perro guardián es un contador que funciona con los impulsos de su propio oscilador y produce un reset automáticamente si no es recargado antes que pase un tiempo prefijado. Así se evita que el sistema quede "colgado" dado en esa situación el programa no recarga dicho temporizador y se genera un reset.

**1.4.6.4 Reinicialización o Reset:** El PIC16F873A dispone de diversas maneras para reinicializarse entre las cuales se tienen:

- Reset por conexión de la alimentación (POR: Power-on-Reset). El valor de la tensión de alimentación Vdd sube entre 1.2 a 1.7 V.
- Activación de MCLR<sup>17</sup> (Master Clear Reset) durante una operación normal.
- Activación de MCLR en el estado de Reposo o SLEEP.
- Desbordamiento del Perro guardián en una operación normal.
- Desbordamiento del perro guardián en estado de reposo.
- Caída de voltaje (BOR: Brown-On-Reset). Vdd baja entre 3.8 y 4.2 V.

---

<sup>17</sup> Ver anexo Especificaciones del microcontrolador PIC16F873A



**1.4.6.5 Modo de Reposo o de Bajo Consumo:** Son abundantes las situaciones reales de trabajo en que el microcontrolador debe esperar, sin hacer nada, a que se produzca algún acontecimiento externo que le ponga de nuevo en funcionamiento. Para ahorrar energía, (factor clave en los aparatos portátiles), los microcontroladores disponen de una instrucción especial (SLEEP en los PIC), que les pasa al estado de reposo o de bajo consumo, en el cual los requerimientos de potencia son mínimos. Aquí las líneas de entrada y salida digitales que se utilizaban mantienen su estado, las que no se empleaban reducen al mínimo su consumo, se detienen los temporizadores y tampoco opera el conversor análogo/digital.

Para salir de este estado existen varias causas:

- Activación externa de MCLR.
- Desbordamiento del WDT que sigue trabajando en reposo.
- Generación de interrupción por RB0/INT o cambio de estado en los pines de más peso del puerto B.
- Interrupción originada por alguno de los periféricos como lectura o escritura en la puerta paralela, interrupción del Timer 1, interrupción del módulo CCP en modo de captura, disparo del Timer 1 funcionando en modo asíncrono con reloj externo, interrupción en el módulo de comunicación SSP, transmisión o recepción del MSSP en modo esclavo, transmisión o recepción del USART, fin de la conversión en el conversor A/D, fin de la operación de escritura sobre la EEPROM.

**1.4.6.6 Conversor A/D:** Los microcontroladores que incorporan un Conversor A/D (Analógico/Digital) pueden procesar señales analógicas y convertirlas en códigos digitales. El PIC16F873 cuenta con un conversor análogo/digital de 5 canales de 10 bits: RA0-RA3, RA5.

**1.4.6.7 Modulador de anchura de pulsos o PWM:** Cuando ha sido configurado el módulo CCP para trabajar en modo PWM, el microcontrolador genera en su salida impulsos de frecuencia fija y anchura variable que son de gran aplicación en el control de dispositivos como motores y triacs. Dispone de dos pines para realizar esta función: RC1 y RC2.

**1.4.6.8 Comparador analógico:** El PIC cuenta con dos módulos CCP que no son más que amplificadores operacionales que actúan como comparador entre una señal fija de referencia y otra variable que se aplica a un pin.

**1.4.6.9 Puertos de Comunicación:**

El PIC16F873 soporta comunicaciones serie en modo MSSP y USART.

El módulo MSSP es una interfase serial síncrona utilizada para la comunicación con otros microcontroladores o periféricos. Se caracteriza porque los pulsos de sincronización deben ser transmitidos a lo largo de la línea de comunicación entre el transmisor y el receptor. El módulo MSSP opera en el modo SPI o en el modo I2C.

- SPI (Serial Peripheral Interface): Es una interfaz serie síncrona dúplex. Permite que 8 bits de datos serie sean transmitidos y recibidos sincrónica y simultáneamente. Usa 3 pines SDI (Entrada de datos serial), SDO (salida de datos serial) y SCK (reloj).
- I2C (Inter Integrated Circuit): Es un interfaz serie síncrona que usa 2 hilos o pines: DSA (datos seriales) y SCK.

El módulo USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) también conocido como SCI (Serial Communications Interface).

Es una interfase serial que puede ser configurada como un sistema asíncrono full dúplex o como un sistema síncrono half dúplex.

Puede trabajar de dos maneras:

- Asíncrona (full dúplex, bidireccional)
- Síncrona-Maestro o Esclavo (Half dúplex, unidireccional)

En el modo asíncrono las transferencias de información se realizan sobre dos líneas: una de transmisión y otra de recepción, en donde los datos entran y salen a una frecuencia controlada internamente por el USART. En el modo síncrono, la comunicación se realiza sobre dos líneas: la DT que es una línea para datos en donde los bits son trasladados en los dos sentidos y CK que es la línea por donde los impulsos del reloj salen en el modo master y entran en el modo esclavo.

#### **1.4.6.10 Interrupciones:**

Una interrupción consiste en una detención del programa en curso para realizar una determinada rutina que atienda la causa que ha provocado la interrupción. Tras la terminación de la rutina de interrupción, se retorna al programa principal en el punto en que se abandonó.

Las causas que originan una interrupción pueden ser externas e internas.

Los PIC16F873A tienen 13 posibles fuentes de interrupción:

- Interrupción externa provocada al activar la patita RB0/INT.
- Desbordamiento del TMR0.
- Cambio de estado en las 4 líneas de mayor peso del Puerto B.
- Finalización de la escritura de un byte en la EEPROM.
- Desbordamiento del TMR1.
- Desbordamiento del TMR2.
- Captura o comparación en el módulo CCP1.
- Captura o comparación en el módulo CCP2.
- Transferencia en la puerta serie síncrona.
- Colisión de bus en la puerta serie síncrona.
- Fin de la transmisión en el USART.
- Fin de la recepción en el USART.
- Fin de la conversión en el conversor A/D.

#### **1.4.6.11 Osciladores:**

Para la generación de los impulsos de reloj internos los PIC16F873A disponen de cuatro alternativas, debiendo el usuario seleccionar la más adecuada. Se colocan entre los pines OSC1 y OSC2.

- Oscilador RC (Resistor/Capacitor): Es un oscilador económico para frecuencias no mayores de 5.5 MHz. Está formado por una simple resistencia y un condensador externos. Proporciona una estabilidad mediocre de la frecuencia, cuyo valor depende de los valores de los dos elementos R-C.

- Oscilador HS (high Speed): Es un oscilador estable que alcanza una alta velocidad comprendida entre 4 y 10 MHz y está basado en un cristal de cuarzo o un resonador cerámico.
- Oscilador XT: Es un oscilador de cristal o resonador cerámico para frecuencias estándar comprendidas entre 100 KHz y 4 MHz.
- Oscilador LP (Low Power): Oscilador de bajo consumo con cristal o resonador cerámico diseñado para trabajar en un rango de frecuencias de 35 a 200 KHz.

## 1.5 CIRCUITOS ELECTRÓNICOS IMPORTANTES PARA EL PROYECTO

### 1.5.1 Filtros Electrónicos

Un filtro electrónico es un elemento que discrimina una determinada frecuencia o gama de frecuencias (banda de frecuencias) de una señal eléctrica que pasa a través de él, pudiendo modificarla tanto su amplitud como su fase y atenuando a las demás frecuencias que se presenten.

El diseño de un filtro se realiza por medio de la función de red y el rango de frecuencias que deseamos afectar.

#### 1.5.1.1 Función de Transferencia

La función de transferencia es la forma en que la señal aplicada a un filtro cambia en amplitud y en fase al atravesarlo.

Los filtros más utilizados son:

- Filtro de Butterworth<sup>18</sup>, (fig 1.8) está diseñado para producir una respuesta de frecuencia lo más plana posible hasta la frecuencia de corte, es decir, la tensión de salida se mantiene constante casi hasta la frecuencia de corte. Debido a su respuesta plana, se suele usar en los filtros anti-aliasing y en aplicaciones de conversión de datos; en general,

---

<sup>18</sup> Ver página web [http://labatc.umh.es/sed/Documentos/Tema\\_7\\_SED.pdf](http://labatc.umh.es/sed/Documentos/Tema_7_SED.pdf)

donde sea necesario conseguir una buena precisión de medida en la banda de paso.

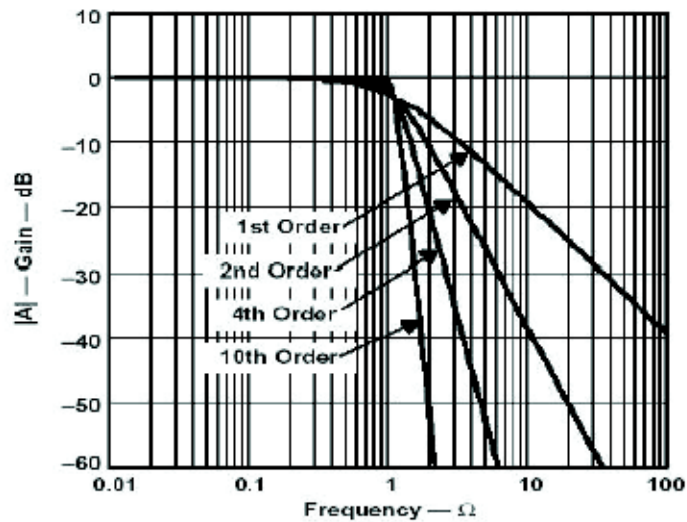


Fig 1.8 Diagrama de Bode Filtro Butterworth

- Filtro de Chebyshev<sup>19</sup>, (fig 1.9) estos filtros consiguen una respuesta de frecuencia más pronunciada en frecuencias bajas debido a que permiten más rizado que otros filtros en alguna de sus bandas. La transición a partir de la frecuencia es muy abrupta, pero en la banda de paso se tiene rizado. Su utilización se restringirá a aquellas aplicaciones en el que el contenido de frecuencias es más importante que la magnitud.

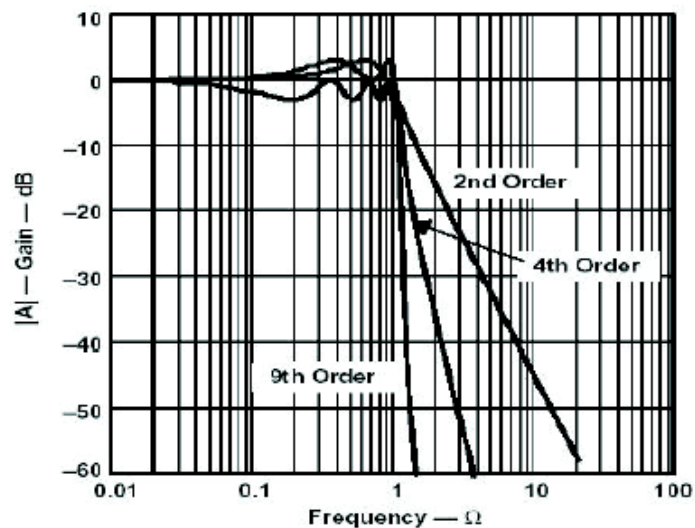


Fig 1.9 Diagrama de Bode Filtro Chebyshev

---

<sup>19</sup> Ver página web [http://es.wikipedia.org/wiki/Filtro\\_de\\_Chebyshev](http://es.wikipedia.org/wiki/Filtro_de_Chebyshev)

- Filtro de Bessel<sup>20</sup>, (fig 1.10) son filtros que únicamente tienen polos. Están diseñados para tener una fase lineal en las bandas pasantes, por lo que no distorsionan las señales; por el contrario tienen una mayor zona de transición entre las bandas pasantes y no pasantes. La ganancia de la banda de paso no es tan plana como en un filtro de Butterworth ni la pendiente en la banda de transición tan acentuada como en un filtro de Chebyshev. Son usados frecuentemente en aplicaciones de audio debido a su linealidad.

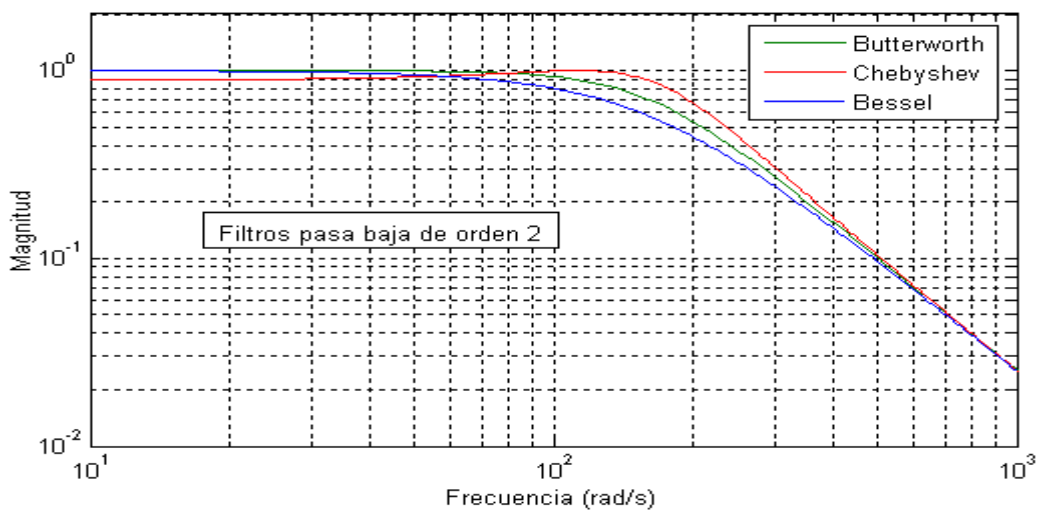


Fig 1.1.0 Diagrama de Bode de Filtros Butterworth, Chebyshev y Bessel

### 1.5.1.2 Tipos de Filtros

Los filtros de acuerdo a la naturaleza de las señales tratadas se clasifican en filtros analógicos y filtros digitales.

Los filtros analógicos, son diseñados para el tratamiento de señales analógicas, mientras que los filtros digitales son diseñados para el tratamiento de señales digitales, aunque en estos últimos se da la denominación de digital más por su funcionamiento interno que por su dependencia del tipo de señal a filtrar.

---

<sup>20</sup> Ver página web [http://es.wikipedia.org/wiki/Filtro\\_de\\_Bessel](http://es.wikipedia.org/wiki/Filtro_de_Bessel)

La clasificación de los filtros de acuerdo a su respuesta de frecuencia (fig. 1.11) es la siguiente:

**Filtro Pasa bajo**, es aquel que permite pasar todas las frecuencias desde 0 hasta una determinada frecuencia de corte  $f_c$ , y atenúa o suprime todas aquellas superiores a la frecuencia de corte.

**Filtro Pasa alto**, es aquel que permite el paso de frecuencias altas desde una frecuencia de corte  $f_c$  determinada hacia arriba, sin que exista un límite superior especificado.

**Filtro Pasa banda**, es aquel que deja pasar aquellas frecuencias comprendidas entre la frecuencia de corte inferior  $f_{c1}$  y la frecuencia de corte superior  $f_{c2}$ , atenuando a las demás.

**Filtro rechaza banda**, también llamado filtro elimina banda. Es el que dificulta el paso de componentes frecuenciales contenidos en un determinado rango de frecuencias, comprendido entre una frecuencia de corte inferior  $f_{c1}$  y otra superior  $f_{c2}$ .

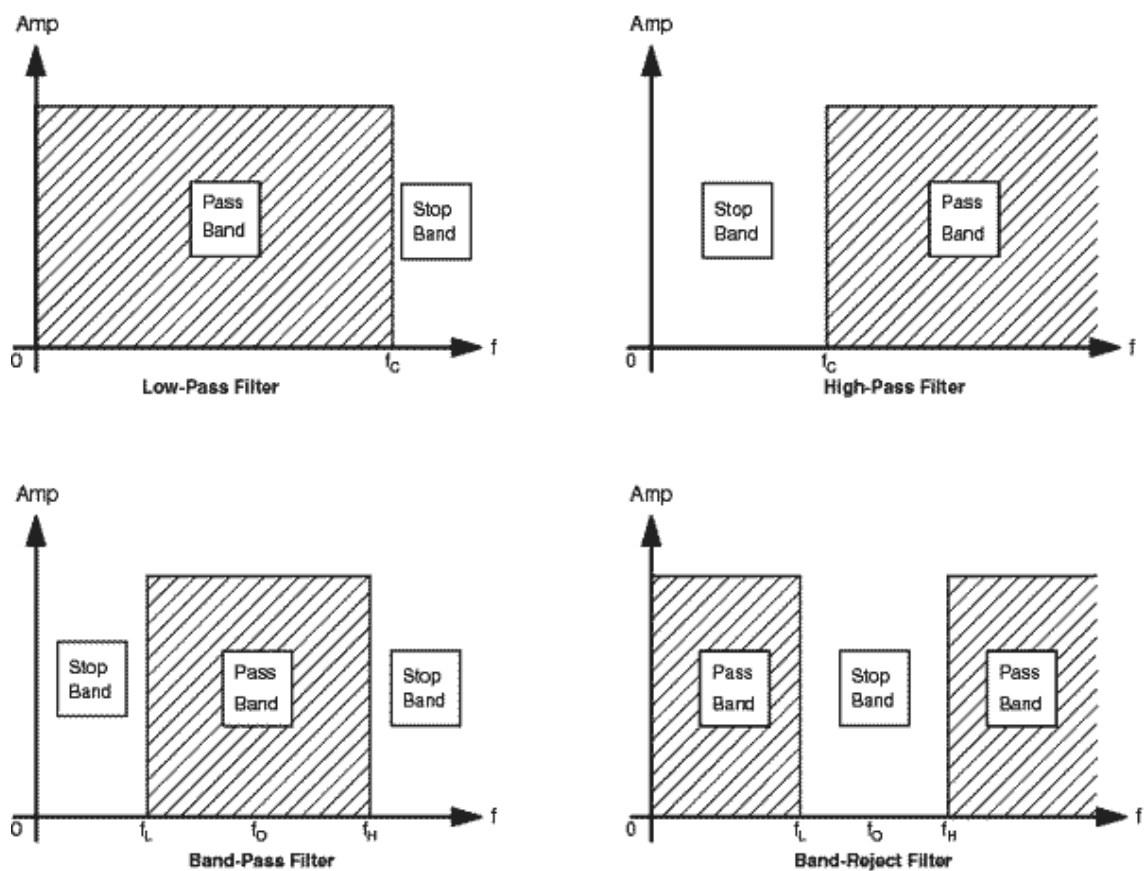


Fig 1.11 Tipos de filtro según su respuesta de frecuencia

Los filtros de acuerdo a sus componentes constitutivos se clasifican en filtros activos y filtros pasivos.

Los **filtros pasivos** son filtros electrónicos que se basan en redes RC y sólo a frecuencias elevadas utilizan inductancias. La configuración básica de un filtro es la red RC, que si se dispone la resistencia en serie y el condensador en paralelo se comporta como un filtro pasa bajos, mientras que si el condensador está en serie y la resistencia en paralelo se tiene un filtro pasa altos. Entre las ventajas que proporcionan estos filtros está la buena linealidad, no requieren de alimentación, permiten un amplio margen de tensiones y corrientes. Entre los inconvenientes que presentan está la poca flexibilidad del diseño, efecto de carga entre las etapas, ganancia unitaria.

Los **filtros activos** son filtros electrónicos que emplean elementos activos y pasivos, es decir, resistencias, condensadores y amplificadores operacionales. Facilitan el encadenamiento de etapas aprovechando la baja impedancia de salida de los amplificadores operacionales, además de proveer de flexibilidad en el diseño.

Pueden presentar ganancia en toda o parte de la señal de salida respecto a la entrada.

Los inconvenientes que presentan estos filtros son limitaciones del amplificador operacional, como ancho de banda limitado, necesidad de dos fuentes de alimentación, limitación en los valores de elementos pasivos necesarios, ruido adicional generado por el amplificador.

A diferencia de los filtros pasivos, los filtros activos tienen mayor eficiencia.

### 1.5.1.3 Orden de un Filtro

El orden de un filtro<sup>21</sup> describe el grado de aceptación o rechazo de frecuencias por encima o por debajo de la respectiva frecuencia de corte. En la (fig. 1.12) se encuentra el diagrama de Bode para una determinada frecuencia de corte con filtros activos de distinto orden.

---

<sup>21</sup> Ver página web <http://en.wikipedia.org/wiki/filtros>



El número de polos y ceros indica el orden del filtro y su valor determina las características del filtro, como su respuesta en frecuencia y su estabilidad.

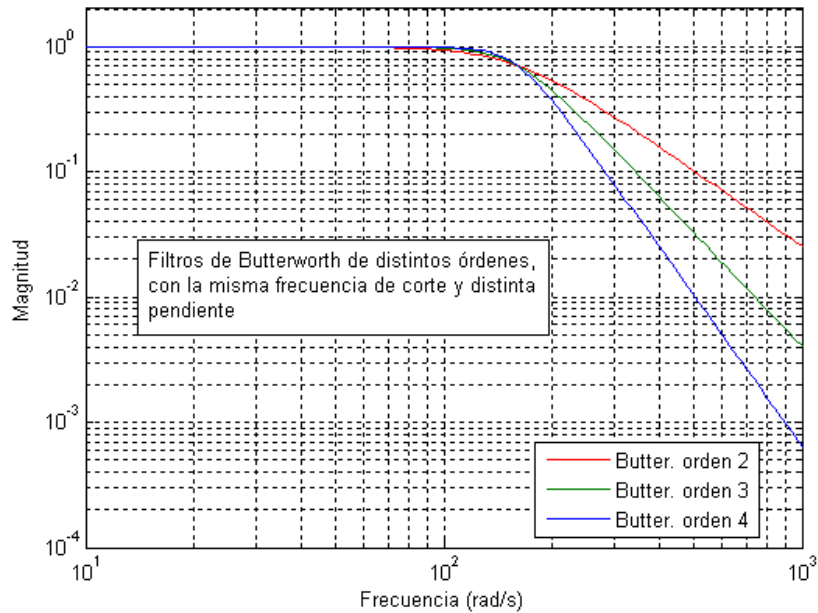


Fig 1.12 Filtros de diferente orden

#### 1.5.1.4 Estructura Sallen-Key<sup>22</sup>

Es un tipo de filtro electrónico activo sencillo que utiliza el mínimo número de componentes para la realización de la función. Este circuito produce un filtro pasa bajo o pasa alto de dos polos usando dos resistencias, dos condensadores y un amplificador. Para obtener un filtro de orden mayor se pueden poner en cascada varias etapas.

En la (fig. 1.13) se puede observar la topología general de un Sallen-Key.

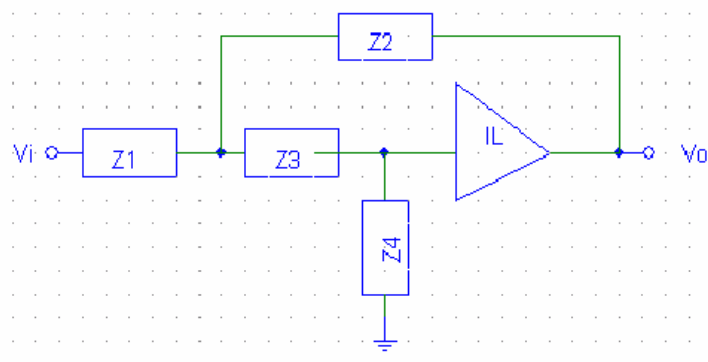


Fig 1.13 Topología Sallen-Key

<sup>22</sup> Ver página web [http://es.wikipedia.org/wiki/Filtro\\_de\\_Sallen-Key](http://es.wikipedia.org/wiki/Filtro_de_Sallen-Key)

## CAPITULO 2

# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO CALIBRADOR TELEMÉTRICO DIGITAL

En el presente capítulo se indica el funcionamiento de cada etapa que conforma el diseño y la construcción del equipo de calibración telemétrica.

### 1.6 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL EQUIPO

La (fig 2.1) muestra los módulos de los que consta el calibrador telemétrico digital.

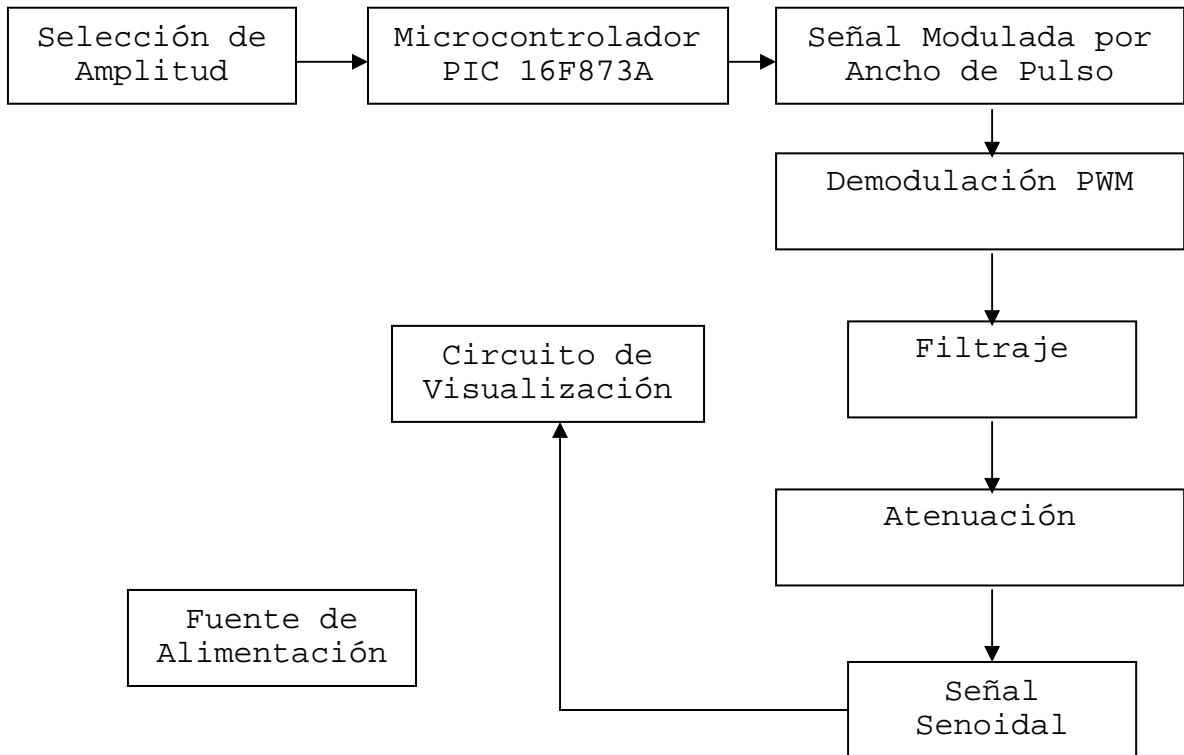


Fig 2.1 Diagrama de bloques del Calibrador Telemétrico Digital

Este diagrama de bloques muestra las etapas del equipo Calibrador Telemétrico, que comprende del bloque de selección de amplitudes de la señal de frecuencia constante, seguido de la generación de una onda senoidal a partir de una señal PWM generada mediante el PIC 16F873A, su conversión, filtrado, y finalmente su amplificación.

La señal generada simulará la señal enviada por un sensor sísmico e ingresará al VCO para ser modulada y transmitida hasta la estación base. En la estación base, será discriminada y llevada a los sistemas de registro.

Esta señal permitirá calibrar el proceso de envío de señales desde las estaciones sísmicas hasta la estación base a través de las repetidoras de la red.

## **1.7 FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO**

### **2.2.1 ETAPA DE SELECCIÓN DE AMPLITUD**

Esta etapa permitirá a los usuarios del equipo seleccionar una de las 3 señales senoidales de diferentes amplitudes que el microcontrolador PIC generará: 25uVpp, 250uVpp y 2500uVpp.

Dispone de 3 pulsadores colocados al exterior del equipo, uno para la selección de cada una de las amplitudes mencionadas e irán conectados a las entradas del microcontrolador para que éste pueda realizar la función deseada.

### **2.2.2 GENERACIÓN DE LA SEÑAL PWM**

Una vez que el usuario haya escogido la amplitud de la señal senoidal requerida, el microcontrolador generará una señal modulada por ancho de pulso (PWM) mediante el módulo CCP<sup>23</sup> (Capture/Compare/PWM). Con este modo de trabajo se obtienen impulsos lógicos de 10 bits de resolución cuya anchura del nivel alto (1L) es de duración variable en el período de trabajo, lo cual permite obtener a la salida cualquier valor de tensión comprendido entre 0V y la tensión de alimentación.

En la (fig 2.2), se puede observar el diagrama de bloques del módulo CCP en modo PWM.

---

<sup>23</sup> Ver anexo Especificaciones del microcontrolador PIC16F873a

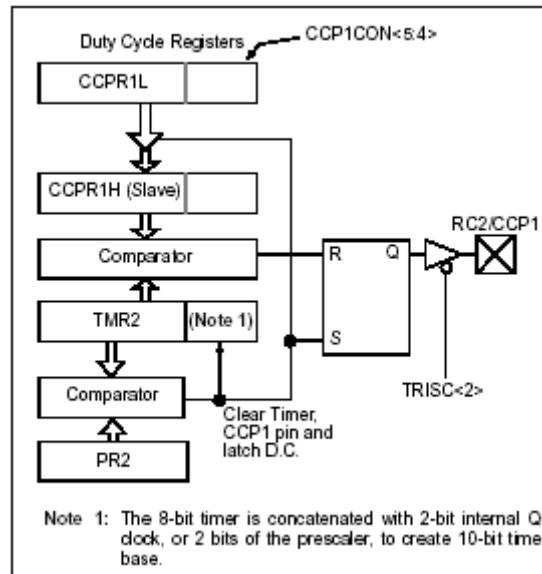


Fig 2.2 Diagrama de bloques del módulo CCP en modo PWM

En el presente proyecto se va a generar como se dijo anteriormente una señal senoidal en base a una señal PWM procedente del microcontrolador. Esto se realiza enviando cada cierto tiempo los diferentes puntos correspondientes a la señal senoidal para “dibujarla”. Los valores de estos puntos serán escritos en los registros CCPR1L<sup>24</sup> y CCP1CON<5; 4>, que son registros del PIC que permiten la configuración del ancho de pulso, y luego serán enviados cada cierto tiempo dependiendo de la configuración del timer. Los valores que serán cargados a dichos registros se calculan empleando la siguiente fórmula:

$$PWM_{CicloUtil} = (CCPR1L : CCP1CON < 5 : 4 >) \times T_{OSC} \times TMR2_{VALORPRESCALADOR}$$

El período será especificado de acuerdo al valor que sea escrito en el registro PR2, que como sabemos en la modulación PWM es constante y puede ser calculado con la siguiente fórmula:

$$PWM_{Período} = (PR2 + 1) \times 4 \times T_{OSC} \times TMR2_{VALORPRESCALADOR}$$

La señal que se obtiene a la salida del módulo CCP en modo PWM es como lo muestra la (fig 2.3), y como se dijo anteriormente el valor del ciclo útil puede ser

<sup>24</sup> Ver anexo Especificaciones del Microcontrolador PIC16F873A

variado dependiendo del valor que sea cargado a los registros CCPR1L y CCP1CON<5; 4>. En este caso se va a trabajar con 8 bits por lo que se usará únicamente el registro CCPR1L. Así por ejemplo si se necesita a la salida un voltaje alto (próximo a los 5V de alimentación) se puede escribir un valor cercano a 255 y si se necesita un voltaje bajo se escribirá un valor cercano a 0. En la (fig 2.4) se pueden observar algunas de las salidas PWM que se lograrán obtener en función de porcentajes con respecto al período de trabajo.

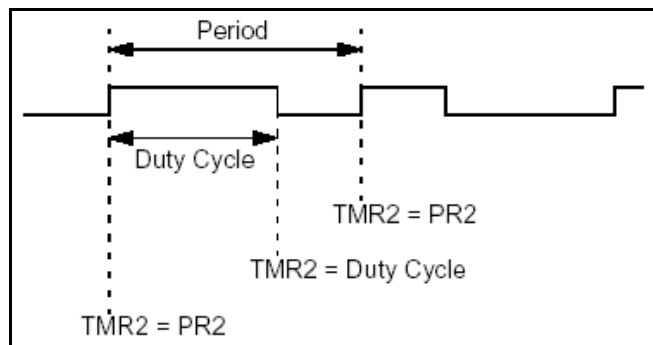


Fig 2.3 Salida PWM

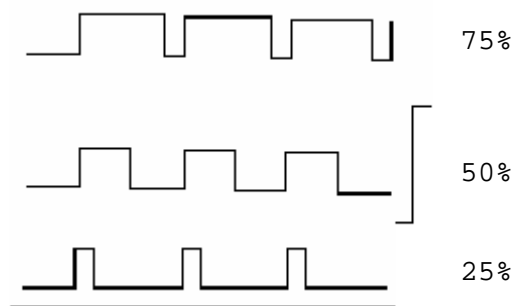


Fig 2.4 Salida PWM

### 2.2.3 DEMODULACIÓN PWM

Para esta etapa se utiliza el principio de carga y descarga de un capacitor (fig 2.5). Como se conoce, el capacitor es un dispositivo que al aplicársele una [fuente de alimentación](#) de [corriente continua](#) se comporta de una manera especial.

Como la señal que el microcontrolador está enviando es una señal TTL, es decir varía entre 0 y 1L, no siempre el circuito paralelo serie-condensador está alimentado, por lo que el circuito es equivalente a un switch que se cierra y se

abre. En este proceso se puede obtener la señal senoidal ya que los valores de voltaje que se encuentran contenidos en la señal PWM que se están enviando varían de acuerdo a una función seno.

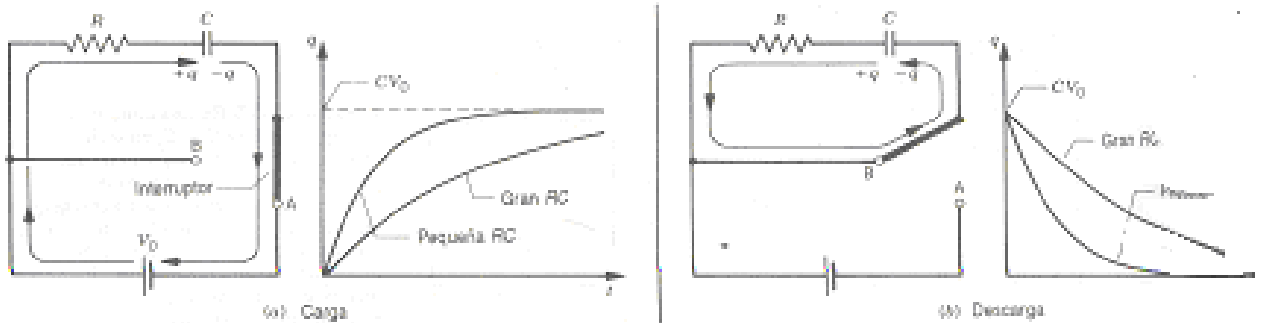


Fig 2.5 Circuitos RC

## 2.2.4 FILTRAJE

Una vez que la señal PWM ha sido demodulada, es necesario eliminar la componente de tensión continua de ésta, para evitar que los equipos que se utilizarán en las siguientes etapas de la transmisión de señales sísmicas sufran daño alguno, y además será necesario filtrar a dicha señal para eliminar la mayor parte del ruido que se ha generado durante el proceso de su obtención. Esto se lo va a realizar con la construcción de una etapa de filtraje, que constará de dos filtros: uno pasa altos y dos pasa bajos.

Como se mencionó en el capítulo 1, existen dos tipos de filtros según sus componentes constitutivos, estos son filtros activos y filtros pasivos.

En el presente trabajo se van a emplear filtros activos, es decir aquellos formados por resistencias, condensadores y amplificadores operacionales debido a su bajo costo, flexibilidad y eficiencia.

### FILTRO 1:

El primer filtro será un pasa altos de segundo orden y ganancia unitaria, cuyo propósito será el de permitir el paso de frecuencias altas desde una frecuencia de corte ( $f_c$ ) que en este caso es de 0,1Hz hacia arriba y mantendrá la señal con su tensión original. Esto se lo efectúa con el fin de eliminar en lo posible el ruido de baja frecuencia que pueda tener la señal. Es de ganancia unitaria ya que se necesita que la señal pase con la misma amplitud, es decir no sufra

atenuación o amplificación alguna. Se diseñará un filtro con las características mencionadas y de estructura Sallen-Key, que es un tipo de filtro electrónico activo que emplea dos resistencias, dos condensadores y amplificador como lo muestra la (fig 2.6).

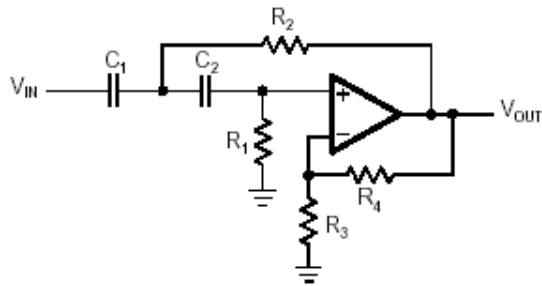


Fig 2.6 Estructura Sallen-Key Filtro Pasa altos

El cálculo<sup>25</sup> de los componentes para un filtro pasa altos de segundo orden (fig 2.) se los realiza en base a la función de transferencia (ecuación 2.1):

$$A(s) = \frac{\alpha}{1 + \frac{R_2(C_1 + C_2) + R_1 C_2(1 - \alpha)}{\omega_c R_1 R_2 C_1 C_2} \cdot \frac{1}{s} + \frac{1}{\omega_c^2 R_1 R_2 C_1 C_2} \cdot \frac{1}{s^2}} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde: 
$$\alpha = 1 + \frac{R_4}{R_3}$$

Pero como en este caso se va a configurar un seguidor de voltaje (fig 2.7), la función de transferencia cuando  $C_1 = C_2 = C$  (para facilidad de cálculos), quedaría expresada como lo indica la (ecuación 2.2):

$$A(s) = \frac{1}{1 + \frac{2}{\omega_c R_1 C} \cdot \frac{1}{s} + \frac{1}{\omega_c^2 R_1 R_2 C^2} \cdot \frac{1}{s^2}} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Donde:

$$a_1 = \frac{2}{\omega_c R_1 C}$$

$$b_1 = \frac{1}{\omega_c^2 R_1 R_2 C^2}$$

<sup>25</sup> Ver anexos Diseño de Filtros de Segundo Orden

Y reemplazando en la función de transferencia quedaría:

$$A(s) = \frac{1}{1 + a_1 \cdot \frac{1}{s} + b_1 \cdot \frac{1}{s^2}}$$

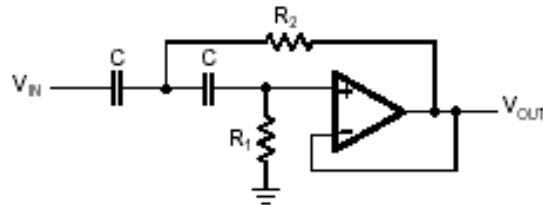


Fig 2.7 Estructura Sallen-Key Filtro Pasa altos Ganancia Unitaria

Para la etapa de filtraje se va a emplear un filtro Butterworth, por lo que los valores de los coeficientes<sup>26</sup> para un filtro de segundo orden podrán ser encontrados en la tabla (2.1).

SECOND-ORDER	BESSEL	BUTTERWORTH	3-dB TSCHEBYSCHIEFF
a <sub>1</sub>	1.3617	1.4142	1.065
b <sub>1</sub>	0.618	1	1.9305
Q	0.58	0.71	1.3
R <sub>4</sub> /R <sub>3</sub>	0.268	0.568	0.234

Tabla 2. 1 Coeficientes de filtros de segundo orden

Es recomendable emplear valores de condensadores iguales, por lo que se tiene que C<sub>1</sub> = C<sub>2</sub>, entonces se halla el valor de las resistencias aplicando la ecuación 2.3:

$$R_1 = \frac{1}{\pi f_c C a_1}$$

$$R_2 = \frac{a_1}{4\pi f_c C b_1}$$

Ecuación 2.3

---

<sup>26</sup> Ver anexos de Diseño de Filtros Activos



## FILTRO 2:

La segunda parte de esta etapa está constituida por un filtro pasa bajos, que al igual que el anterior es de segundo orden y ganancia unitaria. El propósito de este es de permitir el paso de frecuencias menores a la frecuencia de corte que en este caso es de 20Hz con el fin de eliminar las señales no deseadas que se puedan introducir en el circuito. De similar manera se diseñará un filtro Butterworth de estructura Sallen-Key como lo muestra la (fig 2.8).

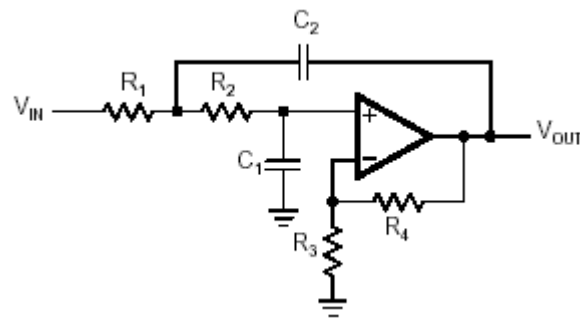


Fig 2.8 Estructura Sallen-Key Filtro Pasa bajos

La función de transferencia de este filtro lo indica la ecuación 2.4:

$$A(s) = \frac{A_0}{1 + \omega_c [C_1(R_1 + R_2) + (1 - A_0) R_1 C_2] s + \omega_c^2 R_1 R_2 C_1 C_2 s^2} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Pero como en este caso se va a configurar un seguidor de voltaje (fig. 2.9) la función de transferencia (ecuación 2.5) es la siguiente:

$$A(s) = \frac{1}{1 + \omega_c C_1 (R_1 + R_2) s + \omega_c^2 R_1 R_2 C_1 C_2 s^2} \quad \text{Ecuación 2.5}$$

En donde:

$$\begin{aligned} A_0 &= 1 \\ a_1 &= \omega_c C_1 (R_1 + R_2) \\ b_1 &= \omega_c^2 R_1 R_2 C_1 C_2 \end{aligned}$$

Y reemplazando en la función de transferencia quedaría:

$$A(s) = \frac{1}{1 + a_1 \cdot s + b_1 \cdot s^2}$$

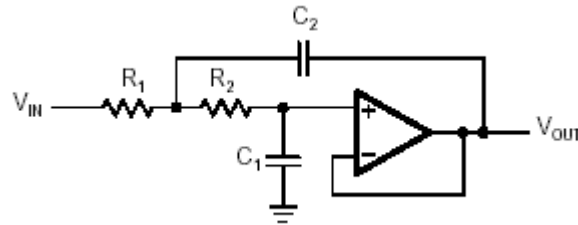


Fig 2.9 Estructura Sallen-Key Filtro Pasa bajos Ganancia Unitaria

Como se señaló anteriormente se va a realizar un filtro Butterworth<sup>27</sup> seguidor de tensión y se utilizarán los valores de los coeficientes indicados en la tabla 2.1.

Escogemos el valor de C1 y a partir de éste hallamos el valor de C2:

$$C_2 \geq C_1 \frac{4b_1}{a_1^2}$$

Una vez que tenemos el valor de los condensadores calculamos el de las resistencias:

$$R_{1,2} = \frac{a_1 C_2 \mp \sqrt{a_1^2 C_2^2 - 4b_1 C_1 C_2}}{4\pi f_c C_1 C_2}$$

#### 2.2.4.1 Amplificador Operacional

El componente activo que se utilizará en los filtros descritos es el amplificador operacional del TL074CN<sup>28</sup> (fig. 2.10), que es un circuito integrado constituido

<sup>27</sup> Ver página web [http://labatc.umh.es/sed/Documentos/Tema\\_7\\_SED.pdf](http://labatc.umh.es/sed/Documentos/Tema_7_SED.pdf)

<sup>28</sup> Ver anexos Especificaciones de los dispositivos electrónicos utilizados.

por 4 amplificadores operacionales, donde dos de dichos elementos activos serán usados para la presente etapa de filtraje.

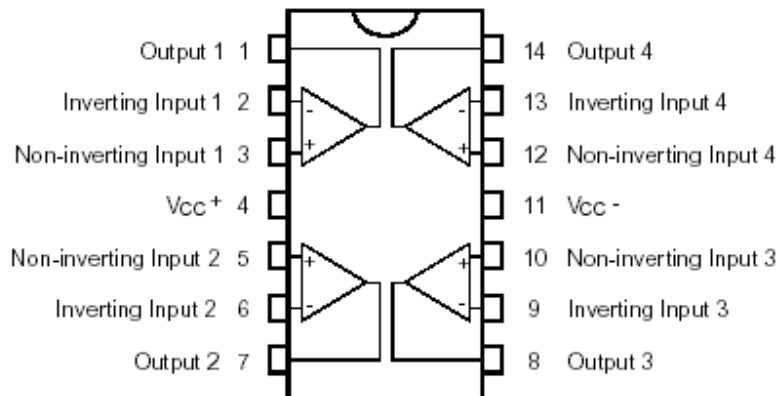


Fig 2.10 Diagrama de Pines TL074CN

Estos amplificadores operacionales se alimentan con fuentes positivas y negativas que pueden variar entre  $\pm 18V$ , lo cual permite que tenga excursiones tanto por arriba como por debajo de tierra (o el punto de referencia que se considere), lo que es de gran importancia para la construcción del Calibrador Telemétrico Digital.

### 2.2.5 ATENUACIÓN

Esta etapa permitirá ajustar el valor de tensión a la salida del circuito dependiendo del valor seleccionado por el usuario.

El circuito integrado escogido es el AD7376AN<sup>29</sup> (fig.2.11), que es una resistencia digital o potenciómetro digital cuyo valor de resistencia entre los terminales fijos es de  $10k\Omega$  empleado para la atenuación de la señal.

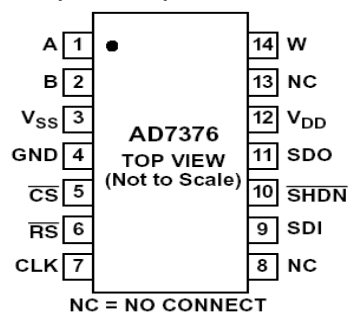


Fig 2.11 Diagrama de Pines AD7376AN

<sup>29</sup> Ver anexo de Especificaciones de los dispositivos electrónicos utilizados

El valor de resistencia de este dispositivo podrá ser controlado mediante un código de 7 bits enviados serialmente desde el microcontrolador mediante comunicación SPI. La (fig 2.12 muestra el diagrama de bloques funcional del potenciómetro digital.

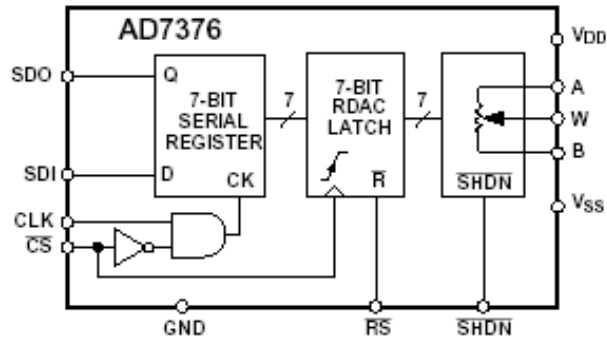


Fig 2.12 Diagrama de Bloques AD7376AN

### 2.2.6 FUENTES DE ALIMENTACIÓN Y POLARIZACIÓN DEL CIRCUITO

Esta etapa es la encargada de proveer los voltajes necesarios para el funcionamiento de los diferentes componentes electrónicos y circuitos integrados que conforman el Calibrador Telemétrico.

En vista de que el diseño del presente proyecto tiene como objetivo ser práctico y no debe utilizar fuentes de alimentación extras, se debe utilizar las existentes en cada una de las estaciones y repetidoras de la red, por lo que se tiene que trabajar con un voltaje de alimentación de  $12V_{DC}$ .

Para que el microcontrolador funcione correctamente, el voltaje que necesita está en el rango de 2V a 5.5V, pero se recomienda que sea de alrededor de 5V. Para obtener este valor de tensión se utilizará un regulador de voltaje, que no es más que un dispositivo electrónico que permite conseguir un valor de salida estable deseado en base a un nivel de entrada que en este caso es de  $12V_{DC}$ .

El circuito que se ha seleccionado por las características que presenta como bajo consumo de potencia, estabilidad y bajo costo es el LM7805<sup>30</sup>, que puede ser observado en la (fig. 2.13).

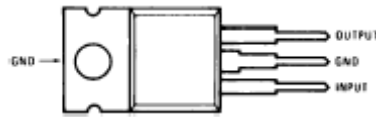


Fig 2.13 Distribución de Pines del CI LM7805C

Los  $5V_{DC}$  también serán utilizados para alimentar a la resistencia digital de la etapa de atenuación.

Como aparte de los voltajes positivos se requiere de una fuente de alimentación negativa, se diseñará un circuito que permita obtener este voltaje, por lo que se empleará el circuito integrado ICL7662<sup>31</sup> (fig. 2.14), que permite convertir un voltaje positivo colocado a la entrada dentro de un rango de +4.5V a +20V a un voltaje negativo cuya salida estará entre -4.5V a -20V.

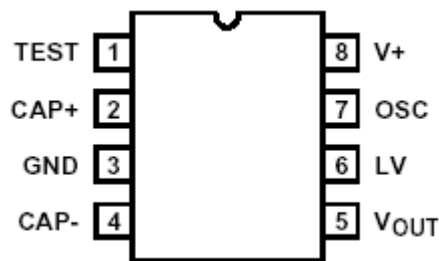


Fig 2.14 Diagrama de Pines TL074CN

### 2.2.7 CIRCUITO DE VISUALIZACIÓN

Esta etapa no es más que un conjunto de leds que permitirán al usuario darse cuenta del modo en el que el equipo está trabajando.

Existirán 4 diodos led, en donde 3 de ellos serán para señalar una amplitud diferente así por ejemplo el primero indicará cuando la señal que se esté

---

<sup>30</sup> Ver anexos de dispositivos electrónicos utilizados

<sup>31</sup> Ver anexos de dispositivos electrónicos utilizados

generando sea de 25uV, el segundo para 250uV, el tercero para 2500uV; y el cuarto para indicar que el circuito está alimentado y listo para funcionar.

## 1.8 DISEÑO DE LAS ETAPAS

### 2.3.1 ETAPA DE SELECCIÓN DE AMPLITUD

Para esta etapa se van a emplear pulsadores, de manera que cuando el usuario pulse uno de ellos se genere un cambio de estado en uno de los pines del PIC del puerto RB4-RB7.

Como se dijo anteriormente estos pulsadores serán normalmente abiertos, es decir que cuando sean presionados cambiarán de 0L a 1L. Para esto se realizará el diseño del circuito que quedará como indica la (fig. 2.15).

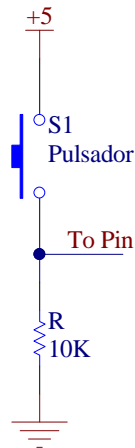


Fig 2.15 Diagrama circuital del circuito de interrupción

### 2.3.2 ETAPA DE GENERACIÓN DE LA SEÑAL PWM

Cuando el microcontrolador haya detectado que se ha generado una interrupción en unos de los pines más altos del puerto B, inmediatamente el PIC recibirá la orden de generar la señal modulada por ancho de pulso.

Para lograr esto se deben realizar diferentes cálculos de manera que se pueda obtener la señal con las características que se necesiten.

Como se indicó en la parte de funcionamiento del equipo, se va a “dibujar” a la señal senoidal enviando los puntos de esta contenidos en la señal PWM cada cierto tiempo. Para ello lo primero que se debe recordar es que para que el PIC procese las instrucciones necesita de un reloj cuyos impulsos determinen la

velocidad de trabajo. El oscilador<sup>32</sup> que genera estos impulsos se encuentra dentro del circuito integrado, pero para estabilizar y seleccionar la frecuencia de trabajo se necesita colocar externamente un circuito (fig. 2.16) entre los pines OSC1/CLKIN y OSC2/CLKOUT. Para este proyecto se va a trabajar con un oscilador tipo HS, de 16MHz, que se caracteriza por su alta velocidad y buena estabilidad en frecuencias comprendidas entre 4 y 20MHz.

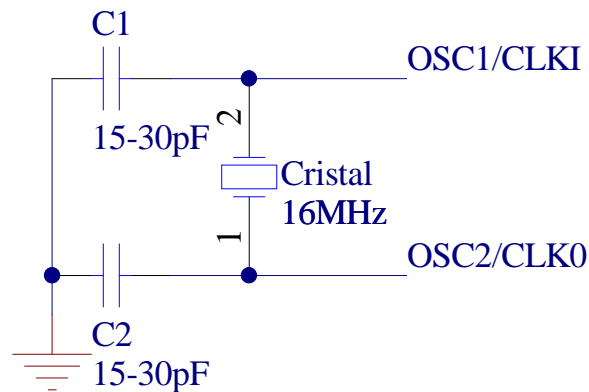


Fig 2.16 Diagrama de conexión de circuito de reloj

En los PICs, un ciclo de instrucción emplea cuatro periodos de oscilación del reloj principal, entonces como la frecuencia del reloj es de 16MHz, un ciclo de instrucción tardará en ejecutarse:

$$T_{osc} = \frac{1}{f_{osc}} = \frac{1}{16MHz}$$

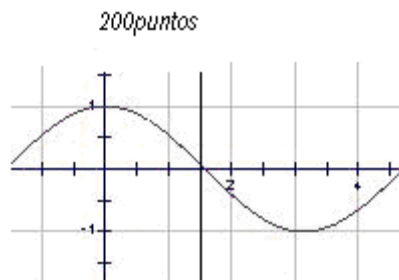
$$CicludeMáquina = 4 \times T_{osc} = 4 \times \frac{1}{16MHz} = 250ns$$

Como el objetivo es generar una señal a 1Hz, es decir de período 1s, se debe determinar cada cuántos sobre flujos del timer 0 se va a enviar un dato (punto de la señal senoidal) a través del pin RC2/CCP1.

Para esto primero se establece cuántos puntos de la señal se desea dibujar y según este valor se determina cuántos sobre flujos hay que dejar contar al timer para que el PIC envíe dichos puntos.

<sup>32</sup> Ver anexos especificaciones del microcontrolador PIC16F873A

Si se desea enviar 200 puntos de la señal en medio período, el PIC debe esperar 2,5ms para enviar un dato:



$$t_{\text{punto}} = \frac{T}{\# \text{ pasos}} = \frac{500\text{ms}}{200 \text{ pasos}} = 2.5\text{ms}$$

Se usará un divisor de frecuencia, que simplemente divide la frecuencia del reloj, es decir aumenta la duración de los impulsos de reloj. Esto lo podemos definir en los bits [PS0, PS1, PS2] según el siguiente cuadro (tabla 2.2):

PS2 - PS0	División TMR0	División WDT
000	1 : 2	1 : 1
001	1 : 4	1 : 2
010	1 : 8	1 : 4
011	1 : 16	1 : 8
100	1 : 32	1 : 16
101	1 : 64	1 : 32
110	1 : 128	1 : 64
111	1 : 256	1 : 128

Tabla 2. 2 Bits de configuración de los bits PS0-PS2

El tiempo que se demora el WDT en desbordarse, es decir en llegar a 255, se calcula empleando la siguiente fórmula:

$$t = \text{CicloInstrucción} \times \text{ValorTMR0} \times \text{ValorDivisordeFrecuencia}$$

$$t = 250\text{ns} \times 256\text{bits} \times 1$$

$$t = 64\text{us}$$

Este resultado indica que para que el timer 0 se desborde deberán transcurrir 64us. En vista de que se requieren 2,5ms para completar el envío de los puntos de la señal, se necesita que el timer 0 se desborde 39 veces.



Ahora se van a encontrar los valores que se deben cargar a los registros relacionados con el módulo para PWM.

$$PWM_{\text{Período}} = (PR2 + 1) \times 4 \times T_{OSC} \times TMR2_{\text{VALORPRESCALADOR}}$$

$$500ms = (PR2 + 1) \times 4 \times \left(\frac{1}{16}\right) \times 16$$

$$PR2 = 124$$

Otro registro importante es el CCPR1L, el cual es el encargado de indicar al PIC el ciclo útil de la señal PWM. El valor cargado a este registro irá variando cada 39 sobre flujos del timer 0.

### 2.3.3 DEMODULACIÓN PWM

Esta etapa está conformada por dos elementos pasivos colocados en paralelo: una resistencia y un condensador (fig 2.17).

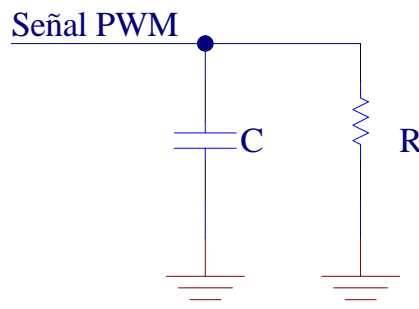


Fig 2.17 Diagrama de conexión del circuito demodulador

### 2.3.4 FILTRAJE

Como se explicó anteriormente el circuito constará de filtros activos de segundo orden Butterworth y configuración Sallen-Key.

El primer filtro pasa altos constará de los elementos cuyos valores se calculan a continuación:

Fijamos el valor de los condensadores:

$$C = C1 = C2 = 1\mu F$$

Para encontrar el valor de las resistencias, es necesario basarse en la tabla de coeficientes para filtros activos de segundo orden:

SECOND-ORDER	BESSEL	BUTTERWORTH	3-dB TSCHEBYSCHIEFF
$a_1$	1.3617	1.4142	1.065
$b_1$	0.618	1	1.9305
Q	0.58	0.71	1.3
$R_4/R_3$	0.268	0.568	0.234

$$R_1 = \frac{a_1}{4\pi \cdot f_c \cdot C \cdot b_1}$$

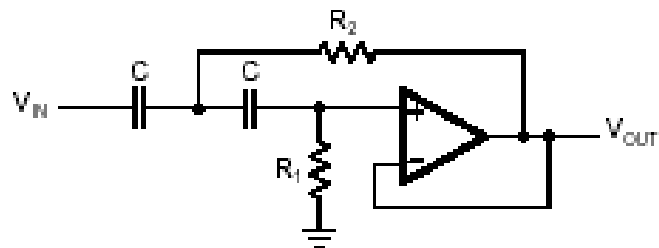
$$R_1 = \frac{1.4142}{4\pi(0.1)(1\mu F)(1)}$$

$$R_1 = 1.125M\Omega$$

$$R_2 = \frac{1}{\pi \cdot f_c \cdot C \cdot a_1}$$

$$R_2 = \frac{1}{\pi(0.1)(1\mu F)(1.4142)}$$

$$R_2 = 2.25M\Omega$$



El segundo filtro será un pasa bajos de frecuencia de corte 20Hz, cuyos componentes se calculan a continuación:

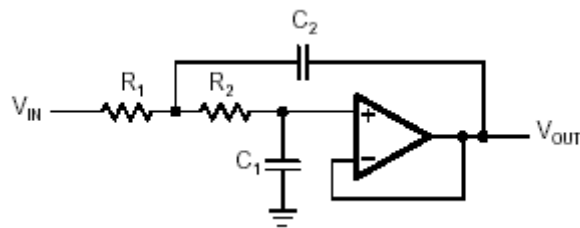
Se selecciona el valor de un condensador  $C_1=0.47\mu F$ :

$$R_{1,2} = \frac{a_1 C_2 \mp \sqrt{a_1^2 C_2^2 - 4b_1 C_1 C_2}}{4\pi f_c C_1 C_2}$$

$$R_{1,2} = \frac{1.4142(1\mu F) \mp \sqrt{(1.4142)^2 (1\mu F)^2 - 4(1)(0.47\mu F)(1\mu F)}}{4\pi(20)(1\mu F)(0.47\mu F)}$$

$$R_1 = 9k\Omega$$

$$R_2 = 15k\Omega$$



### 2.3.5 ATENUACIÓN

Para esta etapa se va a emplear un potenciómetro digital que es configurado través de comunicación serial SPI, que consiste en la transferencia de datos de 8 bits en serie. Para establecer esta comunicación se necesitan 2 o 3 líneas del PIC dependiendo si vamos sólo a transmitir o sólo a recibir o a transmitir y recibir datos. En este proyecto únicamente utilizaremos dos líneas: SDO (salida serial de datos) y SCK (reloj de sincronización) porque únicamente se va a transmitir. El microcontrolador va a trabajar como master por lo que se deben configurar los pines RC3/SDO y SCK como salida.

Para poner en funcionamiento el potenciómetro digital se debe seguir el control lógico que muestra la tabla 2.3.

CLK	$\overline{\text{CS}}$	$\overline{\text{RS}}$	$\overline{\text{SHDN}}$	Register Activity
L	L	H	H	Enables SR, enables SDO pin.
P	L	H	H	Shifts one bit in from the SDI pin. The seventh previously entered bit is shifted out of the SDO pin.
X	P	H	H	Loads SR data into 7-bit RDAC latch.
X	H	H	H	No Operation.
X	X	L	H	Sets 7-bit RDAC latch to mid-scale, wiper centered, and SDO latch cleared.
X	H	P	H	Latches 7-bit RDAC latch to $40_{\text{H}}$ .
X	H	H	L	Opens circuit resistor A-terminal, connects W to B, turns off SDO output transistor.

NOTE

P = positive edge, X = don't care, SR = shift register.

Tabla 2.3 Registro de control del CI AD7376

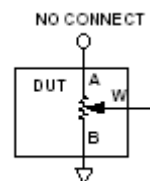
La resistencia digital está dividida en 128 posiciones digitales que permitirán obtener desde aproximadamente  $198\Omega$  a  $10\text{k}\Omega$  según el código que ingrese al dispositivo, así en la tabla 2.4 se puede observar un ejemplo de esto.

D (DEC)	$R_{\text{WB}}$ ( $\Omega$ )	Output State
127	10041	Full-Scale
64	5120	Midscale ( $\overline{\text{RS}} = 0$ Condition)
1	276	1 LSB
0	198	Zero-Scale (Wiper Contact Resistance)

Tabla 2.4 Registro de control del CI AD7376

Para encontrar los valores de resistencia que se desea obtener a la salida se emplea la fórmula:

$$R_{\text{WB}}(D) = (D)/128 \times R_{\text{BA}} + R_{\text{W}}$$



Donde:

$R_{WB}$ : es la resistencia entre el Terminal fijo B y el Terminal variable W

D: es el código decimal que envía el microcontrolador

$R_{BA}$ : es la resistencia nominal (aproximadamente  $10k\Omega$ )

$R_W$ : Es la resistencia del primer paso ( $120\Omega$ ).

### 2.3.6 REDISEÑO DE LA ETAPA DE ATENUACIÓN: ETAPA DE AMPLIFICACIÓN Y ATENUACIÓN

Al realizar la etapa de atenuación, ésta funcionó correctamente pero se optó por emplear otro dispositivo en lugar de la resistencia digital debido a que este integrado era escaso en el laboratorio del Departamento de Geofísica y además se tuvieron que realizar cambios en cuanto a la amplitud de las señales que se van a obtener a la salida.

Los cambios realizados en el tamaño de las señales se deben a que al realizar las pruebas de calibración telemétrica ya en campo, se observó una saturación en los acelerógrafos. Esto ocurre porque las señales enviadas desde el calibrador son demasiado grandes por lo que se necesita generar sinusoidales con amplitudes de  $25\mu V$ ,  $250\mu V$  y  $2500\mu V$ .

El nuevo dispositivo empleado es un multiplexor que va a recibir varias entradas y permitir únicamente el paso de una de ellas dependiendo el canal que se escoja a través de unos pines de control. Este multiplexor analógico<sup>33</sup> (fig. 2.18) dispone de 8 canales con una sola salida.

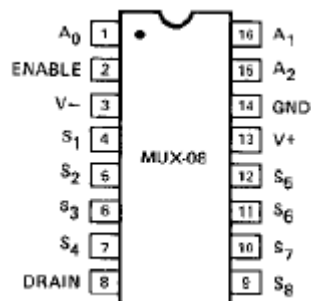


Fig 2.18 Diagrama de pines del MUX08EP

<sup>33</sup> Ver anexo Especificaciones de los dispositivos electrónicos utilizados

La función de un multiplexor da lugar a diferentes aplicaciones:

- Selector de entradas.
- Serializador: Convierte datos desde el formato paralelo al formato serie.
- Transmisión multiplexada: Utilizando las mismas líneas de conexión, se transmiten diferentes datos de distinta procedencia.
- Realización de funciones lógicas: Utilizando inversores y conectando a 0 ó 1 las entradas según interese, se consigue diseñar funciones complejas, de un modo más compacto que con las tradicionales puertas lógicas.

La selección del canal que va a ser transmitido es controlada por entradas de selección, llamadas también entradas de enrutamiento. En la (fig 2.19) se puede observar el diagrama funcional de un multiplexor, en donde S<sub>1</sub>-S<sub>8</sub> son las entradas, A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub> son los pines de control del dispositivo.

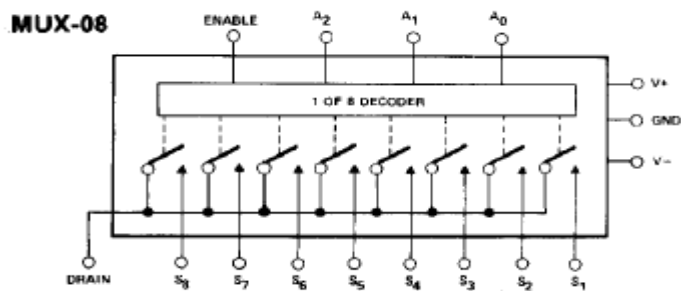


Fig 2.19 Diagrama funcional del multiplexor

El estado lógico de estas entradas de selección funciona como lo muestra la tabla 2.5.

A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>0</sub>	EN	"ON" CHANNEL
X	X	X	L	NONE
L	L	L	H	1
L	L	H	H	2
L	H	L	H	3
L	H	H	H	4
H	L	L	H	5
H	L	H	H	6
H	H	L	H	7
H	H	H	H	8

Tabla 2.5 Registro de control del multiplexor MUX08EP

Se va a generar una señal de aproximadamente  $500\text{mV}_{pp}$  para que se la señal sea lo más nítida posible y luego poder atenuarla sin que pierda sus características.

Para lograr dicha atenuación se va a emplear un amplificador operacional.

El amplificador a utilizarse es el OP77<sup>34</sup>, que será configurado como un amplificador inversor (fig 2.20), en donde la señal que ha sido multiplexada ingresará por la entrada negativa y cuyo valor variará dependiendo de los valores de resistencia  $R_f$  y  $R_{in}$ .

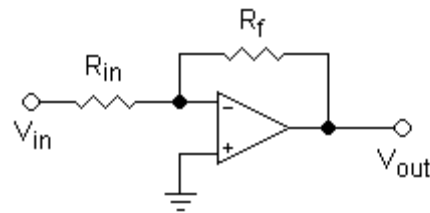


Fig 2.20 Diagrama de un amplificador inversor

Donde  $R_{in}$  es una resistencia fija y  $R_f$  es una resistencia que se encuentra colocada en una de las entradas del multiplexor.

El valor de tensión se calcula empleando la siguiente fórmula:

$$V_{OUT} = -V_{in} \frac{R_f}{R_{in}}$$

## 1.9 PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR

### 2.4.1 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN C

El microcontrolador PIC va a ejecutar un programa que va a ser escrito mediante la utilización del lenguaje C.

C<sup>35</sup> es un lenguaje orientado a la programación de sistemas, es muy flexible, con una sintaxis compacta y de alta portabilidad. Esto quiere decir que puede realizar llamadas a funciones en librerías externas independizándolo del

---

<sup>34</sup> Ver anexo Especificaciones de los dispositivos electrónicos utilizados

<sup>35</sup> Ver página web [http://sopa.dis.ulpgc.es/so/cpp/intro\\_c/](http://sopa.dis.ulpgc.es/so/cpp/intro_c/)

hardware. Es un lenguaje de bajo nivel, no porque sea simple, sino que maneja los elementos básicos presentes en todas las computadoras como caracteres, números y direcciones. Es muy expresivo, ya que se pueden realizar muchas funciones escribiendo pocas líneas de código.

#### **2.4.1.1 Fases de Desarrollo de un Programa C**

La compilación de un programa C se realiza en varias fases que normalmente son automatizadas y ocultas por los entornos de desarrollo a utilizarse, en la presente tesis dicho entorno es el MPLAB y consta de las siguientes fases:

**PREPROCESADO:** El preprocesado es una fase que comparten algunos lenguajes de programación, anterior a la fase de compilación propiamente dicha. Modifica el código fuente en C según una serie de instrucciones (denominadas directivas de preprocesado) simplificando de esta forma el trabajo del compilador.

Las transformaciones incluyen:

- Eliminar los comentarios.
- Incluir en el fuente el contenido de los ficheros declarados con `#include <fichero>` (a estos ficheros se les suele llamar cabeceras)
- Sustituir en el fuente las macros declaradas con `#define` (ej. `#define CIEN 100`)

**COMPILACIÓN:** Convierte el archivo fuente entregado por el preprocesador en un archivo en lenguaje máquina: fichero objeto. Algunos compiladores pasan por una fase intermedia en lenguaje ensamblador.

**ENLAZADO:** Un fichero objeto es código máquina, pero no se puede ejecutar, porque le falta código que se encuentra en otros archivos binarios.

El enlazador genera el ejecutable binario, a partir del contenido de los ficheros objetos y de las bibliotecas.

Las bibliotecas contienen el código de funciones precompiladas, a las que el archivo fuente llama.

---



### 2.4.1.2 Forma General de un Programa en C

Todos los programas escritos en C se componen de una o más rutinas o funciones, no teniendo por qué estar todas en un mismo fichero, es decir pueden escribirse programas en C cuyo código esté repartido por varios ficheros. Una de estas funciones, `main()` es de obligatoria declaración en todos los programas C, ya que será en esa función donde comience la ejecución de nuestro programa. El código debe elaborarse y estructurarse teniendo en cuenta este punto de entrada.

Como decíamos uno de los elementos principales de todo programa C son las funciones. Cada función está compuesta por los siguientes elementos:

- Una cabecera de función: la misión de la cabecera es identificar la función, así como declarar el tipo de datos que devuelve.
- Declaración de argumentos: la declaración de argumentos informa de los parámetros que recibe la función (en caso de recibir alguno).
- Una *sentencia compuesta*: que contiene el código de la función.

```
#include <biblioteca1.h>
```

```
#include <biblioteca2.h>
```

```
... declaraciones de funciones ...
```

```
... definiciones (cuerpos de funciones) ...
```

```
... declaraciones de variables globales ...
```

```
main()
```

```
{
```

```
... cuerpo del main ...
```

```
}
```

```
... otras definiciones de funciones ...
```

### 2.4.1.3 Elementos de Programación

La programación en lenguaje C consta de los siguientes elementos:

Estructura de datos:

- Literales, tipos básicos, tipos enumerados
- Tipos estructurados
- Punteros y vectores

Construcciones algorítmicas:

- Construcciones condicionales (if, switch)
- Construcciones iterativas (while, for, do...while)
- Subrutinas (funciones)

### 2.4.1.4 Tipos de Datos

En C existen tipos de datos numéricos y modificadores.

Numéricos:

- Int: Contiene un número entero
- Char: Puede contener un caracter del conjunto de caracteres locales
- Float: Contiene un número en coma flotante
- Double: Contiene un número en coma flotante de precisión doble

Modificadores:

- Signed: Indica al compilador que la variable declarada tomará valores negativos y positivos.
- Unsigned: Indica al compilador que la variable declarada tomará valores solo positivos o cero.
- Short: Para entero corto
- Long: Para entero largo

## 2.4.2 MPLAB

El entorno MPLAB<sup>36</sup> es un IDE (Integrated Development Environment o Entorno de Desarrollo Integrado). Es una herramienta para escribir y desarrollar código en lenguaje ensamblador para los microcontroladores PIC. MPLAB incorpora todas las herramientas necesarias para la realización de cualquier proyecto, ya que además de un editor de textos cuenta con un simulador en el que se puede ejecutar el código paso a paso para ver así su evolución y el estado en el que se encuentran sus registros en cada momento.

Entre las ventajas que ofrece el MPLAB están:

- Depurar sus programas fuente.
- Detectar errores automáticamente en sus programas fuente para editarlos.
- Observar el flujo del programa con el simulador MPLAB -SIM, ó seguirlo en tiempo real utilizando el emulador PICMASTER.
- Realizar medidas de tiempo utilizando un cronómetro.
- Mirar variables en las ventanas de observación.
- Encontrar respuestas rápidas a sus preguntas, utilizando la Ayuda en línea del MPLAB.

Esta herramienta permite organizar nuestros proyectos, agregar un archivo de programa fuente de proyecto, ensamblar o compilar programas fuente, editar programas fuente, compilar un solo archivo, depurar un programa fuente.

## 1.10 CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

Como las etapas del circuito Calibrador Telemétrico Digital ya han sido diseñadas, ahora es el momento de llevarlas a la práctica.

Con la ayuda del programa para diseño de circuitos impresos EAGLE, se realiza el diagrama circuital del presente proyecto, para luego obtener el Board y realizar el circuito impreso en una placa de baquelita. (Ver Anexo A: Diagramas del Equipo).

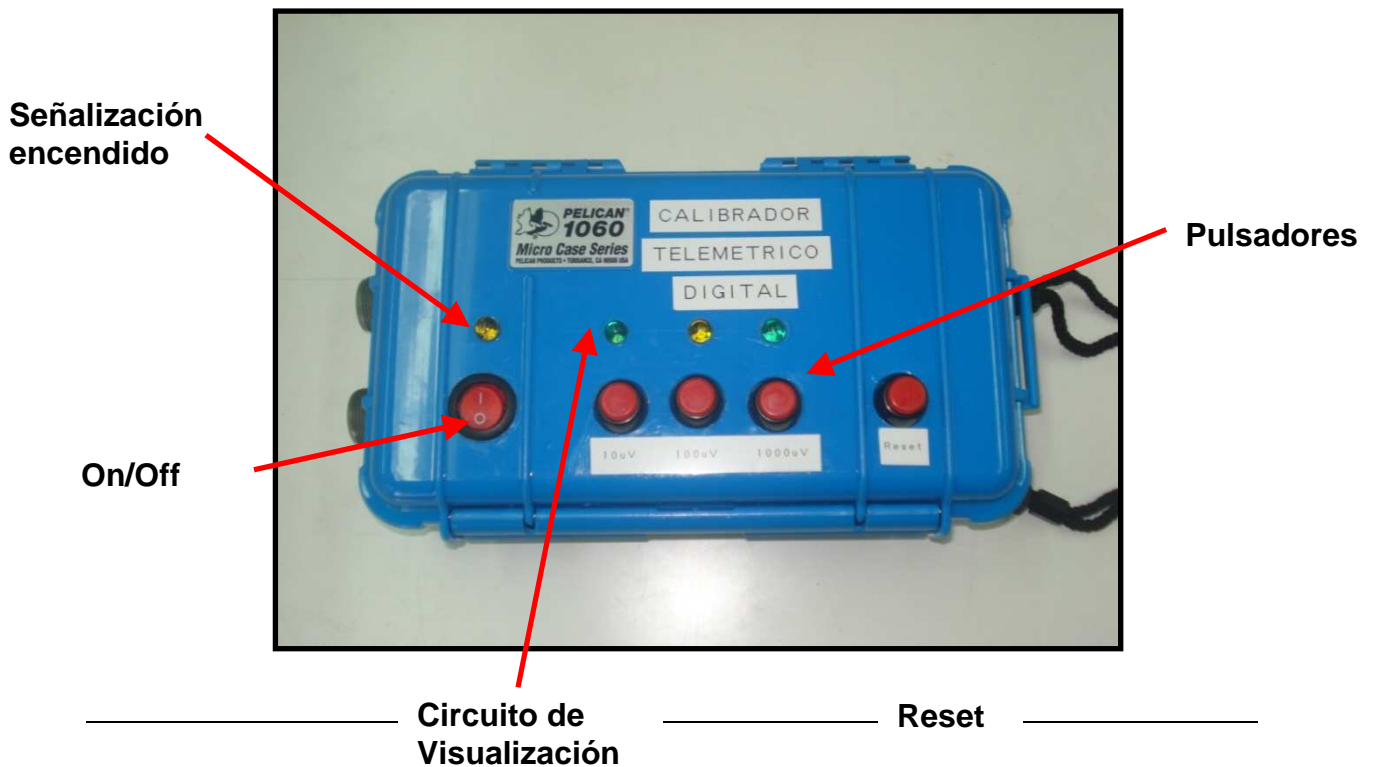
---

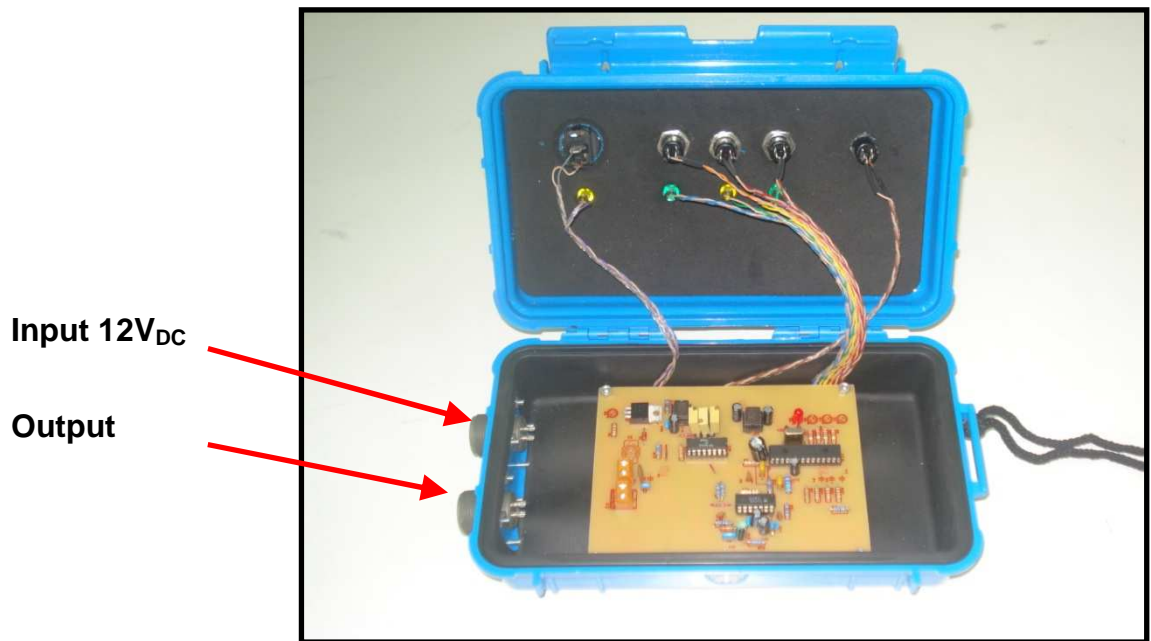
<sup>36</sup> Ver página web <http://micropic.wordpress.com/2007/01/22/mplab/>

Una vez finalizado el circuito impreso, se procede a quemar y soldar los elementos electrónicos a la placa.

El equipo Calibrador Telemétrico Digital está montado en una caja hermética, que consta de:

- Dos entradas para alimentación de 12V<sub>DC</sub>, que es el voltaje suministrado por las baterías que se encuentran en cada una de las estaciones y repetidoras de la Red Nacional del Instituto Geofísico.
- Tres entradas que contienen los pulsadores para la selección de la amplitud deseada.
- Una salida formada por un led para señalización de encendido del circuito.
- Tres salidas de visualización formadas por 3 leds que indican la señal que está siendo generada.
- Dos salidas para la señal senoidal.
- Un pulsador para dar reset al equipo.





### 1.11 PRUEBAS Y CALIBRACIÓN

Como se necesita obtener una señal senoidal a la salida del circuito, se realizaron pruebas experimentales con el fin de conseguir dicha señal.

En la parte de la programación de la PWM las primeras pruebas que se ejecutan son las de obtención de los valores que se cargarán a los registros PR2 y CCPR1L.

Como PR2 es el registro que contiene el valor de la frecuencia de la portadora en la que estará contenida la información, debe tener una frecuencia mayor a la de la señal de información por lo que se determinó este valor de acuerdo a pruebas experimentales:

Valor en registro PR2	Frecuencia portadora
200	1kHz
150	1.67kHz

124	2kHz
100	2.50kHz

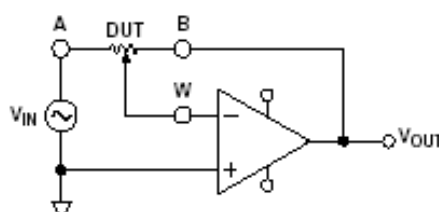
El valor de PR2 con el que se observaron mejores resultados es de 124.

Para determinar el valor que debe tener el registro que contiene el dato del ciclo útil de la señal se empleará la función seno al momento de programar. Las experiencias realizadas fueron bastantes, pero las más importantes son las siguientes:

CCPR1L	Amplitud	Observaciones:
$1 + \sin(i \times \pi / 90)$	-	La señal no puede ser observada ya que el valor cargado es muy pequeño.
$50 + \sin(i \times \pi / 90) + 90$	$4V_{pp}$	EL valor de amplitud es muy grande.
$10 + \sin(i \times \pi / 90) + 90$	$320mV_{pp}$	La señal presenta distorsiones
$5 + \sin(i \times \pi / 90) + 90$	$736mV_{pp}$	La señal está muy bien, pero su valor es muy grande aún.
$5 + \sin(i \times \pi / 90) + 110$	$350mV_{pp}$	El valor de la señal es muy pequeño.
$8 + \sin(i \times \pi / 90) + 110$	$540mV_{pp}$	El valor de amplitud es el deseado, pero la señal no es completamente senoidal.
$7 + \sin(i \times \pi / 90) + 100$	$636mV_{pp}$	La señal no es completamente senoidal.
$6 + \sin(i \times \pi / 90) + 100$	$488mV_{pp}$	La señal presenta distorsión
$5 + \sin(i \times \pi / 90) + 100$	$568mV_{pp}$	La señal se encuentra en el rango deseado y no presenta distorsiones mayores.
$7 + \sin(i \times \pi / 90) + 90$	$992mV_{pp}$	La señal es muy grande.
$3 + \sin(i \times \pi / 90) + 90$	$472mV_{pp}$	La señal presenta mucho ruido.

La señal en mejores condiciones que se aproxima más a  $500mV_{pp}$  y que presenta menos ruido, es aquella cuyo valor cargado al CCPR1L es  $5 + \sin(i \times \pi / 90) + 100$ .

Cuando se realizaron las pruebas utilizando un amplificador operacional en configuración de inversor y las resistencias que se podían generar con el potenciómetro digital con el fin de obtener ya la salida deseada se emplearon diferentes señales a su entrada como se muestra a continuación:



Señal de entrada: 300mVpp

Señal de salida que se desea obtener: 100mVpp

Código resistencia (decimal)	Amplitud obtenida (mVpp)
100	232
75	192
50	168
35	112
25	68
15	42
5	26.4
1	15.6

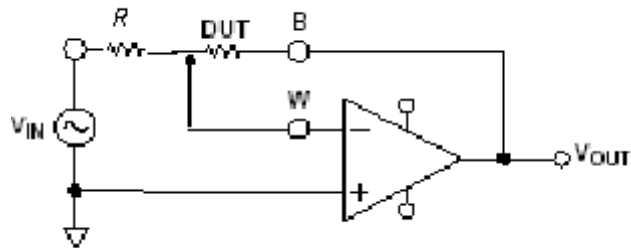
Señal de entrada: 1Vpp

Señal de salida que se desea obtener: 1Vpp

Código resistencia (decimal)	Amplitud obtenida (mVpp)
100	624
128	725
64	420
104	680
6	84
0	42

En vista de que se tuvieron problemas para obtener la señal deseada a la salida del amplificador operacional usando los 2 valores de resistencias que se podían conseguir con el uso del potenciómetro digital, se optó por emplear los mismos

elementos, pero con la diferencia de que ahora solamente se utilizó una de las resistencias del potenciómetro  $R_{wb}$  y se agregó una resistencia fija  $R$  adicional a la entrada del amplificador de la siguiente manera:



Esto permitió que únicamente se deba hallar el valor de  $R_{WB}$  y que no se pierda gran parte de la tensión como sucedía anteriormente.

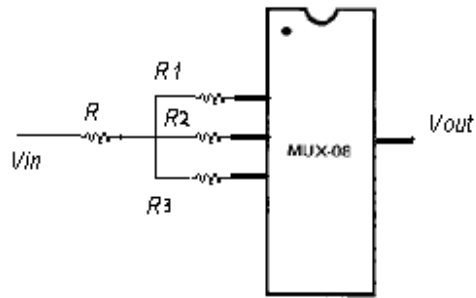
El valor de la resistencia fija empleado fue de  $10k\Omega$  y el voltaje de entrada al amplificador de  $1V_{pp}$ , las pruebas más importantes se muestran a continuación:

Código (decimal)	Voltaje Salida ( $mV_{pp}$ )
126	999
104	760
100	823
64	556
8	126
5	98
1	44

Los valores que se tomaron son los que se muestran en la tabla anterior en cuadro sombreado, pero como se dijo anteriormente este potenciómetro digital no será utilizado en el circuito final.

En lugar de este dispositivo se empleó un multiplexor analógico, y los valores de resistencia para cada amplitud se muestran a continuación:





Para la amplitud mayor (2500uV), las señales deben observarse claramente en el sismógrafo al enviar la calibración con niveles de atenuación del VCO de 42 y 48dB.

Voltaje de entrada al multiplexor: 270mV<sub>pp</sub>

Resistencia fija: 330kΩ

Para 2500uV<sub>pp</sub>:

Resistencia experimental (kΩ)	ATENUACIÓN VCO	
	42dB	48dB
2.9	5	4
2.8	4	4
3.3	Saturación	3
3.1	4	5
3.0	5	5

Se utilizó una escala del 1 al 5 donde:

- 1 Señal mala
- 2 Señal regular
- 3 Señal buena
- 4 Señal muy buena
- 5 Señal excelente

De acuerdo a los datos teóricos calculados la resistencia R1 para obtener una salida de 2500uVpp debe ser de 3.056kΩ, mientras que experimentalmente el valor a usarse es de 3.0kΩ.

Para la amplitud intermedia (250uV), las señales deben observarse claramente en el sismógrafo al enviar la calibración con niveles de atenuación del VCO de 30 y 36 dB.

Voltaje de entrada al multiplexor: 270mV<sub>pp</sub>

Resistencia fija: 330kΩ

Para 250uV<sub>pp</sub>:

Resistencia experimental (Ω)	ATENUACIÓN VCO	
	30 dB	36dB
298	4	4
280	3	3
320	Saturación	3
300	4	5
310	5	5

De acuerdo a los datos teóricos calculados la resistencia R2 para obtener una salida de 250uVpp debe ser de 306Ω, mientras que experimentalmente el valor a usarse es de 310Ω.

Para la amplitud menor (25uV), las señales deben observarse claramente en el sismógrafo al enviar la calibración con niveles de atenuación del VCO de 6 y 12 dB.

Voltaje de entrada al multiplexor: 270mV<sub>pp</sub>

Resistencia fija: 330kΩ

Para 25uV<sub>pp</sub>:

Resistencia experimental ( $\Omega$ )	ATENUACIÓN VCO	
	6dB	12dB
30	4	4
38	Saturación	3
28	3	3
35	4	5
31	5	5

De acuerdo a los datos teóricos calculados la resistencia  $R_2$  para obtener una salida de  $25\mu\text{Vpp}$  debe ser de  $30.6\Omega$ , mientras que experimentalmente el valor a usarse es de  $31\Omega$ .

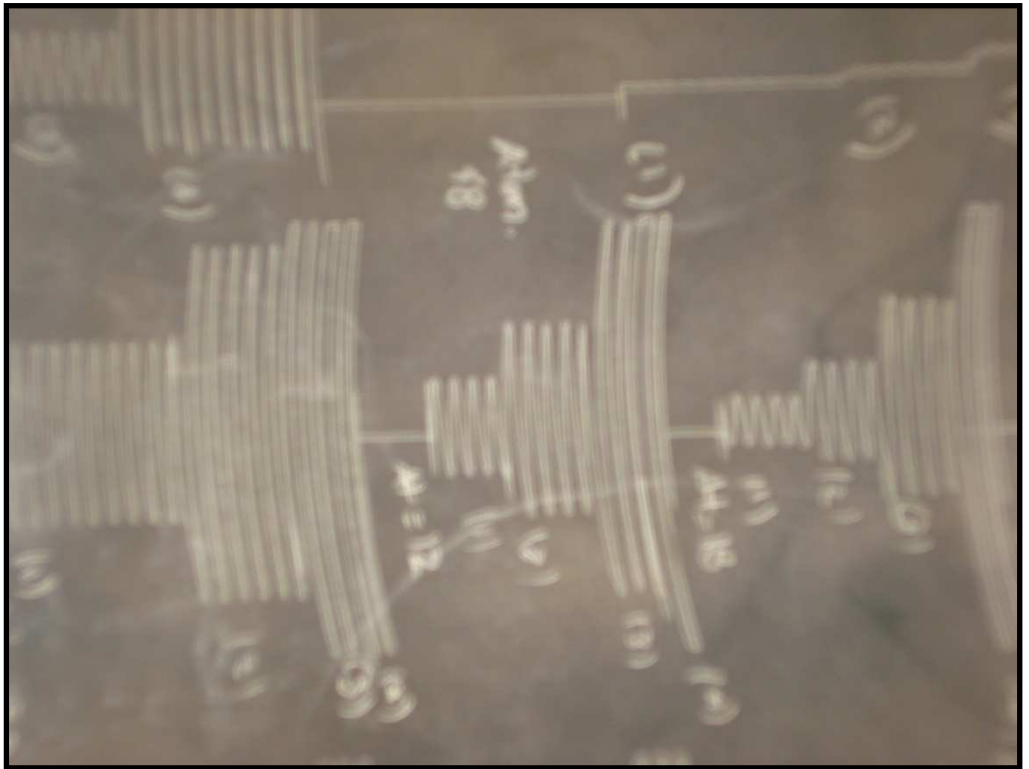
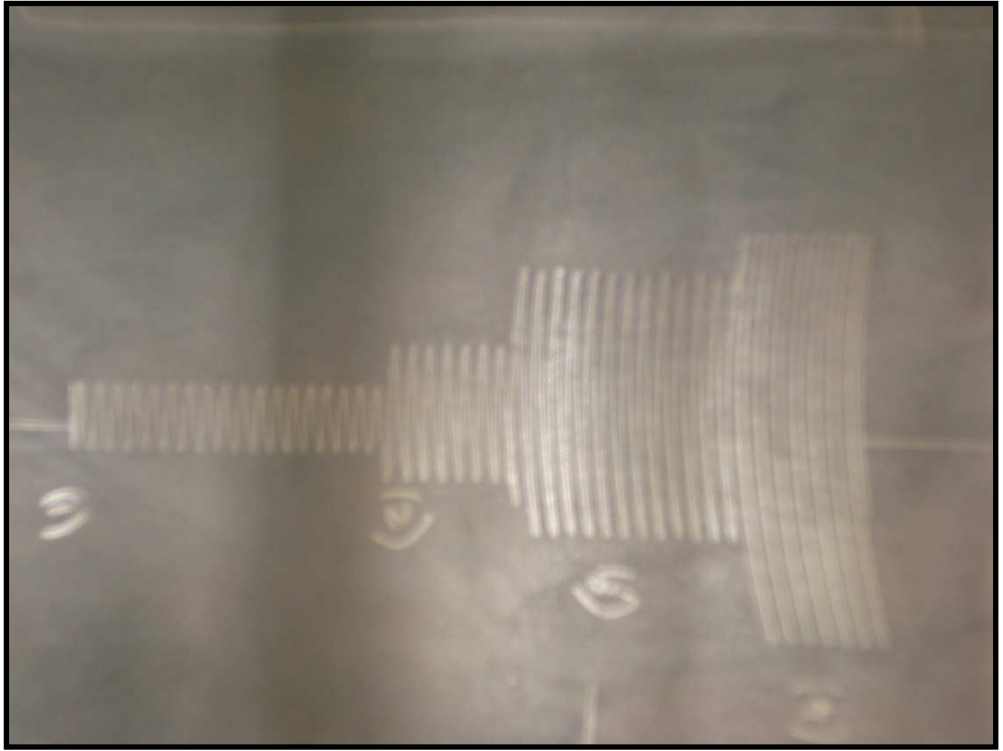
En el siguiente gráfico se observa el equipo que interviene en el proceso de transmisión telemétrica

**Calibrador Telemétrico Digital**



Las señales de calibración telemétrica son visualizadas en los sismógrafos de la estación base (Instituto Geofísico) como se indica en los gráficos siguientes:





## **1.12 ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO**

Una vez que se han realizado las pruebas se plantea el análisis técnico-económico para evaluar la eficiencia y eficacia del presente proyecto Calibrador Telemétrico Digital con respecto al equipo utilizado actualmente en el Departamento de Geofísica de la Escuela Politécnica Nacional; así como los alcances y limitaciones de este sistema.

### **2.7.1 ANÁLISIS TÉCNICO**

El Calibrador Telemétrico Digital que ha sido construido presenta las ventajas esperadas al momento del planteamiento del presente proyecto.

El microcontrolador PIC16F873A genera internamente la señal PWM de acuerdo a los requerimientos del usuario, por lo que en caso de que se necesite variar la amplitud de la señal senoidal obtenida a la salida, la persona que programa podrá volver a grabar en el microcontrolador el nuevo programa sin necesidad de cambiar el circuito.

En el caso del Calibrador Telemétrico Analógico existente en el Departamento de Geofísica, para cambiar los valores de amplitud a la salida de éste, se deberá modificar el hardware.

El nuevo equipo digital no necesita de fuentes de alimentación propias, está diseñado para utilizar la energía proveniente de las baterías que se encuentran en cada una de las estaciones y repetidoras de la red; a diferencia del equipo analógico que necesita de dos baterías de 9V utilizadas específicamente para este dispositivo.

El calibrador digital provee de mayor fiabilidad en el sistema, ya que existe menor número de componentes que en el equipo analógico y por consiguiente disminuye la probabilidad de errores.

El nuevo equipo es mucho más pequeño que el existente, por lo que más práctico y liviano para llevar a campo.

El equipo analógico tiene 3 conectores para cada una de las amplitudes de salida, mientras que el equipo digital que ha sido construido solamente tiene una salida facilitando así la manipulación por parte del usuario, evitando la conexión de varios cables.

El equipo nuevo posee un circuito de visualización que indica la amplitud de la señal que se está enviando, a diferencia del equipo existente que únicamente permite determinar el valor de la amplitud que está enviando a través de los registros en base o con la ayuda de un multímetro.

### 2.7.2 ANÁLISIS ECONÓMICO

El costo que implica la elaboración de este proyecto es parte fundamental de la evaluación final del mismo. A continuación se indica el valor de cada uno de los elementos que han formado parte en el diseño y construcción del calibrador digital:

#### **DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS**

ITEM	DESCRIPCIÓN	P.UNITARIO	CANT.	P.TOTAL
1	Microcontrolador PIC16F873A	\$8.96	1	\$8.96
2	Regulador de Voltaje LM7805C	\$0.38	1	\$0.38
3	Amplificador Operacional TL074CN	\$0.62	1	\$0.62
4	Amplificador Operacional OP77EZ	\$2.80	1	\$2.80
5	Inversor de Voltaje ICL7662	\$1,86	1	\$1.86
6	Multiplexor MUX08EP	\$2,00	1	\$2,00
7	Oscilador de Cristal	\$3.50	1	\$3.50
8	Pulsadores	\$0,10	4	\$0,40
9	Resistencias 1/4W	\$0.02	25	\$0.50
10	Condensadores	\$0,10	13	\$1.30
11	Diodos led	\$0,10	4	\$0.40
12	Diodo regulador	\$0,20	1	\$1,20
13	Zócalos 14 y 16 pines	\$0,08	2	\$0,16
14	Zócalo 28 pines	\$0,15	1	\$0,15
15	Zócalos 8 pines	\$0,06	2	\$0,12
		TOTAL:		\$24.35

### **COMPONENTES ELÉCTRICOS**

<i>ITM</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>V. UNITARIO</i>	<i>CANT.</i>	<i>V. TOTAL</i>
1	<i>Switch Interruptor</i>	<i>\$0.25</i>	<i>1</i>	<i>\$0.25</i>
2	<i>Borneras</i>	<i>\$0,80</i>	<i>2</i>	<i>\$1.60</i>
3	<i>Baquelita</i>	<i>\$1.70</i>	<i>1</i>	<i>\$1.70</i>
4	<i>Conectores para alimentación</i>	<i>\$0,15</i>	<i>2</i>	<i>\$0,30</i>
5	<i>Carcaza del módulo</i>	<i>\$10.00</i>	<i>1</i>	<i>\$10.00</i>
6	<i>Cables para conexiones</i>	<i>\$0,10</i>	<i>5</i>	<i>\$0.50</i>
7	<i>Postes, pernos y tuercas</i>	<i>\$0.10</i>	<i>12</i>	<i>\$1.20</i>
10	<i>Circuito impreso</i>	<i>\$9.00</i>	<i>1</i>	<i>\$9,00</i>
		<i>TOTAL:</i>		<i>\$24.55</i>

TOTAL: .....\$48.90

Todos los dispositivos que conforman el presente proyecto son fáciles de adquirir y son de costo muy accesible.

Cabe recalcar que el valor total que se muestra es únicamente del valor del equipo; no se está tomando en cuenta mano de obra, elementos que fueron reemplazados, elementos destruidos, tiempo empleado, etc.

De acuerdo al análisis económico que se ha realizado, se puede observar que el costo total para la construcción del calibrador digital es de \$48.90, mientras que la construcción de un calibrador analógico como el existente saldría en un valor de alrededor de \$25.

De acuerdo a esta comparación el Calibrador Telemétrico construido al ser un equipo digital aumenta su costo significativamente por los componentes usados, pero de acuerdo a las ventajas que presenta compensa la diferencia del costo con relación al calibrador analógico existente.

Una observación muy importante es que el Departamento de Geofísica necesita la construcción de varios calibradores digitales, entonces se conseguirán todos los elementos necesarios para su elaboración a menor costo por comprar al por mayor. Esto significa que el costo para la fabricación de cada equipo disminuirá notablemente logrando de esta manera obtener un equipo de alta tecnología a un precio conveniente.



## **CAPITULO 3**

### **CONCLUSIONES**

- El equipo diseñado y construido funciona de acuerdo a los objetivos planteados inicialmente.
- Se ha desarrollado un equipo que va de acuerdo al avance tecnológico para el Departamento de Geofísica y del país.
- El nuevo calibrador digital constituye un equipo práctico para los trabajos en campo, ya que es de fácil uso y liviano.
- Al ser un equipo digital provee de varias ventajas, pero una de las principales es que se puede rediseñar el software sin necesidad de modificar el hardware.
- Con el nuevo equipo digital se ahorra energía, debido a que no necesita de fuentes de alimentación ya que ha sido diseñado para trabajar con la energía que proveen las baterías de todas las estaciones y repetidoras de la Red Nacional del Instituto Geofísico.
- Al emplear un microcontrolador PIC el consumo de energía es bajo, por lo que al usarlo en campo será de gran ventaja.
- Con el circuito de visualización que posee este proyecto, el usuario podrá saber a cualquier momento qué señal está siendo enviada, sin necesidad de realizar mediciones cada vez que desee transmitir.
- El equipo calibrador resulta ser eficiente y eficaz por su rendimiento y precisión que son cualidades muy necesarias para realizar la calibración de señales tanto en campo como en el laboratorio.

## **RECOMENDACIONES:**

- Es necesario tomar en cuenta que el equipo como todos los demás requiere de cierto cuidado al momento de su manipulación para evitar cualquier inconveniente.
- Se recomienda alimentar al equipo con 15V máximo para evitar que los elementos que lo constituyen no sufran daño alguno.
- Al igual que a todo equipo se recomienda dar mantenimiento periódico al calibrador telemétrico digital, ya que al ser utilizada en condiciones ambientales adversas puede sufrir algún daño por agentes externos especialmente ambientales.
- Al momento de realizar el diagrama sobre la tarjeta, se debe evitar en lo posible que existan pistas que pasen entre los pines de los circuitos integrados, ya que se pueden producir fenómenos como efecto carga de un condensador provocando anomalías en el funcionamiento del equipo.
- Antes de usar el equipo, se recomienda verificar que los cables de alimentación y de salida se encuentren bien conectados.

## **BIBLIOGRAFÍA:**

1. ANGULO, José Ma. Microcontroladores PIC. Diseño Práctico de aplicaciones segunda parte. Edición 2000.
2. GONZÁLEZ V. José Adolfo. Introducción a los Microcontroladores. McGraw Hill
3. REYES, Carlos A. Aprenda rápidamente a programar Microcontroladores. Edición 2004.
4. TOCCI, R. Sistemas Digitales. Sexta Edición. Pearson Education.
5. TOMASI, W. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Segunda Edición. Prentice Hall
6. [http://es.wikipedia.org/wiki/Amplificador\\_operacional](http://es.wikipedia.org/wiki/Amplificador_operacional)
7. [http://es.wikipedia.org/wiki/Filtro\\_electr%C3%B3nico](http://es.wikipedia.org/wiki/Filtro_electr%C3%B3nico)
8. <http://eureka.ya.com/elektron/tutoriales/mfiltros.htm>
9. <http://micropic.wordpress.com/2007/01/22/mplab/>
10. <http://solaris-digital.com/imagenes/mplab%20capitulo1.pdf>
11. <http://www.cienciasmisticas.com.ar/electronica/rlc/filtros/index.php>
12. <http://www.fing.edu.uy/inco/cursos/firmware/laboratorio/cartillaPIC16F877.pdf>
13. <http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Lab/2912/>
14. <http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Lab/2912/queues.html>
15. [http://www.ifent.org/temas/amplificadores\\_operacionales.asp](http://www.ifent.org/temas/amplificadores_operacionales.asp)
16. <http://www.monografias.com/trabajos18/descripcion-pic/descripcion-pic.shtml>
17. <http://www.redeya.com/electronica/tutoriales/pic16f8x/pic16f8x.htm>
18. [http://www.unicrom.com/tut\\_filtros.asp](http://www.unicrom.com/tut_filtros.asp)

## **ANEXOS:**

### **Anexo A.-** Programa en C

Diagramas del Circuito

Fotos del equipo

Pruebas realizadas

### **Anexo B.-** Especificaciones del Microcontrolador PIC16F873A

### **Anexo C.-** Especificaciones de los dispositivos electrónicos utilizados:

- AD7376AN10
- TL074CN
- OP77EZ
- MUX08EP
- ICL7662

### **Anexo D.-** Diseño de Filtros Activos

# CONTENIDO:

<b>CAPITULO 1:</b> .....	1
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	A
1.1 SISTEMA DE MONITOREO SÍSMICO Y VOLCÁNICO .....	G
1.1.1 MONITOREO VOLCÁNICO:.....	1
1.1.1.1 Monitoreo por observación:.....	g
1.1.1.2 Monitoreo por instrumentación:.....	g
1.1.2 MONITOREO SÍSMICO: .....	h
1.2 SISTEMAS TELEMÉTRICOS .....	H
1.2.1 LA TELEMETRÍA .....	H
1.2.1.1 Telemetría Alámbrica: .....	h
1.2.1.2 Telemetría Inalámbrica:.....	i
1.2.1.3 Equipo de Campo:.....	i
1.2.2 SISTEMA DE TELEMETRÍA SÍSMICA ANALÓGICA .....	I
1.2.2.1 Sistema de Recepción: .....	j
1.2.3 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TELEMETRÍA SÍSMICA ANALÓGICA.....	J
1.2.3.1 Equipo de Campo:.....	j
1.2.3.2 Sistema de Recepción: .....	k
1.2.4 SENSORES SÍSMICOS.....	K
1.3 MICROCONTROLADORES PIC .....	K
1.3.1 ARQUITECTURA INTERNA DE UN MICROCONTROLADOR .....	L
1.3.1.1 Unidad Central de Procesamiento: .....	l
1.3.1.2 Memoria de Programa:.....	n
1.3.1.3 Memoria de Datos: .....	p
1.3.1.4 Líneas de entrada/salida: .....	p
1.3.1.5 Dispositivos auxiliares: .....	p
1.3.2 VENTAJAS DE LOS PIC.....	10
1.4 PIC 16F873A.....	Q
1.4.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.....	R
1.4.2 DIAGRAMA DE PINES .....	S
1.4.3 DESCRIPCIÓN DE PINES.....	T
1.4.4 DIAGRAMA DE BLOQUES.....	U
1.4.5 ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA.....	W
1.4.5.1 Memoria de Programa:.....	w
1.4.5.2 Memoria de Datos: .....	w
1.4.6 RECURSOS ESPECIALES DEL PIC16F873 .....	W
1.4.6.1 Puertos: .....	w
1.4.6.2 Temporizadores: .....	x
1.4.6.3 Perro guardián o "Watchdog":.....	x
1.4.6.4 Reinicialización o Reset: .....	x
1.4.6.5 Modo de Reposo o de Bajo Consumo: .....	y
1.4.6.6 Conversor A/D:.....	y
1.4.6.7 Modulador de anchura de pulsos o PWM:.....	y
1.4.6.8 Comparador analógico: .....	z
1.4.6.9 Puertos de Comunicación: .....	z
1.4.6.10 Interrupciones:.....	aa
1.4.6.11 Osciladores.....	21
1.5 CIRCUITOS ELECTRÓNICOS IMPORTANTES PARA EL PROYECTO .....	BB
1.5.1 FILTROS ELECTRÓNICOS .....	BB
1.5.1.1 Función de Transferencia.....	bb
1.5.1.2 Tipos de Filtros.....	dd
1.5.1.3 Orden de un Filtro .....	ff
1.5.1.4 Estructura Sallen-Key.....	gg

<b>CAPITULO 2</b> .....	HH
<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO CALIBRADOR TELEMÉTRICO DIGITAL</b>	HH
2.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL EQUIPO.....	HH
2.2 FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO .....	II
2.2.1 ETAPA DE SELECCIÓN DE AMPLITUD.....	II
2.2.2 GENERACIÓN DE LA SEÑAL PWM .....	II
2.2.3 DEMODULACIÓN PWM .....	KK
2.2.4 FILTRAJE .....	LL
2.2.4.1 Amplificador Operacional .....	pp
2.2.5 ATENUACIÓN.....	QQ
2.2.6 FUENTES DE ALIMENTACIÓN Y POLARIZACIÓN DEL CIRCUITO.....	RR
2.2.7 CIRCUITO DE VISUALIZACIÓN.....	SS
2.3 DISEÑO DE LAS ETAPAS.....	TT
2.3.1 ETAPA DE SELECCIÓN DE AMPLITUD.....	TT
2.3.2 ETAPA DE GENERACIÓN DE LA SEÑAL PWM .....	TT
2.3.3 DEMODULACIÓN PWM .....	WW
2.3.4 FILTRAJE .....	WW
2.3.5 ATENUACIÓN.....	YY
2.3.6 REDISEÑO DE LA ETAPA DE ATENUACIÓN: ETAPA DE AMPLIFICACIÓN Y ATENUACIÓN.....	AAA
2.4 PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR .....	CCC
2.4.1 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN C.....	CCC
2.4.1.1 Fases de Desarrollo de un Programa C.....	ddd
2.4.1.2 Forma General de un Programa en C.....	eee
2.4.1.3 Elementos de Programación.....	fff
2.4.1.4 Tipos de Datos .....	fff
2.4.2 MPLAB.....	GGG
2.5 CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO.....	GGG
2.6 PRUEBAS Y CALIBRACIÓN .....	III
2.7 ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO .....	RRR
2.7.1 ANÁLISIS TÉCNICO.....	RRR
2.7.2 ANÁLISIS ECONÓMICO .....	SSS
<b><u>CAPITULO 3</u></b> .....	UUU
<b><u>CONCLUSIONES</u></b> .....	UUU
RECOMENDACIONES: .....	VVV8
BIBLIOGRAFÍA:.....	WWW9
ANEXOS:.....	XXX