

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE RUIDO AMBIENTAL
PARA LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA C.R.C**

**JOHN ROBERT MUÑOZ CHÁVEZ
DIEGO ANTONIO LEGARDA CÓRDOBA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA FÍSICA
POPAYÁN CIUDAD UNIVERSITARIA
2006**

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE RUIDO AMBIENTAL
PARA LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA C.R.C**

**JOHN ROBERT MUÑOZ CHÁVEZ
DIEGO ANTONIO LEGARDA CÓRDOBA**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingenieros
Físicos**

**DIRECTOR
Mg. EDGAR MATALLANA SÁNCHEZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA FÍSICA
POPAYÁN CIUDAD UNIVERSITARIA**

2006

Nota de aceptación

Director

Mg. Edgar Matallana Sánchez

Ing. Lourdes Ximena Trujillo

Ing. Mario Andrés Córdoba

Fecha de sustentación, 27 de junio de 2006

A Dios por permitirme realizar mis objetivos, a mis padres y hermanas por brindarme su apoyo en los momentos difíciles, Andrea por su voz de aliento, a mis compañeros y amigos

A mis padres por el apoyo que me brindaron a mi hermano, a mi familia muchas gracias por todo. A Gisel Viviana por su comprensión, a mis compañeros y amigos.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros más profundos agradecimientos a:

Edgar Matallana Sánchez, Magíster en Física, Director del Grupo I+D y Director del trabajo de grado, por su colaboración y valiosos aportes.

A la Universidad del Cauca quien nos dio la oportunidad de formarnos profesionalmente al interior del programa de Ingeniería Física.

A la Corporación Autónoma Regional del Cauca (C.R.C) por su apoyo durante todo el desarrollo del trabajo de grado.

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN.....	13
1. ACÚSTICA	15
1.2 LA ECUACIÓN DE ONDA UNIDIMENSIONAL.....	16
1.2.1. Ecuación de onda en un tubo de sección constante	16
1.2.2 Frecuencia.	20
1.2.3 Longitud de onda	20
1.2.4 Armónicos.....	21
1.2.5 Amplitud de rías cuadrática media (RMS).....	21
1.3 1.5 INTRODUCCIÓN A LA PSICOACÚSTICA.....	24
1.5.1. El oído humano.	24
1.5.2 Oído externo.....	25
1.5.3 Oído medio.	25
1.5.4. Oído interno	27
1.6 UMBRAL DE AUDICIÓN.....	31
1.6.1 Curvas de igual sonoridad y nivel de sonoridad.	32
1.7 SONÓMETRO.....	37
1.7.1 Micrófonos.....	38
Micrófono de condensador.....	39
Micrófonos prepolarizados o de ELECTRET-condensador.....	40
1.7.2 Respuesta de incidencia perpendicular y de incidencia horizontal.....	41
1.7.3 Respuesta de incidencia aleatoria.....	41
1.7.4 Ponderación temporal exponencial.....	41
1.7.5 Nivel sonoro continuo equivalente.....	42
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	43
2.1 COMPONENTES DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE PRESIÓN SONORA.....	43
2.2 DISEÑO CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SONÓMETRO.....	43
TL 064.....	44
LM324.....	44
PIC 18F452.....	44
2.2.3 Consideraciones para el diseño de circuitos Impresos.....	45
2.2.4 Construcción y Montajes Preliminares.	45
2.2.5 Etapa de integración y almacenamiento.	49
2.2.6 Interfaz RS232.	49
2.2.7 Módulo LCD.	49
2.3 DISEÑO GENERAL DEL SOFTWARE.....	51
2.3.1 Entrada.....	52
2.3.2 Adquisición de datos.....	52

2.3.3 Base de datos.....	53
2.3.4 Barras estadísticas	54
2.3.5 Graficar.....	54
2.3.6 Informe.....	55
2.3.7 Ayuda.....	56
3. CONSTRUCCIÓN DEL MAPA SÓNICO DE POPAYÁN	57
3.1 METODOLOGÍA	57
3.1.1 Equipos Utilizados Para La Medición.....	59
3.2 <i>COMUNA 1</i>	59
3.2.1 Características de la comuna	59
3.2.2 Análisis.....	59
3.3 <i>COMUNA 2</i>	60
3.3.1 Características de la comuna	60
3.3.2 Análisis.....	60
3.4 <i>COMUNA 3</i>	61
3.4.1 Características de la comuna	61
3.4.1 Análisis.....	61
3.5 <i>COMUNA 4</i>	61
3.5.1 Características de la comuna	61
3.5.2 Análisis.....	62
3.6 <i>COMUNA 5</i>	63
3.6.1 Características de la comuna	63
3.6.2 Análisis.....	63
3.7 <i>COMUNA 6</i>	64
3.7.1 Características de la comuna	64
3.7.2 Análisis.....	64
3.8 <i>COMUNA 7</i>	64
3.8.1 Características de la comuna	64
3.8.2 Análisis.....	65
3.9 <i>COMUNA 8</i>	65
3.9.1 Características de la comuna	65
3.9.2 Análisis.....	66
3.10 <i>COMUNA 9</i>	67
3.10.1 Características de la comuna	67
3.10.2 Análisis.....	67
4. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	69
CONCLUSIONES.....	74
REFERENCIAS	90

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Velocidad del sonido para ondas planas en varios medios	20
Tabla 2 Valores de las correcciones de las curvas de ponderación A, B y C	36
Tabla 3. Valores comparativos entre el sonómetro prototipo y el sonómetro Quest2900	72
Tabla 4. Valores comparativos entre el sonómetro prototipo y el sonómetro CASELLA	73
Tabla 5. Valores comparativos de la segunda prueba entre el sonómetro prototipo y el sonómetro CASELLA.	74

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Propagación de una perturbación en un tubo.	15
Figura 2. Un tubo de sección constante en dos instantes de tiempo diferentes.	16
Figura 3. Propagación de una onda a lo largo del tubo.....	19
Figura 4. Comparación entre valor RMS, valor pico y valor promedio, de un onda sinusoidal	22
Figura 5. Ondas sinusoidales desfasadas.	23
Figura 6. Difracción de ondas sonoras.....	24
Figura 7. Corte transversal del oído derecho	24
Figura 8. Izquierda, los tres huesecillos del oído medio. Derecha, su mecánica.....	26
Figura 9. Aspecto idealizado del oído interno.	28
Figura 10. Corte transversal del conducto coclear.....	28
Figura 11. Dos vistas de la cóclea hipotéticamente rectificada. Arriba, vista superior. Abajo, vista lateral.	29
Figura 12. Arriba, onda viajera en la membrana basilar en un instante dado. Abajo, posición de la onda en tres instantes de tiempo t1, t2 y t3.....	30
Figura 13. Envoltente espacial de las ondas viajeras sobre la membrana basilar para cuatro frecuencias diferentes.....	30
Figura 14. Ubicación de la resonancia a lo largo de la membrana basilar en función de la frecuencia	30
Figura 15. Célula ciliada entre la membrana basilar y tectoria	31
Figura 16. Umbral absoluto de audición.....	32
Figura 17. Curvas de Fletcher y Munson (1933).	33
Figura 18. Curvas de compensación (o ponderación) A, B y C.....	35
Figura 19. Diagrama de bloques general de un sonómetro.....	38
Figura 20. Diagrama en bloques general del sonómetro.....	43
Figura 21. Diagrama en esquemático de la etapa de amplificación y filtrado.	47
Figura 22. Diagrama esquemático de la etapa de amplificación y filtrado.....	48
Figura 23. Foto de la placa del circuito.....	48
Figura 24. Diagrama esquemático de la etapa de configuración del PIC 18F452.....	50
Figura 25. Foto de la placa del circuito.....	51
Figura 26. Diagrama de flujo general del software del sistema de medición	51
Figura 27. Formulario de presentación inicial	52
Figura 28. Ventana de comunicación serial con el sonometro	53
Figura 29. Ventana en donde se muestran los registros de la base de datos.....	53
Figura 30. Ventana que muestra los porcentajes de los niveles Leq de los registros almacenados.....	54
Figura 31. Gráfica de los datos.	55

Figura 32. Vista preliminar de la gráfica de los datos.	55
Figura 33. Informe de los datos registrados.	56
Figura 34. Formulario de ayuda del programa.....	56

RESUMEN

Este trabajo describe el proceso de construcción de un sistema de medición de ruido ambiental; expone algunos fundamentos de acústica y de tratamiento de señales, indica además las partes más sobresalientes que conforman un sonómetro y también se incluye el trabajo realizado para obtener el mapa sónico del municipio de Popayán que se desarrolló con la Corporación Autónoma Regional del Cauca C.R.C. simultáneamente con la construcción del equipo el sistema construido involucra un sensor, una etapa amplificadora y de filtrado de la señal; así como un elemento que permite almacenar los datos que después son vaciados por medio de una interfaz serial al computador; este vaciado de datos es realizado gracias a un software desarrollado mediante programación que permite crear interfaz de usuario mediante métodos gráficos orientado a eventos, y permite además de la organización de las medidas en una base de datos, y la generación de un informe. El equipo se calibró gracias al pistófono CEL 284/2 que cumple con las normas IEC 942:1988 clase 1 y la norma ANSI s1.40-1984. y se realizaron pruebas con dos sonómetros que pertenecen a la C.R.C. para comparar el funcionamiento del prototipo.

INTRODUCCIÓN

El ruido ambiental, causado por el tráfico y las actividades industriales y recreativas, constituye uno de los principales problemas medioambientales en nuestro medio y es el origen de un número cada vez mayor de quejas por parte del público. Sin embargo, por regla general, las acciones destinadas a reducir el ruido ambiental han sido menos prioritarias que las destinadas a combatir otros tipos de contaminación, como por ejemplo la atmosférica o la del agua.

El ruido siempre ha sido un problema ambiental importante para el ser humano. Un gran número de autos transitan regularmente por nuestras ciudades y campos. Los camiones de carga pesada con motores diesel sin silenciadores adecuados circulan en ciudades y carreteras día y noche. En la industria, la maquinaria emite altos niveles de ruido y los centros de esparcimiento y juegos perturban la tranquilidad.

En comparación con otros contaminantes, el ruido es una forma de contaminación que es muy difícil de medir; controlar y en ocasiones de determinar la fuente que lo genera. Por el contrario es un contaminante que no requiere de mucha energía para producirse, no genera residuos y su radio de acción es pequeño en comparación con contaminantes del aire y agua.

Para desarrollar un adecuado estudio sobre los niveles de ruido de un determinado sector, se hace necesario contar con un instrumento adecuado así como de una metodología para determinar las fuentes generadoras de esta contaminación, para lograr esta fijación, se tiene en cuenta los niveles de presión sonora que son ejercidas por las vibraciones ondulatorias que se producen en el aire. La presión sonora se ha establecido como un estándar para obtener los efectos de una determinada perturbación en el aire por su relativa poca

complejidad de medición y de comparación con otras variables del sonido como son la energía, la velocidad y la frecuencia.

El oído humano joven es capaz de percibir sonidos que estén entre los 20 Hz a 20.000 Hz, debido a que nuestro sistema auditivo no percibe todas las frecuencias sonoras, se usan diversos tipos de filtros y medidores de frecuencias para determinar el ruido ambiental; la ponderación A es la más usada ampliamente y representa una curva estimativa de la respuesta del sistema auditivo. Esta ponderación es la que se usa más ampliamente en los sonómetros y por ello es la que se ha escogido para desarrollar el instrumento objeto de este trabajo de grado.

El software desarrollado mediante programación que permite crear interfaz de usuario mediante métodos gráficos orientado a eventos, esta programación se llevó a cabo con la herramienta Visual Basic 6.0, lográndose como producto final un programa que permite descargar los datos del sonómetro de una manera fácil y rápida, hacer un almacenamiento de estos en una base de datos que está implementada igualmente dentro del programa, se presenta además, una visualización de la gráfica de los datos con los límites permitidos legalmente para una determinada zona así como permite elaborar un informe de cada medición facilitando su impresión y la impresión de la gráfica de los datos. Esta forma de programación es de facilidad relativa, porque a medida que se requiere ahondar más en cuanto se refiere al sistema operativo y en la interfaz que maneja el computador, hace que procedimientos resulten largos y hasta engorrosos.

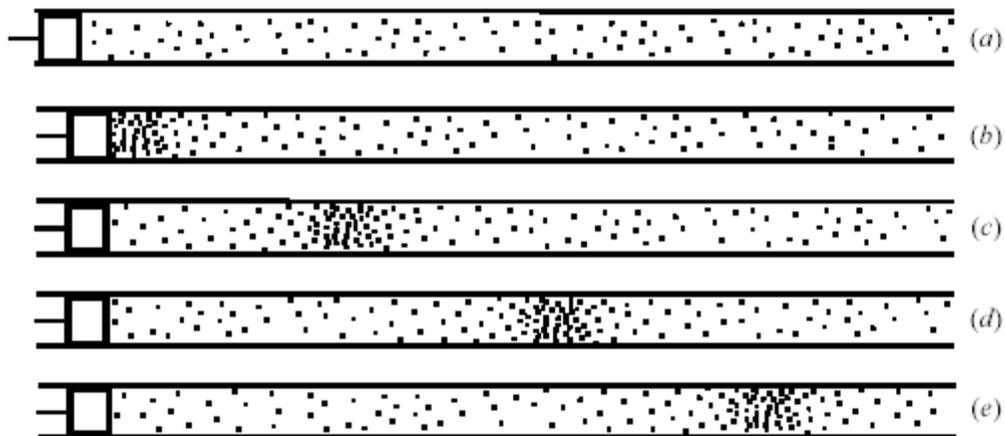
Este tipo de trabajo permite que el desarrollo de herramientas para la solución de problemas de nuestro entorno resulte más económico y asequible de acuerdo al costo que representa adquirir instrumento que realicen las mismas funciones que el sistema que se presenta en este proyecto.

1. ACÚSTICA

Sintéticamente, las ondas sonoras se originan en la interacción entre la elasticidad (compresibilidad) y la inercia (segunda ley de Newton) de un medio como el aire.

Analicemos conceptualmente el ejemplo de un largo tubo con un pistón en uno de sus extremos (figura 1). En el estado inicial, (a), el aire se encuentra en equilibrio. La densidad es constante en toda la extensión del tubo, al igual que la presión. En (b) el pistón empuja el aire circundante, perturbando el equilibrio. Debido a la inercia, no es posible mover instantáneamente toda la columna de aire, por lo cual el aire próximo al pistón se comprime. El aire comprimido ejerce mayor presión sobre el aire que lo rodea a menor presión, por lo que tiende a comprimirlo, a su vez descomprimiéndose. El resultado, ilustrado en (c), es que la perturbación se ha desplazado. Este proceso se repite en forma continua, como se muestra en (d) y (e). La perturbación se aleja, así, de la fuente (el pistón).

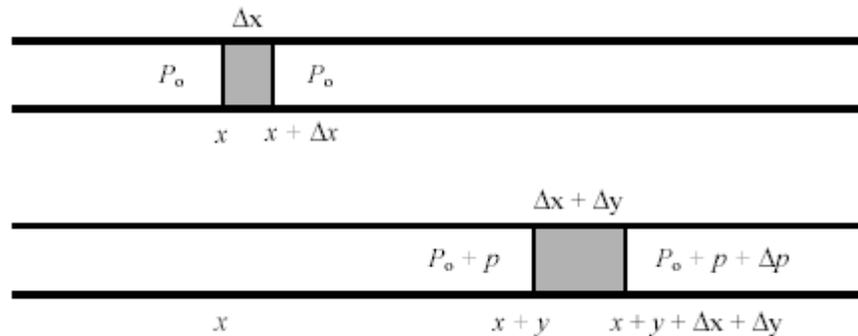
Figura 1. Propagación de una perturbación en un tubo.



1.2 LA ECUACIÓN DE ONDA UNIDIMENSIONAL

1.2.1. Ecuación de onda en un tubo de sección constante [1] Consideremos un tubo cilíndrico de sección transversal A y extensión infinita, como el indicado en la figura 2, en dos instantes de tiempo. Las dos regiones sombreadas corresponden a la misma porción de gas. En la parte superior de la figura la presión total es constante e igual a la presión atmosférica, P_0 . En la parte inferior la porción de aire se ha desplazado una distancia y , y su espesor pasó de valer Δx a valer $\Delta x + \Delta y$. La presión se ha modificado en un valor p en la cara izquierda y $p + \Delta p$ en la cara derecha, dando lugar a una fuerza neta que actúa sobre el volumen de gas. Tanto el desplazamiento como el incremento de presión son funciones de las dos variables x y t , es decir, $y(x, t)$ y $p(x, t)$. Llamaremos presión sonora al incremento de presión $p(x, t)$.

Figura 2. Un tubo de sección constante en dos instantes de tiempo diferentes.



Podemos aplicar la segunda ley de Newton. Para ello tengamos en cuenta que si la densidad del aire es ρ_0 , entonces la masa de dicha porción es $\rho_0 A \Delta x$. La fuerza neta que actúa en la dirección del movimiento puede calcularse teniendo en cuenta que la presión del lado izquierdo es $P_0 + p$, mientras que del lado derecho es $P_0 + p + \Delta p$:

$$(p_0 + p)A - (p_0 + p + \Delta p)A = -\Delta p A$$

Entonces, dado que la aceleración es y_{tt} , resulta

$$-\Delta p A = \rho_0 A \Delta x \cdot y_{tt}$$

Dividiendo por A y por Δx y pasando al límite cuando $\Delta x \rightarrow 0$, se obtiene

$$-p_x = \rho_0 y_{tt} \quad (1)$$

Esta es una ecuación diferencial en derivadas parciales con dos funciones incógnitas: la presión p y el desplazamiento y . Se necesitará otra ecuación que las vincule para poder despejarlas. Dicha ecuación puede obtenerse mediante las relaciones que existen entre el volumen y la presión en un medio gaseoso. Si la temperatura fuera constante (proceso *isotérmico*), la relación sería la *ley de Boyle*:

$$PV = cte$$

Pero el gradiente de temperatura es muy bajo y la conductividad térmica del aire también, por lo que el intercambio de calor es despreciable. El proceso resulta, por consiguiente, *adiabático*. Las compresiones adiabáticas responden a la ley

$$P \cdot V^\gamma = cte \quad (2)$$

Donde $\gamma = C_P/C_V$, es decir, el cociente entre las capacidades caloríficas a presión constante y a volumen constante. Para gases biatómicos, como lo es esencialmente el aire, $\gamma \approx 1,4$. De la ecuación 2 podemos obtener la siguiente expresión incremental:

$$\frac{dP}{P} = -\gamma \frac{dV}{V} \quad (3)$$

En el presente caso, $dP = p$, $P = P_0$, $dV = A \Delta y$, $V = A \Delta x$, de donde

$$\frac{p}{P_0} = -\gamma \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

Pasando al límite cuando $\Delta x \rightarrow 0$, resulta,

$$\frac{p}{P_0} = -\gamma \cdot y_x \quad (4)$$

Tenemos ahora dos ecuaciones, (1) y (4) que vinculan las incógnitas funcionales $p(x, t)$ e $y(x, t)$. En general estamos más interesados en la presión que en el desplazamiento, debido a que es la magnitud que puede medirse directamente con mayor facilidad (utilizando un

micrófono como transductor). Derivando la ecuación (1) con respecto a x y la (4) dos veces con respecto a t se puede eliminar y . Tenemos, finalmente,

$$p_{tt} = \frac{\gamma P_0}{\rho_0} p_{xx}$$

o bien

$$p_{tt} = c^2 p_{xx} \quad (5)$$

Ecuación conocida como *ecuación de onda unidimensional*. La constante c , dada por

$$c = \sqrt{\frac{\gamma P_0}{\rho_0}} \quad (6)$$

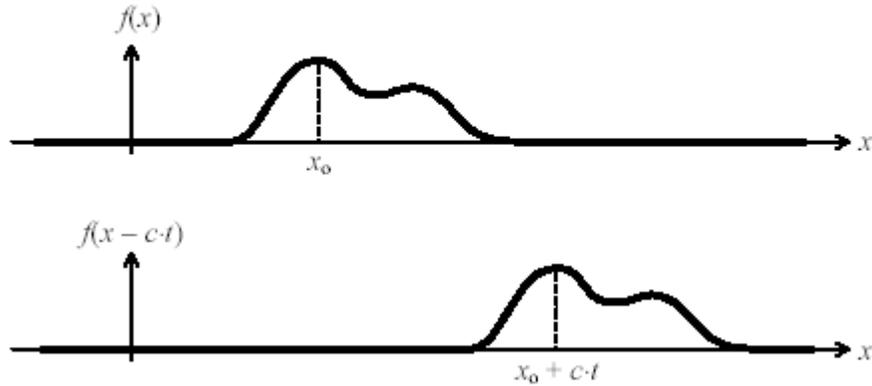
Donde C es la *velocidad del sonido*.

Es posible demostrar que la solución general de la ecuación (5) está dada por

$$p(x,t) = f(x-ct) + g(x+ct) \quad (7)$$

donde f y g son dos funciones arbitrarias de una variable derivables dos veces. Cada término de esta ecuación puede interpretarse de un modo muy sencillo. Por ejemplo, si en el término $f(x-ct)$ tomamos $t = 0$, tendremos la distribución inicial de presión, como se indica en la parte superior de la figura 3. Luego de un tiempo $t > 0$ la nueva distribución de presión es la que se indica en la parte inferior. Vemos que cualquier rasgo distintivo (por ejemplo un pico) de la presión se ha movido una distancia ct hacia la derecha. Es por esta razón que c se interpreta como la *velocidad del sonido*. Es importante notar que lo que se propaga es la *distribución de presión*, no la *materia*. Cuando uno de los dos términos f o g es 0 se tiene una *onda unidireccional* o *progresiva*.

Figura 3. Propagación de una onda a lo largo del tubo.



La expresión (6) de la velocidad del sonido parecería depender en forma separada de la presión de equilibrio P_0 (presión atmosférica en el caso del aire) y de su densidad ρ_0 . Sin embargo, estas dos magnitudes están, en realidad, vinculadas por la *ley general de los gases*, que establece que

$$PV = nRT$$

donde P es la presión total, V es el volumen, n la cantidad de moles de gas, R la constante de los gases, igual a $8,31 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ y T la temperatura absoluta. La densidad será, entonces

$$\rho_0 = \frac{nM}{V}$$

donde M es la *masa molar*, es decir la masa de 1 mol de gas. En el caso del aire la masa molar media es de $0,0288 \text{ kg/mol}$. Con las igualdades anteriores puede verificarse que

$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad (8a)$$

Para temperaturas cercanas a la temperatura ambiente, esta expresión puede aproximarse (para el aire) por

$$c \cong 332 + 0,608Tc \quad (8b)$$

Donde T_c es la temperatura centígrada y c está en m/s. En particular, para $TC = 20\text{ }^\circ\text{C}$ resulta $c = 344\text{ m/s}$. Las perturbaciones no sólo se propagan en los gases, sino también en cualquier medio elástico, como los líquidos y los sólidos, aunque en este último caso el análisis completo es más complicado. En la Tabla 1 se indica la velocidad del sonido aproximada en varios medios para ondas planas [1].

Tabla 1. Velocidad del sonido para ondas planas en varios medios.

Medio	Velocidad [m/s]
Aire a 0 °C	332
Aire a 20 °C	344
Anhidrido carbónico	260
Hidrógeno	1294
Agua a 20 °C	1482
Alcohol etílico a 20°	1170
Vapor a 100 °C	405
Acero	5200
Aluminio	5000
Bronce	3480
Corcho	500
Hormigón	3500
Granito	3950
Madera	4000
Mármol	3810
Plomo	1190
Vidrio	5000

1.2.2 Frecuencia. Por definición, la frecuencia de un fenómeno periódico, como una onda sonora, es el número de veces que este fenómeno se repite asimismo en un segundo (el número de ciclos por segundo) habitualmente la frecuencia se designa mediante un número seguido de la unidad hertzio (Hz).

1.2.3 Longitud de onda La longitud de onda de un sonido es la distancia perpendicular entre dos fuentes de onda que tiene la misma fase; por ejemplo entre máximos de compresión. Esta longitud, es la misma distancia que la recorrida por la onda sonora en un

ciclo completo de vibración. La longitud de onda que se designa mediante la letra griega λ , está relacionada con la frecuencia f (en hertzios) y la velocidad del sonido c (en metros por segundo) mediante la ecuación

$$\lambda f = c \quad (1)$$

el periodo T del movimiento ondular en segundos, se obtiene mediante la expresión:

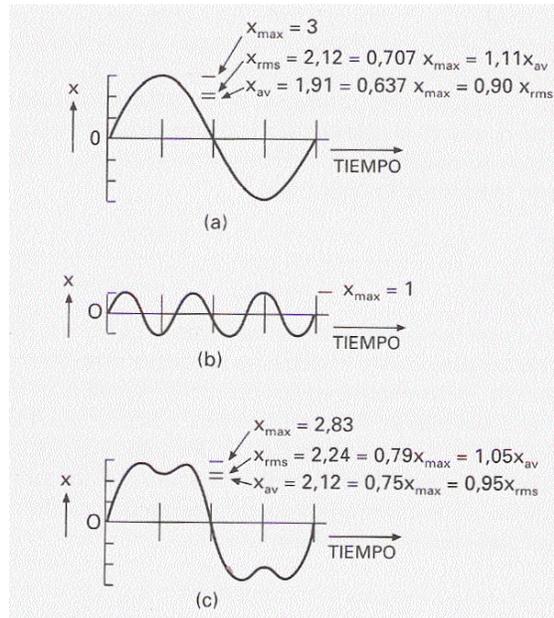
$$T = 1/f \quad (2)$$

En muchos problemas de control del ruido, la longitud real de las ondas sonoras no es una consideración importante, sino que más bien lo es la proporción entre la longitud de onda y alguna otra dimensión. Las propiedades direccionales de la fuente de un sonido dependen de la relación entre la longitud de onda del sonido radiado y las dimensiones de la fuente; y la eficacia de una barrera, al servir de escudo entre un punto a un lado de ella y la fuente de sonido al otro, dependen de la proporción entre la altura de la barrera y la longitud de onda del sonido.

1.2.4 Armónicos Supongamos una partición que es rígida y que se balancea con movimiento sinusoidal a una frecuencia de 50Hz. Se generan ondas sonoras; la presión sonora resultante varía sinusoidalmente a una frecuencia de 50 Hz. Pero la mayoría de las superficies no son infinitamente rígidas y se flexionan, dando como resultado oscilaciones adicionales. El movimiento adicional genera ondas sonoras a frecuencias altas, se denomina frecuencia fundamental a la más baja; se denominan armónicas a las frecuencias más altas que son múltiplos integrales de la fundamental.

1.2.5 Amplitud de rías cuadrática media (RMS) Es la raíz cuadrada de la suma de los desplazamientos medios al cuadrado durante un periodo. Para una onda sinusoidal, la amplitud RMS, X_{RMS} es 0,707 veces el valor máximo.

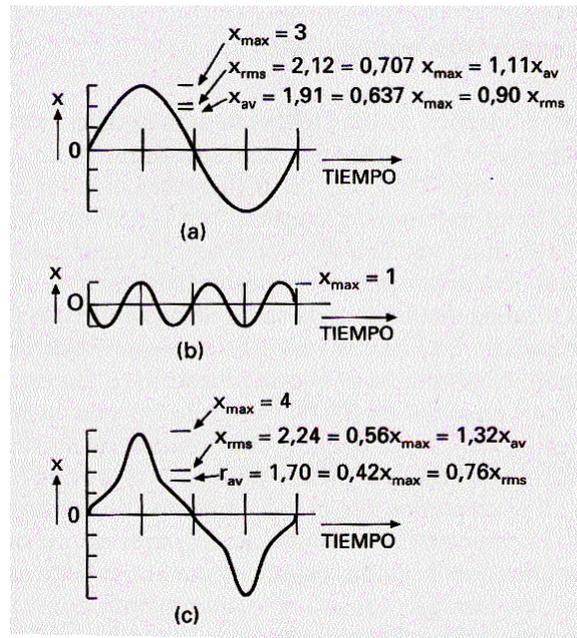
Figura 4. Comparación entre valor RMS, valor pico y valor promedio, de un onda sinusoidal



El movimiento total de una onda es la suma de movimientos de onda individuales, las ondas sinusoidales que aparecen en (a) y (b) se suman; el resultado es que muestra c. en estas ilustraciones, la frecuencia de la onda sinusoidal en (b) es tres veces la frecuencia en (a). en esta figura las dos ondas están en fase, es decir, ambas ondas cruzan sus respectivas posiciones cero en la misma dirección al mismo tiempo el valor máximo de la combinaciones un poco menor del valor máximo de la mayor onda sinusoidal aislada.

La siguiente figura muestra una combinación parecida de ondas sinusoidales, pero en este caso se dice que las ondas están desfasadas, es decir, en el momento inicial, cuando ambos desplazamientos son cero, un movimiento redirige hacia arriba y el otro se dirige hacia abajo. La combinación de las ondas sinusoidales de (a) y (b) se muestra en (c) aquí el movimiento de onda resultante es diferente al de la figura anterior (c), pero los valores RMS son los mismos en ambos casos una característica importante de los valores RMS es que permanecen igual sean cuales sean las fases relativas de la ondas constituyentes de un movimiento complejo.

Figura 5. Ondas sinusoidales desfasadas.

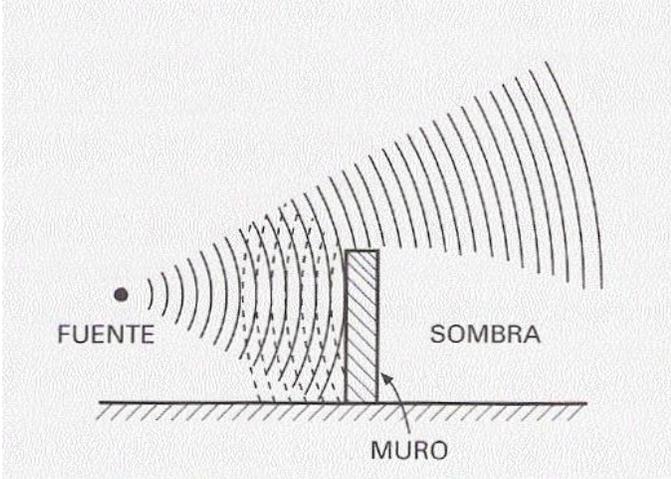


En general, el término presión sonora reutiliza para hablar de presión sonora RMS o presión efectiva, que es la raíz cuadrada promediada en el tiempo de.

$$[P_o \text{sen}(2\pi f) t]^2$$

1.2.6 Difracción de sonido Es el cambio en la dirección de la propagación de las ondas sonoras cuando chocan con un obstáculo. Como resultado de la difracción, cuando las ondas sonoras chocan con una barrera, esta no extiende una “sombra acústica” aguda. En lugar de ello, las ondas sonoras se flexionan sobre la parte superior (o por los laterales) como se observa en la figura

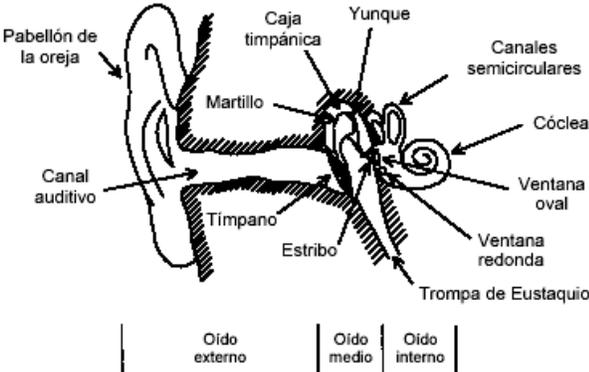
Figura 6. Difracción de ondas sonoras



1.3 1.5 INTRODUCCIÓN A LA PSICOACÚSTICA

1.5.1. El oído humano El oído (figura 7) está formado por tres secciones: el oído externo, el oído medio y el oído interno, que pasaremos a describir desde los puntos de vista anatómico y funcional.

Figura 7. Corte transversal del oído derecho



1.5.2 Oído externo. Consta del *pabellón* u oreja, y el *canal auditivo externo*. El pabellón recoge las ondas sonoras y las conduce hacia el canal auditivo mediante reflexiones y difracciones. Si bien es direccional, debido a sus irregularidades es menos direccional que la oreja de otros animales, como el gato o el perro, que además poseen control muscular voluntario de su orientación. El canal auditivo, que mide unos 25 mm, conduce el sonido al tímpano.

La parte más externa está recubierta por pilosidad y por glándulas sebáceas que segregan *cerumen*. Ejercen una acción higiénica, al fijar y arrastrar lentamente hacia el exterior las partículas de polvo que de otra forma se depositarían en el tímpano. Una segunda función es proteger al oído de ruidos muy intensos y prolongados, ya que la secreción aumenta en presencia de tales ruidos, cerrando parcialmente el conducto. Debido a la forma y las dimensiones físicas el oído externo posee una resonancia cuya frecuencia está en las proximidades de los 3000 Hz. Esta resonancia incide en la respuesta del oído, que luego estudiaremos.

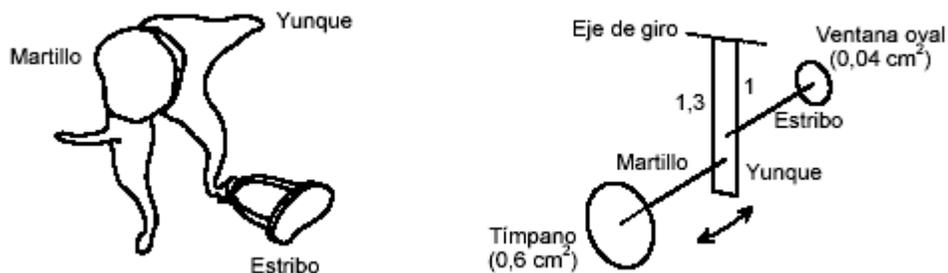
1.5.3 Oído medio. Está ubicado en la caja timpánica, y lo integra el *tímpano*, los *huesecillos* u *osículos*, y la *trompa de Eustaquio*. El tímpano es una membrana elástica, semitransparente y algo cónica, que comunica el canal auditivo externo con la caja timpánica. Es visible desde el exterior por medio del *otoscopio* (instrumento óptico que permite iluminar la zona a observar y está dotado a su vez de una lente de aumento). El tímpano recibe las vibraciones del aire y las comunica a los huesecillos. A causa de ruidos muy intensos (por ejemplo una potente explosión cerca del oído) o por determinadas infecciones, esta membrana puede perforarse, lo cual no es irreversible, ya que se cicatriza. Los huesecillos son una cadena de tres pequeños huesos: el *martillo*, el *yunque* y el *estribo* (figura 10) que comunican al oído interno las vibraciones sonoras que capta el tímpano. Están sostenidos en su lugar por una serie de pequeños ligamentos y músculos. La finalidad de esta cadena es convertir vibraciones de gran amplitud y poca presión, como las hay en el

tímpano, en vibraciones de pequeña amplitud y mayor presión, requeridas en el líquido que llena el oído interno. Esta función es asimilable, por consiguiente, a una palanca mecánica y se ilustra en la figura 8. A causa del efecto palanca las vibraciones del estribo son de menor amplitud pero mayor fuerza. La ganancia mecánica de esta palanca es de 1,3, lo que significa que la fuerza que el estribo ejerce sobre la ventana oval es 1,3 veces mayor que ejerce el tímpano sobre el martillo. A este efecto de palanca se agrega la gran diferencia de áreas entre el tímpano (0,6 cm²) y la ventana oval (0,04 cm²), lo cual implica que la relación entre las presiones en el tímpano y en la ventana oval es del orden de

$$\frac{P_{\text{ventaoval}}}{P_{\text{tímpano}}} = \frac{1,3 \cdot 0,6}{0,04} \cong 20 \quad (1)$$

Esta diferencia de presiones es necesaria ya que en el tímpano existe una impedancia acústica mucho menor que en el oído interno, ya que éste último contiene agua. El conjunto actúa, por consiguiente, como un ingenioso adaptador de impedancias acústicas.

Figura 8. Izquierda, los tres huesecillos del oído medio. Derecha, su mecánica



Los músculos, además de la función de sostén de la cadena osicular, sirven de protección del oído interno frente a sonidos intensos. Cuando penetra en el oído un ruido muy intenso, se produce la contracción refleja de estos músculos, rigidizando la cadena, que pierde entonces su eficiencia mecánica, y la energía es disipada antes de alcanzar el oído interno. Esta protección sólo es efectiva, sin embargo, para sonidos de más de 500 ms de duración.

En caso de lesión o esclerosamiento (endurecimiento) de la cadena osicular sobreviene un tipo de hipoacusia (sordera) caracterizado por una audición aérea disminuida y ósea normal. (La audición aérea corresponde a lo que se escucha a través de la oreja, por ejemplo mediante un auricular, y la audición ósea a lo que se escucha cuando se hace vibrar el cráneo.) En la actualidad es posible reemplazar quirúrgicamente algunas partes por prótesis plásticas.

1.5.4. Oído interno Está constituido por el *laberinto*, cavidad ósea que contiene a los *canales semicirculares*, el *vestíbulo*, y el *caracol*. Los canales semicirculares son el órgano sensor del sistema de equilibrio. Son tres pequeños conductos curvados en semicírculo, con ejes aproximadamente en cuadratura. Interiormente están recubiertos por terminaciones nerviosas y contienen líquido *endolinfático*. Al rotar la cabeza en alguna dirección, por inercia el líquido tiende a permanecer inmóvil. Se crea un movimiento relativo entre el líquido y los conductos que es detectado y comunicado al cerebro por las células nerviosas, lo cual permite desencadenar los mecanismos de control de la estabilidad. Al haber tres canales en cuadratura se detectan movimientos rotatorios en cualquier dirección. El vestíbulo comunica los canales semicirculares con el caracol, y al mismo tiempo comunica el caracol con la caja timpánica a través de dos orificios denominados *ventana oval* y *ventana redonda* (también llamada tímpano secundario), cubiertos por sendas membranas de unos 3 mm y 2 mm respectivamente (figura 9). El estribo, última pieza de la cadena osicular, se encuentra adherido a la ventana oval.

Figura 9. Aspecto idealizado del oído interno.

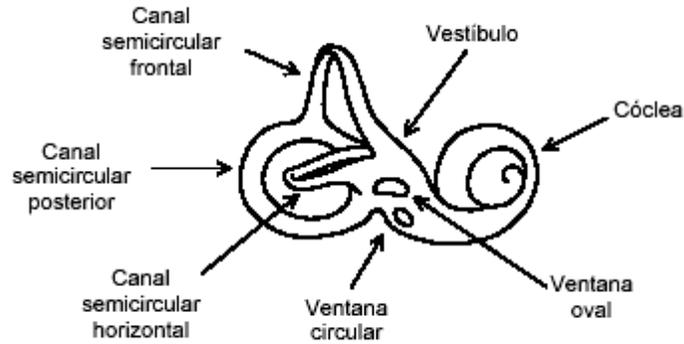
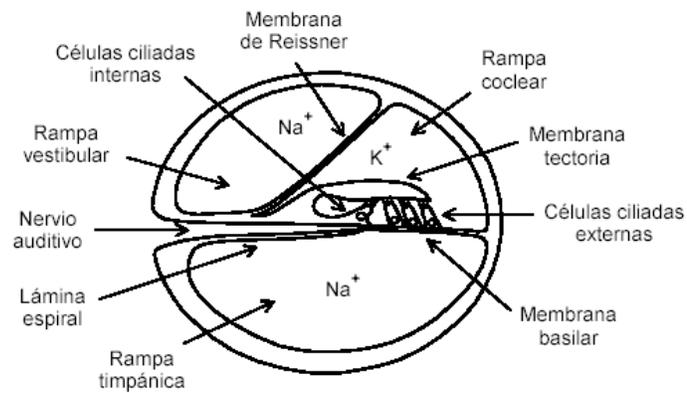
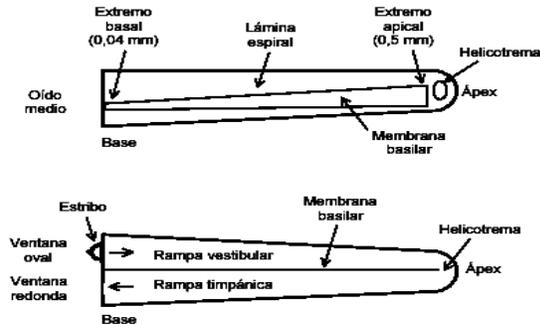


Figura 10. Corte transversal del conducto coclear.



La membrana basilar mide alrededor de 35 mm de longitud y tiene unos 0,04 mm de ancho en su zona basal (la más próxima a la base del caracol) y unos 0,5 mm en la zona apical (próxima al vértice o ápex). Además, la zona más angosta es también más rígida, lo cual será importante para la capacidad discriminatoria de frecuencias del oído interno. En la figura 11 se muestran dos vistas de la membrana con la cóclea hipotéticamente estirada desde su forma helicoidal hasta una forma rectilínea.

Figura 11. Dos vistas de la cóclea hipotéticamente rectificada. Arriba, vista superior. Abajo, vista lateral.



Cuando llega una perturbación a la ventana oval, el líquido de la sección superior se encuentra inicialmente a mayor presión que el de la sección inferior, lo cual provoca una deformación de la membrana basilar que se propaga en forma de onda (denominada *onda viajera*) desde la región basal hasta la región apical, tendiendo a aumentar la amplitud conforme la rigidez de la membrana va disminuyendo. Cuando la perturbación es periódica, tal como sucede con una vibración sonora, la membrana comienza a vibrar con una envolvente (figura 12) cuyo máximo se produce en cierta posición que depende de la frecuencia del sonido, como se muestra en la figura 13. Resulta, así, que existe una localización del pico de resonancia de la membrana basilar en función de la frecuencia, que se ha representado gráficamente en la figura 14. Esto confiere al oído interno una cualidad analítica que es de fundamental importancia en la discriminación tonal del sonido, especialmente para los sonidos de frecuencias superiores a los 1000 Hz. El descubrimiento de la mecánica de la membrana basilar se debe a Georg Békésy.

El movimiento de la membrana basilar ocasiona que las células ciliadas emitan un pulso eléctrico. El mecanismo para ello se ilustra en la figura 15. Debido a que la membrana basilar y tectoria tienen ejes diferentes, el movimiento relativo provoca un pandeo de los cilios que fuerza la apertura de unas diminutas compuertas iónicas. El intercambio iónico genera una diferencia de potencial electroquímico que se manifiesta como un pulso de unos 90 mV de amplitud o *potencial de acción*.

Figura 12. Arriba, onda viajera en la membrana basilar en un instante dado. Abajo, posición de la onda en tres instantes de tiempo t_1 , t_2 y t_3 .

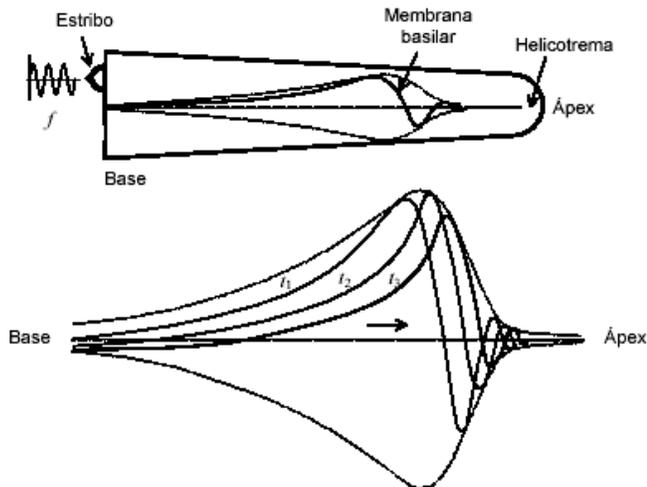


Figura 13. Envoltura espacial de las ondas viajeras sobre la membrana basilar para cuatro frecuencias diferentes

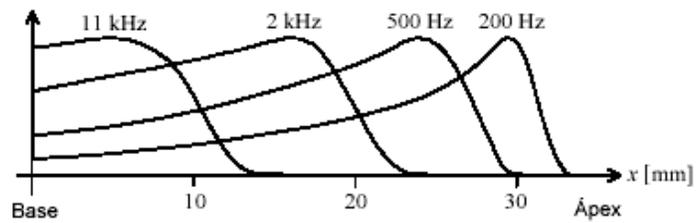


Figura 14. Ubicación de la resonancia a lo largo de la membrana basilar en función de la frecuencia

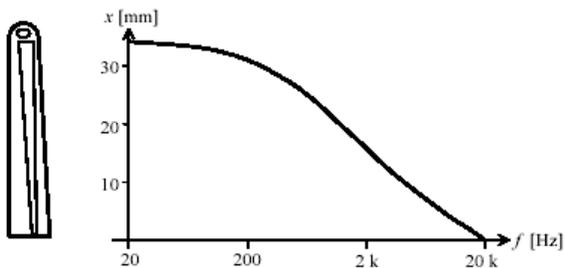
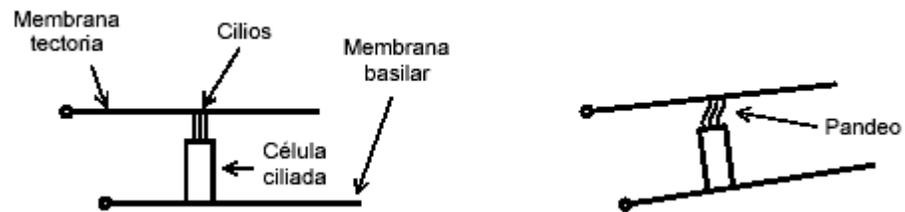


Figura 15. Célula ciliada entre la membrana basilar y tectoria



Es interesante destacar que las curvas de resonancia de la figura 13 son demasiado anchas para explicar la gran discriminación de frecuencias del oído humano. Este problema desconcertó durante años a los investigadores, hasta que se descubrió que la resonancia de la membrana basilar no obedece solamente a sus características elásticas pasivas, sino a un mecanismo de control en el cual intervienen las células ciliadas externas (figura 15) como elementos contráctiles. Estas células realimentan el sistema agudizando la resonancia [3].

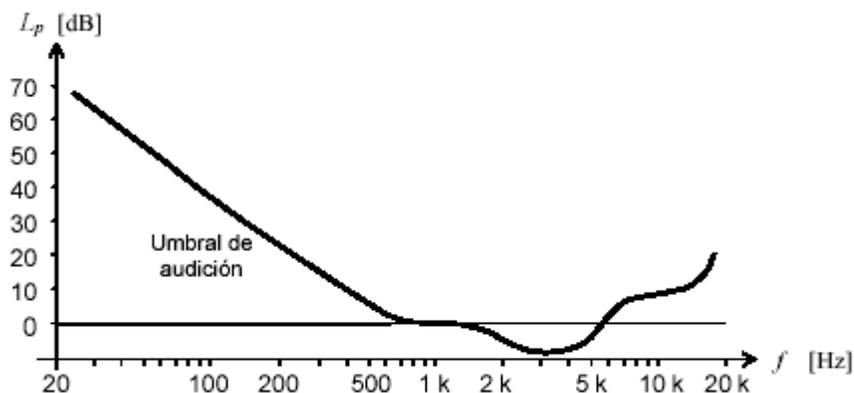
1.6 UMBRAL DE AUDICIÓN

Es el nivel de presión sonora correspondiente al umbral de intensidad. Este umbral depende mucho de la frecuencia, debido a que las distintas partes del oído no son igualmente eficientes para conducir la energía sonora en todas las frecuencias. Así, la resonancia del canal auditivo externo cerca de los 3000 Hz hace que el umbral sea en esa banda de frecuencias mucho menor que a otras frecuencias. El umbral también depende de la persona, y de las condiciones en que se lo determina. Por ejemplo, lo afectan las enfermedades otorrinolaringológicas, la exposición reciente a ruidos y el cansancio. También es común un aumento irreversible del umbral por exposición prolongada (en general, durante varios años) a niveles de presión sonora muy altos, lo cual suele ocurrir en ambientes de trabajo. El aumento del umbral se denomina en general *hipoacusia*. Finalmente, se observa estadísticamente un aumento del umbral con la edad, conocido

como *presbiacusia*. En la figura 16 se muestra el L_p que corresponde al umbral de audición en función de la frecuencia. La curva representa el valor promedio para personas jóvenes y con el oído en buen estado. Como se puede observar, para 1 kHz el umbral es de 0 dB. Ello se debe precisamente a la forma en que se ha elegido la referencia.

1.6.1 Curvas de igual sonoridad y nivel de sonoridad. En 1933, Fletcher y Munson realizaron otro tipo de determinación psicoacústica basada en la comparación entre dos tonos puros: un tono de 1 kHz e intensidad fija, utilizado como referencia, y un tono de otra frecuencia e intensidad variable, que el sujeto debía ajustar hasta que fuera igualmente sonoro (o intenso) que el de 1 kHz. Graficando los resultados en función de la frecuencia, obtuvieron para cada intensidad de referencia una curva o contorno de *igual sonoridad*. Las curvas, denominadas *contornos de Fletcher-Munson*, se reproducen en la figura 17.

Figura 16. Umbral absoluto de audición. En 1 kHz el umbral es 0 dB pues la presión de referencia fue seleccionada como la presión correspondiente al umbral de audición a 1 kHz.



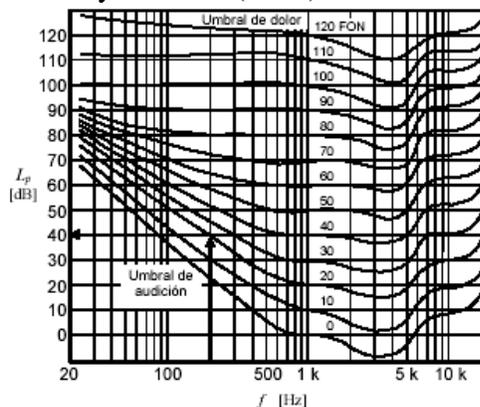
Se han representado allí las curvas de igual nivel de sonoridad cada 10 dB. Según se puede apreciar, las curvas son similares a la de umbral, aunque para intensidades elevadas las curvas se van haciendo más planas. Estas curvas permiten comparar la intensidad subjetiva de dos tonos puros de diferentes frecuencias e intensidades. Así, un tono puro de 100 Hz y 50 dB parece menos sonoro que uno de 2 kHz y tan sólo 30 dB. Los menores valores de L_p

requeridos en las proximidades de 3 kHz para evocar una misma sensación de sonoridad se deben a la resonancia del canal auditivo en esa frecuencia.

Debe advertirse que estas curvas reflejan en realidad los promedios de un número considerable de personas jóvenes y con el oído en buenas condiciones, pudiendo haber, por consiguiente, variaciones individuales importantes.

Los contornos de igual sonoridad pueden utilizarse para asignar una valoración numérica a la sonoridad. Así, se define el *nivel de sonoridad*, *NS* (loudness level, *LL*), como el nivel de presión sonora del tono de 1 kHz que se encuentra sobre el mismo contorno. Como unidad simbólica se utiliza el fon. Por ejemplo, un tono de 200 Hz y 60 dB está sobre el contorno que contiene al tono de 1 kHz y 51 dB (interpolando), de modo que su NS es de 51 fon. Sería interesante poder calcular de manera simple el *NS* de un sonido compuesto a partir de los *NS* de sus componentes (por ejemplo sumándolos). Lamentablemente, ello no es simple debido a dos causas: el fenómeno de *enmascaramiento* de un sonido por otro, que hace que el aporte del sonido enmascarado sea insignificante, y el hecho de que el *NS*, tal como ha sido definido, no provee una escala absoluta que permita determinar cuánto más sonoro es un sonido que otro. Sólo permite dilucidar si es más o menos sonoro. Este problema se enfocará en las secciones que siguen.

Figura 17. Curvas de Fletcher y Munson (1933).



1.6.2. Filtros de ponderación para medidores de nivel sonoro. Cuando tras los trabajos de Fletcher y Munson se comprobó que la percepción de la sonoridad era un fenómeno más complejo que lo que se creía hasta entonces (ya que, por ejemplo, la sensibilidad del oído dependía fuertemente de la frecuencia), se intentó crear un instrumento de medición capaz de reflejar con una única cifra la sensación de sonoridad producida por un sonido cualquiera.

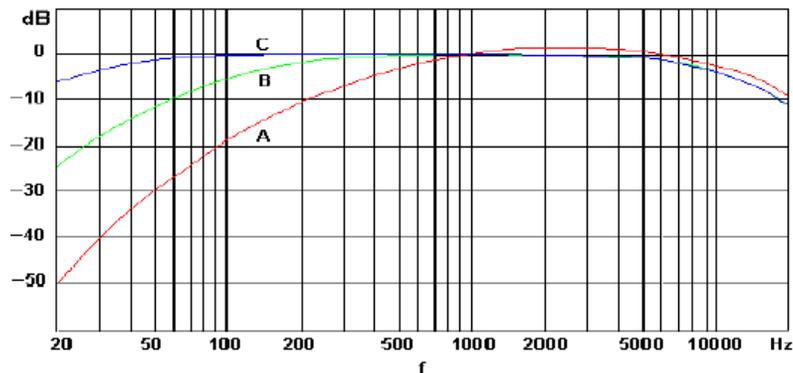
Para lograr eso se propuso intercalar un filtro de ponderación de frecuencias con una curva de respuesta en frecuencia inversa de las curvas de Fletcher y Munson. Así, como para las bajas frecuencias las curvas de Fletcher y Munson suben (dado que el oído requiere mayor nivel de presión sonora por su menor sensibilidad), este filtro debía atenuar las componentes de baja frecuencia. Por ejemplo, si a 200 Hz una curva de Fletcher y Munson sube 20 dB por encima del valor correspondiente a 1 kHz (ver figura 17), el filtro a intercalar debía atenuar en 20 dB el valor de nivel de presión sonora medido a esa frecuencia. El filtro que se proponía intercalar debía, entonces, imitar la respuesta del oído humano, acentuando las frecuencias en las que el oído es más sensible y atenuando aquéllas en que es menos sensible.

Esta idea tropezó con varias dificultades. En primer lugar, no hay sólo *una* curva de Fletcher y Munson, sino que para cada nivel de sonoridad hay una diferente, resultando que para una misma frecuencia se requerirían diversas atenuaciones según el nivel de la señal. Esto llevó a que se propusieran *tres* curvas de ponderación diferentes: la curva A, válida para niveles de sonoridad próximos a los 40 fon (nivel de sonoridad igual al de un tono senoidal de 1 kHz y 40 dB de nivel de presión sonora), la curva B, válida para niveles de sonoridad del orden de 70 fon, y la curva C, destinada a los niveles de sonoridad cercanos a 100 fon. En la figura 18 se muestran las tres curvas de ponderación.

La segunda dificultad, más seria que la anterior, fue que las curvas de igual nivel de sonoridad de Fletcher y Munson sólo son válidas para tonos senoidales, por lo cual el

propósito original de obtener un valor único que se correlacionara con la sensación de sonoridad no pudo cumplirse. En efecto, dos sonidos de igual nivel con ponderación A, por ejemplo, pero de diferente composición espectral, podían resultar de sonoridad subjetiva muy desigual.

Figura 18. Curvas de compensación (o ponderación) A, B y C.



A pesar de ello, investigaciones posteriores revelaron que las cifras medidas intercalando la curva de ponderación A estaban muy bien correlacionadas con el daño auditivo experimentado por las personas expuestas a ruidos intensos durante periodos considerables de tiempo, como suele ocurrir en los ambientes de trabajo en la industria. También se correlacionaba bastante bien con la sensación de molestia y con la interferencia a la palabra causadas por determinados ruidos. Por estos motivos no sólo se popularizó dicha curva, sino que además fue adoptada en numerosas normas y legislaciones. ((En realidad puede especularse que durante muchas décadas se utilizaron en las investigaciones instrumentos equipados con las curvas de ponderación A, B y C, y es por eso que los resultados informados se refieren a dichas curvas. Es posible que si se hubieran utilizado otras ponderaciones, por ejemplo una que midiera realmente el nivel de sonoridad, las correlaciones hubieran sido mejores. Por otra parte, tampoco es claro que los efectos físicos como el deterioro auditivo deban necesariamente estar correlacionados con la sensación.

En la tabla 2 se dan los valores de las curvas A, B y C para diversas frecuencias.

Tabla 2. Valores de las correcciones de las curvas de ponderación A, B y C (Norma IEC 51/79 para la serie de frecuencias estándar de tercio de octava).

Frecuencia [Hz]	Curva A [dB]	Curva B [dB]	Curva C [dB]
10	-70,4	-38,2	-14,3
12,5	-63,4	-33,2	-11,2
16	-56,7	-28,5	-8,5
20	-50,5	-24,2	-6,2
25	-44,7	-20,4	-4,4
31,5	-39,4	-17,1	-3,0
40	-34,6	-14,2	-2,0
50	-30,2	-11,6	-1,3
63	-26,2	-9,3	-0,8
80	-22,5	-7,4	-0,5
100	-19,1	-5,6	-0,3
125	-16,1	-4,2	-0,2
160	-13,4	-3,0	-0,1
200	-10,9	-2,0	0,0
250	-8,6	-1,3	0,0
315	-6,6	-0,8	0,0
400	-4,8	-0,5	0,0
500	-3,2	-0,3	0,0
630	-1,9	-0,1	0,0
800	-0,8	-0,0	0,0
1000	0,0	0,0	0,0
1250	0,6	-0,0	0,0
1600	1,0	-0,0	-0,1
2000	1,2	-0,1	-0,2
2500	1,3	-0,2	-0,3
3150	1,2	-0,4	-0,5
4000	1,0	-0,7	-0,8
5000	0,5	-1,2	-1,3
6300	-0,1	-1,9	-2,0
8000	-1,1	-2,9	-3,0
10000	-2,5	-4,3	-4,4
12500	-4,3	-6,1	-6,2
16000	-6,6	-8,4	-8,5
20000	-9,3	-11,1	-11,2

Los valores medidos con estas curvas de compensación intercaladas se denominan respectivamente *nivel sonoro A*, *nivel sonoro B* y *nivel sonoro C*, y se expresan en dBA, dBB, dBC (también abreviados, a veces, dB(A), dB(B), dB(C)). La curva B en realidad prácticamente no se utiliza hoy en día, por lo cual es raro que los instrumentos la incluyan. La curva C, en cambio, viene incorporada a la mayoría de los instrumentos, ya que algunas especificaciones requieren la lectura en dBC. Por otra parte, dicha medición permite, por comparación con el nivel sonoro A, determinar si existen o no componentes de baja frecuencia importantes. En efecto, dado que la curva A atenúa las bajas frecuencias y la curva C no, si las lecturas en dBA y dBC son similares, es porque el contenido de baja

frecuencia no es importante. Si, en cambio, la lectura en dBC es mayor que la lectura en dBA, es porque hay presente bastante energía de baja frecuencia.

Es interesante notar que, a pesar de estar la curva A originalmente destinada a los niveles de sonoridad bajos, resultó ser apropiada para describir fenómenos atribuibles normalmente a niveles elevados.

Las curvas de ponderación responden a unas ecuaciones que pueden implementarse por medio de redes de resistores y condensadores. Para el caso de las respuestas A y C, éstas son (Norma IEC 651/79)

$$A(f) = 20 \log \left(\frac{1,2588 \times 12200^2 f^4}{(f^2 + 20,6^2) \sqrt{f^2 + 107,7^2} \sqrt{f^2 + 737,9^2} (f^2 + 12200^2)} \right) \quad (34)$$

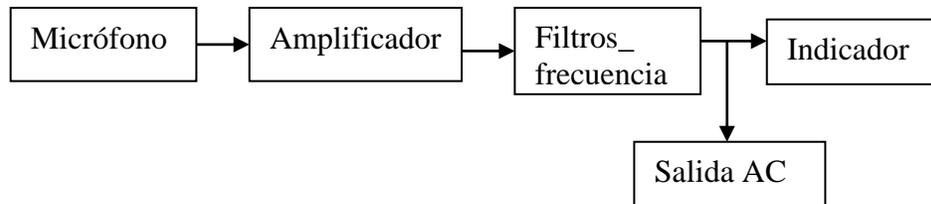
$$C(f) = 20 \log \left(\frac{1,0071 \times 12200 f^2}{(f^2 + 20,6^2) (f^2 + 12200^2)} \right) \quad (35)$$

1.7 SONÓMETRO

Instrumento utilizado para medir los niveles sonoros (ruido). Un aparato para la medida del nivel de presión sonora ponderado en frecuencia y en tiempo.

Los principales componentes de un sonómetro son: micrófono, preamplificador, amplificador, control de rango ponderación frecuencia, promediador de tiempo o tiempo de respuesta e indicador. Del mismo modo se debe considerar el tipo de precisión de los mismos.

Figura 19. Diagrama de bloques general de un sonómetro.



1.7.1 Micrófonos. Un micrófono convierte las variaciones de presión de las ondas sonoras en señales eléctricas que varían con el tiempo. El micrófono ha de tener las siguientes características:

1. La señal eléctrica que genera debe ser una analogía exacta de la onda sonora.
2. La presencia del micrófono en el campo sonora no debe alterarlo.
3. La respuesta en frecuencia del micrófono debe ser independiente de la frecuencia para un rango amplio de esta.
4. Para un rango amplio de presiones sonoras y para todas las frecuencias del rango de utilidad del micrófono, debe haber una relación lineal entre el nivel de la señal de salida del micrófono y el nivel de presión sonora en el mismo.
5. La sensibilidad del micrófono no debe cambiar con el tiempo ni las condiciones ambientales.

La sensibilidad de un micrófono es la relación entre su salida eléctrica y el nivel de presión sonora en el diagrama del micrófono. Todos los llamados micrófonos deben satisfacer los requisitos relevantes de las normas nacionales e internacionales para instrumentos de medida de sonido en términos del nivel de sensibilidad de su respuesta, así como de otras características físicas y electro acústicas.[5]

Micrófono de condensador. El principio de funcionamiento de un micrófono de condensador descansa sobre las variaciones en capacidad eléctrica para desarrollar las variaciones correspondientes en el voltaje.

Un micrófono de condensador de diseño convencional tiene una lámina delgada de acero inoxidable, extendida y fuertemente sujeta sobre el cuerpo cilíndrico del micrófono. Esta lámina se conoce como diafragma porque refleja a partir de su posición de descanso.

El diafragma forma un lado de un condensador de placas paralelas. Una placa posterior de acero inoxidable se monta sobre un aislante eléctrico a corta distancia detrás del diafragma para formar el otro lado del condensador. El aire en el espacio entre la placa posterior y el diafragma es el dieléctrico del condensador.

Se aplica un voltaje de corriente continua (DC) entre la placa posterior y el diafragma. El voltaje estable forma una carga estática constante entre las dos placas; se denomina *voltaje polarizado* al voltaje DC porque establece la polaridad eléctrica de la placa posterior respecto al diafragma.

A medida que el diafragma delgado y de poco peso se mueve en respuesta a las variaciones de presión de la onda incidente, varía la distancia entre las dos placas, y en consecuencia, lo hace también la capacidad del condensador. Las variaciones alrededor de la capacidad estable formada por la carga estática fija dan lugar a las variaciones correspondientes del voltaje de polarización estable. Las variaciones de voltaje aparecen en los terminales eléctricos del micrófono para transmisión a un instrumento de medición.

Debido a sus características superiores eléctricas y acústicas y debido a que su diseño mecánico aporta una reproductibilidad fiable de estas características, los micrófonos de condensador son la base de las normas nacionales e internacionales para los micrófonos estandarizados de laboratorio.

Micrófonos prepolarizados o de ELECTRET-condensador. Funcionan de acuerdo al mismo principio de los micrófonos de condensador de diseño convencional, en que se construye un condensador a partir de dos superficies paralelas con un campo electrostático entre ambas, sin embargo, el campo eléctrico no se establece mediante un voltaje externo de polarización, sino mediante cargas que están permanentemente atrapadas en o adjuntas a una material polímero especial, de manera que la preponderancia de la carga positiva reside en un lado del material y las cargas negativas en otro. Como en los micrófonos convencionales, el aire es el dieléctrico entre las dos superficies del condensador.

Existen dos diseños disponibles para micrófonos de medición prepolarizados. En uno de ellos, una capa fina de material ELECTRET se deposita en la placa posterior, siendo el resto de los detalles de la construcción del micrófono y sus características electroacústicas iguales a las descritas para los micrófonos de condensador convencional. En el otro diseño, el ELECTRET está contenido en una capa fina de un material polímero que se estira sobre apoyos salientes aislantes delante de la placa posterior. Para completar el circuito eléctrico, se aplica un recubrimiento de un metal a uno de los lados de la película polímera.

Para distinguir entre los dos diseños, el primero es para un micrófono de medición prepolarizados y el segundo para un micrófono ELECTRET.

Como los micrófonos prepolarizados pueden tener esencialmente las mismas características electroacústicas que los micrófonos correspondientes convencionales de condensador, son adecuados para la medición de niveles sonoros cumpliendo los requisitos de precisión clase 1 y clase 0 de las normas nacionales o internacionales. Los micrófonos ELECTRET son adecuados para los aparatos de medición de nivel sonoro clase 2, medidores de la exposición personal al ruido y medidores de dosis o dosímetros, así como para otros instrumentos de propósito general de medición de sonido.

Una ventaja potencial de los micrófonos ELECTRET son los ahorros de los costes asociados a la simplificación de los circuitos electrónicos como resultado de la eliminación de la necesidad de aportar un voltaje externo de polarización. Sin embargo, la principal ventaja es la mejora de la posibilidad de operar en ambientes húmedos. Al no haber cargas eléctricas libres, hay mayor libertad para las descargas de voltaje en el hueco entre la placa posterior y el diafragma.

Para los micrófonos prepolarizados, la estabilidad a largo plazo sin cambios significativos de las características electroacústicas originales puede ser del orden de varios años, pero no tan buena como la de los micrófonos de condensador donde la sensibilidad puede mantenerse esencialmente sin cambios durante varias décadas si el micrófono es tratado con cuidado.[4]

1.7.2 Respuesta de incidencia perpendicular y de incidencia horizontal. Cuando la dirección de propagación de las ondas sonoras que inciden sobre el diafragma es perpendicular a él, se dice que la respuesta del micrófono es de incidencia frontal. Cuando la dirección de las ondas es paralela al plano del diafragma, se dice que es una respuesta de incidencia horizontal. Para la mayoría de los micrófonos de medición, el ángulo de incidencia del sonido en campo libre que corresponde a la mayor sensibilidad es perpendicular (0°).

1.7.3 Respuesta de incidencia aleatoria. Es la respuesta media para todos los ángulos de incidencia siendo todos ellos igualmente probables a partir de todas las direcciones en un momento determinado o a lo largo de un periodo de tiempo.

1.7.4 Ponderación temporal exponencial. Para respuesta rápida (fast), la constante nominal de tiempo exponencial es de 125 milisegundos; para respuesta lenta (slow), es

1000 milisegundos, la elección de la ponderación de tiempo exponencial para utilizarla en una medida concreta, depende de la variabilidad de la señal y de los requisitos de la norma de medición aplicable o del código de ensayo.[5]

1.7.5 Nivel sonoro continuo equivalente. El nivel sonoro continuo equivalente con ponderación de frecuencia para un intervalo de tiempo especificado es el nivel de un ruido estable que corresponde al promedio (integral) en el tiempo de la presión sonora al cuadrado con ponderación de frecuencia producida por fuentes de sonido estables, fluctuantes, intermitentes, irregulares o impulsivos en el mismo intervalo de tiempo. Habitualmente se utilizan las ponderaciones de frecuencia A para la medición de los niveles de presión sonora continuos equivalentes.

El nivel sonoro continuo equivalente, en decibelios, es 10 veces el logaritmo en base 10 de la relación entre la presión sonora con ponderación A al cuadrado integrada en el tiempo de referencia T y la presión sonora de referencia estandarizada al cuadrado. Así, el nivel sonoro continuo equivalente (símbolo Leq o $L_{Aeq,T}$) durante el intervalo de tiempo especificado T viene dado por [4]

$$Leq = 10 \log_{10} \left\{ \left[1/T \int_{t_2}^{t_1} p^2_A(t) dt \right] / p^2_0 \right\}$$

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL.

2.1 COMPONENTES DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE PRESIÓN SONORA.

El sistema cuenta con un sonómetro con interfaz RS232 y un software para la transferencia de los datos al computador y su posterior análisis y almacenamiento.

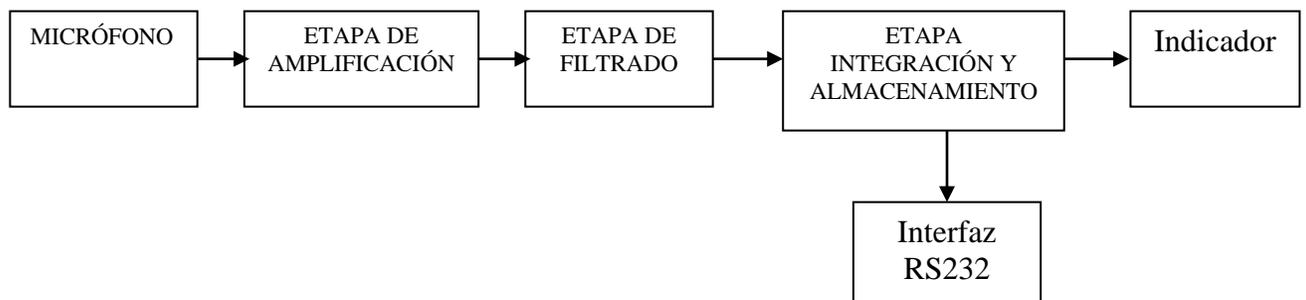
2.2 DISEÑO CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SONÓMETRO.

Una vez conocido el funcionamiento básico de un Sonómetro y del Sistema de Adquisición de Datos empleados en la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC) y las Oficinas de Recursos Aire se dio inicio a la fase de diseño y construcción del Sonómetro prototipo. Para esto se hizo necesario considerar los requerimientos básicos que debía cumplir el sonómetro, entre estos requerimientos se destacan la sensibilidad del sensor, la frecuencia de operación en la que va a operar, el tipo de señal con la que van a trabajar, la cantidad de datos que se podrán guardar, los parámetros y protocolo con el que se descargarán los datos al PC.

Considerando la frecuencia relativa con ponderación de frecuencia A que decrece a frecuencias por debajo de 1000 Hz.

Teniendo en cuenta el cumplimiento de estos requerimientos se llevó a cabo la etapa de diseño del sonómetro.

Figura 20. Diagrama en bloques general del sonómetro



2.2.1 Tipo de micrófono. Electret 1/4 de pulgada de diámetro con polarización previa, sensibilidad típica 10 mV/Pa. El micrófono cubre exigencias tipo 2 para mediciones en campo libre e incidencias aleatorias.

2.2.2 Amplificador operacional. Los amplificadores son una de las principales características tanto en su etapa de amplificación como de filtrado para el diseño y construcción del sonómetro prototipo, debido a sus características y su configuración para que logren satisfacer de cierto modo los requerimientos del proyecto, tales como una frecuencia en la que operarán.

A continuación se realizará una breve descripción de cada uno de los amplificadores utilizados para la construcción del sonómetro con algunas de sus especificaciones técnicas, hasta llegar al que finalmente se implementó:

TL 072 Es un encapsulado con dos amplificadores j-fet de respuesta rápida para aplicaciones de baja potencia.

TL 064. Este amplificador está diseñado para aplicaciones de bajo poder, con alta impedancia de entrada, baja corriente de polarización, alta ganancia. Se necesita una fuente dual para su polarización.

LM324. Este circuito integrado consiste de cuatro amplificadores independientes con alta ganancia, baja corriente de polarización, operan con una fuente simple para su polarización (ver anexo D).

PIC 18F452. Se encargará de realizar la conversión analógica a digital, la conversión de los datos digitales a decibeles con la correspondiente fórmula y la descarga de los datos al PC por el puerto serial (ver anexo E).

2.2.3 Consideraciones para el diseño de circuitos Impresos. Entre las consideraciones más importantes se encuentran, el adaptarse a técnicas de montaje superficial, utilizar capacitores de tantalio para minimizar el ruido, optimizar al máximo el diagrama esquemático en cuanto al uso de pistas en el circuito impreso, emplear el mínimo de cables en la realización del circuito, esta correcta selección de los componentes y la forma técnica de como trabajarlos ofrece entonces un buen y óptimo desempeño del equipo construido.

2.2.4 Construcción y Montajes Preliminares. Cada uno de los prototipos que se realizaron fueron sometidos a pruebas de funcionamiento en los laboratorios de la universidad del grupo I+D.

De acuerdo a las características de respuesta del sensor, y teniendo en cuenta que se tiene que trabajar con frecuencias que varían desde los 20 Hz. hasta los 20.000 Hz, se diseñó dos etapas de amplificación para no exceder el ancho de banda de los amplificadores operacionales utilizados, además se diseñó otra etapa de amplificación variable, para obtener una calibración manual del equipo, la razón de incluir estos parámetros es la de realizar los cálculos adecuados para la ganancia y el filtrado de los amplificadores y su correcta selección. La primera alternativa que se tubo en cuenta fue la de emplear los amplificadores TL 064 y TL 072 que representan bajo costo y una buena respuesta, otro parámetro que también es necesario tener presente para la construcción del sonómetro es el tipo de señal que se va a obtener.

Los circuitos integrados se configuraron como unos amplificadores no inversores con realimentación negativa que presenta como características esenciales una alta impedancia en la entrada, para impedir señales de ruido, y una baja impedancia en la salida para acoplar varias etapas.

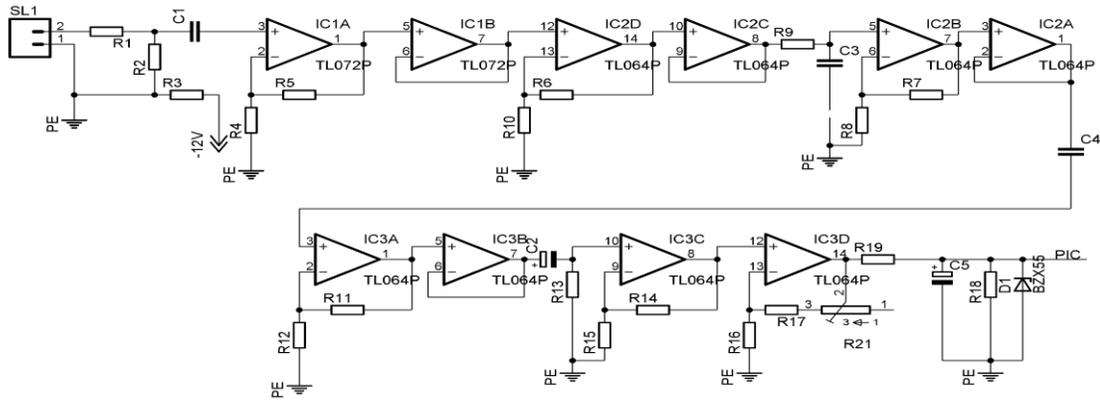
De acuerdo a la forma de respuesta en frecuencia de la línea de ponderación A, que aumenta su ganancia alrededor de los 1000 Hz, por encima de esta frecuencia, se aumenta hasta un tope de 1,3 dB en la frecuencia de 2500 Hz y disminuye hasta llegar a los 5000 Hz, donde el aumento en la ganancia es nula; a partir de esta frecuencia, la ganancia disminuye a razón de 20 dB por octava o 6 dB por década. Para obtener esta respuesta, se ha utilizado un filtro pasa bajas y un pasa altas con amplificadores operacionales.

Para Diseñar los filtros, se han utilizado los dos amplificadores operacionales restantes del encapsulado TL064, acompañado de condensadores y resistencias calculadas para que muestren una respuesta de acuerdo a las características anteriormente mencionadas.

Este primer montaje de las etapas de amplificación y filtrado del sonómetro fueron realizados sobre protoboard, pero este tipo de montajes cuando se diseñan circuitos no son muy buenos debido a que en ellos se induce mucho ruido presentado por los cables y por la misma protoboard, y el ruido es un factor crítico para este tipo de sistemas debido a que la señal se puede enmascarar en él y las medidas realizadas no van a presentar una buena confiabilidad, sin embargo en este tipo de montajes se pueden identificar fallas en el circuito que pueden ser corregidas fácilmente.

Para esto se utilizaron tres integrados amplificadores operacionales anteriormente mencionados, el diagrama esquemático de este montaje puede verse en la figura 21.

Figura 21. Diagrama en esquemático de la etapa de amplificación y filtrado.



Por inconvenientes que se presentaron con este circuito como la necesidad de una fuente dual para la correcta polarización de los amplificadores y del mismo micrófono Electret y la inducción de ruido a pesar de tener capacitancias que servían para asegurar un buen acople de impedancias, se debieron tomar en cuenta otras consideraciones de diseño y realizar modificaciones con respecto a los amplificadores escogidos.

Finalmente dentro de esta fase preliminar de construcción del sonómetro se consideró la utilización de amplificadores cuya polarización se realizara con una fuente simple tanto para la reducción de espacio dentro de la placa como su operación con pilas; las referencias y especificaciones técnicas de estos amplificadores (LM324) ya fueron mencionadas al principio de este capítulo.

El montaje de este segundo circuito fue llevado a cabo sobre una tarjeta impresa construida de forma artesanal. El diagrama esquemático implementado con estos amplificadores es mostrado en la figura 22, y el montaje hardware del sonómetro es mostrado en la figura 23.

Figura 22. Diagrama esquemático de la etapa de amplificación y filtrado

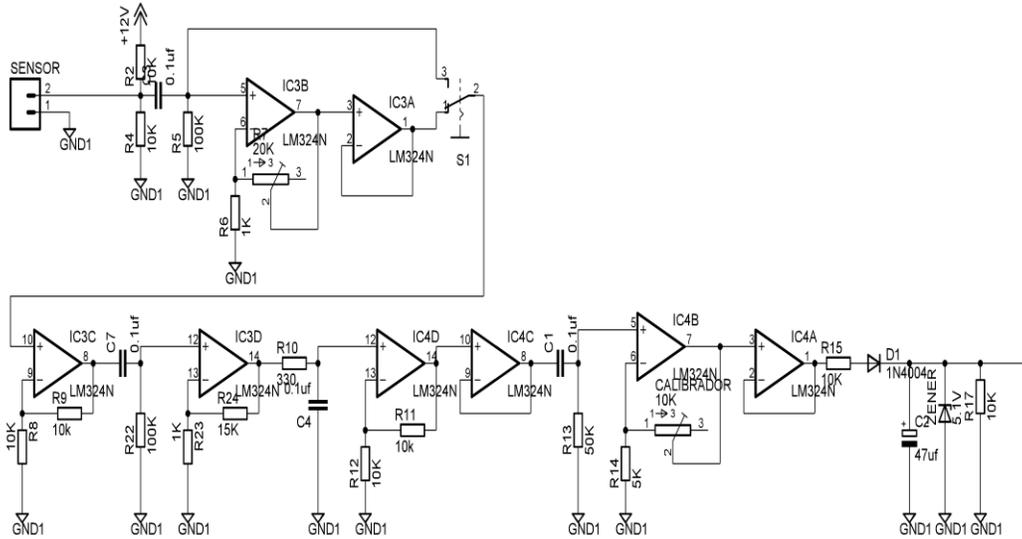
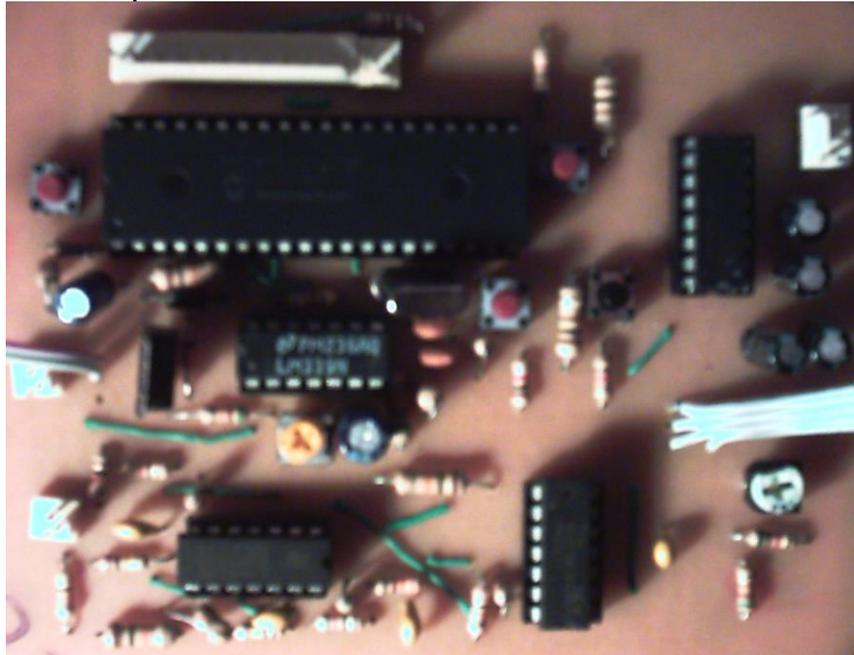


Figura 23. Foto de la placa del circuito



Después de realizar pruebas en el laboratorio de las etapas de amplificación y filtrado y obtener en el montaje hardware una buena aproximación de los cálculos realizados se decidió conservar este diseño.

2.2.5 Etapa de integración y almacenamiento. Esta etapa está compuesta principalmente por un PIC18F452 (ver anexo E), el cual se programó en ANSII C gracias a la herramienta HITECH de MPLAB, en este programa, se tuvo en cuenta la respuesta del sensor y la etapa de amplificación, se utilizó el módulo de conversión que tiene una resolución de 10 bits y velocidad de muestreo de 2 MHz. y se diseñó el programa para que tuviera en cuenta las relaciones de amplificación y muestreo para así obtener el nivel continuo equivalente de presión sonora para dos rangos de tiempo: 1 segundo y 1 minuto.

Se utilizó la memoria FLASH del PIC para lograr almacenar un total de 12000 datos.

2.2.6 Interfaz RS232. Para lograr una comunicación entre el computador y el sonómetro se utilizó el protocolo RS232, para lo cual es empleó el integrado MAX232 y el módulo USART del PIC18f452 esta comunicación con el computador se realiza a una velocidad de 9600 baudios y con una resolución de 8 bits. Los datos se podrán visualizar y trabajar con ellos en un programa para PC que se desarrolló en el entorno de Visual Basic del cual se hablará mas adelante.

2.2.7 Módulo LCD. Se utilizó un módulo LCD de dos líneas por 16 caracteres para presentar la información de los niveles de presión sonora así como el estado de programación del PIC, que puede cambiar entre un programa que almacena datos por segundos, por minutos; un estado de envío de datos y otro de borrado de ellos.

Luego de tener todas estas etapas desarrolladas se realizaron cambios en el diseño de la placa del circuito como reducir los cables que se utilizaban como puentes, mejorar las pistas del circuito impreso y se le adicionó un circuito integrado LM339 utilizado como comparador, ya que este sonómetro trabajará con pilas y se necesita saber cuando llegan a un límite de descarga para que no influya en los datos obtenidos y poder realizar el cambio a unas pilas nuevas o con carga optima.

El diagrama de circuitos implementado con los amplificadores ya mencionados y las mejoras se observan en la figura 24, y el montaje hardware del sonómetro es mostrado en la figura 25.

Figura 24. Diagrama esquemático de la etapa de configuración del PIC 18F452

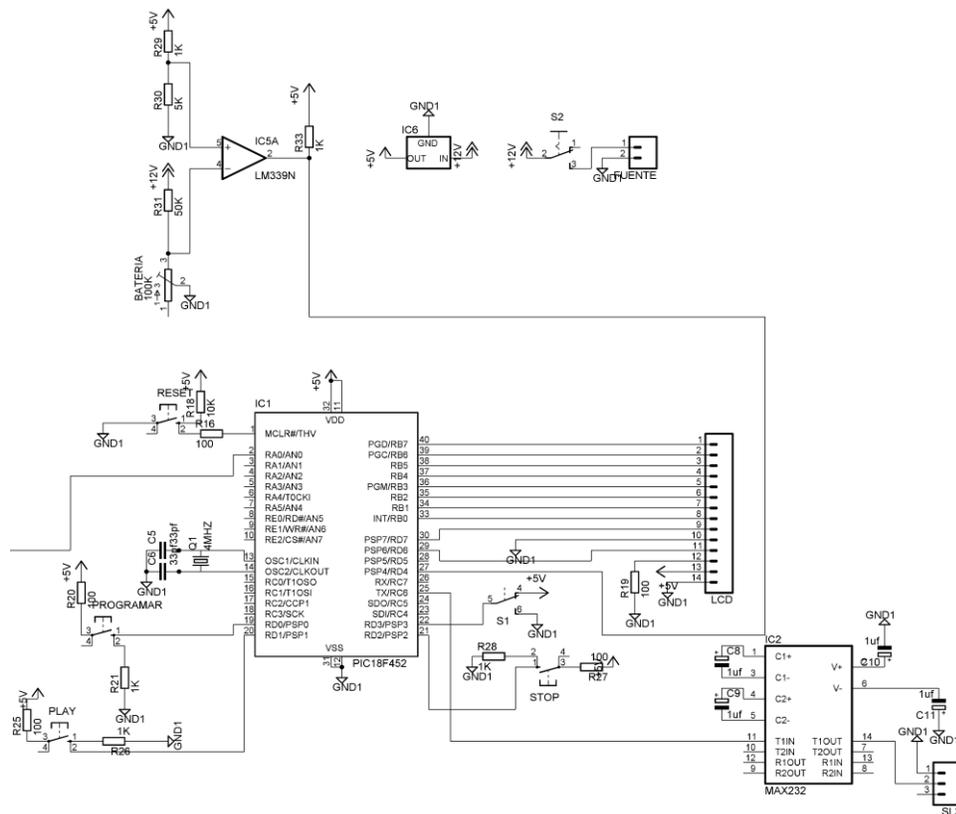
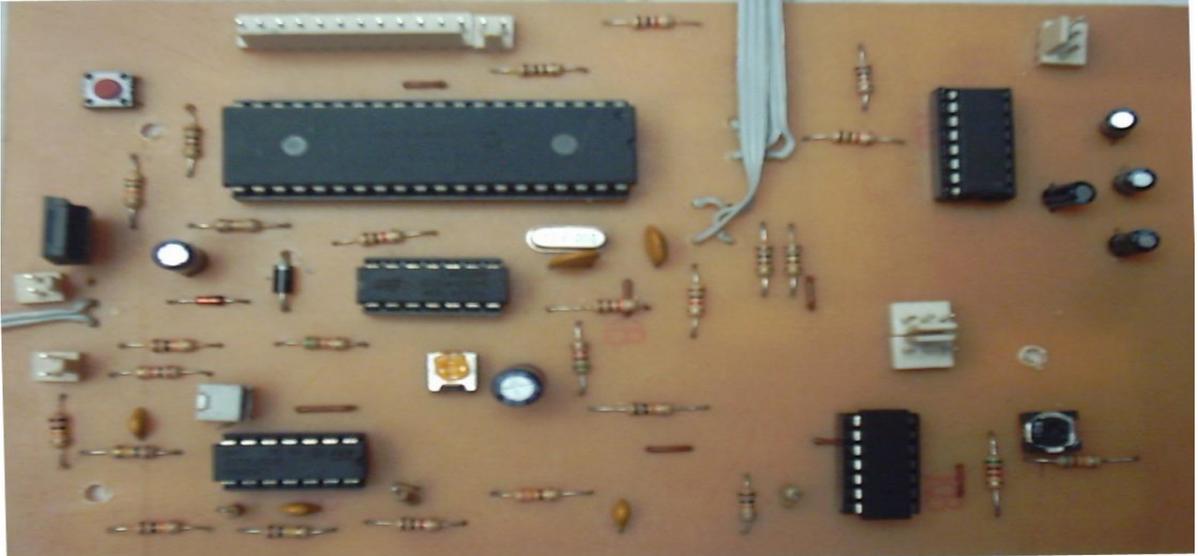


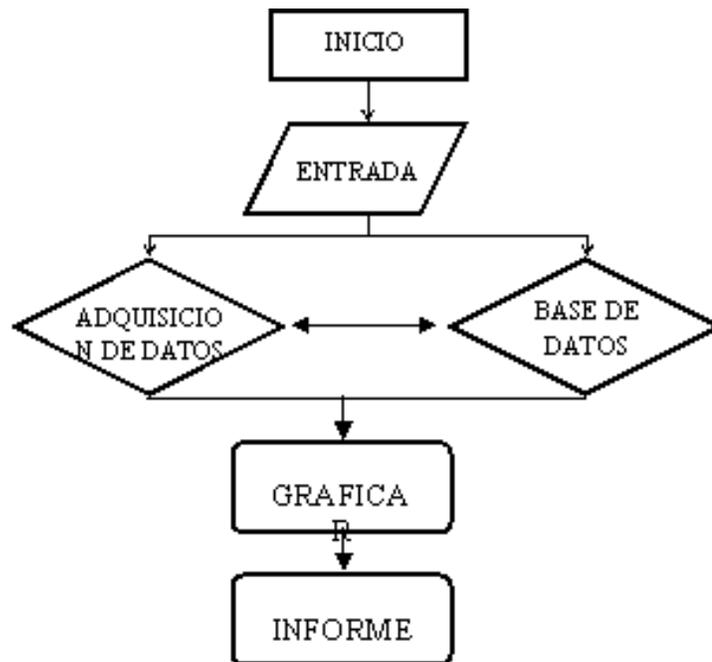
Figura 25. Foto de la placa del circuito



2.3 DISEÑO GENERAL DEL SOFTWARE

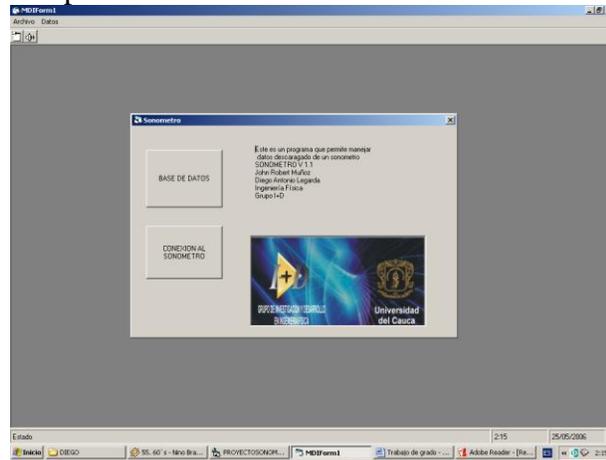
Los componentes generales del software se presentan en la figura 26.

Figura 26. Diagrama de flujo general del software del sistema de medición



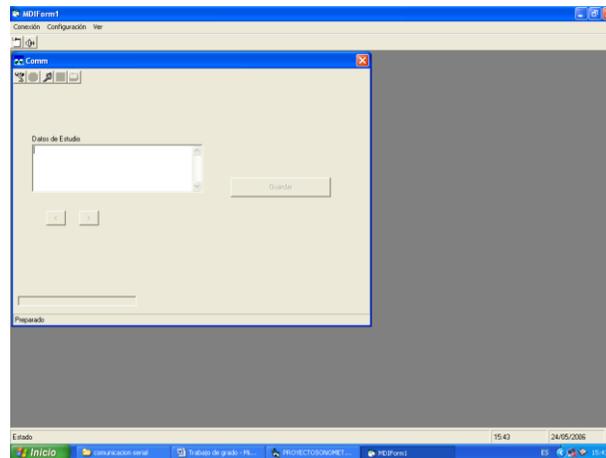
2.3.1 Entrada. Como página de inicio se muestra al usuario un menú general desde el que puede acceder ya sea a una base de datos, o al formulario para proceder a descargar datos del sonómetro.

Figura 27. Formulario de presentación inicial



2.3.2 Adquisición de datos. Esta parte del programa es la más importante porque es donde se realiza una interfaz con el sonómetro por medio del protocolo de comunicación serial RS232. Inicialmente el puerto no establece una conexión con el sonómetro, para lo cual el usuario debe establecerlo y enseguida presionar el botón de envío de datos del sonómetro. Enseguida aparecen el número de estudios que se han realizado, así como el intervalo de tiempo que se ha empleado para registrar las medidas. De aquí se puede proceder a guardar un estudio en la base de datos u observar su gráfica para un análisis.

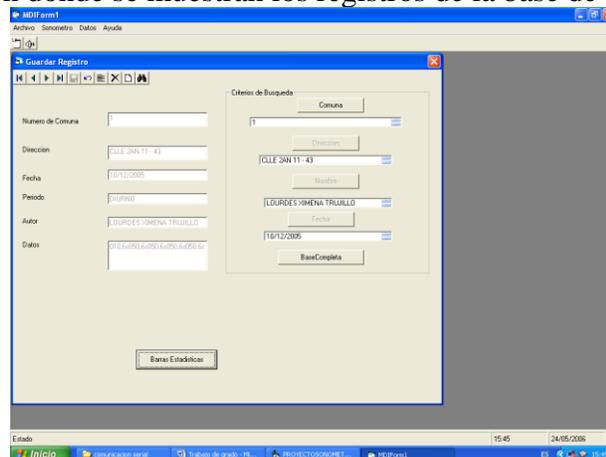
Figura 28. Ventana de comunicación serial con el sonómetro



2.3.3 Base de datos. Esta es la parte del programa donde se almacenan los registros de las medidas; cada registro consta de un campo para el número de la comuna, la dirección donde se ha realizado la medida, el periodo, la fecha, el autor de la medida además de los datos registrados por el sonómetro.

La base de datos se realizó en el programa de Microsoft Access, para lograr un enlace con el programa de visual, se hizo uso del motor Jet de Access para permitir una integración entre el programa y lo registros que se encuentran en la base de Access.

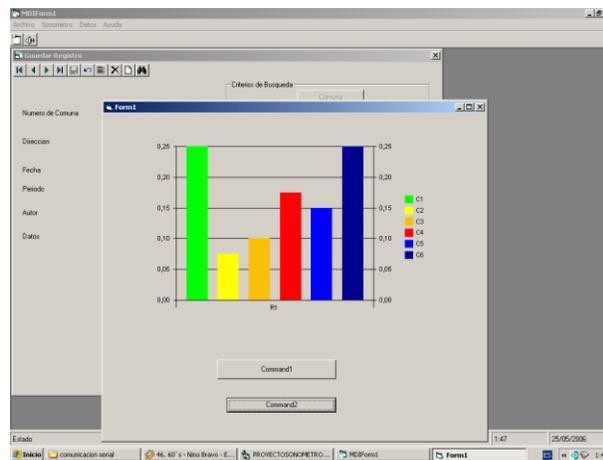
Figura 29. Ventana en donde se muestran los registros de la base de datos.



2.3.4 Barras estadísticas. En esta ventana se muestran los niveles continuos equivalentes en ponderación A, de los registros que se encuentran activos en la base de datos. Para obtener un estudio estadístico por comuna, por dirección, por fecha; etc., basta con solo hacer una búsqueda en el formulario dependiendo de los criterios que se desea graficar. Esta gráfica estadística se puede imprimir, guardar copiar, e incluso se pueden modificar algunos aspectos de ella como el tipo de gráfica que se desea, el título y formato de los datos.

Los colores de las barras, son los recomendados por el ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en la resolución 0627 del 7 de abril de 2006 sobre la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental.

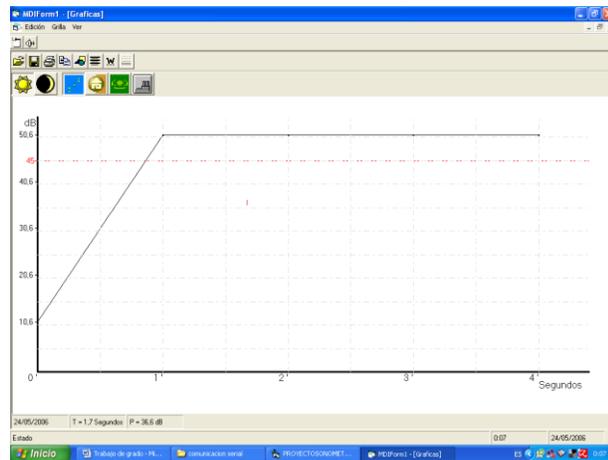
Figura 30. Ventana que muestra los porcentajes de los niveles Leq de los registros almacenados.



2.3.5 Graficar. Este es un formulario donde aparece la gráfica de los datos descargados, así como de aquellos que ya existen en la base de datos, dependiendo del lugar que se cargue este formulario. Aquí, existe la posibilidad de adicionar un rango o nivel de acuerdo a la clasificación de la zona donde se ha tomado la medida, así como del periodo durante el cual se haya realizado la medición. Además de ofrecer la opción de cambiar el color de la gráfica y la observación de una grilla para hacer un estudio más detallado de los resultados;

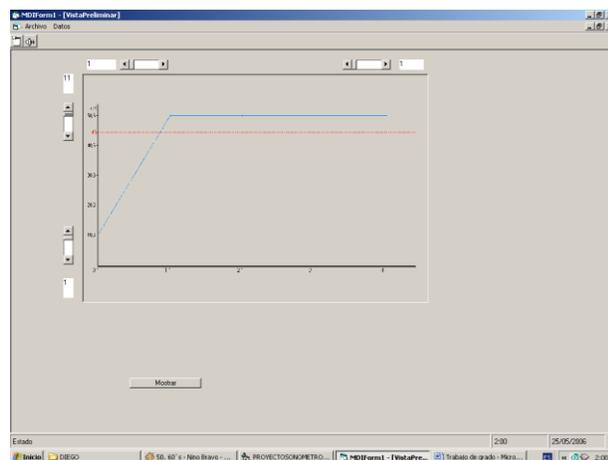
existe una elección que permite grabar la gráfica para un posterior análisis e imprimirla si se desea.

Figura 31. Gráfica de los datos.



En el momento que se desee imprimir el grafico, existe una visualización preliminar de la impresión, aquí el usuario puede mover los márgenes de la hoja para determinar el estado final de la impresión.

Figura 32. Vista preliminar de la gráfica de los datos.



2.3.6 Informe. En esta parte del programa, se genera un informe de los datos del estudio obtenido, que consta además de los campos ya mencionados de la base de datos, una cifra

que representa el valor Leq de los datos registrados; si se ha escogido un límite de decibeles de acuerdo a la clasificación del área. También se informa sobre el porcentaje que ha sobrepasado los límites legalmente establecidos y aquellos que no. En este formulario se ofrecen las opciones de escoger la fuente, grabar el informe e imprimirlo.

Figura 33. Informe de los datos registrados.

NOMBRE DEL ESTUDIO		
HORA Y FECHA	10/12/2005	
COMUNA	1	
DIRECCION	CALLE 2AN 11 - 43	
PERIODO	DIURNO	
VALOR MAXIMO	50,6	
VALOR MINIMO	10,6	
VALOR Leq	42,6	
DATOS (dB)	1: 010,6	2: 050,6
	4: 050,6	5: 050,6
3: 050,6		
TIEMPO	Segundos	
FUERA DEL RANGO 45 dB	75,0%	

2.3.7 Ayuda. La ayuda que esta contenida en el programa facilita el uso de este, además de resolver dudas acerca del funcionamiento de cada uno de las ventanas con sus respectivos comandos, ofrece un apartado sobre el manejo del sonómetro y como realizar la descarga de los datos para el manejo en el programa.

Figura 34. Formulario de ayuda del programa

3. CONSTRUCCIÓN DEL MAPA SÓNICO DE POPAYÁN

Se analizó en la ciudad de Popayán el estado actual de la contaminación por ruido ambiental mediante la aplicación del programa Surfer 8, y la utilización del Plan de Ordenamiento Territorial (POT)(clasificación del uso de suelo), con el fin de determinar en horarios diurno y nocturnos en días laborales y no laborales, el comportamiento de los niveles de presión sonora generados por las diferentes actividades desarrolladas en las comunas de la ciudad.

Estas herramientas permiten a la autoridad ambiental diagnosticar el ambiente sonoro de la capital caucana, registrar sistemáticamente los datos y obtener información oportuna para la aplicación por parte de las autoridades competentes mediante planes, programas y proyectos correctivos necesarios en procura de un mejor ambiente.

3.1 METODOLOGÍA

Se realizaron las mediciones de los niveles de presión sonora aproximadamente en el 55% de cada una de las 9 comunas de la ciudad de Popayán; se correlacionaron los niveles de ruido producidos por fuentes móviles y fijas.

Los puntos o lugares de medición se determinaron de acuerdo a la clasificación en cuanto a las zonas: industrial, comercial, institucional, residencial, recreación y servicio a la comunidad según el Plan de Ordenamiento Territorial.

En cada punto se tomaron mediciones del nivel continuo equivalente ($Leq^{D/N}$) durante 15 minutos, a 1,2 mts sobre el nivel del piso, en horario diurno y nocturno, en días laborales y no laborales.

Los registros de campo fueron georeferenciados y se elaboraron los mapas de las zonas isofónicas con ayuda del programa Surfer 8, se adaptaron los colores de acuerdo a las normas técnicas NTC 3520, tomando como base el mapa de las distintas comunas de acuerdo a la clasificación del POT

Con el fin de obtener la percepción que la comunidad tiene sobre el problema de ruido ambiental, se realizaron encuestas en diferentes comunas y se tabuló la información para realizar comparativos entre los niveles de campo registrados y las Normas Ambientales correspondientes.

Mediante la utilización del POT, se correlacionó el uso dominante de l suelo con el nivel sonoro equivalente promedio. Toda la información recopilada se sistematizó y analizó espacialmente mediante el empleo de los programa Surfer 8 con el instrumento de regresión lineal Gridding y Autocad, como soporte para el manejo de los planos de las distintas comunas, lo cual constituye una herramienta importante, no solo de análisis espacial si no como instrumento de gestión que facilitará la toma de decisiones para minimizar los problemas generados por ruido.

Se realizó una comparación de los datos obtenidos para periodos diurnos y nocturnos frente a la norma existente, considerando los posibles focos generadores de contaminación y la clasificación de las comunas determinadas por el POT.

El procedimiento de medición y los niveles comparativos son los establecidos en la Resolución 08321/83 del Ministerio de Salud y el Decreto 948 de 1995 del Ministerio del Medio Ambiente.

Con base en los análisis de resultados se plantean unas recomendaciones para el control de la contaminación por ruido en la ciudad, que incluyen medidas de prevención, mitigación y seguimiento.

3.1.1 Equipos Utilizados Para La Medición

Dichos equipos se ajustaron en ponderación A, respuesta rápida F (Fast) y Nivel equivalente Leq., y fueron calibrados previamente a las mediciones.

- QUEST 2900 de tipo 1 que cumple las normatividades ANSI S1.4 – 1983, IEC 651-1979, IEC 804 - 85

- CASELLA 490 de tipo 1 que cumple con las normas CEI 61672 – 1 2002 -5, CEI 60651, CEI 60804 - 1985,

- CEL 328/3ª Sound Level Meter and CEL 230 microphone/Preamplifier Unit. Que cumple con los estándares. EN 50081-1/2:1992/3, EN 50082-1/2:1992.

3.2 COMUNA 1

3.2.1 Características de la comuna Compuesta por 26 barrios. Esta comuna ubicada en el norte de la ciudad, la cual esta conformada en su gran mayoría es zona que presenta actividad residencial, también se encuentran zonas de servicio educativo, zonas recreativas, un corredor comercial que es la carrera 9 de alta actividad. Dentro de esta comuna también zonas de servicio a la comunidad como el Aeropuerto Guillermo León Valencia.

3.2.2 Análisis En el mapa que representa los niveles de ruido del periodo diurno de la comuna uno, se observa unos altos niveles de ruido en la mayor parte de la zona residencial en donde se superan los 65 dB(A) que es nivel máximo permitido en esta zona; estos niveles están principalmente influenciados por el corredor comercial de la carrera 9 en donde se halla por la cantidad de fuentes móviles representadas por el parque automotor; en el sector del Aeropuerto Guillermo León Valencia se observa unos niveles superiores a los 70 dB(A) y en el sector del barrio Belalcázar influenciado por la Plaza de Mercado del Barrio Bolívar, la cual pertenece a la comuna tres.

Un sector muy pequeño de esta zona conformado por algunos barrios y una zona educativa se encuentra por debajo de los 65 dB(A), máximo nivel permitido.

En horario nocturno se denotan altos niveles de presión sonora en gran parte de la zona residencial, en donde se superan los 45 dB (A), límite permisible establecido. Las zonas marcadas con niveles mayores a 65 dB(A) están influenciados por el corredor comercial de la Carrera 9 y su actividad nocturna en donde se hallan lugares de esparcimiento.

3.3 COMUNA 2

3.3.1 Características de la comuna Compuesta por 40 barrios Esta comuna ubicada en el norte de la ciudad, la conforma en su gran mayoría zona que presenta actividad residencial, también se encuentran algunas zonas de servicio educativo, zonas recreativas, un corredor comercial que es la carrera 9 y áreas de actividad industrial.

3.3.2 Análisis En el mapa que representa los niveles de ruido del periodo diurno de la comuna dos (2), se registran en la mayor parte de la zona residencial y las zonas de servicio educativo niveles de ruido entre los 55 y 65 dB(A), los cuales no superan el nivel máximo permitido en esta zona; pero en algunos sectores del corredor comercial de la carrera 9, los niveles superan los 65 dB(A), estos principalmente influenciados por el comercio, fuentes móviles, actividad industrial y recreativa; existe una zona residencial en donde se observa unos niveles superiores a los 70 dB(A), en los barrios la Paz, Villa del Norte, entre otros, en donde su principal aportante es el parque automotor.

En horario nocturno, los barrios aledaños a la Cra 9 superan los estándares permisibles 45 dB (A) de emisión de ruido, y en los alrededores de la Urbanización Villa del Viento se presenta cumplimiento a los límites.

3.4 COMUNA 3

3.4.1 Características de la comuna Compuesta por 41 barrios. Esta comuna la conforma en su gran mayoría zona que presenta actividad residencial, también se encuentran algunas zonas de servicio a la comunidad, de servicio educativo, recreativas, un corredor comercial que es la carrera 6 de alta actividad; además encontramos zonas de actividad Industrial y áreas de protección.

3.4.1 Análisis En el mapa que representa los niveles de ruido del periodo diurno de la comuna tres, se observa que en gran parte de la zona residencial se encuentran niveles entre los 55 y 65 dB(A) los cuales no superan el nivel máximo permitido en estas zonas; en algunos sectores del corredor comercial de la carrera 6 ,en las zonas recreativas, de educación y de servicio a la comunidad se encuentran niveles que superan los 65 dB(A) influenciados por las fuentes y el comercio, y zonas recreativa; existe una zona residencial en donde se registran niveles superiores a los 70 dB(A) en donde su principal influencia es el parque automotor, en especial en las intersecciones viales y los semáforos. Existe un punto especial que supera los 75 dB(A) en la calle 1AN y carrera 6 del Barrio Bolivar en donde existe la doble vía y confluye a la plaza de mercado del mismo nombre (gran aportante de niveles de ruido por las múltiples actividades comerciales que se desarrollan en este lugar).

En horario nocturno, se incumple la normatividad ambiental, se encontraron niveles sonoros entre 50 y 60 dB(A) en el sector aledaño al Instituto Nacional de vías y el Catay superando los 65 dB(A).

3.5 COMUNA 4

3.5.1 Características de la comuna Compuesta por 34 barrios. Se encuentra localizado el sector histórico, zona en la cual se presenta actividad residencial y amplia actividad

comercial. El barrio Valencia goza de una clasificación de actividad residencial con el de centro de comercio secundario. En este sector también se encuentran zonas definidas como de servicio educativo y de servicio a la comunidad y un corredor comercial representado por la calle 5.

3.5.2 Análisis En el mapa que representa los niveles de ruido del periodo diurno de la comuna cuatro, compuesta por zonas con una gran actividad comercial, se observa unos altos niveles de ruido, especialmente en la zona de sector histórico, que incluye el sector del Empedrado en donde existen valores superiores a 65 dB(A), influenciados por fuentes móviles, además de la gran cantidad de comercio ambulante y la existencia de equipos utilizados como medio publicitario, existen además centros mayoristas donde se presentan actividades de cargue y descargue por parte de vehículos de carga pesada que congestionan el tránsito vehicular. En las zonas residenciales principalmente en los barrios Santa Inés, Cadillal, los Alamos, se encontraron niveles superiores a 65 dB(A) que son excesivos para estos sectores.

En el sector oriental de los barrios Santa Teresita, Las Américas, El Achiral, se presentaron niveles de ruido dentro de los límites legales permitidos, esta zona es considerada como residencial.

En el periodo nocturno, se presenta un caso similar con el sector histórico, que se constituye en la zona con más alta contaminación auditiva, en su mayoría causado por la alta confluencia a los sitios de diversión (65 dB(A)) localizados entre la Calle 4 y Calle 5 y entre carera 3 carrera 11.

En general esta comuna es la que representa una alta dosis de ruido para sus habitantes y tan solo el sector de Loma de Cartagena presentó valores que cumplen la normatividad ambiental (45 dB(A)).

En el resto de zonas que comprenden el sector histórico también existen niveles superiores a 60 dB(A) ocasionados principalmente a las fuentes móviles.

En el sector representado por los barrios San Camilo y el Empedrado comprendido por la calle 9 entre carreras 1 y 8, durante el periodo nocturno se encontraron niveles por encima de los 50 dB(A), nivel aceptable en comparación con los altos niveles que se presentan en el sector histórico

3.6 COMUNA 5

3.6.1 Características de la comuna Compuesta por 15 barrios. Esta comuna la conforma en su gran mayoría zona que presenta actividad residencial, también se encuentran algunas zonas de servicio a la comunidad y zonas de protección ambiental.

3.6.2 Análisis En el mapa que representa los niveles de ruido del periodo diurno de la comuna cinco (5), se observa que en casi toda la zona residencial se encuentran niveles entre los 50 y 65 dB(A) los cuales no superan el nivel máximo permitido en estas zonas; pero existe un sector que supera los 65dB(A) comprendido por los barrios Suizo y Colgate Palmolive, en los se cuales se infringe la norma a causa del tráfico vehicular. Además se encuentran sectores puntuales que interfieren en los niveles sonoros cuando desarrollan su actividad, entre estos se encuentra la Plaza de Ferias y el Matadero Municipal.

En el periodo nocturno de la comuna cinco (5), se observa que en la zona residencial se encuentran niveles entre los 50 y 60 dB(A) los cuales superan el nivel máximo permitido en este horario; las actividades comerciales desarrolladas en el sector son mínimas y no representan alteración significativa del ambiente sonoro.

3.7 COMUNA 6

3.7.1 Características de la comuna Compuesta por 40 barrios. Esta comuna la conforma en su gran mayoría zona que presenta actividad residencial, también se encuentran algunas zonas de servicio a la comunidad, de servicio educativo, de recreación, deporte; de protección ambiental y protección de humedales.

3.7.2 Análisis En el mapa que representa los niveles de ruido del periodo diurno de la comuna seis (6), se observa que predomina zona residencial, en donde se reportan niveles entre los 55 y 65 dB(A), no superando los niveles máximos permitidos; existe gran parte del sector residencial que registra niveles comprendidos entre los 65 y 70 dB(A), los cuales superan el nivel máximo, en su gran mayoría, influenciado por los corredores comerciales de la calle 13 y la calle 17 por el alto flujo vehicular, dentro de esta zona hay dos sectores especiales que superan los 70 dB(A) uno de ellos localizado en el corredor comercial de la calle 17 con carrera 8, el otro sector es en el límite del barrio Pajonal y barrio Santa Fe.

En el periodo nocturno de esta comuna, se observa que hay zonas residenciales en donde se encuentran niveles entre los 50 y 65 dB(A) los cuales superan el nivel máximo permitido en estas zonas. Se localiza un gran sector que presenta niveles entre 65 y 70 dB(A), influenciados por la actividad comercial y tránsito vehicular de la calle 13; se halla una zona especial que supera los 70 dB(A) localizada en la carrera 17 y la calle 10, por el flujo vehicular, y el sector de la piedra sur hasta la transversal 17 en donde se ubican lugares de actividad nocturna.

3.8 COMUNA 7

3.8.1 Características de la comuna La comuna 7 está compuesta por 30 barrios, Clasificada como zona residencial, sector de protección de humedales y de protección

ambiental, se localiza el barrio las Palmas con su galería que representa una zona de actividad comercial y de alta confluencia.

3.8.2 Análisis En esta comuna no encontramos sectorizado puntualmente una zona que presente un alto nivel de ruido, pero existe un amplio sector que presenta niveles superiores a 65 dB(A), entre las carreras 25 y 28 y entre calles 9 y 12 del barrio Tomás Cipriano de Mosquera, a consecuencia del alto flujo vehicular de servicio público.

En esta comuna se presentaron niveles de presión sonora comprendidos entre 55 y 70 dB(A), amplia zona presenta niveles sonoros entre 60 y 65 dB(A) ubicada entre carrera 22 a 27 con calles 10 transversal 33, y de la calle 8 a la 15 en el barrio los Campos.

En el periodo nocturno se registraron niveles sonoros desde 45 a 65 dB, las áreas de mayor presión sonora están comprendidas entre carrera 23 y carrera 27 entre calles 9 y 18

Una amplia zona supera los 50 dB(A), conformada por los barrios El Mirador, Solidaridad, Kennedy, Santa Fé, el Retiro, entre otros.

En una parte mínima de los barrios, se generan niveles sonoros dentro de los límites permisibles, en cumplimiento a la normatividad tales como la Isabela y Carrera 21A y 21B

3.9 COMUNA 8

3.9.1 Características de la comuna Compuesta por 17 barrios. Se encuentran consideradas como zonas comerciales el Barrio La Esmeralda, y el sector aledaño a la Iglesia Perpetuo Socorro (carrera 23), el barrio Pandiguando en sus límites con el corredor vial de la calle 4 y el corredor comercial de la calle 5 se ha establecido como una zona altamente comercial. En el barrio Camilo Torres, a pesar de estar catalogado como zona de uso residencial, también se localizan algunas fábricas de comercio minorista industrial. El restante sector

de los barrios de la comuna se clasifica en su amplia mayoría como zona de actividad residencial.

3.9.2 Análisis En la calle 6 con carrera 23 barrio Llano Largo se presentan unos niveles de ruido muy altos que superan los 80 dB(A), generados por el alto flujo vehicular; en los alrededores de esta zona, calle 9 hasta la 7 entre carreras 22 a 23, se registraron emisiones de ruido que sobrepasan los 75 dB(A), al igual que en los semáforos de la Esmeralda, especialmente en horas pico donde la densidad vehicular y peatonal aumenta considerablemente, y a la gran cantidad de actividad comercial representada en su mayoría por la plaza de mercado, bares tabernas y cantinas.

En el Barrio Camilo Torres presenta una zona pequeña con niveles de presión sonora comprendidos entre 65 y 70 dB(A), influenciados directamente por el comercio minorista industrial y por el flujo aéreo.

En el barrio Pandiguando, el sector aledaño a los corredores viales de las calles 4 y 5 se registraron niveles de emisión de ruido por encima de los 65 dB(A), originados por las fuentes móviles y el comercio, de igual manera se percibieron estos niveles en el Barrio José María Obando, el Libertador

En los Barrios, Minuto de Dios, Popular, Santa Teresita y las Américas se presentaron niveles de presión sonora entre 55 y 60 dB(A), cumpliendo los estándares permisibles en este horario.

Los niveles de ruido durante el periodo nocturno, muestran claramente un sector marcado con niveles que sobrepasan los 70 dB(A); comprendido entre las calles 4 y 5, y entre carrera 17 y 20; existen muchos bares y restaurantes que no poseen construcciones adecuadas para aislar el ruido que generan. Alrededor de esta zona existe otra con niveles

de 65 dB(A) marcados principalmente por el comercio, flujo vehicular, urbano e intermunicipal, niveles que infringen los límites legales.

No son específicas las zonas que presentan los diferentes niveles sonoros, pero en gran parte del Barrio Pandiguando y sector del Barrio Santa Elena, Cadillal y las Américas se presentaron niveles sonoros entre 60 y 65 dB(A).

En gran parte del Barrio Minuto de Dios y un sector del Barrio la Esmeralda presentó niveles entre 50 y 55 dB(A), ocasionados por el flujo vehicular y el tránsito de personas. Un sector muy pequeño del Barrio la Esmeralda, localizado entre Calle 8 y Carrera 19 se encontró cumpliendo los estándares normativos 45 dB(A)

3.10 COMUNA 9

3.10.1 Características de la comuna Compuesta por 15 barrios. Zona de actividad residencial, con una pequeña zona de actividad comercial y otra considerada como de protección de humedales además de una considerada de servicio a la comunidad.

3.10.2 Análisis En general el 50 % de la comuna presenta niveles que están por encima de los 60 dB(A) pero que no sobrepasa el límite permisible 65 dB(A), a excepción del sector comprendido entre la calle 4 y la carrera 33 que representa un nivel de ruido superior de 65 dB(A) influenciados en su gran mayoría por tránsito vehicular.

En cercanías al barrio San José, parte del barrio 31 de Marzo y los Campos, se presentan niveles sonoros superiores a 65 dB (A) entre las calles 7 y 15, y carreras 31 a la 35, estos niveles son representados principalmente por la actividad comercial minorista desarrollada como bares y tiendas, así como el alto flujo de vehículos de servicio público que toman este corredor como la principal vía de acceso a los barrios de esta comuna.

Durante el periodo nocturno, en el sector de la Carrera 33 con calle 5, se presenta niveles superiores a los 65 dB (A) , emitidos por las fuentes móviles principalmente de servicio público y a la existencia de sitios de diversión como billares y bares.

Aproximadamente en el 25 % de los barrios de ésta comuna se percibieron niveles sonoros entre 60 y 65 dB(A), que incluye los barrios Carlos I, Camilo Torres.

El sector occidental del Barrio La Isabela, parte del barrio Cinco de Abril y San Antonio de Padua registraron niveles sonoros permisibles (45 dB(A)).

4. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

Los resultados más importantes que se obtuvieron en este proyecto en cuanto a medidas y cálculos realizados están en la aproximación de los datos de niveles de presión sonora que se registraron durante toda elaboración del sonómetro, y en especial durante su calibración con el pistófono CEL 284/2 que cumple con las normas IEC 942:1988 class 11 y la norma ANSI s1.40-1984 el cual genera una señal de 114 dB a una frecuencia de 1 KHz que es la frecuencia central de la ponderaciones A, B, C donde no se genera ganancia.

Se realizó un estudio simultaneo con el sonómetro prototipo y el sonómetro QUEST 2900 con las siguientes características tipo 2, cumple las normatividades ANSI S1.4 – 1983, IEC 651-1979, IEC 804 85 de propiedad de la CRC, durante un tiempo de 15 minutos, que es el recomendado por el ministerio de medio ambiente; y se obtuvieron lo resultados mostrados en la siguiente tabla comparativa. Para realizar esta tabla comparativa, se tuvo como base la impresión que se puede realizar desde el sonómetro Quest (ver anexo A) y el informe generado por el programa para tomar los datos del prototipo construido (ver Anexo B).

Tabla 3. Valores comparativos entre el sonómetro prototipo y el sonómetro Quest 2900.

MINUTOS	SONOMETRO QUEST 2900 (dB)	SONOMETRO PROTOTIPO (dB)	% DE ERROR
1	57,9	63,1	9,0
2	56,4	62,9	11,5
3	57,6	62,5	8,5
4	57,4	63,4	10,5
5	58,4	63,4	8,6
6	56,3	63,1	12,1
7	57,3	63,7	11,2
8	58,3	63,7	9,3
9	57,3	63,1	10,1
10	57,9	64,7	11,7
11	61,8	65,5	6,0
12	60,1	64,7	7,7
13	60,1	64,1	6,7
14	59,3	64,1	8,1
TOTAL	58,3	63,7	9,3

Al realizar una comparación entre las medidas tomadas por el sonómetro prototipo, y el sonómetro QUEST 2900 que existe en la Corporación Autónoma, se puede observar que los porcentajes de error son considerablemente mayores a los esperados, una de las posibles causas para que se presenten estas diferencias esta en la diferencia de sensibilidad de los micrófonos, ya que el primero es de $\frac{1}{4}$ de pulgada, mientras que el sonómetro QUEST posee uno de $\frac{1}{2}$ pulgada.

Figura 35. Prueba del sonómetro prototipo y el sonómetro Quest 2900



También se realizó la misma prueba de 15 minutos, con otro equipo CASELLA 490 de tipo 1 que cumple con las normas CEI 61672 – 1 2002 -5, CEI 60651, CEI 60804 – 1985 del cual también se obtuvieron resultados similares que se muestran en la siguiente tabla; los datos consignados en ella fueron tomados del informe que arroja el software que acompaña este equipo

Con el cual se observó y se puede corroborar que los registros de presión sonora que se los datos son mas acordes entre si, obteniéndose un porcentaje de error del 4,9%, lo que nos genera una desviación de $\pm 3,4$ dB.

Tabla 4. Valores comparativos entre el sonómetro prototipo y el sonómetro CASELLA.

MINUTOS	SONOMETRO CASELLA 490 (dB)	SONOMETRO PROTOTIPO (dB)	% DE ERROR
1	74,6	70,8	5,1
2	76,6	71,7	6,4
3	75,0	71,2	5,1
4	76,5	72,5	5,2
5	70,2	72,4	3,1
6	76,0	72,2	5,0
7	68,3	71,3	4,4
8	67,1	71,4	6,4
9	69,2	71,3	3,0
10	69,3	71,6	3,3
11	67,1	71,5	6,6
12	66,3	71,7	8,1
13	68,0	72,1	6,0
14	63,9	66,4	3,9
15	63,6	68,4	7,5
TOTAL	69,8	71,1	4,9

Figura 36 sonómetro prototipo y Casella 490 durante las pruebas realizadas.



En otra prueba que se le hizo al sonómetro, después de ajustar la calibración los datos obtenidos se asemejan aun mas al sonómetro CASELLA 490, presentándose un porcentaje de error del 4,4% %, que representa una desviación de $\pm 3,0\text{dB}$.

Figura 36 Segunda prueba del sonómetro prototipo y el sonómetro Casella 490



Tabla 5. Valores comparativos de la segunda prueba entre el sonómetro prototipo y el sonómetro CASELLA.

MINUTOS	SONOMETRO CASELLA 490 (dB)	SONOMETRO PROTOTIPO (dB)	% DE ERROR
1	71,6	68,1	4,9
2	68,7	65,9	4,1
3	69,1	65,1	5,8
4	68,2	64,3	5,7
5	71,7	74,3	3,6
6	70,8	68,5	3,2
7	69,1	65,2	5,6
8	69,6	65,2	6,3
9	65,6	61,2	6,7
10	68,9	72,6	5,4
11	69,1	64,9	6,1
12	65,9	63,5	3,6
13	66,5	69,2	4,1
14	72,9	73,0	0,1
15	70,7	71,4	1,0
TOTAL	69,1	67,5	4,4

Las siguientes imágenes muestran las graficas arrojadas por los programas respectivos de cada sonómetro para la segunda prueba. Se puede observar claramente que los valores registrados están muy cercanos.

Figura 36. Gráfica de los datos de la segunda prueba del sonómetro prototipo

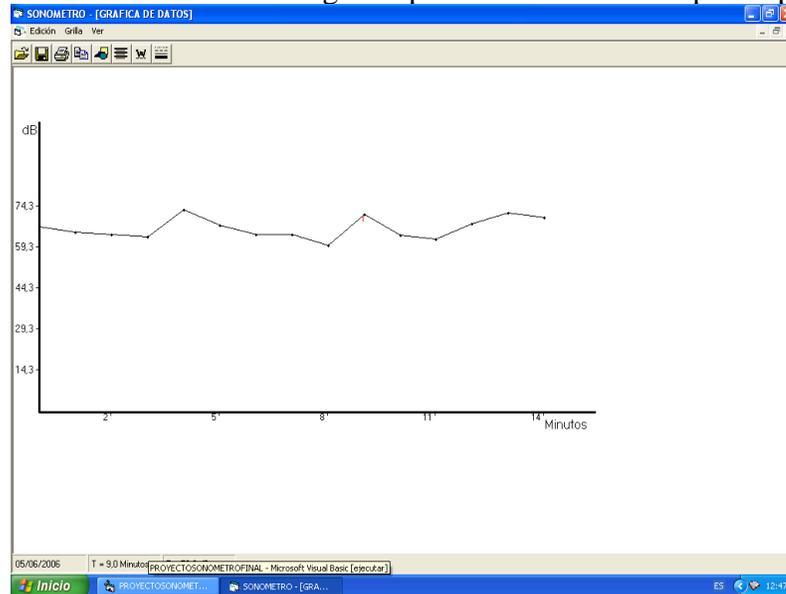
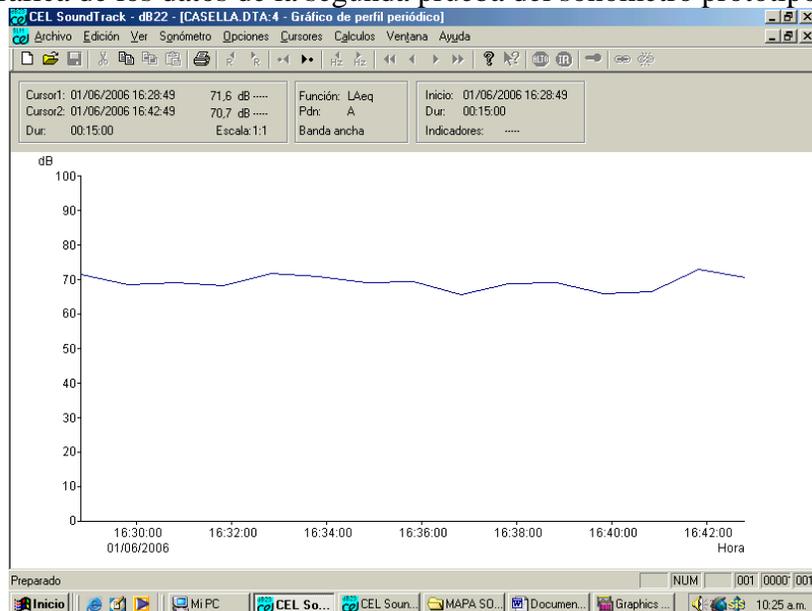


Figura 37. Gráfica de los datos de la segunda prueba del sonómetro prototipo



CONCLUSIONES

1. Se logró construir un sonómetro, con el que se realizó algunas pruebas de campo de las que fue posible realizar la adquisición de una serie de datos de los niveles de presión sonora que permitieron verificar el correcto funcionamiento del sonómetro construido durante este trabajo.
 2. Se diseñó una aplicación en un entorno gráfico para PC mediante el cual se realizó la adquisición de los niveles de presión sonora que eran almacenados en el sonómetro construido, estos niveles después ser almacenados en una base de datos se pueden visualizar y trabajar con ellos.
 3. De acuerdo a los resultados obtenidos en el capítulo 4, se puede decir que el sonómetro presentó un leve desfase con respecto a los niveles de presión sonora que se obtuvieron con uno de los sonómetros que posee la CRC. Además es importante tener en cuenta que el valor de sensibilidad típica del micrófono Electret utilizado es de 10 mV/Pa el cual es pequeño menos sensible que el del micrófono del sonómetro a comparar, esto permite decir que los niveles de presión sonora obtenidos están acordes a los esperados; y al compararlo con el sonómetro Casella que tiene el sensor con la mismas características del prototipo, se puede observar que el porcentaje de error es pequeño y por tanto la respuesta del sonómetro construido es buena en comparación costo respuesta.
- En la mayor parte de la ciudad de Popayán se observa que los niveles de presión sonora equivalente en el periodo diurno superan los niveles máximos permitidos según el uso del suelo contemplados en la Resolución 08321/1983 del Ministerio de Salud

- Las comunas que mayor nivel de presión sonora presentaron en horario diurno fueron: comuna 6, comuna 4, comuna 8 y comuna 1. y en horario nocturno fueron: comuna 4, comuna 6 y comuna 8.

- En casi todos los sitios en donde se encuentran ubicados los semáforos en la ciudad se presentaron niveles demasiado altos a causa de falta de cultura ciudadana por parte de conductores y peatones. Contribuyendo también el uso de accesorios como pitos, cornetas, frenos de aire y carencia de sincronización de los vehículos. El mal estado de las vías se constituye en otro factor que incrementa las emisiones de ruido generados por los vehículos que tienen que esforzar sus motores para transitar por ellas.

- El mapa sónico realizado en este estudio es la línea base para conocer cambios de presión sonora en el municipio de Popayán para próximos periodos.

Anexo B. Reporte de registros sonómetro prototipo

MDIForm1 - [Form2]

Archivo Opciones

NOMBRE DEL ESTUDIO

HORA Y FECHA 01/06/2006

COMUNA 1

DIRECCION CRC

PERIODO DIURNO

VALOR MAXIMO 66,7

VALOR MINIMO 62,5

VALOR Leq 63,9

DATOS (dB):

1. 063,1	2. 062,9	3. 062,5
4. 063,4	5. 063,4	6. 063,1
7. 063,7	8. 063,7	9. 063,1
10. 064,7	11. 065,5	12. 064,7
13. 064,1	14. 064,1	15. 066,7

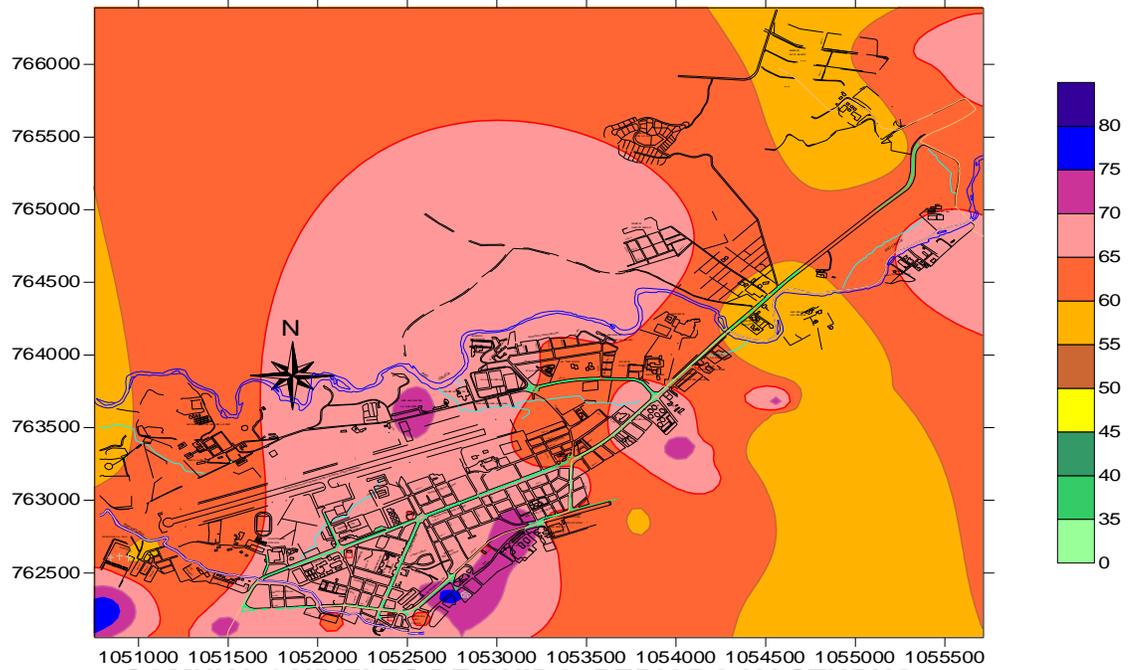
TIEMPO:

Informe 0:21 02/06/2006

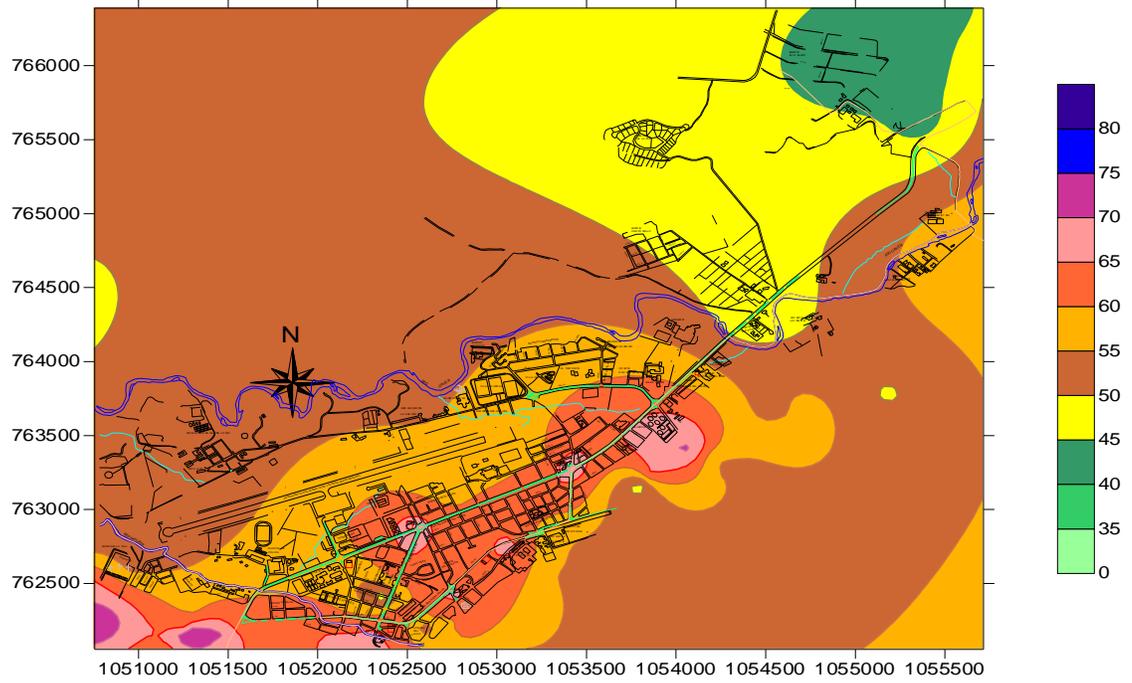
Inicio 85. Los Diabito... Explorador ... 2 Microsoft O... Microsoft Offic... PROYECTO50... MDIForm1 - [F... ES 0:21

Anexo C. Mapas isofónicos por comunas

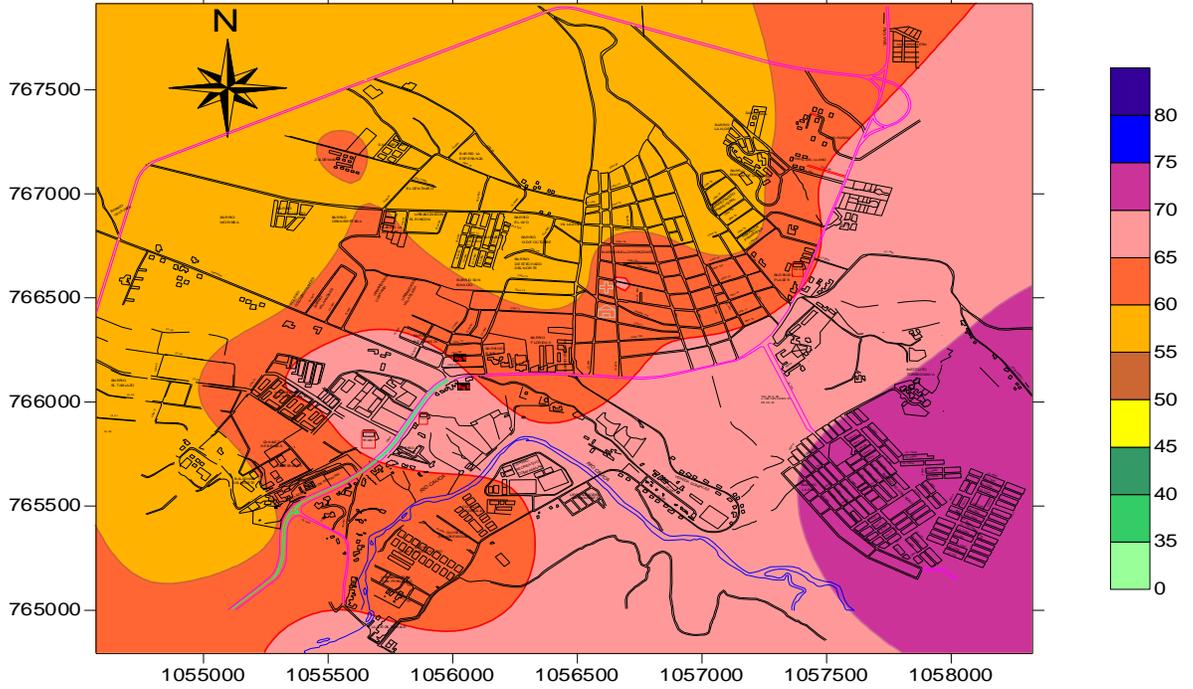
COMUNA 1 NIVELES DE RUIDO PERIODO DIURNO



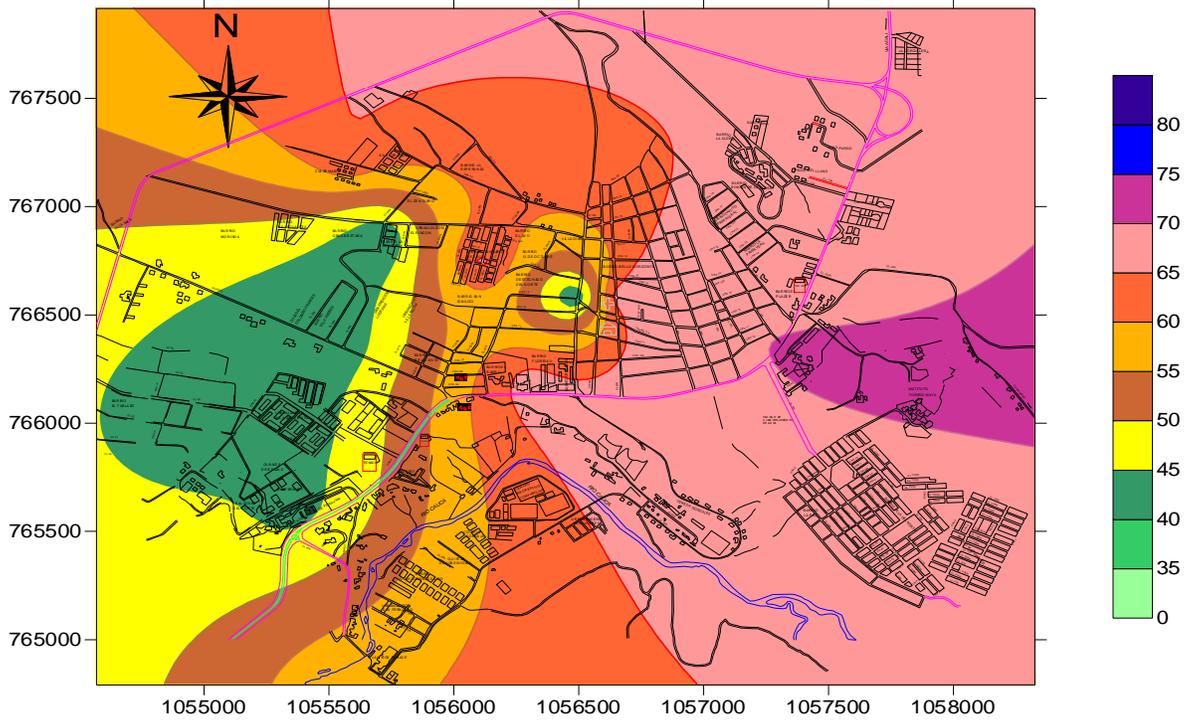
COMUNA 1 NIVELES DE RUIDO PERIODO NOCTURNO



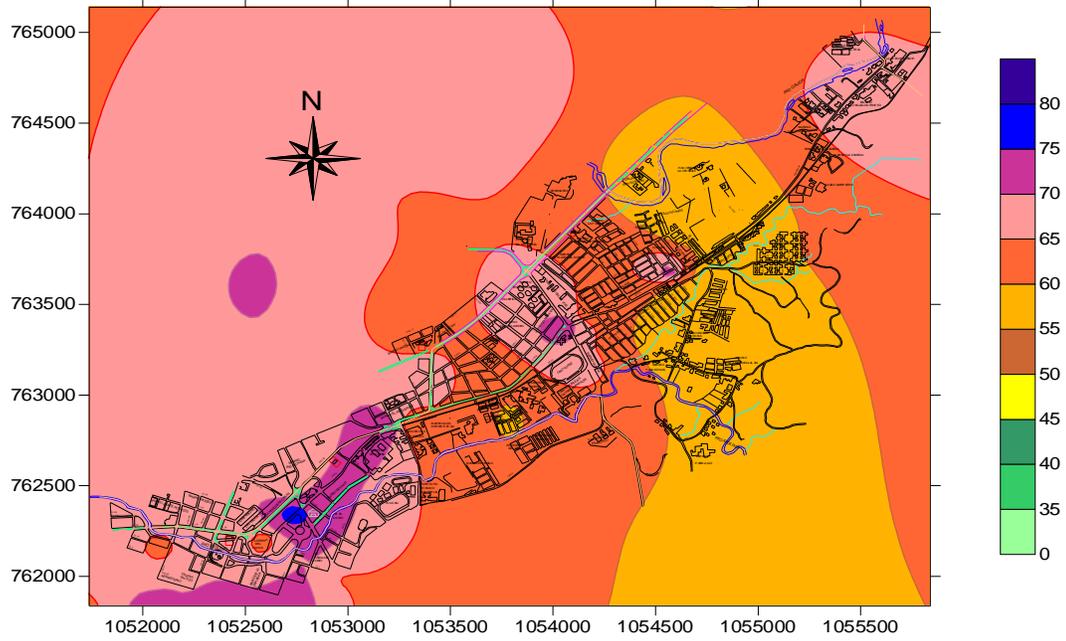
COMUNA 2 NIVELES DE RUIDO PERIODO DIURNO



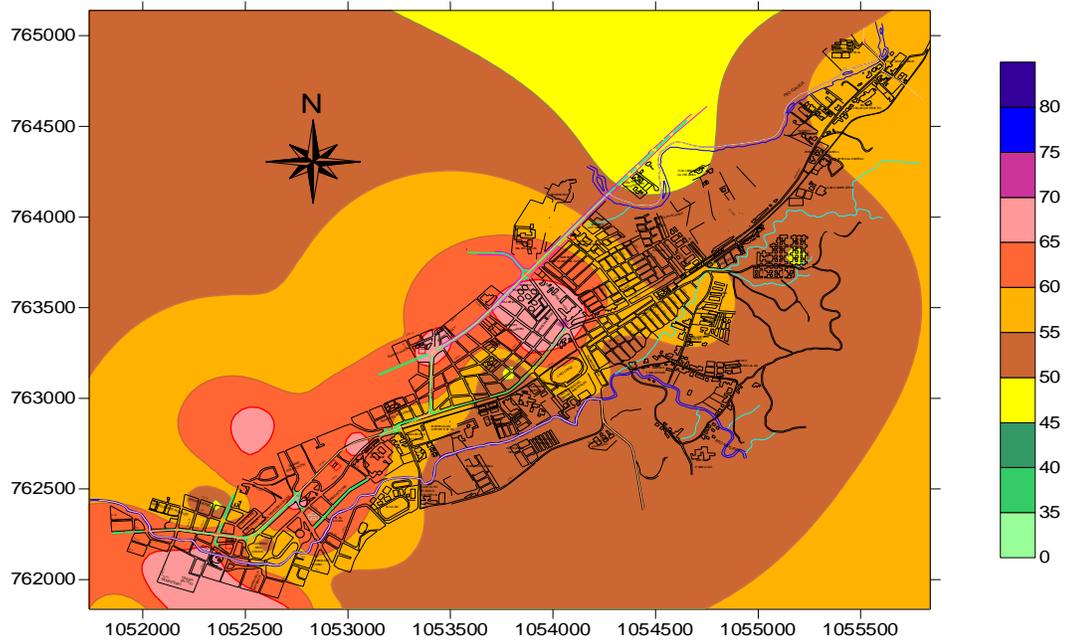
COMUNA 2 NIVELES DE RUIDO PERIODO NOCTURNO



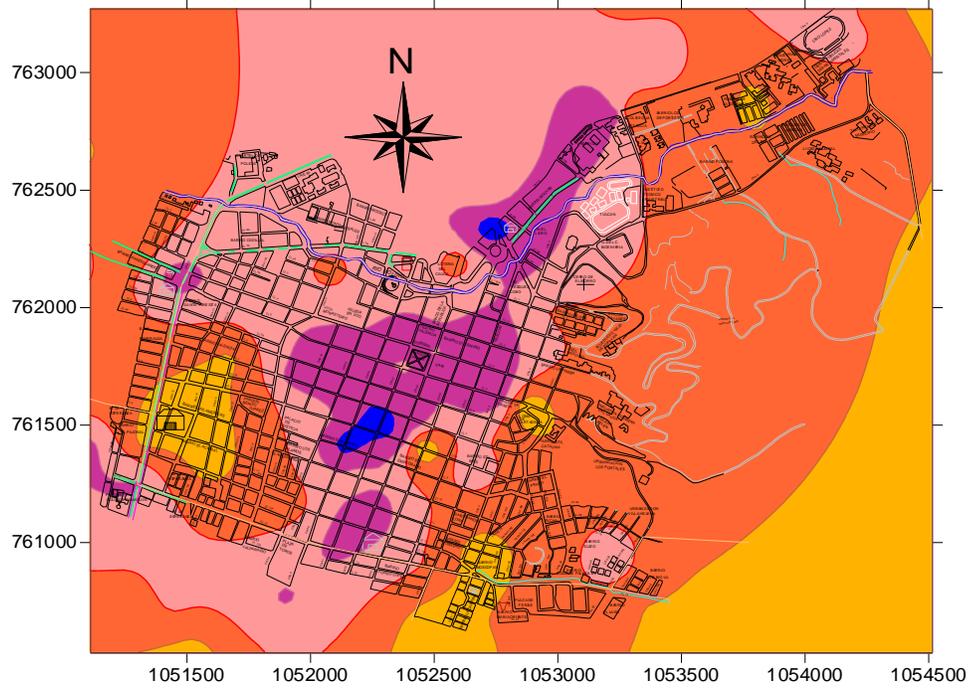
COMUNA 3 NIVELES DE RUIDO PERIODO DIURNO



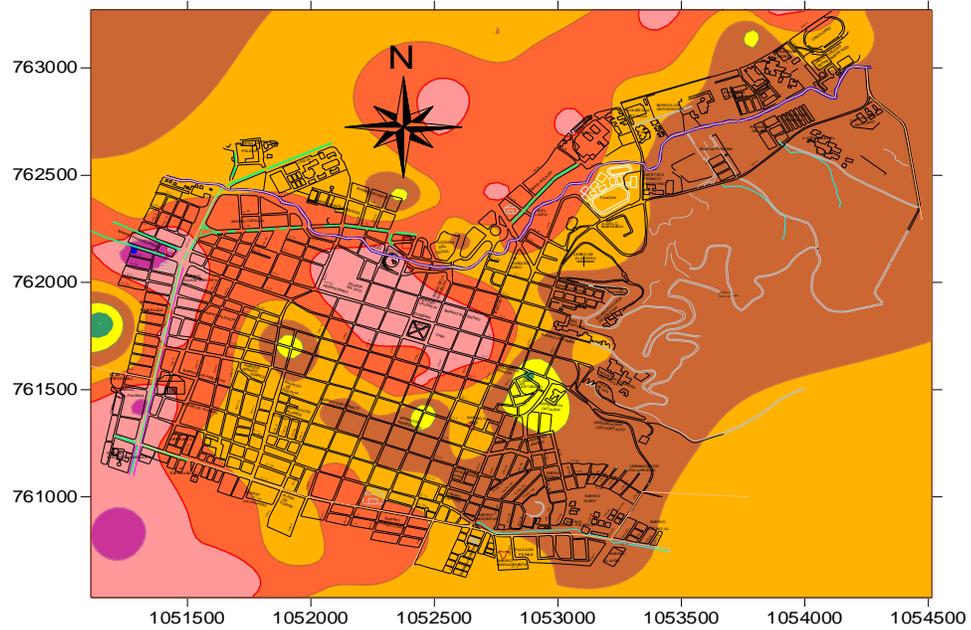
COMUNA 3 NIVELES DE RUIDO PERIODO NOCTURNO



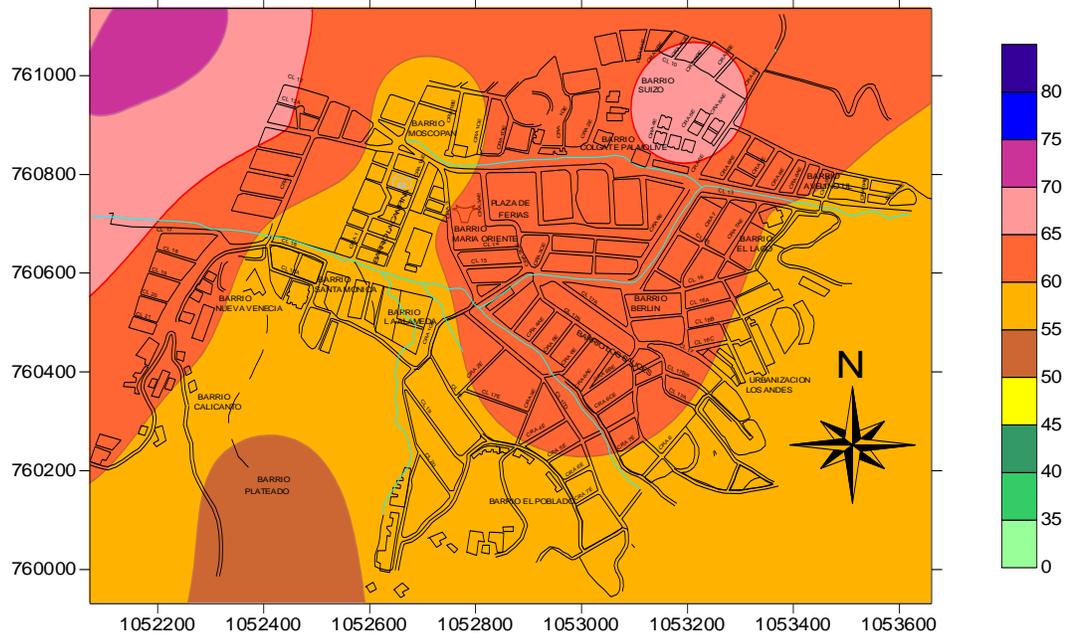
COMUNA 4. NIVELES DE RUIDO PERIODO DIURNO



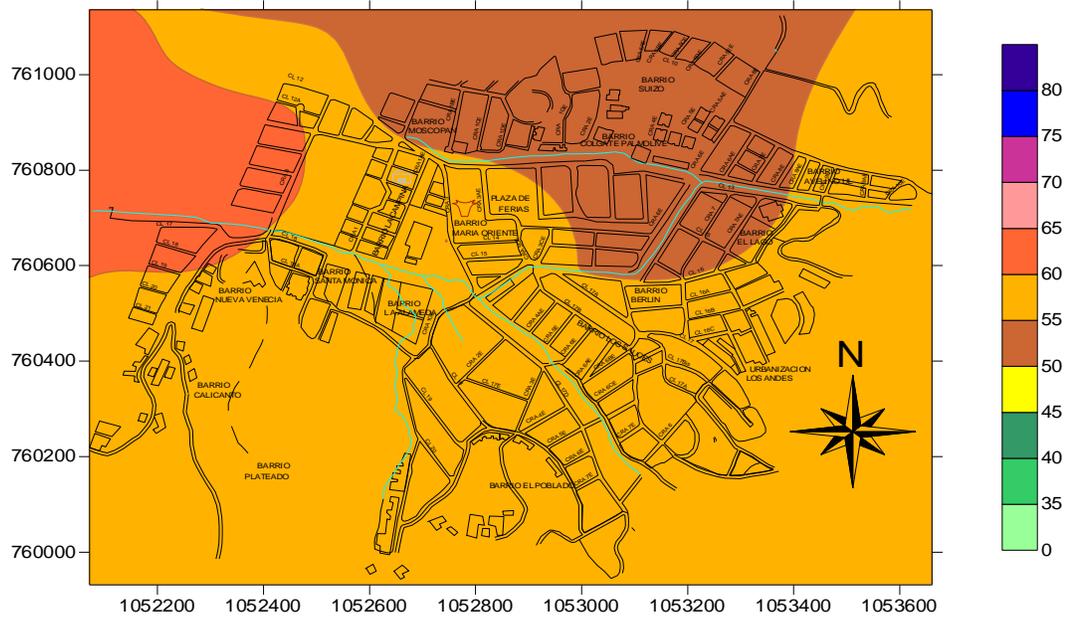
COMUNA 4 NIVELES DE RUIDO PERIODO NOCTURNO



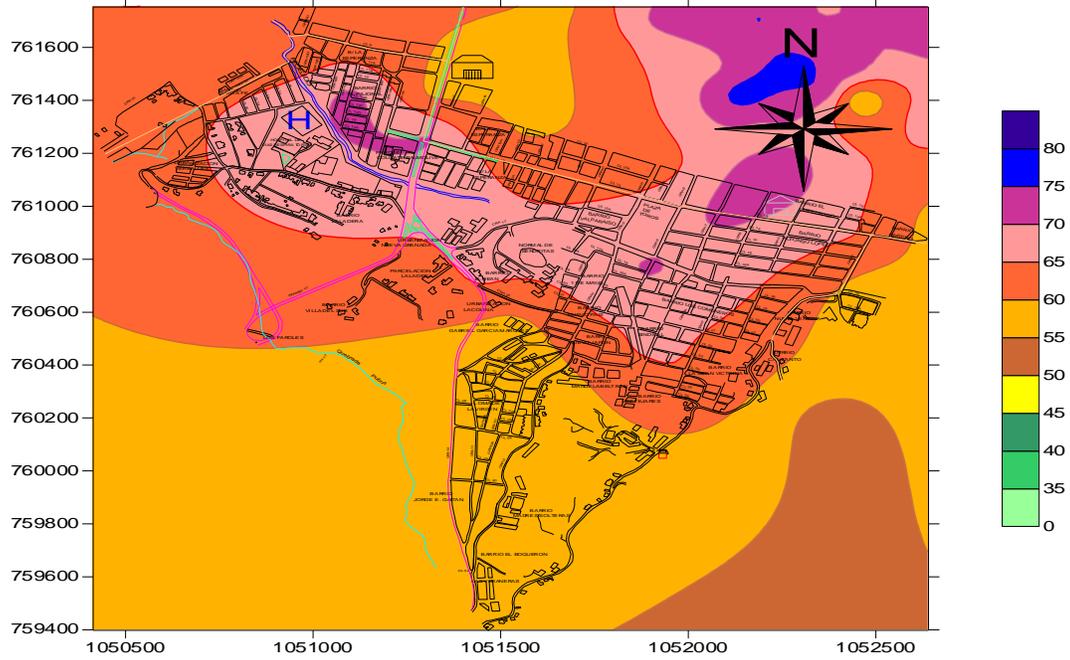
COMUNA 5 NIVELES DE RUIDO PERIODO DIURNO



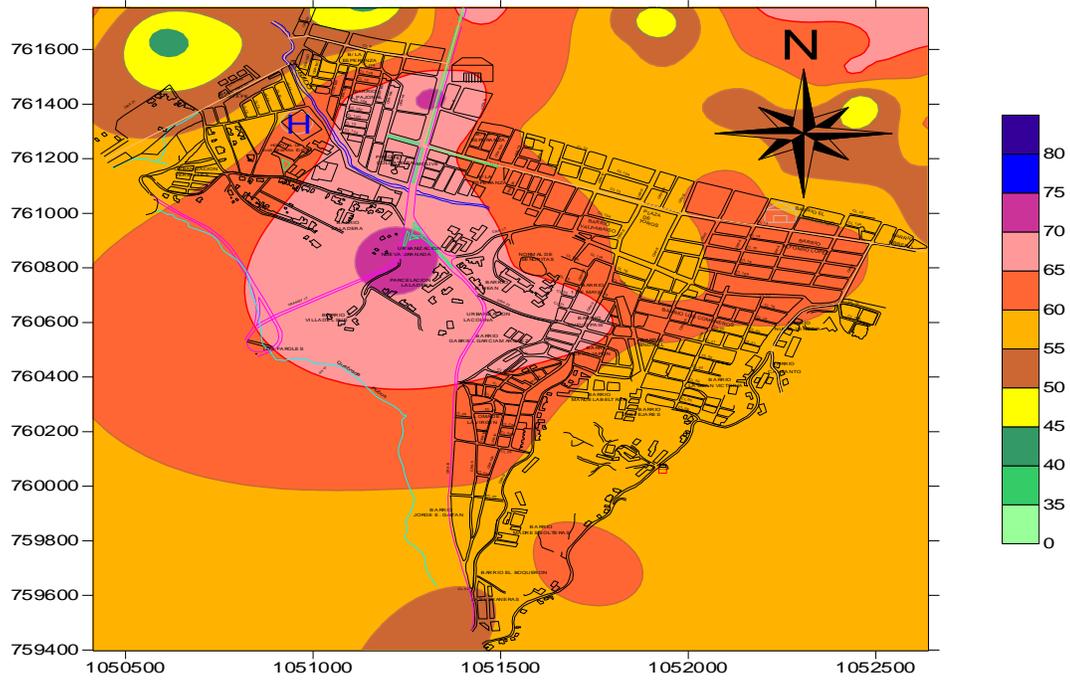
COMUNA 5 NIVELES DE RUIDO PERIODO NOCTURNO



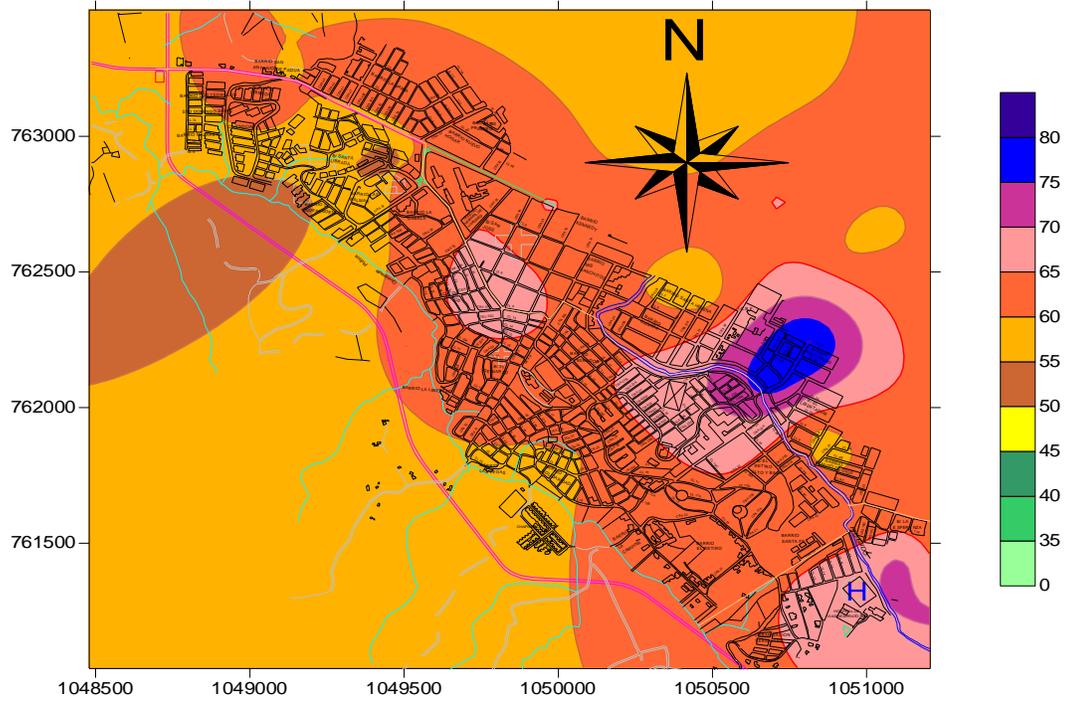
COMUNA 6 NIVELES DE RUIDO PERIODO DIURNO



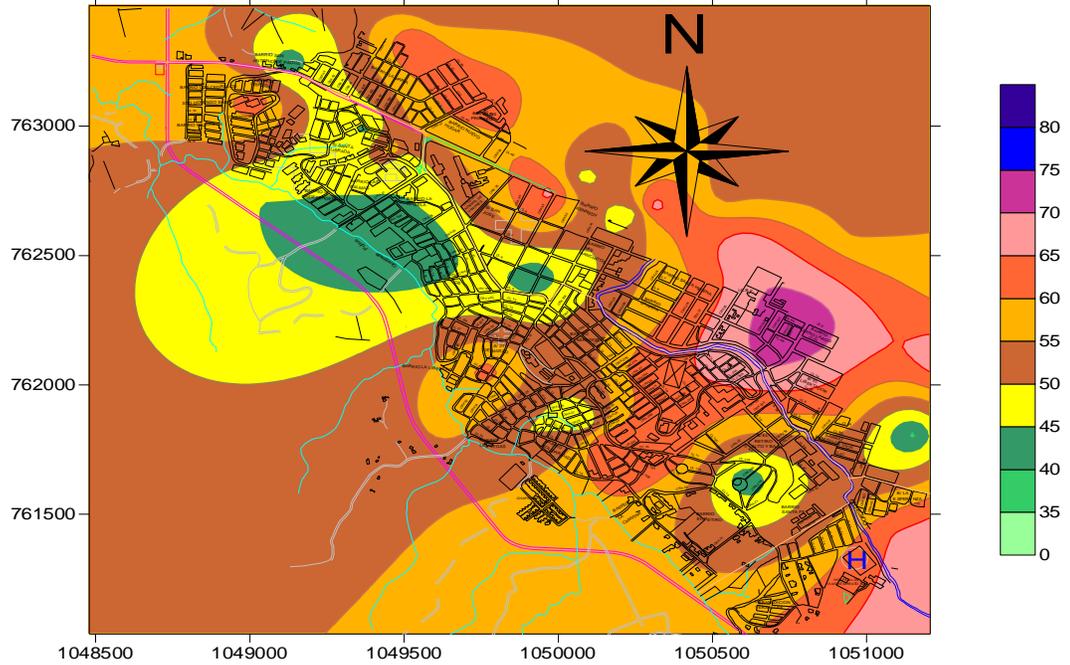
COMUNA 6 NIVELES DE RUIDO PERIODO NOCTURNO



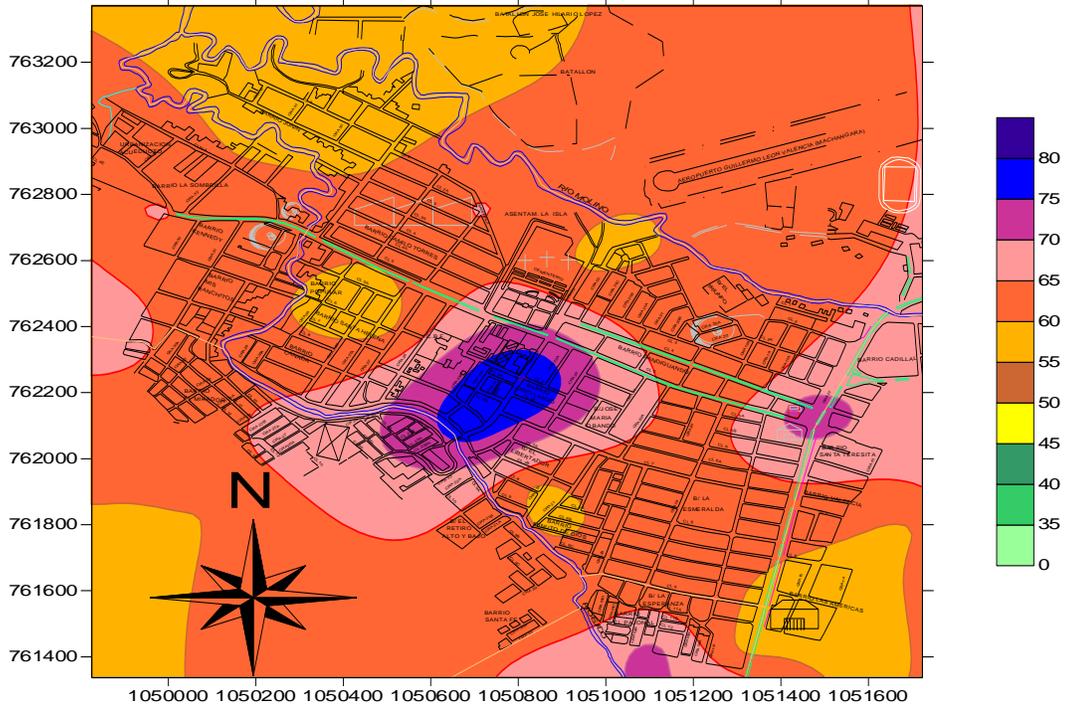
COMUNA 7 NIVELES DE RUIDO PERIODO DIURNO



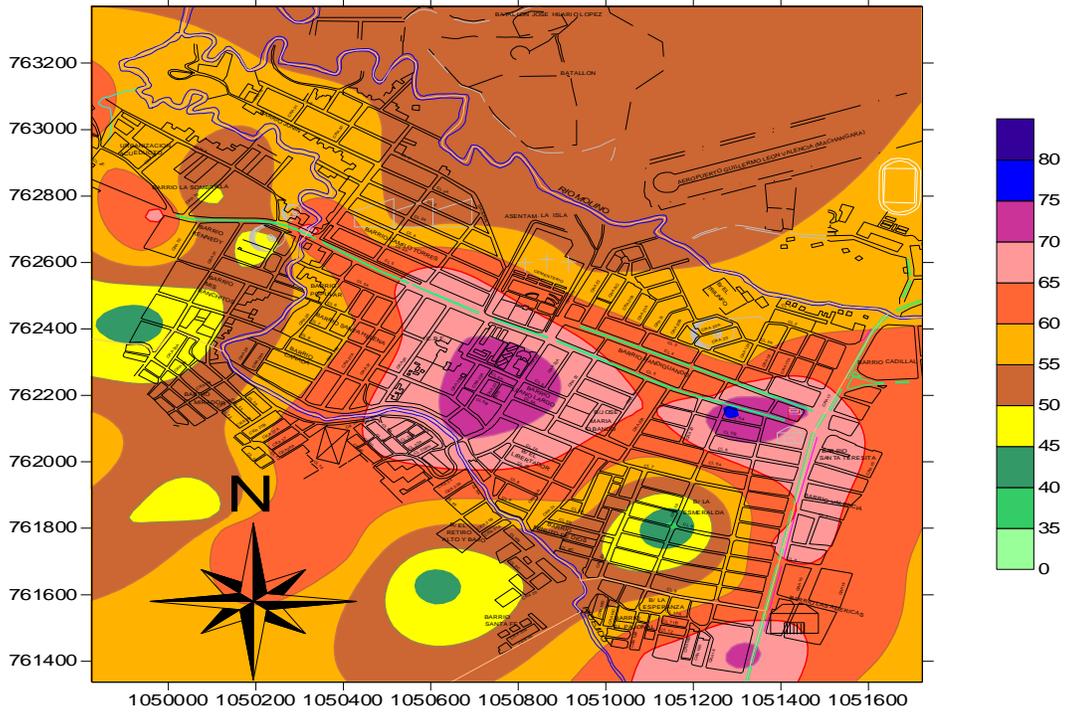
COMUNA 7 NIVELES DE RUIDO PERIODO NOCTURNO



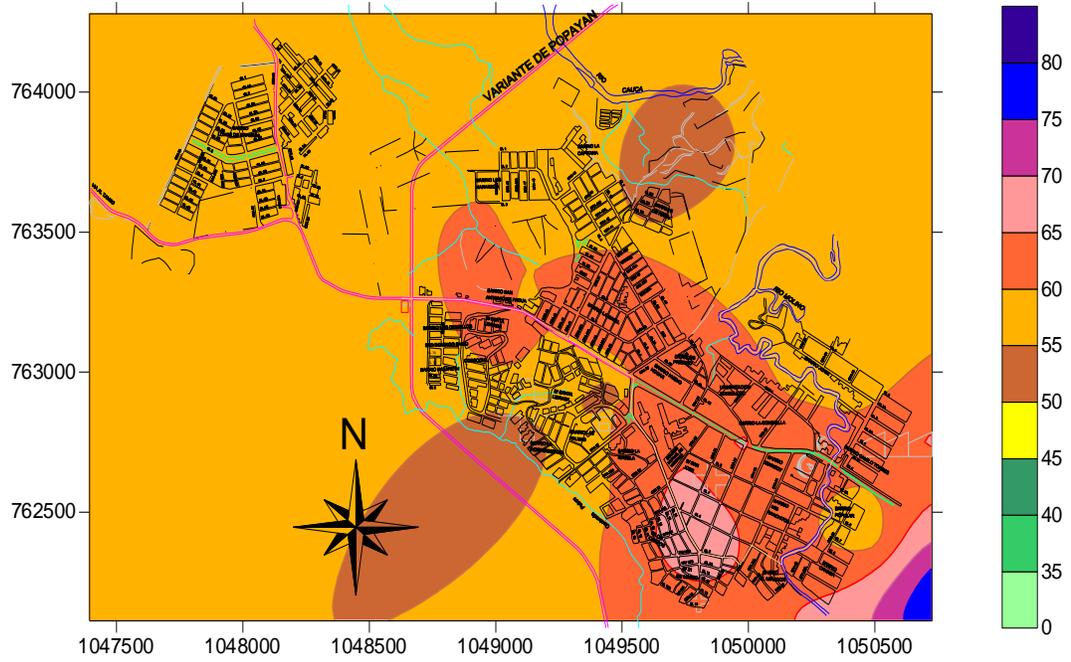
COMUNA 8 NIVELES DE RUIDO PERIODO DIURNO



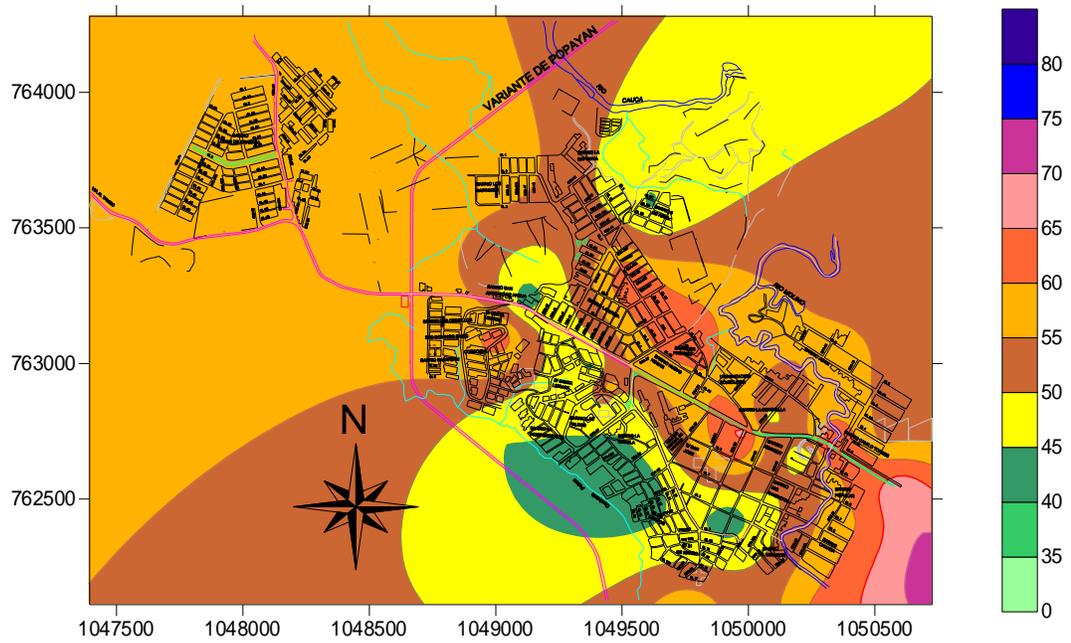
COMUNA 8 NIVELES DE RUIDO PERIODO NOCTURNO



COMUNA 9 NIVELES DE RUIDO PERIODO DIURNO



COMUNA 9 NIVELES DE RUIDO PERIODO NOCTURNO



Anexo D. Descripción general y Características del amplificador operacional LM324

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

Single Supply Quad Operational Amplifiers

The LM324 series are low-cost, quad operational amplifiers with true differential inputs. They have several distinct advantages over standard operational amplifier types in single supply applications. The quad amplifier can operate at supply voltages as low as 3.0 V or as high as 32 V with quiescent currents about one-fifth of those associated with the MC1741 (on a per amplifier basis). The common mode input range includes the negative supply, thereby eliminating the necessity for external biasing components in many applications. The output voltage range also includes the negative power supply voltage.

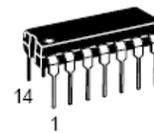
Features

- Short Circuited Protected Outputs
- True Differential Input Stage
- Single Supply Operation: 3.0 V to 32 V
- Low Input Bias Currents: 100 nA Maximum (LM324A)
- Four Amplifiers Per Package
- Internally Compensated
- Common Mode Range Extends to Negative Supply
- Industry Standard Pinouts
- ESD Clamps on the Inputs Increase Ruggedness without Affecting Device Operation
- Pb-Free Packages are Available*
- NCV Prefix for Automotive and Other Applications Requiring Site and Control Changes



ON Semiconductor®

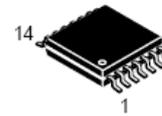
<http://onsemi.com>



PDIP-14
N SUFFIX
CASE 646

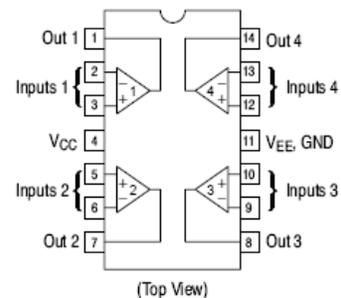


SOIC-14
D SUFFIX
CASE 751A



TSSOP-14
DTB SUFFIX
CASE 948G

PIN CONNECTIONS



Anexo E. Descripción general y Características del comparador LM339ç

LM339, LM239, LM2901, LM2901V, NCV2901, MC3302

Single Supply Quad Comparators

These comparators are designed for use in level detection, low-level sensing and memory applications in consumer, automotive, and industrial electronic applications.

Features

- Single or Split Supply Operation
- Low Input Bias Current: 25 nA (Typ)
- Low Input Offset Current: ± 5.0 nA (Typ)
- Low Input Offset Voltage
- Input Common Mode Voltage Range to GND
- Low Output Saturation Voltage: 130 mV (Typ) @ 4.0 mA
- TTL and CMOS Compatible
- ESD Clamps on the Inputs Increase Reliability without Affecting Device Operation
- NCV Prefix for Automotive and Other Applications Requiring Site and Control Changes
- Pb-Free Packages are Available*

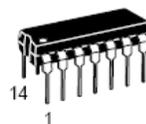


ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>



SOIC-14
D SUFFIX
CASE 751A

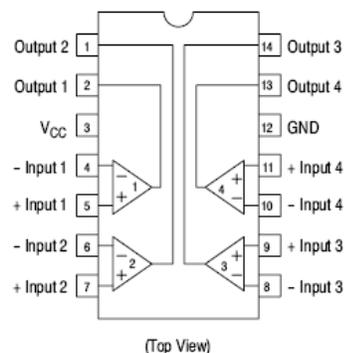


PDIP-14
N, P SUFFIX
CASE 646



TSSOP-14
DTB SUFFIX
CASE 948G

PIN CONNECTIONS



Anexo F. Descripción general y Características del PIC18F452



PIC18FXX2

28/40-pin High Performance, Enhanced FLASH Microcontrollers with 10-Bit A/D

High Performance RISC CPU:

- C compiler optimized architecture/instruction set
 - Source code compatible with the PIC16 and PIC17 instruction sets
- Linear program memory addressing to 32 Kbytes
- Linear data memory addressing to 1.5 Kbytes

Device	On-Chip Program Memory		On-Chip RAM (bytes)	Data EEPROM (bytes)
	FLASH (bytes)	# Single Word Instructions		
PIC18F242	16K	8192	768	256
PIC18F252	32K	16384	1536	256
PIC18F442	16K	8192	768	256
PIC18F452	32K	16384	1536	256

- Up to 10 MIPS operation:
 - DC - 40 MHz osc./clock input
 - 4 MHz - 10 MHz osc./clock input with PLL active
- 16-bit wide instructions, 8-bit wide data path
- Priority levels for interrupts
- 8 x 8 Single Cycle Hardware Multiplier

Peripheral Features:

- High current sink/source 25 mA/25 mA
- Three external interrupt pins
- Timer0 module: 8-bit/16-bit timer/counter with 8-bit programmable prescaler
- Timer1 module: 16-bit timer/counter
- Timer2 module: 8-bit timer/counter with 8-bit period register (time-base for PWM)
- Timer3 module: 16-bit timer/counter
- Secondary oscillator clock option - Timer1/Timer3
- Two Capture/Compare/PWM (CCP) modules. CCP pins that can be configured as:
 - Capture input: capture is 16-bit, max. resolution 6.25 ns ($T_{CY}/16$)
 - Compare is 16-bit, max. resolution 100 ns (T_{CY})
 - PWM output: PWM resolution is 1- to 10-bit, max. PWM freq. @: 8-bit resolution = 156 kHz
10-bit resolution = 39 kHz
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module, Two modes of operation:
 - 3-wire SPI™ (supports all 4 SPI modes)
 - I²C™ Master and Slave mode

Peripheral Features (Continued):

- Addressable USART module:
 - Supports RS-485 and RS-232
- Parallel Slave Port (PSP) module

Analog Features:

- Compatible 10-bit Analog-to-Digital Converter module (A/D) with:
 - Fast sampling rate
 - Conversion available during SLEEP
 - Linearity ≤ 1 LSB
- Programmable Low Voltage Detection (PLVD)
 - Supports interrupt on-Low Voltage Detection
- Programmable Brown-out Reset (BOR)

Special Microcontroller Features:

- 100,000 erase/write cycle Enhanced FLASH program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM memory
- FLASH/Data EEPROM Retention: > 40 years
- Self-reprogrammable under software control
- Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own On-Chip RC Oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options including:
 - 4X Phase Lock Loop (of primary oscillator)
 - Secondary Oscillator (32 kHz) clock input
- Single supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins

CMOS Technology:

- Low power, high speed FLASH/EEPROM technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Industrial and Extended temperature ranges
- Low power consumption:
 - < 1.6 mA typical @ 5V, 4 MHz
 - 25 μ A typical @ 3V, 32 kHz
 - < 0.2 μ A typical standby current

REFERENCIAS

- [1] Beranek, Leo L. “Acústica”. Editorial Hispanoamericana S. A. Buenos Aires (Arg.), 1961.
- [2] Miyara, Federico. “Acústica y Sistemas de Sonido”. UNR Editora. Rosario, Argentina, 1999.
- [3] Miyara, Federico. “Introducción a la Psicoacústica”. Publicación interna de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, U. N. R. Rosario (Arg.), 2003.
- [4] Harris, Cyril M. “Manual de Medidas Acusticas y Control del Ruido”. Vol 1 y Vol 2. Tercera Edición. Editorial McGraw-Hill. Madrid (Esp), 1998.
- [5] Rozo, Rodrigo. “Mediciones de sonido”. Santa Fe de Bogota (Col), 2003.
- [6]. C. M. Harris “Absorption of sound in air vs. Humidity and temperature”, journal of acoustical society of america, vol 40, 1966.
- [7]. P. M. Morse, “Vibration and sound” acoustical Society of America, Nueva Cork 1980.
- [8] Sears, Francis: “Fundamentos de Física. I. Mecánica, calor y sonido”. Editorial Aguilar. Madrid, 1975.
- [9] Millman, Jacob; Halkias, Christos. “Dispositivos y circuitos electrónicos”. Editorial Pirámide. Madrid, España, 1978.