



Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería Electrónica

Medidor de Conductividad y Temperatura para soluciones químicas a ser aplicado en Unidades de Hemodiálisis y plantas de tratamiento de agua

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Ingeniero Electrónico

Autores:

Abad Jaramillo Xavier Oswaldo  
Martínez Jara Jefferson Norberto

Director: Msc. Ing. Leonel Pérez Rodríguez

Cuenca, Ecuador  
2006

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis Padres, que me motivan y brindan su apoyo incondicional para seguir siempre adelante.

***Xavier Abad***

Dedico este trabajo a mi Madre y hermana por darme todo su amor, comprensión y apoyo.

***Jefferson Martínez Jara***

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad del Azuay, en las personas de nuestros maestros por sus conocimientos impartidos, particularmente al Master Ingeniero Leonel Pérez por su apoyo invaluable y acertada orientación como Director de Tesis y a quienes de una u otra manera nos brindaron la ayuda necesaria para culminar con éxito el presente trabajo.

### ***Xavier Abad***

Aunque ya no estén conmigo a Miguel y Lucrecia quienes fueron los primeros que me indicaron los pasos a seguir en la dura tarea que es ser un profesional, pero sobre todo un buen individuo. Dejaron todo por acompañarme y ayudaron a cumplir mis sueños.

A mi madre querida, Fabiola, por darme todo su amor y apoyo en los momentos difíciles, teniendo la paciencia muy característica en ella. Me enorgullece ser su hijo.

A mi hermanita que con su tolerancia y paciencia me dio la inspiración para salir adelante.

A mi padre, Telmo, quien con su paciencia, cariño y apoyo incondicional hicieron que refuerce el trabajo que estaba realizando.

Agradezco a Martha, Carmelina, Orfelina y Geovanny, por apoyarme en este proyecto, de manera muy especial por abrirme las puertas de su hogar y brindarme el apoyo necesario.

A René y Fabiola por demostrarme siempre su amistad y aprecio incondicional; a Ricardo y Ximena por la confianza y colaboración prestada.

Agradezco de manera especial a Leonel por su apoyo incondicional compartiendo sus conocimientos como profesor pero ante todo como un gran amigo.

A nuestros queridos profesores por impartir sus conocimientos de manera desinteresada.

### ***Jefferson Martínez Jara***

## INDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Indice de Contenidos.....	iv
Indice de Ilustraciones.....	xiv
Indice de Tablas.....	xvii
Indice de Anexos.....	xviii
Resumen.....	xix
Abstract.....	xx
Introducción.....	1
Capítulo 1: Fundamentos físicos de la medición de Conductividad y Temperatura.....	3
1.1. Definiciones preliminares.....	3
1.1.1. Técnica de Conductometría.....	4
1.1.2. Reseña Histórica de la Conductometría.....	4
1.1.3. Conductividad eléctrica en soluciones acuosas.....	4
1.1.4. Conductancia eléctrica en soluciones acuosas.....	5
1.1.5. Relación entre la Conductancia y la Conductividad Eléctrica.....	6
1.1.6. Siemens.....	6
1.1.7. Conductor Eléctrico.....	6
1.1.8. Temperatura.....	7
1.1.9. Medida de la Temperatura.....	7
1.1.10. Escalas termométricas.....	7
1.2. Métodos Experimentales de medición de conductividad y temperatura.....	8
1.2.1. Métodos experimentales para la medición de la Conductividad.....	8
1.2.1.1. Con Electrodos.....	8
1.2.1.2. Sin electrodos .....	11
1.2.1.3. Por Inducción magnética.....	13
1.2.2. Método Experimental para la medición de la temperatura y su base experimental.....	15

1.2.2.1. Tipo Potenciométrico.....	16
1.2.2.2. Método Puente de Wheastone.....	17
1.2.2.2.1. Montaje de dos hilos.....	17
1.2.2.2.2. Montaje de tres hilos.....	18
1.2.2.2.3. Montaje de cuatro hilos.....	19
1.2.2.3. Método de las cuatro puntas de determinación de resistencias.....	19
1.3. Métodos de medición para la Conductividad y Temperatura utilizados en esta investigación.....	20
1.3.1. Método de medición para la conductividad.....	20
1.3.1.1. Deducción de las fórmulas.....	24
1.3.2. Método de medición de la Temperatura utilizado en la investigación.....	25
1.3.3. Relación de la Temperatura con la Conductividad.....	27
1.3.4. Compensación de la Conductividad por cambio de Temperatura.....	27
1.4. Sensores de Conductividad y Temperatura.....	28
1.4.1. Sensores de Conductividad.....	28
1.4.1.1. Celdas de Conductividad con Electrodo Platinizado o de Platino.....	28
1.4.1.2. Celdas de Conductividad con Electrodo no Platinizado.....	28
1.4.1.3. Tipos de Celdas de Conductividad (Electrodo Platinizado o no Platinizado).....	29
1.4.1.3.1. Celdas de Conductividad de tipo de Inmersión con recubrimiento plástico o	

de vidrio.....	29
1.4.1.3.2. Celdas de Inmersión sin recubrimiento...	30
1.4.1.3.3. Celdas de Conductividad de flujo continuo.....	31
1.4.2. Sensores de Temperatura.....	32
1.4.2.1. Conceptos Básicos de los Transductores Eléctricos de Temperatura.....	32
1.4.2.2. Termistor. Definición.....	33
1.4.2.3. Tipos de Termistores. Introducción.....	34
1.4.2.3.1. Termistores NTC.....	36
1.4.2.3.2. Termistores PTC.....	38
1.4.2.4. Características Eléctricas de los Termistores NTC y PTC.....	39
Capitulo 2: Diseño electrónico para la fabricación del equipo.....	40
Introducción.....	40
2.1. Diagrama general de bloques.....	41
2.1.1. Sensores.....	41
2.1.2. Fuente de alimentación.....	42
2.1.3. Oscilador.....	42
2.1.4. Amplificador.....	42
2.1.5. Microcontrolador.....	43
2.1.6. Control de Menús.....	43
2.1.7. Display.....	43

2.2. Circuito digital.....	43
2.2.1. Introducción a los Microcontroladores.....	43
2.2.2. Generalidades de la Arquitectura Interna de los Microcontroladores PICS.....	45
2.2.3. Arquitectura Harvard, palabras de instrucción largas y canalización de las instrucciones.....	45
2.2.4. Simetría (Ortogonalidad de la Instrucciones).....	46
2.2.5. Ciclo de Máquina en Microcontroladores PICS.....	47
2.2.6. Canalización (“Pipelining”) en los PICs.....	48
2.2.7. Arquitectura de la Memoria de Programas en los PICS de la Familia Media.....	49
2.2.8. Aspectos Relevantes de la MCC.....	50
2.2.8.1. Vector de Reset y Vector de Interrupción.....	50
2.2.8.2. Contador de Programas. Direccionado de la Memoria de Programas.....	51
2.2.8.3. La PILA o “STACK”.....	51
2.2.9. Arquitectura de la Memoria de Datos en los PICs de la Familia Media.....	52
2.2.9.1. Direccionado de la Memoria de Datos.....	55
2.2.9.2. Modos de Direccionado de la Memoria de Datos.....	55
2.2.9.2.1. Modo Directo.....	55
2.2.9.2.2. Modo Indirecto.....	56

2.2.9.3. Registro Auxiliar INDF.....	57
2.2.10. Líneas de Puerto en los Microcontroladores Microchip. Generalidades.....	57
2.2.10.1. Descripción de los Puertos Integrados a los Microcontroladores de 40 pines (serie 87X).....	58
2.2.10.2. Puerto Tipo "A".....	60
2.2.10.3. Puerto Tipo "B".....	60
2.2.10.4. Puerto tipo "C".....	60
2.2.10.5. Puerto Tipo "D".....	60
2.2.10.6. Puerto Tipo "E".....	61
2.2.11. Circuito oscilador.....	61
2.2.12. Circuito de RESET Externo.....	62
2.2.13. Programación de los Microcontroladores Microchip de la Familia Media (Serie 87X).....	62
2.2.13.1. Introducción.....	62
2.2.13.2. Tipos (categorías) de Instrucciones Microchip.....	63
2.2.13.3. Instrucciones Orientadas a Byte.....	63
2.2.13.4. Instrucciones Orientadas a Bits.....	66
2.2.13.5. Instrucciones Para Operaciones con Literales y de Control.....	67
2.2.13.6 Formato General de Codificación de las Instrucciones.....	69
2.2.13.7. Duración de las Instrucciones.....	70

2.2.13.8. Trabajo con Interrupciones en Microcontroladores.....	71
2.2.13.8.1. Formas de Iniciar una interrupción.....	71
2.2.13.9. Fuentes de Interrupción en los PICS de la Serie 87X.....	72
2.2.13.9.1. Fuentes Básicas.....	72
2.2.13.9.2. Fuentes Adicionales.....	72
2.2.13.10 Ciclo de Interrupción en los PICS de la Serie 87X.....	73
2.2.13.11. Registros Para el Manejo de Interrupciones en los PICS de la Familia Media.....	73
2.2.13.12. Registro de Control de Interrupciones Básicas (INTCON).....	74
2.2.13.13. Registros Para el Control y de Banderas de Interrupciones Adicionales.....	75
2.2.14. Timers. Integrados a los PICs de la Serie 87X.....	77
2.2.14.1. Módulo TMR0.....	77
2.2.14.2. Especificaciones Técnicas Generales del Módulo.....	77
2.2.14.3. Arquitectura Interna del Timer 0.....	77
2.2.14.4 Registro para el Control del Timer 0. Registro option (dir. 81h del banco1).....	78
2.2.14.5. Funcionamiento del modulo.....	79
2.2.14.5.1. Modo Timer.....	79

2.2.14.5.2. Modo Contador.....	80
2.2.14.6. Módulo TMR1. Introducción.....	80
2.2.14.6.1. Especificaciones Técnicas Generales del Módulo.....	80
2.2.14.6.2. Arquitectura Interna del Timer 1.....	81
2.2.14.7. Registros Para el Control TIMER 1.....	81
2.2.14.7.1. Registro T1CON (10h del banco 0).....	81
2.2.14.7.2 TMR1H (0Fh del banco 0) y TMR1L (0Eh del banco 0).....	83
2.2.14.8. PIE1 (8Ch del banco 1) y PIR1 (0Ch del banco 0).....	83
2.2.14.9. Modos de Operación del Timer 1.....	83
2.2.14.9.1. Modo Timer.....	83
2.2.14.9.2. Modo Contador.....	83
2.2.14.9.3. Oscilador Externo del Timer 1.....	84
2.2.14.9.4. Modo Contador Sincrónico.  T1SYNC = 0 / T1OSEN = 1 ó 0.....	85
2.2.14.9.5. Modo Contador Asincrónico. T1SYNC = 1 / T1OSEN = 1 ó 0.....	85
2.2.14.9.6. "Prescaler" del TMR1.....	85
2.2.14.9.7. Lectura de los Registros TMR1H y TMR1L Cuando se Trabaja en Modo Contador Asincrónico.....	86
2.2.15 .Módulo Timer 2.....	86

2.2.15.1	Introducción.....	86
2.2.15.2	Especificaciones técnicas Generales del Módulo	
	Timer 2.....	86
2.2.15.3	Arquitectura Interna del TIMER 2.....	87
2.2.15.4	Registros Para el Control del TIMER 2.....	88
	2.2.15.4.1. Registro T2CON (12h).	
	El registro T2CON .....	88
	2.2.15.4.2. Registro PR2.....	88
	2.2.15.4.3. Registro TMR2.....	89
2.2.16	Módulo Conversor A/D.....	89
	2.2.16.1. Introducción.....	89
	2.2.16.2. Especificaciones del Conversor.....	89
	2.2.16.3. Registros de Control para el módulo ADC.....	90
	2.2.16.3.1. "A/D Control Register 0" (ADCON0)	
	dirección: 1Fh, banco 0.....	90
	2.2.16.3.2. "A/D Control Register 1" (ADCON1)	
	dirección: 9Fh, banco 1.....	91
	2.2.16.4. Registros Para Almacenar el Resultado.....	92
	2.2.16.4.1. Operación del Conversor.....	92
	2.2.16.5. Tiempo de Adquisición.....	93
2.2.17	Diseño del Circuito Digital.....	94

2.2.17.1 Reset (MCLR).....	95
2.2.17.2. Teclado lineal.....	96
2.2.17.3. Visualización.....	96
2.2.17.4. Interfaz con el Sensor.....	98
2.2.17.5. Oscilador.....	98
2.3. Circuito Analógico.....	99
2.3.1 Fuente.....	99
2.3.2 Circuito Oscilador.....	103
2.3.3 Circuito de Amplificación de Temperatura.....	105
2.3.4 Circuito de Amplificación de Conductividad.....	107
2.3.4.1 Etapa 1.....	107
2.3.4.2 Etapa 2.....	109
2.3.4.3 Etapa 3.....	114
2.3.4.4 Etapa 4.....	115
2.4. Diseño del Software del Equipo.....	117
2.4.1. Programa principal.....	117
2.4.2. Subrutinas.....	120
2.4.2.1. Subrutina de Atención Interrupciones.....	120
2.4.2.2. Subrutina Compara.....	124
2.4.2.3. Subrutina “clrdisp”.....	125
2.4.2.4. Subrutina “pulse”.....	125

2.4.2.5. Subrutina “chdir” .....	126
2.4.2.6. Subrutina “write” .....	126
2.4.2.7. Subrutina Demoras Varias por Software.....	127
2.4.2.8. Subrutina “convierte” .....	128
2.4.2.9. Subrutina “bin_to_bcd” .....	128
2.4.3. Variables Principales.....	130
Capitulo 3: Construcción y calibración de la sonda de Conductividad y Temperatura.....	131
3.1. Construcción de la Sonda de Conductividad y Temperatura.....	131
3.2. Calibraciones de Conductividad y Temperatura.....	133
3.2.1. Método para la calibración de la Conductividad.....	133
3.2.2. Método de calibración de la Temperatura.....	136
3.3. Análisis de normas de seguridad.....	136
Capítulo 4: Análisis Económico.....	137
4.1. Análisis de los Costos final del equipo.....	137
Capitulo 5: Conclusiones y Recomendaciones.....	141
5.1. Conclusiones.....	141
5.2. Recomendaciones.....	142
Bibliografía.....	143

## INDICE DE ILUSTRACIONES.

<b>Figura 1-1.</b> Celda de Conductancia típica para aplicaciones analíticas por inmersión con electrodos.....	8
<b>Figura 1-2.</b> Circuito equivalente para una celda de conductancia de dos electrodos....	9
<b>Figura 1-3.</b> Circuito equivalente para una celda de conductancia para CA con electrodos.....	10
<b>Figura 1-4.</b> Celda de conductividad típica para soluciones analíticas tipo de alta frecuencia.....	12
<b>Figura 1-5.</b> Circuito Equivalente para una celda de conductancia de dos electrodos para CA, sin electrodos.....	12
<b>Figura 1-6.</b> Dispositivo para la medición de la concentración iónica total (salinidad) del agua del mar.....	15
<b>Figura 1-7.</b> Método potenciométrico de medida de la resistencia R de un termómetro de Pt.....	16
<b>Figura 1-8.</b> Método de Puente de Wheastone de montaje de dos hilos para la medición de la temperatura.....	17
<b>Figura 1-9.</b> Método de Puente de Wheastone de montaje de tres hilos para la medición de la temperatura.....	18
<b>Figura 1-10.</b> Método de Puente de Wheastone de montaje de cuatro hilos para la medición de la temperatura.....	19
<b>Figura 1-11.</b> Método de las cuatro puntas de determinación de resistencias.....	20
<b>Figura 1-12.</b> Celda de Conductividad sumergida en la Solución a medir.....	21
<b>Figura 1-13.</b> Puente de Wheastone para medir la Conductividad.....	22
<b>Figura 1-14.</b> Diagrama de dos electrodos separados cierta distancia, sumergidos en una Solución Acuosa.....	24
<b>Figura 1-15.</b> Método de Puente de Wheastone de montaje de dos hilos para la medición de la temperatura para temperaturas desde los -100 °C a 450 °C.....	26
<b>Figura 1-16.</b> Método de Puente de Wheastone de montaje de dos hilos para la medición de la temperatura para temperaturas desde los 10 y 45 °.....	26
<b>Figura 1-17.</b> Celdas de Conductividad con de tipo de inmersión con Recubrimiento.....	30
<b>Figura 1-18.</b> Celdas de inmersión sin recubrimiento.....	31
<b>Figura 1-19.</b> Celdas de Conductividad de flujo continuo.....	32
<b>Figura 1-20.</b> Distintas formas de Termistores NTC.....	36
<b>Figura 1-21.</b> Símbolo de un Termistor Tipo NTC.....	37
<b>Figura 1-22.</b> Símbolo de un Termistor Tipo PTC.....	38

<b>Figura 1-23.</b> Comparación entre las curvas características resistencia/temperatura de un termistor PTC y una NTC.....	39
<b>Figura 2-1.</b> Diagrama General de Bloques.....	41
<b>Figura 2-2.</b> Arquitectura tipo Harvard vs. Arquitectura tradicional “Von Neuman”.....	46
<b>Figura 2-3.</b> Ciclo de Instrucción en Microchip.....	47
<b>Figura 2-4.</b> Proceso de canalización de instrucciones.....	48
<b>Figura 2-5.</b> Esquema general de la Memoria de Programas en los microcontroladores PICS de la Familia Media.....	50
<b>Figura 2-6.</b> Desbordamiento de la PILA.....	52
<b>Figura 2-7.</b> Mapa de la Memoria de Datos.....	54
<b>Figura 2-8.</b> Bits para direccionado de la RAM.....	55
<b>Figura 2-9.</b> Modos de Direccionado de la MD en los MC PICS.....	56
<b>Figura 2-10.</b> Pin out característico de la serie 87X de 40 pines.....	59
<b>Figura 2-11.</b> Configuración típica para el oscilador principal en los PICS.....	61
<b>Figura 2-12.</b> Circuito de RESET externo.....	62
<b>Figura 2-13.</b> Formato General de Codificación de las Instrucciones de la Familia Media.....	70
<b>Figura 2-14.</b> Registro INTCON.....	74
<b>Figura 2-15 a.</b> Registro de Habilitación de Interrupciones PIE.....	76
<b>Figura 2-15 b.</b> Registro de Banderas de Interrupciones PIR1.....	76
<b>Figura 2-16.</b> Diagrama de Bloques del Timer 0.....	78
<b>Figura 2-17.</b> Registro OPTION.....	78
<b>Figura 2-18.</b> Factores de división del PSCALER para el tmr0 y el Watch Dog.....	80
<b>Figura 2-19.</b> Diagrama de bloques del TMR1.....	81
<b>Figura 2-20.</b> Registro de Control del TIMER1 (T1CON).....	82
<b>Figura 2-21 a.</b> Esquema de conexión de una señal por T1OSI.....	84
<b>Figura 2-21 b.</b> Esquema de conexión de una señal por T1OSO.....	84
<b>Figura 2-21 c.</b> Esquema de conexión de un oscilador a cristal LP.....	85
<b>Figura 2-22.</b> Pasos de división del prescaler del TIMER 1.....	86
<b>Figura 2-23.</b> Diagrama de Bloques del timer 2.....	87
<b>Figura 2-24.</b> Registro de Control T2CON.....	88
<b>Figura 2-25.</b> Registro ADCON0.....	90
<b>Figura 2-26.</b> Registro ADCON1.....	91
<b>Figura 2-27.</b> Formatos del resultado de la conversión.....	92
<b>Figura 2-28.</b> Modelo de cualquier pin de entrada analógico.....	93
<b>Figura 2-29.</b> Diagrama de bloques del circuito de control.....	94
<b>Figura 2-30.</b> Circuito del Bloque Digital.....	95

<b>Figura 2-31.</b> Circuito de Reset.....	95
<b>Figura 2-32.</b> Teclado Lineal.....	96
<b>Figura 2-33.</b> Conector del LCD.....	96
<b>Figura 2-34.</b> Circuito de BKLIGHT.....	97
<b>Figura 2-35.</b> Circuito de VL.....	97
<b>Figura 2-36.</b> Interfaz con el sensor.....	98
<b>Figura 2-37.</b> Circuito de Oscilación.....	99
<b>Figura 2-38.</b> Circuito de ingreso de tensión.....	99
<b>Figura 2-39.</b> Circuito de regulación de $\pm 12\text{vcd}$ .....	100
<b>Figura 2-40.</b> Circuito de regulación de $+5\text{vcd}$ .....	101
<b>Figura 2-41.</b> Circuito de regulación de $+7\text{vcd}$ .....	102
<b>Figura 2-42.</b> Circuito de Oscilación.....	103
<b>Figura 2-43.</b> Forma de Oscilación simulada en Protel.....	105
<b>Figura 2-44.</b> Circuito de amplificación de temperatura.....	106
<b>Figura 2-45.</b> Circuito de conmutación de celdas.....	107
<b>Figura 2-46.</b> Circuito de amplificación, primera etapa.....	108
<b>Figura 2-47.</b> Circuito de amplificación, segunda etapa.....	109
<b>Figura 2-48.</b> Circuito de amplificación, tercera etapa.....	114
<b>Figura 2-49.</b> Circuito de amplificación, cuarta etapa.....	116
<b>Figura 2-50.</b> Diagrama de flujo del Software del equipo.....	118
<b>Figura 2-51.</b> Subrutina de atención a Interrupciones.....	121
<b>Figura 2-52.</b> Subrutina para Medir Conductividad.....	122
<b>Figura 3-1.</b> Sonda de conductividad y temperatura a utilizarse en la Investigación.....	133

**INDICE DE TABLAS.**

<b>Tabla 2-1.</b> Pines con funciones especiales.....	59
<b>Tabla 2-2.</b> Resistencias correspondientes a los canales del multiplexor.....	111
<b>Tabla 2-3.</b> Tabla de asignación de pines.....	117
<b>Tabla 2-4.</b> Combinaciones de las banderas flag_1 y flag_2.....	124
<b>Tabla 4-1.</b> Costos de los componentes para el desarrollo del equipo.....	137

**INDICE DE ANEXOS.**

<b>Anexo 1:</b> Manejo del equipo.....	146
<b>Anexo 2:</b> Cuidado y mantenimiento del equipo.....	150
<b>Anexo 3:</b> Diagrama de flujo del software del equipo.....	151

## **RESUMEN**

La presente investigación se relaciona con la construcción de un medidor de conductividad y temperatura, con propósitos de aplicación dentro del área clínica, principalmente en tratamientos de hemodiálisis.

Adicionalmente el medidor diseñado se puede utilizar para medir conductividad en plantas que requieran tratamiento de agua como por ejemplo: calderas, purificadores, etc.

Se utilizó un PIC 16F877 de Microchip™ como procesador principal con algunas de las siguientes funciones: seleccionar la ganancia, adquirir señales, mostrar los datos; entre otras.

## **ABSTRACT**

The present investigation is focused especially to the construction of a Conductivity and Temperature Meter with an application purpose in Clinical Area, mainly in the hemodialysis treatment.

Additionally, the designed meter can be used to carry out the measurements of conductivity in Water Treatment Plants as for examples: boilers, cleansers, etc.

There have been applied modern techniques for the data acquisition and processing of conductivity and temperature calibrating results taking as reference standard laboratory equipment; resulting in good quality measurements.

A PIC16F877 (from Microchip™) was used as main processor having functions such as: selecting gain, acquire signals, showing data; among others.

**Abad Jaramillo Xavier Oswaldo.**

**Martínez Jara Jefferson Norberto.**

**Trabajo de Graduación.**

**Director: Msc. Ing. Leonel Perez Rodríguez.**

**Medidor de Conductividad y Temperatura para soluciones químicas a ser aplicado en Unidades de Hemodiálisis y plantas de tratamiento de agua.**

## **INTRODUCCION**

Las necesidades que tienen los laboratorios químicos, unidades renales, plantas de tratamiento de agua en donde se tiene que realizar mediciones de TDS da como resultado la propuesta de diseñar y construir un equipo electrónico con un bajo costo y alta confiabilidad que realice tales lecturas.

Es un equipo muy utilizado en el monitoreo de parámetros que pueden tener muchas implicaciones en el tratamiento al paciente; de esta manera, el equipo debe ser manejado con facilidad y de forma simple, ya que el manejo va a estar orientado no solo a ingenieros electrónicos sino a cualquier profesional, por lo que al tener mayor maniobrabilidad se vuelve muy popular.

Para realizar el diseño se tiene que tomar en consideración reglas fundamentales de la electroquímica analítica, ya que dan la pauta para realizar la adecuada adquisición de los datos que interesan.

De esta forma se estudia la relación que existe entre el proceso químico con el eléctrico, y así se estima cual es la técnica mas apropiada para empezar a diseñar la interfase entre el medio químico y la repercusión con el eléctrico.

Una vez identificados los efectos del uno con respecto al otro, se procede a diseñar una circuitería analógica para que realice la recepción y amplificación de los datos tomados del sensor. El sensor dicho sea de paso, es el elemento transductor que convierte la unidad física a unidad eléctrica, y de el depende la veracidad de los resultados.

Una vez obtenida y amplificada la señal dada por el sensor, esta se acopla a un sistema de proceso digital comandado por un microcontrolador. Para estar acoplado el primer bloque analógico al digital se utiliza convertidores de señal A/D, el cual va a servir para tratar de una mejor manera a la información.

Cuando está plenamente manejada la información vía el software, propio del microcontrolador, se podrá realizar una visualización clara y precisa de los datos mediante una pantalla de muy buena resolución.

Además para el diseño se han considerado puntos importantes como el manejo de la información vía microcontrolador, ya que con el correcto diseño del algoritmo se podría modificar y calibrar cuantos sensores se deseen para un mismo equipo, sea el caso de mejorar o rediseñar los sensores.

## **CAPITULO 1: FUNDAMENTOS FÍSICOS DE LA MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD Y TEMPERATURA.**

### **Medición de conductividad y temperatura en hemodiálisis y plantas de tratamiento de Agua. Introducción.**

Las mediciones de conductividad y temperatura encuentran gran aplicación en general en el área clínica. Específicamente dentro del área de hemodiálisis; la medición de conductividad y temperatura son especialmente importantes para el control de la calidad del agua y el líquido de dializado<sup>1</sup>.

La estimación de la conductividad permite determinar los Sólidos Disueltos Totales (TDS, en Inglés). La determinación de los TDS es una medida primaria de la calidad del agua que permite evaluar y dictaminar riesgos para diferentes tipos y usos de agua dentro del área clínica. Una pobre conductividad indica que el agua es pura y que por lo tanto tiene alta resistencia al flujo eléctrico.

La construcción de un equipo que realice el monitoreo de la conductividad y temperatura en las soluciones químicas y agua utilizadas en las máquinas de hemodiálisis y plantas de tratamiento de agua constituye el objetivo principal de esta investigación.

Se pretende construir un equipo alternativo (Conductímetro) que cumpla con todas las exigencias de precisión y rapidez en las lecturas a un menor costo que los equipos que actualmente se comercializan.

#### **1.1. Definiciones Preliminares.**

Para empezar a realizar la investigación se debe tener en cuenta ciertos principios básicos, los cuales van a ser el punto de partida para iniciar el desarrollo del prototipo. Se debe tener en consideración todas las técnicas utilizadas por los conductímetros y termómetros digitales para en base a eso escoger de la mejor manera una técnica que vaya acorde a nuestras necesidades.

---

<sup>1</sup> Líquido de dializado: Mezcla de soluciones con el cual se depura la sangre del paciente a una determinada conductividad y temperatura.

### **1.1.1. Técnica de Conductometría.**

La conductometría es una técnica electroanalítica que permite determinar la conductancia electrolítica. La conductancia electrolítica proporciona una medida relativa de la concentración total de los iones presentes en una solución.

La conductometría es una técnica no específica, lo que significa que la medición de la conductancia en una solución que contenga dos o más electrolitos no puede proporcionar información acerca de cualquiera de los componentes de la mezcla, por lo que para medir concentraciones individuales se requiere un procedimiento adicional que complete el análisis.

### **1.1.2. Reseña Histórica de la Conductometría.**

“A raíz de su introducción como auxiliar analítico por Kolthoff en 1923, la conductometría se hizo popular como una técnica de titulación, en gran parte como un sustituto del indicador convencional en la determinación de ácidos o bases en presencia del color o de la turbiedad. Posteriormente, su uso ha disminuido a favor de métodos más selectivos y hoy en día, la conductometría raras veces se emplea en la titulación. Sin embargo, es un método muy valioso para observar la concentración, en donde no se requiera la presencia de la selectividad, por ejemplo, en la determinación de la pureza del agua” (Basil y Galen, Conductometría 225).

### **1.1.3. Conductividad eléctrica en soluciones acuosas.**

Se define a la conductividad eléctrica como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución (electrolitos<sup>2</sup>) para conducir la corriente eléctrica. Cuando el agua es pura prácticamente no existe conducción de corriente eléctrica, pero cuando existen sales disueltas conduce la corriente eléctrica. Los iones cargados positiva y negativamente son los que conducen la corriente, y la cantidad conducida dependerá del número de iones presentes y de su movilidad.

En la mayoría de las soluciones acuosas, entre mayor sea la cantidad de sales disueltas, mayor será la conductividad, pero este efecto continúa hasta que la solución se sature de iones y por ende se limite el movimiento, provocando que la conductividad puede disminuir en lugar de aumentar, dándose casos de dos diferentes concentraciones con una misma conductividad.

---

<sup>2</sup> Electrolitos: es una sustancia que disocia iones libres cuando se disuelve (o funde), para producir un medio que conduce la electricidad.

La conductividad está directamente relacionada con la concentración de sustancias ionizadas en el agua. Una vez que se han establecido correlaciones entre los valores de la conductancia y las normas características del sistema que se está supervisando, se convierte en una medida útil para manejar el procesamiento del agua.

Dependiendo de la aplicación en particular, un cambio en la conductividad puede ser señal de necesidad de añadir productos químicos cuando la mezcla es pobre o de regenerar el sistema de las plantas de agua si su conductividad es alta.

Las medidas de conductividad se usan comúnmente para determinar la pureza del agua desmineralizada y los sólidos totales disueltos en aguas para calderas, torres de refrigeración, conductividad de mezcladores por citar algunos.

La propiedad de conductividad se basa en la existencia de portadores de carga (iones o electrones) libres en un cuerpo sólido o una solución. Los metales pueden desprender de sus átomos electrones en forma muy rápida y fácil (por tal razón son buenos conductores). Los electrones que se encuentran en los últimos niveles de energía de los átomos (bandas de conducción) poseen gran movilidad y por ende ante una diferencia de potencial originan lo que se denomina corriente eléctrica.

La conductividad eléctrica es el recíproco de la resistencia en ohms, medida entre las caras opuestas de un cubo de  $1.0 \text{ cm}^3$  de una solución acuosa a una temperatura especificada. Esta solución se comporta como un conductor eléctrico donde se pueden aplicar las leyes físicas de la resistencia eléctrica. Las unidades de la conductividad eléctrica son el Siemens/cm (las unidades antiguas, eran los mhos/cm que son numéricamente equivalentes al S/cm).

#### **1.1.4. Conductancia eléctrica en soluciones acuosas.**

Se denomina conductancia eléctrica de un conductor a la inversa de la medida de la oposición que dicho conductor presenta al movimiento de los portadores de carga en su seno, esto es, a la inversa de su resistencia eléctrica.

La unidad de medida de la conductancia en el Sistema Internacional de unidades es el Siemens. Este parámetro es especialmente útil para manejar valores de resistencia muy pequeños.

### **1.1.5. Relación entre la Conductancia y la Conductividad Eléctrica.**

La conductividad y la conductancia eléctrica se relacionan porque la conductancia es la habilidad de una solución de dirigir la corriente eléctrica, mientras la conductividad es la conductancia en un volumen dado (normalmente medido en el mho/cm).

### **1.1.6. Siemens.**

La unidad de medida de la conductancia es el Siemens, la cual es el recíproco de la resistencia en Ohms.

Es fundamental tomar en cuenta que para la medida de la conductividad en esta investigación se utilizarán los submúltiplos de Siemens como son los mS y los uS.

El Símbolo en el Sistema Internacional de Medidas es el **S**, medida de la conductancia eléctrica.

### **1.1.7. Conductor eléctrico.**

Un conductor eléctrico es aquel material que ofrece poca resistencia al flujo de electricidad. La diferencia entre un conductor y un aislante, que es un mal conductor de electricidad o de calor, es de grado más que de tipo, ya que todas las sustancias conducen electricidad en mayor o en menor medida. Un buen conductor de electricidad, como la plata o el cobre, puede tener una conductividad mil millones de veces superior a la de un buen aislante, como el vidrio o la mica.

La resistencia de un conductor viene determinada por una propiedad de la sustancia que lo compone, conocida como conductividad, por la longitud por la superficie transversal del objeto, así como por la temperatura.

A una temperatura dada, la resistencia es proporcional a la longitud del conductor e inversamente proporcional a su conductividad y a su superficie transversal.

Generalmente, la resistencia de un material aumenta cuando crece la temperatura.

### **1.1.8. Temperatura.**

Las nociones científicas de calor y temperatura se soportan en la idea que nos transmite nuestro propio cuerpo. De esta manera, la sensación fisiológica dada por el tacto, que permite clasificar los cuerpos en fríos y calientes, hace tener la idea de temperatura y por consiguiente a la de calor.

La temperatura es una magnitud física descriptiva de un sistema que caracteriza la transferencia de energía térmica, o calor, entre ese sistema y otros. Desde un punto de vista microscópico, es una medida de la energía cinética asociada al movimiento aleatorio de las partículas que componen el sistema.

### **1.1.9. Medida de la temperatura.**

A partir de la sensación fisiológica, es posible hacerse una idea aproximada de la temperatura a la que se encuentra un objeto. Pero esa apreciación directa está limitada por diferentes factores; de esta manera el intervalo de temperaturas a interpretar es pequeño; además, para una misma temperatura la sensación correspondiente puede variar según se haya estado previamente en contacto con otros cuerpos más calientes o más fríos.

Entonces no es posible opinar con veracidad sobre las apreciaciones de temperatura ya que es muy subjetivo. Por ello para medir temperaturas se recurre a instrumentos llamados termómetros, sean estos de cualquier tipo.

### **1.1.10. Escalas termométricas.**

El científico sueco Anders Celsius (1701-1744) construyó por primera vez la escala termométrica que lleva su nombre. Eligió como puntos fijos el de fusión del hielo y el de ebullición del agua.

De esta forma observó que las temperaturas a las que se verificaban tales cambios de estado eran constantes a la presión atmosférica asignó al primero el valor 0 y al segundo el valor 100, con lo cual fijó el valor del grado centígrado o grado Celsius (°C) como la centésima parte del intervalo de temperatura comprendido entre esos dos puntos fijos.

## 1.2. Métodos Experimentales de medición de conductividad y temperatura.

### 1.2.1. Métodos experimentales para la medición de la conductividad.

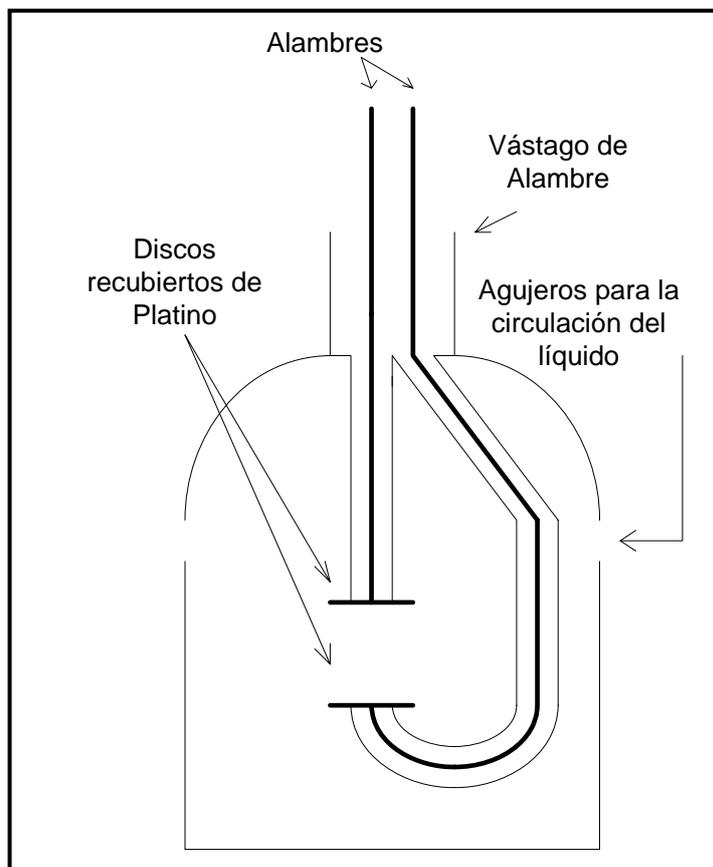
Cuando se utiliza la técnica de la conductometría se tiene que tener en cuenta que es una propiedad del volumen total de la solución y no depende del tipo de interfase que pueda interactuar con la solución.

De esta manera se toma en consideración para la determinación de la conductividad utilizar elementos que estén o no en contacto con la solución a los que se llama electrodos.

#### 1.2.1.1. Con Electrodos.

Una celda típica de conductividad consiste en un par de electrodos cubiertos de platino con un área de  $1\text{cm}^2$ , colocados en un recipiente de vidrio (**figura 1-1**).

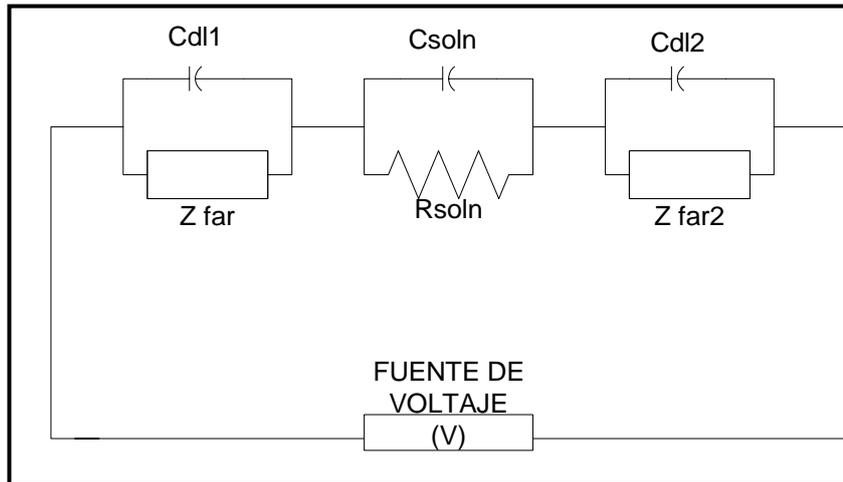
**Figura 1-1.** Celda de Conductancia típica para aplicaciones analíticas por inmersión con electrodos.



**Fuente:** Basil y Galen, Electroquímica Analítica, 1987.

“Cada electrodo tiene asociado con él mismo una impedancia,  $Z_{far}$ , conectada en derivación por la capacidad de la capa doble,  $C_{dl}$ ” (226), como se muestra en el circuito eléctrico equivalente de la **figura 1-2**:

**Figura 1-2.** Circuito equivalente para una celda de conductancia de dos electrodos.



**Fuente:** Basil y Galen, Electroquímica Analítica, 1987.

La cantidad que se desea medir es  $R_{soln}$ , esto es, la resistencia de la solución entre los electrodos, la cual se conecta en derivación con la capacidad, muy pequeña,  $C_{soln}$ , entre los electrodos. Si la fuente de voltaje es de CD entonces se puede ignorar la capacidad.

Las impedancias inducidas,  $Z_{far}$  y  $Z_{far2}$ , dependen de la naturaleza y de la concentración de la solución, pero, en general, no son insignificantes. Por tanto la medición con CD requiere dos electrodos sonda en los puntos X y Y del circuito, lo cual asegura que solo se mide la caída de voltaje a través de  $R_{soln}$ .

Por otra parte, puede utilizarse ventajosamente un voltaje alterno (CA). Para analizar el circuito, cada capacidad se debe reemplazar por su correspondiente impedancia  $Z_c = 1/(2\pi fC)$ . Por la ley de la combinación de las impedancias paralelas, se puede escribir para cada electrodo:

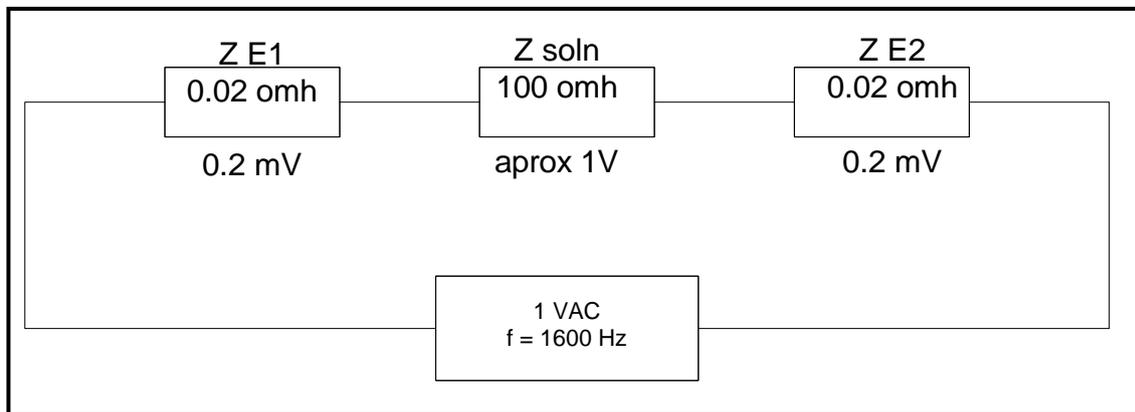
$$Z_c = \frac{Z_{far} Z_{C.dl}}{Z_{far} + Z_{C.dl}}$$

y para la solución:

$$Z_{soln} = \frac{R_{soln} Z_{C.soln}}{R_{soln} + Z_{C.soln}}$$

dando origen al circuito equivalente simplificado (227) al de la **figura 1-3**:

**Figura 1-3.** Circuito equivalente para una celda de conductancia para CA con electrodos.



**Fuente:** Basil y Galen, Electroquímica Analítica, 1987.

Ahora se harán algunas suposiciones sobre los valores numéricos implicados, las condiciones típicas pueden ser:

Amplitud CA = 1V

f = 1600 Hz

$R_{soln} = 100 \Omega$

$C_{soln} = 10 \text{ pF}$

$Z_{C.soln} = 10 \text{ M}\Omega$

y para cada electrodo:

$$Z_{far} = 1000 \Omega$$

$$C_{dt} = 5000 \mu\text{F}$$

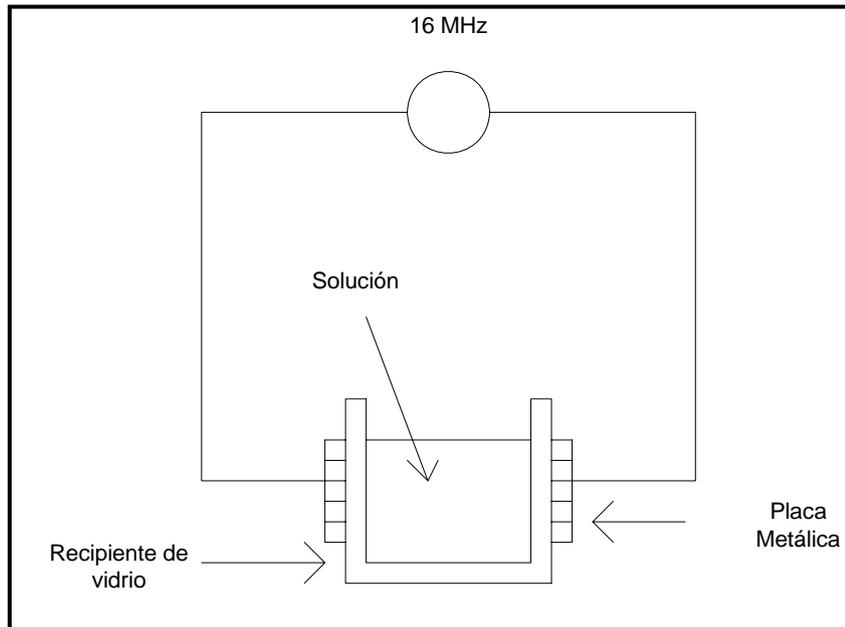
$$Z_{C.dt} = 0.02 \Omega$$

Por estas cifras y el circuito equivalente, se puede ver que, esencialmente, todo un voltio que procede de la fuente de CA, aparecerá a través de la solución misma y solo será una parte insignificante del mismo que aparezca a través de la interfase de cada electrodo individual, es decir, aproximadamente 0.2 mV. Este es un voltaje demasiado pequeño para que pueda causar un efecto químico en los electrodos. El resultado neto será que los iones presentes en la solución oscilarán de un lado a otro a la frecuencia de CA hasta un grado determinado por sus movilidades relativas, pero que no tomarán parte en ninguna interacción electroquímica con los electrodos (228).

#### 1.2.1.2. Sin Electrodos.

Puesto que no es necesaria transferencia alguna de electrones entre los electrodos y la solución, en las mediciones de conductometría de CA, no hay necesidad de un contacto real entre la superficie metálica y la solución. De hecho, es posible hacer tales mediciones, reemplazando los electrodos por placas de metal cementadas a las superficies exteriores del recipiente de vidrio (228), la cual se muestra en la **figura 1.4**.

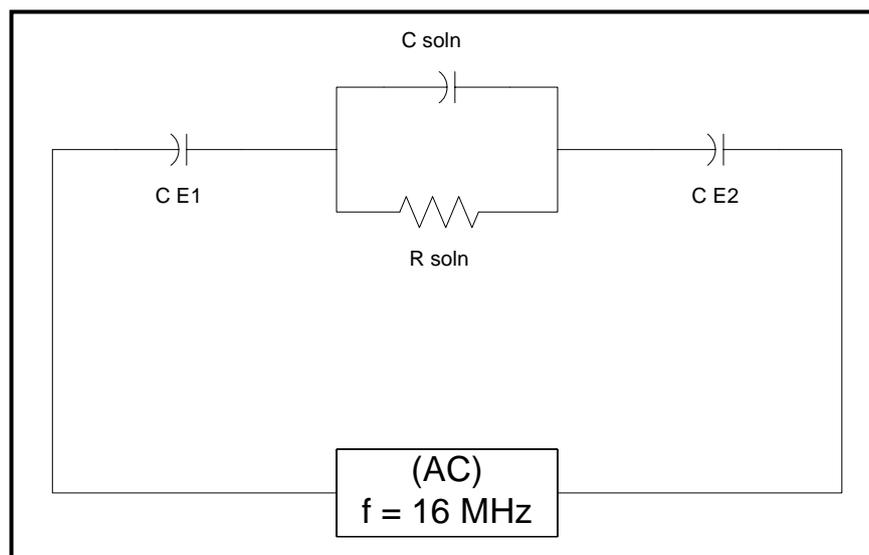
**Figura 1-4.** Celda de conductividad típica para soluciones analíticas tipo de alta frecuencia.



**Fuente:** Basil y Galen, Electroquímica Analítica, 1987.

“Para mantener la impedancia capacitaba en su situación de vínculo entre las placas y la solución, a un valor razonable, se empleará una frecuencia más elevada” (228). El circuito equivalente pertinente se muestra en la **figura 1-5**.

**Figura 1-5.** Circuito Equivalente para una celda de conductancia de dos electrodos para CA, sin electrodos.



**Fuente:** Basil y Galen, Electroquímica Analítica, 1987.

Una serie de condiciones típicas ahora podría ser:

$$f = 16 \text{ Mhz}$$

$$R_{\text{soln}} = 100 \ \Omega$$

$$C_{\text{soln}} = 5 \text{ pF}$$

$$Z_{C.\text{soln}} = 2000 \ \Omega$$

y para cada placa (que sustituya a un electrodo).

$$C_{\text{placa}} = 15 \text{ pF}$$

$$Z_{C.\text{placa}} = 6600 \ \Omega$$

La impedancia de la solución es la combinación paralela de  $Z_{C.\text{soln}}$  ( $2000 \ \Omega$ ) y

$R_{\text{soln}}$  ( $100 \ \Omega$ ), o sea 95. Este valor resulta pequeño, comparado con la impedancia de  $6600 \ \Omega$  de la placa, pero este último valor es constante y se puede restar. Se puede aplicar un mayor voltaje de CA, ya que no hay posibilidad alguna de que ocurra algún proceso inducido y a través de la solución aparecerá una caída lo bastante grande para que se pueda medir con precisión (229).

### 1.2.1.3. Por Inducción magnética.

Los instrumentos antes descritos utilizan el acoplamiento capacitivo entre la muestra y el mundo exterior. Es asimismo posible emplear el acoplamiento inductivo con este objeto.

Una manera de realizarlo consiste sencillamente en colocar una solución en un recipiente de vidrio, dentro de su serpentín de alambre, a través del cual fluya una

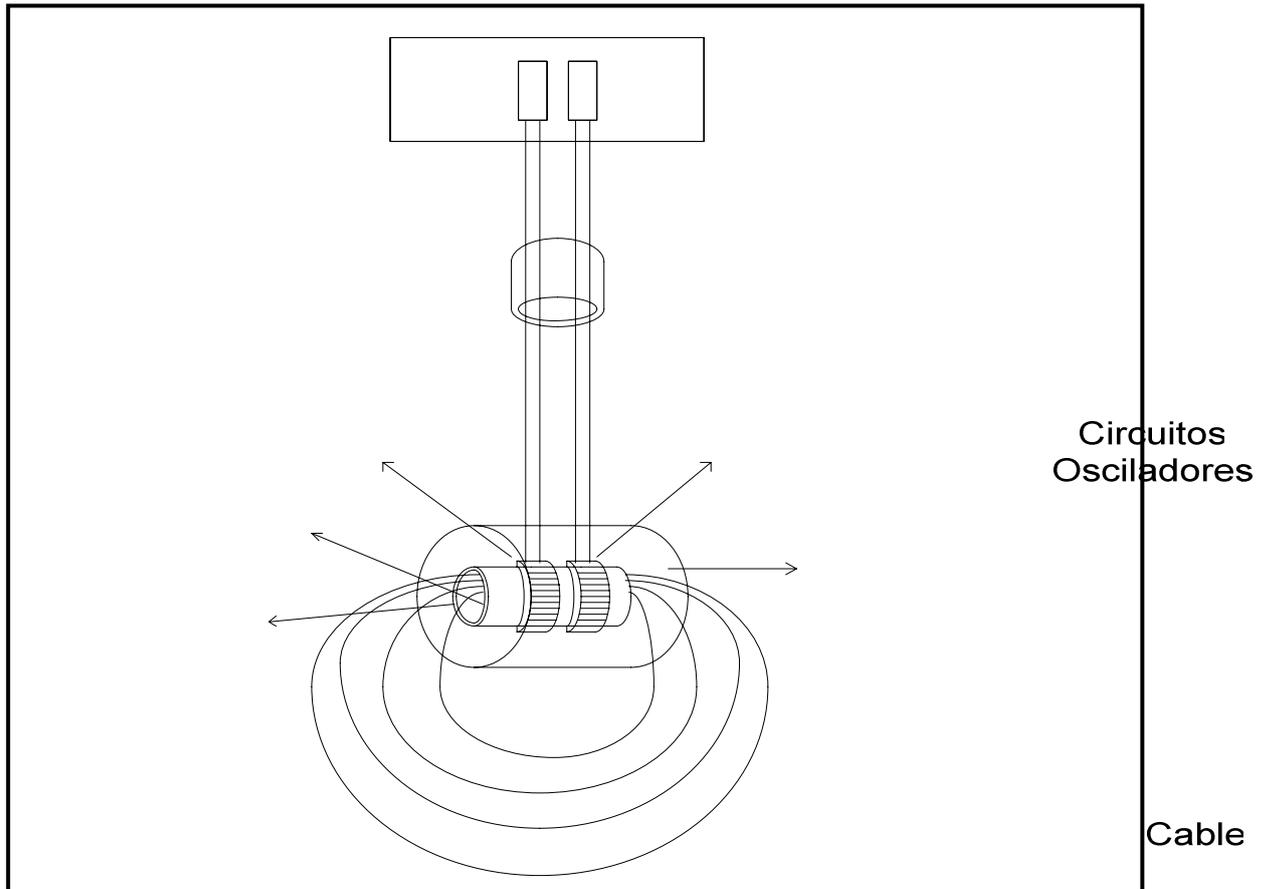
corriente de CA. Se establecen corrientes Eddy (corrientes parásitas) en la solución, las cuales disipan energía en proporción a la conductividad. Este fue el método que utilizaron Jensen y Parrack en la primera titulación conductométrica sin electrodos que se informó.

Principalmente también es el mismo que se ha adaptado a los sistemas modernos de circuitos electrónicos, en el más reciente titulómetro de alta frecuencia del cual los autores tienen conocimiento.

Otra alternativa es el uso de dos bobinas, enlazadas entre sí por una corriente de circuito cerrado inducidas en la muestra. La **figura 1-6** muestra dos instrumentos especialmente diseñados para realizar mediciones de salinidad en el agua de mar.

Los dos serpentines se enrollan de forma toroidal alrededor de un tubo plástico abierto y el conjunto se sumerge en el mar atado por medio de un cable. La corriente de la bobina primaria induce una corriente en el agua de mar, y ésta, a su vez, induce una corriente en el enrollado (230).

**Figura 1-6.** Dispositivo para la medición de la concentración iónica total (salinidad) del agua del mar.



Fuente: Basil y Galen, Electroquímica Analítica, 1987.

**1.2.2. Método Experimental para la medición de la temperatura. Base**

**Experimental:**

Un termómetro de resistencia es un instrumento utilizado para medir las temperaturas aprovechando la dependencia de la resistencia eléctrica de metales, aleaciones y semiconductores (termistores, RTD) con la temperatura; de esta forma se puede utilizar esta propiedad del material como conductor, aislante o semiconductor.

Para la determinación del valor de la resistencia, sea de tipo metálico o semiconductor, se pueden utilizar tres tipos diferentes de montaje.

Tubo epóxido

Corrie  
eléct  
inducida  
agu  
del m

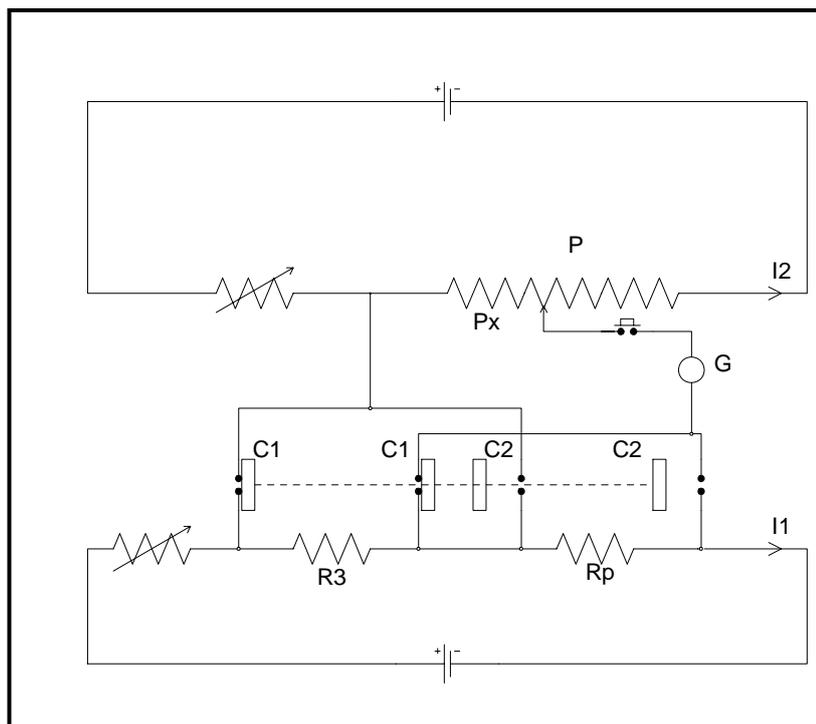
### 1.2.2.1. Tipo potenciométrico.

El procedimiento más sensible y de mayor precisión es el de tipo potenciométrico que utiliza dos fuentes de alimentación de corriente estabilizada para alimentar las dos ramas del potenciómetro (**figura 1-7**).

En serie con la resistencia a determinar se conecta una resistencia de precisión conocida previamente. Este es un método que utiliza un sensor de platino bastante preciso porque es un método de cero, con lo que la medición elimina los posibles errores que puedan introducir los conductores que realizan la conexión al sensor.

Para montarlo es indispensable que esta resistencia tenga conectados cuatro hilos, dos para la corriente y dos para la lectura de tensión.

**Figura 1-7.** Método potenciométrico de medida de la resistencia  $R$  de un termómetro de Pt.



Fuente: <http://es.geocities.com/fisicas/>

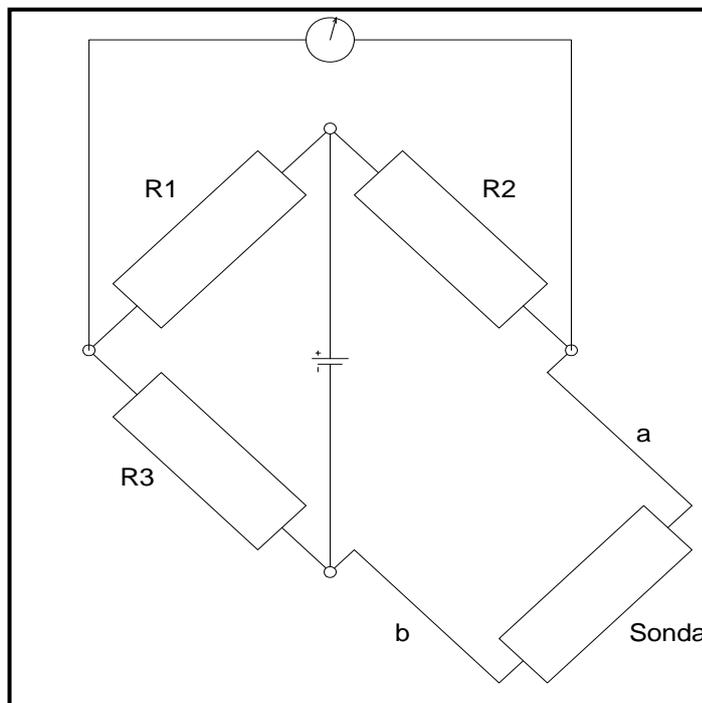
### 1.2.2.2. Método Puente de Wheastone.

#### 1.2.2.2.1. Montaje de dos hilos.

La sonda de resistencia se conecta a uno de los brazos del puente (**figura 1-8**). Es el montaje más sencillo, pero tiene la dificultad de que la resistencia de los hilos a y b de conexión de la sonda al puente varía cuando cambia la temperatura y esta por ende está variación causa errores en la apreciación de la medición; por lo tanto la indicación de temperatura, aunque estos hilos sean de baja resistencia y esta sea conocida, las longitudes que puede haber en entre la sonda y el amplificador instrumental que realiza la captación de datos, añaden una gran resistencia al brazo de la sonda variando la precisión de la lectura esperada.

El inconveniente de este montaje se basa principalmente en lecturas donde la precisión dentro de un rango pequeño sea requerida y las distancias de los cables de conexión sean considerables, por ello el montaje es recomendable para lecturas con temperatura ambiente y cuando la sonda y el instrumento receptor estén muy cerca, generalmente para mediciones de campo.

**Figura 1-8.** Método de Puente de Wheastone de montaje de dos hilos para la medición de la temperatura.



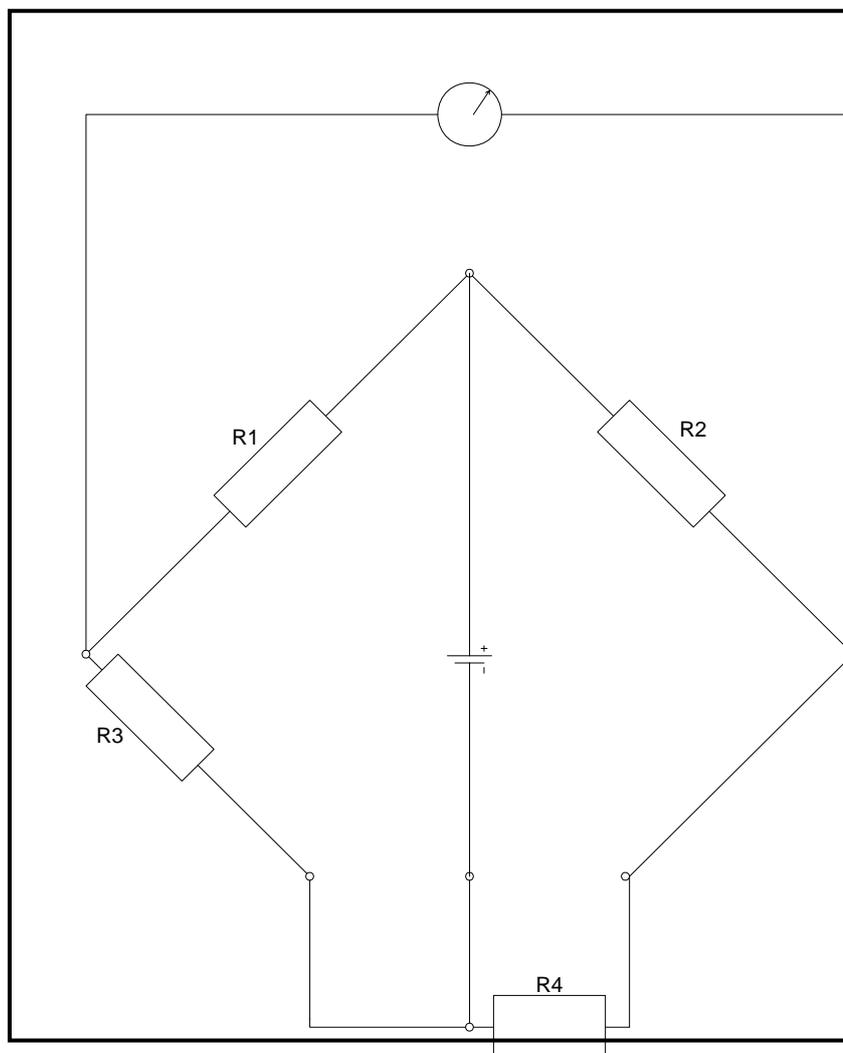
Fuente: <http://es.geocities.com/fisicas/>

### 1.2.2.2. Montaje de tres hilos.

Este montaje es uno de los más utilizados (**figura 1-9**). En este circuito la sonda está conectada mediante tres hilos al puente, de este modo, la medida no es afectada por la longitud de los conductores ni por la temperatura.

La temperatura afecta a la sonda y a los dos brazos adyacentes del puente; por esto es un método bastante preciso cuando se varía la medición en rangos bastantes grandes. La condición principal para que la medición no tenga inconvenientes es que los hilos a y b de conexión tengan exactamente la misma longitud.

**Figura 1-9.** Método de Puente de Wheastone de montaje de tres hilos para la medición de la temperatura.



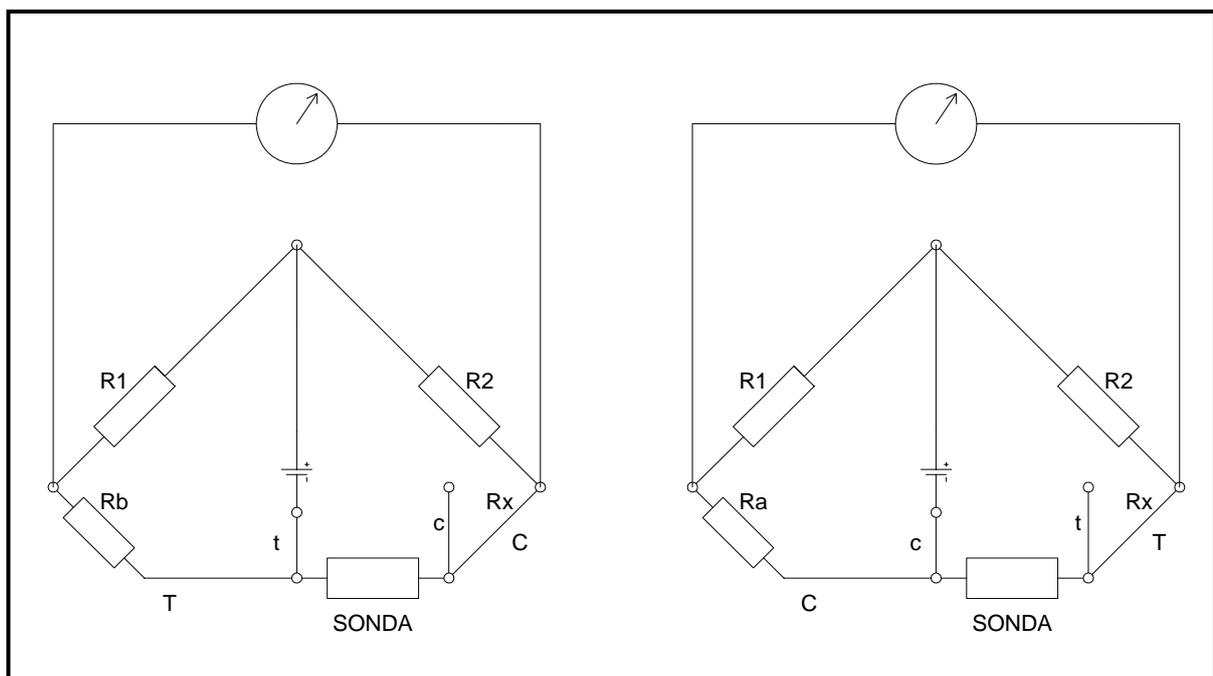
Fuente: <http://es.geocities.com/fisicas/>

### 1.2.2.3. Montaje de cuatro hilos.

Se utiliza para obtener la mayor precisión posible en la medida como es el caso de calibración de patrones de resistencia en laboratorio. Su principio es efectuar dos mediciones de la resistencia de la sonda combinando las conexiones de modo tal que la sonda pase de un brazo del puente al adyacente (**figura 1-10**).

Al realizarse la combinación de las conexiones los hilos de conexión compensan sus resistencias desiguales. Este método es muy útil cuando se realiza mediciones en laboratorios de alta precisión, como es el caso de calibración de patrones de resistencia en laboratorio.

**Figura 1-10.** Método de Puente de Wheastone de montaje de cuatro hilos para la medición de la temperatura.



Fuente: <http://es.geocities.com/fisicas/>

### 1.2.2.3. Método de las cuatro puntas de determinación de resistencias.

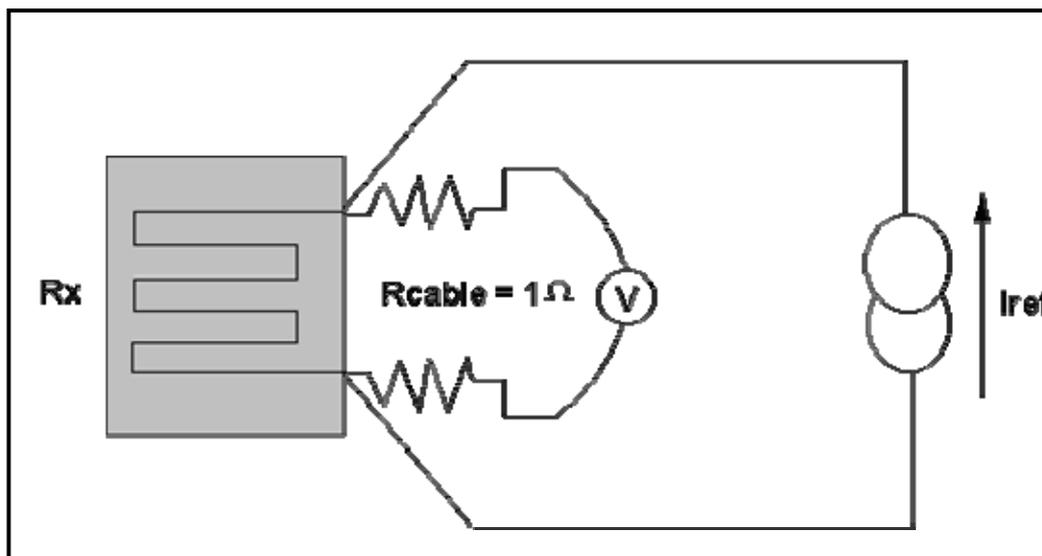
El procedimiento que más se utiliza, aunque su precisión depende total y exclusivamente del equipo que realiza la recolección de datos. Es la medida de la diferencia de potencial entre los extremos del sensor de Platino.

La elección del platino en los RTD de la máxima calidad permite realizar medidas más exactas y estables hasta una temperatura de aproximadamente 500 °C alimentado por una fuente de corriente constante.

Este corresponde al método de las cuatro puntas de determinación de resistencias (**figura 1-11**). Muchos equipos como los multímetros digitales vienen con la circuitería para la determinación de resistencias por este método o por el de dos puntas.

También se debe señalar que hay numerosos multímetros que tienen incorporado en su sistema de medida de resistencias la posibilidad de que ésta se corresponda con un termómetro de platino, y por tanto, visualiza directamente los valores de la temperatura en la escala elegida.

**Figura 1-11.** Método de las cuatro puntas de determinación de resistencias.



**Fuente:** <http://www.cienciasmisticas.com.ar/>

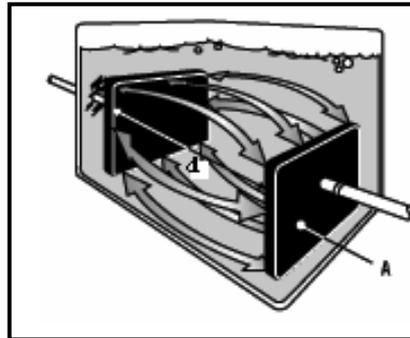
### 1.3. Métodos de medición para la Conductividad y Temperatura utilizados en esta Investigación.

#### 1.3.1. Método de medición para la Conductividad.

En esta investigación se medirá la conductividad entre dos electrodos metálicos (Resistencia Eléctrica de una Solución Acuosa) sumergidos en una solución acuosa, ya que su comportamiento es similar a un conductor eléctrico.

En la práctica no se mide la conductividad entre electrodos de  $1 \text{ cm}^2$  sino con electrodos de diferente tamaño, rectangulares o cilíndricos, o de diversa forma, por lo que al hacer la medición, en lugar de la conductividad, se mide la conductancia ( $I_t/V_t$ ), la cual al ser multiplicada por una constante ( $k$ ) de cada celda en particular, se transforma en la conductividad en  $\text{S/cm}$ .

**Figura 1-12.** Celda de Conductividad sumergida en la Solución a medir.



**Conductividad** = Conductancia de la muestra \*  $k$

$$k = d/A$$

**k:** Constante de la celda

**d:** Distancia de la separación de los electrodos

**A:** Área de los electrodos

Así, un electrodo de  $1 \text{ cm}$  de separación y con área de  $1 \text{ cm}^2$ , tendrá una  $k = 1$ .

La constante celular,  $K$ , es igual al área normal al flujo actual en centímetros cuadrados dividido por la longitud en los centímetros entre los electrodos (**figura 1-12**). Para las soluciones con las conductividades bajas los electrodos pueden ponerse más cerca o diseñarlos mas pequeños para que la constante de la celda esté menos de uno.

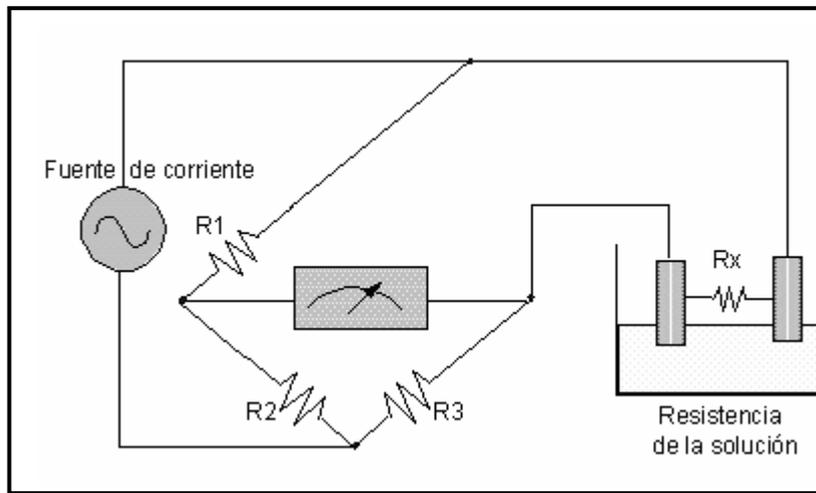
Esto incrementa la conductancia para producir un valor más fácilmente interpretado por el medidor. La conversión también aplica, en las soluciones de conductividades altas, los electrodos se colocan más lejos o diseñarlos de mayor longitud.

La medición eléctrica se efectúa mediante un **Puente de Wheastone** para medir resistencias (**figura 1-13**).

Las resistencias  $R_1$  y  $R_2$  son fijas y su valor va de acuerdo al intervalo de conductividad que se pretende medir. La resistencia  $R_x$  es la que proporciona la solución química, o sea a la cual va a realizar la medición de conductividad.

La resistencia  $R_3$  se varía en forma continua hasta poner en equilibrio el puente, de tal forma que no pase corriente hacia el medidor.

**Figura 1-13.** Puente de Wheastone para medir la Conductividad.



Fuente: <http://members.tripod.com>

En la práctica, la conductividad eléctrica de una solución se mide mediante el uso de una corriente alterna (AC) con el fin de evitar los efectos de la polarización. Cuando se usa una corriente continua (DC) los iones vecinos al electrodo emigran hacia este, produciendo un empobrecimiento de electrolitos en el medio.

Esto hace que la conductividad se altere como consecuencia de la variación en la concentración. Este fenómeno se llama polarización de los electrodos y hace imposible medir la conductividad por medio de corriente DC.

Por tal motivo los conductímetros utilizan una corriente AC, cuya frecuencia varía desde 60 Hz hasta 1000 Hz. Se recomienda utilizar una corriente alterna con una frecuencia alrededor de 500 a 1000 Hz. La forma de señal más utilizada es la onda cuadrada aunque la eficiencia de esta es más baja que la onda sinusoidal y más susceptible a interferencias y/o ruido.

El tema de no usar corriente continua tiene que ver también con respecto a lo que es la impedancia de interfase, este es una impedancia que se produce entre los electrodos y la solución a medir, para disminuir esta impedancia (que en este caso es ruido, para otras cosas es de suma utilidad) se trabaja con alterna.

A medida que aumentamos la frecuencia del oscilador, estamos disminuyendo la impedancia interfase, pero esto tiene un punto donde el comportamiento ya es asintótico, por lo que no tiene sentido aumentar más la frecuencia, ya que va en contra con los componentes a utilizar. Con una frecuencia de 500 hz se tiene una impedancia interfase despreciable, lo cual es lo ideal para trabajar en el sistema de adquisición de datos.

La Conductividad visualizada de una solución acuosa es la medida de los electrolitos en una solución acuosa, que a su vez es la conductancia en un volumen dado.

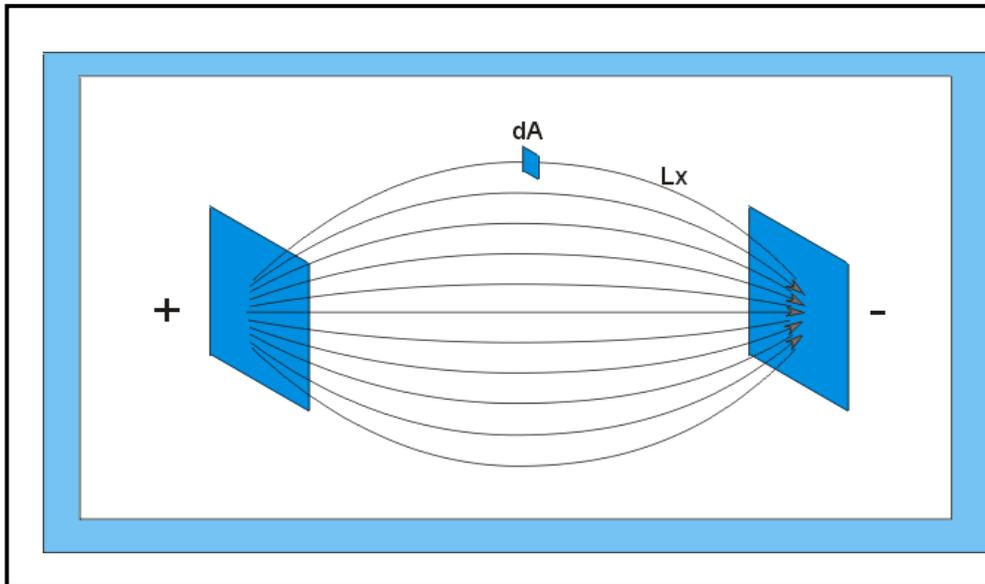
Un factor importante es que la conductividad no solo se puede medir en soluciones acuosas, sino que todas las sustancias poseen algunas propiedades conductivas. Los compuestos generalmente orgánicos (como el benceno, alcoholes, y productos de petróleo) tienen las conductividades muy bajas, mientras metales tienen las conductividades muy altas.

Midiendo la conductividad de líquidos muy inflamables es muy peligroso, ya que la medición se la realiza con el paso de la corriente eléctrica a través de la solución y puede inflamarse fácilmente, dependiendo obviamente de la solución.

Por esta razón el diseño del equipo queda definido específicamente para trabajar solamente en soluciones con metales disueltos (TDS) y no en soluciones inflamables, ya que se podría tener algún problema de ignición.

### 1.3.1.1. Deducción de las fórmulas:

**Figura 1-14.** Diagrama de dos electrodos separados cierta distancia sumergidos en una Solución Acuosa.



En la **figura 1-14** Sean:

$dA$  = Diferencial de Área.

$Lx$  = Camino o ruta de cada filamento de Corriente Eléctrica.

$Rx$  = Resistencia Eléctrica de cada ruta.

$Rt$  = Resistencia global de todas las rutas.

$r$  = Resistividad del Material

C.E. = Conductividad del material

$I_t$  = Conducción; Intensidad total de corriente que pasa de una placa a la otra.

$V_t$  = Diferencia de Potencial entre las placas.

$I_t/V_t$  = Conductancia, la cual es el inverso de la Resistencia o sea  $1/R_t$ .

$$1/R_t = 1/R_{x_1} + 1/R_{x_2} + 1/R_{x_3} + \dots + 1/R_{x_n} \quad (1)$$

$$R_x = (r \cdot L_x) / dA \quad (2)$$

De donde:

$$1/Rt = dA/r x [1/Lx_1 + 1/Lx_2 + 1/Lx_3 + ..... + 1/Lx_n ] \quad (3)$$

$$It/Vt = 1/Rt = 1/r \int (dA/Lx) \quad (4)$$

Por definición

$$C.E. = 1/r \quad (5)$$

entonces:

$$C.E. = 1/Rt x [(dA/Lx)]^{-1} = It/Vt x [(dA/Lx)]^{-1} \quad (6)$$

En esta última ecuación (6),  $It$  es la Conductancia eléctrica,  $It/Vt$  es la Conductancia y la ecuación completa es la Conductividad. El último término de la ecuación se denomina Constante de Celda y depende únicamente de la geometría de la celda y del espacio circundante (sea dicho de paso de cualquier forma geométrica). Cuando hay alguna pared o barrera que interrumpa el paso de la corriente por el espacio circundante, esta afectará también la Constante de Celda. Las unidades de la Constante de Celda son usualmente  $\text{cm}^{-1}$ . En general, mientras más separados se encuentren los electrodos, menor será el guarismo de la constante de celda.

### 1.3.2. Método de medición de la Temperatura utilizado en la Investigación.

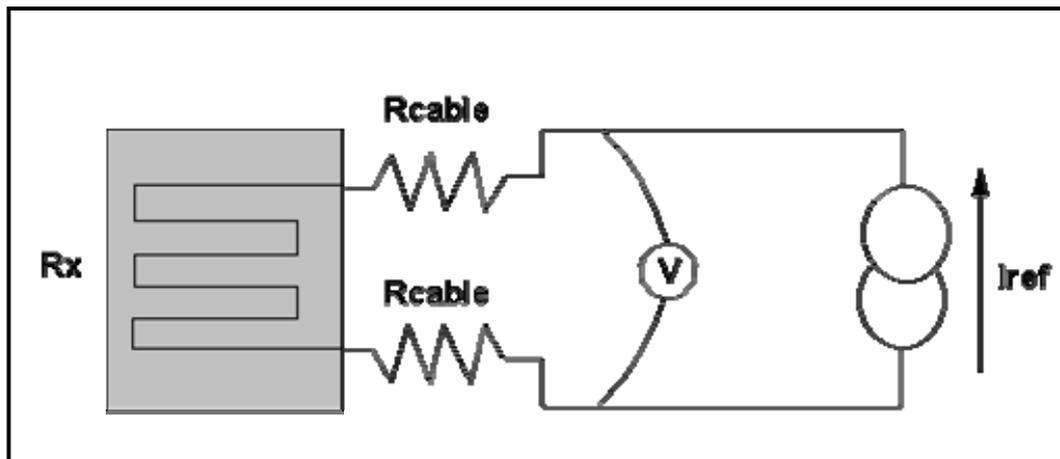
En esta investigación se utiliza el Método de Puente de Wheastone de montaje de dos hilos para la medición de la temperatura. En este método se coloca una resistencia eléctrica que varía de acuerdo a la temperatura en uno de los brazos del puente. A esta resistencia eléctrica se la conoce como termistor.

Los termistores se componen de una mezcla sintética de óxidos de metales, como manganeso, níquel, cobalto, cobre, hierro y uranio. Si su coeficiente de temperatura es negativo se denominan NTC (Negative Temperature Coefficient), se denomina PTC (Positive Temperatura Coefficient).

En la medición de la temperatura se utilizan los termistores tipo NTC porque la principal característica de estas resistencias es que tienen una sensibilidad del orden de diez veces mayor que las metálicas y aumenta su resistencia al disminuir la temperatura con mayor sensibilidad (la linealidad depende del tipo de sensor, básicamente de sus aleaciones).

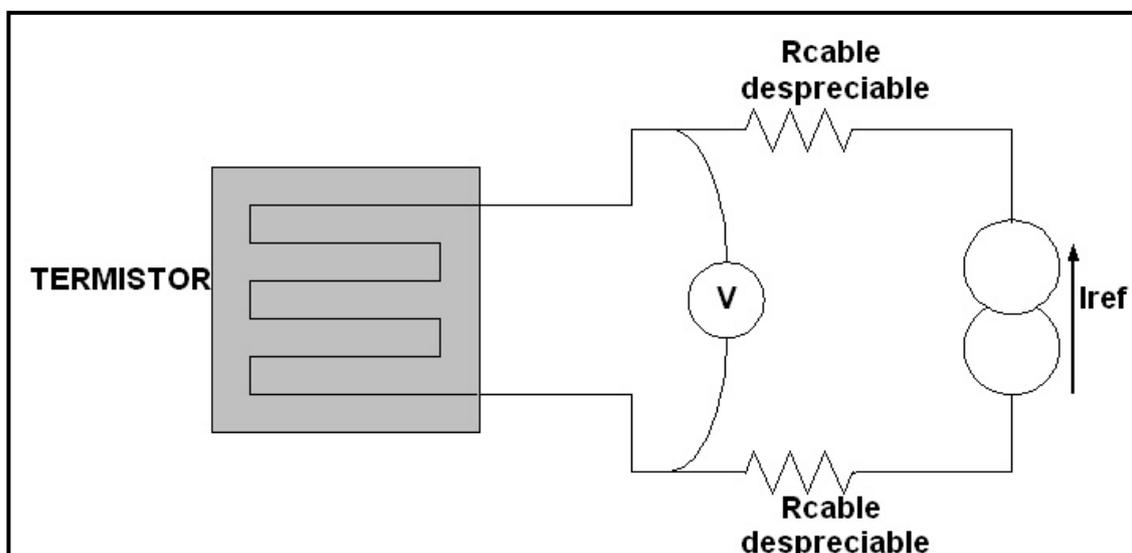
En la del Método de Puente de Wheastone de montaje de dos hilos (**figura 1-15**), la resistencia se mide en los terminales del sistema de adquisición de datos, por lo que la resistencia de los hilos forma parte de la cantidad desconocida que se pretende medir.

**Figura 1-15.** Método de Puente de Wheastone de montaje de dos hilos para la medición de la temperatura para temperaturas desde los -100 °C a 450 °C.



Para efectos de medición en esta investigación, los valores a medir de temperatura son muy pequeños (oscilan desde los diez a cuarenta y cinco grados Celsius) por ende la resistencia de los cables se la considera despreciable (**figura 1-16**), porque dicha resistencia variará alrededor de 1 ohmio por grado Celsius, y el termistor varía varios cientos de ohmios por grado Celsius.

**Figura 1-16.** Método de Puente de Wheastone de montaje de dos hilos para la medición de la temperatura para temperaturas desde los 10 y 45 °C.



### 1.3.3. Relación de la temperatura con la conductividad.

La conductividad de una concentración electrolítica determinada cambia con la temperatura. La relación entre el cambio en la conductividad en función de la temperatura se describe en términos del coeficiente de temperatura para la disolución.

Estos coeficientes de temperatura varían con la naturaleza y concentración del electrolito. El efecto de temperatura en las lecturas de conductividad depende de la solución que es medida. El efecto es más grande en las soluciones de fuerza iónica baja (la conductividad baja).

### 1.3.4. Compensación de la Conductividad por cambio de Temperatura.

Por definición, un valor de conductividad compensado por cambio de temperatura es la conductividad que tendría la disolución a la temperatura de referencia (que puede ser distinta de la temperatura de trabajo). Esta temperatura de referencia puede ser 20 o 25°C, y cuanto más cercana sea la temperatura de medida a la temperatura de referencia, menor será el error cometido. El valor de conductividad de una solución depende de la temperatura de la muestra en el momento de realizar la medición. Para obtener resultados precisos la lectura se realiza a 25.0°C. Las mediciones de Conductividad en el laboratorio son relativamente precisas, sin embargo datos con menor precisión se utilizan en otras aplicaciones.

Se debe aplicar una "regla de tres simple". Es decir, se debe tener la constante de variación de conductividad del agua en función de la temperatura. La conductividad normalmente aumenta a medida que aumenta la temperatura. La constante puede ser un valor expresada de la siguiente forma: 0,5% / °C (un valor alto y no común es que la solución tenga una variación máxima del 2% / °C).

Este valor se puede encontrarlo en función de la solución que se está midiendo, para ello se debe trazar una curva con dos puntos: medir la solución a 25 °C, y medir la misma solución sin variar la conductividad de la misma a 40°C por ejemplo; entonces se obtendrá la pendiente de esa curva y da como resultado la variación de la conductividad en función de la temperatura. Se usa este valor para luego dar lecturas de conductividad normalizadas a 25°C (es lo más común).

En esta investigación no se va a utilizar el sistema de Compensación de Conductividad por cambio de temperatura, ya lo que se requiere conocer es la conductividad a temperaturas específicas (en las máquinas de Hemodiálisis trabajan con temperaturas de 37° C, que es la temperatura corporal, y en las plantas de tratamiento se toma el valor de Conductividad a temperatura ambiente).

#### **1.4. Sensores de Conductividad y Temperatura.**

##### **1.4.1. Sensores de Conductividad.**

Los Sensores de Conductividad son las denominadas Celdas de Conductividad. El requisito fundamental para obtener una celda de Conductividad es un par de electrodos que están firmemente ubicados a una distancia constante uno con respecto al otro. Existen dos clases de Electrodos en las Celdas de Conductividad, los electrodos Platinizados y los no Platinizados.

##### **1.4.1.1. Celdas de Conductividad con Electrodos Platinizados o de Platino.**

Estos electrodos son recubiertos de Platino, porque este material presenta una alta resistencia a las altas temperaturas (útiles para trabajar en hornos) y además sirve para aumentar su superficie efectiva (aumenta su área de trabajo varios cientos de veces en relación a otros metales) pero no geométricamente, por lo cual minimiza los efectos de capacitancia (generalmente para utilizar en laboratorios en aplicaciones de titulaciones), además que tiene una gran resistencia a la corrosión (empleados cuando se trabaja en la medición de soluciones corrosivas, como por ejemplo ácidos).

La elección de la celda depende de la amplitud esperada de conductividad y de la amplitud de resistencia del instrumento.

Este tipo de celda es en forma de pipeta o de inmersión. El costo de estos electrodos es sumamente alto por las características físicas que poseen.

##### **1.4.1.2. Celdas de Conductividad con Electrodos no Platinizados.**

Son Electrodos construidos de metales comunes (entre otros, acero inoxidable), se emplean para monitoreos continuos o mediciones en campo o rutinarias.

Se calibran por comparación de las lecturas contra un instrumento de laboratorio o soluciones patrón (las soluciones patrón se consiguen comúnmente en el comercio para calibraciones de las Celdas de Conductividad).

#### **1.4.1.3. Tipos de Celdas de Conductividad (Electrodos Platinizados o no Platinizados).**

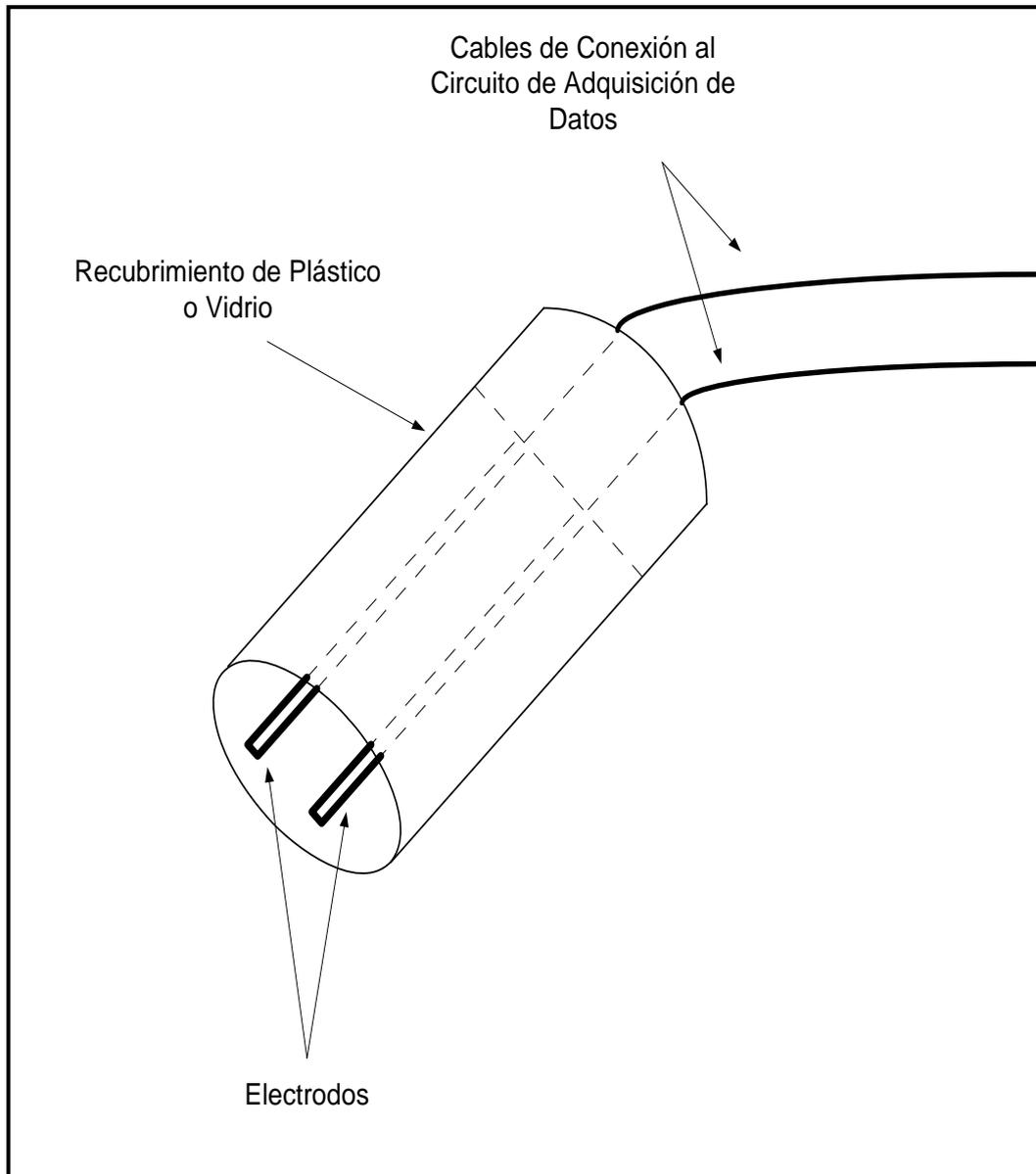
##### **1.4.1.3.1. Celdas de Conductividad de tipo de Inmersión con Recubrimiento plástico o de vidrio.**

Las Celdas de Conductividad de tipo de inmersión (**figura 1-17**) son las cuales se introducen en un recipiente con la solución a medir y tienen un recubrimiento sea de plástico o de vidrio (generalmente se las emplea en laboratorios para minimizar la contaminación atmosférica).

Su recubrimiento depende de la aplicación, básicamente por las temperaturas a la cual se encuentran las soluciones (sus electrodos casi siempre son platinizados).

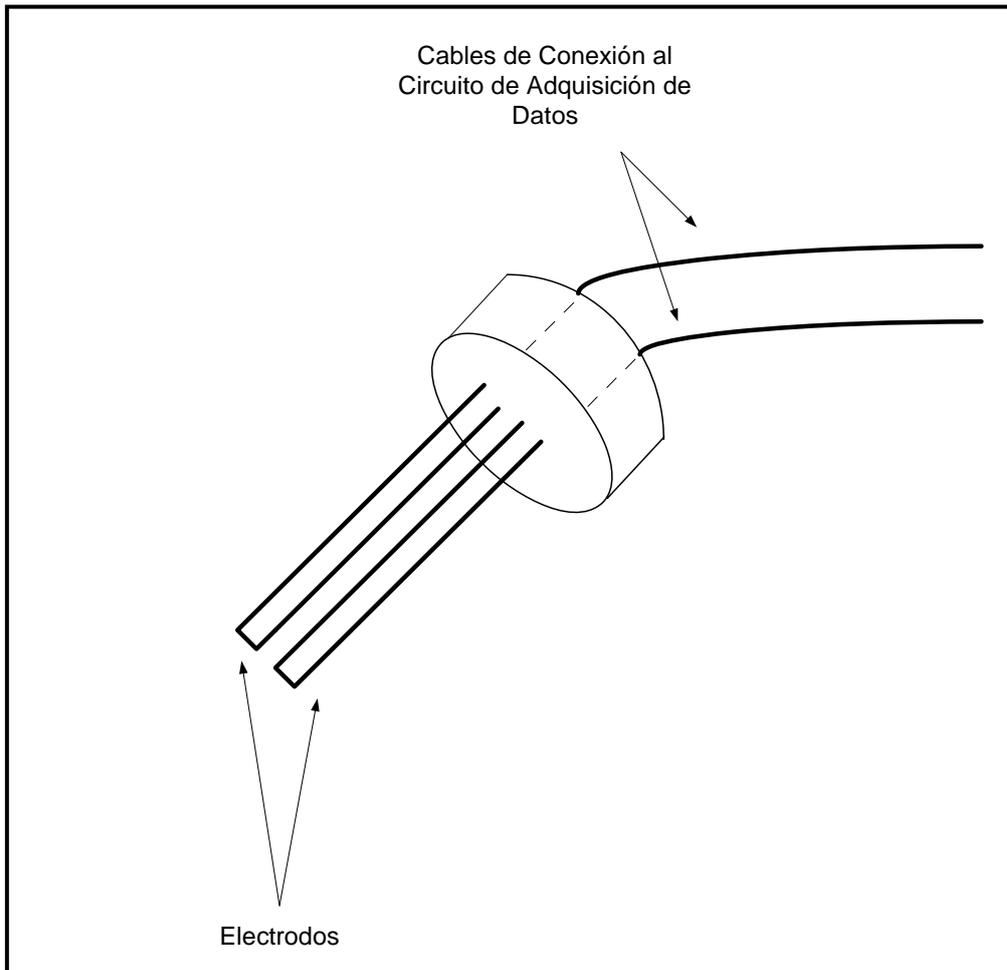
Se utilizan con recubrimiento de plástico para medir a temperatura ambiente, y las de vidrio para temperaturas un poco más elevadas (depende del tipo de cristal y así determinar la máxima temperatura a ser sumergida).

**Figura 1-17.** Celdas de Conductividad con de tipo de inmersión con recubrimiento.



#### 1.4.1.3.2. Celdas de Inmersión sin Recubrimiento.

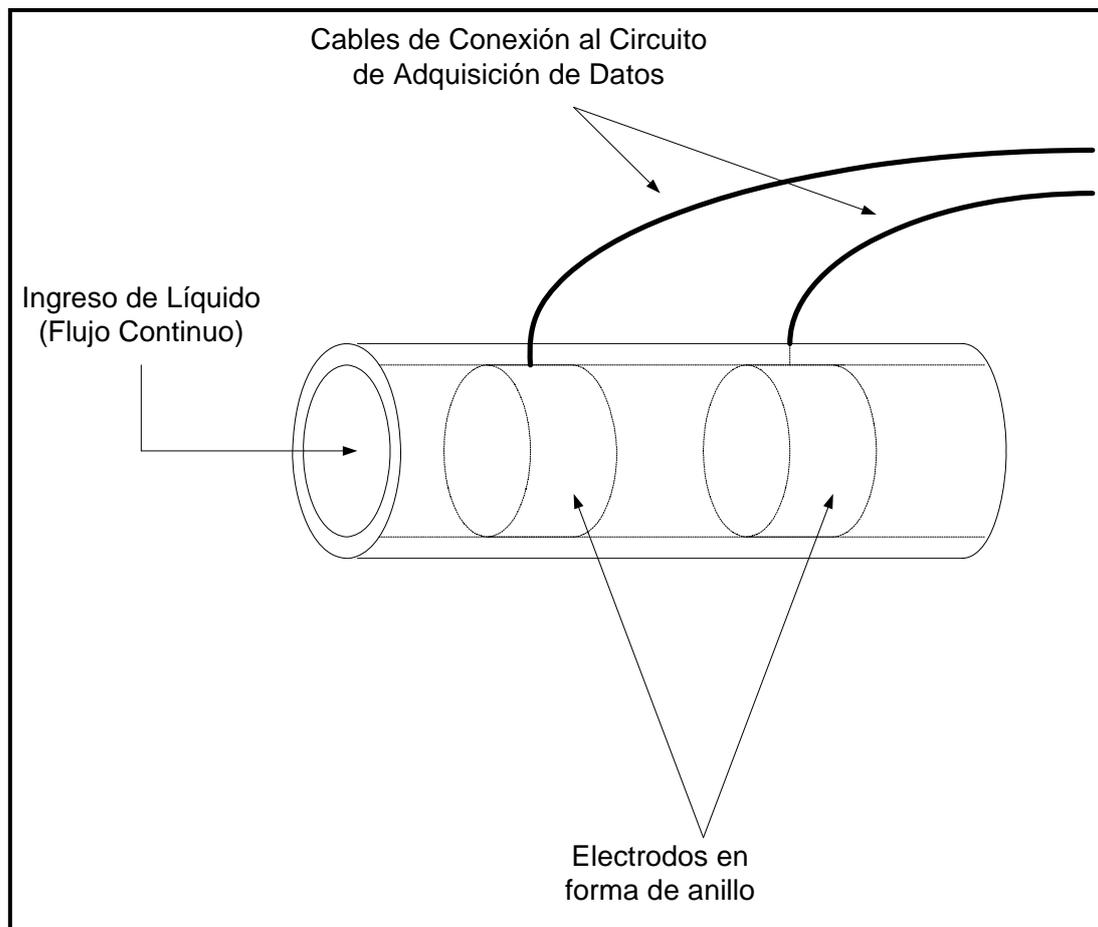
Estos de tipo de Celdas son las cuales no tienen ningún recubrimiento para los electrodos (**figura 1-18**) y se las emplea comúnmente cuando se quiere tomar medidas de campo (generalmente sus electrodos no son de Platino).

**Figura 1-18.** Celdas de inmersión sin recubrimiento.

#### 1.4.1.3.3. Celdas de Conductividad de Flujo Continuo.

Las Celdas de Flujo Continuo (directo) o en línea (**figura 1-19**) se utilizan para soluciones en las cuales están en constante movimiento (soluciones en las cuales varía su conductividad y temperatura permanentemente y su medida debe ser verificada continuamente).

Estas deben ser usadas para mediciones de conductividades abajo de  $10 \mu\text{S}/\text{cm}$ , para evitar contaminación de la atmósfera se recomienda que el flujo a través de la celda sea de  $0,3\text{m}/\text{s}$ .

**Figura 1-19.** Celdas de Conductividad de flujo continuo.

En la investigación se utiliza la Celda de Conductividad con Electrodos no Platinizados y de Inmersión sin Recubrimiento, porque la medida de Conductividad de la Solución se la realiza dentro de un recipiente, implica tener un menor costo del sensor, y además el instrumento está diseñado para minimizar errores en la constante de la Celda.

#### **1.4.2. Sensores de Temperatura.**

##### **1.4.2.1. Conceptos Básicos de los Transductores Eléctricos de Temperatura.**

Los transductores eléctricos de temperatura utilizan diversos fenómenos que son influidos por la temperatura y entre los cuales podemos indicar:

- a. Variación de resistencia en un conductor (sondas de resistencia).
- b. Variación de resistencia de un semiconductor (termistores).

- c. f.e.m. creada en la unión de dos metales distintos (termopares).
- d. Intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación).
- e. Otros fenómenos utilizados en laboratorio (velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia de un cristal, etc.).

Los metales puros tienen un coeficiente de resistencia de temperatura positivo bastante constante.

El coeficiente de resistencia de temperatura, generalmente llamado coeficiente de temperatura es la razón de cambio de resistencia al cambio de temperatura. Un coeficiente positivo significa que la resistencia aumenta a medida que aumenta la temperatura.

Si el coeficiente es constante, significa que el factor de proporcionalidad entre la resistencia y la temperatura es constante y que la resistencia y la temperatura se graficarán en una línea recta. Cuando se usa un alambre de metal puro para la medición de temperatura, se le refiere como detector resistivo de temperatura, o RTD (por las siglas en inglés de Resistive Temperature Detector).

Cuando se usan óxidos metálicos para la medición de temperatura, el material de óxido metálico conformado en forma que se asemejan a pequeños bulbos o pequeños capacitores. El dispositivo formado así se llama Termistor.

#### **1.4.2.2. Termistor. Definición.**

El termistor es un tipo de transductor pasivo, sensible a la temperatura y que experimenta un gran cambio en la resistencia eléctrica cuando está sujeto a pequeños cambios de temperatura. El término termistor proviene del inglés THERMally sensitive resISTOR, es decir, resistencia sensible térmicamente.

Aunque el termistor no sea tan conocido como otros dispositivos semiconductores, tiene múltiples aplicaciones en campos tan diversos como instrumentación, astronáutica, automóviles, medicina, etc.

Los termistores tienen coeficientes de temperatura negativos grandes que no son constantes. En otras palabras, el cambio de resistencia por unidad de temperatura es

mucho mayor que para el metal puro (la principal característica de este tipo de resistencias es que tienen una sensibilidad del orden de diez veces mayor que las metálicas), pero el cambio es en la otra dirección: la resistencia disminuye a medida que se aumenta la temperatura.

La linealidad extrema de los termistores los hace poco apropiados para la medición de temperatura a través de rangos amplios (aplicaciones en hornos). Sin embargo, para la medición de temperaturas dentro de bandas angostas (rangos pequeños) son muy aconsejables, pues dan una gran respuesta a un cambio de temperatura pequeño.

Como regla general, los termistores son preferibles cuando la banda de temperaturas esperada es angosta, mientras que los RTD son preferibles cuando la banda de temperatura esperada es amplia.

#### 1.4.2.3. Tipos de Termistores. Introducción.

Los Termistores son semiconductores electrónicos con un coeficiente de temperatura de resistencia negativo de valor elevado y que presentan una curva característica lineal tensión-corriente siempre que la temperatura se mantenga constante.

La relación entre la resistencia y la temperatura viene dada por la expresión:

$$R_t = R_0 e^{\beta \left( \frac{1}{T_s} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

En la que:

$R_t$  = Resistencia en ohmios a la temperatura absoluta  $T_t$ .

$R_0$  = Resistencia en ohmios a la temperatura absoluta de referencia  $T_0$ .

$\beta$  = constante dentro de un intervalo moderado de temperaturas.

Los termistores se conectan a puentes de Wheastone convencionales o a otros circuitos de medida de resistencia. En intervalos amplios de temperatura, los termistores tienen características no lineales. Al tener un alto coeficiente de temperatura poseen una mayor sensibilidad que las sondas de resistencia RTD y permiten intervalos de medida de 0.1 °C (dependiendo de las características del termistor).

Se emplean fundamentalmente entre los  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  y los  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  no obstante las unidades encapsuladas pueden alcanzar los  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ . En la mayoría de aplicaciones el valor de resistencia a  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  está entre  $100\text{ohm}$ . Y  $100\text{kohm}$ . Aunque se pueden producir con resistencias tan bajas como  $10\text{ohm}$ . o tan altas como  $40\text{Mohm}$ .

Son de pequeño tamaño y su tiempo de respuesta depende de la capacidad térmica y de la masa del termistor variando de fracciones de segundo a minutos. Las reducidas dimensiones de los termistores hacen que la respuesta a los cambios de temperatura sea muy rápida.

La distancia entre el termistor y el instrumento de medida puede ser considerable siempre que el elemento posea una alta resistencia comparada con la de los cables de unión. La corriente que circula por el termistor a través del circuito de medida debe ser baja para garantizar que la variación de resistencia del elemento sea debida exclusivamente a los cambios de temperaturas del proceso.

Los termistores encuentran su principal aplicación en la medición de temperatura en laboratorios químicos (equipos con alto grado de precisión), temporizadores, vacuómetros, termocunas, y equipos que se necesite conocer el mínimo cambio de temperatura dentro de un rango pequeño.

Los termistores, que son detectores resistivos fabricados normalmente de semiconductores cerámicos, ofrecen una impedancia mucho más alta que los RTD, por lo que la reducción de los errores provocados por los hilos conductores hace bastante factible el uso de la técnica de dos hilos, que es más sencilla.

Su alto rendimiento (un gran cambio de resistencia con un pequeño cambio de temperatura) permite obtener medidas de alta resolución y reduce aún más el impacto de la resistencia de los hilos conductores. Por otra parte, la bajísima masa térmica del termistor minimiza la carga térmica en el dispositivo sometido a prueba.

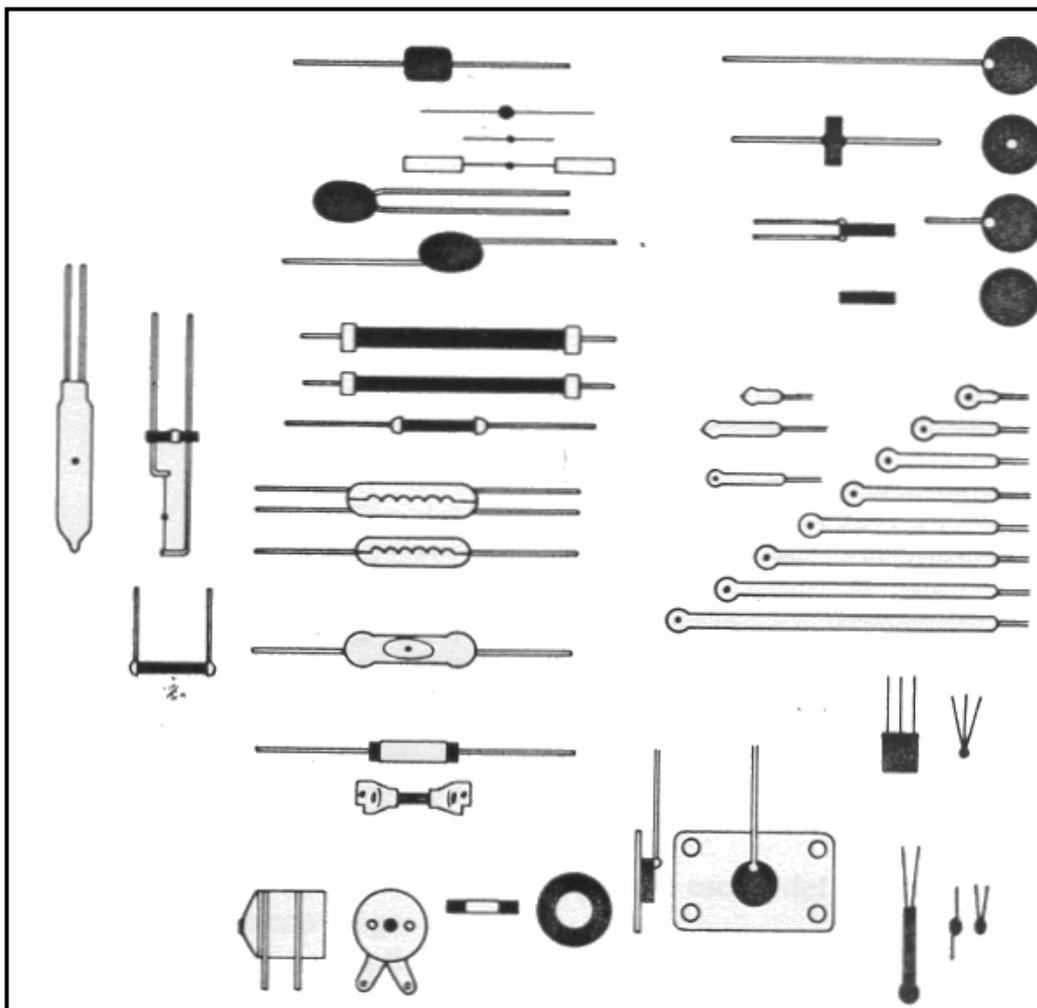
Si su coeficiente de temperatura es negativo se denominan NTC (Negative Temperature Coefficient en inglés), mientras que si es positivo, se les llama PTC (Positive Temperature Coefficient).

#### 1.4.2.3.1. Termistores NTC.

Las NTC (**figura 1-20**) se fabrican a base de mezclar y sinterizar óxidos dopados de metales como el níquel, cobalto, manganeso, hierro y cobre. El proceso se realiza en una atmósfera controlada dándoles la forma y tamaño deseados. La proporción de óxidos determina la resistencia y el coeficiente de temperatura.

Las formas en que se presentan las NTC son múltiples, y cada una de ellas está orientada a un grupo concreto de aplicaciones. Las de "gota", "escama" y "perla" se prefieren para aplicaciones de medida de temperatura, mientras que las de "disco", "arandela" y "varilla" son aptas para la compensación y control de temperatura y para aplicaciones con autocalentamiento.

**Figura 1-20.** Distintas formas de Termistores NTC.



Fuente: [Boylestad](#) y Nashelsky, Teoría de circuitos, 1997.

La principal característica de este tipo de resistencias es que tienen una sensibilidad del orden de 10 veces mayor que las metálicas y aumentan su resistencia al disminuir la temperatura.

Estos semiconductores están constituidos por óxidos metálicos, tales como Mg O, Mg Al O, Mn O, Fe O, Co O, Ni O, Zn Ti O. Los termistores se fabrican por sintetización del semiconductor en polvo, lo que permite preparar resistencias del valor más adecuado y de tamaño reducido, del orden de milímetros.

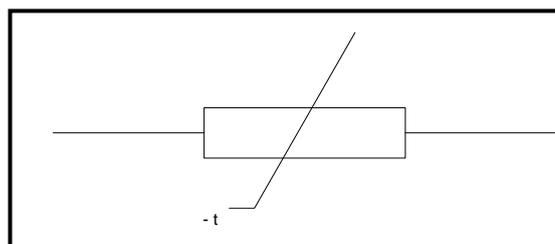
Este procedimiento de preparación, junto a sus características eléctricas, hace de los termistores elementos que pueden realizar la medida de temperaturas en una región muy reducida, casi puntual, y además debido a que su calor específico es pequeño, ofrecen una velocidad de respuesta muy elevada.

La estabilidad de un termistor depende de su preparación y de las condiciones de utilización. El rango de utilización de los termistores se extiende hasta temperaturas cercanas a la del helio líquido pero sólo puede subir hasta unos 300 °C.

Hay que tener en cuenta que la temperatura de licuación de estos materiales es bastante baja en comparación con los metales. Como contrapartida, resulta necesario calibrar cada uno de los termistores, pues no son intercambiables los valores de uno a otro elemento. En general tienen una tolerancia del 10 % de su valor nominal.

Entre sus características se pueden destacar: resistencia nominal de 10 ohmios a 2M, potencias entre 1 microvatio y 35W, coeficiente de temperatura de -1 a -10% por °C; y entre sus aplicaciones: regulación, compensación y medidas de temperaturas, estabilización de tensión, alarmas, etc. El Símbolo de un Termistor NTC es el de la **figura 1-21**.

**Figura 1-21.** Símbolo de un Termistor Tipo NTC.



Fuente: <http://es.geocities.com/fisicas/>

#### 1.4.2.3.2. Termistores PTC.

Los termistores PTC son resistencias (aumenta la temperatura, aumenta la resistividad) con un Coeficiente Temperatura Positivo y con un valor alto para dicho coeficiente.

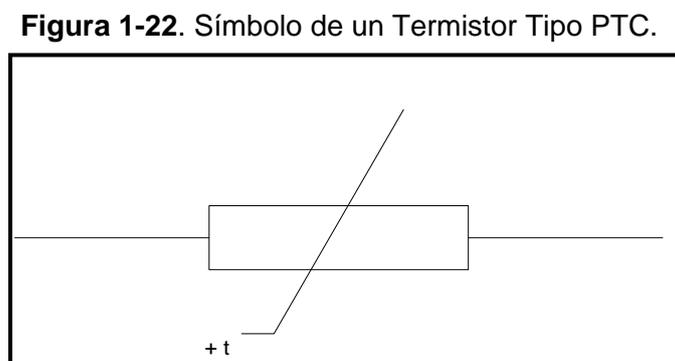
Los termistores PTC se utilizan en una gran variedad de aplicaciones, incluyendo limitación de corrientes, como sensor de temperatura, para desmagnetización y para la protección contra el recalentamiento de equipos tales como motores eléctricos. También se utilizan en indicadores de nivel, para provocar retardo en circuitos, termostatos, y como resistores de compensación.

Los termistores PTC están fabricados con  $\text{BaTiO}_3$ , usando un método similar al que se utilizó en la preparación de los termistores NTC, utilizando soluciones sólidas de  $\text{BaTiO}_3$ .

El termistor PTC pierde sus propiedades y puede comportarse eventualmente de una forma similar al termistor NTC si la temperatura llega a ser demasiado alta, por lo que las aplicaciones de un termistor PTC están restringidas a un determinado margen de temperaturas.

Las Termistores PTC de conmutación están basadas en titanato de bario al que se añade titanato de plomo o de circonio para determinar la temperatura de conmutación. Hay modelos entre  $-100^\circ$  y  $350^\circ\text{C}$ .

Las PTC de medida están basadas en Silicio dopado. Para un Termistor tipo PTC se lo denota como indica la **figura 1-22**:

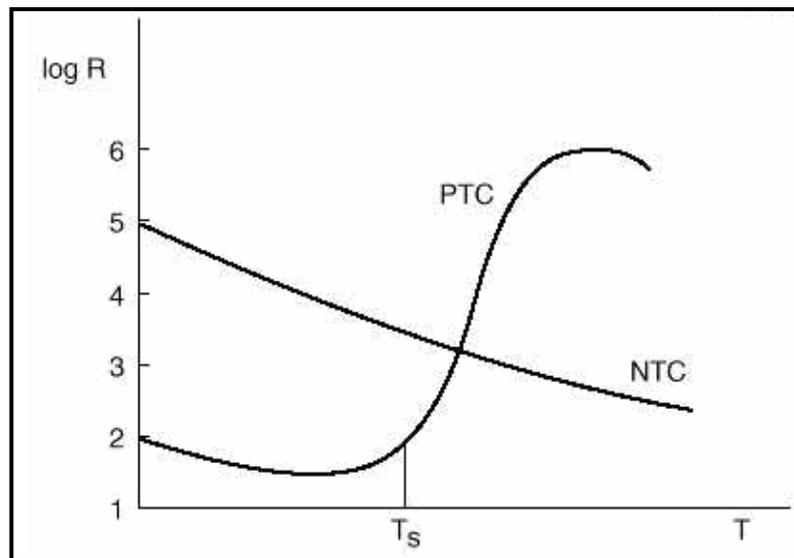


Fuente: <http://es.geocities.com/fisicas/>

#### 1.4.2.4. Características Eléctricas de los Termistores NTC y PTC.

Una de las principales características de estos termistores es el tipo de variación de la resistencia con respecto a la temperatura, de la cual se derivan sus aplicaciones. La **figura 1-23** muestra una comparación típica entre las curvas características resistencia/temperatura de un termistor PTC y una NTC.

**Figura 1-23.** Comparación entre las curvas características resistencia/temperatura de un termistor PTC y una NTC.



**Fuente:** <http://www.fisica.net>

El coeficiente de temperatura de un termistor PTC es único entre unos determinados márgenes de temperaturas. Fuera de estos márgenes, el coeficiente de temperatura es cero o negativo.

El valor absoluto del coeficiente de temperatura de los termistores PTC es mucho más alto que el de los termistores NTC. Para esta Investigación se aplica el Termistor Tipo NTC, ya que es el que tiene como característica principal una alta sensibilidad a los variaciones de temperatura muy pequeños como es nuestro caso.

## **CAPITULO 2: DISEÑO ELECTRÓNICO PARA LA FABRICACIÓN DEL EQUIPO.**

### **Introducción.**

Este capítulo está compuesto por el diagrama de bloques; el diseño digital del equipo que incluye la explicación de como funciona el microcontrolador a usar en este trabajo, y de cada parte del circuito digital; el diseño de la fuente de poder del equipo; el diseño de toda la sección analógica, es decir todo el circuito de amplificación de señales de los sensores; y el diseño del software que se utiliza en el equipo.

El diseño del equipo para esta investigación está basado esencialmente en dos partes:

- Parte Digital
- Parte Analógica.

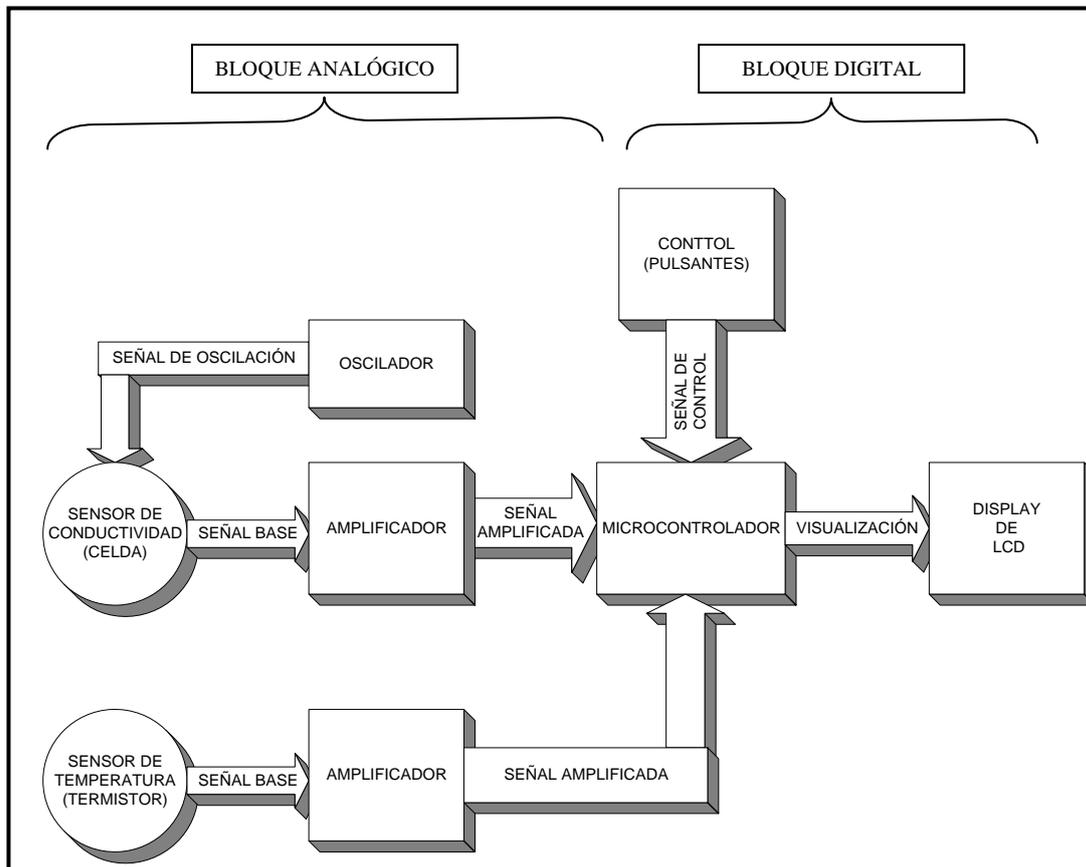
La parte analógica esta compuesta de la fuente, sensores o transductores, y atenuador de señal. Este bloque del circuito es el encargado de dar la alimentación para todo el equipo, recibir y amplificar la señal de los sensores, y luego de esto transmitir dicha señal al bloque digital para su posterior tratamiento.

La parte digital está compuesta por un microprocesador, un Display de Cristal Líquido (LCD) y el software de aplicación y es aquella en donde, luego de recibir la señal que da el bloque analógico, se procesa y visualiza el valor de la medición tanto de conductividad como de temperatura.

## 2.1. Diagrama general de bloques.

Se puede resumir el equipo en el diagrama de bloques indicado en la **figura 2-1**.

**Figura 2-1.** Diagrama General de Bloques.



A continuación se va a hacer una pequeña explicación del diagrama de bloques.

### 2.1.1. Sensores.

En esta parte del circuito se encuentran tanto el sensor de temperatura como el de conductividad.

- El sensor de temperatura es un termistor, y es el encargado de tomar el dato de temperatura de la solución a medir.

- El sensor de conductividad es una celda de conductividad de inmersión no platinizada y es la que medirá la resistencia eléctrica de la solución a medir para luego transformar el dato tomado a un valor de conductividad.

### **2.1.2. Fuente de alimentación.**

La fuente de alimentación es la encargada de suministrar de energía eléctrica a todo el circuito con sus correspondientes niveles de voltajes.

Esta fuente está diseñada para que suministre cuatro niveles de voltaje para alimentar a todo el equipo, estos voltajes son:

- Un voltaje doble de +12/-12 voltios que es la alimentación de los amplificadores operacionales del circuito amplificador de la conductividad.
- Un voltaje de +7 voltios que alimentara el circuito amplificador de la temperatura, tanto para operacionales como para voltaje de referencia.
- Un voltaje de +5 voltios para la alimentación del circuito digital o de control.

### **2.1.3. Oscilador.**

En esta parte del circuito lo que se hace es generar un nivel de voltaje oscilatorio el mismo que alimentará la entrada del circuito de la celda de conductividad para evitar que la solución a medir se polarice y así lograr un dato confiable de la conductividad.

### **2.1.4. Amplificador.**

El circuito consta de dos amplificadores de instrumentación, uno para conductividad y otro para la temperatura.

El circuito de amplificación de temperatura es un amplificador no inversor que recoge el dato del termistor y lo deja listo para ingresar al bloque digital para su procesamiento.

El amplificador de conductividad consta de un amplificador no inversor y dos no inversores que obviamente amplifican el dato de la celda para su posterior

procesamiento, además tiene un convertidor de escala para variar la ganancia del segundo amplificador dependiendo de la celda que se esté usando en ese momento.

### **2.1.5. Microcontrolador.**

El microcontrolador es el alma de la parte digital del equipo y es el encargado de todo el procesamiento de las señales analógicas así como del manejo del display y de los menús.

### **2.1.6. Control de Menús.**

Esta es la sección encargada del control de los menús de manejo y calibración del equipo.

### **2.1.7. Display.**

El display es el dispositivo encargado de presentar los datos adquiridos en la medición.

## **2.2. Circuito digital.**

Antes de empezar con el diseño digital del equipo es imprescindible tener conocimientos básicos de cómo funciona el microcontrolador que como se sabe es el cerebro de este equipo. Para ello se va a hablar de la “Arquitectura Interna de los Microcontroladores”.

### **2.2.1. Introducción a los Microcontroladores.**

Actualmente existe un considerable número de fabricantes de Microcontroladores (mas de 50), por lo que resulta difícil elegir con cual se debe trabajar. Se debe considerar que cada fabricante de Microcontroladores se especializa en ciertas aplicaciones poniendo énfasis en las características necesarias para las mismas.

Para este proyecto se ha seleccionado la casa Microchip puesto que a nuestro criterio tiene muy buenas ventajas para el mismo versus las otras marcas. Las principales razones por las que se ha visto la gran aceptación de los PICS son las siguientes:

- La relación **costo-desempeño** es relativamente baja, versus sus competidores.
- **Grandes velocidades de trabajo** desde 2 Mhz hasta 40 Mhz los de la serie 18XXX, en este caso (16F877) trabajan hasta los 20 Mhz.
- Poseen **Arquitectura RISC** hasta la gama media, es decir que manejan un Set Reducido de Instrucciones, por ejemplo el PIC16F877 tiene 35 instrucciones.
- Gran **variedad de “chips”**, Microchip ha optimizado la variedad de periféricos que incluye en sus microcontroladores, con el objetivo de que el usuario encuentre el óptimo para sus necesidades. Microchip oferta pequeños microcontroladores empaquetados en 8 pines; existen series muy económicas y con gran desempeño como la 87X y series ultra poderosas, que pueden inclusive emular el modo de trabajo de microcontroladores como la serie 18XXX.
- Microchip™, también cuenta con la **“migrabilidad”** del código, es decir que un código escrito para un PIC pequeño puede ser interpretado por uno mas poderoso con pequeñas modificaciones.
- Son de **fácil aprendizaje**, tomando en cuenta que los controladores mas nuevos o modernos son una extensión de los mas pequeños se pueden aprender en módulos.
- **Existe gran variedad de Herramientas de Desarrollo**, proporcionadas por Microchip o empresas alternativas. Gran cantidad de herramientas de SW para el desarrollo las proporciona Microchip de manera gratuita, además de una gran cantidad de Notas de Aplicación, que merecen una profunda consulta.

### 2.2.2. Generalidades de la Arquitectura Interna de los Microcontroladores PICS.

Las mejoras introducidas en el desempeño de los PICS se deben principalmente a la estructura RISC de su Arquitectura. La Arquitectura RISC (Reduced Instruction Set Computer), hace posible el manejo de un Set de Instrucciones Reducido, a diferencia de los procesadores CISC (Complex Instruction Set Computer). Es necesario entender, que los PICS pueden manejar un set corto de instrucciones gracias a su arquitectura.

Son comunes en los procesadores RISC los siguientes rasgos:

- Arquitectura tipo HARVARD.
- Palabras de instrucción largas.
- Instrucciones codificadas en una sola palabra.
- Posibilidad de multitarea, porque pueden realizar la canalización de las instrucciones.
- Arquitectura “**registro-fichero**”.
- Instrucciones simétricas.

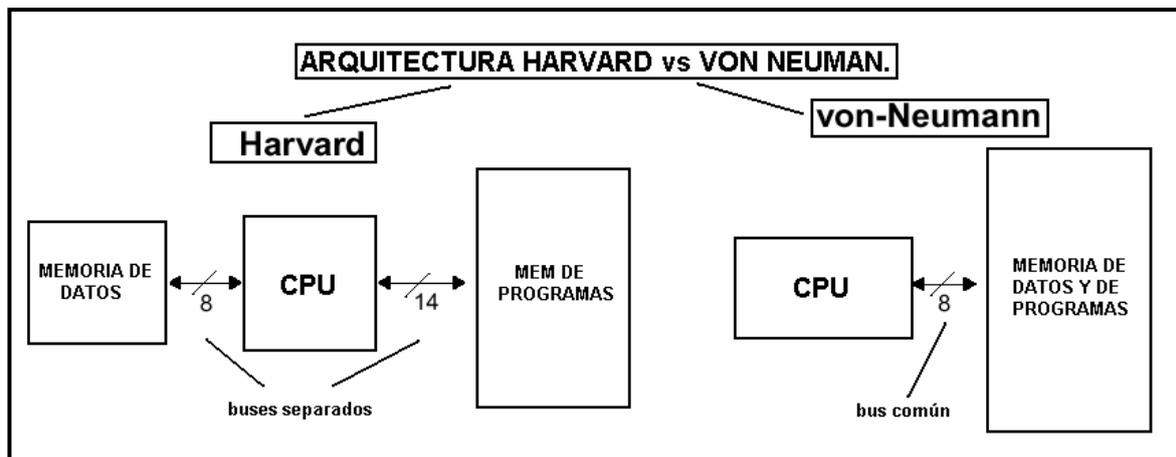
### 2.2.3. Arquitectura Harvard, palabras de instrucción largas y canalización de las instrucciones.

La Arquitectura Harvard supone la separación de los Buses que comunican la Memoria de Programas y la Memoria de Datos, a diferencia de la tradicional arquitectura tipo Von Neuman (**figura 2-2**). La separación de buses posee estas importantes ventajas:

- Acceder a la Memoria de Datos (MD) y la Memoria de Programas (MP) al mismo tiempo, esto permite realizar multitarea, esto es: a la misma vez que se busca el código de una instrucción es posible ejecutar la que ya se decodificó. A este proceso se denomina **canalización (“pipelining”) de instrucciones**.
- Como los buses son separados, es viable construir un bus para la Memoria de Programas más extenso, esto hace posible que el código de las instrucciones pueda ser grabado en la Memoria de Programas en una sola palabra de longitud mayor a 8 bits (longitud tradicional). Lo que es ventajoso porque de

esta manera es posible decodificar toda la instrucción en un solo acceso a la MP, pues la palabra del código se lee de una vez. Esto es **codificación en una sola palabra**.

**Figura 2-2.** Arquitectura tipo Harvard vs. Arquitectura tradicional "Von Neuman".



Fuente: PIC16F87X Data Sheet - Microchip Technology Inc.

#### 2.2.4. Simetría (Ortogonalidad de la Instrucciones).

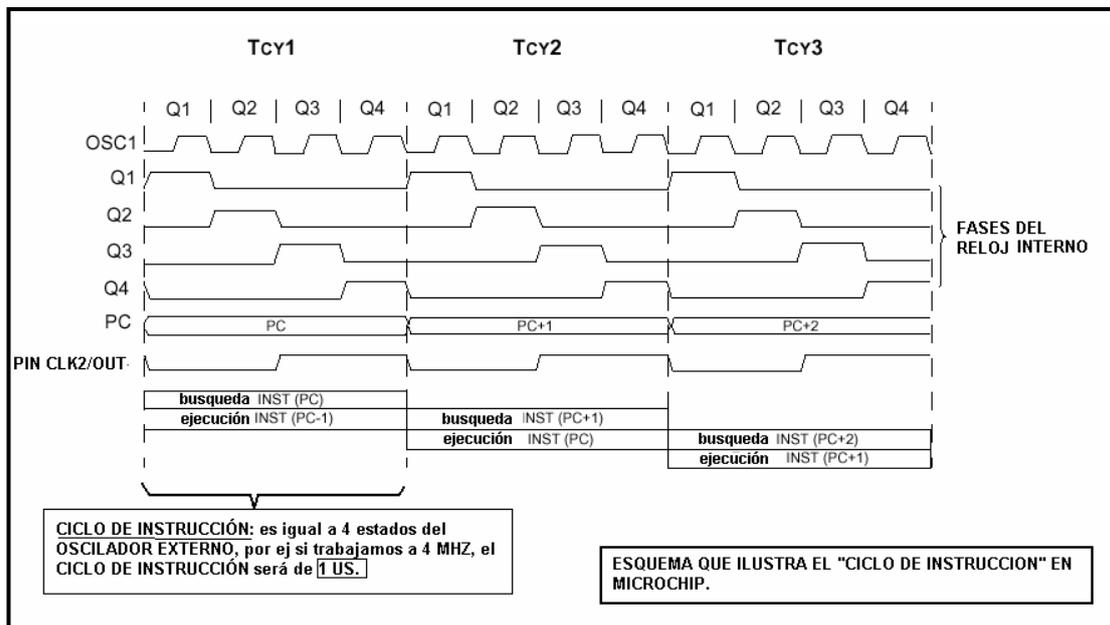
Un set de instrucciones es simétrico, cuando con una misma instrucción es posible direccionar y actuar, ya sea sobre una localización de RAM o un registro de propósito específico. Esta característica es indispensable para lograr un SET DE INSTRUCCIONES tipo **RISC**.

La simetría es posible gracias a un tipo de arquitectura denominada "registro-fichero", que permite direccionar de igual manera un registro de propósito específico y una localización de RAM. De hecho, como veremos los procesadores PICS, incluyen dentro del mismo espacio de memoria a las localizaciones de propósito general y a las dedicadas a propósitos específicos (registros especiales).

### 2.2.5. Ciclo de Máquina en Microcontroladores PICS.

En los PICS el reloj de la entrada se divide en 4 para generar 4 relojes en cuadratura denominados Q1, Q2, Q3 y Q4. En los PICS en el intervalo de tiempo de Q1 hasta Q4 **se busca la instrucción N y se almacena su código en el registro de instrucción** (para decodificarla), **mientras a la misma vez se ejecuta la instrucción N-1**, o sea la que se había buscado en el espacio de tiempo Q1-Q4 anterior (**figura 2-3**).

**Figura 2-3.** Ciclo de Instrucción en Microchip.



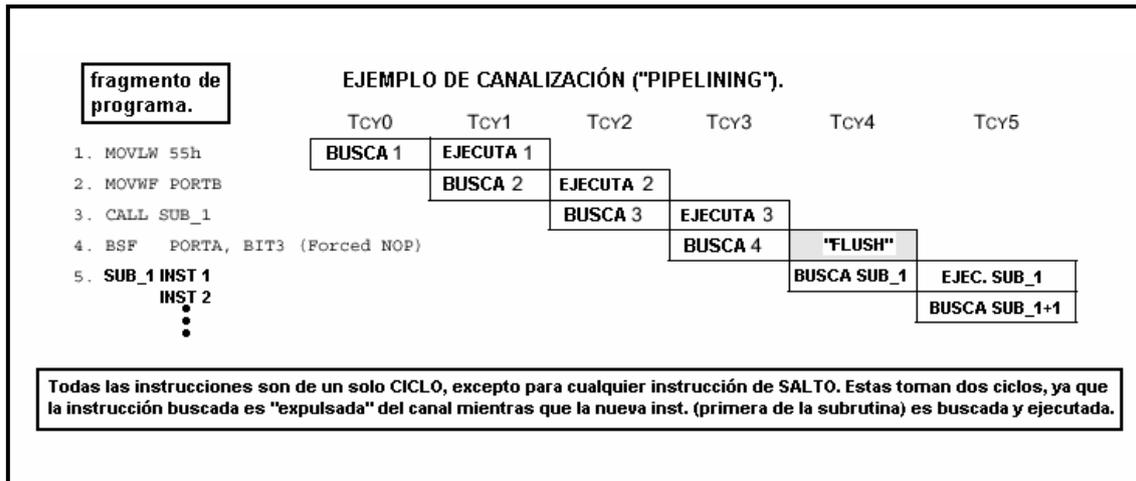
**Fuente:** PIC16F87X Data Sheet - Microchip Technology Inc.

A diferencia de otros Microcontroladores **en los PICS el Ciclo de Instrucción en la mayoría de las Instrucciones es igual a un único Ciclo de Máquina**, que consiste en 4 estados "Q". Físicamente esto significa que la mayoría de las instrucciones se ejecutarán en un tiempo igual a 4 veces el período del oscilador externo: por ejemplo si estamos trabajando a 4 MHz. ( $T = 0.25 \mu\text{S}$ ), tendremos un Ciclo de Instrucción igual a  $1 \mu\text{S}$ , en cambio si el cristal lo cambiamos a 12 MHz. Tendremos un Ciclo de Instrucción de  $0.33333 \mu\text{S}$ . Este proceso, evidentemente hace más eficiente el desempeño del procesador y se realiza gracias a la canalización "pipelinig" de las instrucciones.

### 2.2.6. Canalización (“Pipelining”) en los PICs.

Aunque la búsqueda de la instrucción se produce en el Ciclo N-1 y su ejecución en el Ciclo N, físicamente la ejecución solo queda limitada a un solo Ciclo pues este es un proceso encadenado, que interesa a la instrucción N -1 y a la instrucción N. El siguiente ejemplo ilustra el proceso (**figura 2-4**).

**Figura 2-4.** Proceso de canalización de instrucciones.



**Fuente:** PIC16F87X Data Sheet - Microchip Technology Inc.

En la figura los intervalos “Tcyx”, representan el enésimo Ciclo de Máquina, igual a 4 estados “Q”. Observe que en Tcy0 se busca el código de la instrucción “MOVLW 55h” (mover el literal 55h al acumulador), en Tcy1 se ejecuta “MOVLW 55h” y se busca el código de “MOVWF portb” (mover el contenido del acumulador al puerto B). El proceso continúa hasta la instrucción número 3, que es un “CALL” a la dirección SUB\_1. Observe que esta instrucción “CALL” cambiará el contenido del PC (contador de programas) y ahora en lugar de ejecutarse la instrucción “BSF porta,bit3” deberá ejecutarse la primera instrucción de la subrutina SUB\_1, luego ahora en el Tcy4 no podrá ejecutarse el “BSF” cuyo código se había buscado en Tcy3 mientras se ejecutaba el “CALL” (instrucción num. 3). En este caso el procesador realiza lo que se denomina “flush”, lo que equivale más o menos a la “expulsión” de la instrucción “BSF”, de la tubería, entonces en el Ciclo Tcy4 solo busca el código de la primera instrucción de la subrutina SUB\_1 y no realiza nada sobre la instrucción que le sigue al “CALL”. Esta situación hace que físicamente el “CALL” dure dos Ciclos de Máquina. Finalmente luego de buscar el código de la instrucción 1 de la subrutina, en Tcy5 se ejecuta mientras se busca el código de la segunda y así sucesivamente hasta

encontrar al final de la subrutina la instrucción RETURN, que también dura 2 CICLOS, porque realiza un proceso inverso al CALL.

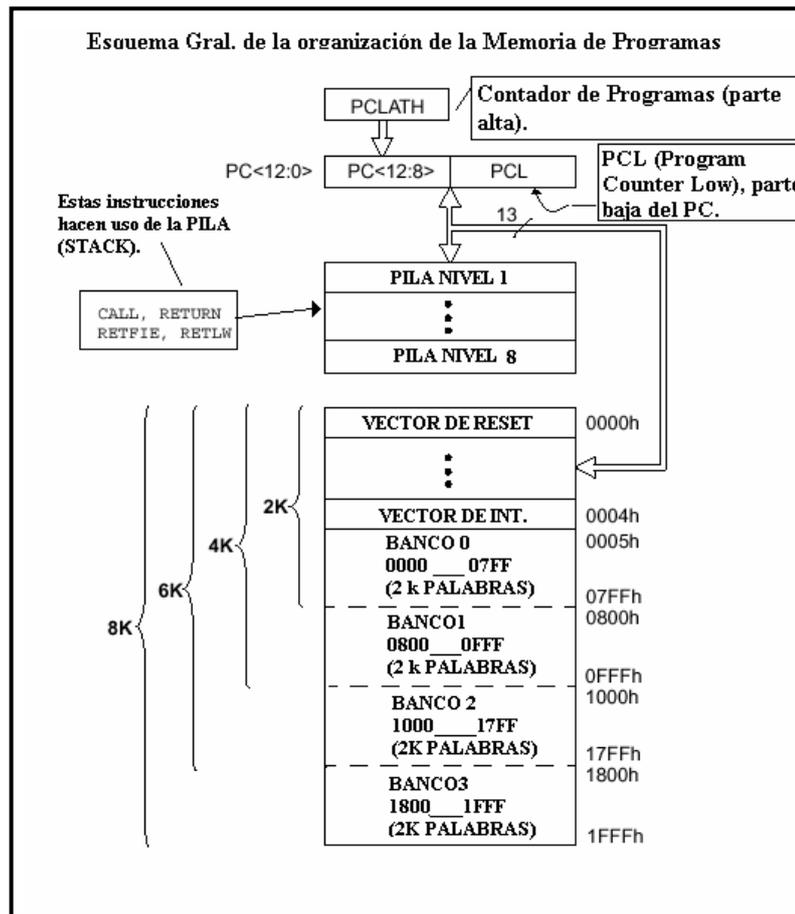
### **2.2.7. Arquitectura de la Memoria de Programas en los PICS de la Familia Media.**

La Memoria de Programas (MP) de los MC de esta familia está organizada en páginas de “2K palabras cada una”. Decimos “2K palabras cada una”, porque los códigos de las localizaciones de la MP en esta familia tienen una longitud de 14 bits.

Los PICS de esta familia poseen como máximo **4 páginas de “2K palabras”**, lo que hace un total de 8192 palabras de 14 BITS cada una. Para direccionar esta cantidad de memoria **son necesarios 13 bits**, por **esto el Contador de Programas en los PICS de esta familia es un registro de 13 bits (Figura 2-5)**.

**El salto entre páginas se realiza escribiendo los bits de un registro denominado PCLATH.** Este registro no es más que la parte alta del Contador de Programas (PC). En los PICS el PC no puede ser escrito todo de una vez, por eso existen dos registros en la zona de Registros Especiales de la RAM que permiten leer o escribir el PC separado en dos partes. Estos registros son el PCLATH y el PCL (parte baja del PC). Más adelante serán tratados en detalle estos registros.

**Figura 2-5.** Esquema general de la Memoria de Programas en los microcontroladores PICS de la Familia Media.



**Fuente:** PIC16F87X Data Sheet - Microchip Technology Inc.

Lo que se presenta en la **figura 2-5** es un esquema general de la MP. No todos los procesadores de la familia poseen las 8K palabras de memoria.

### 2.2.8. Aspectos Relevantes de la MCC.

#### 2.2.8.1. Vector de Reset y Vector de Interrupción.

El **Vector de Reset** es la localización 0000h de la MP, en ella se graba la primera instrucción que deberá ejecutar el PIC después de un RESET.

El **Vector de Interrupción** es la localización 0004h de la MP. Si se trabaja con interrupciones en la aplicación que se está desarrollando, en ella se graba una instrucción de salto incondicional "GOTO XXXX", a la dirección de comienzo de la

subrutina de atención a interrupción: "XXXX" o se ensambla a partir de aquí la subrutina.

### **2.2.8.2. Contador de Programas. Direccionado de la Memoria de Programas.**

Como en todo sistema a Microcontrolador o Microprocesador, el Contador de Programas (PC), especifica la dirección dentro de la MP donde se encuentra la instrucción cuyo código se debe buscar en todo momento. Particularmente en los PICs de esta familia el PC es un registro de 13 bits, que puede ser escrito o leído por el programador por medio de dos registros auxiliares que se encuentran en la RAM del MC. Estos registros son el PCLATH (últimos 5 bits del PC) y el PCL (parte baja del PC), o sea los 8 primeros bits. Estos hacen un total de 13 bits. El PC puede cambiar de manera normal durante la ejecución del programa o puede ser forzado a un valor cambiando el contenido de los registros PCL y PCLATH.

A diferencia de otros MC en los PICs de esta familia no existe un puntero para direccionar la MP (por ejemplo, para acceder a tablas). El direccionado de la MP se realiza cambiando el contenido del propio PC.

Una dirección dentro de la MP podemos dividirla en 11 BITS que conforman el tamaño máximo posible de una página y dos bits adicionales para cambiar de página, estos bits son los bits 4 y 3 del registro PCLATH. Así las instrucciones de Salto en Microchip tienen un alcance de **2048 (7FF)**, direcciones posibles, o sea un "call" o un "goto" solo permitirán saltos de dirección dentro de la misma página; si se quiere lograr un salto entre páginas es obligatorio especificarlo con alguna combinación de los bits 4 y 3 del registro PCLATH.

### **2.2.8.3. La PILA o "STACK".**

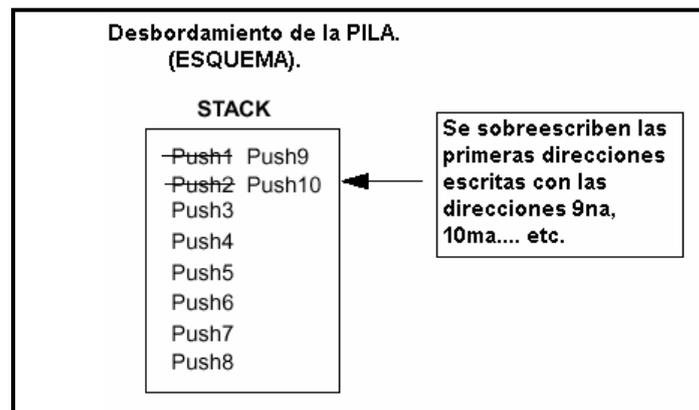
En los MC PICs la pila es un sistema LIFO (Last In First Out), al igual que en otros sistemas, en esta familia la pila tiene 8 niveles de profundidad, lo que quiere decir que se pueden respaldar hasta 8 direcciones de retorno diferentes.

Cada una de las 8 localizaciones de la pila tiene 13 bits de longitud pues en ella se respaldan hasta 8 contenidos del PC, que es un registro de 13 bits.

El espacio de la PILA no es parte de la Memoria de Programas ni de Datos, es un espacio independiente de memoria que posee un puntero que NO se puede leer ni escribir; lo que significa que en el ensamblador de la Familia Media no existen las instrucciones POP y PUSH. El "PUSH" del PC se realiza de manera automática ante una instrucción CALL o una Interrupción y el "POP" también se realiza de manera automática ante una instrucción RETURN, RETFIE o RETLW.

En los PICS de la Familia Media no existe ningún tipo de aviso acerca del desbordamiento de la PILA, solo se pueden anidar hasta 8 saltos. Si este número se excede se sobrescribirán las direcciones del PC guardadas (**figura 2-6**) y se perderá el curso del programa.

**Figura 2-6.** Desbordamiento de la PILA.



**Fuente:** PIC16F87X Data Sheet - Microchip Technology Inc.

### 2.2.9. Arquitectura de la Memoria de Datos en los PICS de la Familia Media.

Al igual que la MP la Memoria de Datos (MD) en los PICS está paginada. Las páginas se refieren específicamente como **bancos**. Los PICS de la Familia Media poseen hasta 512 bytes de MD. Los 512 bytes están agrupados en hasta 4 bancos de 128 bytes cada uno. Decimos "hasta 4 bancos" porque al igual que la MP, no todos los dispositivos tienen implementados todo el espacio de MD (**figura 2-7**).

Al inicio del capítulo habíamos señalado que los PICS en general poseen una arquitectura "registro-fichero". Esto es: Se comparte el mismo espacio de la MD para registros específicos y para registros de propósito general (**figura 2-7**). No obstante en

a MD se “reserva” un espacio para estos registros especiales<sup>3</sup>, generalmente, las primeras localizaciones de cada banco. Por ejemplo: En el banco 0 los registros específicos ocupan desde la localización 00 h hasta la 1F h y los registros de propósito general ocupan desde la 20 h hacia arriba.

---

<sup>3</sup> Un Registro de Propósito Especifico, se refiere como un registro que controla el funcionamiento del Microcontrolador.

**Figura 2-7. Mapa de la Memoria de Datos.**  
(PIC16F870/871)

MAPA DE LA MEMORIA R.A.M, DEL PIC16F870/871

Dirección del registro		Dirección del registro		Dirección del registro		Dirección del registro	
Indirect addr. <sup>(*)</sup>	00h	Indirect addr. <sup>(*)</sup>	80h	Indirect addr. <sup>(*)</sup>	100h	Indirect addr. <sup>(*)</sup>	180h
TMR0	01h	OPTION_REG	81h	TMR0	101h	OPTION_REG	181h
PCL	02h	PCL	82h	PCL	102h	PCL	182h
STATUS	03h	STATUS	83h	STATUS	103h	STATUS	183h
FSR	04h	FSR	84h	FSR	104h	FSR	184h
PORTA	05h	TRISA	85h		105h		185h
PORTB	06h	TRISB	86h	PORTB	106h	TRISB	186h
PORTC	07h	TRISC	87h		107h		187h
PORTD <sup>(2)</sup>	08h	TRISD <sup>(2)</sup>	88h		108h		188h
PORTE <sup>(2)</sup>	09h	TRISE <sup>(2)</sup>	89h		109h		189h
PCLATH	0Ah	PCLATH	8Ah	PCLATH	10Ah	PCLATH	18Ah
INTCON	0Bh	INTCON	8Bh	INTCON	10Bh	INTCON	18Bh
PIR1	0Ch	PIE1	8Ch	EEDATA	10Ch	EECON1	18Ch
TMR1L	0Dh	PIE2	8Dh	EEADR	10Dh	EECON2	18Dh
TMR1H	0Eh	PCON	8Eh	EEDATH	10Eh	Reserved <sup>(1)</sup>	18Eh
TMR1H	0Fh		8Fh	EEADRH	10Fh	Reserved <sup>(1)</sup>	18Fh
T1CON	10h		90h		110h		190h
TMR2	11h		91h				
T2CON	12h	PR2	92h				
	13h		93h				
	14h		94h				
CCPR1L	15h		95h				
CCPR1H	16h		96h				
CCP1CON	17h		97h				
RCSTA	18h	TXSTA	98h				
TXREG	19h	SPBRG	99h				
RCREG	1Ah		9Ah				
	1Bh		9Bh				
	1Ch		9Ch				
	1Dh		9Dh				
ADRESH	1Eh	ADRESL	9Eh				
ADCON0	1Fh	ADCON1	9Fh				
	20h	Registros de Propósito General 32 Bytes	A0h		120h	map a las dir: A0h - BFh	1A0h
Registros de Propósito General 96 Bytes	7Fh		BFh	map a las dir: 20h-7Fh			1BFh
			C0h				1C0h
		map a las dir: 70h-7Fh	EFh		16Fh	map a las dir: 70h-7Fh	1EFh
			FDh	map a las dir: 70h-7Fh	170h		1F0h
			FFh		17Fh		1FFh
BANCO 0		BANCO 1		BANCO 2		BANCO 3	

Localizaciones de memoria de datos no implementadas (se leen como ceros).  
- El "INDF" NO es un registro físico.

NOTAS: 1: Registros reservados, mantenerlos "limpios" (todos sus bits en cero).  
2: Registros NO implementados en el PIC16F870

Fuente: PIC16F87X Data Sheet - Microchip Technology Inc.

### 2.2.9.1. Direccionado de la Memoria de Datos.

Para direccionar la MD es necesario establecer la dirección dentro del banco (cada banco posee 7F localizaciones) y en cuál de los 4 bancos posibles se está trabajando. Para seleccionar el banco a direccionar existen dos bits (RP1 y RP0) que son los bits 5 y 6 de un registro específico: el STATUS. El registro STATUS se encuentra en la dirección 03h de los 4 bancos, o sea es la tercera localización de c/u de los bancos (figura 2-8).

**Figura 2-8.** Bits para direccionado de la RAM.

BITS PARA EL DIRECCIONADO DIRECTO E INDIRECTO DE LA RAM		
BANCO ACCESADO.	DIRECTO (RP1:RP0)	INDIRECTO. (IRP)
0	0 0	0
1	0 1	
2	1 0	1
3	1 1	

**Fuente:** PIC16F87X Data Sheet - Microchip Technology Inc.

Cuando el registro que se esté trabajando posea una imagen en otro banco (además del banco 0) no es necesario cambiar de banco para direccionarlo, en este caso se dice que todas las direcciones repetidas están mapeadas al banco 0.

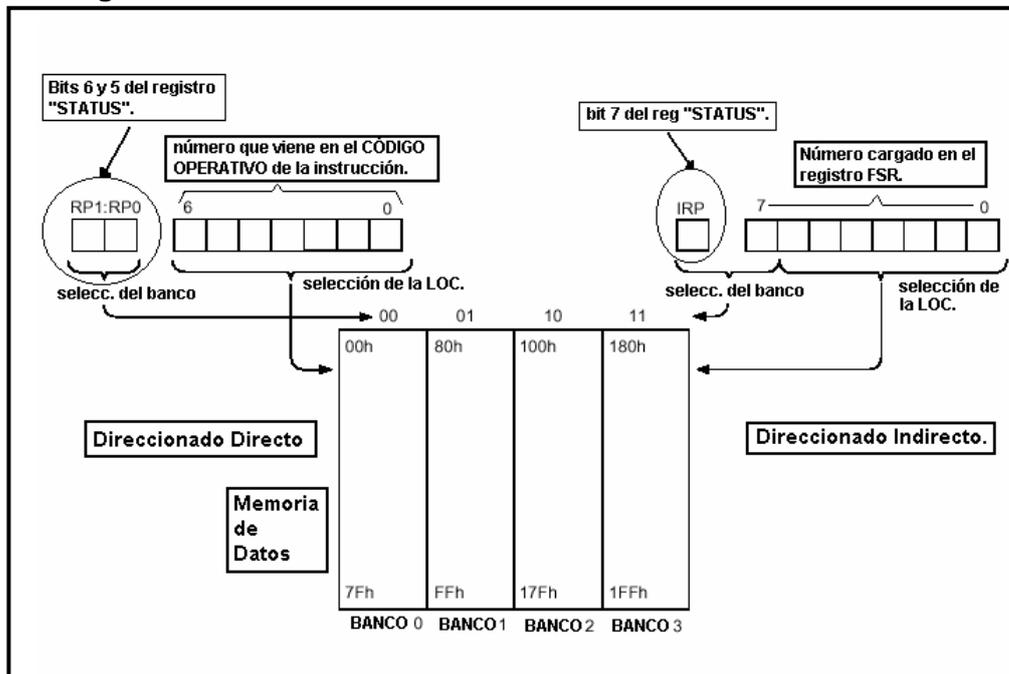
### 2.2.9.2. Modos de Direccionado de la Memoria de Datos.

Las direcciones en la MD podrán tener como máximo 9 bits pues 512 es un número que se expresa en 9 bits. Basado en esto, existen dos modos para formar la dirección completa de una localización en la MD: **Modo Directo** y **Modo Indirecto**.

#### 2.2.9.2.1. Modo Directo.

En el **Modo Directo** (figura 2-9 izquierda) 7 bits de la dirección vienen en el código de la instrucción. Estos 7 bits son la dirección dentro de uno de los 4 bancos posibles (cada banco posee como máximo 128 (7F) bytes). Para formar la dirección completa dentro de los 512 Bytes direccionables, faltarían dos bits. Los dos bits restantes son aportados por los bits 6 y 5 del registro STATUS (RP1 y RP0, respectivamente).

**Figura 2-9.** Modos de Direccionado de la MD en los MC PICS.



Fuente: PIC16F87X Data Sheet - Microchip Technology Inc.

### 2.2.9.2.2. Modo Indirecto.

En el **Modo Indirecto (figura 2-9 derecha)**, la localización de memoria se direcciona mediante un puntero (el registro FSR) y un registro auxiliar (el INDF). El proceso de direccionamiento ocurre de la manera siguiente:

En el registro FSR (puntero de la MD) se cargan los 8 bits de la dirección base. Como la dirección cargada es de 8 bits, esta puede referirse a una localización que se encuentre ubicada entre las direcciones 00 h y la FF h o entre la dirección 100 y 1FF, o sea es necesario también definir a que bloque nos referiremos, si al banco 0 y 1 ó al banco 2 y 3. Para formar entonces la dirección completa, es necesario definir el estado del bit "IRP", que es el bit 7 del registro STATUS.

**Ejemplo.**

Si cargamos en el registro FSR la dirección 0Ch, podremos referirnos a la localización 0Ch del banco 0 si el BIT IRP está en 0 o a la localización 10Ch (banco 2) si el BIT IRP está en 1.

**2.2.9.3. Registro Auxiliar INDF.**

El registro INDF no es un registro físico. Simplemente actuar sobre la dirección denominada INDF (primera localización de cada banco), significa “actuar” sobre la localización de la MD a la que apunta el registro FSR.

**Ejemplo.**

Si FSR = 20h, y hacemos “**clrf INDF**”, la localización 20h de la RAM se pone a 00000000.

El direccionado indirecto de la MD es muy útil para tratar bloques de localizaciones consecutivas de MD, con pocas instrucciones.

**2.2.10. Líneas de Puerto en los Microcontroladores Microchip. Generalidades.**

Un microcontrolador se comunica con el entorno solamente a través de líneas de entrada / salida o puertos que vienen integrados al chip. En este sentido, para realizar la conexión de cualquier dispositivo periférico es imprescindible conocer las características relevantes de los puertos de la tecnología que se trabaje (en este proyecto de investigación Microchip).

Las características ventajosas de las líneas de puerto en los PICS, también han determinado en gran medida la enorme tasa de acogida entre los diseñadores electrónicos. Dentro de las **características generales** más sobresalientes pudieran citarse las siguientes:

- **Pueden manejar hasta 25 mA** de corriente, tanto como fuente o sumidero, esto hace que sean capaces de manejar LEDs sin necesidad de Buffers.

- **Son configurables individualmente como salidas ó entradas**, mediante registros denominados “TRIS”. Existe un registro TRIS para cada puerto. Cada bit del cada registro está asociado al pin físico del puerto en cuestión. Al escribir un UNO en un bit de un TRIS queda programado el pin correspondiente como una entrada y al escribir un CERO queda programado como salida. Los pines vienen programados por defecto como entradas.
- **Muchas de ellas están multiplexadas para realizar una de varias funciones:** por ejemplo: una misma línea pudiera ser configurada como entrada ó salida digital ó como una entrada analógica.
- Al igual que otros periféricos, **los puertos en los PICS** tratan de mantener las mismas características constructivas al migrar de un dispositivo a otro.
- **Todas las líneas tienen protección contra ESD** (Electrostatic Discharge) y en el caso particular de las líneas de puerto tipo “B”, existen resistencias de “Pull UP”<sup>4</sup> internas, que pueden habilitarse o no por SW (Software), limpiando el bit 7 de un registro (registro “OPTION\_REG”).

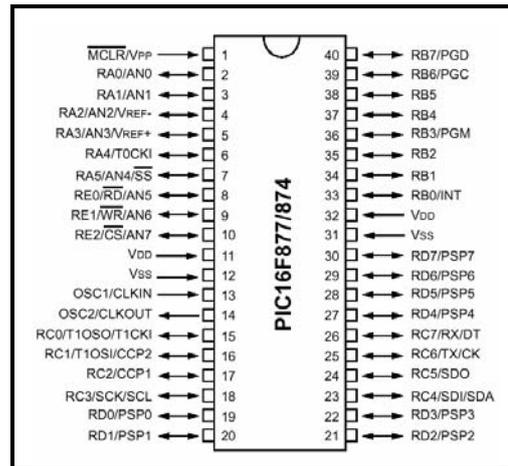
#### **2.2.10.1. Descripción de los Puertos Integrados a los Microcontroladores de 40 pines (serie 87X).**

En la **figura 2.10** se puede apreciar un “pin out” de los microcontroladores de 40 pines de la serie 87X dentro de la familia media.

---

<sup>4</sup> Las resistencias de “pull up” son resistores conectados a la fuente. Su función es mantener un nivel estable de UNO cuando la línea se programa como entrada y queda desconectada

**Figura 2-10.** Pin out característico de la serie 87X de 40 pines.



**Fuente:** PIC16F87X Data Sheet - Microchip Technology Inc.

Todas las líneas del chip son líneas de puerto de propósito general excepto las que se resumen en la **tabla 2-1**.

**Tabla 2-1.** Pines con funciones especiales.

Nombre del pin	Número del pin	Función
(*)MCLR	1	Pin para generar un RESET externo.
OSC1	13	Pin para conexión del oscilador externo
OSC2	14	Pin para conexión del oscilador externo
VSS	12, 31	Pin de referencia. Generalmente tierra.
VDD	11, 32	Pin de Alimentación. Generalmente + 5V

### 2.2.10.2. Puerto Tipo "A".

Es un puerto de entrada / salida de 6 pines (ra0 ... ra5) cuyas líneas pueden ser configuradas como entrada(s) / salida(s) digital(es) ó entrada(s) analógica(s); **excepto el pin ra4**, que es la entrada digital de conteo del timer0 cuando este es programado como contador de eventos. Los pines del puerto A se numeran en el chip desde el pin 1 hasta el pin 6.

### 2.2.10.3. Puerto Tipo "B".

Es un puerto de entrada / salida **digital** de 8 bits, con pull up interno. El pull up se puede activar limpiando el bit 7 del registro OPTION\_REG. El registro OPTION\_REG es la localización 0x81 del banco1 de la Memoria RAM.

### 2.2.10.4. Puerto tipo "C".

Es un puerto de entrada / salida **digital** de 8 bits que multiplexa algunas funciones para sus líneas. Las líneas multiplexadas interesantes para este curso son:

- **Rc2:** puede ser un pin de entrada / salida digital o la salida de una onda de PWM generada a partir de un recurso de HW denominado módulo CCP.
- **Rc6 y Rc7:** pueden ser pines de entrada / salida **digitales** o los pines de comunicación para el USART Tx y Rx respectivamente. Como los niveles de salida en estos pines son CMOS (0 => 5V), es necesario conectarlos a un chip que convierta niveles TTL/CMOS a RS232 (de ser necesario).

### 2.2.10.5. Puerto Tipo "D".

Es un puerto de entrada / salida **digital** de 8 bits, que multiplexa funciones con un periférico denominado Puerto Paralelo Esclavo (PSP). El PSP no es objetivo de discusión en este documento.

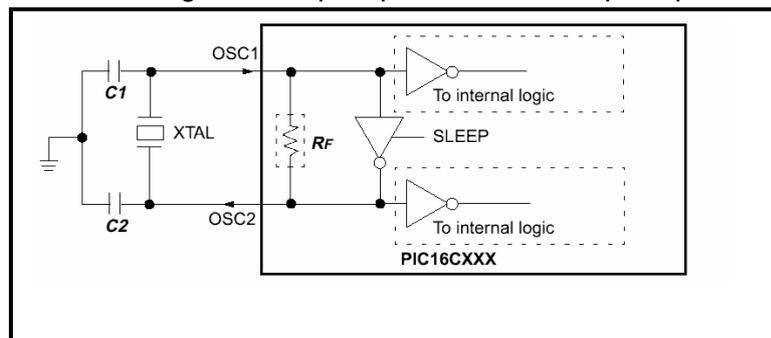
### 2.2.10.6. Puerto Tipo "E".

Es un puerto de entrada / salida de 3 pines (re0, re1 y re2) cuyas líneas pueden ser configuradas como entrada(s) / salida(s) digital(es) ó entrada(s) analógica(s).

### 2.2.11. Circuito oscilador.

Debe conectarse entre los pines OSC1 y OSC2 un cristal de la manera que se muestra en la **figura 2-11** La conexión externa del cristal con dos condensadores conectados a tierra forma un oscilador con el inversor integrado al PIC y conectado entre los pines OSC1 y OSC2.

**Figura 2-11.** Configuración típica para el oscilador principal en los PICS.



**Fuente:** PIC16F87X Data Sheet - Microchip Technology Inc.

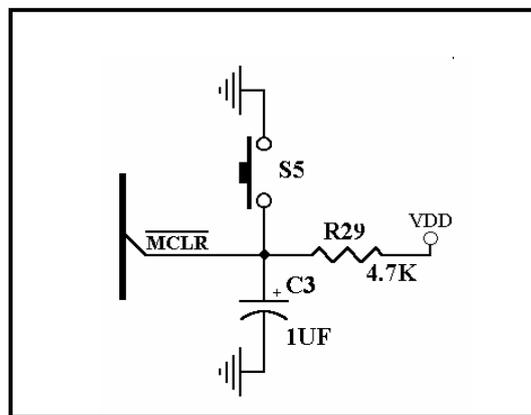
Los osciladores que puede utilizar esta familia se subdividen en las siguientes categorías:

- ❑ **HS.** Oscilador a cristal cuya frecuencia es típicamente mayor a 8 Mhz.
- ❑ **XT.** Oscilador a cristal cuya frecuencia es típicamente menor a 8 Mhz.
- ❑ **LP.** Oscilador basado en resonador cerámico o cuarzo de baja potencia, cuya frecuencia está en el orden de los KHz.
- ❑ **RC.** Este tipo de oscilador permite conectar, en lugar del tradicional cristal una resistencia y un condensador externo al pin **OSC1**, para formar junto a la circuitería integrada un oscilador de baja frecuencia muy económico pero también muy impreciso.

### 2.2.12. Circuito de RESET Externo.

Generar un RESET al PIC significa cargar el Contador de Programas (PC) con el valor 0000h. Esto provoca que se ejecute la primera instrucción de cualquier aplicación, que es denominada "Vector de RESET". Para generar un RESET externo es necesario llevar a cero durante un determinado tiempo el pin 1 del chip (etiquetado como (\*)MCLR). La **figura 2-12** muestra la circuitería necesaria para generar un pequeño pulso (activo en bajo) en el pin (\*) MCLR.

**Figura 2-12.** Circuito de RESET externo. El pin (\*)MCLR se mantendrá en un nivel bajo durante el tiempo de carga del capacitor C3.



**Fuente:** PIC16F87X Data Sheet - Microchip Technology Inc.

Existen otras fuentes de RESET internas en los PICS de esta familia. Para ampliar información puede consultarse el [datasheet del PIC16F871/877](#).

### 2.2.13. Programación de los Microcontroladores Microchip de la Familia Media (Serie 87X).

#### 2.2.13.1. Introducción.

Como ya habíamos señalado, los PICS son microcontroladores basados en Arquitectura Harvard y manejan un Juego Reducido de Instrucciones:

Gracias a la arquitectura Harvard es posible la canalización (pipelining). La canalización permite realizar la decodificación de instrucciones y la búsqueda de datos de forma paralela.

Por otra parte a pesar de manejar un Juego de Instrucciones Reducido; este tiene casi las mismas prestaciones, en términos de compacidad de código que un juego de instrucciones complejo.

Otras características ventajosas relativas al Juego de Instrucciones que manejan los MC microchip son las siguientes:

- **Instrucciones simétricas.** Las instrucciones de este tipo hacen posible llevar a cabo cualquier operación sobre cualquier registro (de propósito general o específico) de la Memoria de Datos utilizando cualquier modo de direccionamiento.
- **Instrucciones codificadas en una sola palabra.** Como el Bus de Instrucciones es separado del Bus de Datos, este posee la cantidad suficiente de líneas como para que pueda realizarse la transferencia de los códigos de instrucciones de una sola vez hacia la Unidad de Procesamiento Central; lo que resulta en un ahorro de tiempo de ejecución del programa.

#### **2.2.13.2. Tipos (categorías) de Instrucciones Microchip.**

Las instrucciones en la Familia Media se agrupan en 3 categorías:

- Instrucciones orientadas a Byte.
- Instrucciones orientadas a Bits.
- Instrucciones para operaciones con literales y de control.

#### **2.2.13.3. Instrucciones Orientadas a Byte.**

En estas instrucciones un operando “f” representa un registro de la Memoria de Datos y “d” representa el destino que tendrá el resultado de la operación que se realiza.

Recuerde que como el Juego de Instrucciones es simétrico, “f” en general es un

número de 7 bits que puede representar un registro de propósito específico o cualquier localización de RAM. “**d**”, solo puede tener dos valores [0,1], si “**d = 0**” significa que el resultado de la operación realizada será depositado en el Registro Acumulador (W)<sup>5</sup> y si es = 1 significa que el resultado quedará grabado en el propio registro “f” especificado en la instrucción.

### Ejemplos de Instrucciones Orientadas a Byte:

<b>MOVWF</b>	<b>Move W to f</b>
Syntax:	[ <i>label</i> ] MOVWF f
Operands:	$0 \leq f \leq 127$
Operation:	(W) → (f)
Status Affected:	None
Description:	Move data from W register to register 'f'.

**Ejemplo 1. Instrucción “movwf”.** La instrucción “movwf f”  **copia** el contenido del registro “W” en “f”. No afecta las banderas del “Status”. **Fuente: “Mid Range PIC Reference Manual”.**

<b>MOVF</b>	<b>Move f</b>
Syntax:	[ <i>label</i> ] MOVF f,d
Operands:	$0 \leq f \leq 127$ $d \in [0,1]$
Operation:	(f) → (destination)
Status Affected:	Z
Description:	The contents of register f are moved to a destination dependant upon the status of d. If d = 0, destination is W register. If d = 1, the destination is file register f itself. d = 1 is useful to test a file register, since status flag Z is affected.

**Ejemplo 2. Instrucción “movf”.** La instrucción “movf f”  **copia** el contenido del registro “f” en el propio “f” si d = 1 ó copia el contenido de “f” en “W” si d = 0. Se utiliza

<sup>5</sup> El acumulador se refiere como “**Working Register (W)**” y constituye un registro especial que ocupa un espacio de memoria independiente a la Memoria de Datos y de Programas.

típicamente para descargar datos desde la Memoria de Datos al acumulador. Afecta la bandera “Z” del “Status”. **Fuente: “Mid Range PIC Reference Manual”.**

<b>ADDWF</b>	<b>Add W and f</b>
Syntax:	<i>[label]</i> ADDWF f,d
Operands:	$0 \leq f \leq 127$ $d \in [0,1]$
Operation:	$(W) + (f) \rightarrow (\text{destination})$
Status Affected:	C, DC, Z
Description:	Add the contents of the W register with register 'f'. If 'd' is 0, the result is stored in the W register. If 'd' is 1, the result is stored back in register 'f'.

**Ejemplo 3. Instrucción “addwf f,d”.** La instrucción “addwf f,d” es un ejemplo de Instrucción Aritmética Orientada a Byte, que suma el contenido de “W” con el del registro “f” y el resultado lo copia en “W” si  $d = 0$  ó en “f” si  $d = 1$ . Afecta las banderas “C”, “DC” y “Z” del “Status”. **Fuente: “Mid Range PIC Reference Manual”.**

<b>DECFSZ</b>	<b>Decrement f, Skip if 0</b>	<b>INCFSZ</b>	<b>Increment f, Skip if 0</b>
Syntax:	<i>[label]</i> DECFSZ f,d	Syntax:	<i>[label]</i> INCFSZ f,d
Operands:	$0 \leq f \leq 127$ $d \in [0,1]$	Operands:	$0 \leq f \leq 127$ $d \in [0,1]$
Operation:	$(f) - 1 \rightarrow (\text{destination});$ skip if result = 0	Operation:	$(f) + 1 \rightarrow (\text{destination});$ skip if result = 0
Status Affected:	None	Status Affected:	None
Description:	The contents of register 'f' are decremented. If 'd' is 0, the result is placed in the W register. If 'd' is 1, the result is placed back in register 'f'. If the result is 1, the next instruction is executed. If the result is 0, then a NOP is executed instead making it a 2TCY instruction.	Description:	The contents of register 'f' are incremented. If 'd' is 0, the result is placed in the W register. If 'd' is 1, the result is placed back in register 'f'. If the result is 1, the next instruction is executed. If the result is 0, a NOP is executed instead, making it a 2TCY instruction.

**Ejemplo 4. Instrucciones “decfsz f” e “incfsz f”.** Ambas instrucciones incrementan o decrementan el contenido del registro “f” (según el caso). Si  $f = 00h$ , no ejecutan la instrucción inmediata siguiente y en caso de que  $f$  sea  $< > 00h$  la ejecutan. En cierto sentido son análogas a una estructura “while” de nivel simple; empleada en los lenguajes de programación de alto nivel. No afectan las banderas del “Status”. **Fuente: “Mid Range PIC Reference Manual”.**

#### 2.2.13.4. Instrucciones Orientadas a Bits.

Esta categoría está especialmente dedicada al **manejo independiente de bits**, siguiendo el mismo principio de simetría; con estas instrucciones se pueden manejar por separado bits **de cualquier registro**, ya sea un Registro de Propósito Específico o uno de Propósito General.

En estas instrucciones un operando “b” representa el número del bit dentro del registro “f”, que será afectado por la operación, por lo tanto, como todos los registros son solo de 8 bits, “b” es un número decimal que va desde 0 hasta 7. “f” es un operando similar al empleado en la categoría anterior, o sea un número entre 0 y 127 (decimal).

#### Ejemplos de Instrucciones Orientadas a bit:

<b>BSF</b>	<b>Bit Set f</b>
Syntax:	<i>[label]</i> BSF f,b
Operands:	$0 \leq f \leq 127$ $0 \leq b \leq 7$
Operation:	$1 \rightarrow (f<b>)$
Status Affected:	None
Description:	Bit 'b' in register 'f' is set.

**Ejemplo 5. Instrucción “bsf f,b”.** La instrucción “bsf f,b” setea el bit “b” dentro del registro “f”. No afecta el “Status”. **Fuente:** “Mid Range PIC Reference Manual”.

<b>BTFSC</b>	<b>Bit Test, Skip if Clear</b>
Syntax:	<i>[label]</i> BTFSC f,b
Operands:	$0 \leq f \leq 127$ $0 \leq b \leq 7$
Operation:	skip if (f<b>) = 0
Status Affected:	None
Description:	If bit 'b' in register 'f' is '1', the next instruction is executed. If bit 'b', in register 'f', is '0', the next instruction is discarded, and a NOP is executed instead, making this a 2TCY instruction.

**Ejemplo 6. Instrucción “btfsc f,b” (Bit Test File and Skip If Clear).** La instrucción “btfsc f,b” testea el bit “b” dentro del registro “f”. Si  $b = 0$ , no se ejecuta la instrucción inmediata siguiente y en caso contrario se ejecuta. En cierto sentido esta instrucción es análoga a una estructura “If” de nivel simple; empleada en los lenguajes de programación de alto nivel. Es ideal para el testeo de periféricos externos (pulsantes, por ejemplo) a través de pines de puerto del microcontrolador. No afecta las banderas del “Status”. **Fuente: “Mid Range PIC Reference Manual”.**

### 2.2.13.5. Instrucciones Para Operaciones con Literales y de Control.

Estas instrucciones, están diseñadas **para realizar operaciones aritméticas y lógicas sobre literales (constantes) y para cambiar el contenido del contador de programas de manera incondicional**, con el objetivo de direccionar la Memoria de Programas. Emplean el operador “k” que es un valor de 8 ó 9 bits según sea el caso.

#### Ejemplos de Instrucciones para el trabajo con literales:

En este caso el operando “k” representa un literal (número), de 8 bits. Los números pueden escribirse utilizando los siguientes **formatos**:

- 0x##, en hexadecimal.
- ‘010110101’b, en binario.
- ‘###’d, en decimal.

Ejemplos de estas instrucciones son los siguientes:

<b>ANDLW</b>	<b>AND Literal with W</b>
Syntax:	<code>[label] ANDLW k</code>
Operands:	$0 \leq k \leq 255$
Operation:	$(W) .AND. (k) \rightarrow (W)$
Status Affected:	Z
Description:	The contents of W register are AND'ed with the eight bit literal 'k'. The result is placed in the W register.

**Ejemplo 7. Instrucción “andlw k”.** La instrucción “andlw k” es un ejemplo de Instrucción Aritmética para operaciones con literales, que realiza el “and” del contenido

de “W” con el literal “k”. El resultado en estos casos siempre va a “W”. **Fuente: “Mid Range PIC Reference Manual”.**

<b>MOVLW</b>	<b>Move Literal to W</b>
Syntax:	[ <i>label</i> ] MOVLW k
Operands:	$0 \leq k \leq 255$
Operation:	$k \rightarrow (W)$
Status Affected:	None
Description:	The eight bit literal 'k' is loaded into W register. The don't cares will assemble as 0's.

**Ejemplo 8. Instrucción “movlw k”.** La instrucción “movlw k” copia el literal de 8 bits “k” en el registro “W”. **Fuente: “Mid Range PIC Reference Manual”.**

### Ejemplos de Instrucciones “de Control”:

Tales instrucciones también son denominadas “de control”, porque modifican el contenido del PC provocando un salto a una dirección determinada dentro de la Memoria de Programas.

El operando “k” en este caso constituye una dirección dentro de la Memoria de Programas, dentro de una página. “k” es un número de 11 bits (2K). Dentro de un programa “k” se suele sustituir por una cadena de caracteres (etiqueta), que el programador puede manejar con facilidad.

Ejemplos de Instrucciones de Control son los siguientes:

<b>CALL</b>	<b>Call Subroutine</b>
Syntax:	[ <i>label</i> ] CALL k
Operands:	$0 \leq k \leq 2047$
Operation:	(PC)+ 1 → TOS, k → PC<10:0>, (PCLATH<4:3>) → PC<12:11>
Status Affected:	None
Description:	Call Subroutine. First, return address (PC+1) is pushed onto the stack. The eleven-bit immediate address is loaded into PC bits <10:0>. The upper bits of the PC are loaded from PCLATH. CALL is a two-cycle instruction.

**Ejemplo 9. Instrucción “call k”.** La instrucción “call k” es una llamada a la subrutina ensamblada a partir de la dirección representada por “k”. Antes de que se ejecute un “call” el CPU suma uno al PC, lo guarda en la Pila. Luego, los 11 bits menos significativos del PC se cargan con el valor de la dirección “k” y los dos que restan se cargan desde los dos bits más significativos del PCLATH. Así se genera la dirección completa del salto. **Fuente: “Mid Range PIC Reference Manual”.**

<b>GOTO</b>	<b>Unconditional Branch</b>
Syntax:	[ <i>label</i> ] GOTO k
Operands:	$0 \leq k \leq 2047$
Operation:	$k \rightarrow PC<10:0>$ $PCLATH<4:3> \rightarrow PC<12:11>$
Status Affected:	None
Description:	GOTO is an unconditional branch. The eleven-bit immediate value is loaded into PC bits <10:0>. The upper bits of PC are loaded from PCLATH<4:3>. GOTO is a two-cycle instruction.

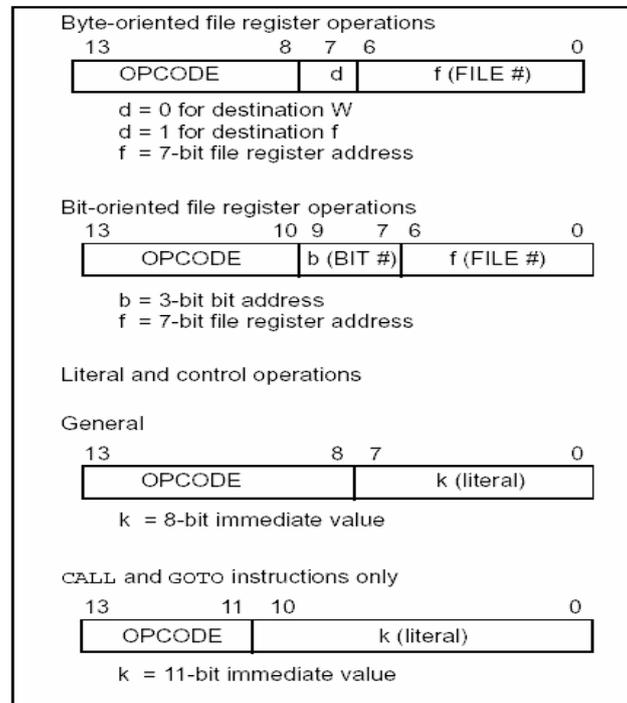
**Ejemplo 9. Instrucción “goto k”.** La instrucción “goto k” es un salto incondicional a la dirección representada por “k”. Los 11 bits menos significativos del PC se cargan con el valor de la dirección “k” y los dos que restan se cargan desde los dos bits más significativos del PCLATH. Así se genera la dirección completa del salto. Note que la dirección actual del PC se pierde en este caso. **Fuente: “Mid Range PIC Reference Manual”.**

### 2.2.13.6 Formato General de Codificación de las Instrucciones.

Las instrucciones Microchip se codifican en una sola palabra, en el caso de la Familia Media la longitud de esta palabra es de 14 bits. Dentro de la palabra de 14 bits, según la categoría o tipo de instrucción, existen grupos de bits que codifican cada parte de la instrucción.

En la **figura 2-13** se muestra el formato para cada una de las tres categorías, analizadas en el epígrafe anterior:

**Figura 2-13.** Formato General de Codificación de las Instrucciones de la Familia Media para las categorías descritas. El campo “OPCODE” se refiere al Código Operativo de la instrucción (la acción que realiza) y el resto de los campos se refieren a los operandos.



**Fuente:** “Mid Range PIC Reference Manual”.

### 2.2.13.7. Duración de las Instrucciones.

La mayoría de las instrucciones Microchip se ejecutan en un solo Ciclo de Máquina, que es igual a 4 veces el período del Reloj Externo. Dentro del Juego de Instrucciones existen las siguientes excepciones, que se ejecutan en uno o dos ciclos:

Se ejecutarán siempre en **dos Ciclos de Máquina** las siguientes Instrucciones:

- “**call k**”. Llamada a una subrutina.
- “**goto k**”. Salto incondicional a la dirección “k”.
- “**retfie**”. Retorno de una subrutina de atención a interrupción.
- “**return**”. Retorno de un “call”.

- “**retlw k**”. Retorno de un “call” pero grabando el número “k” en el Acumulador.

**Se ejecutarán en uno o dos ciclos de instrucción:**

- “**decfsz f,d**”. Decrementa el registro “f” y salta la instrucción siguiente si “f” llegó a cero (en este caso dura dos ciclos).
- “**incfsz f,d**”. Similar, pero incrementando “f”, o sea se salta la instrucción siguiente cuando “f” sufre un “overflow”. En este caso la instrucción demora dos ciclos.
- “**btfsc f,b**”. Hace el test del bit “b” dentro del registro “f” y salta la próxima instrucción cuando este está en cero. En este caso la instrucción dura dos ciclos.
- “**btfss f,b**”. Hace el test del bit “b” dentro del registro “f” y salta la próxima instrucción cuando este está en uno. En este caso la instrucción dura dos ciclos.

### **2.2.13.8. Trabajo con Interrupciones en Microcontroladores.**

El trabajo con interrupciones se caracteriza por ser un servicio directo entre periféricos y el CPU, siempre que esta “desea establecer el diálogo con el periférico”. En términos concretos, esto significa que la interrupción del periférico había sido habilitada. La característica fundamental y ventaja principal del servicio de interrupciones es la inmediatez; lo que significa que pueden eliminarse total o parcialmente los ciclos de consulta. Otra ventaja es que puede inhibirse la interrupción del periférico dado cuando se considera que esta es “inoportuna” y por tanto perjudica en alguna medida la marcha del Proceso Principal, o sea la corrida del resto del programa. Esta forma de trabajo es indispensable en el trabajo de control de procesos en tiempo real.

#### **2.2.13.8.1. Formas de Iniciar una Interrupción.**

- Por un periférico o entidad externa ajena al Microcontrolador a través de los pines específicos del mismo. En estas condiciones **la interrupción es externa**.
- Dentro del propio chip MC. En estas condiciones **la interrupción es interna**.

### 2.2.13.9. Fuentes de Interrupción en los PICS de la Serie 87X.

Los PICS pueden manejar diversas fuentes de interrupción. Por lo general con cada periférico integrado al Microcontrolador hay asociada una o más fuentes de interrupción.

A continuación se resumen algunas fuentes de INT en los Microcontroladores de la Familia Media. Los tipos de fuente de interrupción se subdividen en dos categorías: **Básicas y Adicionales.**

#### 2.2.13.9.1. Fuentes Básicas.

- Interrupción por pin externo (pin RB0/INT). El pin RB0 es un pin de puerto que está multiplexado con la función de INT externa.
- Por desbordamiento del TMR0.
- Por cambio en los pines de puerto RB7 : RB4.
- Cuando se completa un ciclo de escritura en la EEPROM de Datos. La EEPROM de datos es otro periférico muy común en los Microcontroladores de esta familia. Es una memoria tipo EEPROM y por lo tanto NO volátil, que puede escribirse y leerse desde el Programa de Aplicación.

#### 2.2.13.9.2. Fuentes Adicionales.

- INT por desbordamiento del TMR1.
- INT por desbordamiento del TMR2.
- Por cambio en el Módulo Comparador (este se refiere a un comparador analógico que puede estar incluido en algunos Microcontroladores de esta familia.)
- INT del Puerto Paralelo Esclavo.
- Interrupciones varias del USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Tx).
- INT por término del Ciclo de Conversión en el conversor A/D.
- INT del Módulo LCD.
- INT varias asociadas al Módulo CCP.
- INT asociada al Módulo SSP (**Serial Synchronous Port**).

### 2.2.13.10 Ciclo de Interrupción en los PICS de la Serie 87X.

En los MC PICS de la Familia Media cuando algún periférico (interno o externo) solicita INT, ocurre la siguiente **secuencia de eventos**:

1. Se completa la ejecución de la instrucción que se está ejecutando en ese momento.
2. Se incrementa el PC y se guarda en la PILA (“STACK”).
3. El PC se carga con la dirección 0004 de la Memoria de Programas (PC = 0004), que es donde se encuentra ensamblado el “**Vector de Interrupción**”. El Vector de Interrupción puede ser una instrucción de salto<sup>6</sup> (**goto INT**, por ejemplo) a partir de la cual se ensambló la subrutina de atención a interrupción o la primera instrucción de la Subrutina de Atención a Interrupción, en caso de que esta se ensamble a partir de la dirección 0004.
4. Una vez dentro de la subrutina de atención a interrupción se procede a identificar la fuente de interrupción (encuestando las banderas correspondientes) y a “atender” el periférico que en ese momento solicita la interrupción. Para ello todos los Microcontroladores poseen registros donde se encuentran las banderas que sirven de aviso sobre el periférico que generó el pedido de interrupción.
5. Finalmente antes de abandonar la subrutina de atención a deben limpiarse las banderas del o los periférico(s) que fueron “atendidos” en ella para evitar una interrupción reentrante. De la subrutina se sale con la instrucción “**retfie**”, que es la encargada de cargar el PC con el valor de retorno que había sido guardado en la PILA.

### 2.2.13.11. Registros Para el Manejo de Interrupciones en los PICS de la Familia Media.

Para el manejo de INT existen dos tipos de registros especiales: **los registros de control** y **los registros banderas de interrupción**. Los primeros permiten habilitar o deshabilitar las distintas fuentes de INT y los segundos son necesarios para averiguar

---

<sup>6</sup> **Nota:** el salto a una IT demora 3 ciclos de máquina.

cuál periférico generó la INT. La manera más fácil de estudiar estos registros es relacionarlos con el periférico del Microcontrolador que se esté empleando.

**2.2.13.12. Registro de Control de Interrupciones Básicas (INTCON).**

El registro **INTCON** (figura 2-14), aparece desde los procesadores más primitivos de la familia media (PIC16F84, por ejemplo). En este registro se incluyen los bits para habilitar las fuentes básicas de interrupción, así como los bits que sirven de banderas para c/u de las fuentes individuales de interrupción.

**Figura 2-14.** Registro INTCON.

**REGISTER 2-3: INTCON REGISTER (ADDRESS 0Bh, 8Bh, 10Bh, 18Bh)**

R/W-0	R/W-x						
GIE	PEIE	T0IE	INTE	RBIE	T0IF	INTF	RBIF
bit7							bit0

R = Readable bit  
 W = Writable bit  
 U = Unimplemented bit, read as '0'  
 - n= Value at POR reset

bit 7: **GIE:** Global Interrupt Enable bit  
 1 = Enables all un-masked interrupts  
 0 = Disables all interrupts

bit 6: **PEIE:** Peripheral Interrupt Enable bit  
 1 = Enables all un-masked peripheral interrupts  
 0 = Disables all peripheral interrupts

bit 5: **T0IE:** TMR0 Overflow Interrupt Enable bit  
 1 = Enables the TMR0 interrupt  
 0 = Disables the TMR0 interrupt

bit 4: **INTE:** RB0/INT External Interrupt Enable bit  
 1 = Enables the RB0/INT external interrupt  
 0 = Disables the RB0/INT external interrupt

bit 3: **RBIE:** RB Port Change Interrupt Enable bit  
 1 = Enables the RB port change interrupt  
 0 = Disables the RB port change interrupt

bit 2: **T0IF:** TMR0 Overflow Interrupt Flag bit  
 1 = TMR0 register has overflowed (must be cleared in software)  
 0 = TMR0 register did not overflow

bit 1: **INTF:** RB0/INT External Interrupt Flag bit  
 1 = The RB0/INT external interrupt occurred (must be cleared in software)  
 0 = The RB0/INT external interrupt did not occur

bit 0: **RBIF:** RB Port Change Interrupt Flag bit  
 1 = At least one of the RB7:RB4 pins changed state (must be cleared in software)  
 0 = None of the RB7:RB4 pins have changed state

**Fuente:** PIC16F87X Data Sheet - Microchip Technology Inc.

**El registro INTCON se encuentra en las localizaciones: 0Bh, 8Bh, 10Bh y 18Bh de los bancos 0, 1, 2 y 3 de la Memoria de Datos; por lo tanto para escribir o leer su**

contenido NO es necesario cambiar de banco modificando los bits correspondientes del registro STATUS.

### **2.2.13.13. Registros Para el Control y de Banderas de Interrupciones Adicionales.**

La denominación de los registros para el control de interrupciones adicionales se codifica de manera general con las letras **PIE** (**P**eripheral **I**nterrupt **E**nable register), más un número (por ejemplo **PIE1**, **PIE2**, etc.).

En un mismo PIC pueden existir varios de estos registros en función de la cantidad de periféricos integrados al Microcontrolador que sean capaces de generar interrupción.

Por otra parte, las banderas que indican los eventos de interrupción adicionales, se agrupan en registros tipo **PIR** (**P**eripheral **I**nterrupt **R**egistres). De manera similar a lo que ocurre con los registros tipo PIE, pueden existir varios tipo PIR (por ejemplo, PIR1, PIR2, etc.).

Las figuras 2-15 a y b ilustran dos tipos de registros: **uno de control (PIE1)** y otro de **banderas (PIR1)**. Note que los bits de habilitación y bandera se encuentran en posiciones similares dentro de ambos registros; por ejemplo: el bit 0 del registro PIE1, sirve para habilitar la interrupción del timer1 y el bit 0 del registro PIR1 sirve de bandera de interrupción por desbordamiento del timer1.

Figura 2-15 a. Registro de Habilitación de Interrupciones PIE1.

**REGISTER 2-4: PIE1 REGISTER (ADDRESS 8Ch)**

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
PSPIE <sup>(1)</sup>	ADIE	RCIE	TXIE	—	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE
bit7				bit0			

R = Readable bit  
 W = Writable bit  
 U = Unimplemented bit, read as '0'  
 - n= Value at POR reset

bit 7: **PSPIE<sup>(1)</sup>**: Parallel Slave Port Read/Write Interrupt Enable bit  
 1 = Enables the PSP read/write interrupt  
 0 = Disables the PSP read/write interrupt

bit 6: **ADIE**: A/D Converter Interrupt Enable bit  
 1 = Enables the A/D converter interrupt  
 0 = Disables the A/D converter interrupt

bit 5: **RCIE**: USART Receive Interrupt Enable bit  
 1 = Enables the USART receive interrupt  
 0 = Disables the USART receive interrupt

bit 4: **TXIE**: USART Transmit Interrupt Enable bit  
 1 = Enables the USART transmit interrupt  
 0 = Disables the USART transmit interrupt

bit 3: **Unimplemented**: Read as '0'

bit 2: **CCP1IE**: CCP1 Interrupt Enable bit  
 1 = Enables the CCP1 interrupt  
 0 = Disables the CCP1 interrupt

bit 1: **TMR2IE**: TMR2 to PR2 Match Interrupt Enable bit  
 1 = Enables the TMR2 to PR2 match interrupt  
 0 = Disables the TMR2 to PR2 match interrupt

bit 0: **TMR1IE**: TMR1 Overflow Interrupt Enable bit  
 1 = Enables the TMR1 overflow interrupt  
 0 = Disables the TMR1 overflow interrupt

**Note 1:** PSPIE is reserved on the PIC16F870; always maintain this bit clear.

Fuente: PIC16F87X Data Sheet - Microchip Technology Inc.

Figura 2-15 b. Registro de Banderas de Interrupciones PIR1.

**REGISTER 2-5: PIR1 REGISTER (ADDRESS 0Ch)**

R/W-0	R/W-0	R-0	R-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
PSPIF <sup>(1)</sup>	ADIF	RCIF	TXIF	—	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF
bit7				bit0			

R = Readable bit  
 W = Writable bit  
 - n= Value at POR reset

bit 7: **PSPIF<sup>(1)</sup>**: Parallel Slave Port Read/Write Interrupt Flag bit  
 1 = A read or a write operation has taken place (must be cleared in software)  
 0 = No read or write has occurred

bit 6: **ADIF**: A/D Converter Interrupt Flag bit  
 1 = An A/D conversion completed  
 0 = The A/D conversion is not complete

bit 5: **RCIF**: USART Receive Interrupt Flag bit  
 1 = The USART receive buffer is full  
 0 = The USART receive buffer is empty

bit 4: **TXIF**: USART Transmit Interrupt Flag bit  
 1 = The USART transmit buffer is empty  
 0 = The USART transmit buffer is full

bit 3: **Unimplemented**: Read as '0'

bit 2: **CCP1IF**: CCP1 Interrupt Flag bit  
 Capture Mode  
 1 = A TMR1 register capture occurred (must be cleared in software)  
 0 = No TMR1 register capture occurred  
 Compare Mode  
 1 = A TMR1 register compare match occurred (must be cleared in software)  
 0 = No TMR1 register compare match occurred  
 PWM Mode  
 Unused in this mode

bit 1: **TMR2IF**: TMR2 to PR2 Match Interrupt Flag bit  
 1 = TMR2 to PR2 match occurred (must be cleared in software)  
 0 = No TMR2 to PR2 match occurred

bit 0: **TMR1IF**: TMR1 Overflow Interrupt Flag bit  
 1 = TMR1 register overflowed (must be cleared in software)  
 0 = TMR1 register did not overflow

**Note 1:** PSPIF is reserved on the PIC16F870; always maintain this bit clear.

Fuente: PIC16F87X Data Sheet - Microchip Technology Inc.

### 2.2.14. Timers. Integrados a los PICs de la Serie 87X.

En los PICs de la Familia Media se integran como máximo tres timers de tipo:

- **Timer0.**
- **Timer1.**
- **Timer2.**

#### 2.2.14.1. Módulo TMR0.

El **módulo TMR0** es el timer/contador primario que incluyen los Microcontroladores PICS que poseen al menos un timer.

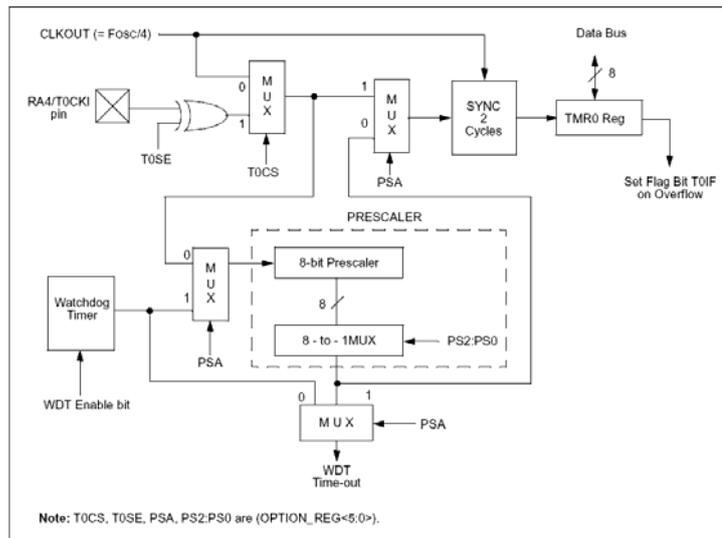
#### 2.2.14.2. Especificaciones Técnicas Generales del Módulo:

- Puede ser programado como temporizador (timer) o contador (counter) de 8 BITS ascendente.
- El conteo o la temporización se lleva en un registro (TMR0), que se puede leer y escribir.
- Posee un prescaler programable por software de 8 BITS.
- Fuente de reloj seleccionable (interna o externa), según se trabaje como temporizador o contador.
- Genera una interrupción por desbordamiento (FF → 00) si el bit T0IE del registro INTCON es igual a 1.
- Cuando se utiliza para contar eventos externos se puede seleccionar el frente de conteo, mediante el bit T0SE del registro "**OPTION**".

#### 2.2.14.3. Arquitectura Interna del Timer 0.

La **figura 2-16** muestra un Diagrama de Bloques de la estructura interna del Timer 0. El funcionamiento de la Lógica de Control del Timer se puede entender analizando el Registro que la controla. Revise el tópico funcionamiento del módulo.

**Figura 2-16.** Diagrama de Bloques del Timer 0.



**Fuente:** PIC16F87X Data Sheet - Microchip Technology Inc.

**2.2.14.4. Registro para el Control del Timer 0. Registro Option (dir. 81h del banco1).**

**Figura 2-17.** Registro OPTION.

	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1
	RBP <u>P</u>	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1
	bit 7						bit 0
bit 7	<b>RBP<u>P</u></b> : PORTB Pull-up Enable bit 1 = PORTB pull-ups are disabled 0 = PORTB pull-ups are enabled by individual port latch values						
bit 6	<b>INTEDG</b> : Interrupt Edge Select bit 1 = Interrupt on rising edge of RB0/INT pin 0 = Interrupt on falling edge of RB0/INT pin						
bit 5	<b>T0CS</b> : TMR0 Clock Source Select bit 1 = Transition on RA4/T0CKI pin 0 = Internal instruction cycle clock (CLKOUT)						
bit 4	<b>T0SE</b> : TMR0 Source Edge Select bit 1 = Increment on high-to-low transition on RA4/T0CKI pin 0 = Increment on low-to-high transition on RA4/T0CKI pin						
bit 3	<b>PSA</b> : Prescaler Assignment bit 1 = Prescaler is assigned to the WDT 0 = Prescaler is assigned to the Timer0 module						
bit 2-0	<b>PS2:PS0</b> : Prescaler Rate Select bits						
	Bit Value	TMR0 Rate	WDT Rate				
	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				

**Fuente:** PIC16F87X Data Sheet - Microchip Technology Inc.

El **OPTION\_REG** (figura 2-17) controla opciones para el timer 0 y otras asociadas a:

- Selección del frente de Interrupción (caída o subida) por pin Rb0 (bit **INTEDG**).
- Habilitación Inhabilitación de los Pull – Ups internos al puerto B (bit **RBPU**).

Las **opciones de control** asociadas al **timer 0** son:

- Selección de modo (contador o timer). Bit **T0CS**.
- Selección para frente de conteo en caso de que se seleccione modo contador. Bit **T0SE**.
- Asignación del prescaler. Bit **PSA**. El prescaler queda asignado al timer 0 cuando  $PSA = 0$ .
- Selección del **Factor de División** para el prescaler. Bits  $PS2 \Rightarrow PS0$ .

#### 2.2.14.5. Funcionamiento del módulo.

##### 2.2.14.5.1. Modo Timer.

Se selecciona haciendo 0 el bit T0CS del reg. OPTION\_REG. Si no se selecciona el prescaler ( $PSA = 1$ ), en este modo el timer cuenta Ciclos de Máquina ( $f_{osc}/4$ ). El resultado de la temporización se puede leer en el registro TMR0, que se encuentra en la dirección 01h del banco 0 **exclusivamente**. El registro TMR0 también puede ser alterado por el programador, o sea durante la temporización o el conteo. Si se altera durante la ejecución el contenido del registro TMR0 su incremento se retarda en **dos** Ciclos de Máquina.

Si se utiliza el prescaler ( $PSA = 0$ ), el reloj de entrada al timer ( $F_{osc}/4$ ) se divide por los siguientes factores (figura 2-18), según la combinación que se coloque en los bits  $PS2:PS0$  del registro “**OPTION\_REG**”.

**Figura 2-18.** Factores de división del PSCALER para el tmr0 y el Watch Dog.

Bit Value	TMR0 Rate	WDT Rate
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

Fuente: PIC16F87X Data Sheet - Microchip Technology Inc.

#### 2.2.14.5.2. Modo Contador.

Se selecciona poniendo el bit **TOCS = 1**, con esto se habilita el conteo de eventos externos por el pin Ra4, con el flanco de subida o de caída, según el valor del bit 4 (**T0SE**), del registro “**OPTION**”. Si **T0SE = 1**, cuenta con la caída y en caso contrario con la subida.

**Nota: recuerde que el “prescaler” es un divisor de frecuencia compartido con el “Watch Dog”. Si Ud. utiliza “Watch Dog” y timer0 y no desea PSCALER para ninguno de los dos periféricos, simplemente ponga el bit PSA en 1 y los bits PS2:PS0 en cero.**

#### 2.2.14.6. Módulo TMR1. Introducción.

El **Timer 1** es un “timer/counter” de 16 bits que incluye un prescaler Digital de 4 pasos.

##### 2.2.14.6.1. Especificaciones Técnicas Generales del Módulo.

- Puede configurarse como contador de eventos externos **ascendente** (en dos modos diferentes) y como timer. El modo de trabajo se selecciona mediante el bit **TMR1CS**: (T1CON <1>).
- El conteo (o temporización) puede leerse en dos registros: TMR1H (0Fh) y TMRL (0Eh).
- Genera interrupción por desbordamiento, si ésta fue habilitada. La interrupción se indica mediante la bandera TMR1IF (PIR1 <0>, dir. 0Ch del banco 0). La

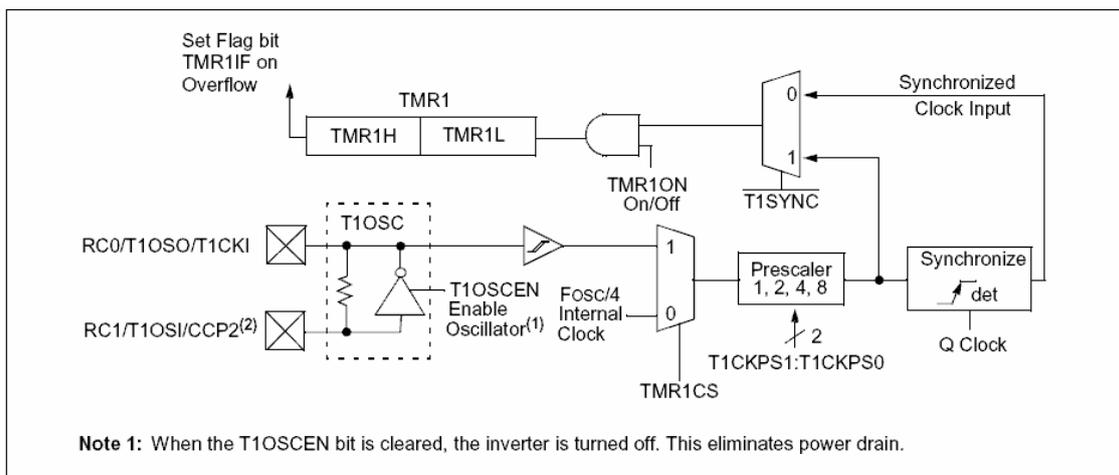
interrupción puede habilitarse o inhabilitarse mediante el bit TMR1IE: (PIE <0>, dir. 8Ch del banco 1).

- El TMR1 puede apagarse o encenderse mediante un bit, el **TMR1ON** (T1CON <0>).
- El TMR1 posee una entrada de RESET por HW, interno. Este RESET solo puede ser generado por el módulo CCP, no puede ser manipulado por el programador.

### 2.2.14.6.2. Arquitectura Interna del Timer 1.

La figura 2-19 muestra un Diagrama de Bloques de la estructura interna del Timer 1. El funcionamiento de la Lógica de Control del Timer 1 se puede entender analizando el Registro que la controla (**T1CON**).

**Figura 2-19.** Diagrama de bloques del TMR1.



**Fuente:** PIC16F87X Data Sheet - Microchip Technology Inc.

### 2.2.14.7. Registros Para el Control TIMER 1.

#### 2.2.14.7.1. Registro T1CON (10h del banco 0).

El timer 1 se controla con el registro **T1CON** (dir. 10h del banco 0), **figura 2-20**

**Figura 2-20.** Registro de Control del TIMER1 (T1CON).

	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	
	—	—	T1CKPS1	T1CKPS0	T1OSCEN	$\overline{T1SYNC}$	TMR1CS	TMR1ON	
	bit 7							bit 0	
bit 7-6	<b>Unimplemented:</b> Read as '0'								
bit 5-4	<b>T1CKPS1:T1CKPS0:</b> Timer1 Input Clock Prescale Select bits 11 = 1:8 Prescale value 10 = 1:4 Prescale value 01 = 1:2 Prescale value 00 = 1:1 Prescale value								
bit 3	<b>T1OSCEN:</b> Timer1 Oscillator Enable Control bit 1 = Oscillator is enabled 0 = Oscillator is shut-off (the oscillator inverter is turned off to eliminate power drain)								
bit 2	<b>T1SYNC:</b> Timer1 External Clock Input Synchronization Control bit <u>When TMR1CS = 1:</u> 1 = Do not synchronize external clock input 0 = Synchronize external clock input <u>When TMR1CS = 0:</u> This bit is ignored. Timer1 uses the internal clock when TMR1CS = 0.								
bit 1	<b>TMR1CS:</b> Timer1 Clock Source Select bit 1 = External clock from pin RC0/T1OSO/T1CKI (on the rising edge) 0 = Internal clock (Fosc/4)								
bit 0	<b>TMR1ON:</b> Timer1 On bit 1 = Enables Timer1 0 = Stops Timer1								

**Fuente:** PIC16F87X Data Sheet - Microchip Technology Inc.

El registro **T1CON** controla lo siguiente:

- Selección del Factor de División del Prescalador. Bits T1CKPS1 y T1CKPS0
- Habilitación del Oscilador Externo. Bit T1OSEN. El timer 1 puede trabajar referido a un oscilador externo que se conecta a los pines T1OSI y T1OSO, tal caso es ventajoso cuando el oscilador del sistema no ofrece garantías en cuanto a estabilidad y precisión.
- Sincronización con el Oscilador Externo. Bit **T1SYNC**. Esta opción es tomada en cuenta solamente para modo contador (TMR1CS = 1). El sincronismo se produce en los frentes de subida entre el oscilador externo al timer y el oscilador del sistema.
- Selección de Modo. Bit **TMR1CS**. Similar al bit **T0CS** en el timer 0. Selecciona modo timer (= 0) o modo contador (= 1).
- Apagado / Encendido. Bit **TMR1ON**. El timer se enciende si **TMR1ON = 1**. Debe aclararse que en el apagado los registros de conteo / temporización (**TMR1H** y **TMR1L**), conservan su valor.

#### 2.2.14.7.2 TMR1H (0Fh del banco 0) y TMR1L (0Eh del banco 0).

En este par de registros se recoge el resultado de la temporización.

#### 2.2.14.8. PIE1 (8Ch del banco 1) y PIR1 (0Ch del banco 0).

El registro PIE1 es uno de los registros que en general sirve para habilitar las interrupciones de los periféricos extendidos (adicionales a los básicos). En este registro la interrupción del timer 1 se habilita seteando el bit 0 de este registro. Adicionalmente deben estar seteados los bits 6 y 7 del registro INTCON para que se produzca la interrupción por desbordamiento.

El registro PIR1 es el que almacena todas las banderas correspondientes, a cada una de las fuentes de interrupción.

#### 2.2.14.9. Modos de Operación del Timer 1.

##### 2.2.14.9.1. Modo Timer.

Se habilita llevando a cero el bit  $TMR1CS=0$  ( $T1CON <1>$ ). En este modo el par de registros TMR1H y TMR1L se incrementan con cada ciclo de máquina o sea cada 4 pulsos del oscilador externo. El timer sufrirá desbordamiento cuando hayan transcurrido 65536 Ciclos de Máquina. El tiempo total de desbordamiento, puede calcularse entonces como:

$$T_{over} = 65536 \cdot [f_{osc}/4]$$

##### 2.2.14.9.2. Modo Contador.

Este modo se selecciona seteando el bit **TMR1CS=0 (T1CON <1>)**.

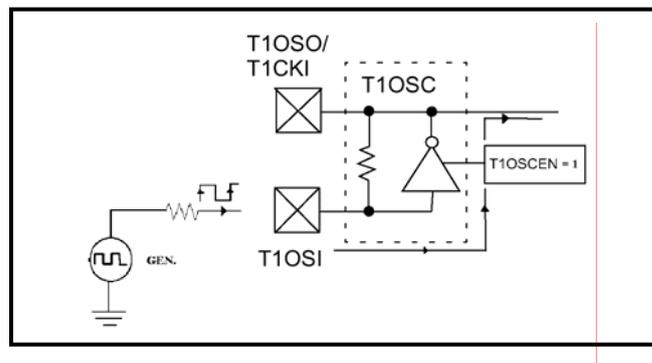
En modo contador la señal de conteo puede conectarse a los pines T1OSI ó T1OSO. Si la señal se conecta al pin T1OSI el bit T1OSEN debe ser igual a 1 para permitir el paso de la señal. Si la señal se conecta al pin T1OSO el bit T1OSEN debe ser 0 para permitir el paso de la señal. En ambos casos los registros TMR1H y TMR1L se incrementan con cada frente de subida de las respectivas señales (**figuras 2.21 b**). Cuando T1OSEN = 1, los pines T1OSI y T1OSO se convierten automáticamente en entradas y se ignora el valor cargado en el registro TRISC.

**2.2.14.9.3. Oscilador Externo del Timer 1.**

Entre los pines T1OSI y T1OSO, existe la posibilidad de conectar un oscilador cerámico. Observe que si el bit T1OSEN = 1 (“oscilador habilitado”), conectando el cristal externo se puede formar el circuito oscilador (**figura 2-21 c**) No debe confundirse este modo de trabajo con el modo Timer, en este caso el timer 1 funciona como tal, pero con una fuente de reloj externa y para que funcione el bit TMR1CS debe ser 1.

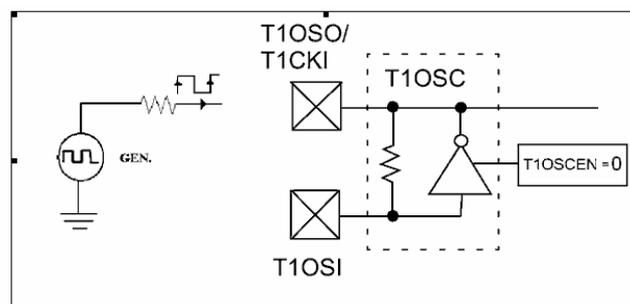
El Modo Contador a su vez soporta dos modos de conteo: **sincrónico** y **asincrónico**.

**Figura 2-21 a.** Esquema de conexión de una señal por T1OSI. Cuando el bit T1OSEN = 1 el inversor está habilitado y la señal de reloj es tomada del pin T1OSI.



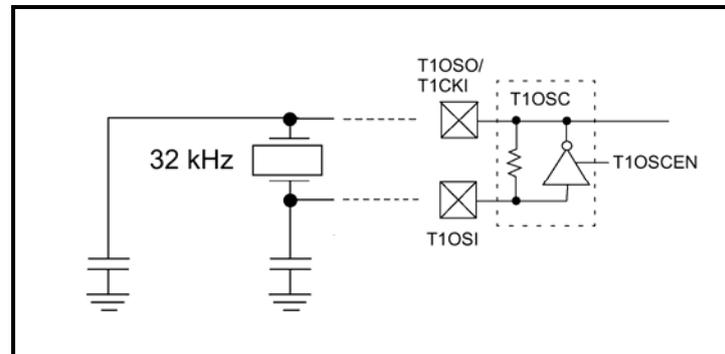
**Fuente:** PIC16F87X Data Sheet - Microchip Technology Inc.

**Figura 2-21 b.** Esquema de conexión de una señal por T1OSO. Cuando el bit T1OSEN = 0, el inversor está en OFF y la señal es tomada del pin T1OSO.



**Fuente:** PIC16F87X Data Sheet - Microchip Technology Inc.

**Figura 2-21 c.** Esquema de conexión de un oscilador a cristal LP (Low Power) al timer 1. El cristal, los capacitores (de 33 pf) y el inversor forman un circuito oscilador similar al que se forma en los pines OSC1 y OSC2.



**Fuente:** PIC16F87X Data Sheet - Microchip Technology Inc.

#### 2.2.14.9.4. Modo Contador Sincrónico. $T1SYNC = 0$ / $T1OSEN = 1$ ó $0$ .

Si el bit  **$T1SYNC = 0$  ( $T1CON<2>$ )**, el reloj externo se sincroniza con las fases del reloj interno. El sincronismo se realiza a la salida del Prescaler (figura 2.19). Como el reloj externo se sincroniza con el interno, esta modalidad no trabaja en modo SLEEP.

#### 2.2.14.9.5. Modo Contador Asincrónico. $T1SYNC = 1$ / $T1OSEN = 1$ ó $0$ .

En este modo, el timer se incrementa asincrónicamente con el reloj externo.

En Modo SLEEP, el TMR1 continuará incrementándose y puede generar INT en el desbordamiento, que sirve “para despertar el procesador”.

En este modo el Timer NO puede utilizarse como base de tiempo para operaciones de captura o comparación, relacionadas con el Módulo CCP.

#### 2.2.14.9. 6. “Prescaler” del TMR1.

El prescaler del Timer 1 es digital de 4 pasos (**figura 2-22**).

**Figura 2-22.** Pasos de división del prescaler del TIMER 1.

<p><b>T1CKPS1:T1CKPS0:</b> BITS PARA LA SELECCIÓN DEL FACTOR DE DIVISIÓN. bits 5 y 4 del reg. T1CON.</p> <p>11 = 1:8 Prescale value</p> <p>10 = 1:4 Prescale value</p> <p>01 = 1:2 Prescale value</p> <p>00 = 1:1 Prescale value</p>
--

**Fuente:** PIC16F87X Data Sheet - Microchip Technology Inc.

#### 2.2.14.9.7. Lectura de los Registros TMR1H y TMR1L Cuando se Trabaja en Modo Contador Asincrónico.

Como el resultado de la temporización se almacena en dos registros de 8 bits (TMR1H y TMR1L), es necesario realizar dos lecturas para almacenar el resultado completo. Cuando el reloj del sistema es del orden del oscilador del timer, es posible cometer errores entre una lectura y otra, luego en este caso se recomienda detener el timer antes de realizar la lectura.

#### 2.2.15. Módulo Timer 2.

##### 2.2.15.1. Introducción.

El "Timer 2" es un temporizador de 8 bits que solo trabaja como tal. NO funciona en modo contador. El Módulo Captura/Compara/PWM lo utiliza para generar el período de la onda de PWM, luego NO es posible utilizarlo de manera independiente cuando se esté utilizando el módulo CCP en la modalidad de PWM; aunque se pueden multiplexar otras funciones que pudieran ejecutarse cuando se desborde.

##### 2.2.15.2. Especificaciones técnicas Generales del Módulo Timer 2:

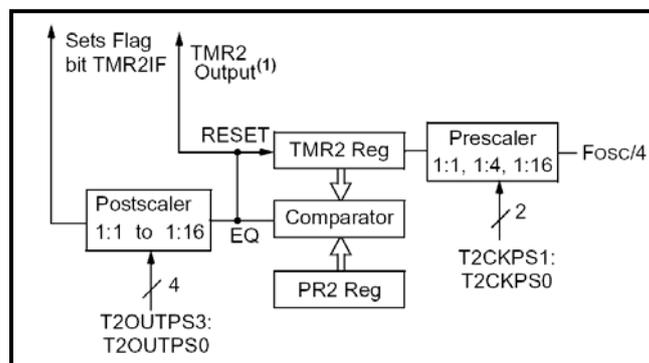
- Funciona solo como timer de 8 bits (solo cuenta Ciclos de Máquina).
- Es precargable, o sea es posible cargar el período de la temporización en un registro (**PR2**, dirección 92h del banco 1). El timer se desborda cuando el valor del registro de temporización (TMR2, dirección 11h del banco 0) es igual al PR2.

- Posee “**prescaler**” programable de tres factores de división (1:1, 1:4, 1: 16) y “**postscaler**” programable de 16 factores de división (1:1, 1:2, 1:3.... 1:16).
- Genera interrupción cuando se desborda. El tiempo de desbordamiento del timer está condicionado también al factor de división del prescaler y el postscaler asignado al timer (figura 8) así como al valor cargado en el registro PR2. A la salida del postscaler está conectado el bit TMR2IF (bandera de interrupción del TMR2). En general, el tiempo de generación de interrupción dependerá del factor asignado al postscaler, el valor cargado en el registro PR2 y el valor asignando al prescaler del timer.

### 2.2.15.3. Arquitectura Interna del TIMER 2.

En la **figura 2-23** se muestra el Diagrama de Bloques del Timer 2. Su funcionamiento puede entenderse a partir del análisis del Registro de Control T2CON.

**Figura 2-23.** Diagrama de Bloques del timer 2.



**Fuente:** PIC16F87X Data Sheet - Microchip Technology Inc.

**2.2.15.4. Registros Para el Control del TIMER 2.**

**2.2.15.4.1. Registro T2CON (12h).** El registro T2CON se encuentra en la **figura 2-24**.

**Figura 2-24.** Registro de Control T2CON.

	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	—	TOUTPS3	TOUTPS2	TOUTPS1	TOUTPS0	TMR2ON	T2CKPS1	T2CKPS0
	bit 7							bit 0
bit 7	<b>Unimplemented:</b> Read as '0'							
bit 6-3	<b>TOUTPS3:TOUTPS0:</b> Timer2 Output Postscale Select bits							
	0000 = 1:1 Postscale							
	0001 = 1:2 Postscale							
	0010 = 1:3 Postscale							
	•							
	•							
	•							
	1111 = 1:16 Postscale							
bit 2	<b>TMR2ON:</b> Timer2 On bit							
	1 = Timer2 is on							
	0 = Timer2 is off							
bit 1-0	<b>T2CKPS1:T2CKPS0:</b> Timer2 Clock Prescale Select bits							
	00 = Prescaler is 1							
	01 = Prescaler is 4							
	1x = Prescaler is 16							

**Fuente:** PIC16F87X Data Sheet - Microchip Technology Inc.

El Registro **T2CON** realiza las siguientes funciones de control:

- Selección del Factor de División del “postscaler”. Bits **TOUTPS3 => TOUTPS0**. El postescalador es un divisor de frecuencia conectado a la salida del timer, que puede dividir la frecuencia de la señal de salida entre 16 factores (1 => 16).
- Apagado / Encendido del timer2. Bit **TMR2ON**. Este bit funciona de manera similar al Timer 1.
- Selección del Factor de División del “prescaler”. Bits **T2CKPS1 => T2CKPS0**. El prescalador es un divisor de frecuencia conectado a la entrada del timer (figura 2-24), que puede dividir la frecuencia de la señal de salida entre 3 factores (1, 4, 16).

**2.2.15.4.2. Registro PR2.**

Debe cargarse con el valor del período, previo al encendido del **Timer 2**. Este registro se carga por defecto con **FFh** después de un Reset.

### 2.2.15.4.3. Registro TMR2.

Registro de temporización.

## 2.2.16. Módulo Conversor A/D.

### 2.2.16.1. Introducción.

En el PIC16F877 se integra un conversor A/D capaz de manejar hasta 8 entradas analógicas multiplexadas. Los pines de puerto del puerto A excepto el pin RA5 y todos los del puerto E, pueden programarse como entradas analógicas. En la Unidad de Control se utiliza el pin RA0, como entrada analógica de la señal de conductividad, y el pin RA1 como entrada analógica de la señal de temperatura.

El A/D consiste de dos bloques principales: un circuito “**Sample and Hold (S/H)**” y un **cuantificador**. Cada muestra de la señal de entrada se almacena en el capacitor del “sample and hold” (**proceso de muestreo**). Cuando el capacitor del S/H se carga completamente comienza el **proceso de cuantificación** de la muestra. La cuantificación de cada muestra se realiza mediante el método de aproximaciones sucesivas hasta un número máximo de 10 bits (resolución).

### 2.2.16.2. Especificaciones del Conversor.

- **Resolución:** 10 bits.
- **Rango de Conversión:** seleccionable vía registro ADCON0. El rango puede establecerse entre VDD y VSS o entre dos referencias de voltaje colocadas en los **pinos RA2 y RA3**. En este diseño se trabaja con un Rango de conversión entre 0 y 5 Voltios (VSS y VDD respectivamente).
- **L.S.B:** Depende del Rango de Conversión y Resolución seleccionados. En este diseño el L.S.B es:

$$\text{L.S.B} = 5\text{V} / 2^8 = 5\text{V} / 256 = 19.5 \text{ mV}$$

- **Registros de control:**
  - A/D Control Register 0 (ADCON0).

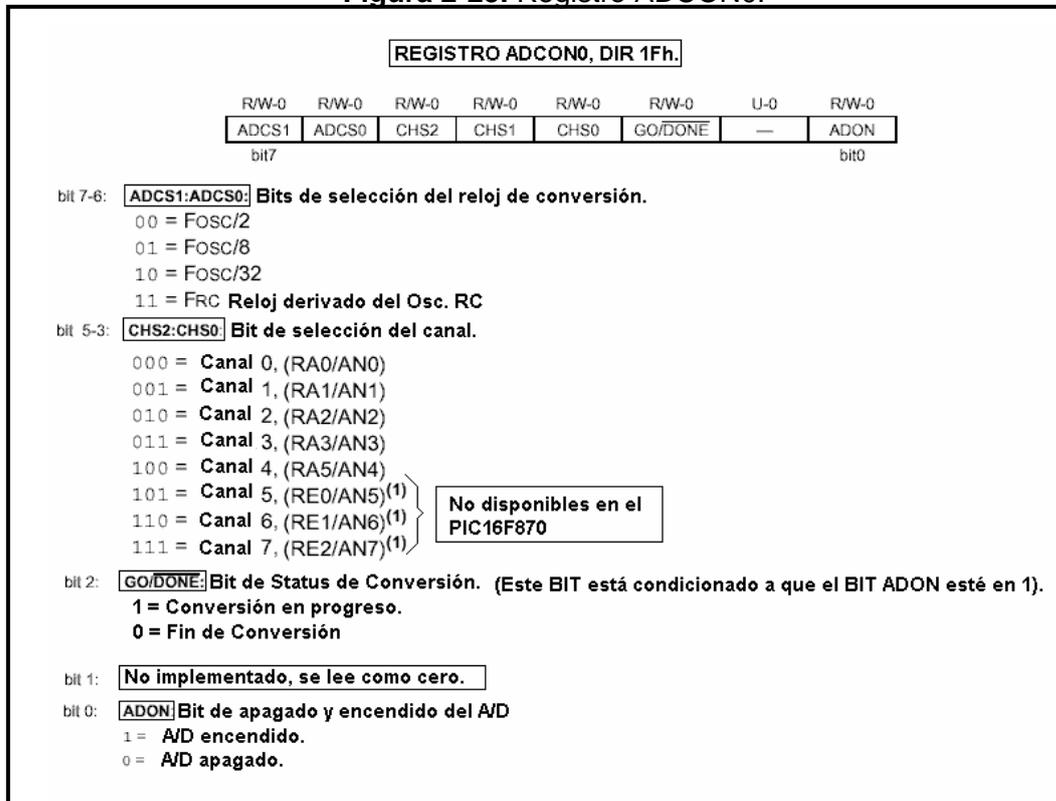
- A/D Control Register 1 (ADCON1).
- **Registros para almacenar el resultado de la conversión:**
  - A/D Result High Register. (ADRESH).
  - A/D Result Low Register. (ADRESL).

**2.2.16.3. Registros de Control para el módulo ADC.**

**2.2.16.3.1. "A/D Control Register 0" (ADCON0) dirección: 1Fh , banco 0.**

El **ADCON 0** (figura 2-25), permite seleccionar el **Reloj de Conversión**. El **Reloj de Conversión** es el período de la señal de reloj interna que controla el trabajo del **cuantificador**. Por cada período de la señal de reloj se construye un bit del código de la salida. Según especifica el fabricante, las combinaciones de los **bits 7 y 6** del registro **ADCON0** debe escogerse de forma tal, que el valor obtenido sea mayor a **1,6µS**. Los **bits 5... 3** permiten seleccionar el canal que se desea convertir. El **bit 2** sirve para iniciar la conversión (**GO**) o para verificar si se ha finalizado (**\*DONE**). El **bit 0** es un interruptor que permite apagar o encender el conversor.

**Figura 2-25. Registro ADCON0.**



Fuente: PIC16F87X Data Sheet - Microchip Technology Inc.

**2.2.16.3.2. "A/D Control Register 1" (ADCON1) dirección: 9Fh, banco 1.**

El ADCON1 (figura 2-26) sirve para dos cosas:

- Especificar en que formato se quiere obtener el resultado de la conversión (figura 2-26).
- Especificar el formato (digital o analógico), de las líneas de los puertos A y E que están multiplexadas con las entradas analógicas del conversor (figura 2-26)

**Figura 2-26. Registro ADCON1.**

**REGISTRO ADCON1, DIR. 9Fh.**

U-0	U-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
ADFM	—	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
bit7							bit0

bit 7: **ADFM** Selección del Formato del resultado del ADC.  
 1 = Justificado a la derecha: los 6 bits más significativos del ADRESH se leen como ceros.  
 0 = Justificado a la izquierda los 6 bits menos significativos del ADERESL se leen como ceros.

bit 6-4: **No implementados, se leen como ceros.**

bit 3-0: **PCFG3:PCFG0** Configuración del Puerto del A/D (Puerto A).

PCFG3: PCFG0	AN7 <sup>(1)</sup> RE2	AN6 <sup>(1)</sup> RE1	AN5 <sup>(1)</sup> RE0	AN4 RA5	AN3 RA3	AN2 RA2	AN1 RA1	AN0 RA0	VREF+	VREF-	CHAN / Refs <sup>(2)</sup>
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	8/0
0001	A	A	A	A	VREF+	A	A	A	RA3	VSS	7/1
0010	D	D	D	A	A	A	A	A	VDD	VSS	5/0
0011	D	D	D	A	VREF+	A	A	A	RA3	VSS	4/1
0100	D	D	D	D	A	D	A	A	VDD	VSS	3/0
0101	D	D	D	D	VREF+	D	A	A	RA3	VSS	2/1
011x	D	D	D	D	D	D	D	D	VDD	VSS	0/0
1000	A	A	A	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	6/2
1001	D	D	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	6/0
1010	D	D	A	A	VREF+	A	A	A	RA3	VSS	5/1
1011	D	D	A	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	4/2
1100	D	D	D	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	3/2
1101	D	D	D	D	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	2/2
1110	D	D	D	D	D	D	D	A	VDD	VSS	1/0
1111	D	D	D	D	VREF+	VREF-	D	A	RA3	RA2	1/2

A = Entrada analógica.  
 D = Entrada digital

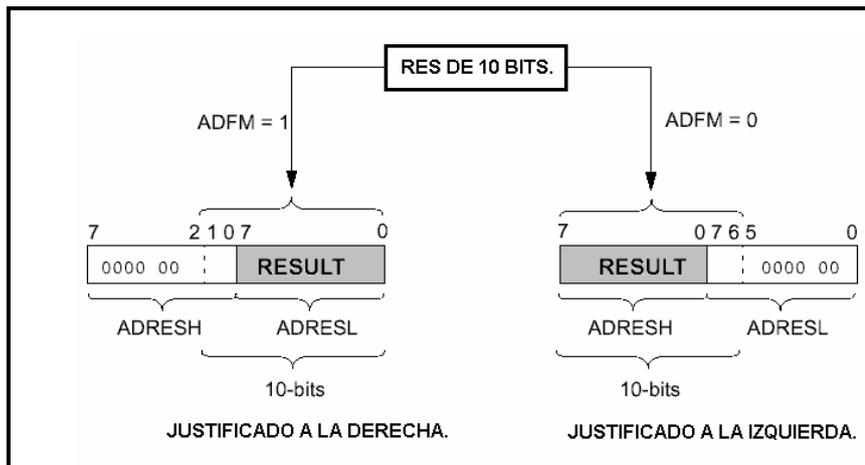
**Fuente:** PIC16F87X Data Sheet - Microchip Technology Inc.

#### 2.2.16.4. Registros Para Almacenar el Resultado.

A/D Result High Register. (ADRESH), dirección 1Eh del banco 0 y A/D Result Low Register. (ADRESL), dirección 9Eh del banco 1.

Son registros donde se puede leer el resultado de la conversión en el formato que se haya especificado en ADCON1.

**Figura 2-27.** Formatos del resultado de la conversión.



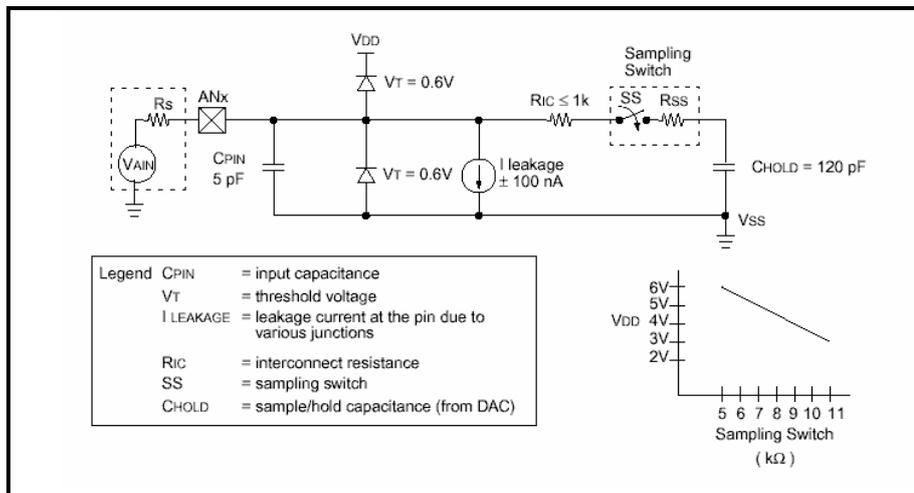
**Fuente:** PIC16F87X Data Sheet - Microchip Technology Inc.

##### 2.2.16.4.1. Operación del Conversor.

En la **Unidad de Control la Conversión A/D** de la señal del tacómetro se realiza vía el pin RA0 (canal 0 del A/D). El intervalo de muestreo del pin RA0 es controlado por el timer 0 cada 10ms. Cuando el timer cero se desborda produce una interrupción. En la subrutina de atención a Interrupción se realiza la conversión A/D.

Para que la conversión sea precisa, se debe lograr la carga completa del capacitor del S/H. El nivel de carga, que este capacitor logre estará en función de la resistencia de la fuente analógica y de las características de la línea de entrada analógica. En la **figura 2-28** se presenta un modelo válido para cualquier pin analógico de los  $\mu\text{C}$  Microchip de esta familia.

**Figura 2-28.** Modelo de cualquier pin de entrada analógico.



**Fuente:** PIC16F87X Data Sheet - Microchip Technology Inc.

**2.2.16.5. Tiempo de Adquisición.**

Es el tiempo mínimo que debe ser esperado hasta que se cargue el capacitor del S/H del conversor, antes de ordenar el inicio de una conversión. Este tiempo puede calcularse empleando la siguiente expresión:

$$T_{ACQ} = T_{AMP} + T_C + T_{COFF}$$

$$T_{ACQ} = 2 \mu s + (120 \text{ pF})(1 \text{ k}\Omega + R_{SS} + R_s) \ln(1/2047) + [(Temp - 25^\circ C)(0.05 \mu s/^\circ C)]$$

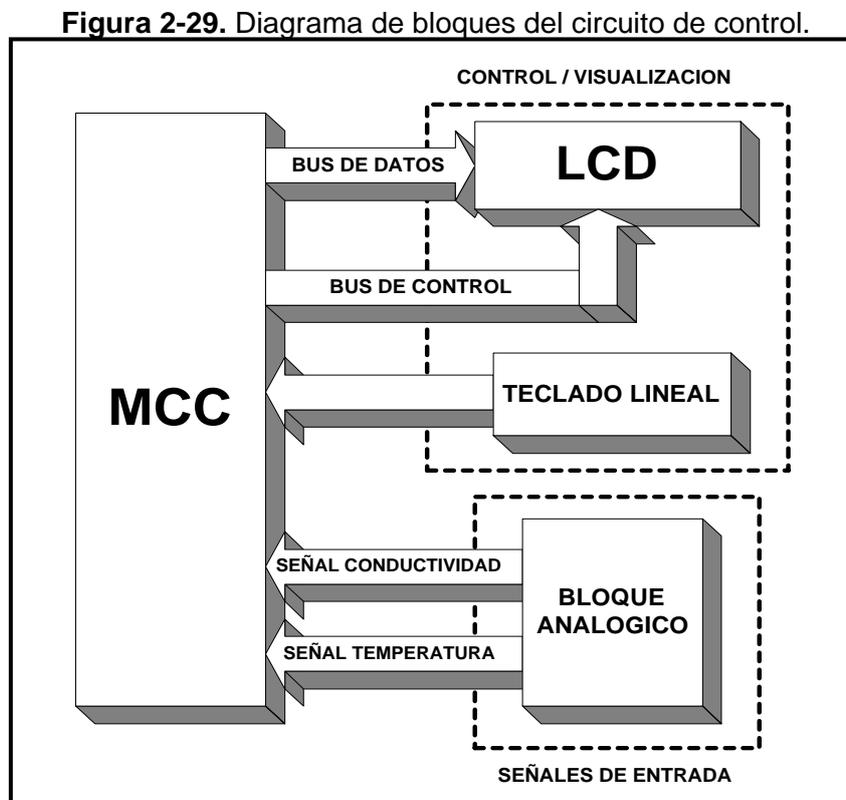
En la expresión:

- **Tamp:** es el tiempo de respuesta de la salida del amplificador (o el dispositivo) que hay conectado a la entrada analógica. 2μS es un valor típico.
- **Tc:** es el tiempo de carga del capacitor del S/H.
- **RSS:** resistencia de ON del switch, típicamente de 7 K.
- **RS:** resistencia interna de la fuente de señal. Para minimizarla se recomienda colocar un buffer.
- **Nota:** el valor de 120 pF corresponde al valor típico del capacitor del S/H (figura 4).

- **T<sub>coff</sub>**: es el coeficiente de temperatura (la respuesta del S/H varía con la temperatura del chip).
- **Temp**: temperatura de trabajo del chip.

### 2.2.17. Diseño del Circuito Digital.

El diseño del circuito digital o Unidad de Control esta basado en un Microcontrolador PIC16F877 de la casa Microchip™. El Microcontrolador en sí conforma casi en su totalidad el bloque debido al alto nivel de integración de periféricos que posee el PIC16F877. En la **figura 2-29** se muestra un **Diagrama de Bloques** general del control.

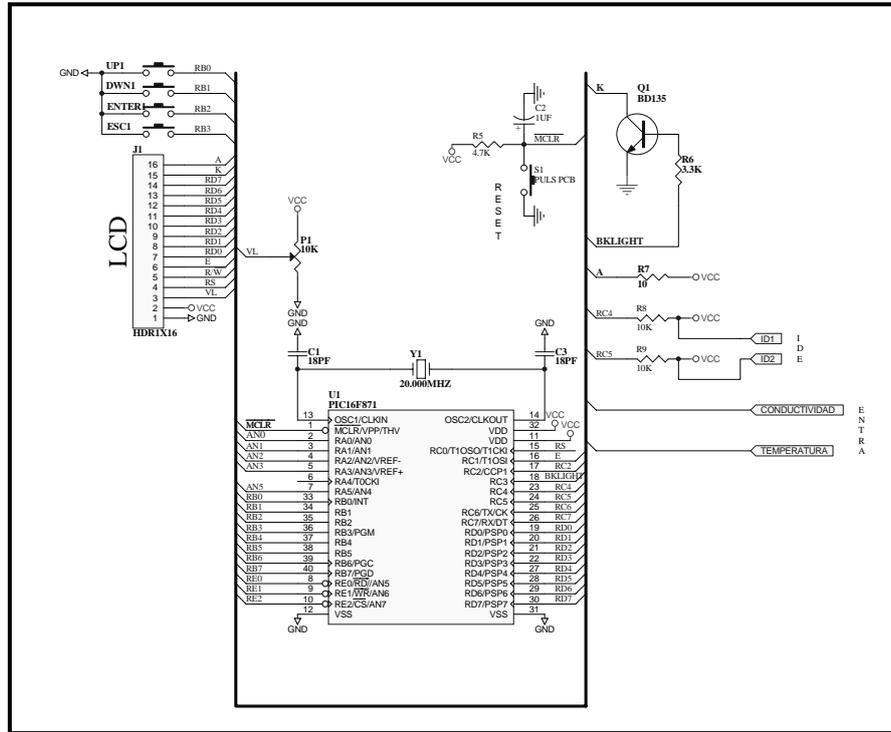


La Unidad de Control está formada por los siguientes bloques:

- Microcontrolador PIC16F877.
- Bloque de Control y visualización.
- Interfaz con el Bloque analógico.

El circuito digital es el que se muestra en la **figura 2-30**, mismo que se explicara a continuación.

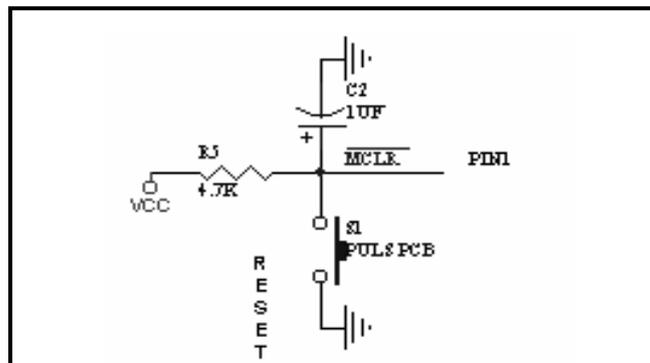
Figura 2-30. Circuito del Bloque Digital.



2.2.17.1. Reset (MCLR).

El circuito de reset (figura2-31) es el mismo que se explicó en la sección de Arquitectura del microcontrolador y lo que hace es inicializar el MCC en el inicio del programa de aplicación.

Figura 2-31. Circuito de Reset.

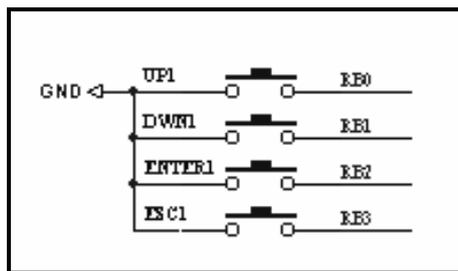


Entonces al accionar el pulsador se enviara un “0” lógico al pin # 1 del MCC y se reinicializará.

**2.2.17.2. Teclado Lineal.**

El teclado a usarse es uno formado linealmente por cuatro pulsantes, **figura 2-32**, los mismos que ingresan a las líneas RB0, RB1, RB2 y RB3; que forman parte del puerto B del MCC.

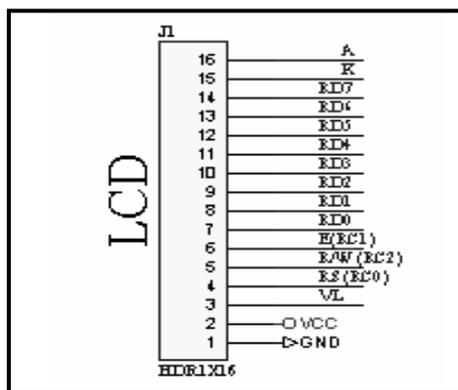
**Figura 2-32. Teclado Lineal.**



**2.2.17.3. Visualización.**

Las líneas del puerto D se utilizan para la conexión del Bus de Datos del LCD. En la tarjeta se conectan al conector J1 (**figura 2-33**).

**Figura 2-33. Conector del LCD.**



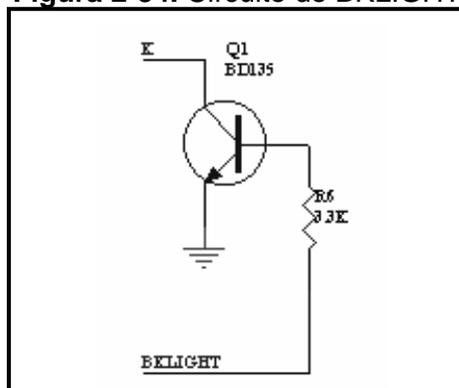
Las líneas DB0... DB7 del display corresponden a las líneas de puerto RD0 ... RD7 respectivamente. El bit más significativo de los datos corresponde a RD7 (DB7).

Se utiliza para conectar las líneas de control del LCD: **RS**, **R/W**, y **E**. Los pines **RC0**, **RC2** y **RC1** se programan como salida y asumen respectivamente las funciones siguientes:

- Selección del Registro de Instrucción o Dato del LCD (**RS**).
- Selección de operación de lectura / escritura sobre el LCD (**R/W**).
- Habilitación del Dato que está en el BUS (**E**).

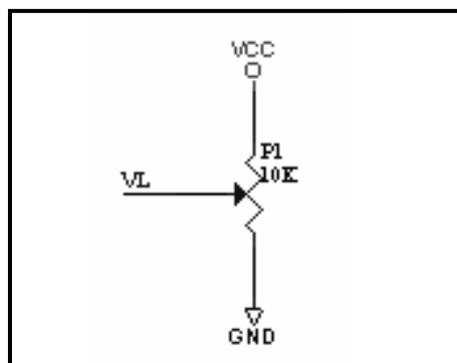
En la **figura 2-34** se muestra el circuito de BKLIGHT. Este circuito controla cuando se enciende la iluminación del display, la misma que se controla con la línea de puerto RC3 del puerto C.

**Figura 2-34.** Circuito de BKLIGHT.



A la línea VL del LCD se conecta un potenciómetro como muestra la **figura 2-35** y controla la intensidad de iluminación del LCD.

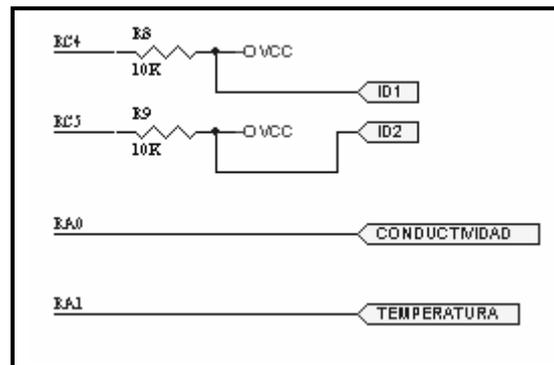
**Figura 2-35.** Circuito de VL.



#### 2.2.17.4. Interfaz con el Sensor.

El bloque analógico entrega a la unidad de control las señales de conductividad y de temperaturas listas para que ingresen en el MCU. El interfaz entre estas dos señales está en el bloque analógico. Se utiliza el puerto A para las entradas analógicas del sensor puesto que en este puerto esta el conversor A/D y las líneas RC4 y RC5 del puerto C para determinar si esta conectado el sensor. (figura 2-36)

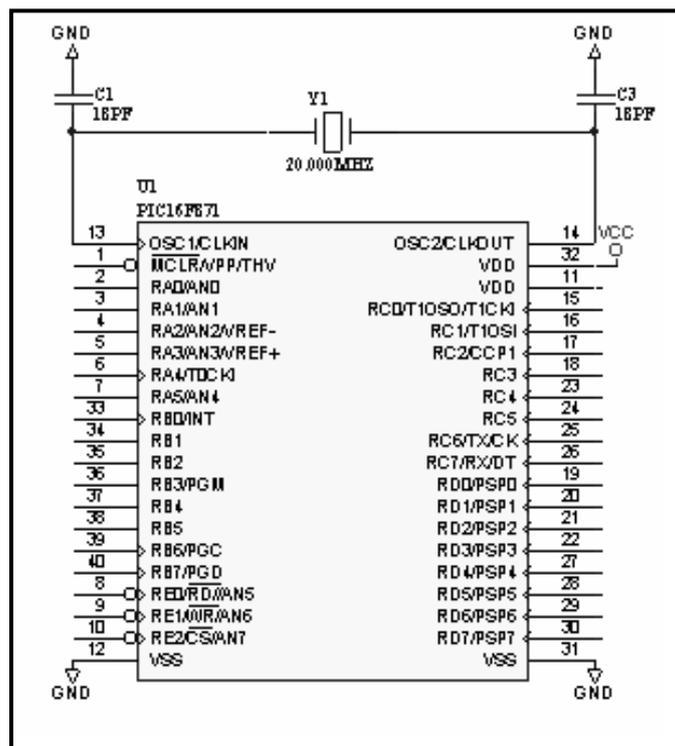
**Figura 2-36.** Interfaz con el sensor.



#### 2.2.17.5. Oscilador.

El oscilador que se utiliza en este proyecto es externo con un cristal de cuarzo de 20Mhz como se muestra en la **figura 2-37**.

Figura 2-37. Circuito de Oscilación.

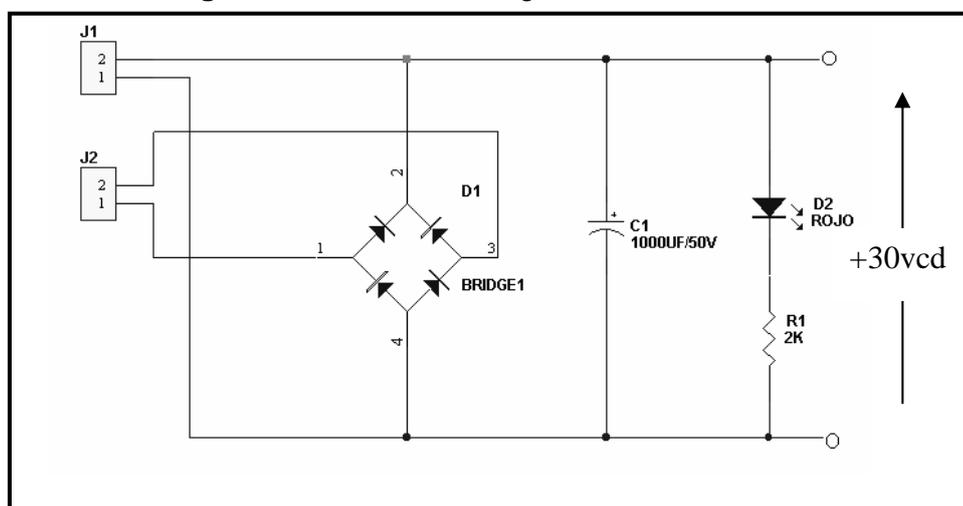


### 2.3. Circuito Analógico.

#### 2.3.1. Fuente.

La fuente de tensión suministra los diferentes niveles de voltaje que alimentan a todo el circuito. El circuito está diseñado de manera que tenga dos alternativas de alimentación ya sea con +30 voltios de corriente continua (vcd) a través del conector J1, o con 30 voltios de corriente alterna (vac) con el conector J2 como se puede ver en la figura 2-38.

Figura 2-38. Circuito de ingreso de tensión.

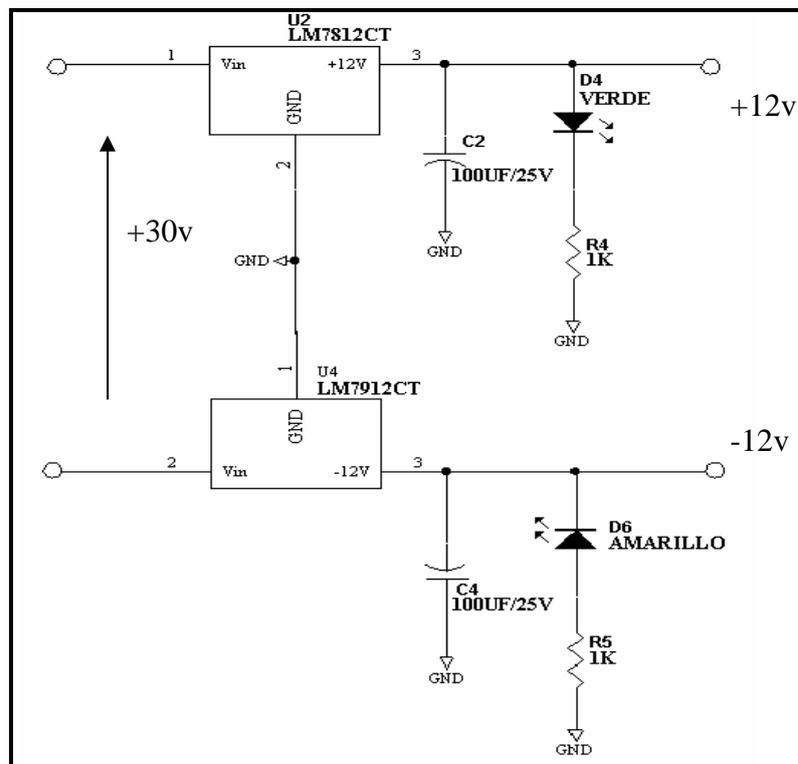


Si se alimenta a través del conector J1 con 30 vcd (voltios de corriente directa), simplemente este voltaje suministra energía a todo el circuito, para verificar el mismo esta el led D2.

En el caso que se alimente con 30 vac (voltios de corriente alterna) de a través de J2 lo que se hace es rectificar este voltaje con el puente D1 y luego se filtra esta señal con el condensador C1 obteniéndose así el mismo voltaje que en el caso anterior.

Luego con este voltaje se alimenta a dos circuitos integrados reguladores de voltaje. Estos circuitos integrados estabilizan dos voltajes de cd (corriente directa), uno de +12v y otro de -12v con los que se alimentara a los amplificadores operacionales de la tarjeta de amplificación, como se puede ver en la **figura 2-39**.

**Figura 2-39.** Circuito de regulación de  $\pm 12$ vcd.

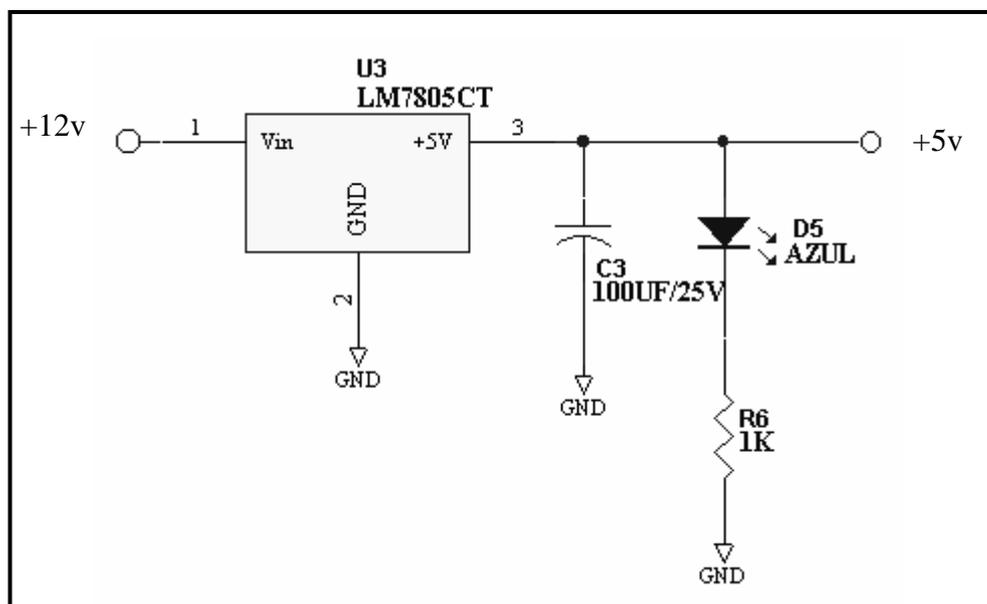


El voltaje de +12vcd es estabilizado por el circuito integrado U2 que es in LM7812, luego es filtrado por el condensador C2 y es visualizado por el led D4. El voltaje de -12vcd es estabilizado por el circuito integrado U4, filtrado por C2 y visualizado por D6.

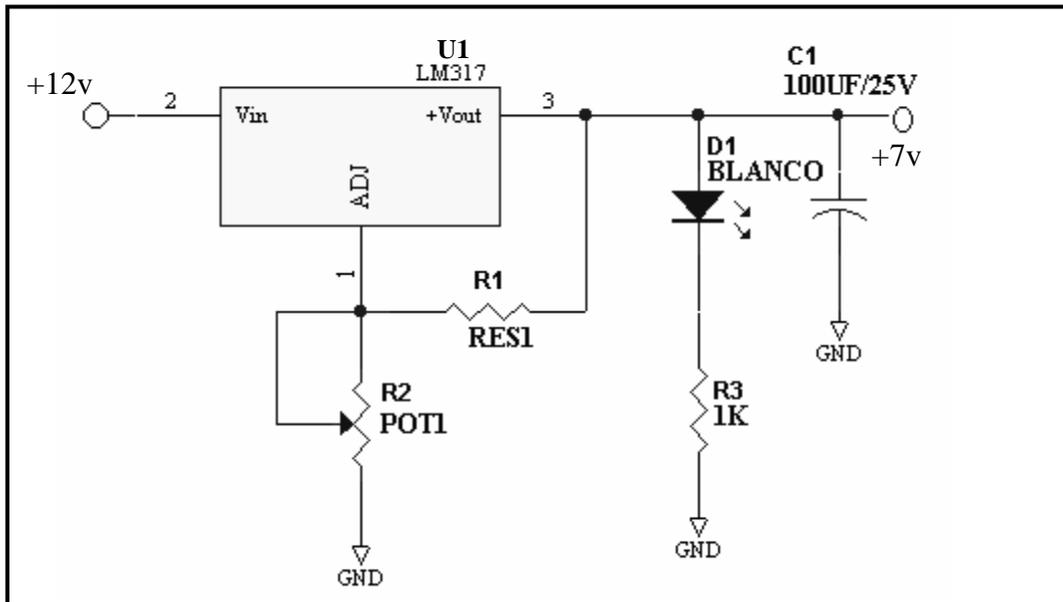
Con el voltaje de +12vcd se alimenta también a dos circuitos integrados reguladores de voltaje.

Uno de ellos es el circuito integrado U3 que es un LM7805 que nos da un voltaje de +5 vcd, luego se filtra con C3 y se visualiza con el led D5, con ese voltaje se alimentara a todo el circuito digital, como se puede ver en la **figura 2-40**.

**Figura 2-40.** Circuito de regulación de +5vcd.



El voltaje de +12vcd también alimenta al circuito formado por el circuito integrado U1 que es un LM317. Este integrado es un regulador de voltaje variable, el mismo que puede ser variado con el potenciómetro R2. **Figura 2-41**

**Figura 2-41.** Circuito de regulación de +7VCD.

Este voltaje puede estar, teóricamente, entre los 1,25 y 30 voltios, y depende de los valores del potenciómetro R2 y la resistencia R1.

Nosotros necesitamos lograr +7vcd para alimentar al circuito de amplificación del termistor, para lo cual aplicamos la siguiente fórmula

$$V_{OUT} = 1.2 \cdot \left( 1 + \frac{R1}{R2} \right)$$

Se utilizará una resistencia R1 de 220 ohmios, por recomendación del data sheet, y el voltaje que se requiere es de +7vcd para alimentar al circuito amplificador del termistor; entonces la ecuación quedaría así:

$$7.5 = 1.2 \cdot \left( 1 + \frac{220}{R2} \right)$$

$$R2 = 1155\Omega$$

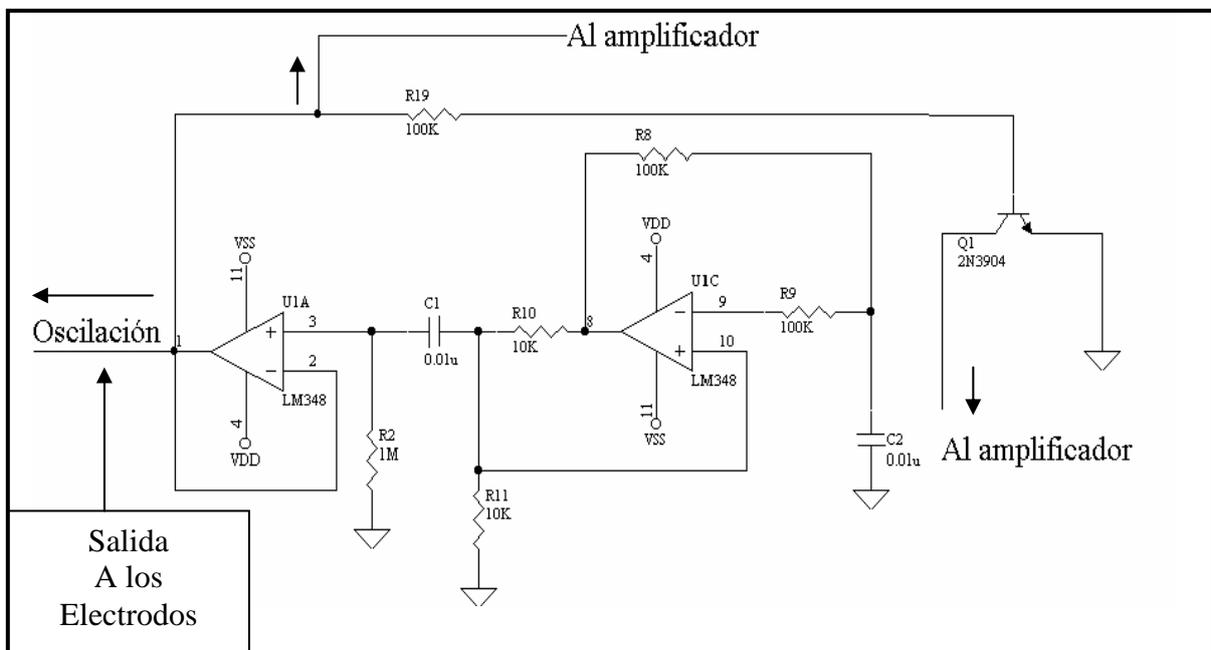
Entonces se usará un potenciómetro en R2 de 2 kilo ohmios para ajustar el voltaje de 7v. Además este voltaje es filtrado por el condensador C1 y visualizado por el le D1.

### 2.3.2. Circuito Oscilador.

Como se vio en el capítulo uno el método a usar en este proyecto es de voltaje variable para evitar la ionización o polarización de los electrodos y así tener una medida confiable y estable.

Para esto se alimenta a los electrodos con una corriente oscilatoria, misma que es originada con un circuito operacional como muestra la **figura 2-42**.

**Figura 2-42.** Circuito de Oscilación.



Como se puede ver en el circuito la oscilación nace del componente U1C que tiene una configuración de multivibrador de oscilación libre. Vamos a calcular entonces el voltaje de salida  $V_o$  en este circuito, es decir después de R10. Para esto se debe considerar que el voltaje de saturación ( $V_{SAT}$ ) del operacional es el voltaje de alimentación es decir de  $\pm 12v$ .

$$V_o = \frac{R11}{R10 + R11} \pm V_{SAT}$$

$$+V_0 = \frac{10K}{10K + 10K} \cdot 12V$$

$$+V_0 = \frac{10K}{10K + 10K} \cdot 12V$$

$$+V_0 = 6V$$

$$-V_0 = -6V$$

Los resultados de los cálculos nos indican que idealmente el oscilador formado por U1C tendría una señal cuadrada que vaya de +6v a -6v; pero esto en la realidad no existe puesto que los componentes tienen pérdidas, y eso se puede observar en la **figura 2-43** en la cual se ve que la señal no es cuadrada pura y que su amplitud es de  $\pm 5v$ .

Calculamos ahora la frecuencia del oscilador:

$$f = \frac{1}{2 \cdot R8 \cdot C2}$$

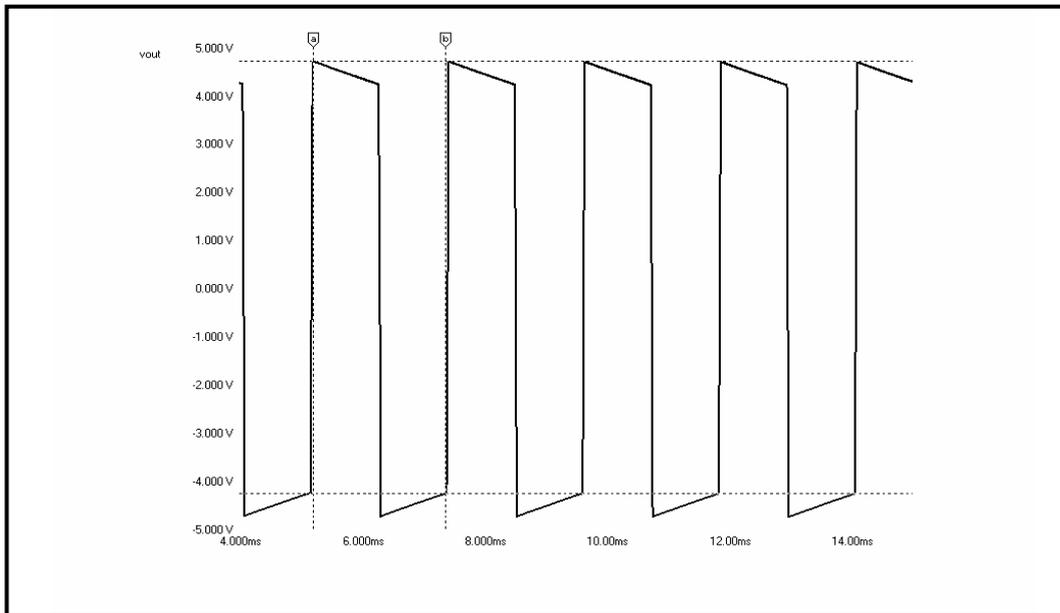
$$f = \frac{1}{2 \cdot 100K \cdot 0.01\mu F}$$

$$f = 500Hz$$

Como podemos ver en los cálculos el oscilador nos dará una señal de 500 Hz y una amplitud de  $\pm 5v$ , como se ve en la **figura 2-43**, a través de los amplificadores

operacionales U1A y U1C. Esta señal se envía a los electrodos por la salida de Oscilación.

**Figura 2-43.** Forma de Oscilación simulada en Protel.



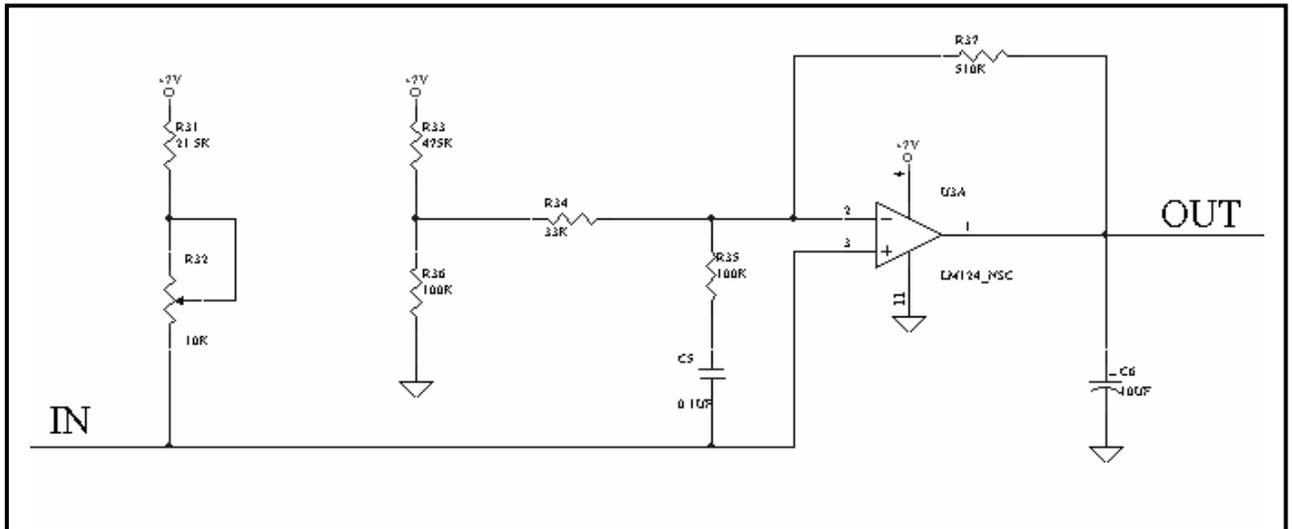
Además con este circuito se controla un **Switch de Amplificación**. Lo que se hace con este switch es controlar que cuando en la salida del oscilador sea de 5v los amplificadores formados por los integrados U1D y U2B no permitan que pase la señal al circuito digital, esto se logra con el transistor Q1 y las resistencias R20, R21 y R22. El propósito de este proceso es dar tiempo a los electrodos para que cambien de polaridad evitando así que se polaricen obteniendo una medida confiable.

### 2.3.3. Circuito de Amplificación de Temperatura.

El circuito que amplifica la temperatura toma la señal del termistor y la amplifica de tal manera que entrega al circuito digital una salida que varía de 0 a 5vcd.

Esto se logra, como se puede ver la **figura 2-44**, con el circuito integrado U3A que es un amplificador operacional LM124J. Este circuito se alimenta con +7Vcd, tiene también un estabilizador de nivel de señal del termistor formado por el potenciómetro por el condensador C5 y la resistencia R35, y un filtro a la salida formado por C6.

**Figura 2-44.** Circuito de amplificación de temperatura.



El voltaje de alimentación del termistor se da a través de la resistencia R31 y el potenciómetro R32.

Ahora, este circuito es un amplificador no inversor con voltaje de referencia en el pin negativo de U2A. Entonces el voltaje de referencia sería igual al voltaje de R36 que sería igual:

$$V_{R36} = 7V \cdot \left( \frac{R36}{R36 + R33} \right)$$

$$V_{R36} = 7 \cdot \left( \frac{100}{100 + 475} \right)$$

$$V_{R36} = 1.2173V$$

Entonces el voltaje de salida de este circuito sería igual a:

$$V_o = \left( \frac{R37}{R34} \right) \cdot (V_i - V_{R36})$$

$$V_o = \left( \frac{510}{33} \right) \cdot (V_i - 1.2173)$$

$$V_o = 15.54V_i - 18.81$$

### 2.3.4. Circuito de Amplificación de Conductividad.

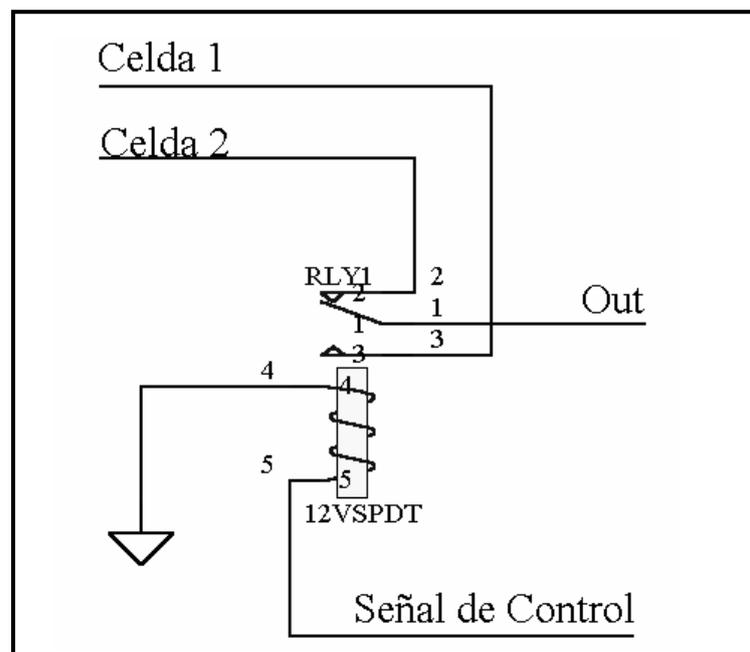
El circuito que sirve para amplificar la señal que entrega la celda de conductividad está formado por cuatro etapas de amplificación en cadena; es decir que excepto la primera que toma la señal de la celda, las otras tres toman la señal amplificada por la etapa anterior y la vuelven a amplificar. Esto se logra con amplificadores operacionales LM348, y con una alimentación de  $\pm 12\text{vcd}$ . Para el análisis de este circuito se va a estudiar cada una de las etapas por separado:

#### 2.3.4.1. Etapa 1.

El sensor de conductividad está formado por dos celdas, cada una tiene una diferente ganancia y están diseñadas de tal forma que se conmute entre la una y la otra sin tener la necesidad de mover el sensor del líquido de prueba.

Para esto se ha dispuesto en el bloque analógico un circuito formado por un relé de cinco voltios (**figura 2-45**), el mismo que es controlado por el microcontrolador.

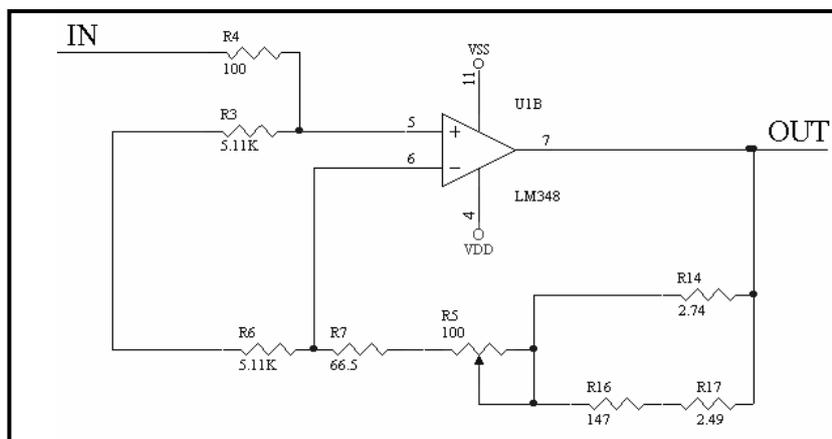
**Figura 2-45.** Circuito de conmutación de celdas.



Este circuito toma la señal de cualquiera de las dos celdas dependiendo de cómo este seteado el relé con la **señal de control** que viene del microcontrolador (**figura 2-45**), y la envía a la primera etapa de amplificación por la salida **out** de la **figura 2-45**.

Luego esta señal es ingresada al primer circuito de amplificación como se ven en la **figura 2-46**, que es la primera etapa de amplificación. La señal entra por el punto **IN** de la **figura 2-46** y sale por el punto **OUT** ya procesada para que ingrese en la próxima etapa.

**Figura 2-46.** Circuito de amplificación, primera etapa.



Este circuito también está tomando la señal del oscilador y la está restando al ingresar en el pin negativo del operacional U1B, de manera que pase únicamente la señal tomada de la celda.

La resistencia de retroalimentación sería la equivalente a R7, R5, R16, R14, R17. Para efectos de cálculo se va a tomar al potenciómetro R5 en el medio, es decir en cincuenta ohmios; claro que esto se puede ir variando para variar la ganancia según sea necesario.

Entonces la resistencia de retroalimentación quedaría de la siguiente forma:

$$R_{RTR} = R7 + R5 + \left[ \frac{(R16 + R17)}{(R16 + R17) + R14} \cdot R14 \right]$$

$$R_{RTR} = 119\Omega$$

El voltaje será:

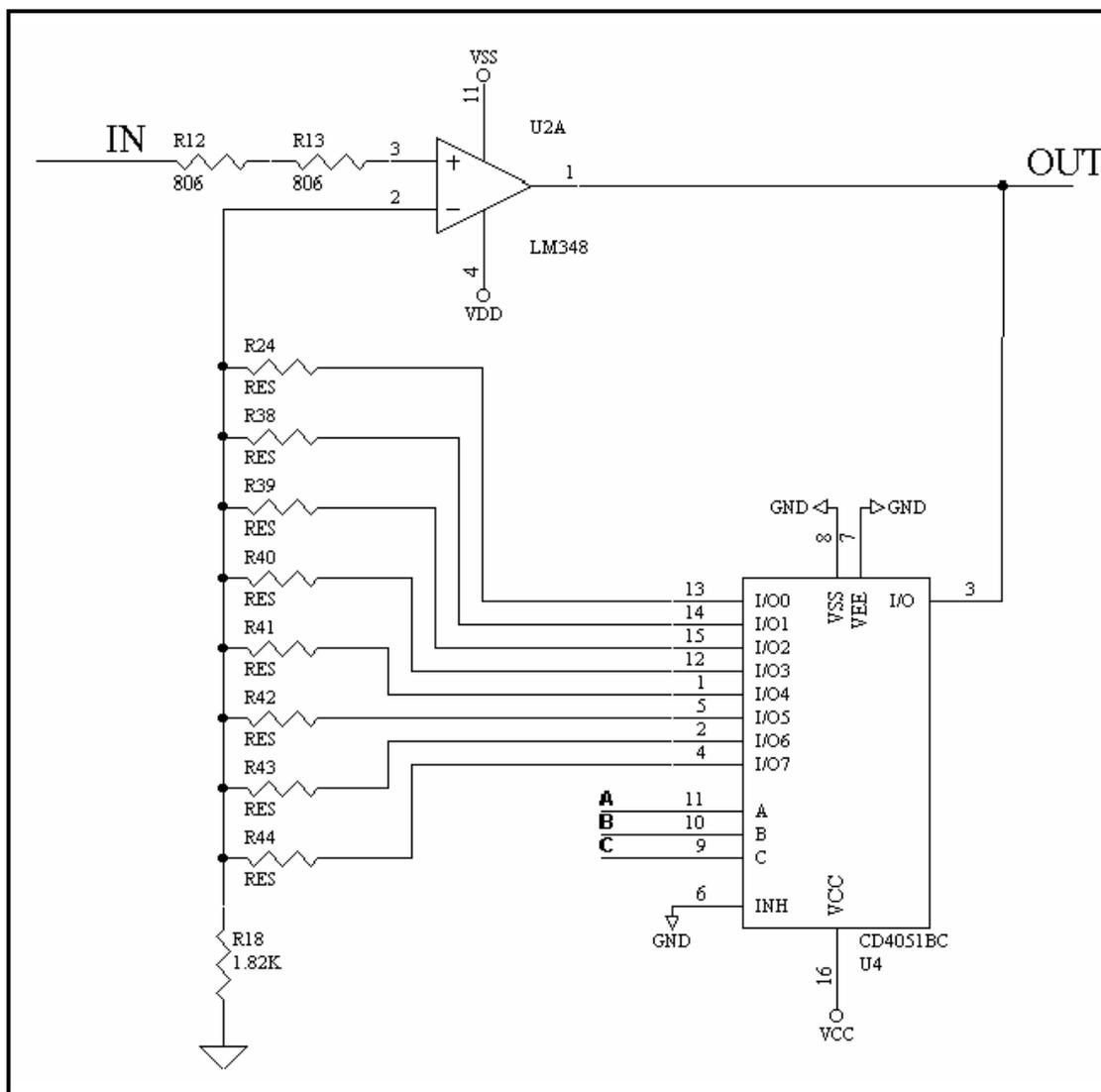
$$V_o = \left( \frac{R_{RTR} + R4}{R4} \right) \cdot V_i$$

$$V_o = 2.19V_i$$

### 2.3.4.2. Etapa 2.

Esta etapa toma la señal que amplificó la primera etapa y la amplifica nuevamente, como se puede ver en la **figura 2-47**.

**Figura 2-47.** Circuito de amplificación, segunda etapa.



Este circuito tiene una particularidad, y es simplemente que tiene un arreglo de resistencias conectadas a multiplexor U4 que es un circuito integrado CD4051BC. Este arreglo está dispuesto de esta forma para cambiar la ganancia de esta etapa de amplificación, se lo hace así para lograr un cambio de escala automático, y funciona de la siguiente manera:

Inicialmente el circuito analógico arranca con la celda mas sensible y con el multiplexor configurado de manera que conecte el canal 1 (I/O01) con la salida general (I/O). Este proceso logra que la ganancia dependa de la resistencia conectada este canal es decir **R24**. Para esto el microcontrolador elige el canal colocando un número lógico en las entradas **ABC** del multiplexor.

Luego el microcontrolador toma la señal de conductividad y si es que está saturada, es decir en el valor máximo, cambia al canal dos que tiene una ganancia mayor gracias a la resistencia **R38**.

Este proceso es repetitivo aumentando cada vez mas la ganancia del amplificador al ir cambiando el canal de ingreso al multiplexor colocando un número diferente en las entradas **ABC**, los números correspondientes a cada uno de los canales de entrada y las resistencias que corresponden a cada canal están indicadas en la **tabla 2-2**.

**Tabla 2-2.** Resistencias correspondientes a los canales del multiplexor.

CANAL #	NÚMERO LÓGICO EN ABC	Resistencia Para la Ganancia	Valor de Resistencia
Canal1	000	R24	1K $\Omega$
Canal2	001	R38	2 K $\Omega$
Canal3	010	R39	4 K $\Omega$
Canal4	011	R40	6 K $\Omega$
Canal5	100	R41	8 K $\Omega$
Canal6	101	R42	10 K $\Omega$
Canal7	110	R43	12 K $\Omega$
Canal8	111	R44	16 K $\Omega$

Cuando el valor de señal no está saturada, el microcontrolador toma esa señal la procesa y la presenta en el display.

En el caso en que la señal siga saturada en el canal 8 el microcontrolador cambia a la celda menos sensible y empieza nuevamente todo este proceso, y si aún así cuando llegue nuevamente al canal 8 sin dejar de saturarse quiere decir que la solución que se está midiendo tiene una conductividad demasiado alta para este equipo y el display da el mensaje de **“Fuera de Rango”**.

Como ya se explicó este amplificador es variable, y depende de que resistencia eligió el multiplexor para la ganancia que es necesaria.

Para efectos de cálculo se va a denominar la resistencia que elija el multiplexor con  $R_{MUL}$  sea, pero se debe tomar en cuenta de que pueden ser cualquiera de las resistencias del multiplexor mostradas en la **figura 2-47**. La ganancia, entonces, quedaría así:

Se va a presentar el cálculo para cada una de las resistencias y obtendremos así cada una de las ganancias:

$$V_o = V_i \bullet \left( \frac{R_{MUL} + R18}{R18} \right)$$

$$V_o = V_i \bullet \left( \frac{R_{MUL} + 1.82}{1.82} \right)$$

Con  $R_{MUL} = R24$  tendremos una ganancia de:

$$V_o = V_i \bullet \left( \frac{1 + 1.82}{1.82} \right)$$

$$V_o = 1.54 V_i$$

Con  $R_{MUL} = R38$  tendremos una ganancia de:

$$V_o = V_i \bullet \left( \frac{2 + 1.82}{1.82} \right)$$

$$V_o = 2.09 V_i$$

Con  $R_{MUL} = R39$  tendremos una ganancia de:

$$V_o = V_i \bullet \left( \frac{4 + 1.82}{1.82} \right)$$

$$V_o = 3.19 V_i$$

Con  $R_{MUL} = R40$  tendremos una ganancia de:

$$V_o = V_i \cdot \left( \frac{6 + 1.82}{1.82} \right)$$

$$V_o = 4.29V_i$$

Con  $R_{MUL} = R41$  tendremos una ganancia de:

$$V_o = V_i \cdot \left( \frac{8 + 1.82}{1.82} \right)$$

$$V_o = 5.39V_i$$

Con  $R_{MUL} = R42$  tendremos una ganancia de:

$$V_o = V_i \cdot \left( \frac{10 + 1.82}{1.82} \right)$$

$$V_o = 6.49V_i$$

Con  $R_{MUL} = R43$  tendremos una ganancia de:

$$V_o = V_i \cdot \left( \frac{12 + 1.82}{1.82} \right)$$

$$V_o = 7.59V_i$$

Con  $R_{MUL} = R44$  tendremos una ganancia de:

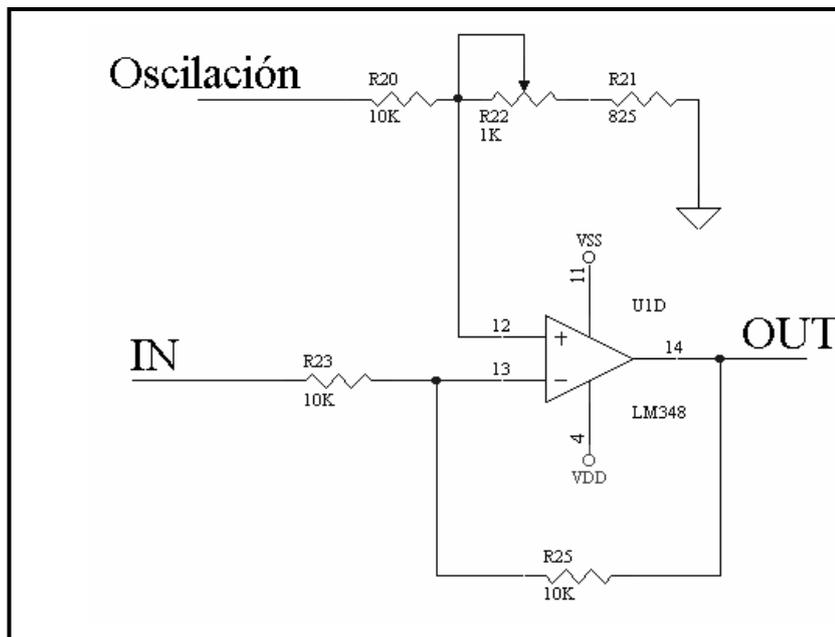
$$V_o = V_i \left( \frac{16 + 1.82}{1.82} \right)$$

$$V_o = 9.79V_i$$

### 2.3.4.3. Etapa 3.

La etapa 3 es un sumador inversor (**figura 2-48**), toma la señal que entrega la etapa dos y la suma con un voltaje de referencia que ingresa en el pin positivo del amplificador operacional. Esto se hace con el objeto de que esta etapa aumente un poco la señal que va a procesar la próxima etapa.

**Figura 2-48.** Circuito de amplificación, tercera etapa.



Para efectos de cálculo se tomara que el potenciómetro R22 esta calibrado a la mitad y que el voltaje de oscilación es de 5v.

Lo primero que se calcula es el voltaje de referencia que ingresa al pin positivo del amplificador operacional U1D, y sería igual a:

$$V_+ = 5 \cdot \left( \frac{\frac{R22}{2}}{R20 + R21 + R22} \right)$$

$$V_+ = 5 \cdot \left( \frac{0.5}{10 + 0.825 + 1} \right)$$

$$V_+ = 0.21141V$$

Por lo tanto el voltaje de salida que nos daría este sumador sería un voltaje negativo con la siguiente ecuación:

$$V_0 = \left( \frac{-R25}{R23} \cdot V_i \right) - V_+$$

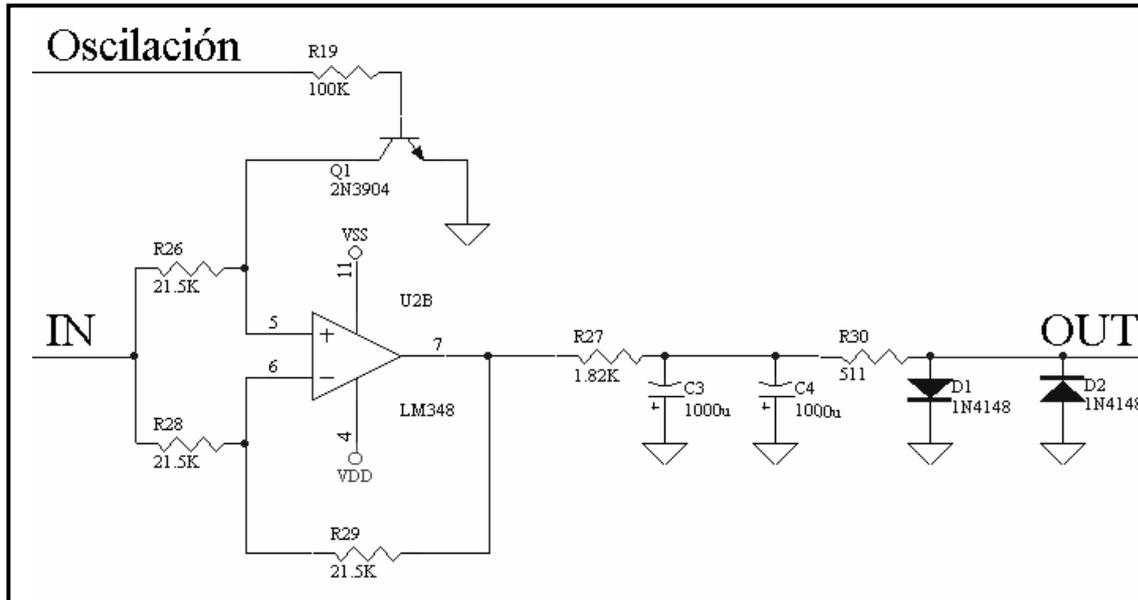
$$V_0 = \left( \frac{-10}{10} \cdot V_i \right) - 0.21141$$

$$V_0 = -V_i - 0.21141$$

#### 2.3.4.4. Etapa 4.

Esta es la última etapa de amplificación, el circuito (**figura 2-49**) es un amplificador inversor, es decir se vuelve a invertir la señal para tenerla con la polaridad correcta.

**Figura 2-49.** Circuito de amplificación, cuarta etapa.



Además este circuito recibe también la señal del circuito oscilador. Esta señal es ingresada en el transistor Q1 cuya función es habilitar o inhabilitar el operacional U2B de forma que este circuito deje pasar únicamente las señal de la celda cuando ésta tiene su máxima magnitud; es decir cuando el pulso del circuito oscilador esté en +5v.

Finalmente esta señal es filtrada con los componentes C3, C4, D1, D2; y luego enviada al canal analógico RA0 del microcontrolador para su proceso digital.

Al ser éste un amplificador inversor y al tener una entrada negativa producto de la etapa anterior lo que tendremos a la salida será en voltaje positivo, como se puede ver a continuación:

$$V_o = \left( \frac{-R29}{R28} \right) \cdot V_i$$

$$V_o = \left( \frac{-21.5}{21.5} \right) \cdot V_i$$

$$V_o = -V_i$$

Como se puede ver en el cálculo esta etapa simplemente cambia la polaridad del voltaje entrante con una ganancia igual a 1, es decir sin ganancia.

## 2.4. Diseño del Software del Equipo.

El programa completo en MPLAB se encuentra en el cd adjunto al texto. A continuación se va a explicar como funciona el software del equipo. Este programa está dividido básicamente en dos partes:

- Programa Principal.
- Subrutinas o procesos adicionales.

### 2.4.1. Programa principal.

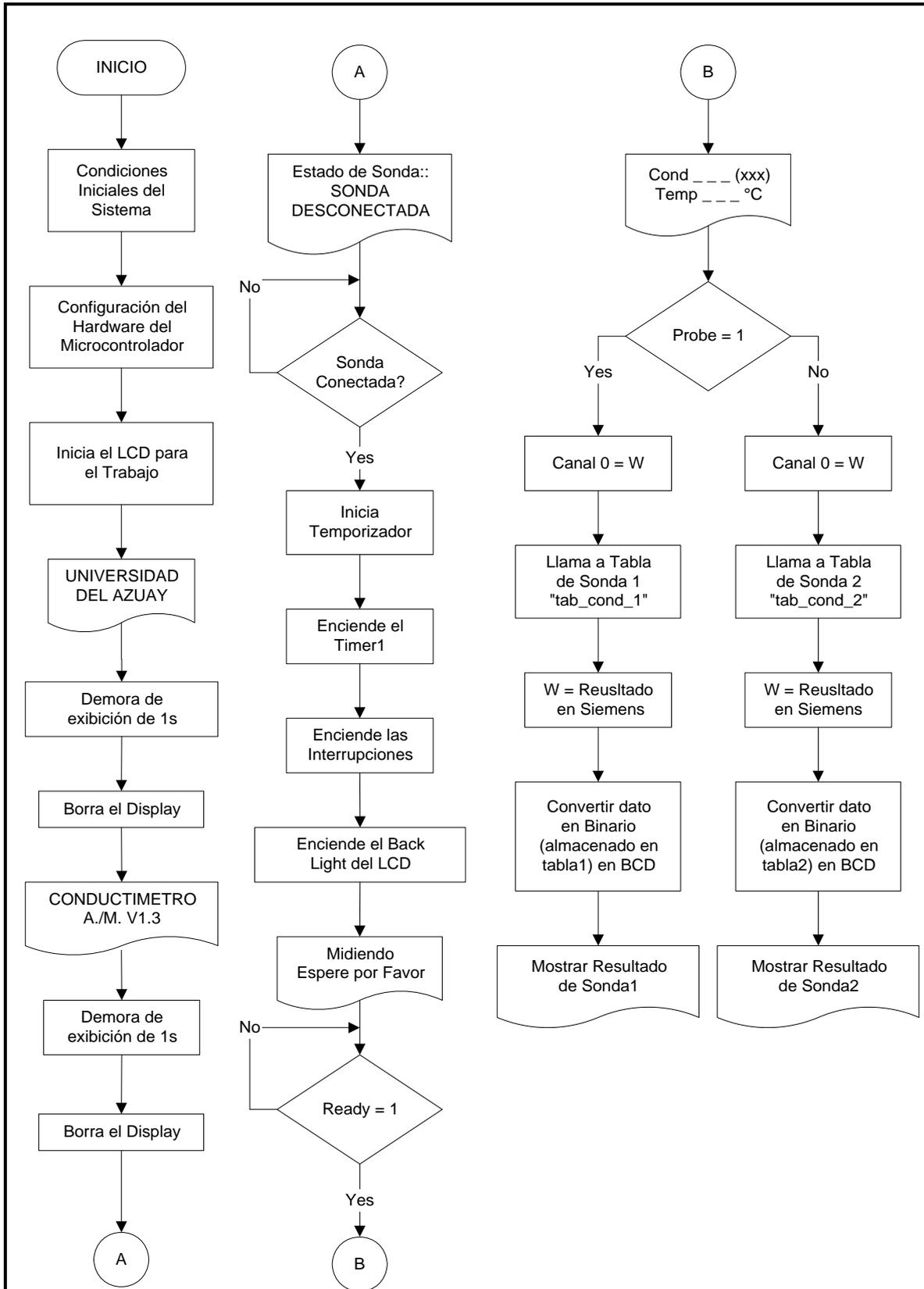
Lo primero que se hace es establecer las “Condiciones Iniciales del Sistema”, como se puede ver en el diagrama de flujo de la **figura 2-50**; es decir se prepara los utilitarios del microcontrolador para su operación según las necesidades que tiene esta investigación; como por ejemplo se configura el conversor A/D, se habilita las interrupciones, se prepara los Timers, se identifica registros auxiliares etc.

Luego, se “Configura del Hardware del Microcontrolador”, es decir se designa que pines del PIC serán entradas o salidas y cuales serán digitales o analógicos. Esta designación de pines se puede ver en la **tabla 2-3**.

**Tabla 2-3.** Tabla de asignación de pines.

Puerto #	Asignación
RD0.....RD7	Bus de Datos del LCD.
RB0.....RB2	A, B, C, del 4051 (Multiplexor).
RB3	Chequeo de “Sonda Conectada”.
RC1	Relé de Sondas.
RC0	Pin “Enable” del LCD.
RA4	Pin “RS” del LCD.
RA0	Canal de entrada de la sonda de Conductividad
RA1	Canal de entrada del sensor de temperatura.

Figura 2-50. Diagrama de flujo del Software del equipo.



A continuación se “Inicia el LCD para el Trabajo”. Esto se ejecuta solo una vez y por lo general el fabricante del LCD entrega el algoritmo por el cual se diseña la subrutina, como sucede en este caso.

El siguiente paso es mostrar en el LCD una pantalla con las palabras “UNIVERSIDAD DEL AZUAY”; inmediatamente se activa una demora de un segundo para mantener este cartel por dicho tiempo y luego se borra o limpia el display. Luego de que se limpió el display se presenta otra pantalla con las palabras “CONDUCTIMETRO A. /M. V1.3”; así mismo se activa la demora de 1s y a continuación limpiar el display nuevamente, dejándolo listo para nuevas escrituras.

Posteriormente de que se han presentado las pantallas preliminares, el sistema envía un mensaje con “ESTADO DE SONDA”, y luego “DESCONECTADA”. Este mensaje permanecerá en el display mientras no se conecte la sonda y esto se logra preguntando por el PIN RB3, es decir mientras en él exista un “1” lógico, el que nos indicará que aún no se conecta la sonda; pero si existe un “0” lógico nos señalará que la sonda fue conectada y entonces el programa seguirá con el siguiente proceso.

Una vez que se detectó la sonda conectada se procede a “INICIAR LOS TEMPORIZADORES”, es decir configurar los temporizadores con los cuales se va a operar, y estos son TMR1 para trabajar con las sondas por interrupción y el TMR0 para temporizar. A continuación se “ENCIENDE TMR1”, se “ENCIENDE LAS INTERRUPTACIONES” y se “ENCIENDE EL BACK LIGHT DEL LCD”.

Cuando se terminaron todos los procesos anteriores se presenta un cartel en el LCD con las palabras “MIDIENDO ESPERE POR FAVOR”; esta pantalla se mantendrá en el LCD hasta que se tenga una medida lista y esto se hace a través de la bandera Ready; es decir si Ready = 0 se entiende que no hay medida lista y sigue presentando el mismo cartel, pero si Ready = 1 se entiende que hay una medida lista para ser procesada.

En el momento que se tiene un dato de medición listo primero se presenta la pantalla “COND \_ \_ \_ XXX” “TEMP \_ \_ \_ °C”. Esto se hace para dejar lista la pantalla para escribir únicamente el dato, en los espacios vacíos se escribirá el dato y en lugar de XXX se colocara la escala de micro siemens (uS) o mili siemens (mS) según sea el caso.

A partir de éste punto se va a convertir el dato medido en siemens. Lo primero que se hace es preguntar por la bandera Probe , si es igual a “1” entonces se sabe que la medición fue lograda con la Celda 1 de la sonda y si es igual a “0” entonces la medición fue lograda con la Celda 2.

Si la medición fue lograda con la Celda 1 (Probe = 1), entonces se carga el dato que hay en registro Canal 0 en el acumulador (WREG) y se “LLAMA A LA TABLA DE SONDA1 (tab\_cond\_1)”, esta tabla contiene los datos de la calibración de la celda 1. La tabla devuelve el valor de la medición en siemens y éste valor se lo carga en el acumulador. Luego se “CONVIERTE EL DATO EN BINARIO A BCD” que es pasar el dato de la medición en siemens en binario a el código BCD para que pueda ser leído por el usuario. Finalmente se muestra el resultado llamando a la subrutina de “MOSTRAR RESULTADO DE SONDA 1”.

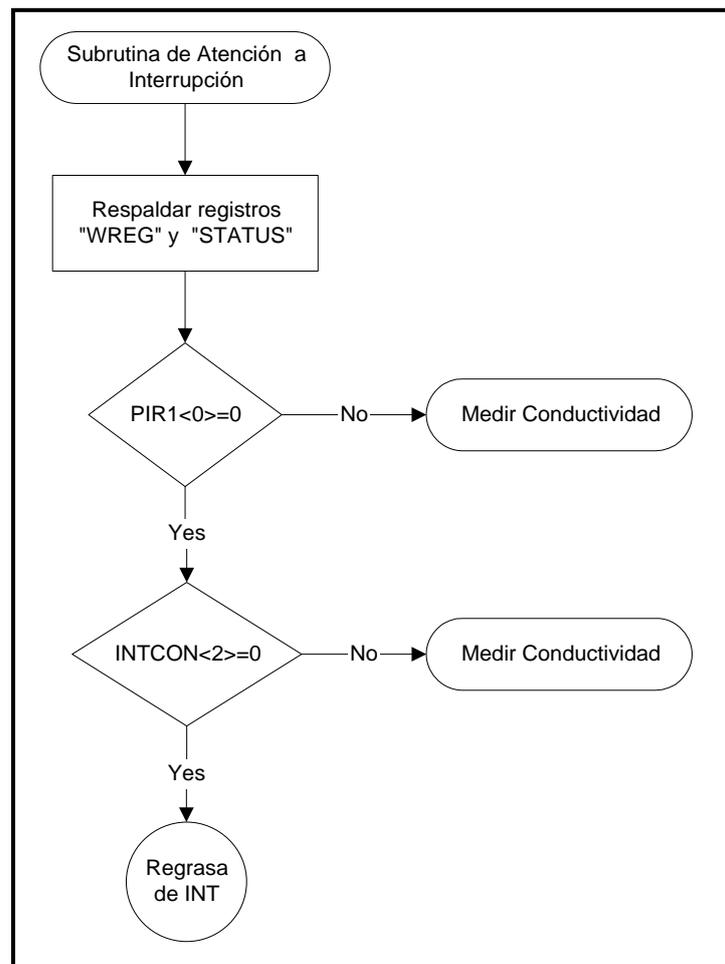
En el caso de que la medición fue lograda con la Celda 2 (Probe = 0), se hace un proceso parecido: se carga el dato que hay en registro Canal 0 en el acumulador (WREG), se “LLAMA A LA TABLA DE SONDA2 (tab\_cond\_1)”, esta tabla contiene los datos de la calibración de la celda 2. La tabla devuelve el valor de la medición en siemens y éste valor se lo carga en el acumulador. Se “CONVIERTE EL DATO EN BINARIO A BCD” y se muestra el resultado llamando a la subrutina de “MOSTRAR RESULTADO DE SONDA 2”.

#### **2.4.2. Subrutinas.**

Aquí se va a ver como trabajan las subrutinas más importantes que tienen este software:

##### **2.4.2.1. Subrutina de Atención Interrupciones.**

Esta es la subrutina más importante del programa puesto que es aquí en donde se hace la medición de conductividad y de la temperatura. El diagrama de flujo de la subrutina de atención a interrupciones se encuentra en la **figura 2-51**. Este programa es completamente independiente del correspondiente al programa principal.

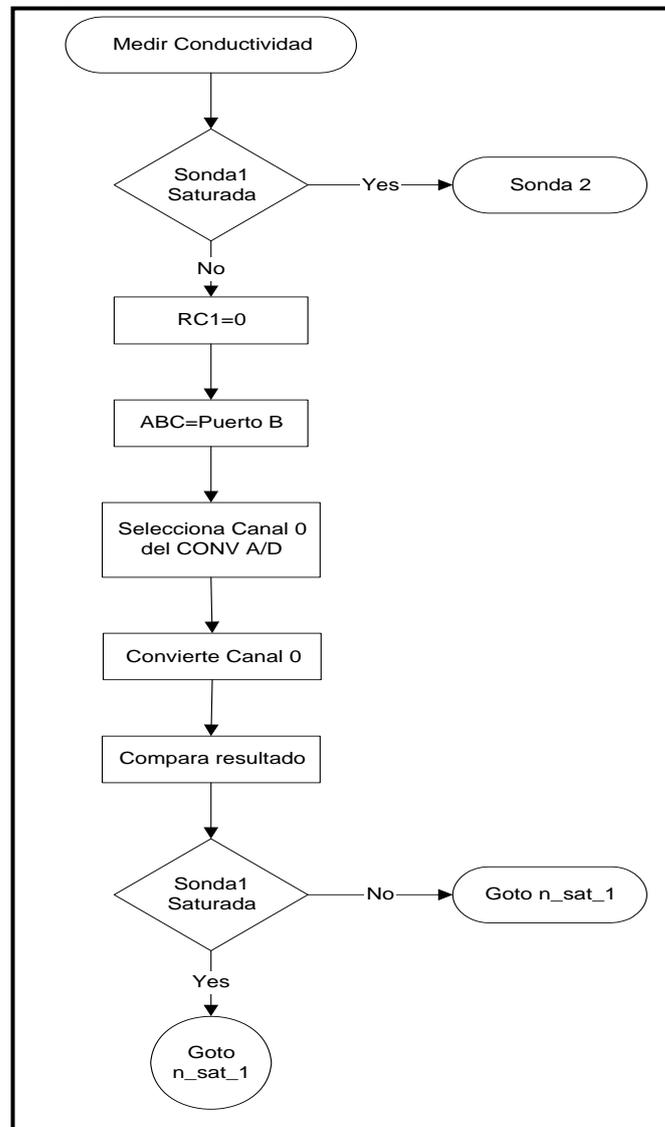
**Figura 2-51.** Subrutina de atención a Interrupciones.

Lo primero que se hace es “Respalda los registros WREG y STATUS”, esto se hace puesto que ya que dentro de las subrutinas se trabaja con estos registros se corre el riesgo de que cuando se regrese de la interrupción el dato que estaba en estos registros se pierda.

Luego se pregunta la bandera PIR <0>, si es igual a “1” entonces se sabe que la interrupción fue en el Timer 1 y que se debe atender a la subrutina de “Medir Conductividad”, y si es igual a “0” se pregunta si hizo interrupción por el TMR0 preguntando por la bandera INTCON<2>. Si es igual a “1” entonces la medición es igual la interrupción fue hecha por Timer 0 y se procederá a “Medir Temperatura”, si es igual a “0” se regresa de la subrutina de interrupción.

Si la interrupción corresponde al Timer 1 (cada 131mseg) se atiende al proceso de “Medir Conductividad” (**figura 2-52**). El algoritmo supone en principio comenzar a medir con la sonda 1 y con la ganancia mínima en el multiplexor (ABC=000).

**Figura 2-52.** Subrutina para Medir Conductividad.



Si se compara la medición y aun no se satura (menor que F0 en hexadecimal), entonces se aumenta ABC a 001 y se vuelve a comprobar. Después de cada comprobación puedes suceder dos cosas:

1. Se saturó la sonda antes que se alcanzara la ganancia máxima. En este caso se toma el resultado anterior (de la interrupción anterior) como válido. El resultado se guarda durante cada interrupción en el registro “canal 0”.

2. Se saturó la sonda con la ganancia máxima (ABC=111). Esto significa que se debe cambiar de sensor (Sonda2) y volver a realizar el mismo proceso pero sobre la sonda 2.

Si al procesar la sonda 2, ésta se satura se pueden considerar también dos casos:

1. Si se satura con ganancia del multiplexor menor que 7 entonces el dato es válido, pero en este caso se indica que ha sido medido con la sonda 2 seteando el bit 0 de la bandera "probe", de esta manera el programa principal podrá diferenciar entre sonda1 y sonda2 a la hora de convertir el dato a micro siemens (uS) o mili siemens (mS) respectivamente.
2. Si se satura la sonda 2 con ganancia máxima (ABC=111), entonces se considera que el dato está "Fuera de Rango", lo que significa que el equipo queda inservible para medir ese valor de conductividad, mayor que 16mS.

Si la interrupción corresponde al Timer 0 (cada 16ms) se atiende el proceso de "Temperatura". El algoritmo en este caso convierte el canal 1 del conversor A/D, almacena el resultado (en hexadecimal) para que el programa principal lo convierta a Grados Celsius a través de una tabla (tab\_Temp.) que permite además linealizar y calibrar el sensor utilizado (termistor).

Se chequea además que la temperatura se mantenga entre 21.3°C y 46.7°C puesto que si no es así se presenta el cartel "Fuera de Rango". La razón de lo anterior es que nuestro conductímetro está diseñado para medir conductividades fiables siempre que la temperatura permanezca en el rango mencionado. En el Capítulo 1 de esta investigación se tratan los rangos de forma detallada. A continuación se tiene el fragmento de la subrutina de interrupción:

; SUBROUTINA DE ATENCIÓN A INTERRUPCIÓN DEL TIMER 1 Y EL TIMER 0

```
;-----  
; respaldo de registros.
```

```
IT      movwf wtemp ; respaldo ac.  
        swapf 3,w  
        movwf stat_temp
```

```

movf 4,0
movwf fsr_temp      ;respaldo el FSR
;movf M,w
;movwf mtemp
;movf N,w
;movwf ntemp
;-----
;encuesta de banderas.
btfsc PIR1,0
goto conductividad
btfsc INTCON,2
goto temperatura
goto back
    
```

**2.4.2.2. Subrutina Compara.**

Subrutina encargada de comparar los límites de saturación para el dato medido ya sea con la sonda 1 o la sonda dos. El dato medido ingresa a la subrutina en la variable “canal 0”. El resultado de la comparación se refleja en las banderas flag\_1 y flag\_2, de modo que surgen las combinaciones que se presentan el la **tabla 2-4**.

**Tabla 2-4.** Combinaciones de las banderas flag\_1 y flag\_2.

Flag_1	Flag_2	Condición de Sondas
0	0	No saturadas ni 1 ni 2
0	1	Saturada sonda 2
1	0	Saturada sonda 1
1	1	Saturadas ambas sondas

A continuación se tiene el fragmento de la subrutina compara:

```

compara      ;el dato entra en WREG
;rango 1
movf ADRESH,w      ;respalda dato a comparar
sublw 0x7f
btfss 3,0          ;carry = 1
    
```

```

goto mayor7F
;si carry = 1 => dato es menor a 7F
clrf flag_1
return

```

#### 2.4.2.3. Subrutina “clrdisp”.

Limpia el display, es decir lo deja en blanco en espera de una nueva instrucción. A continuación se tiene el fragmento de la subrutina “clrdisp”:

```

;limpia display
clrdisp    bcf 5,rs
           movlw 1           ;display clear = 1
           movwf 8
           call pulse       ;pulso de 1us en "E"
           call dem_1640us
           bsf 5,rs         ;modo datos
           return

```

#### 2.4.2.4. Subrutina “pulse”.

Habilita con un pulso de 1us en el pin Enable el dato que está en el Bus del LCD (Puerto D). A continuación se tiene el fragmento de la subrutina “pulse”:

```

;habilita display (da un pulso en el pin enable)
pulse     bcf 7,e
           bsf 7,e         ;E = 1
           nop
           nop
           nop
           nop             ;demora de 1 us
           bcf 7,e         ;E = 0
           return

```

#### 2.4.2.5. Subrutina “chdir”.

Cambia la dirección de escritura en el LCD. La dirección a partir de la cual se desea a escribir ingresa en el acumulador (WREG) antes de llamar a la tabla. A continuación se tiene el fragmento de la subrutina “chdir”:

```
;cambia de dirección en el display
;requisitos: cargar previamente la dirección en WREG
;ej: movlw 0xc2      ;dir a donde se desea cambiar.
;   call chdir
chdir      bcf 5,rs      ;modo comandos
           movwf 8      ;la dirección viene en el acumulador
           call pulse
           call dem_40us
           bsf 5,rs      ;modo datos
           return
```

#### 2.4.2.6. Subrutina “write”.

Escribe cualquier cartel o pantalla en el LCD a partir de una tabla de caracteres siempre que antes de llamarla se carguen los valores necesarios en las variables “index” y “size”. A continuación se tiene el fragmento de la subrutina “write”:

```
;escribe cualquier cartel en el LCD por el método de indexado de TABLA
;antes de llamarla deben cargarse las variables "index" y "size"
```

```
write      clrf ch_cont   ;contador de caracteres del
next_char          movf index,w ;indexo
           call tabla     ;tabla de caracteres del cartel
           movwf 8        ;saco caracter
           call pulse     ;pulso enable
           call dem_40us  ;demora de ejecución
           movf ch_cont,w
           subwf size,w   ;resta ch_cont del size
```

```

btfsc 3,2
return      ;RETORNA, se escribió completo
;próximo caracter del cartel
incf index
incf ch_cont
goto next_char

```

#### 2.4.2.7. Subrutina Demoras Varias por Software.

El problema de las varias demoras necesarias se trata a partir de una demora general que trabaja con las variables que fijan el tiempo deseado. Por ejemplo para lograr una demora de 100ms de debe cargar la variable “N” con el número 100 y la variable “M” con el número 15, y luego se llama a la subrutina de demora general “demora” como se puede ver en el fragmento siguiente:

```

dem_100ms  movlw d'100'
           movwf N      ;parámetro a cargar en contadores
           movlw d'15'
           movwf M      ;parámetro a cargar en contadores
           call demora  ;demora de 47us
           return
demora     return
           movf N,w
           movwf cont1
           movwf cont2
           movf M,w
           movwf cont3
loop       decfsz cont1
           goto loop
           movf N,w
           movwf cont1
           decfsz cont2
           goto loop
           movf N,w
           movwf cont2
           decfsz cont3
           goto loop      ;fin del proceso, inicia contadores

```

```
return
```

#### 2.4.2.8. Subrutina “convierte”.

Subrutina general que convierte cualquier canal del conversor A/D que haya sido seleccionado desde el registro de control “ADCON 0”. El dato convertido queda en el registro “ARDEH”. A continuación se tiene el fragmento de la subrutina “convierte”:

```
convierte    bsf  ADCON0,0    ;enc conversor
             ;call dem_40us   ;tiempo de adquisición
             bsf  ADCON0,2    ;GO!!!
wait_conv    btfsc ADCON0,2
             goto wa_conv
             ;dato listo
             Return
```

#### 2.4.2.9. Subrutina “bin\_to\_bcd”.

Convierte el número binario (hexadecimal) de la medida a código BCD en la escala adecuada para poder escribir la medida en el display. A continuación se tiene el fragmento de la subrutina “bin\_to\_bcd”:

```
;convierte un número binario de hasta 16 bits que debe colocarse en
;NumH y NumL.
;el número BCD es retornado en las variables: TenK, Thou, Hund, Tens, Ones
```

```
bin_to_bcd
    swapf  NumH,w
    andlw  0x0F
    addlw  0xF0
    movwf  Thou
    addwf  Thou,f
    addlw  0xE2
    movwf  Hund
    addlw  0x32
    movwf  Ones
```

```

movf  NumH,w
andlw 0x0F
addwf Hund,f
addwf Hund,f
addwf Ones,f
addlw 0xE9
movwf Tens
addwf Tens,f
addwf Tens,f
swapf NumL,w
andlw 0x0F
addwf Tens,f
addwf Ones,f
rlf  Tens,f
rlf  Ones,f
comf Ones,f
rlf  Ones,f
movf  NumL,w
andlw 0x0F
addwf Ones,f
rlf  Thou,f
movlw 7
movwf TenK
;-----
movlw 0x0A
Lb1  addwf Ones,f
      decf  Tens,f
      btfss 3,0
      goto Lb1
Lb2  addwf Tens,f
      decf  Hund,f
      btfss 3,0
      goto Lb2
Lb3  addwf Hund,f
      decf  Thou,f
      btfss 3,0
      goto Lb3

```

```
Lb4  addwf  Thou,f
      decf  TenK,f
      btfss 3,0
      goto Lb4
      return
```

### 2.4.3. Variables Principales.

A continuación se enumeran las variables principales y su explicación usadas en el programa:

- ABC: Variable que controla la ganancia del multiplexor, tiene un rango de 0 a 7.
- flag\_1 y flag\_2: Banderas de saturación de la sonda uno y de la sonda dos respectivamente.
- Rango : Bandera de FUERA DE RANGO, se pone en uno si la medida está fuera de rango.
- Ready : Es una bandera indica con un "1" que el dato está listo, ya sea por sonda uno o por sonda dos.
- Probe: Es una bandera que indica si la medición fue hecha con sonda 1 (probe = 0) o con sonda 2 (probe = 1).

## **CAPITULO 3: CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE LA SONDA DE CONDUCTIVIDAD Y TEMPERATURA.**

### **3.1. Construcción de la Sonda de Conductividad y Temperatura.**

Una celda típica de conductividad consiste en un par de electrodos con una determinada área y distancia entre los ellos.

Cuando se necesiten medir conductividades bajas el diseño se lo realiza acortando la distancia entre los electrodos y estos de menor dimensión para que la constante de celda disminuya (K). Es recomendable tener una constante de celda menor a uno ( $K < 1$ ) para mediciones en el orden de los  $\mu\text{S}$ .

Con una constante inferior a uno incrementa la conductancia para producir un valor más fácilmente interpretado por el medidor. De igual forma cuando se necesiten leer conductividades altas, se incrementa la distancia entre los electrodos o se los diseña más grandes con la finalidad de aumentar la constante celular (K).

Es aconsejable cuando se tengan que medir valores de conductividad en el orden de los mS tener una constante celular igual o mayor a uno.

Para determinar las dimensiones de la Sonda primero se tiene que considerar los rangos a utilizar:

1. El primer rango que varía desde los  $0\mu\text{S}$  hasta  $100\mu\text{S}$ , con una resolución de  $1\mu\text{S}$  y la constante de celda de  $K=0,0055$ .
2. El segundo rango que inicia en  $0.63\text{mS}$  hasta  $2.00\text{mS}$ , con una resolución de  $0.01\text{mS}$  y una constante de celda de  $K=1$ .
3. La temperatura se medirá desde los  $21.3\text{ }^\circ\text{C}$  a  $46.7\text{ }^\circ\text{C}$ , con resolución de  $0.1\text{ }^\circ\text{C}$ .

Posteriormente se toma en consideración la relación que existe entre los siguientes parámetros:

$$k = d/A$$

**k:** Constante de la celda

**d:** Distancia de la separación de los electrodos

**A:** Área de los electrodos =  $\pi r (2h + r)$

**h:** altura de los electrodos

**r:** radio de la base de los electrodos

Celda de Conductividad con  $k = 1$  (Sonda 2):

$$h = 3 \text{ cm.}$$

$$r = 0,3 \text{ cm.}$$

$$A = 5,937 \text{ cm}^2 .$$

$$d = 5,93 \text{ cm.}$$

Para la Celda de Conductividad con  $k = 0,0055$  (Sonda 1) no se ha utilizado electrodos cilíndricos sino placas con las siguientes características:

$$h = 3 \text{ cm.}$$

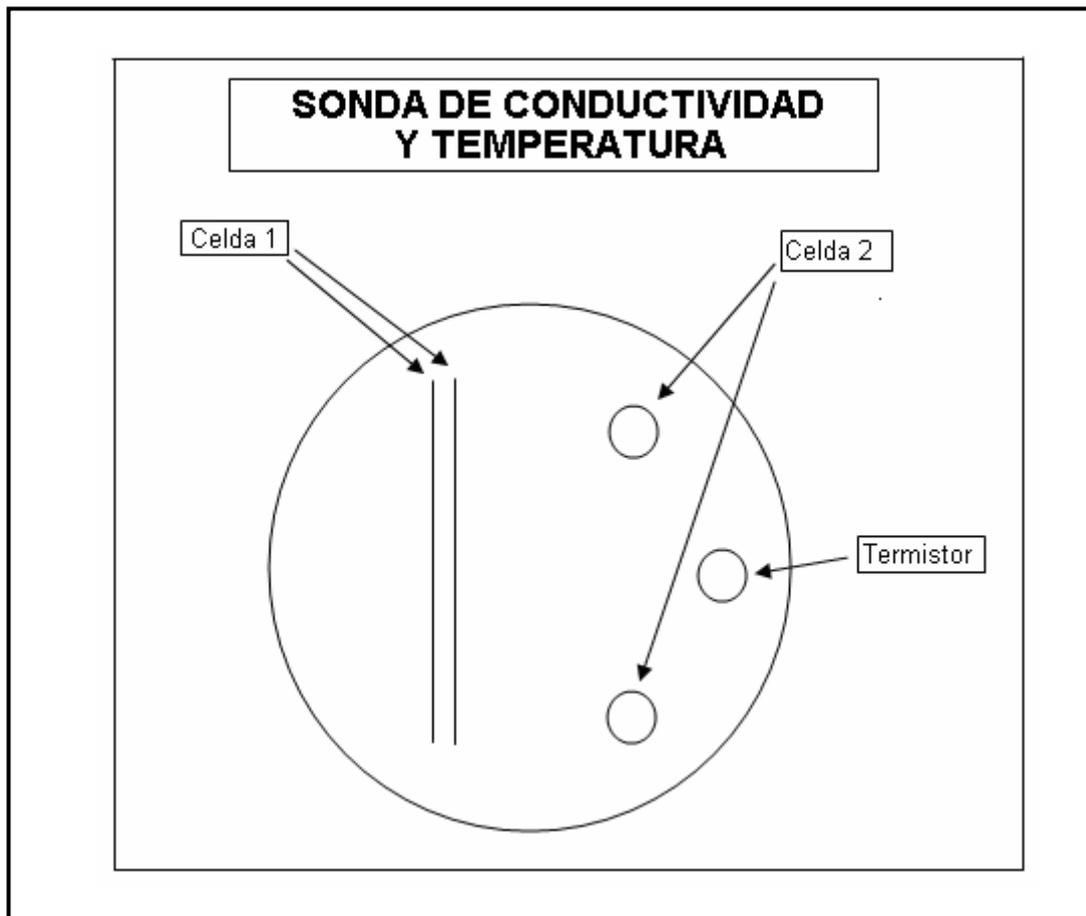
$$A = 18 \text{ cm}^2$$

$$d = 0.1 \text{ cm.}$$

Con estos datos se procede a realizar el diseño de la sonda de temperatura y conductividad.

En la **figura 3-1** se ilustra el diseño de la Sonda:

**Figura 3-1.** Sonda de conductividad y temperatura a utilizarse en la investigación.



### 3.2. Calibraciones de Conductividad y Temperatura.

El diseño del equipo muestra la Conductividad y Temperatura de una solución acuosa, por lo que para realizar una correcta medición primero se tiene que realizar las respectivas calibraciones, para lo cual se utilizan los siguientes métodos:

#### 3.2.1. Método para la calibración de la Conductividad.

Para realizar la calibración de las Celdas de Conductividad se utilizan soluciones de referencia o patrón (Buffer), las cuales se pueden conseguir en el mercado o preparar en laboratorios químicos, cuyo valor de conductividad sea conocido y esté cercano al intervalo de la conductividad esperada.

Estas soluciones a las que se denominan Soluciones Buffer son las cuales tienen una determinada conductividad a cierta temperatura (generalmente a 25° C).

Con una serie de patrones o soluciones Standard (Buffer) de Conductividad Eléctrica conocida partiendo de Cloruro de Sodio (NaCl) se realiza la calibración del equipo.

Esto es necesario con el fin de verificar la linealidad del instrumento y obtener a su vez la curva de calibración de la celda de conductividad.

Con las soluciones Buffer procedemos a calibrar cada celda de conductividad para lo cual se procede de la siguiente forma:

1. Lavar la celda con porciones de la disolución patrón antes de realizar la calibración para evitar contaminación por electrolitos.
2. Sumergir la celda en la solución patrón conocida (Buffer) a una temperatura de  $25^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ , el nivel de la solución debe cubrir la celda.
3. Agitar la celda verticalmente para expulsar las burbujas de aire que puedan quedar adheridas a los electrodos.
4. El valor obtenido a la salida del conversor A/D será el valor de Conductividad a visualizar en el LCD del prototipo (valor de la solución Buffer).
5. Después de la determinación, retirar la celda de la disolución y enjuagarla con agua desionizada.
6. Nuevamente insertamos la Celda de Conductividad en otra solución Buffer de diferente valor a la anterior con el fin de obtener otro valor en el conversor A/D.
7. Este nuevo valor a la salida del conversor A/D será el otro punto de referencia que visualice el equipo y así crear la curva de calibración de la Celda de Conductividad. Los valores obtenidos son insertados en el software del equipo.
8. Posteriormente insertamos la Celda de Conductividad en varias soluciones Buffer de diferentes valores conocidos para comprobar la autenticidad de las mediciones.
9. Si son satisfactorios damos por terminada su calibración, caso contrario repetimos los pasos anteriores.

Esta calibración se la realiza para las dos Celdas de Conductividad que se encuentran en la sonda, por ello se necesitan soluciones Buffer de resoluciones de uS y mS dependiendo el rango de cada una de ellas.

### **3.2.2. Método de calibración de la Temperatura.**

Para la calibración de la temperatura se requiere de tener un patrón al cual se va a hacer referencia, para lo cual se necesita de un termómetro digital de laboratorio con resolución de 0.1°C.

Para la calibración del termistor de la Sonda de medición del prototipo seguimos los siguientes pasos:

1. Se sumerge el termómetro digital en una solución a una temperatura de 15°C y esperamos a que se estabilice.
2. Insertamos dentro de la misma solución nuestra Sonda de medición de Conductividad y Temperatura.
3. El valor que nos indica a la salida del conversor A/D es tomado como el valor de temperatura que nos indica el termómetro digital y que tiene que visualizar el prototipo.
4. Procedemos a calentar la solución y tomamos nuevamente el valor obtenido en el conversor A/D. Con este nuevo dato vamos creando la curva del termistor.
5. Realizamos el mismo procedimiento del paso 4 pero con temperaturas diferentes hasta llegar al límite máximo y así obtener la curva total del termistor.
6. Luego de creada la curva del termistor e insertada en el software del equipo procedemos a tomar lecturas de varias temperaturas y comprobamos con el termómetro digital de referencia.
7. Comparamos las lecturas obtenidas con el equipo, si es que son satisfactorias queda concluida la calibración y está listo para su utilización, caso contrario se repiten los pasos del 1 al 6 hasta obtener los valores deseados.

### **3.3. Análisis de Normas de Seguridad.**

Este equipo al ser diseñado únicamente para verificación y calibración de equipos de hemodiálisis y plantas de tratamiento de agua y por lo tanto se deben considerar las siguientes precauciones en el momento de su utilización:

1. No sustituir la Sonda de Conductividad y Temperatura en lugar de los sensores primarios, controles y monitores de Conductividad y Temperatura de los equipos de hemodiálisis como de las plantas de tratamiento de agua.
2. No realizar pruebas en que los equipos de hemodiálisis y plantas de tratamiento de agua cuando están en funcionamiento con pacientes, ya que podría existir una contaminación potencial en el equipo diseñado.
3. No sumergir la Sonda de Conductividad y Temperatura en soluciones agresivas como son ácidos (peracético por ej.), desinfectantes (hipoclorito de sodio o formol), líquidos inflamables (alcohol, gasolina, etc.), ya que destruye la parte física de las celdas o en su defecto podría existir un problema de ignición.

## CAPÍTULO 4: ANÁLISIS ECONÓMICO.

### 4.1. Análisis de los Costos finales del equipo.

El prototipo cumple con nuestras expectativas al reducir los costos con respecto a los equipos que se encuentran en el mercado, a continuación el detalle de las partes utilizadas en la **tabla 4.1**:

**Tabla 4-1.** Costos de los componentes para el desarrollo del equipo.

FUENTE DE ALIMENTACION		
Componente	Descripción	Precio USD
J1	Bornera de 2 entradas	0,50
J2	Bornera de 2 entradas	0,50
J3	Bornera de 6 formada con dos de 3	0,50
D2	Puente de gretz	0,50
D1	Diodo led	0,10
D3	Diodo led	0,10
D4	Diodo led	0,10
D5	Diodo led	0,10
D6	Diodo led	0,10
U1	LM317	0,60
U2	LM7812	0,40
U3	LM7805	0,40
U4	LM7912	0,50
R1	RESISTENCIA DE 220	0,02
R2	Potenciómetro de 2k	0,50
R3	R de 1k	0,02
R4	R de 1k	0,02
R5	R de 1k	0,02
R6	R de 1k	0,02
R7	R de 2k	0,25
C1	100uf/25v electrolítico	0,12
C2	100uf/25v electrolítico	0,12
C3	100uf/25v electrolítico	0,12

C4	100uf/25v electrolítico	0,12
C5	100uf/50v electrolítico	0,12
Tarjeta F.	Fabricación de la tarjeta Fuente	25,00

<b>TOTAL Fuente.</b>	<b>30,85</b>
----------------------	--------------

<b>TARJETA ANALOGICA</b>		
<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio USD</b>
U1	LM348	0,35
U2	LM349	0,40
U3	LM124_NSC	1,50
U4	CD4051BC	0,35
J1	Bornera de 3 entradas	0,45
J2	Bornera de 6 formada con dos de 3	0,50
J3	Bornera de 6 formada con dos de 4	0,50
J4	Bornera de 4 formada con dos de 2	0,55
RLY1	Relé de 5 v doble tiro doble polo	0,25
R2	R de 1M	0,15
R3	R de 5.11k	0,25
R4	R de 100	0,10
R5	Potenciómetro de 100	0,50
R6	R de 5.11k	0,25
R7	R de 66.5	0,25
R8	R de 100k	0,02
R9	R de 100k	0,02
R10	R de 10k	0,02
R11	R de 10k	0,02
R12	R de 806	0,25
R13	R de 806	0,25
R14	R de 2.74	0,25
R16	R de 147	0,25
R17	R de 2.49	0,25
R18	R de 1.82k	0,25
R19	R de 100k	0,02
R20	R de 10k	0,02
R21	R de 825	0,25
R22	Potenciómetro de 1k	0,50
R23	R de 10k	0,02
R24	R de 1k	0,02
R25	R de 10k	0,02
R26	R de 21.5k	0,25
R27	R de 1.82k	0,25
R28	R de 21.5k	0,25
R29	R de 21.5k	0,25
R31	R de 21.5k	0,25
R32	Potenciómetro de 10k	0,50
R33	R de 475k	0,25
R34	R de 33k	0,25

R35	R de 100k	0,10
R36	R de 100k	0,10

R37	R de 510k	0,25
R38	R de 2k	0,25
R39	R de 4k	0,25
R40	R de 6k	0,25
R41	R de 8k	0,25
R42	R de 10k	0,10
R43	R de 12k	0,25
R44	R de 16k	0,25
C1	0.01uF/50v cerámico	0,75
C2	0.01uF/50v cerámico	0,75
C3	1000uf/16v electrolítico	0,50
C4	1000uf/16v electrolítico	0,50
C5	0.1uF/50v cerámico	0,75
C6	10uf/16v electrolítico	0,50
Q1	Transistor 2N3904	0,15
D1	Diodo 1N4148	0,10
D2	Diodo 1N4148	0,10
Termistor	Termistor de la Sonda	50,00
Sonda	Fabricación de la Sonda de Conductividad	250,00
Tarjeta A.	Fabricación de la Tarjeta Analógica	40,00

<b>TOTAL</b>		
<b>T.A.</b>		<b>357,18</b>

<b>TARJETA DIGITAL</b>		
<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio USD</b>
J1	Conector de 16 pines para el LCD	2,00
LCD	L1682	30,00
U1	PIC16F877	8,00
SW1	Pulsante	0,70
SW2	Pulsante	0,70
SW3	Pulsante	0,70
SW4	Pulsante	0,70
SW5	Pulsante	0,70
P1	Potenciómetro de 10K	0,25
C1	18pF/25v cerámico	0,25
C2	1uF/16v electrolítico	0,50
C3	18pF/25v cerámico	0,25
Y1	Crista de cuarzo de 20Mhz	2,00
Q1	Transistor BD135	0,25
R1	R de 4.7k	0,25
R2	R de 3.3k	0,25
R3	R de 10	0,25
R4	R de 10k	0,25
R5	R de 10k	0,25

Tarjeta D.	Fabricación de la Tarjeta Digital	45,00
------------	-----------------------------------	-------

<b>TOTAL T.D.</b>		<b>93,25</b>
-----------------------	--	--------------

<b>RESUMEN GENERAL DE COSTOS DEL EQUIPO</b>	
Tarjeta Fuente	30,85
Tarjeta Analógica	357,18
Tarjeta Digital	93,25

<b>TOTAL EQUIPO</b>		<b>481,28</b>
-------------------------	--	---------------

De acuerdo a estos valores se ha podido establecer el costo del equipo en \$481.28, mientras que un conductímetro convencional con estas características tienen valores que oscilan entre los 2000 a 4000 USD.

## **CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **5.1. Conclusiones.**

Cuando se hizo la propuesta de realizar este equipo tomamos algunos objetivos como el punto de partida para empezar el diseño. Ahora en este punto tenemos las siguientes conclusiones:

1. Se ha diseñado un equipo que realiza la medición de la conductividad y temperatura en soluciones químicas, básicamente orientadas a la mezcla que proporcionan las máquinas de hemodiálisis y a la calidad de producción que tienen las plantas de tratamiento de agua.
2. El equipo es competitivo en relación a los comerciales, ya que al haberse aplicado las mejores técnicas para la medición de temperatura y conductividad nos da como resultado las mediciones esperadas porque se las compara con soluciones patrón y con otros conductímetros.
3. El equipo es un instrumento fácil de manejar, y además muy útil para tomar medidas de campo y laboratorio porque es muy liviano y transportable.
4. Se ha comparado que fabricar localmente los electrodos de la sonda de conductividad cumpliendo la norma teórica se obtienen altos grados de linealidad y ganancia, por lo que da muy buenos resultados en el instante de calibrar la sonda.
5. Se ha demostrado que el costo es mucho menor que un equipo comercial y el mantenimiento se lo puede realizar localmente cumpliendo con todas las normas de calidad exigidas internacionalmente, sin depender exclusivamente de centros de metrología que se encuentra fuera de nuestro país.

## **5.2. Recomendaciones.**

Una vez concluido este trabajo una de las recomendaciones mas importantes es que podemos decir que la Universidad del Azuay está en plena capacidad de preparar profesionales con un alto grado de competitividad.

Tenemos un elemento dirigenal y docente preparado como esta era lo exige, por lo que estamos listos para desarrollar nuevas tecnologías y crecer poco a poco en el campo comercial y así convertirmos a futuro en un país próspero solo con la ayuda de nosotros mismos.

Por lo que de esta manera se recomienda a los estudiantes y nuevos profesionales desarrollar proyectos de investigación para generar equipos y nuevas fuentes de trabajo, para de esta manera contribuir con el desarrollo de nuestro país.

**BIBLIOGRAFIA**

1. BASIL, V. y GALEN E. Electroquímica Analítica. México. Editorial Limusa. 1987. 303 pp. Primera edición.
2. BOND, M. Electroanalytical Chemistry. 1981. USA. 381pp.
3. BOYLESTAD, R. y NASHELSKY, L. Teoría de Circuitos. México. Editorial Prentice-Hall Hispanoamérica S.A. 1997. 949pp. Sexta edición.
4. COUGHIIIN, R. Y DRISCOLL, F. Amplificadores Operacionales y circuitos lineales. México. Editorial Prentice-Hall Hispanoamérica S.A. 1993. 538pp. Cuarta edición.
5. Draft International Standard ISO/ DIS 7888. Water Quality- Determination of Electrical Conductivity. 1985.
6. EISBERG, R. Fundamentos de Física Moderna. Editorial Limusa. 1991.
7. Method 120.1 EPA .Conductancia. revision 1982.
8. SCHER, A. y YARNITZKY, C. Analytical Chemistry. 1981. 356 pp.
9. PIC16F87X Data Sheet 28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers. 2001 Microchip Technology Inc.
10. Rances, (Sopena 2000). Editorial Ramón Sopena S.A. Barcelona. 2000.
11. VASSOS, B. y FWING, G. Analog and Digital Electronics for S. New York. Wiley Interscience. 1980. Segunda Edición.
12. 74HC/HCT4051 Data Sheet 8-channel analog multiplexer/demultiplexer. 1990 PHILLIPS.
13. [perso.wanadoo.es/chyryes/tutoriales/fuentes14.htm](http://perso.wanadoo.es/chyryes/tutoriales/fuentes14.htm), para fuente LM317, LM7805, LM7812, LM7912.
14. 2510 B "Laboratory Method", American Public Health Association, "Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater", American Public Health Association, United States of America, Washington, DC 20005, 19th Edition 1995. pp. 2-43 - 2-45.
15. Conceptos de Conductividad. <http://es.geocities.com/fisicas>. [Consulta el 28 de Enero del 2004].
16. Conceptos para la medición de la conductividad. <http://www.coleparmer.com>. [Consulta el 20 de Febrero del 2004].
17. Teoría y métodos para la medición de la conductividad. <http://www.ifent.org/>. [Consulta el 7 de Julio del 2004].

## **ANEXOS**

### **Anexo 1: Manejo del equipo.**

Para empezar a utilizar el equipo se tiene que proceder de la siguiente manera:

1. Lave sus manos y si es posible colóquese guantes de látex.
2. El recipiente donde se va a introducir la sonda de conductividad y temperatura tiene que estar previamente enjuagado mínimo tres veces con la solución a ser medida.
3. Colocar la solución en el recipiente hasta una altura considerable, tal que cubra los electrodos hasta la mitad de la parte plástica de la sonda de conductividad y temperatura.
4. Si es que existiere burbujas de aire colocar la sonda con una inclinación de cuarenta y cinco grados para que salgan las burbujas. Si no se tiene éxito de esta forma dar pequeños golpecitos a la parte plástica hasta que salga todo el aire que se encuentra entre la sonda y la solución a ser medida.
5. Conecte la sonda al equipo.
6. A continuación se tiene que encender el aparato desde el swtich de ON/OFF y automáticamente aparecerán los siguientes mensajes. Cuando empiece su funcionamiento aparecerá el siguiente cartel identificando la institución:



UNIVERSIDAD DEL  
AZUAY

Posteriormente aparecerá al nombre del equipo y su versión:

**CONDUCTIMETRO  
A./M. V1.3**

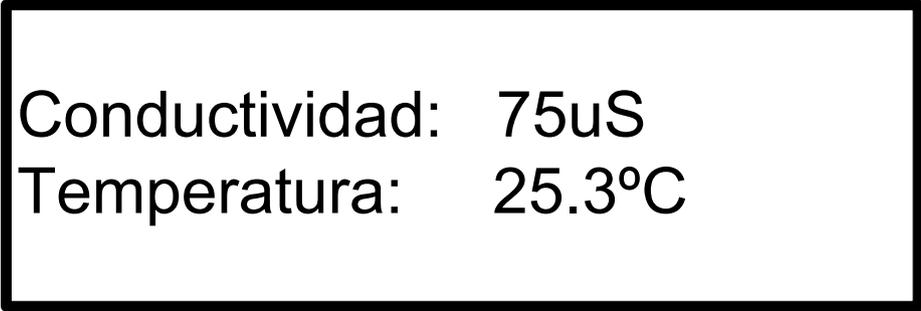
A continuación el equipo indica en estado de la Sonda. Si es que estuviese con problemas de conexión o simplemente no se la hubiere conectado todavía aparecerá en la pantalla el siguiente mensaje:

**“Estado de Sonda”  
Sonda desconectada**

Cuando se conecte correctamente la sonda el equipo empieza a medir y presentará el mensaje:

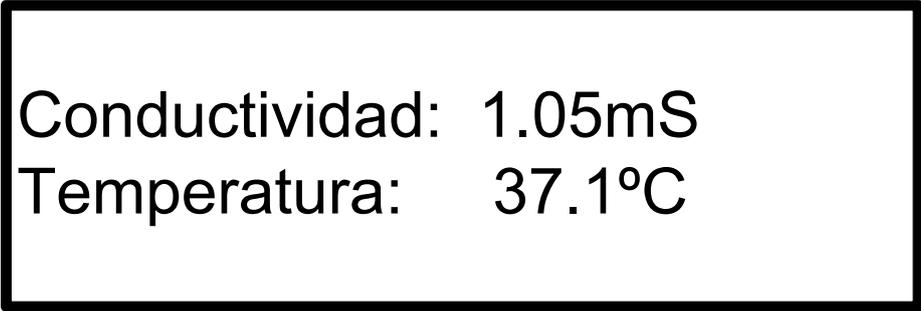
**Midiendo  
Espere por favor**

Posteriormente si la muestra se encuentra entre 0 y 100uS tendremos la presentación de la temperatura y de la conductividad simultáneamente.



Conductividad: 75uS  
Temperatura: 25.3°C

Pero si la solución a ser medida tiene una conductividad entre 0.63 y 2.00mS tendremos la siguiente pantalla, con la presentación de la temperatura simultáneamente:



Conductividad: 1.05mS  
Temperatura: 37.1°C

Si la conductividad de la muestra sobrepasa los 2.00mS significa que el equipo no lo puede medir (excede el rango), entonces se tendrá el siguiente mensaje:



Conductividad  
Fuera de rango

Y si la temperatura estuviera también fuera de su rango (inferior a 21.3 °C y superior a 46.7 °C) tenemos el siguiente mensaje:



Temperatura  
Fuera de rango

Las lecturas se realizarán automáticamente cuando se introduzca la sonda en una solución, solamente el usuario tiene que encender el equipo y esperar por la lectura visualizada en el LCD. Las lecturas se realizan automáticamente aproximadamente cada segundo.

7. Para apagar el equipo coloque el switch en OFF.

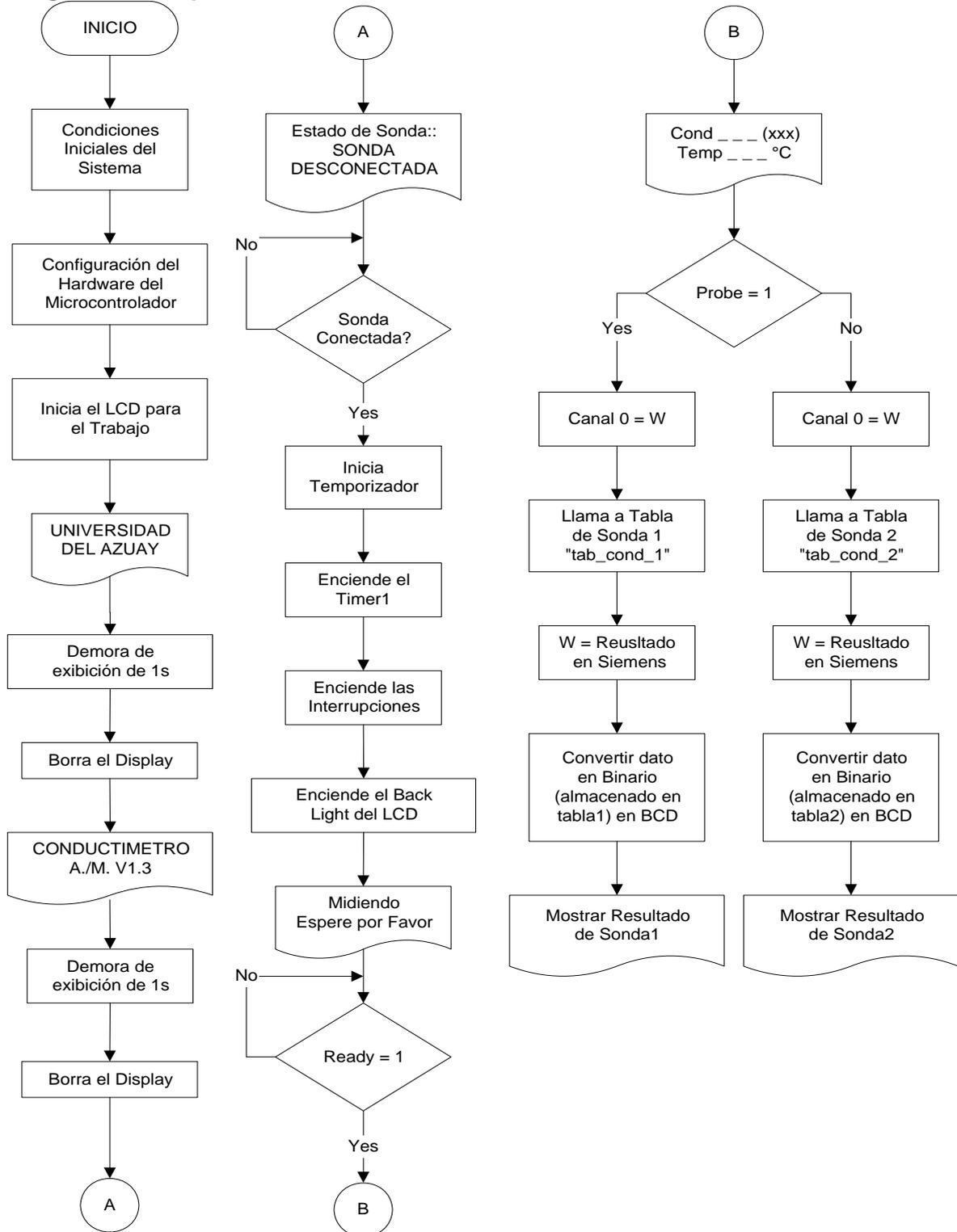
8. Desconecte la sonda.

**Anexo 2: Cuidado y mantenimiento del equipo.**

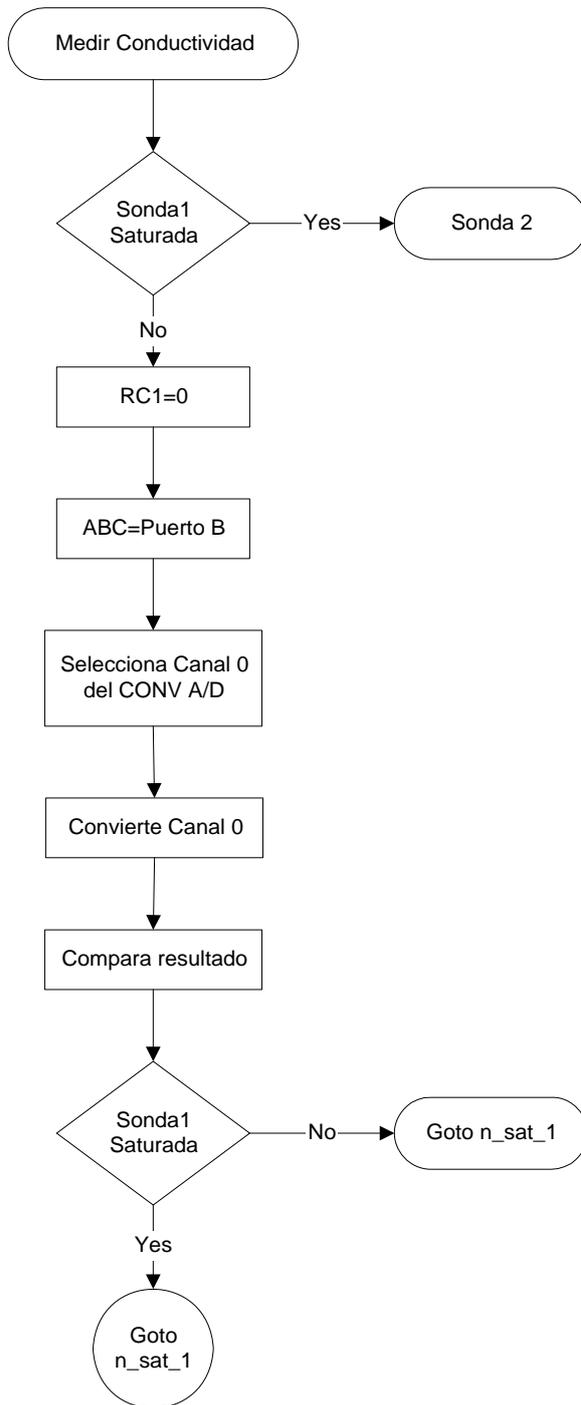
1. Para el almacenamiento de la sonda de conductividad y temperatura se tiene que tomar en consideración que no tenga ningún rozamiento con algún cuerpo.
2. Los electrodos de la sonda cuando se encuentren sucios no se deben lijar o raspar, ya que al existir rayones o fisuras cambia el área de la celda y por ende su constante celular. De esta forma cuando se realice la lectura de alguna muestra esta será una completamente distorsionada de la real.
3. Se debe únicamente limpiar la sonda con agua desionizada y dejar secar a temperatura ambiente, ya que si se le colocase para su limpieza soluciones como desinfectantes podría corroer los electrodos y de igual forma se tendrían unas mediciones indeseables.
4. No sumergir la sonda totalmente en la solución a ser medida, ya que el plástico que recubre los electrodos es suficientemente grande para sumergirlo hasta la mitad, mientras del otro extremo sujetarlo con la mano. Si es que se introduciría toda la celda la sujeción de la sonda sería desde los cables de conexión y estos podrían quebrarse y alterar de esta forma la calibración de la sonda.
5. No golpear los electrodos porque de esta forma la estructura geométrica de la sonda cambiaría y se tendría mediciones erróneas.
6. No mojar el equipo bajo ninguna circunstancias, ya que produciría un choque eléctrico pudiendo causar cortocircuitos y así un posible incendio.
7. Observar las reglas generales y particulares de higiene y seguridad aplicables a las operaciones de muestreo y al manejo de equipos, materiales y reactivos químicos que tenga por política interna cada uno de los laboratorios.

**Anexo 3: Diagrama de flujo del software del equipo.**

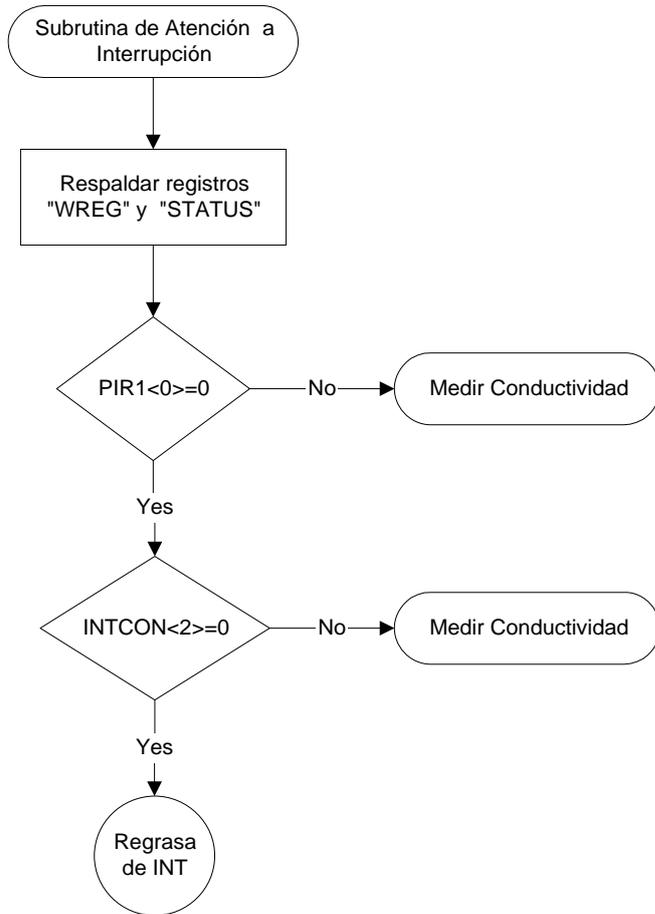
**Programa Principal.**



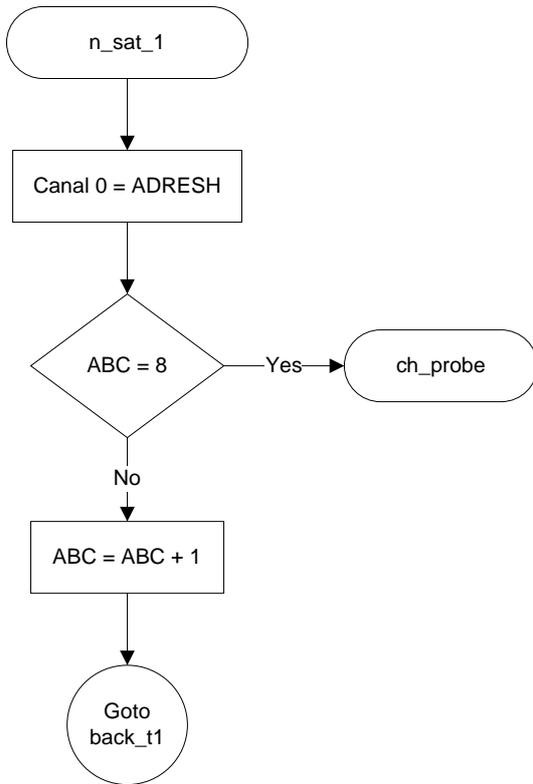
**Subrutina para medir "Conductividad".**



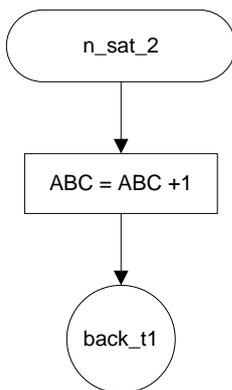
**Subrutina para "Atención a la Interrupción".**



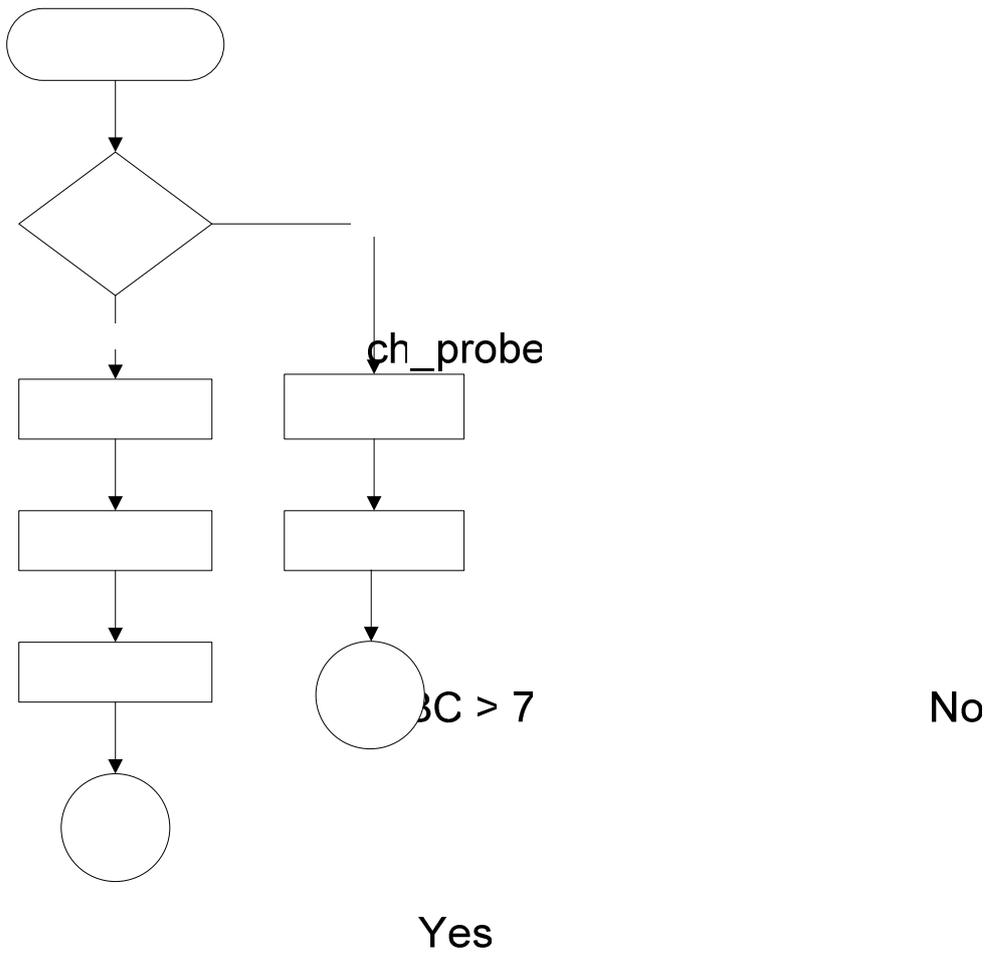
**Subrutina de "n\_sat\_1".**



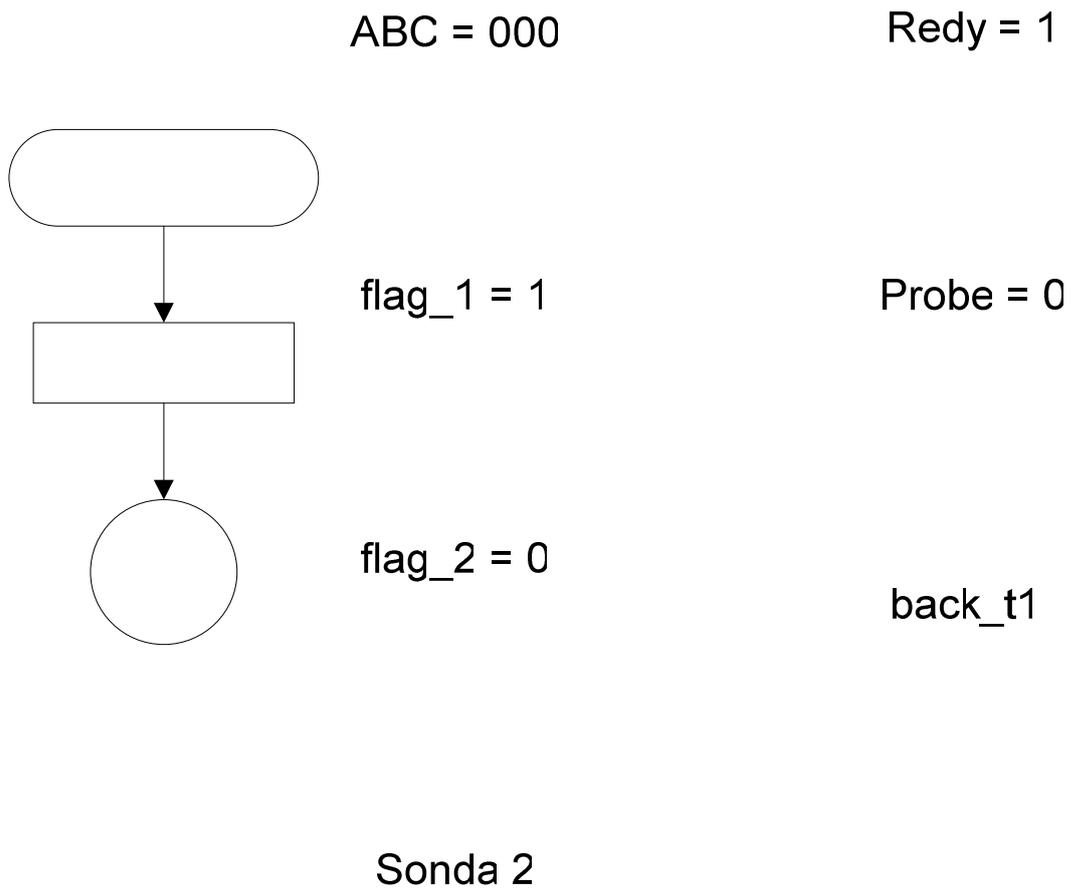
**Subrutina de "n\_sat\_2".**



Subrutina de "ch\_probe".



Subrutina Para "back\_t1".



**Subrutina par "back".**



