

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE  
Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Acústica

**Profesor Patrocinante:**  
Prof. Alfio Yori F.  
Instituto de Acústica  
Universidad Austral de Chile

**Profesores Colaboradores:**  
Prof. Jorge Santamarina V.  
Instituto de Física  
Universidad Austral de Chile

Dr. Jorge Sommerhoff H.  
Instituto de Acústica  
Universidad Austral de Chile

**Diseño y fabricación de un dispositivo Electrónico Digital  
anexo a un Sonómetro B&K 2209 que permita calcular  
Nivel Equivalente ( $L_{eq}$ )**

Tesis presentada para optar al grado  
de Licenciado en Acústica y al Título  
Profesional de Ingeniero Acústico

Rodolfo Rodrigo Rojas Muñoz  
Valdivia Chile 2002

## CONTENIDO

RESUMEN.....	5
ABSTRACT.....	6
1. INTRODUCCION.....	7
2. OBJETIVOS.....	8
2.1. Objetivos Generales.....	8
2.2. Objetivos Específicos.....	8
3. MARCO TEORICO.....	9
3.1. Electrónica Digital.....	9
3.1.1. Sistemas Numéricos.....	9
3.1.2. Nomenclatura.....	11
3.1.3. Lógica.....	11
3.1.4. Circuitos Integrados Digitales.....	12
3.1.4.1. Decodificadores y Codificadores.....	12
3.1.4.2. Relojes.....	13
3.1.4.3. Conversores análogo/digitales.....	13
3.1.4.4. Pantallas Digitales.....	14
3.1.4.5. Puertas Lógicas.....	15
3.1.4.6. Memorias.....	16
3.1.4.7. Unidad Aritmética y Lógica.....	18
3.1.4.8. Microprocesadores.....	18
3.2. Sonómetros y Sonómetros Integradores.....	19
3.2.1. Características Generales.....	20
3.2.2. Características del Detector e Indicador.....	21

3.2.3. Requisitos Generales de los Sonómetros Integradores.....	23
3.2.4. Características Generales de los Sonómetros Integradores.....	23
3.2.5. Sonómetro de Precisión Brüel & Kjær Tipo 2209.....	24
3.2.5.1. Micrófono.....	25
3.2.5.2. Preamplificador Removible.....	25
3.2.5.3. Amplificador.....	26
3.2.5.4. Detector.....	26
3.2.5.5. Salida de Corriente Continua.....	27
3.3. Parámetros Descriptores del Ruido.....	28
3.3.1. Nivel Continuo Equivalente.....	28
4. METODO Y MATERIALES.....	30
4.1. Diseño.....	30
4.1.1. Microcontrolador de 8 bits con memoria Flash/EEPROM de 18 pines PIC16F8X.....	34
4.1.2. Conversor Análogo/Digital con 8 canales Multiplexer compatible con Microprocesadores de 8 bits ADC0808/ADC0809...43	43
4.1.3. Decodificadores BCD a 7 segmentos HEF4543BP.....	45
4.1.4. Pantallas de Diodos LEDs de cátodo común.....	46
4.1.5. Codificador de Prioridad Decimal a BCD 74LS147.....	47
4.1.6. Puerta Inversora.....	47
4.2. Programación.....	48
4.2.1. Assembler.....	48
4.2.2. Compilador.....	54
4.2.3. Programador.....	57

4.2.4. Archivo Fuente.....	61
4.3. Fabricación.....	62
5. RESULTADOS.....	64
5.1. Circuito.....	64
5.2. Archivos fuentes.....	70
5.2.1. Programa maestro.....	70
5.2.2. Subrutinas.....	73
5.2.3. Programa esclavo.....	83
5.3. Integrador digital para cálculo de nivel sonoro equivalente NODELKAR Modelo 101.....	85
6. CONCLUSIONES.....	88
7. BIBLIOGRAFIA.....	90
ANEXO 1: Programas utilizados por los Microprocesadores PIC16F84A.....	1A-1
ANEXO 1A: Programa maestro LEQLP.TXT.....	1A-1
ANEXO 1B: Programa esclavo ESCALA.TXT.....	1B-1
ANEXO 2: Tabla completa del NPS obtenido por el dispositivo a partir del NPS medido por el sonómetro B&K 2209.....	2-1

## RESUMEN

En este trabajo se describe todos los pasos necesarios para el diseño y la construcción de un dispositivo electrónico que, modificando la señal eléctrica emitida por un sonómetro Brüel & Kjær, sea capaz de calcular Nivel Sonoro Equivalente a través de un proceso de digitalización, entregando el resultado en un arreglo de dígitos LED.

Una primera etapa de este trabajo consistió en recabar antecedentes sobre procesos y dispositivos de conversión análoga digital, memorias digitales, microprocesadores, pantallas digitales, codificadores y decodificadores, programación en lenguaje de máquinas y diseño de circuitos electrónicos, que pudieran ser útiles para el diseño de un circuito de bajo costo y bajo consumo.

Una segunda etapa se refiere al diseño y montaje del circuito electrónico, además de una serie de pruebas que determinan el rango de trabajo y los algoritmos para la programación de los microprocesadores, y su comparación posterior con sonómetros integradores existentes.

Por último, la tercera etapa es la fabricación, propiamente tal, del dispositivo para su presentación como producto terminado, con un adecuado armazón para un funcionamiento a largo plazo.

## **ABSTRACT**

In this work all necessary stages to design and to fabricate an electronic device capable to calculate  $L_{eq}$  by modifying an electrical signal from B&K Sound Level Meter and by digitalizing the signal are described, showing the result on an LED displays arrangement.

A first stage of this work consisted on gathering antecedents about processes and devices of analogic/digital conversion, digital memories, microprocessors, digital displays, encoders and decoders, assembler programming and electronic circuits design, useful to design a low cost and low power circuit.

A second stage is about to design and assembly the electronic circuit, besides a series of tests to determinate work rank and the algorithms for programming the microprocessors, and to analyse results in comparison with available Integrating Sound Level Meters.

Finally, the third stage is the fabrication of the device for introduction as complete product, in an suitable chasis for long term working.

## 1. INTRODUCCION

Hoy por hoy, es fundamental el desarrollo de tecnologías propias que permitan al Instituto de Acústica no sólo competir a nivel académico, sino también a nivel técnico en un abierto desafío para no quedarse atrás ni depender todo el tiempo de la manufactura externa.

Este desarrollo, además, está limitado por la escasez de recursos inherente a una Universidad regional. Por lo tanto, las tecnologías a desarrollar deben mantener estrictamente un bajo costo, y “nada puede ser desperdiciado”.

Es en estas circunstancias donde tiene cabida el desarrollo de este trabajo, la fabricación de un dispositivo integrador digital, que siendo una tecnología propia y de bajo costo, permita, a su vez, actualizar un instrumento de alta calidad pero cuyo diseño data de 1981.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivos Generales**

- Diseñar y fabricar un dispositivo electrónico de bajo costo que transforme una señal eléctrica específica del sonómetro Brüel & Kjær 2209, en un byte digital que al ser procesado entregue el Nivel Sonoro Equivalente (Leq) a través de una pantalla digital.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Minimizar los costos que implican la adquisición de un sonómetro digital, manteniendo la calidad y precisión del sonómetro B&K 2209.
- Calcular en forma directa, sin medios mecánicos, el Nivel Sonoro Equivalente entregado por el sonómetro B&K 2209.
- Fabricar un dispositivo portátil que sea accesorio del sonómetro B&K 2209, sin la necesidad de modificar ningún componente interno, potenciando así la capacidad de medición de este instrumento.
- Verificar si el conjunto sonómetro-integrador cumpla con estándares internacionales referentes a sonómetros integradores.



### 3. MARCO TEORICO

#### 3.1. Electrónica Digital<sup>[1,2]</sup>

##### 3.1.1. Sistemas Numéricos

En el sistema de numeración cotidiano, decimal, se emplean diez dígitos: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9. Los números mayores que 9 se representan como una combinación lineal de potencias de 10. Así, el número 6903 se calcula como:

$$6903 = 6 \times 10^3 + 9 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 3 \times 10^0$$

En electrónica digital, es más conveniente utilizar un sistema de numeración binario, considerando las dos posiciones que puede adquirir una línea: encendido (1) o apagado (0). En este sistema, entonces, se emplean dos dígitos: 0 y 1. Los números mayores que 1 se representan como una combinación lineal de potencias de 2. Así, el número 10011 se calcula como:

$$10011 = 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 16 + 2 + 1 = 19_{10}$$

Además, existen otros sistemas numéricos, tantos como se puedan elaborar, pero uno de ellos es muy útil, el sistema hexadecimal. En el sistema hexadecimal se emplean los diez dígitos decimales más seis dígitos representados por las primeras letras del alfabeto: A, B, C, D, E y F. Al ser la base de este sistema  $16 = 2^4$ , una potencia de dos, nos permite representar números binarios muy largos de escribir de una manera más corta y sencilla, al agruparlos en grupos de 4 dígitos, así:

$$100111010010 = 1 \times 2^{11} + 1 \times 2^8 + 1 \times 2^7 + 1 \times 2^6 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^1 = 2514_{10}$$

$$1001 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^0 = 9$$

$$1110 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 = 14_{10} = D_{16}$$

$$0010 = 1 \times 2^1 = 2$$

$$\Rightarrow 1001\ 1101\ 0010 = 9D2_{16}$$

Sin embargo, el sistema hexadecimal excede al decimal y no permite una adecuada conversión, por lo cual se creó un código que supera esta desventaja. El sistema de representación decimal codificado binario (BCD, binary-coded decimal) se basa en el sistema hexadecimal, pero omite los últimos seis dígitos, considerando sólo los equivalentes en sistema decimal:

$$1001_{BCD} = 9_{16} = 9_{10}$$

$$1010_2 = A_{16} = \text{sin representación BCD.}$$

Con esto resulta la siguiente tabla de conversión de los primeros 16 dígitos:

**Tabla 1.** Tabla de conversión entre cifras de distinto código numérico.

Decimal	Hexadecimal	Binario	BCD			
			A	B	C	D
0	0	0000	0	0	0	0
1	1	0001	0	0	0	1
2	2	0010	0	0	1	0
3	3	0011	0	0	1	1
4	4	0100	0	1	0	0
5	5	0101	0	1	0	1
6	6	0110	0	1	1	0
7	7	0111	0	1	1	1
8	8	1000	1	0	0	0
9	9	1001	1	0	0	1
10	A	1010	x	x	x	x
11	B	1011	x	x	x	x
12	C	1100	x	x	x	x
13	D	1101	x	x	x	x
14	E	1110	x	x	x	x
15	F	1111	x	x	x	x

### 3.1.2. Nomenclatura

Los posibles valores de una variable lógica, que pueden o no representar dígitos numéricos del sistema binario, se denominan *dígitos binarios*, abreviadamente *bits*. Un grupo de 4 bits se denomina *nybble*, y un grupo de 8 bits, *byte*. Los elementos electrónicos digitales suelen trabajar en nybbles y bytes.

### 3.1.3. Lógica

Como se puede observar claramente, la utilidad especial del sistema de numeración binario en relación con el álgebra de las variables lógicas proviene del hecho que éstas tienen sólo dos valores y el sistema binario sólo dos dígitos. En efecto, el verdadero lógico se asocia al 1 binario, y el falso lógico al 0 binario.

Esto último, posibilita la ejecución de funciones lógicas sobre números binarios, cambiando los valores de verdad por números binarios de salida:

**Tabla 2.** Tablas de verdad de las funciones Y, O y No lógicas.

Z = A <b>and</b> B			Z = A <b>or</b> B			Z = <b>Not</b> A	
A	B	Z	A	B	Z	A	Z
V	V	V	V	V	V	V	F
V	F	F	V	F	V	F	V
F	V	F	F	V	V		
F	F	F	F	F	F		

**Tabla 3.** Valores binarios de funciones lógicas.

Z = A <b>and</b> B			Z = A <b>or</b> B			Z = <b>Not</b> A	
A	B	Z	A	B	Z	A	Z
1	1	1	1	1	1	1	0
1	0	0	1	0	1	0	1
0	1	0	0	1	1		
0	0	0	0	0	0		

### 3.1.4. Circuitos Integrados Digitales

En un circuito digital, los componentes que se utilizan actúan de manera tal que sus pines de salida y/o entrada sólo tienen dos posiciones: encendido y apagado, sin embargo, en su arquitectura interna poseen diversos elementos análogos y digitales que les permiten desarrollar la función para la cual son fabricados, esto es lo que se conoce como *microelectrónica*. No nos detendremos en las características internas de los integrados, sino en la función que éstos desempeñan.

#### 3.1.4.1. Decodificadores y Codificadores

Bajo el término decodificador se puede combinar una amplia variedad de Circuitos Integrados de entradas y salidas múltiples. Estos elementos poseen una característica especial, no tienen memoria, es decir, la salida del dispositivo depende de la entrada, sin importar el valor anterior de las entradas y salidas.

Ahora describiremos algunos decodificadores especiales:

- *Binario a despliegue de siete segmentos.* Este decodificador acepta una entrada BCD y produce un código binario de 7 bits en la salida. Los 7 bits corresponden a cada uno de los segmentos de un dígito de una pantalla digital. El decodificador enciende así los segmentos necesarios para escribir el dígito decimal.
- *Codificador decimal a binario prioritario.* Este codificador transforma un número binario de 9 bits en una salida binaria de 4 bits. En este codificador cada entrada encendida corresponde a un número BCD específico, por ello si

hay más de una entrada encendida, el codificador prioriza en la salida a la mayor de ellas.

#### **3.1.4.2. Relojes**

Los relojes se utilizan, claramente, para controlar los tiempos en los cuales deben suceder los cambios en un circuito digital. Además, se utilizan para coordinar el funcionamiento de distintos integrados que conforman un circuito. Estos relojes, llamados también osciladores, suelen conectarse con un circuito simple RC, cuya constante de tiempo se transforma en la constante del oscilador. Un circuito RC, produce un voltaje senoidal en la entrada del reloj, así estos osciladores son llamados *osciladores controlados por tensión* (VCO, voltage-controlled oscillators). Los relojes digitales transforma esta señal senoidal en una señal cuadrada que pueda controlar a los componentes digitales.

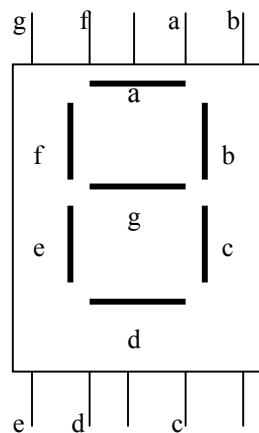
#### **3.1.4.3. Conversores análogo/digitales**

Los conversores A/D convierten un nivel de tensión analógico en una palabra binaria correspondiente. Los conversores utilizan diversos métodos para la conversión. Uno de ellos es contar a través de una escalera de voltajes hasta sobrepasar el voltaje de entrada, entonces la salida del contador es la palabra digital. Otro método consiste en utilizar aproximaciones sucesivas, esto es, se asignan previamente diferentes niveles de tensión a cada número binario partiendo de todos 0 para el nivel más bajo, y todos 1 para el nivel más alto en la entrada. Entonces, el bit más significativo indica si la tensión está en la mitad superior o inferior del intervalo. Luego, se analiza el segundo bit más significativo,

que reduce el intervalo a la mitad del intervalo anterior, y así sucesivamente hasta la coincidencia. Ambos métodos se diferencian en que el primero utiliza más pulsos de reloj para tensiones grandes y menos para tensiones pequeñas, en cambio, el segundo utiliza siempre la misma cantidad de pulsos.

#### 3.1.4.4. Pantallas Digitales

Si se necesita ver un resultado, podemos utilizar pantallas (displays) digitales controlados por algún decodificador o directamente por un microprocesador. Estas pantallas pueden ser de varios tipos: aquéllas que sólo muestran números (displays de 7 segmentos, ver fig. 1), aquéllas que entregan algún tipo de información adicional (por ej. 7 segmentos más punto decimal) o aquéllas que pueden mostrar otros caracteres como letras u otros (matriz de puntos, dot matrix font).



**Figura 1.** Pantalla digital de 7 segmentos.

Además, los displays ocupan distintas formas de visualizar los segmentos o puntos:

- *Dígitos LED*. Los segmentos de estas pantallas son diodos emisores de luz (LED), que se encienden cuando circula corriente a través de ellos.
- *Pantallas de cristal líquido*. Estas pantallas (LCD, Liquid Crystal Display) cambian la forma de reflexión o transmisión de la luz en el segmento, el cual se puede ver pues posee una película polarizada sobre la pantalla. La ventaja de los LCD consiste en que requieren poca energía, pero no aceptan voltajes superiores a 50mV en sus terminales.

Otra característica de las pantallas es su forma de conexión. Además de los pines de conexión para cada segmento, posee 1 ó 2 pines que van conectados ya sea a tierra (cátodo común) o al terminal positivo de la fuente (ánodo común). Entonces, en el primer caso, el segmento se enciende cuando la entrada adopta el valor 1 lógico. En cambio, en el segundo caso, el segmento se enciende cuando la entrada adopta el valor 0 (cero) lógico.

#### **3.1.4.5. Puertas Lógicas**

Si bien los circuitos integrados poseen en su interior estas puertas y es a través de una combinación de ellas que ejecutan sus operaciones propias, existen algunos integrados que sólo realizan funciones de este tipo. Estas puertas comprenden las siguientes funciones: AND ( Y lógico), OR (O lógico) e INVERT (No lógico). Cualquier otra función lógica (nand, nor, xor) u operación aritmética es producida por una combinación de estas 3 funciones.

### 3.1.4.6. Memorias

Existe un conjunto de circuitos integrados que son capaces de almacenar varios datos en forma permanente o temporal. Cada dato almacenado es guardado como una palabra binaria, a la que le corresponde una posición de memoria. Algunos tipos de memoria son:

- *Memorias de acceso aleatorio*, RAM (random access memory). Es un tipo de memoria que mantiene los datos memorizados mientras se mantenga la alimentación. El acceso interno de una memoria RAM puede hacerse en lectura o escritura, o en cualquier posición de memoria especificándose la dirección de la posición que se quiere usar. Dada la extrema facilidad de escribir y leer una RAM, esta será normalmente usada en un sistema microprocesador para memorizar el dato de trabajo generado dinámicamente por el programa de ejecución (variables, arreglos, etc.)
  
- *Memorias solamente de lectura*, ROM (read only memory). Es un tipo de memoria de acceso aleatorio en el cual la información almacenada se encuentra fija y no es volátil. Estas memorias no pierden su contenido por falta de alimentación y por eso son normalmente usadas en sistemas microprocesadores para almacenar el programa a ser ejecutado y en algunos casos para almacenar datos permanentes. La ROM semiconductor es un circuito cuya información almacenada se fija durante la fabricación.



- *Memorias programables solamente de lectura, PROM (programmable ROM).* Esta es una memoria ROM no previamente programada. La programación puede ser ejecutada a través de un equipamiento especial de programación llamado programador de PROM, que quema una serie de fusibles apropiados de la PROM, por lo cual, estas memorias sólo se pueden programar una vez.
  
- *Memorias programables y borrables de sólo lectura, EPROM (erasable PROM).* Estas memorias se pueden borrar y reprogramar con nuevos datos. Una EPROM permite que la información programada se borre por exposición a la luz ultravioleta durante varios minutos. La reprogramación es efectuada en forma eléctrica.
  
- *Memorias programables y borrables eléctricamente de sólo lectura, EEPROM (electrical EPROM).* Esta memoria es una EPROM a la cual se le puede aplicar un voltaje alto que permite que la estructura interna de la memoria sea borrada y reprogramada.
  
- *Memoria FLASH.* Esta es una EEPROM de bajo consumo y alta velocidad, que permite que sea programada sin necesidad de retirar el chip del circuito de trabajo.

#### **3.1.4.7. Unidad Aritmética y Lógica**

La unidad aritmética y lógica (ALU, arithmetic logic unit), realiza operaciones aritméticas y lógicas sobre dos palabras binarias. Esta unidad contiene una circuitería delegada a desarrollar funciones de cálculo y manipulación de datos. La salida suele poseer también un bit de acarreo para resultados mayores al tamaño de la palabra binaria o para resultados negativos. Además, pueden generar un bit de acarreo medio, para palabras de más de 4 bits.

#### **3.1.4.8. Microprocesadores**

Un microprocesador es elementalmente una computadora de pequeñas dimensiones, esto es un chip que es capaz de realizar algunas operaciones computacionales. Una computadora esencialmente consta de los siguientes elementos: una memoria, una unidad de control, una unidad aritmética y lógica (ALU), y una serie de registros. Una computadora tradicional posee una gran capacidad de cálculo (por ej., un Pentium dispone de una ALU de 32 bits), pero conlleva una circuitería asociada que ocupa un gran espacio, además de accesorios de memoria de gran capacidad de almacenaje. Un microprocesador, en cambio, normalmente posee una capacidad de trabajo menor (8 bits), pero también la circuitería asociada ocupa menos espacio. Un microprocesador es, entonces, apto para tareas específicas que no requieran almacenar una gran cantidad de datos y se requiera una modesta capacidad de cálculo.

### **3.2 Sonómetros y Sonómetros Integradores <sup>(1)</sup>**

Debido a la complejidad de operación del oído humano, en el presente no es posible diseñar un aparato objetivo de medición del ruido para dar resultados que sean absolutamente comparables, para todo tipo de ruido, con aquéllos que se obtienen por métodos subjetivos. Sin embargo, se considera importante estandarizar un aparato por el cual pueda medirse el sonido bajo condiciones definidas con precisión, de modo que los resultados que se obtienen por los usuarios de tal aparato sean siempre reproducibles dentro de tolerancias establecidas. El objetivo de la Norma IEC 651 es asegurar, en la práctica, una exactitud y estabilidad especificada de un sonómetro particular, y reducir a un mínimo práctico cualquier diferencia en mediciones equivalentes obtenidas con dispositivos de fabricaciones y modelos diversos que satisfagan los requisitos de la Norma IEC 651. Mientras, la Norma IEC 804 la complementa, ampliando el alcance pues describe instrumentos que permiten medir frecuencias ponderadas y tiempos promedios de niveles de presión de sonido.

A continuación se presentan las características generales que deben tener los sonómetros que corresponden a las especificadas en las Normas IEC, Publicaciones 651 y 804.

---

<sup>1</sup> Ver Ref. 3

### 3.2.1 Características Generales

Un sonómetro es, generalmente, una combinación de un micrófono, un amplificador con ponderación de frecuencia controlada, y un dispositivo detector-indicador con características de ponderación de tiempo controladas.

Las lecturas del sonómetro bajo condiciones de referencia deben ser exactas, dentro de los siguientes valores:

**Tabla 4.** Exactitud exigida para cada tipo de sonómetro.

<u>Tipo de sonómetro</u>	<u>Exactitud exigida, dB</u>
0	$\pm 0,4$
1	$\pm 0,7$
2	$\pm 1,0$

Idealmente, un sonómetro es igualmente sensible a los sonidos que provienen de cualquier ángulo de incidencia.

Si el sonómetro es operado mediante baterías, deben proveerse medios para comprobar que se mantiene un voltaje adecuado para operar el instrumento de acuerdo con las especificaciones.

Después de un período de calentamiento o puesta a punto, que debe especificar el fabricante (pero no inferior a 10 min. de duración), la lectura no debe cambiar dentro de 1 hora de operación continua bajo condiciones de ensayo en un rango mayor a los valores que se presentan en la Tabla 5.

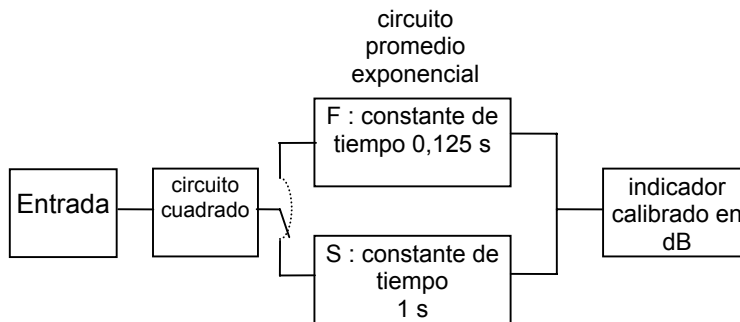
**Tabla 5.** Cambio máximo de la lectura (dB) durante 1 h de operación

Tipo de sonómetro		
0	1	2
0,2	0,3	0,5

### 3.2.2 Características del Detector e Indicador

La indicación del sonómetro, sea con característica de detector-indicador Fast o Slow en operación, debe ser el valor r.m.s. de la señal, siendo el tiempo promedio especificado diferentemente para Fast y Slow.

En principio, un instrumento que posea un detector-indicador con características Fast y Slow corresponde al diagrama esquemático de la figura 2 siguiente :



**Figura 2**

Cuando la señal aplicada se hace cesar repentinamente el detector-indicador debe declinar en 10 dB en un tiempo de 0,5 segundos o menos para Fast y de 3 segundos o menos para Slow.

Cuando se provee un indicador digital u otro indicador con display discontinuo (ej. LEDs), el sonómetro debe incluir un modo en el cual el nivel ponderado de presión de sonido, en un intervalo de medición, se almacena en el display. También pueden incluirse modos adicionales en los cuales el display es mantenido, automáticamente, en intervalos fijados o en comandos. El modo de promediar, si existe, debe indicar el nivel r.m.s.

Nota : Cuando un instrumento incluye modos de display automático, el tiempo de ciclo de los modos, debería ser de una vez por segundo.

Cuando en un formato digital se dispone de los resultados por acción de un impulso eléctrico, debe establecerse la velocidad de salida. Un display digital debe tener una resolución de 0,1 dB o mejor.

Cuando se utiliza un display analógico discontinuo, se permite una resolución reducida, ésta debe ser igual o mejor que 0,2 dB en los instrumentos de Tipo 0 y 1, de 1 dB en los instrumentos de Tipo 2.

### **3.2.3 Requisitos generales de los Sonómetros Integradores**

En vez de un sonómetro integrador completo, es admisible la combinación de un sonómetro que satisface la norma IEC-651 y un accesorio anexo que se le pueda conectar que provea la aptitud de promediar, si el sistema completo cumple con la Norma IEC 804.

### **3.2.4 Características Generales de los Sonómetros Integradores**

La señal de salida del micrófono es amplificada y ponderada de frecuencia cuando se requiera. El sonómetro integrador debe incluir un indicador de sobrecarga.

### **3.2.5 Sonómetro de Precisión Brüel & Kjær Tipo 2209<sup>(2)</sup>**

El sonómetro B&K 2209 reconoce los requerimientos de las Normas IEC 651 Tipo 1, DIN 45633 parte 1 y ANSI S.1.4-1971 Tipo 1 para sonómetros de precisión, además de las Normas IEC 651 Tipo 1 (Imp.) y DIN 45633 parte 2 para sonómetros que miden impulsos.

El modelo 2209 contiene un micrófono de condensador, un preamplificador removible, un amplificador atenuador de entrada, una red de frecuencias ponderadas seleccionable, un amplificador atenuador de salida, y un circuito detector medidor de bobina móvil. Un oscilador de referencia incluido proporciona una prueba de lectura de amplificadores y circuito de medición.

---

<sup>2</sup> Ver Ref. 5



### **3.2.5.1 Micrófono**

El modelo 4165 es un micrófono de condensador de precisión que se ha probado que sea altamente estable y confiable. Tiene una respuesta lineal en campo libre cuando la onda sonora incide en 0°. El 2209 tiene una respuesta lineal en campos difusos como lo requiere la Norma ANSI S.1.4-1971 Tipo 1. El 2209 también reconoce los requerimientos de omnidireccionalidad de la IEC y la ANSI.

La sensibilidad típica es de 50 mV/Pa con voltaje de polarización estándar de 200V. El 4165 no es afectado por amplios rangos de temperatura y humedad. El diafragma está revestido de cuarzo para protegerlo contra ambientes húmedos y corrosivos.

### **3.2.5.2 Preamplificador Removible**

El preamplificador de entrada tiene una alta impedancia de entrada para permitir mediciones en bajas amplitudes y bajas frecuencias con micrófonos y acelerómetros de alta impedancia. Debido a que el preamplificador es removible y permanece junto al micrófono, se pueden usar cables de larga extensión para ubicar el micrófono en lugares remotos. Cables largos producen poco o ningún efecto en la respuesta en frecuencia excepto en niveles sonoros muy altos.

### **3.2.5.3 Amplificador**

Los amplificadores de entrada y salida están precedidos, cada uno, por un atenuador, las disposiciones son controladas por dos selectores de rango concéntricos en el panel frontal del instrumento. Un oscilador de calibración de referencia es acompañado por un sistema de potenciómetro de ajuste de la ganancia. La respuesta de frecuencia del sistema es lineal dentro de 1 dB a 70 kHz. Es posible seleccionar las redes de ponderación A, B, C o D o se pueden insertar filtros externos entre el amplificador de entrada y el de salida.

La segunda sección del amplificador de salida suministra  $0,5 V_{rms}$  en deflexión completa de la escala hacia la salida de corriente alterna. Alternativamente,  $5 V_{rms}$  se pueden obtener de la tercera sección cuando el switch del medidor es ubicado en "Batt. (Rec)".

### **3.2.5.4 Detector**

El detector RMS puede medir señales con factores de cresta tan altos como 40, es decir, 32 dB sobre el nivel RMS. El detector proporciona 3 constantes de tiempo: "Impulse", "Fast" y "Slow" de acuerdo con los estándares para sonómetros de precisión e impulso. El tiempo de decaimiento del circuito impulso es de 3 segundos. Esto corresponde a la constante de tiempo de decaimiento del circuito detector peak requerido en la IEC 651. "Impulse Hold" permite que el nivel RMS máximo medido con la constante de tiempo "Impulse" sea guardado como una

deflexión permanente para facilidad en medición de sonidos impulsivos. El 2209 también tiene un detector “Peak Hold” para medición del verdadero valor peak de señales de ruido y vibración. El tiempo de subida del detector es aproximadamente 10  $\mu$ s.

### 3.2.5.5 Salida de Corriente Continua

Esta salida proporciona un voltaje de corriente continua a partir del rectificador del medidor. Dando 0,8 V (circuito abierto) para deflexión de la aguja en escala completa, con una impedancia de salida de 25 k $\Omega$ . La lectura de la medición no es afectada por la carga de esta salida. La salida acepta plug JP0006 o cable AO0007. Se puede observar en el diagrama que la salida DC está en una etapa posterior al detector RMS y paralela al medidor.

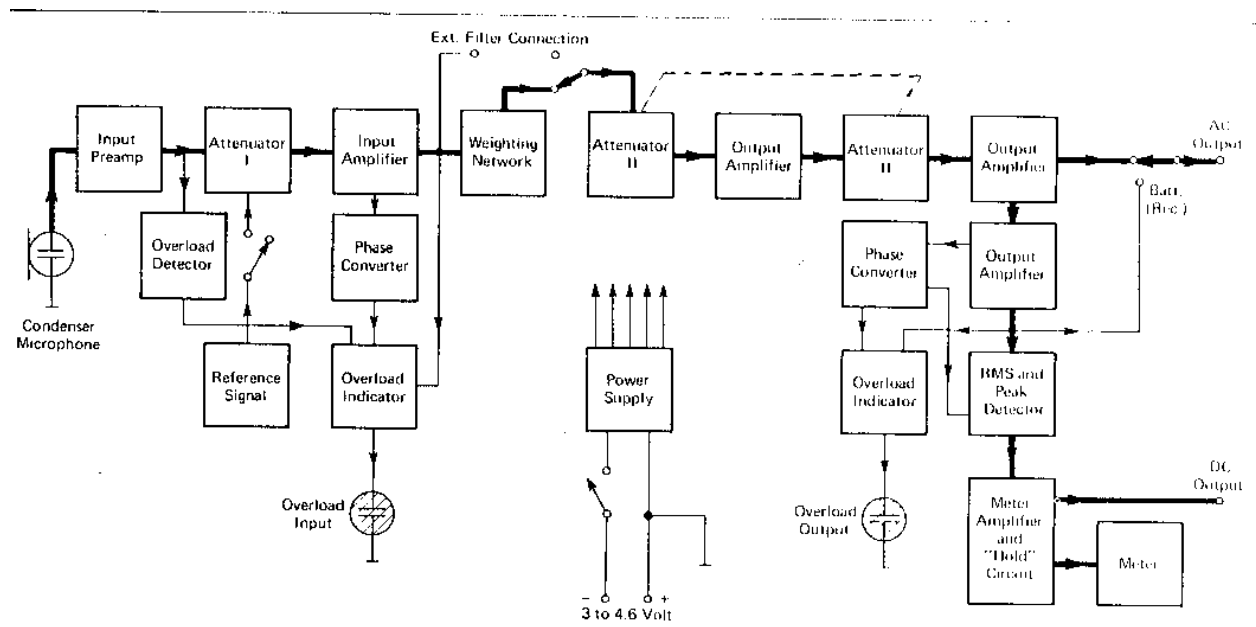


Figura 3. Diagrama de bloques del sonómetro B&K 2209.

### 3.3 Parámetros Descriptores de Ruido<sup>[11]</sup>

El sonido es un fenómeno variable lo que exige para su caracterización el empleo de parámetros que consideren esta característica, bien reflejándola o bien mediante la obtención de niveles promedio representativos del fenómeno.

La medida instantánea del nivel de presión sonora,  $L_p$ , permite observar la evaluación del ruido en el tiempo, pero no permite valorar su suceso.

$$L_p = 20 \log \left( \frac{P}{P_0} \right) \quad [\text{dB}]; \quad (1)$$

$P$  = Presión sonora RMS, medida en Pa,

$P_0$  = Presión sonora de referencia (20  $\mu\text{Pa}$ ).

#### 3.3.1 Nivel Continuo Equivalente

Es el nivel continuo que tiene la misma cantidad de energía sonora sobre un intervalo de tiempo determinado que la variación del nivel sonoro existente durante el intervalo.

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \left( \frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \quad [\text{dB}]; \quad (2)$$

$p(t)$  = presión sonora en el tiempo, medido en Pa,

$p_0$  = presión sonora de referencia (20  $\mu\text{Pa}$ ),

$T$  = intervalo de tiempo que transcurre durante la medición.

Sin embargo, si disponemos de un sonómetro que sólo sea capaz de medir nivel “instantáneo” (valor RMS en un corto intervalo de tiempo), entonces se puede calcular Nivel Equivalente a través de la siguiente fórmula:

$$L_{eq} = 10 \log \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i \right] \quad [\text{dB}]; \quad (3)$$

$P_i$  = presión sonora RMS en cada intervalo muestreado; en Pa,

$N$  = número total de muestras.

## 4 METODO Y MATERIALES

El trabajo consta de tres etapas en su desarrollo: diseño, programación y fabricación. En el diseño se describe cada componente utilizado en el circuito así como su montaje en un soporte provisorio. Luego se procede a la programación del microprocesador principal. Por último, se cambia el montaje provisorio a uno definitivo para su presentación como producto terminado.

### 4.1 Diseño

Basándose en el circuito de un termómetro digital<sup>(3)</sup>, se inició el diseño del circuito del integrador. El termómetro posee cuatro componentes principales: un sensor piezoeléctrico de temperatura, un conversor análogo digital ADC 0809, un microprocesador PIC16F84 y una pantalla LCD controlado por el microprocesador, además de otros componentes de apoyo. Todo conectado a un voltaje de 5 volts continuos. Este circuito permite calcular la temperatura en grados Celsius o Fahrenheit, pero su programación no permite guardar datos.

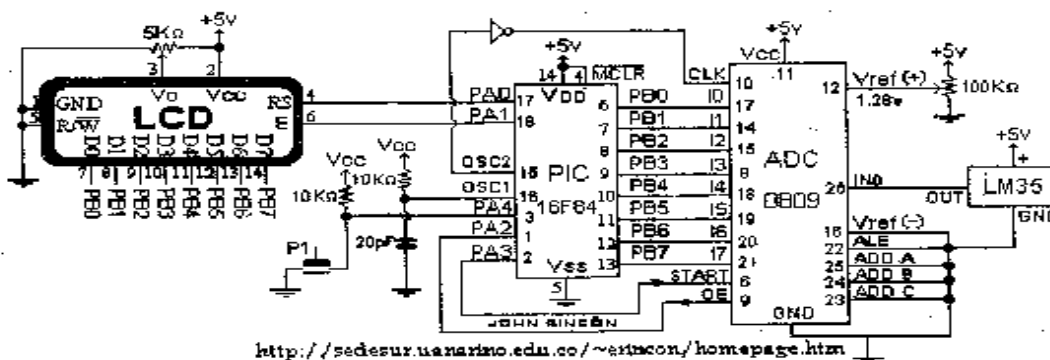


Figura 4. Diagrama de conexión de un termómetro digital.

<sup>3</sup> Ver Ref. 9

Con este modelo, se inicia la investigación de los componentes que pueden ser utilizados en el circuito de acuerdo a tres factores:

➤ Disponibilidad en el mercado: la información sobre circuitos integrados es muy amplia, desde puertas lógicas a unidades robóticas de nanoelectrónica; pero, sólo se puede contar con unos pocos de estos dispositivos en el mercado interno debido a la poca investigación y desarrollo en esta área tecnológica.

➤ Disponibilidad de softwares y manuales: mucha de la información que se puede obtener es meramente comercial, la cual no describe bien las características electrónicas o, incluso, las características básicas de conexión del producto. Entonces, impide un análisis detallado de los componentes y conlleva su descarte por falta de información.

➤ Costo comercial: Uno de los objetivos de este trabajo es la fabricación a bajo costo del dispositivo. Esto es, tratar de mantener el costo total del producto por bajo los \$40.000.- que es la cifra estimada a invertir en este proyecto.

El circuito, así, debe constar con 4 partes:

- 1 unidad microprocesadora central,
- 1 conversor análogo digital,
- 1 conjunto de visualización compuesto por decodificadores BCD a 7 segmentos y pantallas digitales de diodos LEDs de 7 segmentos más punto decimal.
- 1 sistema de selección de escala conformado por un segundo microprocesador y un codificador decimal a BCD.

Los cambios efectuados al diseño base se deben a distintos factores. Se había considerado el uso de una pantalla LCD, pero se obtenía muy bajo contraste lo cual implicaba que debía usar una ampolleta especial para ver los dígitos, la cual consume demasiada energía para el circuito, por lo tanto, la pantalla se reemplazó por un arreglo de 4 dígitos LEDs de 7 segmentos. La pantalla LCD del termómetro era manejada por el microprocesador, pero como ahora el chip necesitaba manejar cuatro pantallas, además de conservar datos y efectuar la transformación logarítmica, fue necesario dejar que el manejo del arreglo de visualización fuera efectuado por decodificadores BCD a 7 segmentos.

El sensor no es necesario, pues el sonómetro B&K es el que realiza esta operación, entregando un voltaje continuo proporcional a la presión sonora RMS recibida por el micrófono.



El sonómetro B&K trabaja por escalas para mejorar la calidad de la medición, entonces el dispositivo integrador también debe adaptarse para este propósito. Entonces se requiere un codificador decimal a BCD para transformar la escala seleccionada en un número binario y el otro microprocesador que permite que la escala de trabajo del microprocesador principal sea modificada en su salida. Este esquema sólo permite hacer mediciones en una única escala por sesión de trabajo.

Además de los componentes principales, se requiere un conjunto de dispositivos auxiliares que se detallan a continuación:

- 1 perilla de 9 posiciones para elegir la escala de trabajo.
- 1 resistencia trimer (potenciómetros) de  $10\text{ K}\Omega$ , 1 resistencia fija de  $10\text{ k}\Omega$  y 2 condensadores de  $22\text{ pF}$ , para los circuitos de relojería de ambos microprocesadores.
- 1 puerta lógica inversora, para coordinación de relojería entre el microprocesador y el conversor. También, es usada para la conexión del dígito de las centenas.
- 1 interruptor de encendido.
- 2 pulsadores y 2 resistencias de  $10\text{ k}\Omega$ . Uno para PAUSA y el segundo para ver momentáneamente SPL (Nivel de Presión Sonora presente).
- Varias resistencias de  $1\text{ K}\Omega$  para limitar la corriente de entrada de algunos componentes.

- 1 resistencia trimer de 100 kΩ para divisor de tensiones utilizado en una entrada del conversor análogo digital.
- 1 regulador de voltaje 7805 para que entregue 5 volts continuos al circuito, sin importar el voltaje de entrada.

También se requieren elementos que permitan el funcionamiento correcto del dispositivo, los cuales no forman parte del circuito básico:

- 1 batería de 9 volts, alcalina para mayor duración.
- 1 cable plug JP0006 – plug mono tipo audífono, para conectar el sonómetro al dispositivo.
- Varios LEDs indicadores de estado (escala, SPL, encendido, pausa).

#### **4.1.1 Microcontrolador de 8 bits con memoria Flash/EEPROM de 18 pines**

##### **PIC16F8X<sup>[6,9,10]</sup>**

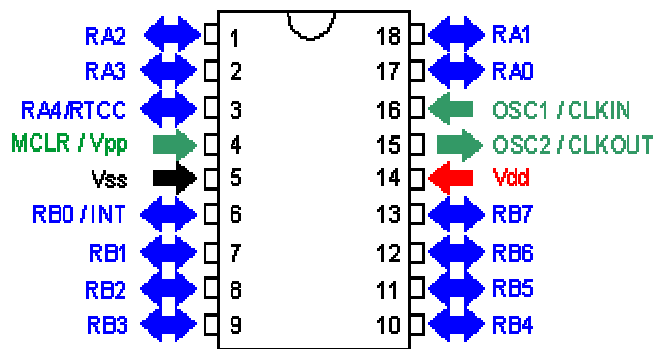
Este es un microprocesador o microcontrolador fabricado por Microchip Technology Inc., que luce como cualquier circuito integrado básico pero que internamente dispone los siguientes elementos:

- Una Unidad Central de Procesamiento (CPU, Central Processor Unit).
- Una memoria Flash/EEPROM.
- Una memoria RAM.

- Una serie de líneas de entrada/salida para manejar dispositivos externos o recibir impulsos de sensores, pulsantes, etc., así como una serie de dispositivos auxiliares para su funcionamiento tales como generadores de reloj, bus, contadores, etc.

La presencia de todos estos dispositivos en un espacio extremadamente reducido, le da al diseñador enormes ventajas derivadas del uso de un sistema a microprocesador, sobre todo porque posee una memoria interna que permite guardar datos, no sólo resultados transitorios, y un sistema de programación en línea, que permite programar el chip sin desmontarlo del circuito.

Los integrados de la familia PIC16F8X poseen una estructura externa de 18 pines de conexión: 13 de entrada/salida, 2 de reloj, 2 de energía y 1 de reset.



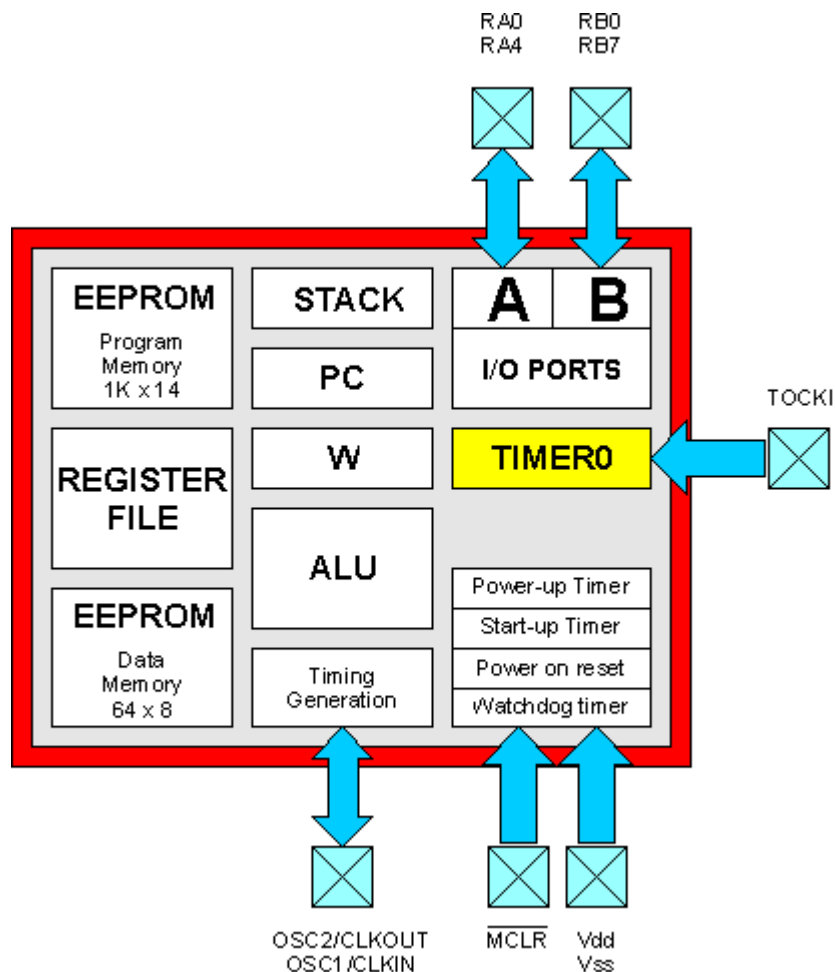
**Figura 5.** Diseño de pines del PIC16F84

**Foto 1.** PIC16C84

**Tabla 7.** Descripción de pines del PIC16F84.

Pin	Nombre	Descripción
1	RA2	Línea de entrada/salida programable.
2	RA3	Línea de entrada/salida programable.
3	RA4/RTCC	Línea de entrada/salida programable. /Línea de entrada del reloj en programación.
4	MCLR/V <sub>pp</sub>	Master Clear con entrada en 0 lógico. /Entrada de Tensión de Programación.
5	V <sub>ss</sub>	Conectado al negativo de la alimentación.
6	RB0/INT	Línea de entrada/salida programable. /Entrada de interrupción.
7	RB1	Línea de entrada/salida programable.
8	RB2	Línea de entrada/salida programable.
9	RB3	Línea de entrada/salida programable.
10	RB4	Línea de entrada/salida programable.
11	RB5	Línea de entrada/salida programable.
12	RB6	Línea de entrada/salida programable.
13	RB7	Línea de entrada/salida programable.
14	V <sub>dd</sub>	Conectado al positivo de la alimentación (2-6V).
15	OSC2/CLKOUT	Línea de conexión para reloj de cuarzo. /Salida de reloj en modo RC.
16	OSC1/CLKIN	Línea de conexión para reloj de cuarzo. /Entrada de reloj en modo RC.
17	RA0	Línea de entrada/salida programable.
18	RA1	Línea de entrada/salida programable.

Los PIC16F8X posee una arquitectura interna<sup>(4)</sup> que se puede simplificar en el siguiente esquema.



**Figura 6.** Esquema interno del PIC16F84

- La EEPROM Program Memory es una memoria especial que tiene una capacidad de 1024 posiciones de memoria, cada una en grado de contener un opcode (operative code, código operativo) de 14 bits, es decir que el programa no podrá contener más de 1024 líneas.

<sup>4</sup> Ver Ref. 6

- El Register File es un conjunto de posiciones de memoria RAM denominadas *Registros*. Contrariamente a la memoria EEPROM destinada a contener el programa, el área de memoria RAM es directamente visible por el programa mismo. Entonces, podemos escribir, leer y modificar cada posición del Register File cada vez que sea necesario. Sin embargo, algunos de estos registros desarrollan funciones especiales para el PIC y no pueden ser usados para otra cosa y no pueden ser cambiados de lugar. Estos registros especiales se encuentran en las primeras doce posiciones de ambas páginas del Register File. Las posiciones de memoria presentes son direccionables directamente en una longitud de memoria dos páginas de 84 bytes cada una.

File Address		File Address	
00h	Indirect addr. <sup>(1)</sup>	Indirect addr. <sup>(1)</sup>	80h
01h	TMR0	OPTION	81h
02h	PCL	PCL	82h
03h	STATUS	STATUS	83h
04h	FSR	FSR	84h
05h	PORTA	TRISA	85h
06h	PORTB	TRISB	86h
07h			87h
08h	EEDATA	EECON1	88h
09h	EEADR	EECON2 <sup>(1)</sup>	89h
0Ah	PCLATH	PCLATH	8Ah
0Bh	INTCON	INTCON	8Bh
0Ch			8Ch
	68 General Purpose registers (SRAM)	Mapped (accesses) in Bank 0	
4Fh			CFh
50h			D0h
7Fh			FFh
	Bank 0	Bank 1	

**Figura 7.** Mapa del Register File

**Tabla 8.** Registros especiales del Register File

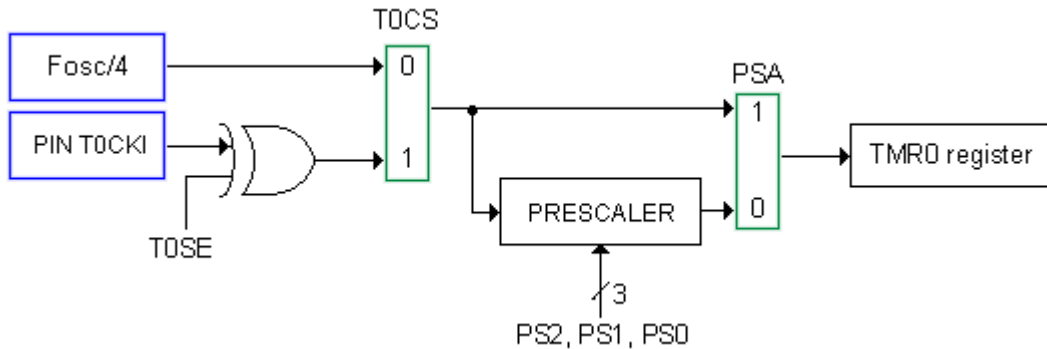
Posición	Registro	Descripción
00	Indirect address	Usa el contenido de FSR para direccionar memoria de datos (no es un registro físico)
01	TMR0	Contador independiente regular programable.
02	PCL	Contador del programa, no regular.
03	STATUS	Indica el estado de la ALU, el hardware y puede direccionar a una de las dos páginas.
04	FSR	Puntero de dirección de memoria de datos indirecto.
05	PORTA	Registro de la puerta A.
06	PORTB	Registro de la puerta B
07		Sin dato.
08	EEDATA	Registro temporal de la EEPROM Data Memory.
09	EEADR	Registro de ubicación de la EEPROM Data Memory.
0A	PCLATH	Registro temporal de ayuda a PCL.
0B	INTCON	Control de interrupciones.
80	Indirect address	Ver 00
81	OPTION	Control de configuración de TMR0 y Prescaler.
82	PCL	Parte superior del registro contador de programa.
83	STATUS	Ver 03
84	FSR	Ver 04
85	TRISA	Determina si los bits de la puerta A son de entrada o de salida.
86	TRISB	Determina si los bits de la puerta B son de entrada o de salida.
87		Sin dato.
88	EECON1	Control de funcionamiento de la EEPROM Data.
89	EECON2	Habilita escritura de la EEPROM Data.
8A	PCLATH	Ver 0A
8B	INTCON	Ver 0B

- La EEPROM Data Memory es un área particular de memoria de 64 bytes en la cual podemos escribir valores numéricos de salida en caso de fin de la tensión. Esta sección de memoria es útil, por ejemplo, para guardar códigos de acceso.

- Stack es una memoria de 8 niveles LIFO (Last In First Out, último en entrar primero en salir), que conserva el último valor del contador antes de éste salte por una llamada a subrutina. Su tipo de memoria LIFO permite que pueda nidificar hasta 8 subrutinas una dentro de otra.
- El Program Counter (PC, contador de programa o PCL) es un registro especial que se actualiza con la dirección de la última instrucción del programa a ejecutar. Es un registro que se incrementa a menos que sea modificado por las instrucciones GOTO, CALL o SKIP.
- El registro Acumulador (W) consiste en una simple posición de memoria de 8 bits que se usa para conservar un resultado temporalmente.
- La ALU es la componente más compleja de los PIC por cuanto contiene toda la circuitería delegada a desarrollar las funciones de cálculo y manipulación de los datos durante la ejecución de un programa. La ALU del PIC16F84(A) está en grado de operar valores de hasta 8 bits, es decir, no mayores a 255 decimal. Su resultado puede ser direccionado al acumulador o a un registro.
- El Generador de Tiempo, u Oscilador, es el que establece la velocidad del contador de programa, es decir la velocidad de funcionamiento del PIC. Puede ser programado para funcionar a través de un cuarzo externo o un circuito RC. Esto es programado por un registro especial llamado Configuration Word.
- Las líneas de entrada/salida A y B corresponden a los registros PORTA y PORTB del Register File, pero su programación como entrada o salida viene dada por los registros TRISA y TRISB. La puerta B es una puerta completa de 8 bits que normalmente, no necesariamente, es usada como puerta de datos, y la puerta A sólo posee 5 bits, por lo cual suele usarse como puerta de control.



- El Timer0 es un contador cuyo contenido es incrementado con una cadencia regular y programable directamente por el hardware del PIC, a través de varias alternativas que se observan a continuación.



**Figura 8.** Cadena de bloques internos del PIC que determinan el funcionamiento del registro TMR0.

- El Power-up Timer (PWRT), reloj de pausa, proporciona una interrupción nominal de 72 ms fijos por la entrada de reset y puede ser programado por la Configuration Word.
- El Oscillator Start-up Timer (OST), reloj oscilador de inicio, proporciona un retardo de 1024 ciclos de reloj después que el PWRT finaliza. Esto asegura la estabilización del oscilador.
- El Power-on Reset (POR), reset de encendido, genera un pulso cuando la entrada MCLR es llevada a menos de 1,7 V que produce un reset en el contador, pero no un reset interno de los registros. Para evitar su uso accidental, se suele conectar el pin MCLR siempre al positivo de la señal.
- El Watchdog Timer, reloj del perro guardián, es un oscilador libre interno del PIC que no necesita ningún componente externo. Es usado para

interrupciones, donde el oscilador externo es detenido, pero el WDT sigue funcionando para indicar cuando se debe volver a iniciar el programa.

Por último, se otorgan algunas características operativas generales del PIC16F84X:

- Rango de Voltaje, en modo RC: 4 a 6 Volts.
- Consumo: <2 mA.
- Frecuencia de trabajo: 4 MHz máx.
- Dimensiones (mm): 22,73 largo x 6,48 ancho x 3,94 alto; pines 3,3 largo.
- Peso: 300 mg

#### 4.1.2 Conversor Análogo Digital con 8 Canales Multiplexer compatible con Microprocesadores de 8 bits ADC0808/ADC0809<sup>[8]</sup>

El ADC0808/ADC0809 es un conversor análogo digital fabricado por National Semiconductor Corp. que usa aproximaciones sucesivas como técnica de conversión. Ofrece alta velocidad, alta exactitud, mínima dependencia de temperatura, excelente repetibilidad y exactitud a largo plazo, y mínimo consumo de potencia. Tiene una resolución de 8 bits, un error de desajuste de  $\frac{1}{2}$  LSB<sup>(5)</sup> (0808) o 1 LSB (0809), requiere 5 volts de alimentación, consume 15 mW y demora 100 $\mu$ s en realizar la conversión.

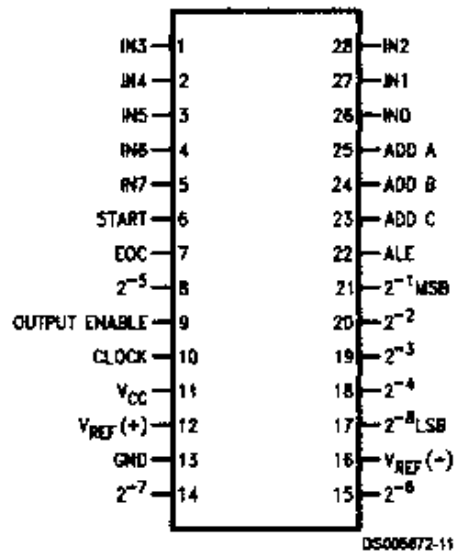


Figura 9. Diagrama de conexión ADC0808

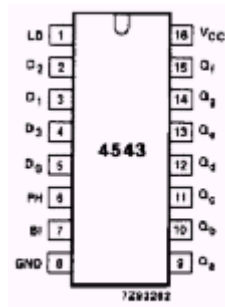
<sup>5</sup> LSB (Less Significant Bit), corresponde al ancho de un intervalo (bit) medido en voltaje.

El conversor A/D 0808/0809 debe ser conectado de la siguiente manera:

- Los pines  $2^{-1}$ ,  $2^{-2}$ , etc., que son las salidas del dato binario, a la puerta de entrada del PIC, para recibir los datos del ADC.
- Los pines Start y Output Enable a salidas de control del PIC, que le deben decir al PIC que efectúe la conversión (Start) y que envíe el dato al PIC (OE).
- Los pines ADDA, ADDB y ADDC, que son las líneas de dirección de multiplexación, serán conectadas a tierra pues sólo usamos la línea de entrada IN0. Además, el pin ALE también debe ser llevado a tierra. Este pin permite el cambio del canal de entrada.
- El pin de Clock está siempre conectado a la salida CLKOUT del PIC, para recibir la señal de reloj que permita el funcionamiento interno del ADC. Esta conexión debe pasar por una puerta inversora debido a que el ADC trabaja con la subida de la oscilación, al contrario del PIC.
- El pin  $V_{cc}$  es conectado al positivo de la alimentación y el pin GND al negativo.
- El pin IN0 es conectado a la salida del sonómetro que se considera el voltaje de entrada,  $V_{IN}$ , sobre el cual se produce la conversión.
- Los pines  $V_{REF(+)}$  y  $V_{REF(-)}$  son conectados a divisores de tensión de tal manera que entreguen el rango de trabajo de conversión del ADC.
- Los demás pines no requerirán conexión, pues son entradas no utilizadas.

### 4.1.3 Decodificadores BCD a 7 Segmentos HEF4543BP<sup>[7]</sup>

Los decodificadores HEF4543BP son fabricados por Philips Semiconductor y están diseñados para su uso con pantallas LCD, sin embargo permiten el manejo de pantallas de diodos LEDs con Ánodo o Cátodo común.



**Figura 10.** Asignación de pines del HEF14543BP

- Las entradas D van conectadas a las salidas de ambos PIC.
- Las salidas Q van conectadas a las entradas de las pantallas.
- LD indica el inicio de la decodificación, entonces es conectado a alguna salida de control del PIC principal o directamente a positivo.
- PH es la entrada de reloj cuando los 4543 controla pantallas LCD, pero en el caso de conectarse a pantallas de diodos LEDs de cátodo común, entonces va conectada a negativo.
- BI es un pin de reset, por lo tanto debe ser mantenido en negativo.

El integrado realiza la siguiente conversión:

**Tabla 9.** Decodificación BCD a 7 Segmentos del HEF4543BP (cátodo común)

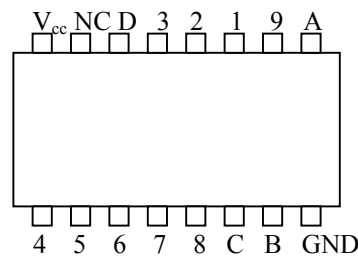
Entradas							Salidas							Pantalla
LD	BI	Ph	D <sub>3</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>0</sub>	Q <sub>a</sub>	Q <sub>b</sub>	Q <sub>c</sub>	Q <sub>d</sub>	Q <sub>e</sub>	Q <sub>f</sub>	Q <sub>g</sub>	
x	1	0	x	x	x	X	0	0	0	0	0	0	0	Nada
1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1
1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	2
1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	3
1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	4
1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	5
1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	6
1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	7
1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	8
1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	9
1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Nada
1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Nada
1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Nada
1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Nada
1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Nada
1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Nada
0	0	0	x	x	x	X	Depende del código previamente aplicado							

#### 4.1.4 Pantallas de Diodos LEDs de cátodo común.

Las pantallas se conectan a las salidas Q de los decodificadores. Además, sus pines centrales van conectados a tierra, pues son pantallas de cátodo común, y son dos para limitar el paso de corriente por el dispositivo (Figura 1).

#### 4.1.5 Codificador de Prioridad Decimal a BCD 74LS147.

El codificador, junto con un sistema de perilla, permitirá seleccionar el rango de trabajo. Posee 9 entradas, etiquetadas por números, que serán conectadas al sistema de perilla, el cual debe llevarlas a tierra para ser leídas. Las salidas, etiquetadas por letras, deben conectarse directamente al PIC, a pesar de que estén invertidas, por lo cual el PIC deberá reinvertirlas antes de trabajar con esta información. Este tipo de conversión, a tierra y no a positivo, se debe a que el codificador actúa por prioridad, es decir, si dos entradas ven conectadas al mismo tiempo, el dispositivo siempre elige la mayor. Además, posee dos pines de alimentación.



**Figura 11.** Diagrama de conexión del 74LS147.

#### 4.1.6 Puerta Inversora.

Esta puerta lógica recibe una señal por cualquiera de sus entradas y la invierte por cada salida respectiva. Posee 6 módulos de inversión, con entradas y salidas sucesivas, además de dos pines de alimentación. Luce como un chip de 14 pines.

## 4.2 Programación

Una vez que se ha montado el circuito, se debe proceder a programar el PIC.

Para esto, se debe contar con un sistema con los siguientes elementos:

- Un software que permita escribir el programa en algún lenguaje de programación (Pascal, C o Assembler);
- Un software compilador que convierta el programa escrito en un lenguaje de programación (códigos mnemotécnicos y direcciones simbólicas), en un programa escrito en lenguaje de máquina (series de unos y ceros) que el microcontrolador interpreta como sus códigos de operación y direcciones reales, los cuales se conservan en un archivo .HEX;
- Un sistema programador que lleve el programa binario desde el PC hacia el microcontrolador PIC.

### 4.2.1 Assembler<sup>[10]</sup>

Para escribir el programa se ha preferido hacerlo directamente en lenguaje de máquina o Assembler. Esta forma de programación se basa en un conjunto de instrucciones propia a cada microprocesador, 37 para los PIC16F8X, más algunas palabras, directivas, que establecen algunas definiciones para el hardware y el software. Si bien el programar en Assembler es un tanto engorroso debido a la limitada cantidad de instrucciones, permite establecer de mejor manera los errores de programación que se han cometido, y corregirlos en forma más efectiva. A continuación se describirá el conjunto de instrucciones del PIC16F84:



**Tabla 10.** Conjunto completo de instrucciones reconocidas por el PIC16F84(A).

Sintaxis	Descripción	Resultado
ADDLW k	Le suma una constante al acumulador (W).	$W = W + k$
ADDWF f,d	Suma W con el registro f.	$d = W + f$
ANDLW k	Realiza y lógico entre W y una constante.	$W = W \text{ and } k$
ANDWF f,d	Realiza y lógico entre W y f.	$d = W \text{ and } f$
BCF f,b	Limpia el bit b del registro f.	$f(b) = 0$
BSF f,b	Establece el bit b del registro f.	$f(b) = 1$
BTFSC f,b	Revisa el bit b del registro f y salta si es 0.	$PCL = PCL + 1$ , si $f(b) = 0$
BTFSS f,b	Revisa el bit b del registro f y salta si es 1.	$PCL = PCL + 1$ , si $f(b) = 1$
CALL k	Llama a la subrutina k.	Stack = PCL. PCL → dirección de k.
CLRF f	Limpia el registro f.	$f = 0$
CLRW	Limpia el acumulador.	$W = 0$
CLRWDT	Limpia el contador Watchdog Timer.	WDT = 0
COMF f,d	Complementa f.	$d = \text{No } f$
DECF f,d	Decrementa f.	$d = f - 1$
DECFSZ f,d	Decrementa f y salta si el resultado es 0.	$d = f - 1$ ; $PCL = PCL + 1$ , si $d = 0$
GOTO k	Va a la dirección k.	PCL → dirección de k.
INCF f,d	Incrementa f.	$d = f + 1$
INCFSZ f,d	Incrementa f y salta si el resultado es 0.	$d = f + 1$ ; $PCL = PCL + 1$ , si $d = 0$
IORLW k	Realiza O conjuntivo entre W y la constante.	$W = W \text{ or } k$
IORWF f,d	Realiza O conjuntivo lógico entre W y f.	$d = W \text{ or } f$
MOVLW k	Escribe una constante en el acumulador.	$W = k$
MOVF f,d	Traslada f.	$d = f$
MOVWF f	Escribe en f lo que contenga W.	$f = W$
NOP	Sin operación.	$PCL = PCL + 1$
OPTION	Carga el registro OPTION.	OPTION = W (*)
RETFIE	Vuelve de una interrupción.	
RETLW k	Vuelve de una subrutina con una constante.	$W = k$ ; PCL = Stack
RETURN	Vuelve de una subrutina.	PCL = Stack
RLF f,d	Rota a la izquierda f a través de Carry (C).	$d = f \times 2 + C$
RRF f,d	Rota a la derecha f a través de Carry.	$d = f : 2 + C \times 128$
SLEEP	Lleva al PIC a Modo de Espera.	
SUBLW k	Resta el acumulador a una constante.	$W = k - W$
SUBWF f,d	Resta W a f.	$d = f - W$
SWAPF f	Intercambia los nibbles de f.	Antes $f = 2B$ (h); Ahora $f = B2$ (h).
TRIS f	Carga el registro TRIS.	TRIS = W (*)
XORLW k	Realiza O disyuntivo entre W y la constante.	$W = W \text{ xor } k$
XORWF f,d	Realiza O disyuntivo lógico entre W y f.	$d = W \text{ xor } f$

d puede ser W o f. (\*) No recomendado.

Además del conjunto de instrucciones, existe un conjunto de directivas, que siempre van al principio del programa:

**Tabla 11.** Directivas del PIC16F84A.

Directiva	Descripción
PROCESSOR 16F84A	Describe el microprocesador que se va a programar.
RADIX nnn	Describe el sistema numérico usado: DEC = decimal BIN = binario HEX = hexadecimal
INCLUDE "P16F84A.INC"	Agrega el archivo que se necesitará para traducir el programa.
CONFIG k	Carga el registro de Configuration Word.
K EQU 0xNN	Define los registros en la dirección 0xNN del Register File. La notación numérica corresponde al código hexadecimal.
ORG 0Ch	Inicia la definición de parámetros de más de 1 byte de longitud.
K RES N	Indica que el registro K consta de N bytes.
ORG 00h	Indica el inicio del programa.
END	Indica el fin del programa.

Hay que hacer notar que si los números no corresponden al sistema definido por el programa, entonces se debe escribir a que sistema pertenecen, así:

10d = 10h = 00001010b,

Así también, los números hexadecimales se pueden escribir de dos formas:

2Bh = 0x2B.

En la directiva \_\_CONFIG se describen las características del hardware a través del registro Configuration Word que consta de 14 bits.

CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	PWRTE	WDTE	FOSC1	FOSC0
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-------	------	-------	-------

- Bits 13 al 4: bits de código de protección (CP, Code Protection).
  - 1 = Sin protección.
  - 0 = Toda la memoria está protegida.
- Bit 3: Reloj de pausa disponible(PWRTE, Power-up Timer Enable).
  - 1 = deseable.
  - 0 = disponible.
- Bit 2: Reloj del perro guardián disponible(WDTE, Watchdog Timer Enable).
  - 1 = disponible.
  - 0 = deseable.
- Bits 1 y 0: Selección del Oscilador (FOSC1 y FOSC 0).
  - 11 = Oscilador RC (circuito Resistencia Condensador)
  - 10 = Oscilador HC (Cristal de Alta velocidad)
  - 01 = Oscilador XT (Cristal Resinador)
  - 00 = Oscilador LP (Cristal de Baja potencia)

Nuestra Configuration Word será: 3FFBh; esto es: 3FF indica que los primeros 10 bits son 1, o sea, sin protección, pues necesitamos la posibilidad de cambio en caso de que ocurra algún error; y B = 1011, indica PWRTE y WDTE deseables y un circuito RC para generar la señal de reloj.

Además, recordemos que existe un grupo de 24 posiciones del Register File que pertenecen al sistema y no se pueden definir más que como se indica en la figura 8. De estos registros es interesante, por su importancia, que describamos el registro STATUS:

IRP	RP1	RP0	TO	PD	Z	DC	C
-----	-----	-----	----	----	---	----	---

- Bit 7: Selección de banco de registros (IRP, Indirect Register bank Position). Este registro no lo utiliza este modelo de PIC por lo que debe ser mantenido en cero.
- Bits 6 y 5: Selección de un banco de registros del Register File (RP1 y RP0, Register bank Position). Este modelo de PIC sólo posee dos bancos (páginas) de registros, por lo cual RP1 siempre debe ser mantenido en cero.
  - 00 = Selecciona la página 0.
  - 01 = Selecciona la página 1.
- Bit 4: Compás de espera (TO, Time-out).
  - 1 = En pausa.
  - 0 = Cuando vuelve de un pausa.
- Bit 3: Baja Potencia (PD, Power-down).
  - 1 = Después del encendido o de CLRWDT.
  - 0 = SLEEP.
- Bit 2: Cero (Z, Zero).
  - 1 = Si el resultado de una operación es cero.
  - 0 = Si el resultado de una operación no es cero.

- Bit 1: Dígito Acarreado/prestado (DC, Digit Carry/borrow).
  - 1 = Si el resultado de una operación es mayor a 15.
  - 0 = Si el resultado de una operación es menor o igual a 15.
- Bit 0: Bit de Acarreo/préstamo (C, Carry/borrow).
  - 1 = Si el resultado es mayor a 128.
  - 0 = Si el resultado es menor o igual a 128.

Los bits 4 al 0 son modificados automáticamente durante la ejecución del programa, sin embargo, todos los bits pueden modificados por las instrucciones BSF y BCF en cualquier momento. En las instrucciones RRF y RLF, el bit C conserva el bit desplazado y, luego de otra instrucción de rotación, lo devuelve al registro indicado:



Los bits de acarreo, C y DC, funcionan también como bits de préstamo en el caso de sustracción, en donde actúan con polaridad inversa, es decir, 1 para positivo y 0 para negativo.

Otros registros especiales como OPTION, EEDATA, EEADR e INTCON también pueden modificar disposiciones del hardware y el software del PIC, pero éstos no serán usados en el programa, excepto OPTION cuyo contenido cambiará automáticamente y no será leído ni escrito en forma directa.

Ahora bien, el programa puede ser escrito en cualquier software de escritura (NOTEPAD, WINWORD, WINPAD, etc.) en 3 columnas: la primera contendrá las definiciones de los registros, llamadas y subrutinas; la segunda, las instrucciones y directivas; y la tercera, los registros y bits sobre los que se realiza la instrucción o donde se conservan los resultados.

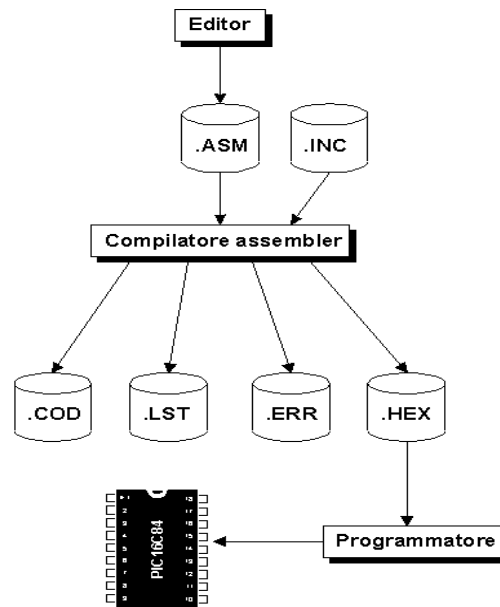
Cada subrutina del programa deberá finalizar con la instrucción RETURN o RETLW y el programa mismo deberá finalizar con la directiva END.

Una vez escrito el programa deberá guardarse el archivo fuente con una extensión .ASM, aunque es posible salvarlo con la extensión del software usado en la escritura, en nuestro caso .TXT.

#### **4.2.2 Compilador<sup>[10]</sup>**

El compilador assembler que se usará es el MPASWIN.EXE, Microchip's Universal Assembler para Windows, producido por Microchip y de distribución gratuita en la página Web de la compañía.

En la siguiente figura se puede ver esquematizado el flujo de operaciones y el archivo que se genera para pasar de un archivo fuente a un PIC programado.



**Figura 12.** Diagrama de flujo de compilación de un archivo assembler.

Como se puede ver, el archivo fuente debe ser acompañado por un archivo, que es entregado por Microchip, con extensión .INC diferente según el tipo de PIC que se esté utilizando (en nuestro caso “P16F84A.INC”). El uso de este archivo queda determinado en el mismo programa o a través de MPASMWIN.EXE (Figura 14).

La compilación genera una serie de archivos con idéntico nombre pero con extensiones distintas:

- .COD es el archivo que contiene el programa en código ASCII,
- .LST es un archivo de texto que contiene todo el archivo fuente y la correspondiente traducción en opcode<sup>(5)</sup>. No es utilizable para la programación del PIC pero es extremadamente útil para verificar los procesos de compilación realizados,

- .ERR contiene la lista de los errores, advertencias y mensajes, así como la línea en la cual fueron encontrados, y
- .HEX que es el archivo que contiene los opcodes hexadecimales que se enviará al PIC.

En el programa MPASMWIN.EXE se procede entonces a elegir el archivo a compilar, así como sus características. Sin embargo, como ya se establecieron las características durante la programación, se elegirá DEFAULT. Por último, se inicia la compilación al seleccionar ASSEMBLE y se confirma más tarde con OK.

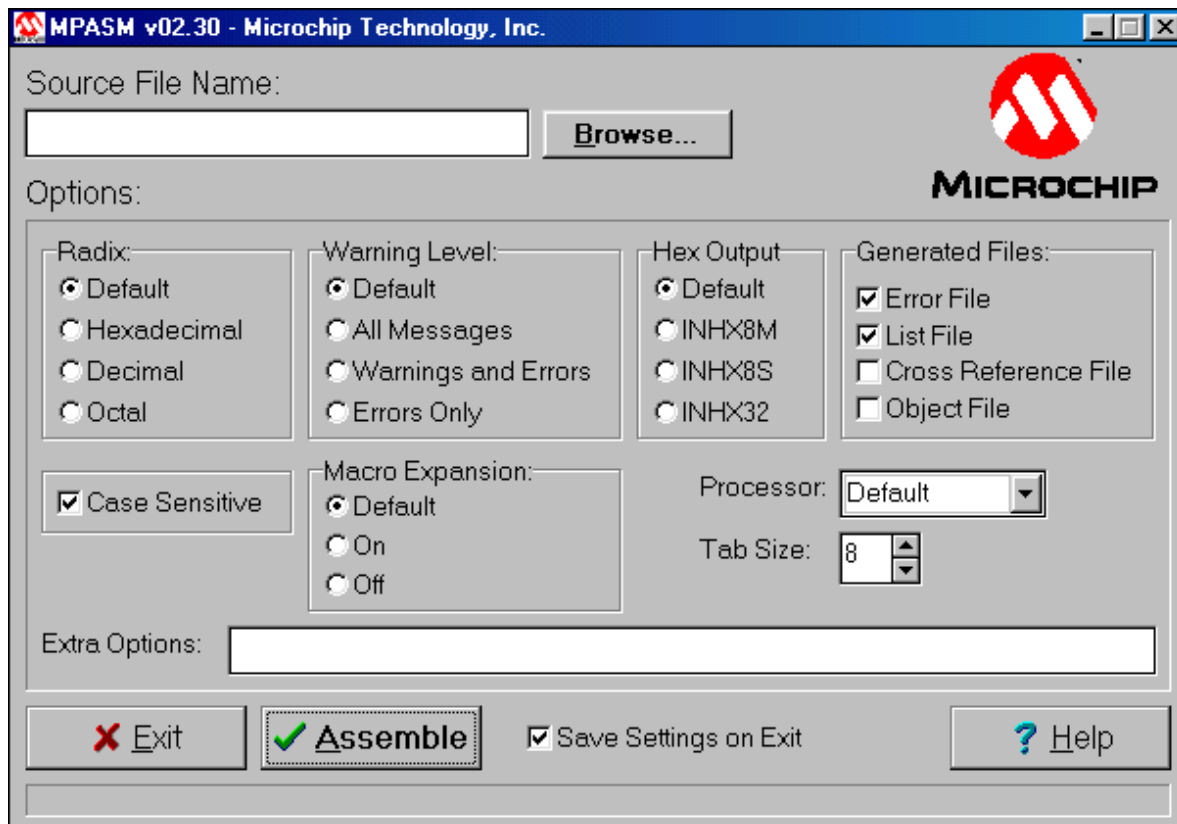


Figura 13. Ventana del programa MPASMWIN 2.30.



### 4.2.3 Programador<sup>[12]</sup>

El sistema que permite insertar el programa dentro del PIC consta de un software y un hardware. El software transforma el archivo .HEX en números binarios seriales, es decir, son cargados a través de una sola línea en el PIC, y el hardware va conectado a la salida LPT1 del computador y debe ser alimentado con un voltaje de programación de 12 a 14 volts.

El programador elegido está disponible en forma gratuita en la red Internet y se denomina “No-parts PIC Programmer (NOPPP)”, que fuera creado por Michael Convington en 1998 y ha sido modificado a partir de entonces con la colaboración de varias personas. De acuerdo a varios de ellos, la efectividad del NOPPP es muy alta, lo cual lo hace una muy buena alternativa frente a programadores profesionales de alto costo de compra y alto costo de operación.

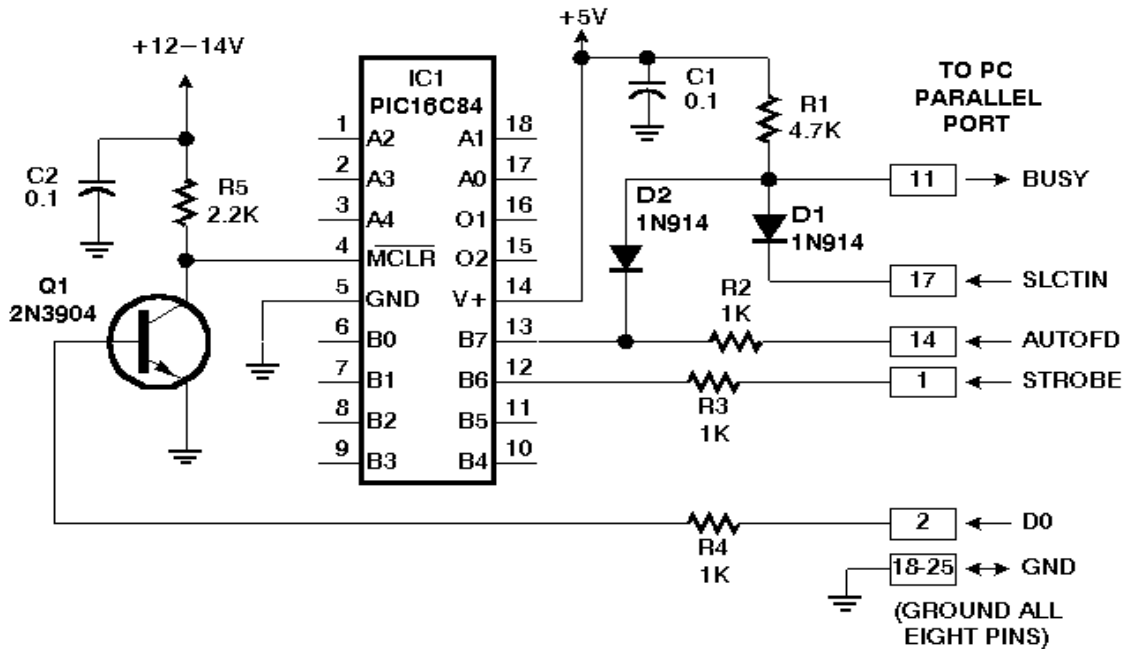
Una de las grandes ventajas de este programador es que posee un sistema que permite verificar si la programación fue exitosa. Y otra es el hecho de que posee un modo de prueba, que permite verificar si la conexión es correcta, así evita que el PIC se quemara por exceso de corriente o por una inversión de corriente, que es más común.

Además, este programador puede ser usado sobre 3 tipos distintos de PIC: 16C84, 16F84(A) o 16F83.

El circuito del NOPPP se puede fabricar a partir del siguiente diseño:

**NOPPP "NO-PARTS PIC PROGRAMMER" – MICHAEL A. COVINGTON, 1998**

START SOFTWARE FIRST; APPLY POWER AND INSERT PIC WHEN TOLD TO DO SO.



**Figura 14.** Diagrama de conexión del programador NOPPP.

Este circuito consta de los siguientes componentes:

- 2 condensadores de 0,1  $\mu\text{F}$ ,
- 3 resistencias de 1 k $\Omega$ ,
- 1 resistencia de 2,2 k $\Omega$ ,
- 1 resistencia de 4,7 k $\Omega$ ,
- 2 diodos 1N914,
- 1 transistor 2N3904,

Además, se debe contar, para que sea operativo, con los siguientes elementos:

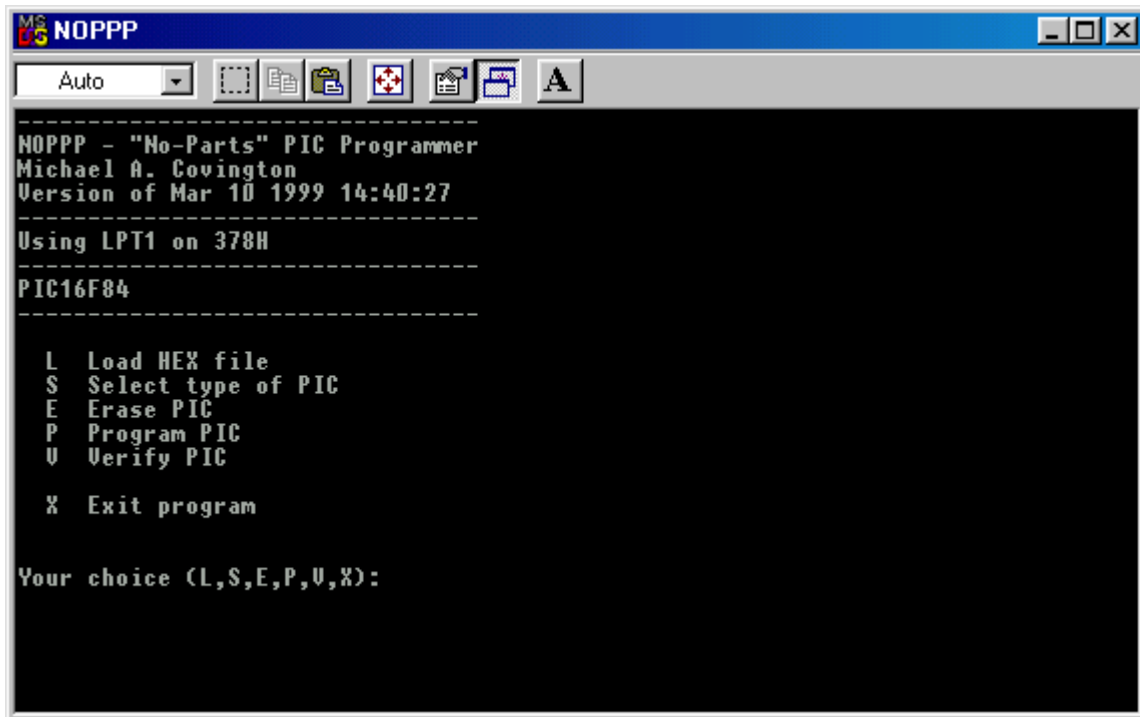
- 1 cable paralelo de 25 líneas, para ser conectado a la salida LPT1 del PC, de no más de 2 pies de longitud;
- 1 fuente de corriente continua de 12 volts o más. Debe verificarse que efectivamente tenga este voltaje, pues algunas fuentes nominales de 12 volts entregan incluso hasta 11,7 volts; y,
- 1 transistor 7805, para que entregue 5 volts constantes a la entrada de programación.

“En el PIC, el MCLR está en +5V para operación normal (no usado aquí), +12V para escritura y 0V para reset. Crucialmente, la alimentación de +12V realmente no *quema la EPROM* – el mayor voltaje es meramente una señal para activar el circuito de programación de la memoria flash interna. Éste debe ser mayor a 12.0 volts. La salida D0 desde el PC controla esta señal. No se producen daños al aplicarlo en tiempos inoportunos. El PIC se comunica por medio de un protocolo serial síncrono de dos cables (más tierra). El pin B6 es la señal de reloj; los pulsos ahí le dicen al PIC cuando aceptar o transmitir el siguiente bits de datos”<sup>(6)</sup>. En el pin B7 es donde el PIC recibe el programa (AUTOFD) y también es donde el PIC envía su contenido para ser verificado (BUSY). SLCTIN es el que indica el modo de uso, Programación o Verificación, modificando el camino a través de los diodos. Las líneas 18 a 25 del cable paralelo van conectadas a tierra para cerrar el circuito.

---

<sup>6</sup> sic Ref. 12

El software NOPPP utilizado es una versión de 1999 y trabaja en MSDOS, aun cuando se puede cargar a través de una Windows 3.1 o posteriores. Aquí se debe elegir que tipo de PIC se va a programar o si se va a proceder a probar el circuito. Luego, se debe cargar el archivo .HEX y, por último, programar el PIC.



**Figura 15.** Ventana del programa NOPPP versión 1999.

#### **4.2.4 Archivo Fuente**

Previo a establecer el programa definitivo, fue necesario probar una serie de programas pilotos que luego iban a formar parte de la estructura final del programa maestro: LEQLP.TXT. Cada uno de estos programas plantea algunas modificaciones en el diseño, tanto transitorias como definitivas, que serían incorporadas en el circuito.

También, luego de obtener el programa definitivo, se debe verificar los resultados parciales que se va obteniendo a través de un registro especial creado, SHOW. Este proceso permite determinar, sin equívoco, cualquier anomalía en el procedimiento de cálculo, recolección de datos, entrega de datos o subrutinas, provocando, en consecuencia, su corrección o aprobación.

Además, se cuenta con un segundo PIC que es el encargado de corregir el valor que será entregado por el PIC principal de acuerdo a la escala de trabajo seleccionada, por lo que también se debe programar con un archivo fuente propio: ESCALA.TXT.

### 4.3 Fabricación

Para la fabricación del dispositivo integrador se debía considerar 3 factores importantes:

- Calidad del montaje;
- Peso y tamaño;
- Resistencia a condiciones ambientales.

El circuito se puede implementar de 2 formas: sobre una tarjeta impresa o sobre placas reticuladas. Las ventajas de la tarjeta impresa son obvias: buen aspecto, rapidez de trabajo y ocupa un área pequeña. Sin embargo, una vez diseñado el circuito este es inmodificable. Por otro lado, las placas reticuladas, a pesar de su aspecto, el diseño puede ser modificado, pues su forma de trabajo es similar a la de un protoboard. Además, debido a que el trabajo se realizó a base de prototipos, era necesario tener la esta capacidad de modificar el diseño in situ. Por lo tanto, se ha decidido que sea sobre estas últimas que se realice el montaje.

En otro aspecto, se debe elegir una caja para ubicar el montaje, el cual debe ser liviano pues acompaña al sonómetro B&K cuyo peso ya es de 3 kg. Se descarta cualquier tipo de metal por peso y posible magnetización, así como baja resistencia a la humedad. La madera también puede presentar problemas con la humedad, pero es de fácil manejo en cuanto a sus dimensiones. Sin embargo, el plástico se presenta como una mejor opción debido a que puede ser sellado completamente y es muy liviano y dócil. Ahora, si consideramos los costos de

construcción, la madera es sin duda la mejor opción pues se puede fabricar la caja artesanalmente. También es posible fabricar una caja metálica a bajo costo, pero el peso hace que este material sea definitivamente descartable. En lo que respecta al plástico, el costo de fabricación de una caja es elevado, pero si es posible reciclar algún embalaje en desuso, se puede utilizar con algunos ajustes menores.

Además, se debe conectar el integrador al sonómetro, por lo cual se debe contar con un cable doble corto, no más de 30 cm., que vaya desde la salida DC del sonómetro con conector plug JP0006 hasta una entrada en el chasis del integrador con conector plug mono tipo audífono.

La caja, por otra parte, también debe contar con un compartimento para almacenar la batería y con una zona transparente en su cubierta para ver el arreglo de visualización.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Circuito

El circuito definitivo implementado ha resultado de una serie de sucesivos precircuitos que se sucedieron a partir del circuito base del termómetro, además de una serie de ajustes debido a otros factores. En primer lugar, se realizó el cambio de la pantalla LCD por falta de contraste, ya detallado anteriormente. Luego, la disponibilidad de productos en el mercado indicó otras sustituciones:

- El microprocesador seleccionado resultó ser el PIC16F84A, especialmente diseñado para circuitos de automóviles, perfectamente compatible con el PIC16F84 en software y hardware;
- El convertor análogo digital fue reemplazado por el ADC0808, que tiene mejor resolución que el ADC0809;
- La pantalla LCD fue reemplazada por un conjunto de 4 pantallas de 7 segmentos más punto decimal de cátodo común KingBright SC56-11HDB y 3 codificadores BCD a 7 segmentos HEF4543BP;
- La puerta inversora utilizada resultó ser la numerada 74LS04B1, de uso típico.

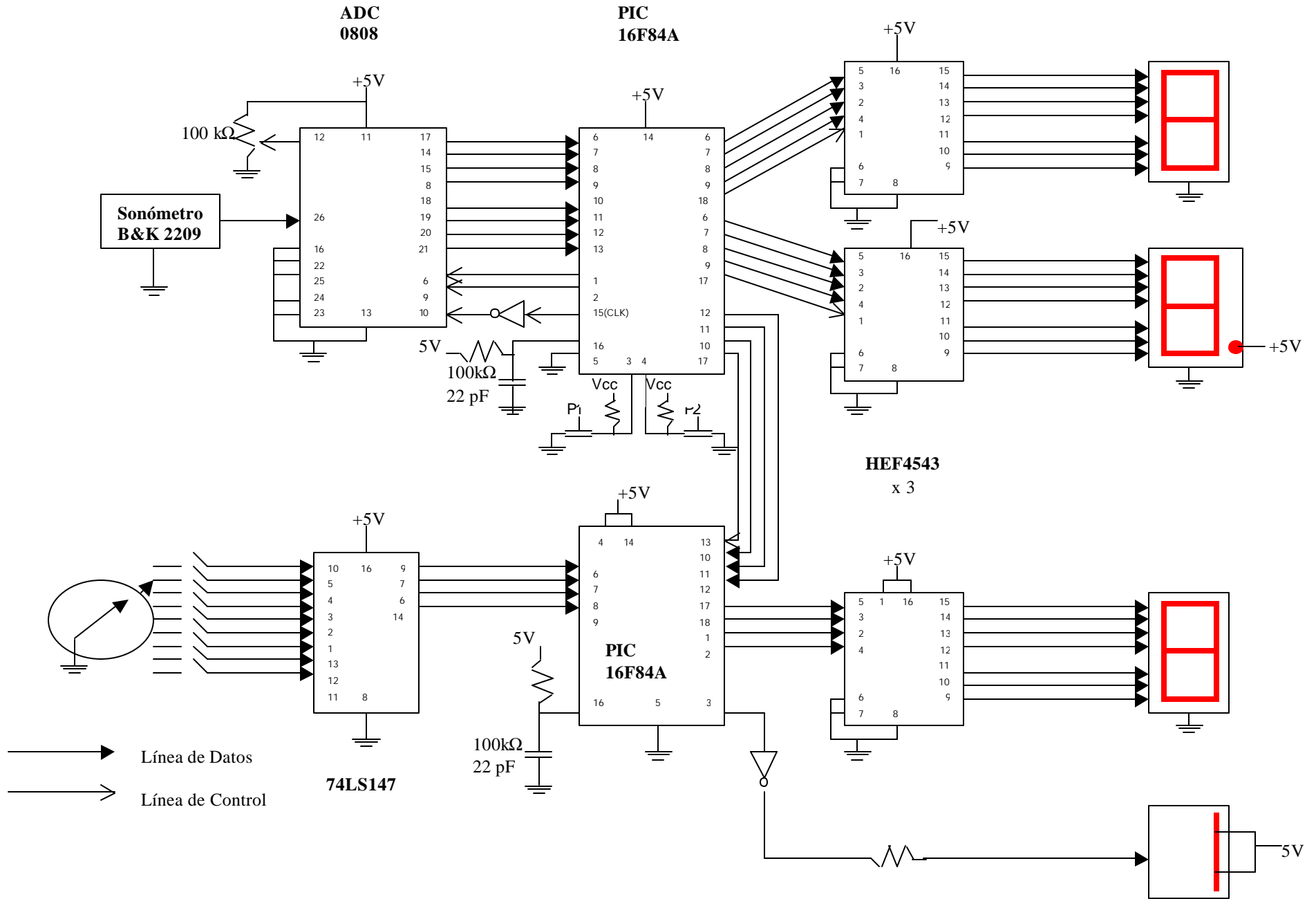
Además, era necesario implementar un sistema de selección de escala que consta de:

- 1 microprocesador PIC16F84A; y
- 1 decodificador de prioridad decimal a BCD 74LS147.

Esto nos lleva al siguiente circuito:



Figura 16. Diagrama de Conexión del Dispositivo Integrador



Adicionalmente a los cambios ya citados, este circuito posee ciertas características que serán detalladas a continuación:

- Hay dos sistemas de pulsador, que serán utilizados para seleccionar PAUSA en la entrada MCLR, y SPL (nivel de presión sonora instantáneo) en la entrada RA4 del PIC.
  
- Cada PIC posee un sistema de relojería RC con una constante de tiempo de  $T=22\text{ns}$  teóricos. El PIC principal requiere ejecutar su programa completamente en 1 segundo, por lo cual se le conecta en realidad un potenciómetro trimer hasta ajustar el tiempo total de trabajo. Esta cifra, eso sí, también resulta aproximada, debido a que el programa del PIC trabaja cada vez más rápido en la etapa de conversión logarítmica, sin embargo, el cambio es totalmente imperceptible para los instrumentos de medición de tiempo disponibles.
  
- El punto decimal en el dígito que corresponde a la unidad, debe ser conectado a positivo, pues debe verse constantemente.
  
- Las líneas de control indican que tanto el conversor como los decodificadores y el segundo PIC son “esclavos” del PIC principal. Esto es necesario pues la puerta B del PIC es primero entrada desde el conversor, luego salida para la cifra logarítmica y, por último, salida para la cifra decimal.

- La puerta B en su mitad superior, va conectada al segundo PIC, para que éste realice la conversión de escala. Este PIC, a su vez, está conectado como entrada del codificador decimal directamente, lo cual implicará un ajuste del programa de este PIC.
  
- Las pantallas digitales son manejadas por los PICs a través de los decodificadores BCD a 7 segmentos, a excepción del dígito de las centenas, el cual cuenta con una conexión particular. La salida RA4 del PIC secundario es a colector abierto, esto implica que al ser conectado a un diodo se debe primero invertir la señal y ser ingresada por el cátodo del diodo, cuyo ánodo va conectado a su vez a positivo. Esto se debe a que la salida a colector abierto genera un voltaje menor que las otras salidas, lo cual el diodo lo interpreta como siempre apagado. Al invertir la salida este voltaje medio es llevado a 0 y el cero a 1 con un voltaje normal, y al entrar por el cátodo la señal es reinvertida perdiendo el efecto inversor primitivo.
  
- El conversor va conectado a un divisor de tensión en su entrada  $V_{REF(+)}$  y a negativo en su entrada  $V_{REF(-)}$ , que le entregan el rango de trabajo en voltaje. Para establecer el rango de la tensión de referencia en estas entradas, debemos primero determinar los voltajes de trabajo en la salida DC del sonómetro. Nominalmente, esta salida entrega 0,8 V a escala completa (+10dB), pero si se procede a medir, este voltaje es en realidad de 0,809 en escala completa. Revisando más detenidamente, se establece que la salida

mínima ( $-\infty$  dB) es de 0,04 V, y la salida máxima (saturación) es de 1,511 V. Entonces, éstos deberían ser los voltajes de referencia positivo y negativo de funcionamiento del ADC. Sin embargo, como se utilizará una conversión logarítmica, la entrada de 0,04 V que es interpretada como 0 binario en la salida del conversor genera un problema al no poder calcularse un logaritmo sobre 0. Entonces, el nivel de referencia (-) debe ser menor que 0,04 V. Ahora bien, como vamos a trabajar en escala logarítmica, los niveles más bajos en la salida sufren una mayor distorsión debido a que los niveles en esta zona están muy separados unos de otros, generando un error muy grande. Por lo tanto, cuanto menor sea el nivel de referencia (-), menor va a ser el error cuando el sonómetro indique niveles cercanos a los  $-15$ dB, por lo cual  $V_{REF(-)} = 0$  V. Así, se obtiene una conversión análogo digital regida por la siguiente ecuación:

$$N_c = \frac{V_{in}}{1,511} \times 256 \pm \frac{1}{2} \text{LSB} ; \quad (4)$$

$N_c$  = número en la salida;

$V_{in}$  = Voltaje en la entrada IN0.

Considerando esta ecuación, y midiendo el voltaje de salida DC del sonómetro podemos obtener la siguiente tabla de conversión:

**Tabla 12.** Tabla de conversión  $L_p$  a código digital binario  
medido en la escala de 80 dB.

<b>80 + NPS (dB) sonómetro</b>	<b><math>V_{dc}</math> (V) voltímetro</b>	<b><math>N_c</math>, ecuación (4)</b>
10	0,809	$137 \pm \frac{1}{2}$
9	0,715	$121 \pm \frac{1}{2}$
8	0,638	$108 \pm \frac{1}{2}$
7	0,561	$95 \pm \frac{1}{2}$
6	0,502	$85 \pm \frac{1}{2}$
5	0,443	$75 \pm \frac{1}{2}$
4	0,390	$66 \pm \frac{1}{2}$
3	0,349	$59 \pm \frac{1}{2}$
2	0,307	$52 \pm \frac{1}{2}$
1	0,272	$46 \pm \frac{1}{2}$
0	0,242	$41 \pm \frac{1}{2}$
-1	0,213	$36 \pm \frac{1}{2}$
-2	0,189	$32 \pm \frac{1}{2}$

Nota: Se midieron todos los voltajes comprendidos entre -15dB y +10dB en el medidor de bobina móvil, por intervalos de 0,1 dB. Esta tabla sólo muestra algunos de estos resultados a modo de ejemplo.

## 5.2 Archivos fuentes

### 5.2.1 Programa maestro

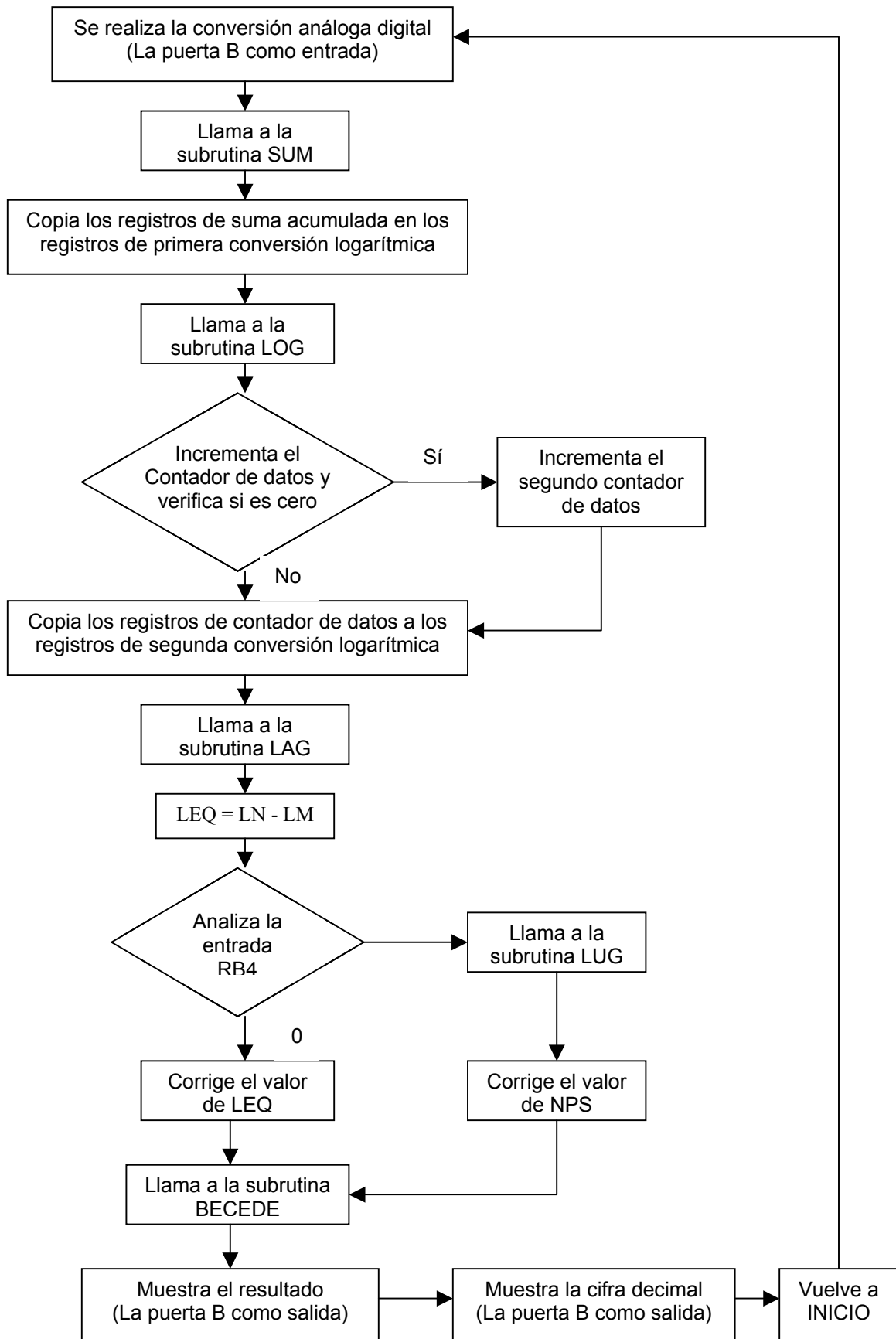
El programa que debe ejecutar el PIC, LEQLP.TXT, consta de una rutina principal y 6 subrutinas: RETAR, SUM, BECEDE, LOG, LAG y LUG.

La rutina principal consta a su vez de dos partes. Al principio establece las líneas de control en la puerta A, de tal manera que RA0, RA1, RA2 y RA3 sean salidas, y RA4, entrada. Las salidas controlarán a los decodificadores (RA0 y RA1), al PIC secundario (RA1) y al conversor (RA3 y RA4). La entrada, por su parte, es controlada por el pulsador SPL, el cual le indica que se debe mostrar NPS en vez de  $L_{eq}$ .

La segunda parte es un gran loop que efectúa toda la coordinación de las subrutinas y las tareas de manejo de los integrados subordinados. Además, en varias partes de la ejecución del programa es llamada la subrutina RETAR, que es un loop cuya función es establecer un compás de espera mientras se realizan las tareas respectivas que ocupan varios pulsos de reloj: conversión análoga digital, decodificación binaria y traslado de datos.

Hay que hacer notar que la programación se efectuó directamente en lenguaje de máquina, así casi todos los bloques del siguiente diagrama de flujo constan de varias instrucciones.

Figura 17. Diagrama de flujo del loop principal del archivo fuente LEQLP.TXT.



Como se ve en el diagrama, el calculo de LEQ está dado por una diferencia. Considerando la ecuación (3) sobre nivel equivalente para datos discretos y la propiedad del logaritmo de la división, obtenemos que:

$$L_{eq} = 10 \log \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i \right] = 10 \log \sum_{i=1}^N P_i - 10 \log N \quad (5)$$

y en el programa se ha definido los siguientes parámetros:

$$SUMA = \left[ \sum_{i=1}^N P_i \right]; \quad (6)$$

$$CONTA = N ; \quad (7)$$

$$LN = 10 \log SUMA; \quad (8) \quad y$$

$$LM = 10 \log CONTA; \quad (9)$$

$$\Rightarrow LEQ = LN - LM \quad (10)$$

Cabe señalar aquí que los registros de SUMA y CONTA están formados por más de un byte: SUMA, SUMB y SUMC; CONTA y CONTB; entonces, en realidad, las ecuaciones (8) y (9) se realizan sobre un arreglo y no estrictamente sobre un registro único.

En el diagrama anterior se puede observar que cuando CONTA vuelve a ser cero, el valor de CONTB es incrementado, formando así un registro doble de 16



bits, que es capaz de contar hasta 65536 muestras, es decir, 18 horas 12 minutos 16 segundos en tiempo de medición a una muestra por segundo.

### **5.2.2 Subrutinas**

En la subrutina SUM, se realiza un proceso similar al último descrito, resultando que la suma acumulada sea un registro triple de 24 bits, cuyo máximo valor puede ser 16.777.215, lo cual permite almacenar una suma acumulada de 65536 datos en nivel de saturación (255). Entonces, el contador siempre se reseteará antes que la suma acumulada, por lo tanto se conserva el tiempo de integración total.

Los resultados de todos los procesos de la ALU son números binarios de 8 bits, pero se necesita visualizar el resultado en dígitos decimales. Se ha visto que los decodificadores permiten transformar números BCD en números decimales sobre las pantallas digitales, entonces el PIC debe entregar los resultados en código BCD. Esta conversión es realizada por la subrutina BECEDE, que toma un número binario de 8 bits, y lo transforma en un registro que contiene dos dígitos BCD, uno en cada nybble del byte, que representan a los dígitos de la unidad y de la decena. El dígito de la unidad es mostrado directamente, pero el de la decena es usado por el segundo PIC para el proceso de fijación de escala. La cifra decimal cuenta con su propio registro, que es a su vez binario y BCD por lo que no necesita conversión, y es mostrado directamente por el PIC.

El principal proceso que debe efectuar el microprocesador consiste en transformar el voltaje entregado por el sonómetro en un nivel logarítmico. Esta tarea es realizada por tres subrutinas que se encargan de calcular los logaritmos de la suma acumulada (LOG), del contador de muestras (LAG) y del registro de entrada o voltaje actual (LUG). El procedimiento consiste en calcular primero el logaritmo en base 2 a través de una serie de rotaciones que permita determinar en que posición en donde se encuentra el primer 1 contando de derecha a izquierda y, luego, se multiplica el resultado por una constante que lo transforme a 20 logaritmo en base 10.

Por ejemplo:

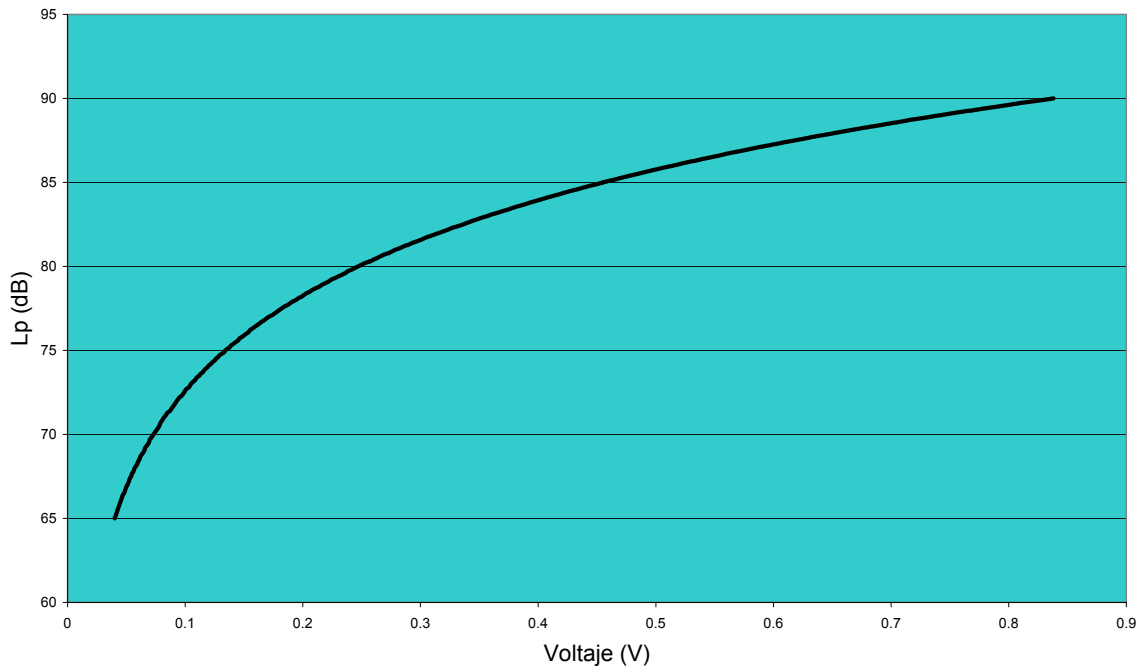
$$25_{10} = 00011001_2 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^0 \quad ; \text{ primer 1 en la posición 4}$$

$$\log_2 25 = 4,64 \qquad \text{LOG}_2 (25) = 4$$

$$20 \log 25 = 27,96 \qquad 20 \text{ LOG} (25) = 24$$

Considerando así la teoría, la constante por la cual se debe multiplicar tendría que ser 6. Sin embargo, la respuesta en voltaje del sonómetro no es lineal con respecto a la presión sonora. Al comparar el voltaje en la salida DC con respecto al nivel de presión sonora indicado en el medidor de bobina móvil en la escala de 80 dB, que es el rango de referencia del sonómetro, obtenemos la siguiente curva y ecuación:

**Gráfico 1.** Lp sonómetro v/s Voltaje voltímetro



$$L_p = 18,9 \log(V_{in}) + 91,5; \quad (11)$$

Además, si se combina este resultado con la ecuación (4), se obtiene:

$$L_p = 18,9 \log(N) + 49,4; \quad (12)$$

N = número binario en la entrada del PIC.

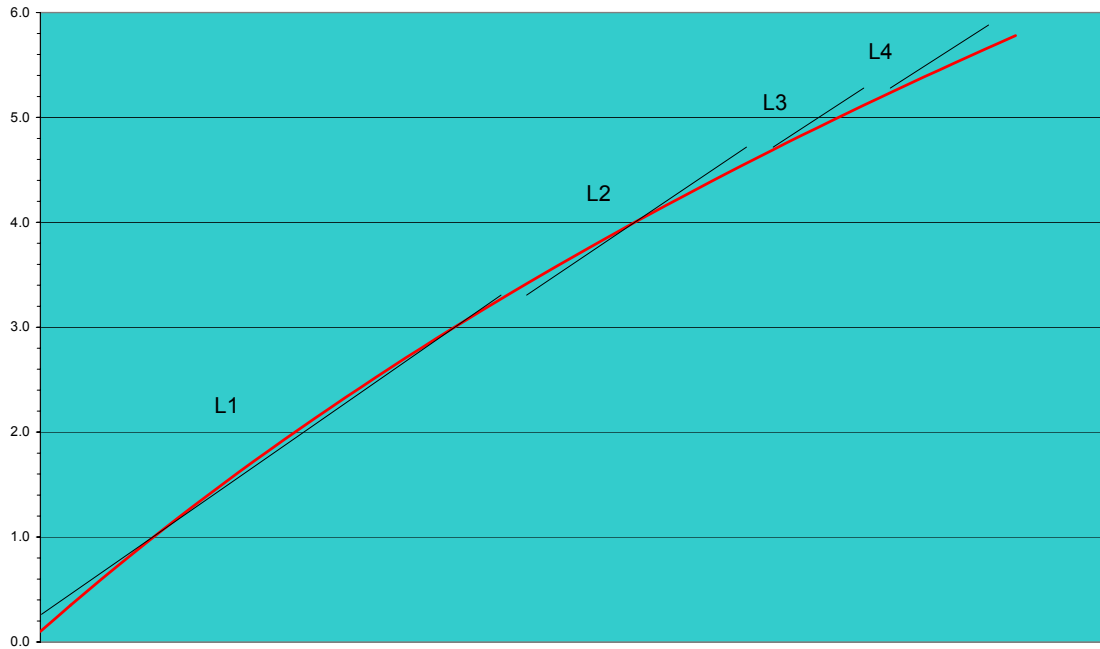
Finalmente, considerando que el cálculo en las subrutinas se realiza en logaritmos en base 2, se obtiene:

$$L_p = 5,7 \log_2(N) + 49,4; \quad (13)$$

Como se trabaja con una cifra decimal, entonces la constante de proporcionalidad resulta 5,7 con una corrección de +9,4 en la cifra total para efectos de ajuste de escala (recordar que se trabajó en la escala de 80 dB, pero el sistema debe funcionar para cualquier escala).

En este momento, la transformación logarítmica se realiza sólo sobre el primer 1, es decir, para potencias de 2, sin considerar las cifras intermedias. Así las cosas, se cuenta con una función escalonada en niveles separados por 5,7 dB. Para poder obtener los valores intermedios, se debe trabajar con las cifras intermedias que proporcionan los decimales del logaritmo en base 2. El comportamiento de la curva entre dos niveles también es logarítmico, pero el procedimiento de conversión sería muy lento y no asegura buena precisión, pues entre más alta la cifra, más valores intermedios existen. Por lo tanto, se consideró una aproximación a través de 4 rectas de igual pendiente pero distintos interceptos, de la siguiente forma:

**Gráfico 2.** Rectas de aproximación



$$L_1 = 0,2M + 0,3, \quad 0 \leq M < 16 ; \textbf{(14)}$$

$$L_2 = 0,2M + 0,1, \quad 16 \leq M < 24 ; \textbf{(15)}$$

$$L_3 = 0,2M - 0,1, \quad 24 \leq M < 28 ; \textbf{(16)}$$

$$L_4 = 0,2M - 0,3, \quad 28 \leq M < 32 \textbf{ (17)}$$

M = número binario de los 6 bits que siguen al pivote.

Combinando estas ecuaciones con la ecuación (13) se obtiene la siguiente tabla de resultados:

**Tabla 13.** NPS obtenido del dispositivo a partir del NPS medido por el sonómetro.

$L_p$ (dB) son.	Voltaje (V)	$L_p$ (dB) dis.	Error (dB)	$\epsilon+1/2\text{LSB}$	$\epsilon-1/2\text{LSB}$
10,0	0,809	10,0	0,0	0,0	0,0
9,9	0,803	10,0	0,1	0,1	0,1
9,9	0,797	9,9	0,0	0,0	0,0
9,8	0,791	9,9	0,1	0,1	0,1
9,7	0,785	9,8	0,1	0,1	0,1
9,7	0,779	9,8	0,1	0,1	0,1
9,6	0,773	9,7	0,1	0,2	0,1
9,6	0,767	9,7	0,1	0,1	0,1
9,5	0,761	9,6	0,1	0,2	0,1
9,4	0,756	9,6	0,2	0,2	0,2
9,4	0,750	9,6	0,1	0,2	0,2
9,3	0,744	9,5	0,2	0,3	0,2
9,2	0,738	9,4	0,2	0,2	0,2
9,2	0,732	9,3	0,1	0,2	0,1
9,1	0,726	9,2	0,1	0,2	0,1
9,0	0,720	9,1	0,1	0,1	0,1
9,0	0,715	9,0	0,0	0,1	0,0
8,9	0,708	8,9	0,0	0,1	0,0
8,8	0,702	9,0	0,2	0,2	0,2
8,8	0,696	8,9	0,1	0,2	0,1
8,7	0,691	8,8	0,1	0,2	0,1
8,6	0,685	8,7	0,1	0,1	0,1
8,5	0,679	8,6	0,1	0,1	0,1
8,5	0,673	8,5	0,0	0,1	0,1
8,4	0,667	8,4	0,0	0,1	0,0
8,3	0,661	8,3	0,0	0,0	-0,1
8,3	0,655	8,4	0,1	0,1	0,1
8,2	0,649	8,3	0,1	0,2	0,1
8,1	0,643	8,2	0,1	0,2	0,1
8,0	0,638	8,1	0,1	0,1	0,1
7,9	0,632	8,0	0,1	0,1	0,1
7,9	0,626	7,9	0,0	0,1	0,0
7,8	0,620	7,8	0,0	0,1	0,0
7,7	0,614	7,7	0,0	0,0	-0,1
7,6	0,608	7,6	0,0	0,0	-0,1
7,6	0,602	7,5	-0,1	-0,1	-0,1
7,5	0,596	7,4	-0,1	-0,1	-0,1
7,4	0,590	7,3	-0,1	-0,1	-0,1

7,3	0,584	7,2	-0,1	-0,1	-0,1
7,2	0,578	7,1	-0,1	-0,1	-0,2
7,1	0,573	7,0	-0,1	-0,1	-0,2
7,1	0,567	6,9	-0,2	-0,2	-0,2
7,0	0,561	7,0	0,0	-0,1	0,0
6,9	0,555	6,9	0,0	0,1	0,0
6,8	0,549	6,8	0,0	0,1	0,0
6,7	0,543	6,7	0,0	0,1	0,0
6,6	0,537	6,6	0,0	0,0	-0,1
6,5	0,531	6,5	0,0	0,0	-0,1
6,4	0,525	6,4	0,0	0,0	-0,1
6,3	0,519	6,3	0,0	0,0	-0,1
6,2	0,514	6,2	0,0	0,0	-0,1
6,1	0,508	6,1	0,0	0,0	-0,1
6,0	0,502	6,0	0,0	0,0	-0,1
6,0	0,496	5,9	-0,1	-0,1	-0,1
5,9	0,490	5,8	-0,1	-0,1	-0,1
5,8	0,484	5,7	-0,1	-0,1	-0,1
5,7	0,478	5,6	-0,1	-0,1	-0,1
5,5	0,472	5,5	0,0	0,0	-0,1
5,4	0,466	5,4	0,0	0,0	-0,1
5,3	0,460	5,3	0,0	0,0	-0,1
5,2	0,454	5,2	0,0	0,0	-0,1
5,1	0,449	5,1	0,0	0,0	-0,1
5,0	0,443	5,0	0,0	0,0	-0,1
4,9	0,437	4,9	0,0	0,0	-0,1
4,8	0,431	4,8	0,0	0,1	0,0
4,7	0,425	4,7	0,0	0,1	0,0
4,6	0,419	4,6	0,0	0,1	0,0
4,4	0,413	4,5	0,1	0,1	0,1
4,3	0,407	4,4	0,1	0,1	0,1
4,2	0,401	4,3	0,1	0,1	0,1
4,1	0,395	4,2	0,1	0,2	0,1
4,0	0,390	4,1	0,1	0,2	0,1
3,8	0,384	4,0	0,2	0,2	0,2
3,7	0,378	3,9	0,2	0,2	0,2
3,6	0,372	3,8	0,2	0,3	0,2
3,4	0,366	3,6	0,2	0,3	0,2
3,3	0,360	3,4	0,1	0,2	0,1
3,2	0,354	3,2	0,0	0,2	0,0
3,0	0,349	3,2	0,2	0,2	0,2
2,9	0,342	3,0	0,1	0,1	0,2
2,8	0,336	2,8	0,0	0,2	0,1
2,6	0,331	2,6	0,0	0,1	-0,1
2,5	0,325	2,6	0,1	0,1	0,1

2,3	0,319	2,4	0,1	0,2	0,1
2,2	0,313	2,2	0,0	0,2	0,1
2,0	0,307	2,0	0,0	0,1	-0,1
1,8	0,301	1,8	0,0	0,1	-0,1
1,7	0,295	1,6	-0,1	-0,1	-0,2
1,5	0,289	1,4	-0,1	-0,1	-0,2
1,3	0,283	1,2	-0,1	-0,1	-0,2
1,2	0,277	1,2	0,0	0,0	0,0
1,0	0,272	1,0	0,0	0,1	-0,1
0,8	0,266	0,8	0,0	0,1	-0,1
0,6	0,260	0,6	0,0	0,1	-0,1
0,4	0,254	0,4	0,0	0,1	-0,1
0,2	0,248	0,2	0,0	0,1	-0,1
0,0	0,242	0,0	0,0	0,1	-0,1
-0,2	0,236	-0,2	0,0	0,1	-0,1
-0,4	0,230	-0,4	0,0	0,1	-0,1
-0,6	0,224	-0,6	0,0	0,1	-0,1
-0,8	0,218	-0,8	0,0	0,1	-0,1
-1,0	0,213	-1,0	0,0	0,1	-0,1
-1,3	0,207	-1,2	0,1	0,2	0,0
-1,5	0,201	-1,4	0,1	0,2	0,1
-1,8	0,195	-1,6	0,2	0,2	0,1
-2,0	0,189	-1,8	0,2	0,3	0,2

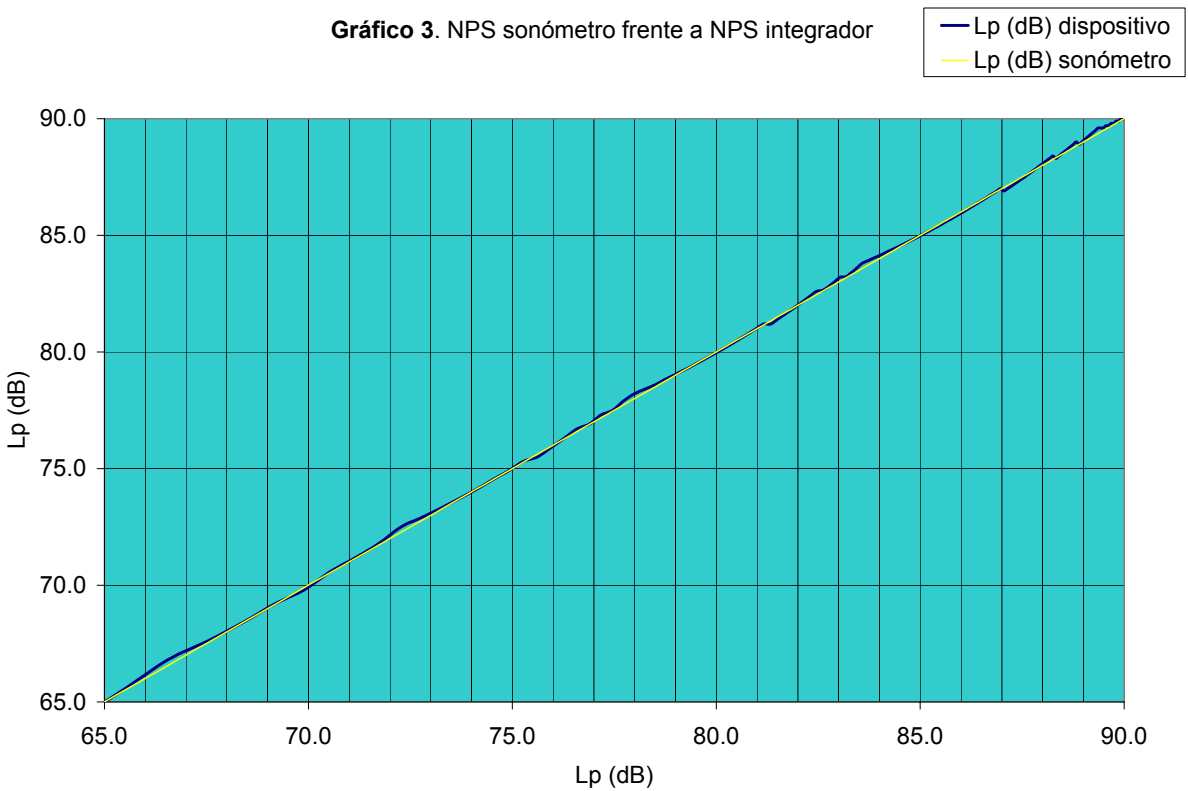
Nota: Tabla completa en anexo 2.

Los errores por cambio de  $+1/2$  LSB en el conversor consideran la mayor desviación producida por el salto desde el  $1/2$  intervalo anterior hacia el intervalo de medición y desde el intervalo de medición  $1/2$  intervalo hacia arriba, y los errores por  $-1/2$  LSB consideran la mayor desviación por el salto desde el  $1/2$  intervalo superior hacia el intervalo de medición y desde el intervalo de medición  $1/2$  intervalo hacia abajo. Los valores considerados para los  $1/2$  intervalos se obtienen al interpolar los datos a través de la ecuación (13) considerando intervalos para N.



Sólo se muestran valores entre  $-2\text{dB}$  y  $10\text{ dB}$ , pues para valores menores la incidencia en la escala logarítmica disminuye. Aún así, el máximo valor de error es de  $0,5\text{ dB}$  bajo los  $-14\text{dB}$ , con una incidencia de  $0\text{dB}$  en el error total.

Comparando la curva de respuesta del dispositivo con la respuesta del sonómetro, se obtiene el siguiente gráfico:



Al analizar los datos entregados por la tabla 13, se determina el error asociado en la transformación logarítmica efectuada por el integrador es:

$$\varepsilon = \pm 0,2 [dB], \quad -2\text{ dB} \leq \text{NPS} \leq +10\text{ dB} ;$$

Sin embargo, el conversor análogo digital conlleva un error de  $\frac{1}{2}$  LSB, lo que implica que cuando un voltaje está cerca del límite de su intervalo, el conversor puede saltar al intervalo contiguo. Por lo tanto, agregando este error por conversión, tabla 13, se obtiene un error total asociado al sistema de:

$$\varepsilon = \pm 0,3 [dB], \quad -2 \text{ dB} \leq \text{NPS} \leq +10 \text{ dB};$$

Como ya se ha citado, el sonómetro B&K 2209 cumple con la norma IEC 651 Tipo 1 para sonómetros de precisión, con un error absoluto de  $\pm 0,7$  dB. Esto se desglosa como sigue:

$$\varepsilon = \pm 0,5 [dB], \text{ en el detector RMS para } -2 \text{ dB} \leq \text{NPS} \leq +10 \text{ dB}; \text{ y,}$$

$$\varepsilon = \pm 0,2 [dB], \text{ todos los amplificadores-atenuadores en conjunto }^{(7)}.$$

Combinando el error del sonómetro con el del dispositivo, se obtiene un error de medición de:

$$\varepsilon = \pm 1 [dB], \quad -2 \text{ dB} \leq \text{NPS} \leq +10 \text{ dB};$$

dentro de la norma IEC 651 Tipo 2.

---

<sup>7</sup> Ver Ref. 5

En otro aspecto, si se utiliza el sonómetro en modo “slow” el tiempo de integración del detector RMS es de un segundo. El integrador, por su parte, posee un tiempo de proceso también de un segundo. Entonces estando en fase de medición ambos instrumentos, podemos considerar que el tiempo de muestreo es de un segundo, dentro de la norma IEC 651.

Además, la resolución del arreglo de pantallas digitales es de 0,1 dB, dentro de la norma IEC 651.

### **5.2.3 Programa esclavo**

El PIC secundario posee un programa subordinado al programa principal llamado ESCALA.TXT, que tiene como propósito ajustar el valor entregado por el PIC principal a la escala seleccionada.

Este programa realiza esencialmente 5 tareas:

- 1) Recibe el dígito de las decenas desde el PIC principal, cuyo valor va de 0 a 5 decenas;
- 2) Recibe e invierte el número entregado por el codificador decimal, el cual trabaja con salida invertida, que corresponde a la corrección por ajuste de

escala y cuyo valor, que debe ser constante para cada medición, va de 0 (escala de 40 dB) a 9 (escala de 120 dB) decenas;

- 3) Suma ambos valores para establecer el ajuste por escala;
- 4) Transforme el resultado anterior binario en un número en código BCD, labor llevada a cabo por la subrutina BECEDE de este programa; y,
- 5) Dirige el resultado hacia las pantallas digitales correspondientes a los dígitos de las decenas, siempre, y las centenas, cuando es necesario.

Debido a que el codificador trabaja por prioridad, no existe ningún tipo de error que se pueda asociar en esta etapa del proceso, sea electrónico o de cálculo.

### 5.3 Integrador digital para cálculo de nivel sonoro equivalente NODELKAR Modelo 101



**Foto 2.** Dispositivo integrador NODELKAR 101.

El integrador digital NODELKAR 101 es un dispositivo electrónico que permite calcular Nivel Equivalente Sonoro ( $L_{eq}$ ) a partir del valor de presión sonora rms medida por el sonómetro de precisión B&K Tipo 2209 en modo “Slow”.

Este equipo posee un completo sistema de conversión análogo digital y microprocesadores que no sólo permite entregar a través de su pantalla digital de 3 dígitos más cifra decimal el valor del nivel equivalente, sino que además cuenta con la posibilidad de ver el valor de presión sonora actual que es medida por el sonómetro 2209 con el pulsador momentáneo SPL.

El NODELKAR 101 se conecta con la salida de corriente continua del sonómetro 2209 a través de un cable de dos vías con conector JP0006 para la salida desde el sonómetro y conector mono tipo audífono para la entrada hacia el integrador, con la señal por la vía externa en el conector de llegada. La entrada al dispositivo se encuentra en el costado izquierdo del equipo.

El integrador posee un ajuste de ganancia similar al del sonómetro 2209 y, una vez que ha sido calibrado el sonómetro, se debe calibrar este equipo. Para esto se puede utilizar el propio calibrador B&K 4230, pero debe marcar un SPL de 94 dB en el dispositivo (93,8 dB en el sonómetro), el ajuste se debe realizar manteniendo presionado el botón SPL y girando el ajuste de ganancia ubicado en la base del dispositivo. Una calibración más efectiva se logra proporcionando cualquier tono puro a niveles de 90 dB y 80 dB en la escala de 80 dB, los cuales deben coincidir en el sonómetro y en el SPL del integrador. Una vez realizada la calibración se debe apagar el equipo.

La medición comienza cuando se enciende el dispositivo y sólo termina cuando es apagado, por este motivo se debe anotar el dato antes de apagar el equipo, cuya duración máxima de medición es de 18 horas.

El dispositivo integrador permite además utilizar una escala de medición a elección equivalente a la escala utilizada por el sonómetro en el mismo instante.

Cada vez que la escala desea ser modificada, se debe apagar el equipo y reiniciarlo.

Además, si por algún motivo desea detener momentáneamente la medición, el equipo cuenta con un pulsador de PAUSA, que debe permanecer presionado mientras dure la detención.

El NODELKAR 101 funciona con una batería de 9 volts, la cual debe ser ubicada en un compartimento interno ubicado a la derecha de la pantalla digital. Para reemplazar esta batería se debe abrir el dispositivo en su base mediante un movimiento de palanca. Este procedimiento debe realizarse con cuidado para no afectar los componentes internos del dispositivo.

El NODELKAR 101 es muy fácil de transportar, guardar y usar. Las dimensiones del equipo son de: 16,1 x 15,8 x 3,9 [cm<sup>3</sup>], y su peso aproximado de 261,6 [grs]. Se debe evitar usar este dispositivo en condiciones de extrema humedad.

## 6 CONCLUSIONES

- Es perfectamente posible montar y fabricar un dispositivo digital integrador de bajo costo y buena calidad con insumos encontrados dentro del mercado nacional. Se cuenta, incluso, con las herramienta que permitirían fabricar un sonómetro digital integrador con estas características. Sin embargo, la escasez de laboratorios de certificación implica, sin duda, un recargo en este proceso que condiciona fuertemente la dedicación a este tipo de actividad.
- La forma y dimensión de los componentes permite que el dispositivo sea un instrumento muy liviano y dúctil, por ende, portátil, lo cual no limita en este aspecto al sonómetro B&K 2209. Además, el dispositivo tiene alta resistencia a la humedad, lo cual garantiza una larga vida útil en esta zona.
- El cálculo del nivel sonoro equivalente es realizado completamente por el microprocesador sin necesidad de circuitos externos integradores o conversores logarítmicos, análogos o digitales, lo cual reduce el consumo de potencia, unido al hecho de que los componentes utilizados poseen estas característica.



- El conjunto formado por el sonómetro B&K 2209 y el integrador NODELKAR 101 cumple las disposiciones de la norma IEC 651 para sonómetros de precisión tipo 2 con display digital e IEC 804 para sonómetros integradores, por lo tanto se puede considerar como un sonómetro integrador de precisión que mide impulsos.
  
- El dispositivo integrador, al no estar conectado rígidamente con el sonómetro B&K 2209, es posible conectarlo a la salida de corriente continua de cualquier sonómetro que entregue un voltaje rms proporcional a la presión sonora, con el cuidado de ajustar el integrador a través de su potenciómetro de calibración.

## 7 BIBLIOGRAFIA

1. Taub, Herbert. "Circuitos digitales y microprocesadores". 2ª Edición, Editorial McGraw-Hill, 1985.
2. Savant, Jr., C. J.; Martin S. Roden y Gordon L. Carpenter. "Diseño electrónico: Circuitos y sistemas". 2ª Edición, Addison Wesley Longman, 1992.
3. CONAMA. "Manual de Aplicación: Norma de Emisión de Ruidos Molestos Generados por Fuentes Fijas (D.S. N° 146/1997, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia)". Comisión Nacional del Medio Ambiente, Departamento de Descontaminación, Planes y Normas, 1998.
4. "ECG Semiconductors Master Replacement Guide". 16ª Edición, Philips ECG, 1994.
5. "Impulse Precision Sound Level Meter Type 2209". Catálogo. Brüel & Kjaer, Revisado en Junio de 1981.
6. "PIC16F8X: Microcontrollers". Catálogo. Microchip Technology Inc., 1998.  
Disponible en: <http://www.microchip.com/11110/pline/picmicro/index.htm>.
7. "HEF4543BP: BCD to 7 segment driver". Catálogo. Philips Semiconductor, 1990.  
Disponible en: <http://www-us.semiconductors.philips.com/pip/hef4543bp>.

8. "ADC0808/ADC0809: A/D Converters". Catálogo. National Semiconductor Corporation, 1999.

Disponible en: <http://www.national.com/pf/AD/ADC0808.html#Datasheet>.

9. "Termómetro Digital con PIC y ADC externo". John Rincón.

Disponible en: <http://sedesur.uanarino.edu.co/~erincon/homepage.htm>.

10. "PIC by Example". 1999, Sergio Tanzilli.

Disponible en : <http://www.picpoint.com>.

11. ISO 1996-1: 1982 Acoustics – Description and measurement of environmental noise – Part 1: Basic quantities and procedures.

12. "NOPPP, the No-parts PIC programmer". 1999, Michael Covington.

Disponible en : <http://www.mindspring.com/~covington/noppp>.

13. "Microchip. The Embedded Control Solution Company"

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

14. "Informática". Ediciones Nueva Lente y Ediciones Ingelek, S.A., 1983.

## **AGRADECIMIENTOS**

Hay una gran cantidad de personas de manera muy desinteresada me ha ayudado de muy diversas formas para que yo logre este objetivo, después de tanto tiempo, el de obtener mi grado académico.

Debido a mi origen humilde, he tenido la necesidad de recurrir en muchas ocasiones a la ayuda económica ya sea de instituciones como de personas, las cuales han respondido de muy grata manera, otorgándome además de este auxilio, palabras de aliento para que concretara mis estudios y, sin querer, lecciones de compromiso humanitario. Estas personas han sido: Dr. Humberto Dölz, Director de la Escuela de Química y Farmacia; Sr. Arturo Ruiz, Abogado; Dr. Hugo Hernández, Instituto de Anatomía y Prof. Claudio Donoso, Instituto de Selvicultura; quienes se asociaron por su condición de ex-alumnos del Instituto Nacional y a petición del rector del mismo Prof. Sergio Riquelme, "Labor Omnia Vincit". Además, a las asistentes sociales Sra. Zulema de Rendic, Sra. Inés Flores y Sra. Miriam Moyano; por su ayuda a conseguir beneficios y/o becas en el sistema universitario nacional y local. Y a los Sres. de la Fundación Pedro Montt, por la beca privada otorgada a mi nombre.

Además, quisiera agradecer a todos los profesores de los cuales fui alumno y también a aquellos de los cuales fui ayudante por todo lo que he aprendido de ellos en el plano profesional como en el ámbito humano. Especialmente a los profesores del Instituto de Matemáticas: Prof. Rosa Eugenia Trumper, Prof. María Isabel del Río, Prof. María Elena San Martín, Dra. Mónica Canales, Prof. Víctor Delgado, Prof. Wilda Fuentes, Prof. Juan Leiva, Prof. Constando Nicolás, Dr. Hugo Ramírez, Prof. Lionel Henríquez y Prof. Walter Sáez.

También me sería grato nombrar a todas las secretarias y funcionarios que en algún momento me ayudaron en la realización de los "trámites" respectivos o incluso más allá. Este agradecimiento lo quisiera reflejar encarecidamente en la secretaria del Instituto de Matemáticas, Sra. Patricia Peláez, y el auxiliar del Instituto y Escueta de Acústica, Sr. Víctor Cumian.

En lo que se refiere a la realización de mi práctica profesional, quisiera agradecer a la gente de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) por la oportunidad brindada sobre todo a mi profesor responsable, Dr. Enrique Suárez, y también a quienes tuve la gracia de tener como familia, que me cobijaron durante mi infancia y también durante el periodo de esta práctica en Santiago, familia Rendic Palma: mi madrina Sra. María Eliana, mis "hermanos" Krasna, Drago y Cristian, y mi "cuñada" Claudia.

Con todo esta tesis no se hubiera podido concretar sin la ayuda de algunos profesores del instituto de Electrónica: Prof. Julio Zarecht y Prof. Ricardo Gutiérrez, y la de los profesores patrocinantes y colaboradores: Prof. Alfio Yori, de una gran paciencia; Dr. Jorge Sommerhoff, gran interés; y, especialmente, Prof. Jorge Santamarina, sobretodo por apoyar este trabajo aún cuando ya se encontraba en una etapa avanzada.

Por último, mis sinceros agradecimientos a mis queridos amigos por todo el apoyo brindado y la paciencia que los caracteriza: Babyto, Negrita, Annie y Chuck (Nelson), Troncho y Carlos López.

## ANEXO 1: PROGRAMAS INCLUIDOS EN LOS MICROPROCESADORES PIC16F84A

### ANEXO 1A: PROGRAMA MAESTRO LEQLP.TXT

```

PROCESSOR16F84A
RADIX    DEC
INCLUDE  "P16F84A.INC"
_CONFIG  3FF7H
STATUS   EQU 0x03
TRISAEQU 0x85
TRISE EQU 0x86
PORTA    EQU 0x05
PORTE    EQU 0x06
RESUL    EQU 0x10
UNID EQU 0x11
DECAEQU 0x12
SHOWEQU 0x13
BCD EQU 0x14
LOGA EQU 0x15
LN EQU 0x16
COMA EQU 0x17
ENTRA EQU 0x18
COUNT3 EQU 0x19
COUNT2 EQU 0x1A
COUNT1 EQU 0x1B
LOGXEQU 0x1C
LOGYEQU 0x1D
CONTA EQU 0x1E
CONTB EQU 0x1F
LOGP EQU 0x20
LOGQ EQU 0x21
LM EQU 0x22
LEQ EQU 0x23
COMEEQU 0x24
COMO EQU 0x25
KOMA EQU 0x26
KOMEEQU 0x27
LUGA EQU 0x28
LUN EQU 0x29
CUNA EQU 0x2A
KUNA EQU 0x2B
ORG OCH
SUMARES 3
ORG 00H
CALL RETAR

BSF STATUS,5
movlw 11110000B
MOVWF TRISA
BCF STATUS,5
CLRF PORTA
CLRF SHOW
INICIO BCF PORTA,0
BCF PORTA,1
BSF STATUS,5
MOVLW 11111111B
MOVWF TRISE
BCF STATUS,5
BSF PORTA,3
CALL RETAR
BSF PORTA,2
BCF PORTA,3
MOVFPORTRB.W
BCF PORTA,2
MOVWF ENTRA
CALL SUM
MOWSUMA,W
LOGD MOVWF LOGA
DECF SUMA+1,W
MOVWF LOGX
INCF SUMA+2,W
MOVWF LOGY
CALL LOG
BCF STATUS,2
INCF CONTA,F
BTFSSSTATUS,2
GOTO MAS
INCF CONTB,F
MAS INCF CONTA,W
MOVWF LOOP
DECF CONTB.W
MOVWF LOGQ
CALL LAG
MOVFLM,W
SUBWF LN,W
MOVWF LEQ
MOWCOME.W

```

```

MOVFLGY,F
BTFSSLOGY,6
GOTOLOGG
DECF KOMA,F
DECF KOMA,F
COM BTFSSLOGY,5
GOTOLOGG
DECF KOMA,F
DECF KOMA,F
CON BTFSSLOGY,4
GOTOLOGG
DECF KOMA,F
DECF KOMA,F
LOGGBCF LOGY,7
BCF STATUS,0
RRF LOGY,W
ADDWF KOMA,W
MOVWF RESULT
CALL BECEDE
MOVF UNID,W
MOVWF COMA
MOVFDECA,W
MOVWF KOMA
BCF STATUS,0
RRF KOMA,F
BCF STATUS,0
RRF KQMA,F
BCF STATUS,0
RRF KOMA,F
BCF STATUS,0
RRF KOMA,W
ADDWF LN,F
RETURN

LAG CLRF COME
MOVLW 15
MOVWF LM
BTFSC LOGQ,7
GOTO LOGC
ROTO BCF STATUS,0
DECF LM,F
RLF LOGP,F
RLF LOGQ,F
BTFSSLOGQ,7
GOTOROTB
LOGC BCF STATUS,0
RLF LM,W

MOVWF KOME
RLF KOME,W
ADDWF LM,F
MOVFLM,W
ADDLW 7
ADDWF KOME,F
MOVF KOME,W
MOVWF RESULT
CALI BECEDE
BCF DEEA,0
BCF DECA,L
BCF DECA,2
BCF DECA,3
SWAPF DECA,W
ADDWF LM,F
MOVF UNID,W
MOVWFKOME
MOVFLOGQ,F
BTFSSLOGQ,6
GOTOLAGG
DECF KOME,F
DECF KOME,F
QEM BTFSSLOGQ,5
GOTOLAGG
DECF KOME,F
DECF KOME,F
QEN BTFSSLOGQ,4
GOTOLAGG
DECF KOME,F
DECF KOME,F
LAGGBCF LOGQ,7
BCF STATUS,0
RRF LOGQ,W
ADDWF KOME,W
MOVWF RESULT
CALL BECEDE
MOVF UNID,W
MOVWF COME
MOWDECA,W
MOVWF KOME
BCF STATUS,0
RRF KOME,F
BCF STATUS,0
RRF KOME,F
BCF STATUS,0
RRF KOME,F
BCF STATUS,0

```



```

RRF KOME,W
ADDWF LM,F
RETURN

LUG CLRf CUNA
MOVLW 7
MOVWF LUN
BTfSC LUGA,?
GOTO LUGB
RUTA BCF STATUS,0
DECF LUN,F
RLF LUGA,F
• BTfSS LUGA,7
GOTO RUTA
LUGB BCF STATUS,0
RLF LUN,W
MOVWF KUNA
RLF KUNA,W
ADDWF LUN,F
RAOVf LUN,W
ADDLW 7
ADDWF KUNA,F
MOVf LUGA,F
BTfSS LUGA,6
GOTO LUGG
DECF KUNA,F
DECF KUNA,F
CUM BTfSS LUGA,5
GOTO LUGG
DECF KUNA,F
DECF KUNA,F
CUN BTfSS LUGA,4
GOTO LUGG
DECF KUNA,F
DECF KUNA,F
LUGG BCF LUGA,7
BCF STATUS,0
RRF LUGA,W
ADDWF KUNA,W
MOVWFRESUL
CALI BECEDE
MOVf UNID,W
MOVWF CUNA
MOVf DECA,W
MOVWFKUNA
BCF STATUS,0
RRF KUNA,F

BCF STATUS,0
RRF KUNA,F
BCF STATUS,0
RRF KUNA,F
BCF STATUS,0
RRF KUNA,W
ADDWF LUN,F
RETURN

SUM BCF STATUS,0
MOW ENTRA, W
ADDWF SUMA,F
BTfSSSTATUS,0
GOTO SUME
BCF STATUS,2
INCF SUMA+1,F
BTfSS STATUS,2
GOTO SUME
INCF SUMA+2,F
SUME RETURN

END

```

## ANEXO 1B: PROGRAMA ESCLAVO ESCALA.TXT

```

PROCESSOR    16F84A
RADIX DEC
INCLUDE     "P16F84A.INC"
_CONFIG     3FF7H
STATUS EQU  0x03
TRISA EQU   0x85
TRISE EQU   0x86
PORTA EQU   0x05
PORTE EQU   0x06
RESUL EQU   0x10
UNID EQU    0xLL
DECA EQU    0x12
IN EQU      0x13
ESCALA EQU  0x14
DECENA EQU  0x15
SHOW EQU    0x16

ORG OOH
BSF STATUS, 5
MOVLW 11100000B
MOVWF TRISA
MOVLW 11111111B ,
MOVWF TRISE
BCF STATUS,
5 START BTFSS
PORTE, 7
GOTO START
MOVF PORTE, W
MOVWF IN
BCF IN, 7
MOVF IN, W
MOVWF DECENA
SWAPF DECENA, F
BCF DECENA, 7
BCF DECENA, 6
BCF DECENA, 5
BCF DECENA, 4
BCF DECENA, 3
COMF IN, W
MOVWF ESCALA
BCF ESCALA, 7
BCF ESCALA, 6
BCF ESCALA, 5
BCF ESCALA, 4
MOVF DECENA, W
ADDWF ESCALA, W
MOVWF RESUL
CALL BECEDE
MOVF DECA, W
MOVWF PORTA
GOTO START

BECEDE BCF STATUS, 0
CLRF DECA
MOVF RESUL, W
DEC MOVWF UNID

MOVLW 00010000B
ADDWF DECA, F
MOVLW 10
SUBWF UNID, W
BTFSC STATUS, 0
GOTO DEC
MOVF UNID, W
ADDWF DECA, F
MOVLW 00010000B
SUBWF DECA, F
RETURN

END

```

ANEXO 2: NPS OBTENIDO DEL DISPOSITIVO A PARTIR DEL NPS MEDIDO  
POR EL SONÓMETRO

VOLTAJE (V)	L <sub>p</sub> (DB) SON.	L <sub>p</sub> (DB) DIS.	ERROR (dB)	E <sup>+</sup> <sub>1/2</sub> LSB	E <sup>-</sup> <sub>1/2</sub> LSB
0,809	10,0	10	0,0	0,0	
0,806	10,0	10	0,0	0,1	0,0
0,803	9,9	10	0,1	0,1	0,0
0,800	9,9	10	0,1	0,1	0,1
0,797	9,9	9,9	0,0	0,1	0,0
0,794	9,8	9,9	0,1	0,1	0,0
0,791	9,8	9,9	0,1	0,1	0,1
0,788	9,8	9,9	0,1	0,2	0,1
0,785	9,7	9,8	0,1	0,1	0,0
0,782	9,7	9,8	0,1	0,1	0,1
0,779	9,7	9,8	0,1	0,2	0,1
0,776	9,6	9,8	0,2	0,2	0,1
0,773	9,6	9,7	0,1	0,1	0,1
0,770	9,6	9,7	0,1	0,1	0,1
0,767	9,6	9,7	0,1	0,2	0,1
0,764	9,5	9,7	0,2	0,2	0,1
0,761	9,5	9,6	0,1	0,1	0,1
0,758	9,5	9,6	0,1	0,2	0,1
0,756	9,4	9,6	0,2	0,2	0,1
0,753	9,4	9,6	0,2	0,2	0,2
0,750	9,4	9,6	0,2	0,2	0,2
0,747	9,4	9,6	0,2	0,3	0,2
0,744	9,3	9,5	0,2	0,2	0,1
0,741	9,3	9,5	0,2	0,3	0,2
0,738	9,2	9,4	0,2	0,2	0,1
0,735	9,2	9,4	0,2	0,2	0,2
0,732	9,2	9,3	0,1	0,2	0,1
0,729	9,1	9,3	0,2	0,2	0,1
0,726	9,1	9,2	0,1	0,1	0,1
0,723	9,1	9,2	0,1	0,2	0,1
0,720	9,0	9,1	0,1	0,1	0,0
0,717	9,0	9,1	0,1	0,1	0,1
0,714	9,0	9	0,0	0,1	0,0
0,711	8,9	9	0,1	0,1	0,0
0,708	8,9	8,9	0,0	0,0	0,0
0,705	8,9	8,9	0,0	0,1	0,0
0,702	8,8	9	0,2	0,2	0,1
0,699	8,8	9	0,2	0,2	0,2
0,696	8,8	8,9	0,1	0,2	0,1
0,694	8,7	8,9	0,2	0,2	0,1
0,691	8,7	8,8	0,1	0,1	0,1
0,688	8,7	8,8	0,1	0,2	0,1
0,685	8,6	8,7	0,1	0,1	0,0
0,682	8,6	8,7	0,1	0,2	0,1

0,679	8,5	8,6	0,1	0,1	0,0
0,676	8,5	8,6	0,1	0,1	0,1
0,673	8,5	8,5	0,0	0,1	0,0
0,670	8,4	8,5	0,1	0,1	0,0
0,667	8,4	8,4	0,0	0,0	0,0
0,664	8,4	8,4	0,0	0,1	0,0
0,661	8,3	8,3	0,0	0,0	-0,1
0,658	8,3	8,3	0,0	0,0	0,0
0,655	8,3	8,4	0,1	0,2	0,1
0,652	8,2	8,4	0,2	0,2	0,1
0,649	8,2	8,3	0,1	0,2	0,1
0,646	8,1	8,3	0,2	0,2	0,1
0,643	8,1	8,2	0,1	0,1	0,1
0,640	8,1	8,2	0,1	0,2	0,1
0,637	8,0	8,1	0,1	0,1	0,0
0,635	8,0	8,1	0,1	0,2	0,1
0,632	7,9	8	0,1	0,1	0,0
0,629	7,9	8	0,1	0,1	0,1
0,626	7,9	7,9	0,0	0,1	0,0
0,623	7,8	7,9	0,1	0,1	0,0
0,620	7,8	7,8	0,0	0,0	0,0
0,617	7,8	7,8	0,0	0,1	0,0
0,614	7,7	7,7	0,0	0,0	-0,1
0,611	7,7	7,7	0,0	0,1	0,0
0,608	7,6	7,6	0,0	0,0	-0,1
0,605	7,6	7,6	0,0	0,0	0,0
0,602	7,6	7,5	-0,1	0,0	-0,1
0,599	7,5	7,5	0,0	0,0	-0,1
0,596	7,5	7,4	-0,1	0,0	-0,1
0,593	7,4	7,4	0,0	0,0	-0,1
0,590	7,4	7,3	-0,1	0,0	-0,1
0,587	7,3	7,3	0,0	0,0	-0,1
0,584	7,3	7,2	-0,1	-0,1	-0,1
0,581	7,3	7,2	-0,1	0,0	-0,1
0,578	7,2	7,1	-0,1	-0,1	-0,2
0,575	7,2	7,1	-0,1	0,0	-0,1
0,573	7,1	7	-0,1	-0,1	-0,2
0,570	7,1	7	-0,1	-0,1	-0,1
0,567	7,1	6,9	-0,2	-0,1	-0,2
0,564	7,0	6,9	-0,1	-0,1	-0,2
0,561	7,0	7	0,0	0,1	0,0
0,558	6,9	7	0,1	0,1	0,0
0,555	6,9	6,9	0,0	0,1	0,0
0,552	6,8	6,9	0,1	0,1	0,0
0,549	6,8	6,8	0,0	0,1	0,0
0,546	6,7	6,8	0,1	0,1	0,0
0,543	6,7	6,7	0,0	0,0	0,0
0,540	6,7	6,7	0,0	0,1	0,0
0,537	6,6	6,6	0,0	0,0	-0,1

0,534	6,6	6,6	0,0	0,1	0,0
0,531	6,5	6,5	0,0	0,0	-0,1
0,528	6,5	6,5	0,0	0,1	0,0
0,525	6,4	6,4	0,0	0,0	-0,1
0,522	6,4	6,4	0,0	0,1	0,0
0,519	6,3	6,3	0,0	0,0	-0,1
0,516	6,3	6,3	0,0	0,1	0,0
0,514	6,2	6,2	0,0	0,0	-0,1
0,511	6,2	6,2	0,0	0,1	0,0
0,508	6,1	6,1	0,0	0,0	-0,1
0,505	6,1	6,1	0,0	0,1	0,0
0,502	6,0	6	0,0	0,0	-0,1
0,499	6,0	6	0,0	0,0	0,0
0,496	6,0	5,9	-0,1	0,0	-0,1
0,493	5,9	5,9	0,0	0,0	-0,1
0,490	5,9	5,8	-0,1	0,0	-0,1
0,487	5,8	5,8	0,0	0,0	-0,1
0,484	5,8	5,7	-0,1	0,0	-0,1
0,481	5,7	5,7	0,0	0,0	-0,1
0,478	5,7	5,6	-0,1	0,0	-0,1
0,475	5,6	5,6	0,0	0,1	-0,1
0,472	5,5	5,5	0,0	0,0	-0,1
0,469	5,5	5,5	0,0	0,1	0,0
0,466	5,4	5,4	0,0	0,0	-0,1
0,463	5,4	5,4	0,0	0,1	0,0
0,460	5,3	5,3	0,0	0,0	-0,1
0,457	5,3	5,3	0,0	0,1	0,0
0,454	5,2	5,2	0,0	0,0	-0,1
0,452	5,2	5,2	0,0	0,1	0,0
0,449	5,1	5,1	0,0	0,0	-0,1
0,446	5,1	5,1	0,0	0,1	0,0
0,443	5,0	5	0,0	0,0	-0,1
0,440	5,0	5	0,0	0,1	0,0
0,437	4,9	4,9	0,0	0,1	-0,1
0,434	4,8	4,9	0,1	0,1	0,0
0,431	4,8	4,8	0,0	0,1	0,0
0,428	4,7	4,8	0,1	0,1	0,0
0,425	4,7	4,7	0,0	0,1	0,0
0,422	4,6	4,7	0,1	0,1	0,0
0,419	4,6	4,6	0,0	0,1	0,0
0,416	4,5	4,6	0,1	0,2	0,0
0,413	4,4	4,5	0,1	0,1	0,0
0,410	4,4	4,5	0,1	0,2	0,1
0,407	4,3	4,4	0,1	0,1	0,0
0,404	4,3	4,4	0,1	0,2	0,1
0,401	4,2	4,3	0,1	0,2	0,0
0,398	4,1	4,3	0,2	0,2	0,1
0,395	4,1	4,2	0,1	0,2	0,1
0,393	4,0	4,2	0,2	0,2	0,1

0,390	4,0	4,1	0,1	0,2	0,1
0,387	3,9	4,1	0,2	0,3	0,1
0,384	3,8	4	0,2	0,2	0,1
0,381	3,8	4	0,2	0,3	0,2
0,378	3,7	3,9	0,2	0,2	0,1
0,375	3,7	3,9	0,2	0,3	0,2
0,372	3,6	3,9	0,2	0,2	0,1
0,369	3,6	3,8	0,2	0,3	0,2
0,366	3,5	3,6	0,1	0,2	0,0
0,363	3,4	3,6	0,2	0,3	0,1
0,360	3,3	3,4	0,1	0,2	0,0
0,357	3,2	3,4	0,2	0,2	0,1
0,354	3,2	3,2	0,0	0,1	0,0
0,351	3,1	3,2	0,1	0,2	0,0
0,348	3,0	3,2	0,2	0,2	0,1
0,345	3,0	3,2	0,2	0,3	0,2
0,342	2,9	3	0,1	0,2	0,0
0,339	2,8	3	0,2	0,2	0,1
0,336	2,8	2,8	0,0	0,1	0,0
0,333	2,7	2,8	0,1	0,2	0,0
0,331	2,6	2,6	0,0	0,1	-0,1
0,328	2,5	2,6	0,1	0,1	0,0
0,325	2,5	2,6	0,1	0,2	0,1
0,322	2,4	2,6	0,2	0,3	0,1
0,319	2,3	2,4	0,1	0,2	0,0
0,316	2,2	2,4	0,2	0,2	0,1
0,313	2,2	2,2	0,0	0,1	0,0
0,310	2,1	2,2	0,1	0,2	0,0
0,307	2,0	2	0,0	0,1	-0,1
0,304	1,9	2	0,1	0,2	0,0
0,301	1,8	1,8	0,0	0,0	-0,1
0,298	1,8	1,8	0,0	0,1	0,0
0,295	1,7	1,6	-0,1	0,0	-0,2
0,292	1,6	1,6	0,0	0,1	-0,1
0,289	1,5	1,4	-0,1	0,0	-0,2
0,286	1,4	1,4	0,0	0,1	-0,1
0,283	1,3	1,2	-0,1	0,0	-0,2
0,280	1,2	1,2	0,0	0,0	-0,1
0,277	1,2	1,2	0,0	0,1	0,0
0,274	1,1	1,2	0,1	0,2	0,0
0,272	1,0	1	0,0	0,1	-0,1
0,269	0,9	1	0,1	0,2	0,0
0,266	0,8	0,8	0,0	0,1	-0,1
0,263	0,7	0,8	0,1	0,2	0,0
0,260	0,6	0,6	0,0	0,1	-0,1
0,257	0,5	0,6	0,1	0,2	0,0
0,254	0,4	0,4	0,0	0,1	-0,1
0,251	0,3	0,4	0,1	0,2	0,0
0,248	0,2	0,2	0,0	0,1	-0,1

0,245	0,1	0,2	0,1	0,2	0,0
0,242	0,0	0	0,0	0,1	-0,1
0,239	-0,1	0	0,1	0,2	0,0
0,236	-0,2	-0,2	0,0	0,1	-0,1
0,233	-0,3	-0,2	0,1	0,2	0,0
0,230	-0,4	-0,4	0,0	0,1	-0,1
0,227	-0,5	-0,4	0,1	0,2	0,0
0,224	-0,6	-0,6	0,0	0,1	-0,1
0,221	-0,7	-0,6	0,1	0,2	0,0
0,218	-0,8	-0,8	0,0	0,1	-0,1
0,215	-0,9	-0,8	0,1	0,2	0,0
0,212	-1,0	-1	0,0	0,2	-0,1
0,210	-1,2	-1	0,2	0,3	0,0
0,207	-1,3	-1,2	0,1	0,2	0,0
0,204	-1,4	-1,2	0,2	0,3	0,1
0,201	-1,5	-1,4	0,1	0,2	0,0
0,198	-1,6	-1,4	0,2	0,3	0,1
0,195	-1,7	-1,6	0,1	0,2	0,0
0,192	-1,8	-1,8	0,0	0,2	-0,1
0,189	-2,0	-1,8	0,2	0,3	0,0
0,186	-2,1	-1,8	0,3	0,5	0,2
0,183	-2,3	-2,1	0,2	0,3	0,0
0,180	-2,4	-2,1	0,3	0,4	0,2
0,177	-2,5	-2,5	0,0	0,2	-0,1
0,174	-2,7	-2,5	0,2	0,3	0,0
0,171	-2,8	-2,7	0,1	0,3	0,0
0,168	-3,0	-2,7	0,3	0,4	0,1
0,165	-3,1	-3,1	0,0	0,2	-0,1
0,162	-3,3	-3,1	0,2	0,3	0,0
0,159	-3,4	-3,3	0,1	0,3	0,0
0,156	-3,6	-3,3	0,3	0,4	0,1
0,153	-3,7	-3,7	0,0	0,2	-0,1
0,151	-3,9	-3,7	0,2	0,3	0,0
0,148	-4,0	-4,1	-0,1	0,1	-0,2
0,145	-4,2	-4,1	0,1	0,3	-0,1
0,142	-4,4	-4,5	-0,1	0,1	-0,3
0,139	-4,6	-4,5	0,1	0,2	-0,1
0,136	-4,7	-4,7	0,0	0,2	-0,1
0,133	-4,9	-4,7	0,2	0,4	0,0
0,130	-5,1	-5,1	0,0	0,2	-0,2
0,127	-5,3	-5,1	0,2	0,4	0,0
0,124	-5,5	-5,5	0,0	0,2	-0,2
0,121	-5,7	-5,5	0,2	0,4	0,0
0,118	-5,9	-5,9	0,0	0,2	-0,2
0,115	-6,1	-5,9	0,2	0,4	0,0
0,112	-6,3	-6,3	0,0	0,2	-0,2
0,109	-6,5	-6,3	0,2	0,5	0,0
0,106	-6,8	-6,7	0,1	0,3	-0,2
0,103	-7,0	-6,7	0,3	0,5	0,1

0,100	-7,2	-7,1	0,1	0,4	-0,1
0,097	-7,5	-7,1	0,4	0,6	0,1
0,094	-7,7	-7,5	0,2	0,5	0,0
0,091	-8,0	-7,5	0,5	0,8	0,2
0,089	-8,3	-8,2	0,1	0,3	-0,2
0,086	-8,5	-8,2	0,3	0,6	0,1
0,083	-8,8	-8,8	0,0	0,3	-0,3
0,080	-9,1	-8,8	0,3	0,6	0,0
0,077	-9,4	-9,4	0,0	0,4	-0,3
0,074	-9,8	-9,4	0,4	0,7	0,0
0,071	-10,1	-10,2	-0,1	0,3	-0,4
0,068	-10,5	-10,2	0,3	0,6	-0,1
0,065	-10,8	-10,8	0,0	0,4	-0,3
0,062	-11,2	-10,8	0,4	0,8	0,0
0,059	-11,6	-11,6	0,0	0,4	-0,4
0,056	-12,0	-11,6	0,4	0,9	0,0
0,053	-12,5	-12,4	0,1	0,6	-0,4
0,050	-13,0	-12,4	0,6	1,1	0,1
0,047	-13,5	-13,2	0,3	0,8	-0,2
0,044	-14,0	-13,2	0,8	1,4	0,3
0,041	-14,6	-14,5	0,1		-0,5