



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

SEDE LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

**“Diseño e Implementación de un Sonómetro con adquisición de
datos hacia el PC y Estudio de contaminación acústica del
Servicio AeroPolicial de la Policía Nacional.”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA EN INSTRUMENTACIÓN**

**BURBANO CHÁVEZ CARLOS IVÁN
FLORES MAIGUA RODRIGO FERNANDO**

Latacunga, Diciembre 2009

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente proyecto de grado fue desarrollado en su totalidad por los señores RODRIGO FERNANDO FLORES MAIGUA Y TNTE. CARLOS IVÁN BURBANO CHÁVEZ, previo a la obtención de su Título de Ingeniero en Electrónica e Instrumentación.

Latacunga, Diciembre del 2009

Ing. Eddie Galarza
DIRECTOR DE PROYECTO

Ing. Amparo Meytaler
CODIRECTOR DE PROYECTO

DEDICATORIA

Esta memoria de grado, producto de los valiosos conocimientos que adquirí durante la trayectoria estudiantil, la dedico con cariño y gratitud a mis abnegados padres, a mi querida esposa y a mi amada hija ISIS. Ya que gracias a su permanente esfuerzo y sacrificio tanto económico como espiritual me han guiado por el sendero del bien y de la superación.

Y hoy que estoy a las puertas de culminar mis estudios veo convertidos en una hermosa realidad mis anhelos, aspiraciones y de igual forma de aquellos seres que me quieren.

Rodrigo

AGRADECIMIENTO

Al culminar una etapa más de mi formación educacional, doy gracias al esfuerzo incondicional de profesores con verdadera vocación de maestros.

Cumplida esta fase, he tenido un momento de reflexión para valorizar a todos los que han puesto todo de sí para que cumpla con mi deber de estudiante. Grato es agradecer profundamente a mis directores de tesis Ing. Eddie Galarza y la Ing. Amparo Meythaler, a los cuales tengo admiración por su don de maestros. Ahora que voy a enfrentar la vida con estos conocimientos que me servirán para el desempeño de mis obligaciones, agradezco a mis padres que supieron guiarme por el camino del bien, ayudándome en todo lo que les fue posible y sé que me seguirán ayudando para crear cada vez un futuro mejor.

Rodrigo

DEDICATORIA

Este éxito académico lo dedico en forma especial y profunda:

A mi amada esposa, por su apoyo incondicional, respeto, amor, paciencia y cariño, que hicieron incrementar mis esfuerzos para salir adelante, superarme y ser cada día mejor en la vida.

A mis hijas queridas, por ser fuente de inspiración en el diario trajín de mis estudios.

A mis adorados padres, por traerme al mundo, estar siempre pendientes de mis pasos en el camino de la vida, darme su oportuna orientación hacia el sendero del bien y sus consejos que han hecho de mí un hombre ejemplar.

A mis hermanas, por el aliento permanente y oportuno que han sabido brindármelo cuando las cosas parecían perdidas, ayudándome a dar con seguridad el siguiente paso.

Carlos

AGRADECIMIENTO

Esta tesis es una parte de mi vida y comienzo de otras etapas, por esto y más, deseo expresar mis más sinceras muestras de agradecimiento:

A Dios, por darme la oportunidad de existir y permitirme realizar este proyecto de vida.

A mis incomparables padres, por su apoyo diario en la realización de este logro.

A mi abnegada esposa, por su ayuda y motivación para superar las pruebas de la vida.

A mis encantadoras hijas, por su paciencia, cariño y comprensión, dándome dedicación y empuje para alcanzar con éxito esta meta propuesta.

A mi valiosa Escuela Politécnica del Ejército, por su apoyo y colaboración para la realización de esta investigación.

A mis apreciados y respetados maestros, por sus consejos y por compartir desinteresadamente sus amplios conocimientos y experiencias.

A mi querida Institución Aeropolicia, por su apertura y colaboración para la realización de este trabajo.

A mi gran amigo y compañero de tesis, por su paciencia, dedicación, esfuerzo y apoyo, haciendo posible que este objetivo sea culminado en forma satisfactoria.

A mis compañeras y compañeros de clases, por el apoyo y motivación que de ellos he recibido.

Carlos

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS

1.1. Introducción.....	1
1.2. Estudio de los tipos de sonómetros.....	5
1.2.1 Sonómetros Generales.....	5
1.2.2 Sonómetros Integradores – Promediadores.....	5
1.2.3 Clasificación de los sonómetros según precisión.....	6
1.3. Etapas de un sonómetro.....	8
1.3.1 Adquisición de la Señal.....	8
1.3.1.1 Elementos	8
1.3.2 Acondicionamiento de Señal.....	11
1.3.2.1 Amplificadores Operacionales	11
1.3.3 Características y Arquitectura del Microcontrolador con comunicación USB	15
1.3.3.1 Características del microcontrolador PIC 18F4550.....	16
1.3.3.2 Arquitectura del microcontrolador PIC 18F4550.....	17
1.3.4 Transmisión y recepción USB.....	25
1.3.4.1 Topología	25
1.3.4.2 Tasas de transferencia de datos	26

1.3.4.3 Transmisión y codificación	27
1.3.4.4 Protocolo USB	28
1.3.4.5 Clase HID	28
1.4 Niveles de Ruido según normas	29
1.5 Efectos del ruido en la salud.....	31
1.5.1 Malestar	32
1.5.2 Interferencia con la comunicación	33
1.5.3 Pérdida de atención , de concentración y de rendimiento	33
1.5.4 Trastornos del sueño	34
1.5.5 Daños al oído	35
1.5.6 El estrés, sus manifestaciones y consecuencias	36
1.5.7 La habituación al ruido	36
1.5.8 Resumen de Valores Críticos	37

CAPÍTULO II

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

2.1 Especificación de Requisitos del Sistema	38
2.2. Diagrama de bloques del Sistema	39
2.3. Diseño del Acondicionamiento de la Señal	40
2.3.1 Selección del micrófono	40
2.3.2 Diseño del Preamplificador	41
2.3.3 Diseño de la placa de Adquisición del Sonómetro	46
2.4. Diseño del programa	50
2.4.1 Diseño del programa del microcontrolador PIC 18F4550	50
2.4.2 Diseño de la comunicación con la interfase gráfica	53
2.5. Diseño de la interfase gráfica	54
2.5.1 Gráfico General	57
2.5.2 Gráfico Histórico	58
2.5.3 Máximos – Mínimos- Promedio	59

2.5.4 Base de Datos	59
2.5.5 Guardar en Excel	66
2.6. Estudio de contaminación acústica en el Servicio AeroPolicial(ANEXO A)	66

CAPÍTULO III

PRUEBAS EXPERIMENTALES

3.1 Pruebas experimentales al equipo	67
3.1.1 Detalles de construcción del Sonómetro	67
3.1.2 Calibración del Sonómetro	69
3.1.3 Pruebas con el Sonómetro en AeroPolicial	71
3.2 Análisis Técnico-Económico	74
3.3 Alcances y Limitaciones	75

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones	77
4.2 Recomendaciones	80

BIBLIOGRAFÍA Y ENLACES	83
-------------------------------------	----

ANEXOS

Anexo A : Estudio de contaminación acústica en el Servicio AeroPolicial A1	
Anexo B : Manual de Usuario	B1
Anexo C : Glosario Técnico y Médico	C1

INTRODUCCIÓN

El sonómetro o decibelímetro es un instrumento que incurre en el campo de la bioelectrónica, este dispositivo en sus inicios se utilizó con propósitos acústicos y después fue adoptado por organismos de seguridad e higiene industrial como indicador en la prevención de la pérdida de la audición.

El sonómetro incursiona dentro del campo de la bioelectrónica, ya que esta materia se dedica a la creación de dispositivos e instrumentos electrónicos, que sirvan a los profesionales de la medicina como herramienta de diagnóstico y análisis, las cuales los lleve a obtener datos más precisos en sus estudios e investigaciones sobre el cuerpo humano.

En muchas ocasiones es deseable conocer a que niveles de ruido está sometido un individuo, por ejemplo en ambientes industriales donde las personas están expuestas a intensas fuentes de ruido debe conocerse si los niveles del mismo están dentro de los límites aceptables, ya que de no respetarse estos límites la persona podría contraer diferentes tipos de enfermedades que van desde el estrés hasta la pérdida de la audición en forma irreversible.

Para verificar el funcionamiento del sonómetro diseñado en este proyecto de tesis, se procedió a realizar diferentes pruebas tanto para la calibración de hardware y la programación de software, entre estas pruebas se realizó la medición acústica e informe de novedades correspondiente al Servicio AeroPolicial que se encuentra ubicado en la ciudad de Quito en el Aeropuerto Mariscal Sucre y como complemento se realizó pruebas en la Escuela Politécnica del Ejército Sede Sangolquí, en esta sede se procedió a utilizar el calibrador QUEST TECHNOLOGIES QC-20 para verificar la calibración en el sonómetro diseñado.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS

1.1 INTRODUCCIÓN

El sonómetro o decibelímetro es un instrumento que permite medir el nivel de presión acústica (expresado en dB). Está diseñado para responder al sonido casi de la misma forma que el oído humano y proporcionar mediciones objetivas y reproducibles del nivel de presión acústica¹.

El sonido es parte tan común en nuestra vida diaria pero no se aprecia sus funciones, proporciona agradables experiencias en la audición de la música, posibilita la comunicación hablada y alerta o previene en múltiples circunstancias.

El sonido es toda variación de presión (vibración) en el aire, en el agua o cualquier medio elástico, que pueda ser detectada por el oído humano. Al número de

¹ ar.geocities.com/bolanosdj/circuitos_archivos/MISONOMETRO.pdf

variaciones de presión por segundo se le llama *frecuencia* del sonido y es medida en ciclos por segundos (Hz). La frecuencia de un sonido produce su tono distintivo, así, el sonido de un trueno tiene un tono de frecuencia baja, mientras que una sirena tiene un tono de frecuencia alta. El rango de audición para una persona joven y saludable abarca aproximadamente de 20Hz a 20,000 Hz (20kHz). La rapidez con que viaja el sonido depende del medio, por ejemplo si el medio es el aire lo hace a una velocidad de 1,238 Km/H y para propósito de mediciones acústicas ésta es de 324 m/s a condiciones normales de presión y temperatura. Conocidas la velocidad y frecuencia de un sonido se puede determinar su longitud de onda (λ); es decir; la distancia física en el aire, desde el vértice de presión de una onda al de la siguiente. A los sonidos que son desagradables al oído se les conoce como RUIDO, el cual es una compleja compilación de señales con diferentes amplitudes y frecuencias, que varían aleatoriamente. El grado de molestia del ruido no sólo depende de sus cualidades, sino también de la actitud, hacia él, pero puede causar daños irreversibles al oído humano.

Las medidas sonoras permiten el análisis preciso y científico de los sonidos molestos. Aunque hay que recordar que por las diferencias psicológicas y fisiológicas entre los individuos, el grado de molestia de una señal dada para una persona no se puede medir científicamente, pero las medidas proporcionan un medio objetivo para comparar los sonidos molestos, bajo diferentes condiciones. Por otro lado, las medidas sonoras indican cuando un sonido puede causar daños sensoriales, para adoptar disposiciones correctas. La medición de los sonidos sirve como una herramienta de diagnóstico para prevenir daños en el oído humano. La medida más corriente en el ruido comunal es el nivel en dB(A) y se realiza con un sonómetro provisto con un filtro con ponderación tipo A, que simula la respuesta del oído. El nivel en dB(A) se usa para describir los ruidos ambientales e intrusos. En la medición del sonido deben considerarse los criterios para ruidos de régimen permanente, que son aplicables a la persona, como por ejemplo: obreros expuestos durante toda la jornada de trabajo a los mismos

niveles en dB(A). La medida del ruido permanente se suele realizar con sonómetros provistos de ponderación tipo A.

El ruido se debe medir en la posición ocupada por la cabeza del obrero, con un micrófono omnidireccional para garantizar que todas las fuentes del ruido intervengan en la medición. La finalidad de los programas de acción contra el ruido industrial y de conservación del oído, es proteger a los empleados contra pérdidas permanentes del oído, en la gama de frecuencias de la audición, por exposición a niveles elevados del ruido. La exposición a niveles elevados del ruido, incluso durante breves periodos, produce pérdidas temporales del oído. En los casos de pérdida por exposición en breves periodos, produce una rápida recuperación al volver al medio normal, pero cuando la exposición es de todos los días, durante años, el empleado termina experimentando una pérdida permanente del oído.

Como la pérdida se desarrolla en un periodo largo, los ambientes ruidosos se consideran riesgos contra la salud, en lugar de riesgos contra la seguridad. No se ha establecido un criterio uniforme con respecto a cómo deben ser las normas sobre la exposición al ruido en el trabajo, ya que varían de país en país e incluso, en un país, de una región a otra. Los criterios más utilizados son los de la Norma ISO R1999 y la Norma OSHA, ambos criterios prescriben un nivel de exposición continuo máximo de 90 dB(A), durante una jornada de 8 Hrs. de trabajo, actualmente los departamentos de seguridad física de una empresa se basan en el criterio estipulado por la OSHA, la cual norma el límite máximo de exposición por valoración de área, por ejemplo: 8 Hrs. a 90 dB(A) ó 4 Hrs. a 95 dB(A)².

Más allá de las ondas sonoras físicas del sonido, el proceso de la audición humana implica procesos fisiológicos, derivados de la estimulación de los órganos de la audición y procesos psicológicos, derivados del acto consciente de escuchar un sonido.

Puede dividirse el sistema auditivo en dos partes:

² <http://proton.ucting.udg.mx/somi/memorias/electron/Ele-32.pdf>

- Sistema auditivo periférico (el oído), responsable de los procesos fisiológicos que captan el sonido y lo envían al cerebro.
- Sistema auditivo central (nervios auditivos y cerebro), responsable de los movimientos psicológicos que conforman lo que se conoce como percepción sonora.

En el ser humano la capacidad de percibir sonidos se realiza por medio del oído. Anatómicamente el oído tiene tres partes: el oído externo, medio e interno.

- El oído externo, está formado por el pabellón auricular y el conducto auditivo externo.
- El oído medio, incluye el tímpano, la cadena de huesecillos (martillo, yunque y estribo), las cavidades mastoideas y la trompa de Eustaquio.
- El oído interno, consta de la ventana oval, cóclea o caracol, vestíbulo y canales semicirculares.

En la Figura 1.1 se muestra las partes principales del oído humano.

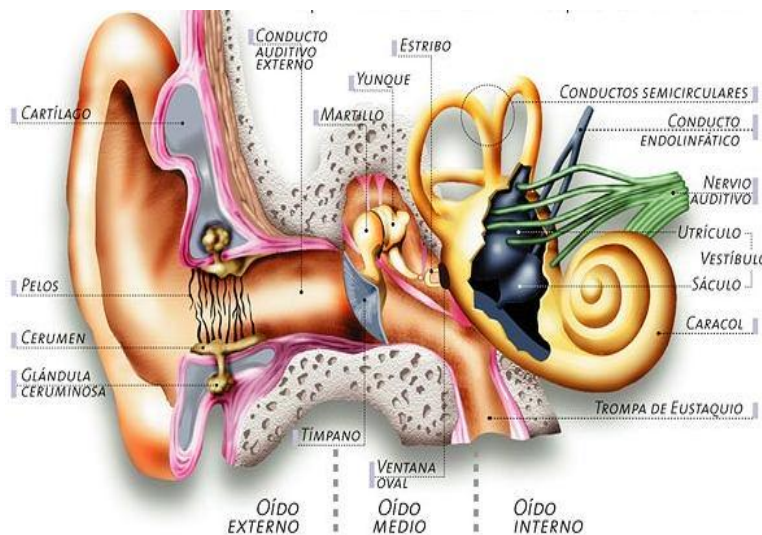


Figura 1.1 Partes del oído

El oído capta los sonidos de la siguiente manera: La oreja capta las ondas sonoras que se transmiten a través del conducto auditivo hasta el tímpano. El tímpano es una membrana flexible que vibra cuando le llegan las ondas

sonoras, ésta vibración llega a la cadena de huesecillos que amplifican el sonido y lo transmiten al oído interno a través de la ventana oval. Finalmente las vibraciones "mueven" los dos líquidos que existen en la cóclea (perilinfia y endolinfa), deformando las células ciliadas existentes en el interior. Estas células transforman las ondas sonoras en impulsos eléctricos que llegan al nervio auditivo y de este nervio a la corteza auditiva que es el órgano encargado de interpretar los sonidos³.

1.2 ESTUDIO DE LOS TIPOS DE SONÓMETROS

Hay dos tipos principales de instrumentos disponibles para medir niveles de ruido, con muchas variaciones en cada uno⁴.

1.2.1- Sonómetros Generales

Muestran el nivel de presión sonora instantáneo en decibelios (dB), lo que normalmente se conoce como nivel de sonido. Estos instrumentos son útiles para testear el ambiente sonoro y poder ahorrar tiempo reservando los sonómetros de gamas superiores para las medidas que necesiten mayor precisión o precisen de la elaboración de informes.

1.2.2- Sonómetros Integradores - Promediadores

Estos sonómetros tienen la capacidad de poder calcular el nivel continuo equivalente. Incorporan funciones para la transmisión de datos al ordenador y algunos análisis en frecuencia; además, pueden emplearse para todo tipo de ruidos y pueden medir varios parámetros simultáneamente (nivel de presión

³ <http://es.wikipedia.org/wiki/Audicion>

⁴ <http://www.ruidos.org/Documentos/sonometros.html>

sonora con promedio temporal lento L_s o rápido L_f , nivel de presión sonora equivalente L_{eq} e incluso el nivel de exposición sonora).

A su vez los sonómetros pueden dividirse en tres tipos o clases según su precisión.

1.2.3 Clasificación de los sonómetros según su precisión

De acuerdo con el estándar internacional IEC 651, reformado por la IEC 61672, los instrumentos de medida del sonido, de los cuáles los sonómetros constituyen una parte, se dividen en tres tipos dependiendo de su precisión en la medida del sonido. Estos tipos son tipo 0, 1 y 2, siendo el tipo 0 el más preciso (tolerancias más pequeñas) y tipo 2 el menos preciso.

De la misma forma los calibradores se dividen en los mismos tipos dependiendo de su nivel de precisión y su capacidad de mantener un nivel estable, de forma que las medidas hechas con el sonómetro no queden desvirtuadas por una calibración imprecisa.

Concretamente las normas que rigen estas clases o tipos de sonómetros, para los casos usuales de tipo 1 y 2 son las siguientes:

TIPO 2: IEC 651/804 Type 2, ANSI S 1.43 Type2

TIPO 1: IEC 651/804 Type 1, ANSI S 1.43 Type 1

En la tabla 1.1 se muestran las tolerancias permitidas para los distintos tipos de sonómetros según la IEC 651.

Tabla 1.1 Tolerancias permitidas para diferentes tipos de sonómetros

Clase	Calibradores	Sonómetros
0	+/- 0.15	+/- 0.4
1	+/- 0.3	+/- 0.7
2	+/- 0.5	+/- 1.0

En conclusión los tipos o clases de sonómetros son una especificación de precisión, regulados por los estándares internacionales IEC o ANSI en el caso norteamericano. La precisión de la medida depende de la frecuencia del sonido que es medido, el tipo 1 significa una precisión de aproximadamente de ± 1 dB y el Tipo 2 significa una precisión de aproximadamente ± 2 dB.

Los sonómetros tipo 2, denominados sonómetros de propósito general, son útiles para un gran rango de aplicaciones, ya que reúnen tres características que los hacen especialmente atractivos:

- 1) Su precio, bastante asequible, lo que permite que los ciudadanos u organizaciones vecinales interesados en conocer los niveles sonoros a que están expuestos puedan hacerlo sin un alto costo.
- 2) Su portabilidad y tamaño.
- 3) Su fácil manejo.

1.3 ETAPAS DE UN SONÓMETRO

La figura 1.2 se indica las etapas principales de un sonómetro.

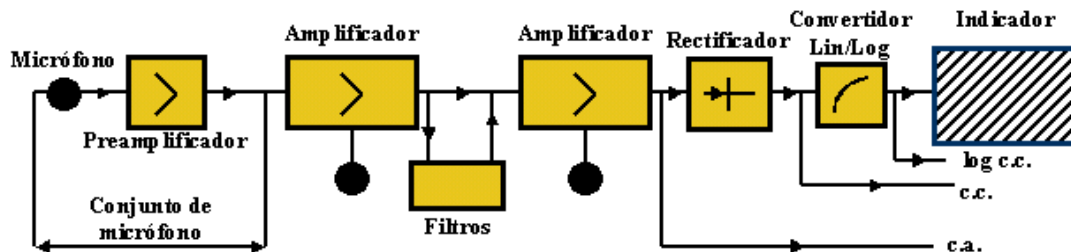


Figura 1.2 Etapas de un sonómetro

1.3.1 ADQUISICIÓN DE LA SEÑAL

La Adquisición de Datos, consiste en la toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador (sistema digital). Consiste, en tomar un conjunto de variables físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora. Se requiere una etapa de acondicionamiento, que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital. El elemento que hace dicha transformación es el módulo o tarjeta de adquisición de datos (DAQ)⁵.

1.3.1.1 Elementos

De forma general, un Sistema de Adquisición de datos de un Sonómetro puede estar compuesto por los siguientes elementos:

- Sensores (Micrófono).
- Amplificador.

⁵ http://es.wikipedia.org/wiki/Adquisici%C3%B3n_de_datos

- Filtros de Frecuencia.
- Microcontroladores.
- Detector de la señal (Convertidor).
- Indicador.
- Fuentes de potencia.

a) Sensores (Micrófono)

La adquisición de la señal se puede realizar mediante un micrófono de cristal, el cual convierte las variaciones de las ondas sonoras en una tensión eléctrica proporcional a la presión. Es el componente principal del sonómetro y condiciona al resto de sus funciones. El micrófono de cristal es un micrófono electrostático de respuesta en frecuencia muy limitada, pero ideal para captar la voz humana (600 Hz a 5 kHz). El diafragma está formado por dos placas de cristal de cuarzo que cuando actúa una onda sonora hace que se doblen y generen tensión eléctrica. El diagrama polar del micrófono de cristal es omnidireccional⁶.

b) Amplificador

Su misión es amplificar la señal del micrófono lo suficiente como para permitir la medida de los niveles más bajos de presión sonora y mantener la amplificación constante.

c) Filtros de Frecuencia

Conjunto de filtros eléctricos cuya respuesta simula la respuesta auditiva humana. Compensa la diferencia de sensibilidad del oído humano para las distintas frecuencias audibles. Los sonómetros incorporan tres características de respuesta

⁶ <http://www.ehu.es/acustica/espanol/ruido/inmes/inmes.html>

en frecuencia: las ponderaciones A, B, C, la primera presenta atenuación a los ruidos ambientales similar a la del oído humano y es la que se suele exigir para evaluar un ruido. Tras el filtrado, la señal se amplifica y pasa al rectificador, obteniéndose una señal c.c, proporcional a los picos de presión sonora.

d) Detector de la Señal (Convertidor)

Encargado de obtener el valor de la señal proporcional al valor medio cuadrático, durante este proceso, se produce una integración de la señal durante un determinado tiempo e incluso es posible modificar el tiempo de integración determinado la velocidad de respuesta frente a la variación de presión sobre una ponderación del tiempo exponencial. Las dos ponderaciones exponenciales de tiempo más utilizadas se identifican con los nombres de respuesta lenta (slow) y respuesta rápida (fast).

e) Indicador

Una vez la señal ha sido amplificada, modificada por la ponderación de frecuencia y promediada en el tiempo, se muestra visualizada en el indicador que da directamente el valor en dB, bien de forma analógica o digital. El uso de registradores gráficos conectados al sonómetro permite obtener además un registro del nivel sonoro en función del tiempo.

f) Microcontroladores

Los microcontroladores son los que se encargan del almacenamiento y procesamiento de los datos, son dispositivos que se encargan de todas las funciones de procesamiento de la señal. Estos son de gran importancia porque son el corazón del sistema de adquisición de datos.

1.3.2 ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL

Difícilmente un diseñador conecta un transductor directamente a la parte de procesamiento o de despliegue de un sistema, ya que la señal que envía el transductor por lo general es muy débil o contiene ruido y componentes no deseados, por eso se realizan etapas de acondicionamiento de señales en donde se coloca un conversor A/D. El acondicionamiento previo de la señal suministrada al conversor es la parte esencial. El acondicionamiento es hacer que el rango de variación real que experimentará la variable a medir se convierta en el rango máximo de voltaje de entrada que acepta el conversor A/D que se utiliza, o sea que el valor mínimo de la variable a medir imponga a la entrada del conversor el valor mínimo del voltaje que acepta y el valor máximo de la variable a medir imponga el valor máximo de voltaje que el conversor admite. Paralelamente, el acondicionamiento de la señal también implica la transformación de la señal entregada por el sensor, de forma tal que siempre la magnitud final sea voltaje; además, en el acondicionamiento se puede garantizar el filtrado de valores de ruido no deseadas en la variable medida. La etapa acondicionadora está formada básicamente por amplificadores operacionales, comparadores de nivel y amplificadores de instrumentación⁷.

1.3.2.1 Amplificadores Operacionales

Por lo general; las señales que se reciben de un transductor deben ser amplificadas a gran escala y no deben utilizar mucha corriente para éste fin, por eso se utilizan los amplificadores operacionales, ya que tienen las siguientes características:

- Resistencia de entrada alta (orden de cientos de M ohmios).
- Resistencia de salida baja (debajo de 1ohmio).
- Gran ganancia de lazo abierto (orden de 10^4 a 10^6).

⁷ <http://www.desi.iteso.mx/elec/instru/electronica.pdf>

- Gran CMRR (Relación de rechazo en modo común).
- Buen rango de frecuencias de operación.
- Baja sensibilidad a las variaciones de la fuente de alimentación.
- Gran estabilidad al cambio de temperatura en el ambiente.

a) Configuraciones básicas del amplificador operacional

Los amplificadores operacionales se pueden conectar según dos circuitos amplificadores básicos: las configuraciones (1) *inversora* y (2) *no inversora*.

Casi todos los demás circuitos con amplificadores operacionales están basados, de alguna forma, en estas dos configuraciones básicas. Además, existen variaciones estrechamente relacionadas de estos dos circuitos, más otro circuito básico que es una combinación de los dos primeros: el amplificador integrador.

a.1) Amplificador inversor

La figura 1.3 ilustra la primera configuración básica del AO, el amplificador inversor. En este circuito, la entrada (+) está a masa y la señal se aplica a la entrada (-) a través de R1, con realimentación desde la salida a través de R2.

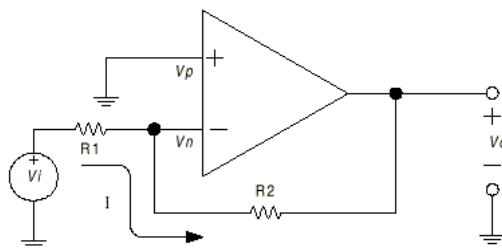


Figura 1.3 Amplificador Inversor

Aplicando las propiedades de un Amplificador Operacional ideal, las características distintivas de este circuito se pueden analizar como sigue.

Si la tensión de entrada V_i , deberá aparecer en R_1 , obteniendo una corriente en R_1 . La ecuación 1.1 es :

$$I = \frac{V_i}{R_1} \quad \text{ec. 1.1}$$

V_n está a un potencial cero, es un punto de tierra virtual.

Toda la corriente I que circula por R_1 pasará por R_2 , puesto que no se derivará ninguna corriente hacia la entrada del operacional (Impedancia infinita), así pues el producto de I por R_2 será igual a $-V_o$. Lo anterior se refleja en las ecuaciones 1.2 y 1.3

$$I = -\frac{V_o}{R_2} \quad \text{ec. 1.2}$$

$$\frac{V_i}{R_1} = -\frac{V_o}{R_2} \quad \text{ec. 1.3}$$

Entonces la ganancia del amplificador inversor está dada por la ecuación 1.4.

$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1} \quad \text{ec. 1.4}$$

a.2) Amplificador no inversor

La segunda configuración básica del AO ideal es el amplificador no inversor, mostrado en la figura 1.4

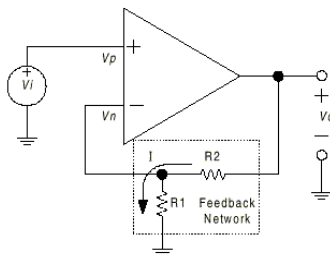


Figura 1.4 Amplificador No Inversor

En este circuito, la tensión V_i se aplica a la entrada (+) y una fracción de la señal de salida, V_o , se aplica a la entrada (-) a través del divisor de tensión $R_1 - R_2$.

Puesto que, no fluye corriente de entrada en ningún terminal de entrada y ya que $V_d = 0$, la tensión en R_1 será igual a V_i .

Por lo cual se tiene que la ecuación 1.5 es:

$$V_o = \frac{V_i}{R_1} \cdot (R_1 + R_2) \quad \text{ec. 1.5}$$

Entonces la ganancia de AO no inversor está dada por la ecuación 1.6

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \quad \text{ec. 1.6}$$

a.3) Amplificador Integrador

Si se conecta un capacitor en el circuito de retroalimentación de un amplificador inversor en vez de una resistencia, se obtiene como resultado un amplificador integrador. La ventaja de los circuitos tipo integrador es que el capacitor de retroalimentación se carga por una corriente constante y que puede ser controlada fácilmente. En la figura 1.5 se muestra el circuito básico de un integrador.

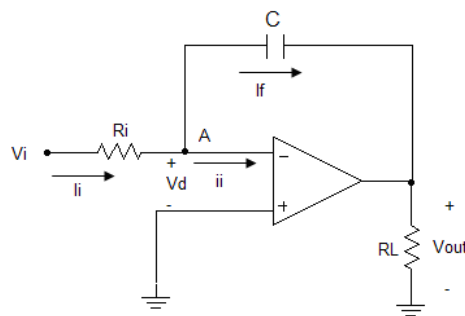


Figura 1.5 Amplificador Integrador

Por lo que el voltaje de salida está dado por la ecuación 1.7 :

$$V_{out} = -\frac{1}{RC} \int V_i \cdot dt \quad \text{ec. 1.7}$$

1.3.3 CARACTERÍSTICAS Y ARQUITECTURA DEL MICROCONTROLADOR CON COMUNICACIÓN USB-PIC 18F4550

Existe una gran diversidad de microcontroladores, la clasificación más importante sea entre microcontroladores de 4, 8, 16 ó 32 bits. Aunque las prestaciones de los microcontroladores de 16 y 32 bits son superiores a los de 4 y 8 bits, la realidad es que los microcontroladores de 8 bits dominan el mercado y los de 4 bits se resisten a desaparecer. Uno de los sectores que más utiliza microcontroladores es el mercado automovilístico. De hecho, algunas de las familias de microcontroladores actuales se desarrollaron pensando en éste sector, siendo modificadas posteriormente para adaptarse a sistemas más genéricos.

En cuanto a las [técnicas](#) de fabricación, cabe decir que prácticamente la totalidad de los microcontroladores actuales se fabrican con [tecnología](#) CMOS 4 (Complementary Metal Oxide Semiconductor). Esta tecnología supera a las técnicas anteriores por su bajo consumo y alta inmunidad al ruido.

También los modernos microcontroladores de 32 bits van afianzando sus posiciones en el mercado, siendo las áreas de más [interés](#) el procesamiento de [imágenes](#), las comunicaciones, las aplicaciones militares, los procesos industriales y el control de los [dispositivos de almacenamiento](#) masivo de datos⁸.

⁸ <http://www.monografias.com/trabajos34/microcontroladores-genericos/microcontroladores-genericos.shtml>

13.3.1 CARACTERÍSTICAS DEL MICROCONTROLADOR 18F4550

Las principales características del uC 18F4550 son las siguientes⁹:

- Arquitectura RISC avanzada Harvard: 16- bit con 8- bit de datos.
- 77 instrucciones.
- 40 pines.
- Hasta 64K bytes de programa (hasta 2 Mbytes en ROMless).
- Multiplicador Hardware 8x8.
- Hasta 3968 bytes de RAM y 1KBytes de EEPROM.
- Frecuencia máxima de reloj 40Mhz. Hasta 10 MIPS.
- Pila de 32 niveles.
- Múltiples fuentes de interrupción.
- Periféricos de comunicación avanzados (CAN y USB).
- Voltaje de alimentación comprendido entre 2 y 5.5 voltios.
- Bajo consumo (menos de 2 mA a 5 V).

La figura 1.6 indica los pines del PIC 18F4550:

⁹ <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632D.pdf>

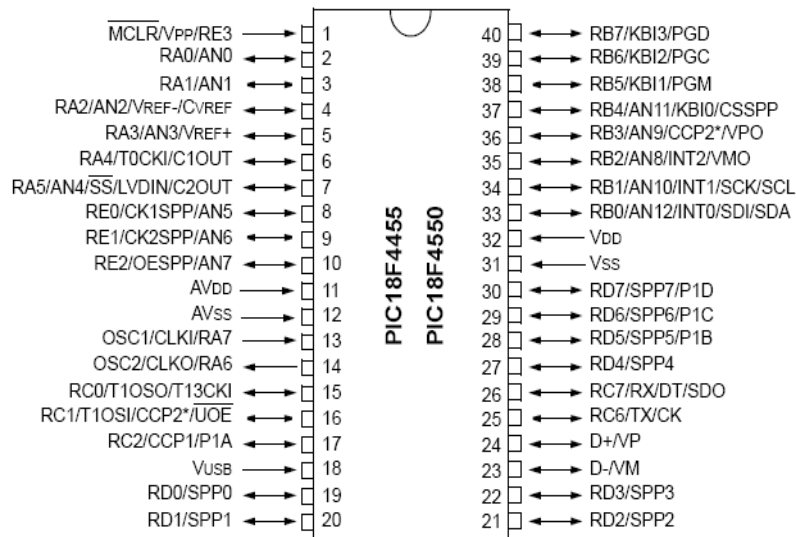


Figura 1.6 Pines del microcontrolador 18F4550

1.3.3.2 ARQUITECTURA DEL MICROCONTROLADOR PIC 18F4550

En la arquitectura interna del microcontrolador 18F4550 se identifica la memoria de programa de 32.278 bytes tipo flash donde almacena constantes y datos, además está presente la memoria RAM de 2.048 bytes donde se almacenan registros de funciones especiales. Una memoria de datos EEPROM de 256 bytes. También se tiene a la ALU (unidad aritmética lógica) y el registro de trabajo W que son partes esenciales del procesador. Los periféricos I/O puertos A, B, C, D, E el TMRO, TMR1, TMR2 y TMR3. Además se aprecia al registro llamado contador de programa, el cual indica la dirección de la instrucción a ejecutar. El FSR que es un puntero de una dirección de la RAM, a continuación el bloque de la pila, cuya función es ser un buffer temporal donde guarda el contador de programa cada vez que se tenga un llamado a un procedimiento o función. Contiene también una interfaz serie compatible con el SIE (serial interfase engine), USB “full speed” (2.0) y de “poca velocidad” (1.0) que permite la comunicación rápida entre cualquier dispositivo USB y el microcontrolador.

La figura 1.7 presenta un diagrama con la arquitectura del uC PIC 18F4550:

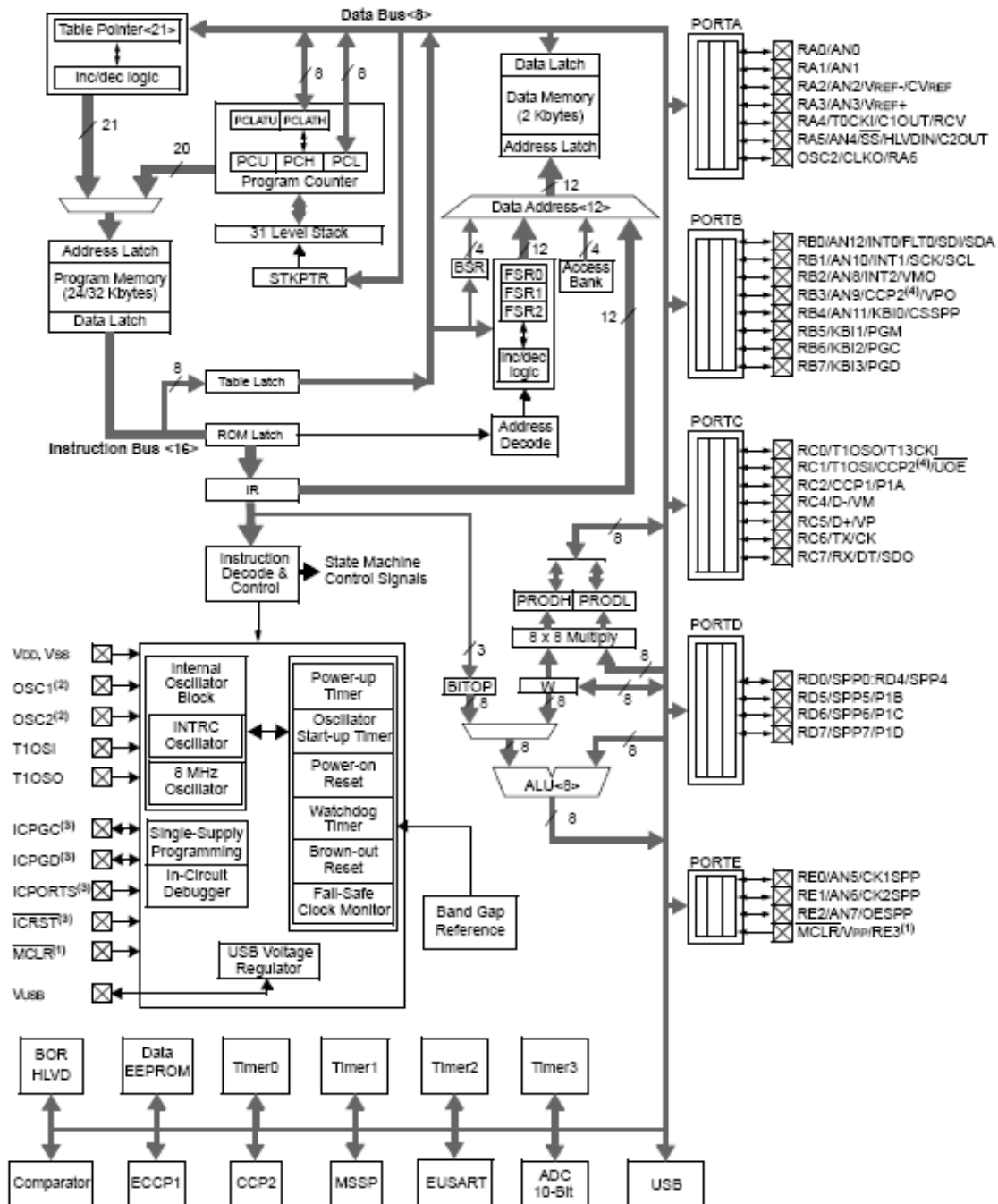


Figura 1.7 Diagrama de la arquitectura del uC PIC 18F4550

a) ORGANIZACIÓN DE MEMORIA

El uC PIC18F4550 dispone de las siguientes memorias:

- **Memoria de programa:** memoria flash interna de 32.768 bytes.
 - Almacena instrucciones y constantes/datos.
 - Puede ser escrita/leída mediante un programador externo o durante la ejecución del programa mediante unos punteros.

- **Memoria RAM de datos:** memoria SRAM interna de 2048 bytes en la que están incluidos los registros de función especial.
 - Almacena datos de forma temporal durante la ejecución del programa.
 - Puede ser escrita/leída en tiempo de ejecución mediante diversas instrucciones.

- **Memoria EEPROM de datos:** memoria no volátil de 256 bytes.
 - Almacena datos que se deben conservar aún en ausencia de tensión de alimentación.
 - Puede ser escrita/leída en tiempo de ejecución a través de registros.

- **Pila:** bloque de 31 palabras de 21 bits.
 - Almacena la dirección de la instrucción que debe ser ejecutada después de una interrupción o subrutina.

- **Memoria de configuración:** memoria en la que se incluyen los bits de configuración (12 bytes de memoria flash) y los registros de identificación (2 bytes de memoria de sólo lectura).

b) PUERTOS DE E/S

El uC PIC18F4550 dispone 5 puertos de E/S que incluyen un total de 35 líneas digitales de E/S. En la tabla 1.2 se indica las entradas y salidas de cada puerto.

Tabla 1.2 Entradas y Salidas de los puertos del uC PIC 18F4550

PUERTO	LÍNEAS DE ENTRADA/SALIDA
PORTA	7 LÍNEAS DE ENTRADA/SALIDA
PORTB	8 LÍNEAS DE ENTRADA/SALIDA
PORTC	6 LÍNEAS DE ENTRADA/SALIDA+ 2 LÍNEAS DE ENTRADA
PORTD	8 LÍNEAS DE ENTRADA/SALIDA
PORTE	3 LÍNEAS DE ENTRADA/SALIDA + 1 LÍNEAS DE ENTRADA

REGISTROS DE LOS PUERTO DE ENTRADA/SALIDA

Cada puerto de E/S tiene asociado 3 registros:

- **Registro TRIS:** mediante éste registro se configuran cada una de las líneas de E/S del puerto como ENTRADA (bit correspondiente a '1') o como SALIDA (bit correspondiente a '0').
- **Registro PORT:** mediante éste registro se puede leer el nivel de pin de E/S y se puede establecer el valor del latch de salida.
- **Registro LAT:** mediante éste registro se puede leer o establecer el valor del latch de salida.

c) SISTEMA DE INTERRUPCIONES

Se dispone de dos niveles de prioridad:

- Nivel alto, vectorizado en la dirección 0008H
- Nivel bajo, vectorizado en la dirección 0018H

Todas las interrupciones pueden ser programadas con cualquiera de las dos prioridades, salvo la interrupción externa 0, que siempre tiene alta prioridad.

- Bit de habilitación de interrupción: permite habilitar a nivel individual la interrupción.
- Bandera de interrupción: se pone a '1' cuando se produce la condición de interrupción independientemente de si la interrupción está habilitada o no. Esta Bandera debe ponerse a '0' por software cuando se procesa la interrupción.
- Bit de prioridad de interrupción: establece si la interrupción es de alta o de baja prioridad (este bit no está disponible para la interrupción externa 0).

d) TEMPORIZADORES

- Configurable como temporizador/contador de 8 bits/16 bits.
- Pre-escalar de 8 bits programable.

Interrupción por desbordamiento

- Bandera de interrupción: bit TMR0IF (INTCON).
- Bit de habilitación: bit TMR0IE (INTCON).
- Prioridad: bit TMR0IP (INTCON2): '0'->para baja/'1' para alta.

Si se produce el desbordamiento del Temporizador 0 se pone en '1' la bandera TMR0IF. Si el bit de habilitación TMR0IE está a '1' y las interrupciones están habilitadas a nivel global se genera una interrupción y el uC pasa a ejecutar el código situado a partir de la posición 0008H o 0018H, según el nivel de prioridad establecido.

e) CONVERTIDOR ANALÓGICO-DIGITAL

Características fundamentales:

- 10 bits de resolución.
- 13 canales multiplexados.
- Señal de reloj de conversión configurable.
- Tiempo de adquisición programable (0 a 20 TAD).
- Posibilidad de establecer el rango de tensiones de conversión mediante tensiones de referencia externas.

f) BUS SERIE UNIVERSAL (USB)

La familia del dispositivo PIC 18F4550 contiene una interfaz serie compatible con el SIE (serial interfase engine). USB "full speed" (2.0) y de "poca velocidad" (1.0) que permite la comunicación rápida entre cualquier dispositivo USB y el microcontrolador PIC.

El SIE puede interconectarse directamente al USB; utilizando el transmisor-receptor interno, o puede conectarse a través de un transmisor- receptor externo. El PIC tiene un regulador interno de 3,3 V para accionar el transmisor-receptor interno en aplicaciones de 5V. Se han incluido algunas características especiales en el hardware para mejorar el funcionamiento. Se proporciona memoria de puerto dual en la memoria de datos del dispositivo (RAM del USB) para tener acceso directo a la memoria desde el núcleo del microcontrolador y desde el SIE. También se

proporciona unos buffers para que el programador elija libremente el final de la memoria dentro del espacio de la RAM del USB. Existe un puerto paralelo para transmitir datos grandes, por ejemplo datos al puerto paralelo, se ha proporcionado la ayuda de transferencia ininterrumpida de volúmenes de datos grandes, por ejemplo datos síncronos, a los buffers de memoria externa.

f.1) ESTADO Y CONTROL DEL USB

Las operaciones del módulo USB se configuran y controlan con tres registros, en total hay 22 registros para manejar las transacciones del USB. Los registros son:

- Registro de control del USB (UCON).
- Registro de configuración del USB (USFG).
- Registro de estado de la transferencia del USB (USTAT).
- Registro de dirección del dispositivo USB (UADDR).
- Registro del número del frame (UFRMH:UFRML).
- Registros activadores de los Endpoints de 0 a 15 (UEPn).

f.2) RAM del USB

Los datos del USB se mueven entre el núcleo del microcontrolador y el SIE a través de una memoria conocida como USB RAM. Ésta es una memoria de puerto dual especial que está mapeada en la memoria normal de datos en los bancos de 4 a 7 (400h a 7FFh) para un total de 1Kbyte. Aunque la RAM del USB está disponible en el microcontrolador como memoria de datos, las secciones que están modificando el SIE no las puedes usar el microcontrolador. Se utiliza un mecanismo de semáforos para determinar el acceso a un buffer en un momento dado.

f.3) INTERRUPCIONES DEL USB

El módulo USB puede generar condiciones de interrupción múltiples. Para acomodar todas estas fuentes de interrupción, el módulo proporciona su propia lógica de estructura de interrupción, similar a la del microcontrolador. Las interrupciones del USB se activan con un sistema de registros de control y registradas con un sistema separado de banderas.

Hay dos capas de registros de interrupción en el módulo USB. El nivel superior consiste en todas las interrupciones de estado del USB; ésto se permite y se señalan por medio de una bandera en los registros UIE y UIR, respectivamente. El segundo nivel consiste en condiciones de error del USB, se permite y señalan por medio de una bandera en los registros UEIR y UEIE. Ninguna condición de interrupción en estos provoca la activación de la bandera de interrupción por error del USB (UERRIF) en el nivel superior.

f.4) STREAMING PARALLEL PORT (SPP)

El puerto paralelo (SPP) es una ruta alternativa de los datos de la RAM del USB. Usando el SPP, un Endpoint se puede configurar para enviar o para recibir datos directamente del hardware externo.

Este método presenta posibilidades de diseño donde el microcontrolador actúa como encargado de los datos, permitiendo al SPP pasar bloques grandes de datos sin que el micro regule lo que procesa realmente. Un ejemplo de aplicación puede incluir un sistema de adquisición de datos, donde los datos fluyen de una FIFO externa a través del USB al ordenador. En este caso, el controlador del Endpoint lo realiza el microcontrolador y los movimientos de datos en bruto se procesan externamente.

1.3.4 TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN USB

El Bus USB por Universal Serial Bus, fue ideado para ser un bus de extensión para PC, con el objetivo de llegar a ser un estándar de la industria. Las posibles tasas de transferencia son: 1,5Mbits/s, 12 Mbits/s y 480 Mbits/s, lo cual lo hace útil para aplicaciones que van desde periféricos de PC hasta dispositivos de video u otros que requieran alta tasa de transferencia de datos¹⁰.

Otro motivo fue la creación de un bus que fuera independiente de la plataforma de hardware utilizada, al hacer que gran parte del funcionamiento dependa del software; también la creación de una arquitectura de bus que permitiera conectar los periféricos de la PC con un mismo conector y que además fuera Hot Plug And Play, haciéndolo de esta forma más simple para el usuario; evitando así la multiplicidad de conectores tales como el Puerto Serial, Puerto Paralelo, PS/2, Gameport y demás derivados del diseño original de la PC de IBM de los años 80.

Otro factor es la reducción de costo, dándose esta por la disminución de cables de cobre (por ser un bus de tipo serial) y la estandarización de conectores.

1.3.4.1 Topología

La topología física del USB es de tipo estrella jerarquizada, con un máximo de 7 niveles de jerarquía. En la figura 1.8 se indica la topología física del USB.

¹⁰ www.cneisi.frc.utn.edu.ar/papers/3642e51321ca65a8eeead6a302e.pdf

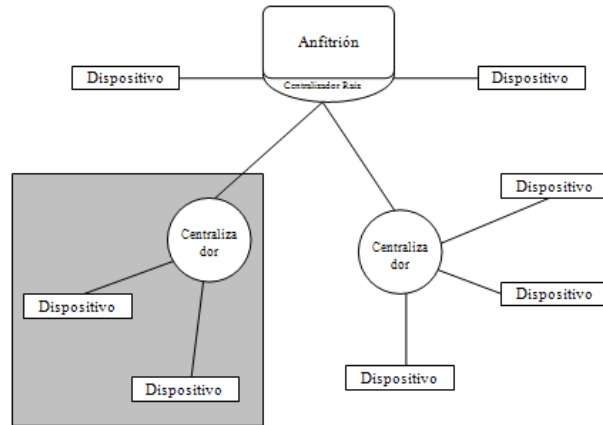


Figura 1.8 Topología Física del USB

En cambio la topología lógica del USB es de tipo estrella. Lo que implica que en un dispositivo físico puede haber implementado más de un dispositivo lógico, por ejemplo: un teclado con un mouse incluido. La figura 1.9 indica la topología lógica del USB.

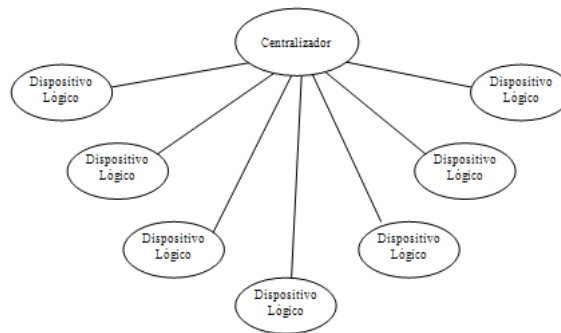


Figura 1.9 Topología Lógica del USB

1.3.4.2 Tasas de transferencia de datos

Las posibles tasas de transferencia de datos para el USB son: 1,5 Mbits/s, 12 Mbits/s y 480 Mbits/s. Cada una de las tasas de transferencia anteriores tiene ciertas características propias de funcionamiento, configuración y son

denominadas de la siguiente forma, low-speed: 1,5 Mbits/s, full-speed: 12 Mbits/s, high-speed: 480 Mbits/s.

1.3.4.3 Transmisión y codificación

Los datos son transmitidos en forma serie, en 2 líneas de datos complementarias denominadas D+ y D-; además, se proveen 2 líneas de alimentación y de masa respectivamente, las cuales pueden servir para que el dispositivo tome alimentación del Host (5 V, 500 mA máx). En la figura 1.10 se indica la forma física del puerto USB y en la tabla 1.3 se describe los pines del puerto USB.

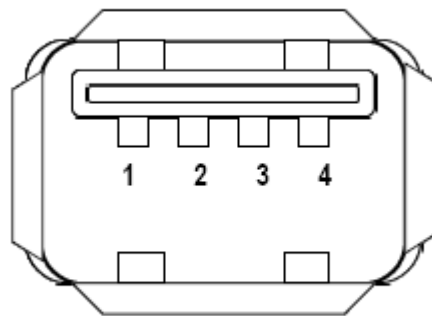


Figura 1.10 Distribución física de pines del USB

Tabla 1.3 Distribución de pines del USB

PIN	Señal	Descripción
1	VBUS	Alimentación +5 V
2	D-	Transmisión y Recepción Diferencial -
3	D+	Transmisión y Recepción Diferencial +
4	Tierra	Masa de referencia alimentación

Para transmitir los datos en forma serie se utiliza la codificación Non-ReturnTo-Zero-Inverted o NRZI, en este tipo de codificación, un 0 (cero) se representa sin un cambio de nivel en la tensión y un 1 (uno) se representa con un cambio de nivel en la tensión. Conjuntamente, se utiliza el bit stuffing, técnica que consiste en insertar un 0 (cero) cada 6 (seis) 1s (unos) consecutivos en el flujo de bits; además, del bit stuffing y de la codificación NRZI, se utilizan CRCs, los CRCs se generan después del bit stuffing.

1.3.4.4 Protocolo USB

En el USB, los datos se envían en paquetes, a su vez, los paquetes se agrupan para formar las transacciones y las transacciones se agrupan para formar las transferencias. Las transferencias son las estructuras de datos que tienen sentido para el Software Client que corre en el Host, y que es el destinatario final de los datos enviados o recibidos desde el dispositivo lógico.

1.3.4.5 Clase HID

En la clase HID(Human Interface Device), existe 2 entidades: el "host" y el "device". El device es la entidad que directamente interactúa con un humano, como lo hace un teclado o un ratón.

El host se comunica con el device y recibe datos de entradas del dispositivo en las acciones ejecutadas por el humano. Los datos de salidas van del host al device y luego al humano. El ejemplo más común de un host es un computador pero algunos celulares y PDAs también pueden ser hosts.

El protocolo HID realiza la implementación de los dispositivos en forma sencilla. Los dispositivos definen sus paquetes de datos y luego presentan un "Descriptor HID" al host. El descriptor HID es codificado como un arreglo de bytes que describen los paquetes de datos del dispositivo. Esto incluye: cuántos paquetes

soporta el dispositivo, qué tan grandes son los paquetes, y el propósito de cada byte y bit en el paquete. Por ejemplo, un teclado con un botón que ejecuta el programa de calculadora puede decirle al host que el estado de presionar/soltar ese botón, es almacenado en el 2 bit del 6 byte en el paquete de datos número 4. El dispositivo normalmente almacena el descriptor HID en la ROM y no se necesita intrínsecamente parsear el descriptor HID¹¹.

1.4 NIVELES DE RUIDO SEGÚN NORMAS

El nivel del ruido se mide en decibelios (dBA), cuando se habla se lo hace en una escala de 70 decibelios. Estos se miden en una escala como la de los terremotos, de modo que cuando los decibelios suben un poco, el ruido en sí sube bastante, por ejemplo 73 decibelios viene a ser el doble de intenso de 70 dB.

El Departamento de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) tiene normas acerca de cuanto tiempo puede uno estar expuesto a un nivel de ruido, antes de que deba usar protección en los oídos. En la tabla 1.4 se tiene el nivel de ruido sin protección auditiva.

Tabla 1.4 Niveles de ruido sin protección auditiva.

Tiempo sin protección permitido	Nivel de ruido
Hasta 8 horas	90 decibelios
Hasta 4 horas	95 decibelios
Hasta 1 hora	105 decibelios

¹¹ <http://es.wikipedia.org/wiki/HID>

Cuando el ruido alcanza 95 decibelios, OSHA dice que usted puede trabajar sin protegerse los oídos por 4 horas solamente. Aún así, este nivel de ruido no es saludable; una de cada cinco personas expuestas constantemente al nivel permitido por OSHA perderá algo de la audición. Un ruido corto, muy fuerte (impacto) puede causarle el mayor daño de todos.

Si usted tiene que gritarle a alguien que esté a 1 metro (3 pies) de distancia para que le pueda oír, probablemente es porque el sitio es muy ruidoso y usted necesitará usar protección para sus oídos¹².


La mayoría de los ruidos de construcción proviene de los equipos. Algunos de estos niveles de ruido se verifican en la tabla 1.5

Tabla 1.5 Nivel de ruido de varios equipos en dB.

Equipo	decibelios
Martillo neumático	103-113
Perforador neumático	102-111
Sierra de cortar concreto	99-102
Sierra industrial	88-102
Soldador de pernos	101
Bulldoze	93-96
Aplanadora de tierra	90-96
Grúa	90-96
Martillo	87-95
Niveladora	87-94
Cargador de tractor	86-94
Retroexcavadora	84-93

¹² http://www.cpwr.com/pdfs/pubs/hazard_alerts/Kfspanno.pdf

En la Figura 1.11 se indica los efectos en los seres humanos para varios niveles de ruido.

Efecto en los seres humanos	Nivel sonoro en dB(A)	Fuente del sonido
Sumamente lesivo	140	Motor de aparato a reacción Remachadora
	130	

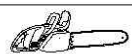
	120	Avión a hélice
Lesivo	110	Perforadora de rocas Sierra mecánica Taller de metalistería
	100	
	90	Camión
Peligroso	80	Calle con mucho tráfico
	70	Automóvil de turismo
Impide hablar	60	Conversación normal
	50	Conversación en voz baja
Irritante	40	Música emitida por radio a bajo volumen
	30	Susurros
	20	Piso tranquilo de una ciudad
	10	Susurro de hojas
	0	UMBRAL DE LA AUDICIÓN

Tabla 1.6 Efectos de Ruido en el ser humano vs Nivel Sonoro

1.5 EFECTOS DEL RUIDO EN LA SALUD

El ruido actúa a través del órgano del oído sobre los sistemas nerviosos central y autónomo. Cuando el estímulo sobrepasa determinados límites, se produce sordera y efectos patológicos en ambos sistemas, tanto instantáneos como diferidos, a niveles mucho menores, el ruido produce malestar y dificulta o impide la atención, la comunicación, la concentración, el descanso y el sueño¹³.

¹³ http://www.ruidos.org/Referencias/Ruido_efectos.html

La reiteración de estas situaciones puede ocasionar estados crónicos de nerviosismo y estrés lo que, a su vez, lleva a trastornos psicofísicos, enfermedades cardiovasculares y alteraciones del sistema inmunitario.

La disminución del rendimiento escolar o profesional, los accidentes laborales o de tráfico, ciertas conductas antisociales, la tendencia al abandono de las ciudades, la pérdida de valor de los inmuebles y un largo etcétera son algunas de las consecuencias. No es casualidad que los países y regiones menos desarrolladas sean también los más ruidosos.

1.5.1 Malestar

Este es quizá el efecto más común del ruido sobre las personas y la causa inmediata de la mayor parte de las quejas.

La sensación de malestar procede no sólo de la interferencia con la actividad en curso o con el reposo sino también de otras sensaciones, menos definidas pero a veces muy intensa, de estar siendo perturbado. Las personas afectadas hablan de intranquilidad, inquietud, desasosiego, depresión, desamparo, ansiedad o rabia. Todo ello contrasta con la definición de "salud" dada por la Organización Mundial de la Salud: "Un estado de completo bienestar físico, mental y social, no la mera ausencia de enfermedad".

El nivel de malestar varía no solamente en función de la intensidad del ruido y de otras características físicas del mismo que son menos objetibles (ruidos "chirriantes", "estridentes", etc.) sino también de factores tales como miedos asociados a la fuente del ruido, o el grado de legitimación que el afectado atribuya a la misma. Si el ruido es intermitente influyen también la intensidad máxima de cada episodio y el número de éstos.

Durante el día se suele experimentar malestar moderado a partir de los 50 decibelios y fuerte a partir de los 55. En el periodo vespertino, en estado de vigilia, estas cifras disminuyen en 5 ó 10 decibelios.

1.5.2 Interferencia con la comunicación

El nivel del sonido de una conversación en tono normal es, a un metro del hablante, de entre 50 y 55 dBA. Hablando a gritos se puede llegar a 75 u 80; por otra parte, para que la palabra sea perfectamente inteligible es necesario que su intensidad supere en alrededor de 15 dBA al ruido de fondo.

Por lo tanto, un ruido superior a 35 ó 40 decibelios provocará dificultades en la comunicación oral que sólo podrán resolverse, parcialmente, elevando el tono de voz, a partir de 65 decibelios de ruido, la conversación se torna extremadamente difícil.

Situaciones parecidas se dan cuando el sujeto está intentando escuchar otras fuentes de sonido (televisión, música, etc.). Ante la interferencia de un ruido, se reacciona elevando el volumen de la fuente creándose así una mayor contaminación sonora sin lograr totalmente el efecto deseado.

1.5.3 Pérdida de atención, de concentración y de rendimiento

Es evidente que cuando la realización de una tarea necesita la utilización de señales acústicas, el ruido de fondo puede enmascarar estas señales o interferir con su percepción. Por otra parte, un ruido repentino producirá distracciones que reducirán el rendimiento en muchos tipos de trabajos, especialmente en aquellos que exijan un cierto nivel de concentración. En ambos casos se afectará la

realización de la tarea, apareciendo errores y disminuyendo la calidad y cantidad del producto de la misma.

Algunos accidentes, tanto laborales como de circulación, pueden ser debidos a este efecto. En ciertos casos las consecuencias serán duraderas, por ejemplo, los niños sometidos a altos niveles de ruido durante su edad escolar no sólo aprenden a leer con mayor dificultad sino que también tienden a alcanzar grados inferiores de dominio de la lectura.

1.5.4 Trastornos del sueño

El ruido influye negativamente sobre el sueño de tres formas diferentes que se dan, en mayor o menor grado según peculiaridades individuales, a partir de los 30 decibelios:

1. Mediante la dificultad o imposibilidad de dormirse.
2. Causando interrupciones del sueño que, si son repetidas, pueden llevar al insomnio. La probabilidad de despertar depende no solamente de la intensidad del suceso ruidoso sino también de la diferencia entre ésta y el nivel previo de ruido estable. A partir de 45 dBA la probabilidad de despertar es grande.
3. Disminuyendo la calidad del sueño, volviéndose éste menos tranquilo y acortándose sus fases más profundas, tanto las de sueño paradójico (los sueños) como las no-paradójicas. Aumentan la presión arterial y el ritmo cardiaco, hay vasoconstricción y cambios en la respiración.

Como consecuencia de todo ello, la persona no habrá descansado bien y será incapaz de realizar adecuadamente al día siguiente sus tareas cotidianas. Si la situación se prolonga, el equilibrio físico y psicológico se ven seriamente afectados.

Con frecuencia se intenta evitar o, al menos paliar, estas situaciones mediante la ingestión de tranquilizantes, el uso de tapones auditivos o cerrando las ventanas para dormir. Las dos primeras prácticas son, evidentemente, poco saludables por no ser naturales y poder acarrear dependencias y molestias adicionales. La tercera hace también perder calidad al sueño por desarrollarse éste en un ambiente mal ventilado y/o con una temperatura demasiado elevada.

1.5. 5 Daños al oído

La pérdida de capacidad auditiva no depende de la cualidad más o menos agradable que se atribuya al sonido percibido ni de que éste sea deseado o no. Se trata de un efecto físico que depende únicamente de la intensidad del sonido, aunque sujeto naturalmente a variaciones individuales.

- En la sordera transitoria o fatiga auditiva no hay aún lesión. La recuperación es normalmente casi completa al cabo de dos horas y completa a las 16 horas de cesar el ruido, si se permanece en un estado de confort acústico (menos de 50 decibelios en vigilia o de 30 durante el sueño).
- La sordera permanente está producida, bien por exposiciones prolongadas a niveles superiores a 75 dBA, bien por sonidos de corta duración de más de 110 dBA, o bien por acumulación de fatiga auditiva sin tiempo suficiente de recuperación. Hay lesión del oído interno (células ciliadas externas de la superficie vestibular y de las de sostén de Deiters). Se produce inicialmente en frecuencias no conversacionales, por lo que el sujeto no la suele advertir hasta que es demasiado tarde, salvo casos excepcionales de auto-observación, puede ir acompañada de zumbidos de oído (acufenos) y de trastornos del equilibrio (vértigos).

1.5.6 El estrés, sus manifestaciones y consecuencias

Las personas sometidas de forma prolongada a situaciones como las anteriormente descritas (ruidos que hayan perturbado y frustrado sus esfuerzos de atención, concentración o comunicación, o que hayan afectado a su tranquilidad, su descanso o su sueño) suelen desarrollar algunos de los síndromes siguientes:

- Cansancio crónico.
- Tendencia al insomnio, con la consiguiente agravación de la situación.
- Enfermedades cardiovasculares: hipertensión, cambios en la composición química de la sangre, isquemias cardíacas, etc. Se han mencionado aumentos de hasta el 20% o el 30% en el riesgo de ataques al corazón en personas sometidas a más de 65 decibelios en periodo diurno.
- Trastornos del sistema inmune responsable de la respuesta a las infecciones y a los tumores.
- Trastornos psicofísicos tales como ansiedad, manía, depresión, irritabilidad, náuseas, jaquecas, y neurosis o psicosis en personas predispuestas a ello.
- Cambios conductuales, especialmente comportamientos antisociales tales como hostilidad, intolerancia, agresividad, aislamiento social y disminución de la tendencia natural hacia la ayuda mutua.

1.5.7 La habituación al ruido

Se han citado casos de soldados que han podido dormir junto a una pieza de artillería que no cesaba de disparar o de comunidades que, a pesar de la cercanía de un aeropuerto, logran conciliar el sueño, aun cuando éste sea de poca calidad. Es cierto que a medio o largo plazo el organismo se habitúa al ruido, empleando

para ello dos mecanismos diferentes por cada uno de los cuales se paga un precio distinto.

El primer mecanismo es la disminución de la sensibilidad del oído y su precio, la sordera temporal o permanente. Muchas de las personas a las que el ruido no molesta dirían, si lo supiesen, que no oyen el ruido o que lo oyen menos que otros o menos que antes, naturalmente tampoco oyen otros sonidos que les son necesarios.

Mediante el segundo mecanismo, son las capas corticales del cerebro las que se habitúan. Dicho de otra forma, oímos el ruido pero no nos damos cuenta. Durante el sueño, las señales llegan a nuestro sistema nervioso, no nos despiertan pero desencadenan consecuencias fisiológicas de las que no somos conscientes: frecuencia cardiaca, flujo sanguíneo o actividad eléctrica cerebral. Es el llamado síndrome de adaptación.

1.5.8 Resumen de Valores Críticos

En la tabla 1.6 se indica los valores críticos del ruido donde se empieza a sentir efectos en la salud.

Tabla 1.6 Valores críticos de ruido que afectan a la salud

Decibelios (dB)	Se empiezan a sentir estos efectos nocivos
30	Dificultad en conciliar el sueño Pérdida de calidad del sueño
40	Dificultad en la comunicación verbal
45	Probable interrupción del sueño
50	Malestar diurno moderado
55	Malestar diurno fuerte
65	Comunicación verbal extremadamente difícil
75	Pérdida de oído a largo plazo
110 - 140	Pérdida de oído a corto plazo

CAPÍTULO II

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

2.1 ESPECIFICACIÓN DE REQUISITOS DEL SISTEMA

El diseño y montaje de un sonómetro ayuda en el diagnóstico necesario para el estudio y aplicación de normas de seguridad referentes al ruido tolerado por el ser humano en el campo de la Seguridad Industrial, En este caso particular el dispositivo será calibrado bajo las normas OSHA.

Para el efecto, se establece que la implementación se lleve a cabo en los siguientes términos:

1. El equipo indicará el sonido que se encuentra en un lugar específico; además, se podrá contar con un documento de extensión (xls) donde indicarán valores referentes a los medidos en un estudio sonométrico. Se incluye también el diseño de una base de datos donde se irán almacenando los datos obtenidos.

2. Diseño e implementación de la tarjeta para obtener los resultados deseados en cuanto a valores medidos. Comunicación USB.
3. Selección del software para la mejor visualización de los parámetros medidos dentro de un estudio de sonometría.
4. Acondicionar las señales analógicas de entrada, para no perder información ya que este instrumento se utilizará en ambientes ruidosos los cuales pueden provocar pérdidas de información.
5. Generación de la documentación técnica necesaria: manual de usuario.

2.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA

El Diagrama de Bloques del Sonómetro con adquisición de datos hacia el PC se presenta en la Figura 2.1 y consta de los siguientes bloques:

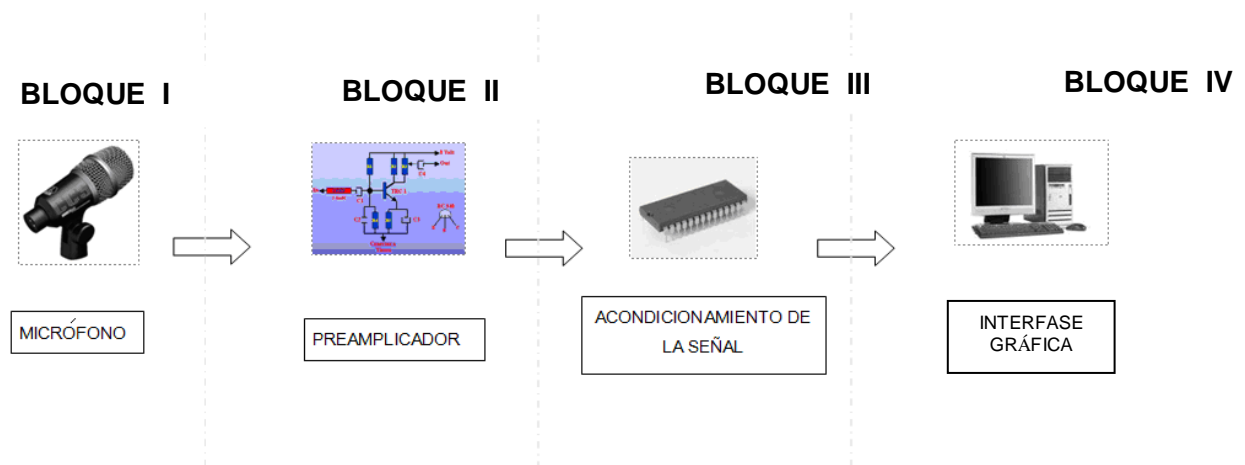


Figura 2.1 Diagrama de Bloques del Sonómetro con adquisición de datos hacia el PC

BLOQUE I: Es la etapa de la adquisición de datos, donde el transductor convertirá la señal acústica en una señal eléctrica, los únicos micrófonos que cumplen con las normas establecidas son los de tipo electret condensador que están formados por un diafragma metálico, frente a una placa rígida y como dieléctrico al aire, lo cual forma un condensador.

BLOQUE II: Esta etapa es el preamplificador, el cual está inmediatamente detrás del micrófono para reducir la alta impedancia y así poder utilizar cables alargadores para conectarlos al resto de la cadena de medida con una impedancia de entrada relativamente baja. El preamplificador debe tener un ruido eléctrico muy bajo, una dinámica y rango de frecuencia mayor que las del micrófono que se le conecte.

BLOQUE III: Consta de un microcontrolador del tipo PIC 18F4550, el que realiza la comunicación USB entre el computador y la tarjeta del sonómetro; además, se encarga de realizar el acondicionamiento de la señal y la conversión análogo-digital para luego entregar la información al computador y ser visualizada mediante una interfase gráfica.

BLOQUE IV: Como último bloque se tiene a la interfase gráfica del sistema, esta HMI(Interfase Humano Máquina) está diseñada en Labview 8.6, que será capaz de indicar los valores del sonido, generar reportes y almacenar en la base de datos. La comunicación entre la PC y el Uc es vía USB , alcanzando velocidades de transmisión de datos de 12 Mbits/s.

2.3 DISEÑO DEL ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL

2.3.1 SELECCIÓN DEL MICRÓFONO

Se utiliza un micrófono electret, también conocido como micrófono de condensador, que elimina la necesidad de una fuente de alimentación de polarización mediante el uso de un material permanentemente cargado y que se indica las características en la tabla 2.1

Tabla 2.1 Especificaciones de micrófono del sonómetro

ESPECIFICACIONES	
Elemento	Electret condenser
Tipo de micrófono	Omni-direccional
Respuesta de frecuencia	50 - 18.000 Hz
Sensibilidad	- 52 dB
Impedancia	1000 ohms

A continuación se indica en la figura 2.2 al micrófono Electret Condenser .

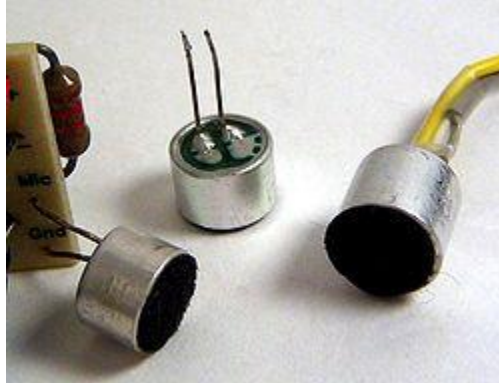


Figura 2.2 Micrófono Electret condenser

2.3.2 DISEÑO DEL PREAMPLIFICADOR

Para la etapa preamplificadora se utiliza como base un transistor bipolar en configuración de emisor común. En la figura 2.3 se indica el diagrama esquemático del preamplificador.

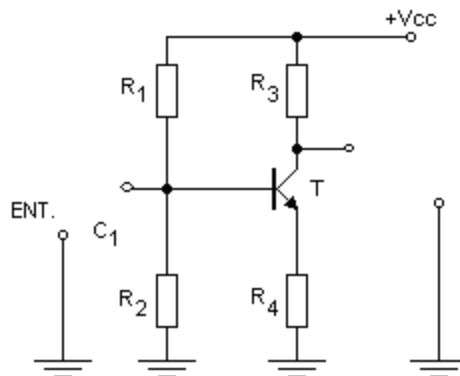


Figura 2.3 Diagrama Esquemático del preamplificador

Para elegir el transistor adecuado para ésta aplicación, se consideró que debe amplificar señales de audiofrecuencia (20Hz a 20KHz) o baja frecuencia. Debe ser un modelo de bajo ruido que no introduzca ruido de fondo en la señal que está preamplificando. Por lo anterior se consideró el transistor BC549, el cual cumple todos los requisitos expuestos (aunque evidentemente no es el único). Sus características más relevantes se aprecian en la tabla 2.2

Tabla 2.2 Características de transistor BC 549

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR MAXIMO	UNIDAD
Tensión inversa Colector-Base máxima	$V_{CB(\text{abierto emisor})}$	30	V
Tensión Colector-Emisor máxima	$V_{CE(\text{abierto base})}$	30	V
Tensión inversa Emisor-Base máxima	$V_{EB(\text{abierto colector})}$	5	V
Corriente de Colector máxima	$I_{C\text{máx}}$	100	mA
Máxima potencia disipable	P_{tot}	500	mW

Datos asumidos para el diseño del preamplificador:

$$V_{cc} = 5V$$

$$Z_s(\text{Impedancia}) = 10K\Omega$$

$$A_v = 5$$

$$\Delta B = 20KHz$$

En la figura 2.4 se indica el circuito de polarización del transistor que está incluido en el circuito original del preamplificador.

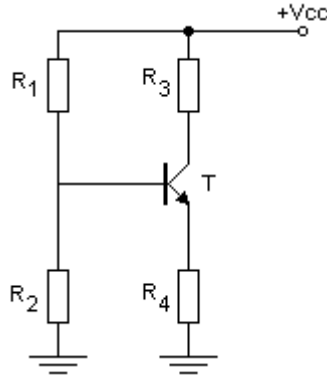


Figura 2.4 Circuito de polarizacion del transistor

Para calcular R_3 se asume que debe ser igual a Z_s . Ello se debe a que el circuito equivalente para C.A. de la malla de colector es aproximadamente al presentado en la figura 2.5.

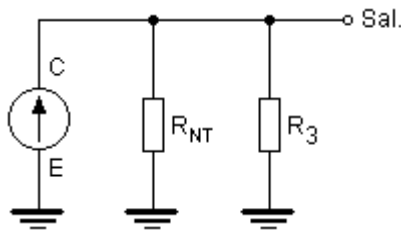


Figura 2.5 Circuito equivalente para C.A. de la malla de colector

En este circuito equivalente se ve claramente que $Z_s=R_3$, si se desea una $Z_s=10K\Omega$ ese debe ser también el valor de R_3 .

La tensión de alimentación del circuito es de 5V. El valor de V_{CE} debe ser igual a $V_{cc}/2$ (para colocar el punto Q del transistor justo en el centro de la recta de carga de C.C). Por lo tanto la ecuación 2.1 es la siguiente:

$$V_{CE} = V_{cc}/2 \quad \text{ec. 2.1}$$

$$V_{CE} = 2,5V$$

Por otro lado, A_v está relacionada con R_3 y con R_4 , lo cual se indica en la ecuación 2.2

$$A_v = \frac{R_3}{R_4} \quad \text{ec. 2.2}$$

El valor de A_v y de R_3 son datos asumidos para el diseño del preamplificador, por lo cual podemos hallar el valor de R_4 , obteniéndose para dicha resistencia un valor de $2K\Omega$.

Se debe hacer la aproximación de que $I_C = I_E$, el valor de la corriente de colector de polarización se calcula con la ecuación 2.3.

$$I_C = \frac{V_{R_3} + V_{R_4}}{R_3 + R_4} \quad \text{ec. 2.3}$$

$$I_C = 208,3 \mu A$$

Con este valor de I_C la tensión aproximada de la resistencia de emisor, V_{R_4} , vendrá dada por la ecuación 2.4.

$$V_{R_4} = I_C \cdot R_4 \quad \text{ec. 2.4}$$

$$V_{R_4} = 0.41 \text{ V}$$

Para el cálculo de V_{R_3} se utilizará la ecuación 2.5

$$V_{R_3} = V_{CC} - V_{CE} - V_{R_4} \quad \text{ec. 2.5}$$

$$V_{R3} = 2.09 \text{ V}$$

La ecuación 2.6 indica la potencia disipada por el transistor :

$$P = I_c \cdot V_{CE} \quad \text{ec. 2.6}$$

$$P = 208,3 \mu\text{A} \times 2.5 \text{ V} = 0.52 \text{ mW}$$

Continuando con el cálculo de la polarización, la corriente de base del transistor se calcula con la ecuación 2.7.

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} \quad \text{ec. 2.7}$$

$$I_B = 1,04 \mu\text{A}$$

Por el tipo de polarización que se emplea para el transistor, requiere que el divisor de tensión formado por R_1 y R_2 sea estable, en el sentido de que la tensión de las resistencias no se altere al aplicarle una carga (que en este caso correspondería a la base del transistor). Para conseguir ésto, al menos aproximadamente, la corriente que circule por R_2 debe ser mucho mayor que la corriente que consuma la base del transistor, por lo cual se considera que la corriente de R_2 sea diez veces mayor que la I_B , por tanto:

La ecuación 2.8 indica la forma de calcular I_{R2} .

$$I_{R2} = 10 \cdot I_B = 10.4 \mu\text{A} \quad \text{ec. 2.8}$$

Para la tensión de V_{R2} se tiene la ecuación 2.9:

$$V_{R2} = V_{BE} + V_{R4} \quad \text{ec. 2.9}$$

$$V_{R2} = 0.6 + 0.41 = 1.1 \text{ V}$$

La ecuación 2.10 calcula el valor de R_2 :

$$R_2 = V_{R2} / I_{R2} \quad \text{ec. 2.10}$$

$$R_2 = 105 \text{ K}\Omega$$

Para calcular el valor de R_1 se tiene la ecuación 2.11 :

$$R_1 = V_{R1} / (I_{R2} + I_B) \quad \text{ec. 2.11}$$

$$R_1 = 342 \text{ K}\Omega$$

2.3.3 DISEÑO DE LA PLACA DE ADQUISICIÓN DEL SONÓMETRO

El diseño esquemático de la placa del proyecto y su simulación en 3D, fueron realizados en los programas ARES e ISIS del paquete de Software Proteus 7.5. Se indica en la figura 2.6 el diagrama esquemático de la tarjeta de adquisición de datos.

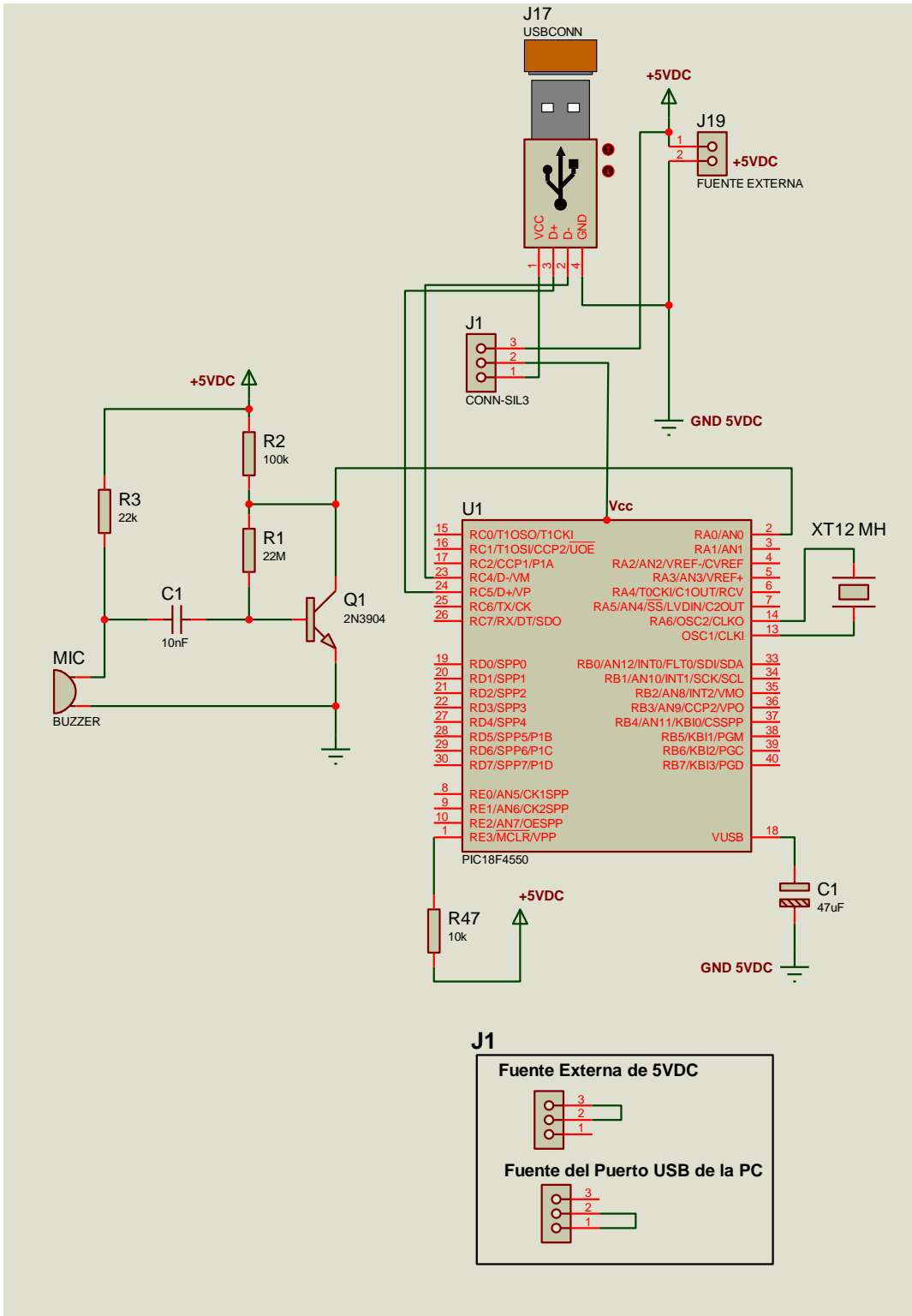


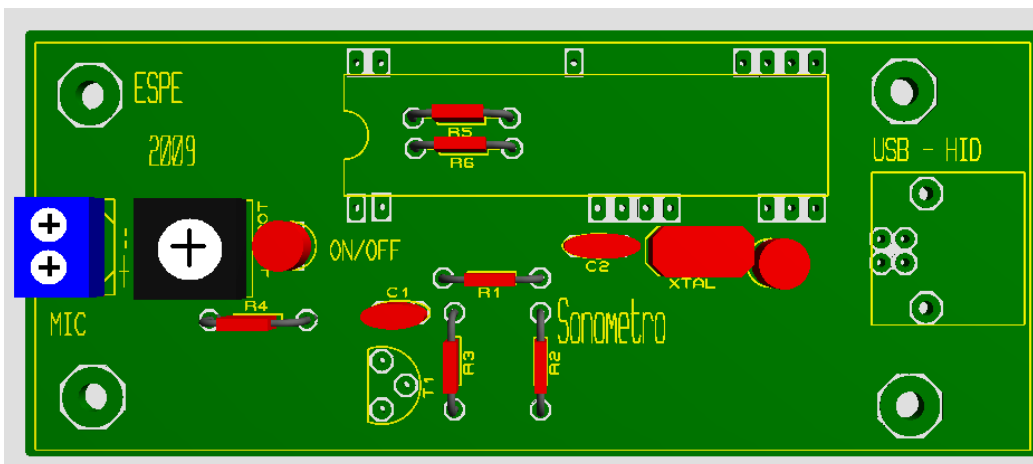
Figura 2.6 Diagrama esquemático de tarjeta de adquisición

La tabla 2.3 describe los pines del PIC 18F4550 de la tarjeta de adquisición del Sonómetro.

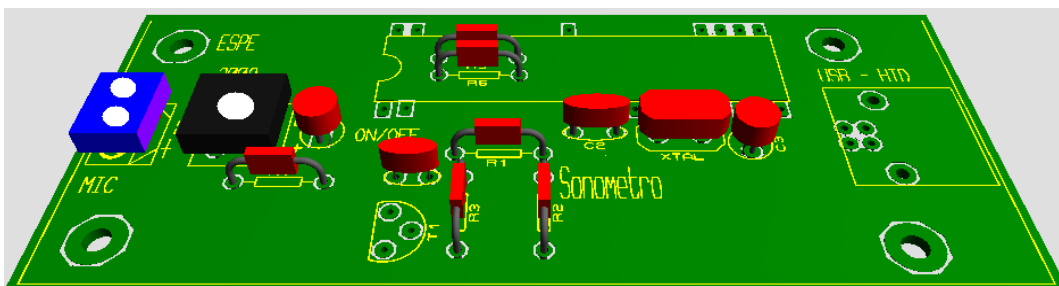
Tabla 2.3 Pines del PIC 18F4550 de la tarjeta de adquisición del Sonómetro

PIN	Función	Descripción
1	Reset	Reseteo del funcionamiento de la adquisición
2	Analog input 0	Entrada Analógica del preamplificador
03-10	Ninguna	No usadas
11	Vcc(+)	Alimentación 5 VDC
12	Gnd (-)	Línea de Tierra de la fuente de alimentación
13	Oscilador	Pines para el oscilador de 12 MHz
14	Oscilador	Pines para el oscilador de 12 MHz
15 - 22	Ninguna	No usadas
23	Salida Digital	Transmisión USB (Sonómetro)
24	Entrada Digital	Recepción USB (Sonómetro)
25 - 30	Ninguna	No usadas
31	Gnd (-)	Referencia de Tierra
32 -40	Ninguna	No usadas

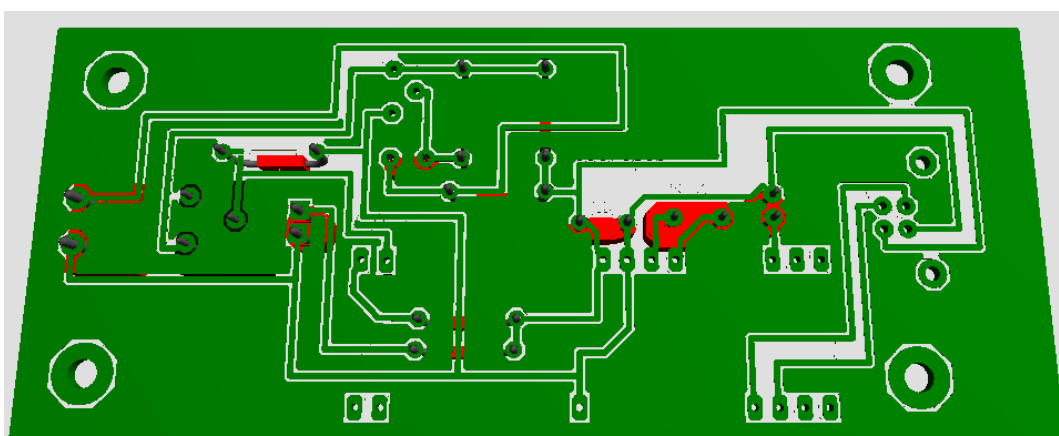
En las figuras 2.7 se indica las vistas de la Tarjeta de Adquisición de datos del Sonómetro.



a) Vista superior



b) Vista Lateral



c) Vista Inferior

Figura 2.7 Vistas de la Tarjeta de Adquisición del Sonómetro

En la figura 2.8 se presenta el diagrama pictórico de la Tarjeta de Adquisición del Sonómetro.

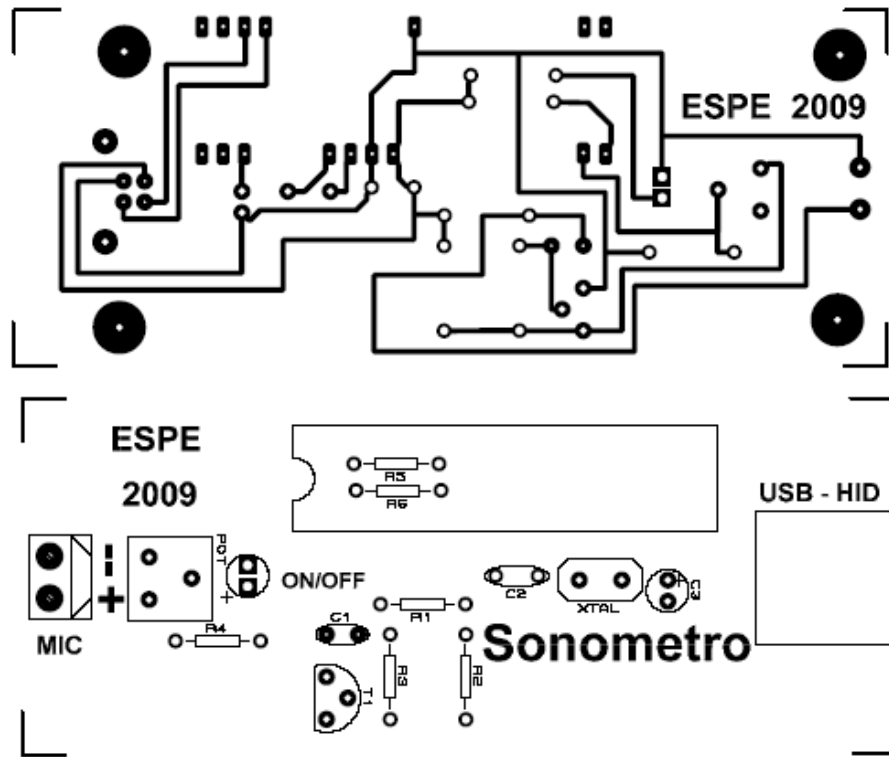


Figura 2.7 Diagrama Pictórico de la Tarjeta de Adquisición del Sonómetro

2.4 DISEÑO DEL PROGRAMA

El diseño del programa se subdividirá en dos partes:

- Diseño del programa del microcontrolador PIC 18F4550
- Diseño de la comunicación con la interfase gráfica

2.4.1 Diseño del programa del microcontrolador PIC 18F4550

Para efectuar la comunicación USB HID entre el computador y el sonómetro es necesario programar al microcontrolador PIC18F4550, de tal forma que el

computador reconozca al microcontrolador sin ningún conflicto, para esto se usaron las siguientes herramientas:

- Proton IDE
- EasyHID
- Microcontrolador PIC con módulo USB (18F4550)

Las ventajas que ofrecen estas herramientas son su fácil utilización y las librerías USB con el EasyHID de Mecanique Protón, el cual es un wizard que genera un programa base tanto para microcontroladores y para programas de PC. El código generado por el EasyHID Wizard sirve para programar el microcontrolador mediante PicBasic PRO y/o Protón + .

Para obtener los códigos, sólo se debe abrir el EasyHID, que se encuentra en el software Proton IDE. La figura 2.8 indica la forma de abrir EasyHID.



Figura 2.8 Forma de abrir EasyHID

Una vez abierto el código generado, se podrá compilar en MPASM (Ensamblador de Microchip), teniendo en cuenta que deberá tener instalado una versión que soporte a los PIC's con módulos USB y el enlace al MCSP.

Se compila el programa que genera el EasyHID para comprobar que todas las configuraciones y que el programa esté bien, esto se debe hacer al inicio antes de empezar a modificar el código, ya que se debe agregar al programa la adquisición de datos de audio por la entrada adc0; es decir, configurar el puerto A como

entradas y dentro del programa principal (la etiqueta inicio) asignar el valor en el buffer ADC 0 al USBOut mediante la variable K.

Por lo tanto, el código de programación para el microcontrolador quedaría como se muestra en la figura 2.9

```

Device = 18F4550
XTAL = 12
USB_DESCRIPTOR = "TXRXUSBDESC.inc"
----- VARIABLES, CONTANTES Y
BANDERAS
Symbol USBBufferSizeTX = 16
Dim PP0 As Byte SYSTEM ' USBPOLL status return
Symbol CARRY_FLAG = STATUS.0 ' Bandera de sobreblujo de carry
Symbol ATTACHED_STATE = 6 ' is USB attached
Dim K As Word 'variable tipo word
-----
TRISA = 1 'todo el puerto A entradas
Declare ADIN_RES 10 ' 10-bit result required
Declare ADIN_TAD FRC ' RC OSC chosen
Declare ADIN_STIME 50 ' Allow 50us sample time
ADCON1 = %00000010 'El puerto A0 entrada Análoga a 10bits
-----
GoSub configuracionUSB
\ *****
\ * rutina principal *
\ *****
inicio:
  GoSub TX_DATOS
  GoTo inicio

\ *****
\ * sub rutina de transmicion de datos al PC via USB
\ *****
TX_DATOS:
  K = ADIn 0 'Leo el canal ADC 0 y el dato guardo en la variable K
  USBOut 1, K, USBBufferSizeTX, TX_DATOS ; envio el dato al PC via
  USB
  Return

\ *****
\ * espera asta que se configure la comunicacion USB *
\ *****
configuracionUSB:

  Repeat
    USBPoll
  Until PP0 = ATTACHED_STATE
  Return

```

Figura 2.9 Programación del microcontrolador PIC 18F4550

El diagrama de flujo del programa del microcontrolador PIC 18F4550 se presenta en la figura 2.10

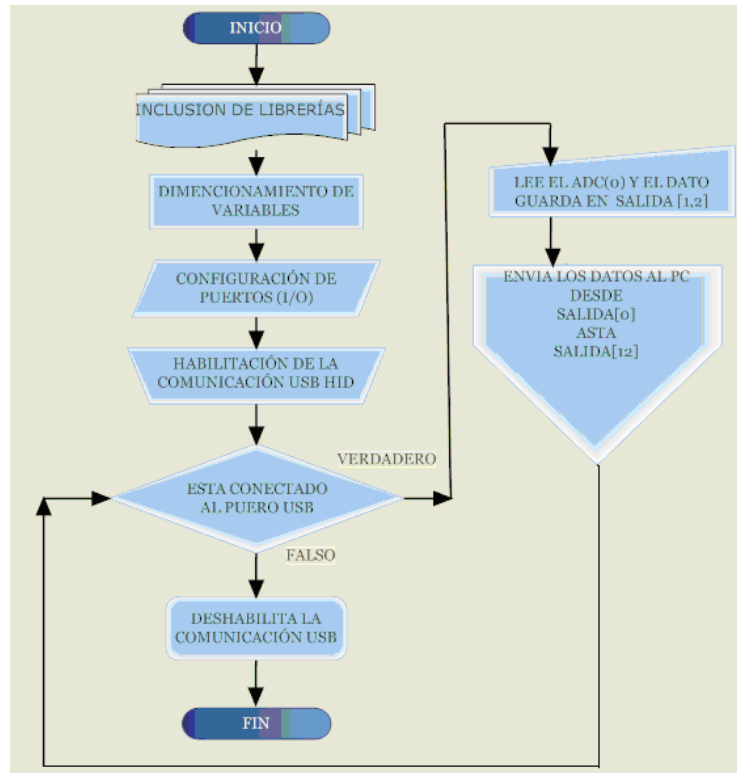


Figura 2.10 Diagrama de Flujo del programa del microcontrolador PIC 18F4550

2.4.2 Diseño de la comunicación con la interfase gráfica

Para tener la comunicación entre la tarjeta del sonómetro con el computador se debe realizar la configuración del controlador NI-VISA para dispositivos USB.

Para crear un controlador con las librerías de NI-VISA, se debe instalar aparte del instalador de Labview. El dispositivo USB no debe estar conectado y no debe tener un driver para el dispositivo USB instalado. Hay tres pasos para configurar el dispositivo USB usando NI-VISA:

- Crear los archivos INF usando al Driver de Desarrollo (Wizard).
- Instalar los archivos INF y el dispositivo de USB que usa el archivo de INF.

- Prueba del dispositivo con el control interactivo de NI-VISA

2.5 DISEÑO DE LA INTERFASE GRÁFICA

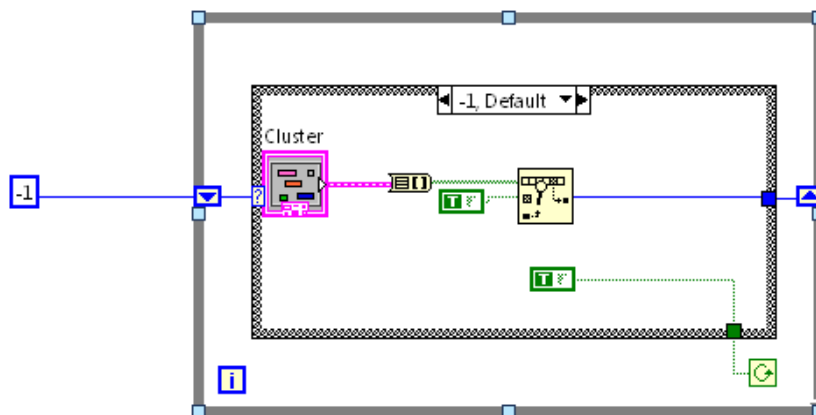
Para realizar la interfase gráfica se consideró a LabVIEW 8.6 como herramienta de diseño, ya que constituye un revolucionario sistema de programación gráfica para aplicaciones que involucran adquisición, control, análisis y presentación de datos. Además, LabVIEW 8.6 es un entorno de programación destinado al desarrollo de aplicaciones similar a los sistemas de desarrollo comerciales que utilizan el lenguaje C o BASIC; sin embargo, LabVIEW 8.6 se diferencia de dichos programas en un importante aspecto, los citados lenguajes de programación se basan en líneas de texto para crear el código fuente del programa, mientras que éste software utiliza la programación gráfica o lenguaje G para crear programas basados en diagramas de bloques. Además, se utilizará una herramienta de National Instruments conocida como VISA que es una aplicación de una interfase de programación que se comunica con buses de instrumentación, plataformas y medios independientes, en este caso se comunicará mediante el Bus USB .

En la figura 2.11 se presenta la pantalla principal del programa donde se realiza la interacción entre el usuario y el sonómetro, teniendo cinco tipos de opciones (Gráfico General, Gráfico Histórico, Máximo, Mínimo y Promedio, Grabar en Excel, Base de Datos y PARADA).



Figura 2.11 Pantalla Principal

Para la programación de la pantalla principal se utiliza los comandos While Loop, Case Structure y Shift Register donde el programador puede colocar VI's creados en cada caso dependiendo de la inventiva, ésta arquitectura es de fácil comprensión, ya que maneja como diagramas de bloques convirtiéndoles al programa en una programación pequeña y comprensible para depurar errores. En la figura 2.12 se presenta la programación de la pantalla principal.



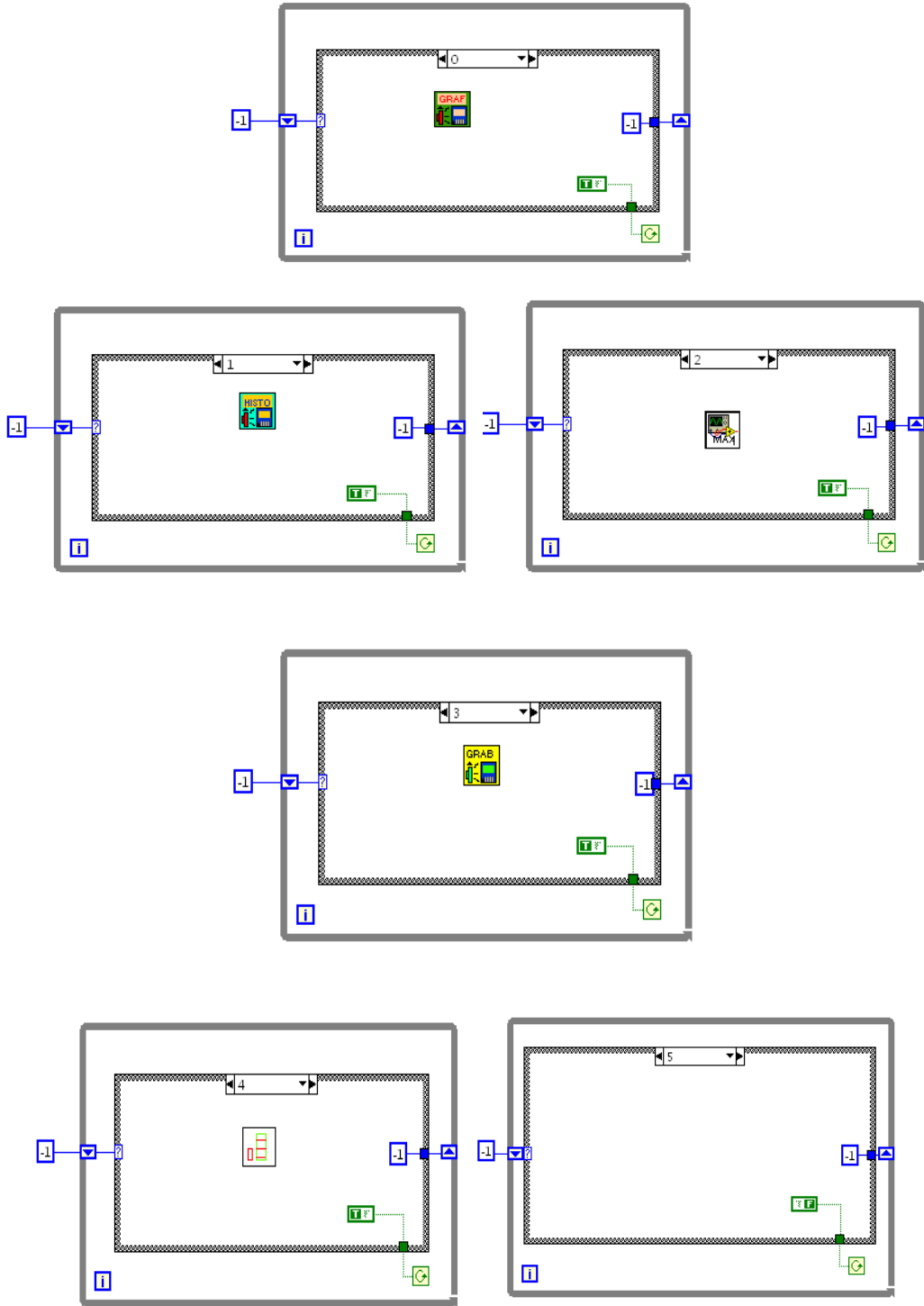


Figura 2.12 Programación de Pantalla Principal

2.5.1 Gráfico General

Al presionar Gráfico General en la pantalla principal se activa la pantalla que se aprecia en la figura 2.13, en éste se observa la respuesta del sonómetro, la cual indica el nivel de ruido existente en la zona muestreada.

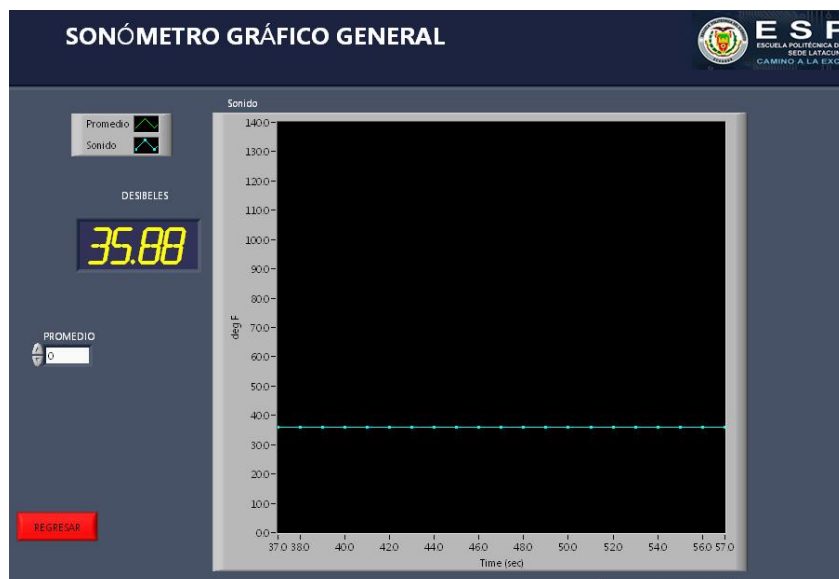


Figura 2.13 Gráfico General

El programa realiza las siguientes funciones:

- Visualización de la variable adquirida (sonido).
- Visualización de la variable mediante indicador.

En la Figura 2.14 se ilustra el VI de comunicación del dispositivo USB (TAC-USB), utiliza las funciones VISA las cuales abren la comunicación con el dispositivo USB, envía datos al dispositivo y lee datos del dispositivo. Después de que la comunicación está completa la sesión VISA se cierra.

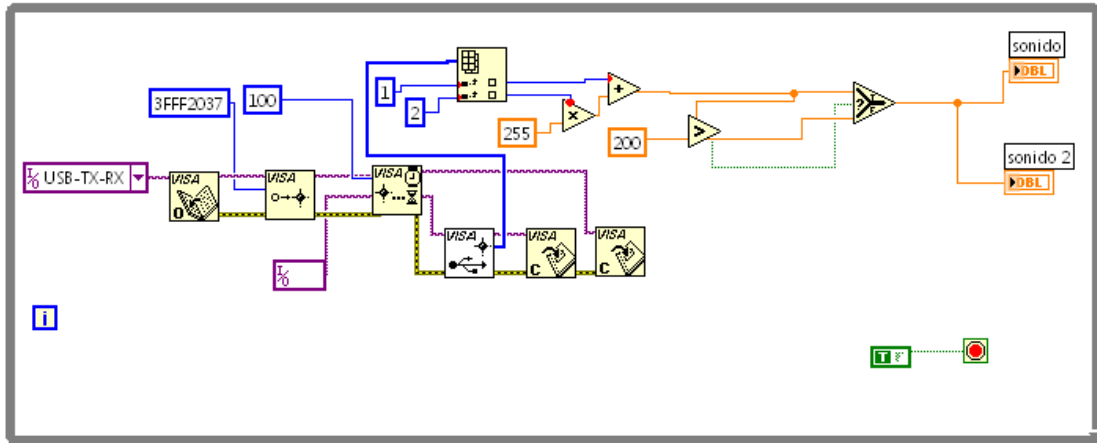


Figura 2.14 Comunicación USB

2.5.2 Gráfico Histórico

Como segunda opción se tiene al Gráfico Histórico, donde se observa las curvas históricas adquiridas en un determinado tiempo, esto servirá para el análisis y comprensión de respuesta del instrumento, para entregar conclusiones y recomendaciones al cliente. En la figura 2.15 se indica el gráfico histórico del estudio sonométrico.

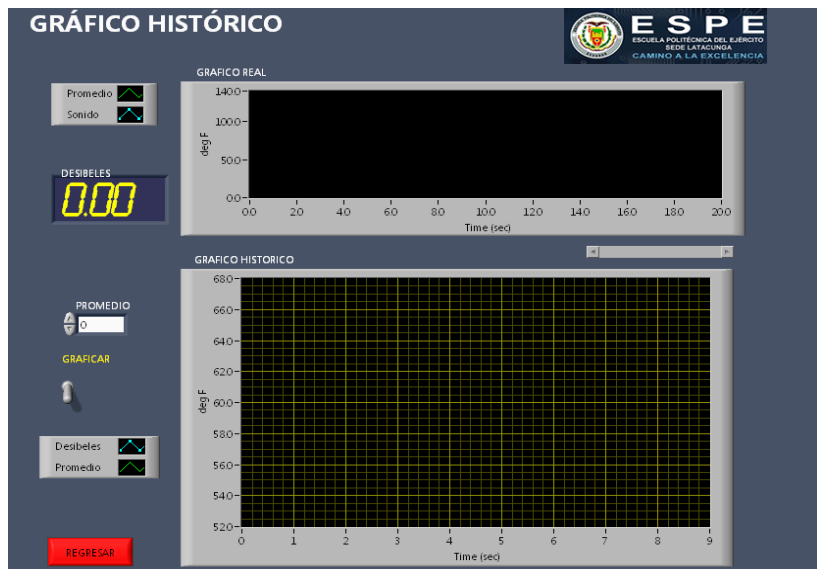


Figura 2.15 Pantalla Gráfico Histórico

2.5.3 Máximos – Mínimos – Promedio

La tercera opción se observa en la pantalla de máximos, mínimos y promedios, ésta pantalla es de gran ayuda para realizar el análisis estadístico de un estudio sonométrico; además, indica el comportamiento real del sonido en el medio muestreado y donde se coloca la información del cliente para el almacenamiento en la base de datos. En la figura 2.16 se indica la pantalla de máximos, mínimos y promedios.



Figura 2.16 Pantalla de Máximos, Mínimos y Promedio

2.5.4 Base de Datos

Como cuarta opción se tiene la Base de Datos la cual se enlaza con Microsoft Office Access 2003, una base de datos con código fuente abierto multiplataforma que se puede utilizar libremente para fines no comerciales. Se trata de una herramienta relacional, robusta y moderna utilizada ampliamente por multitud de empresas y usuarios. En la figura 2.17 se indica la Base de Datos.



Figura 2.17 Base de Datos

Para la programación de la base de datos se utiliza la herramienta para comunicación llamada LabSQL, que no es más que una colección de VI's que usan un conjunto de objetos Microsoft ADO³ en LabView, que permiten conectarse a cualquier tipo de base de datos que utilicen preguntas SQL para manipulación de datos. En la figura 2.18 se presenta la secuencia de configuración de LabSQL.

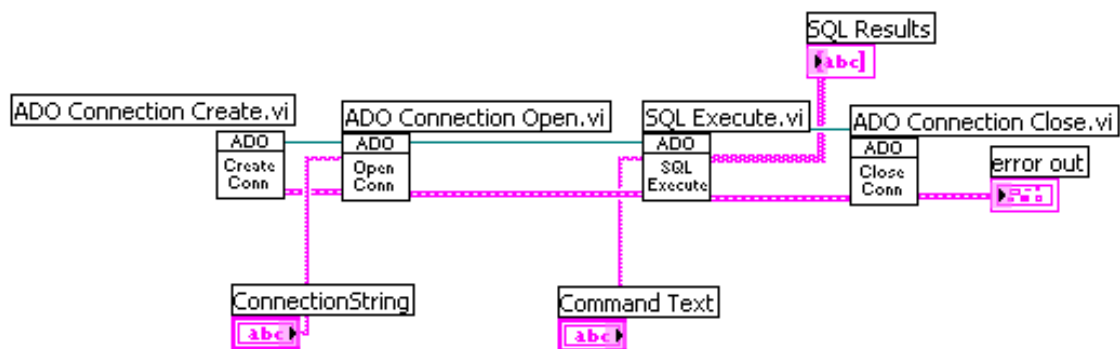


Figura 2.18 Secuencia de configuración de LabSQL

Dentro de la base de datos se tienen tres opciones: Añadir, Modificar y Borrar. También se crearon los siguientes campos: Orden, Ubicación, Fecha, Hora,

³ Diseño e Implementación de un Electrocardiograma. García Marcelo, Tapia Jessy - 2007

Promedio, Máximo, Mínimo. El campo Orden se refiere al número de orden de trabajo y que luego servirá para poder buscar algún tipo dato medido por el sonómetro, el campo Ubicación indicará el lugar donde se realizó la medición de sonometría, el campo Fecha indica la fecha que se realizó la medición, el campo Hora de igual forma se toma automáticamente la Hora que se realizó la medición, el campo Promedio indica el valor promedio dentro de un instante de tiempo, los campos Máximo y Mínimo indicarán los valores tomados dentro de un instante de tiempo de la medición del sonido.

a) Añadir un nuevo cliente

La opción añadir se utiliza en el caso de agregar un nuevo cliente o usuario, en la cual se deben completar los espacios de información que modificaron la base de datos. En la figura 2.19 se indica la opción añadir.

The image shows a web form titled "AÑADIR CLIENTE" with a logo on the right. The form is set against a light green background. It contains the following fields and values:

- Nº ORDEN DE TRABAJO: 124
- UBICACION DE LA MEDICION: AMBATO
- FECHA dd/mm/aa: 22/10/2009
- HORA hh:mm:ss: 18:54:12
- PROMEDIO: 78
- MAXIMO: 56
- MINIMO: 40

At the bottom of the form are two buttons: "AÑADIR" and "SALIR".

Figura 2.19 Opción Añadir

La figura 2.20 indica la programación de la opción añadir utilizando funciones de las instrucciones LabSQL. **INSERT INTO** <Nombre de la Tabla> (campos_de_la_tabla) **VALUES** (Valor1, ...)

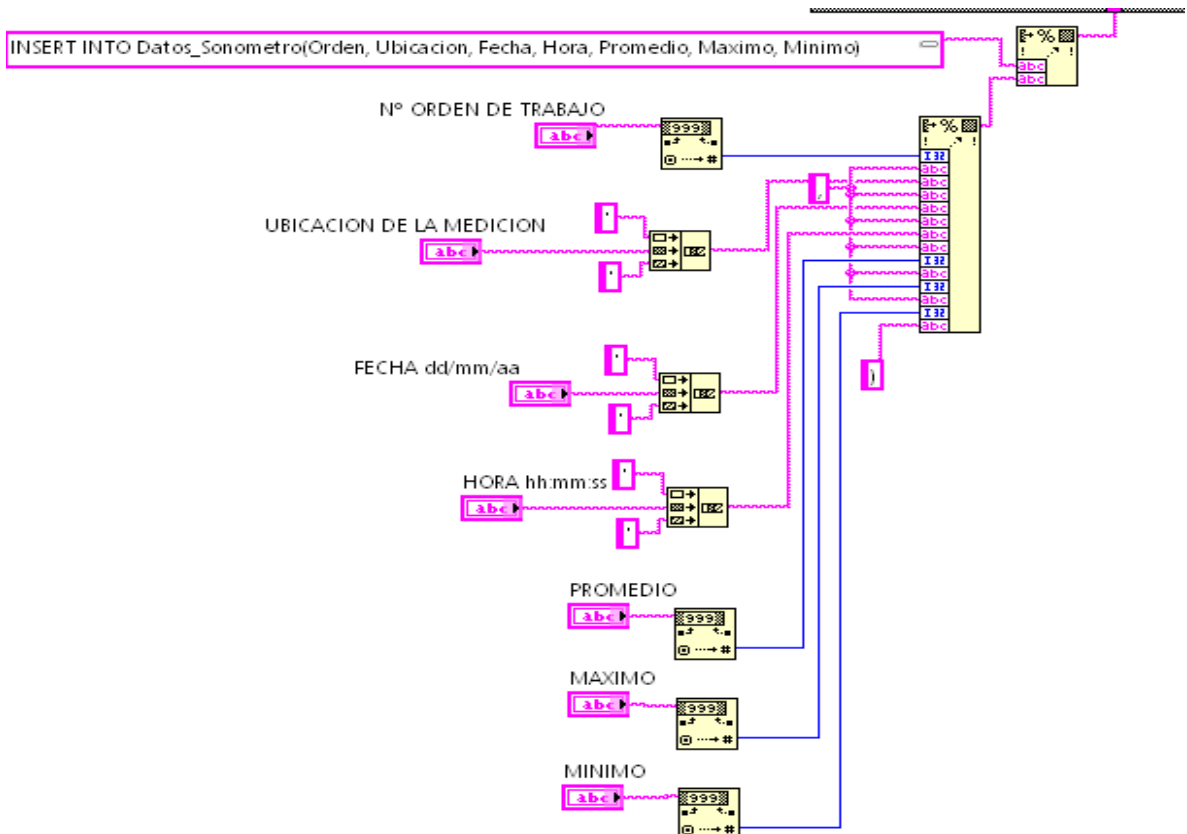


Figura 2.20 Programación de la opción añadir

b) Modificar cliente

Se procederá a ingresar el número de orden de trabajo, ya que este número será el encargado de buscar la información completa de la medición que consta en la base de datos. Al encontrar la información a ser modificada, se procede a cambiar los campos que se encuentren en forma errónea. La figura 2.21 se indica la opción Modificar.

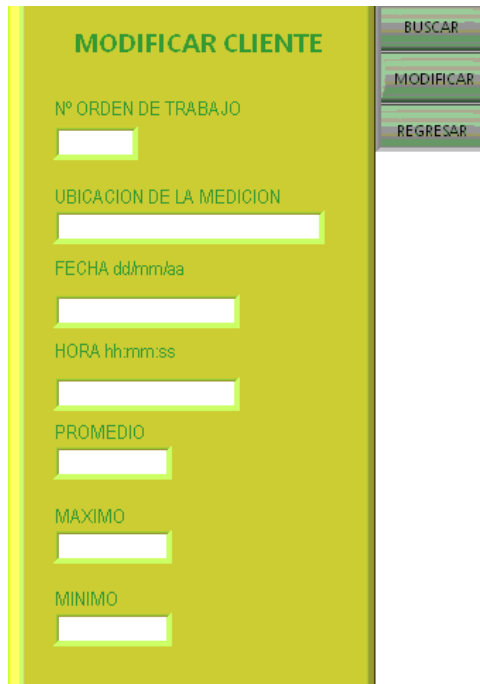


Figura 2.21 Opción Modificar

La programación de la opción modificar utiliza las siguientes funciones de las instrucciones LabSQL: **SELECT *FROM tabla_origen WHERE <Condición>**, la cual nos ayuda a buscar la información solicitada. La figura 2.22 indica la programación de la opción seleccionar.

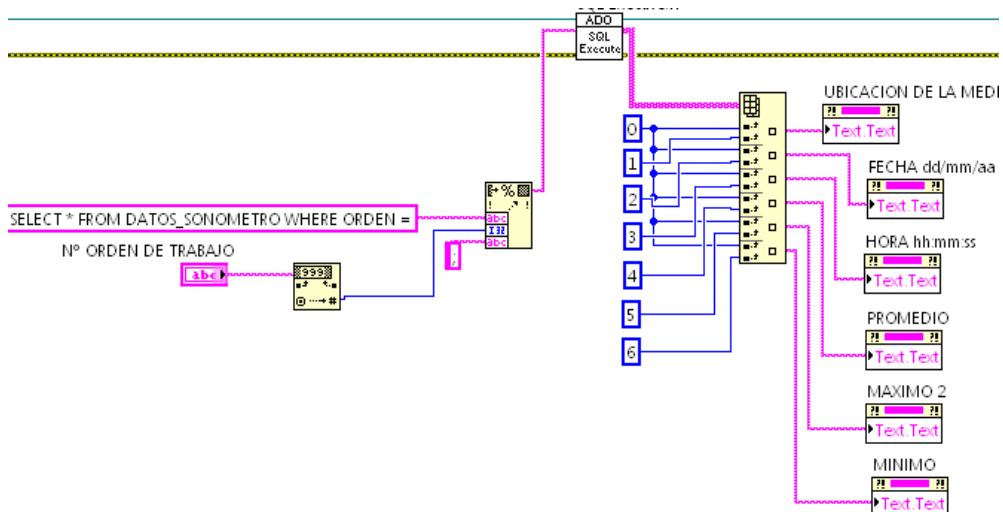


Figura 2.22 Opción Seleccionar

Para la modificación de los datos se utilizó la sentencia **UPDATE**. La sintaxis de la instrucción LabSQL **UPDATE** <Nombre de la Tabla> **SET** <columna> = <Nuevo Valor> **WHERE** <condición>. La figura 2.23 indica la función UPDATE

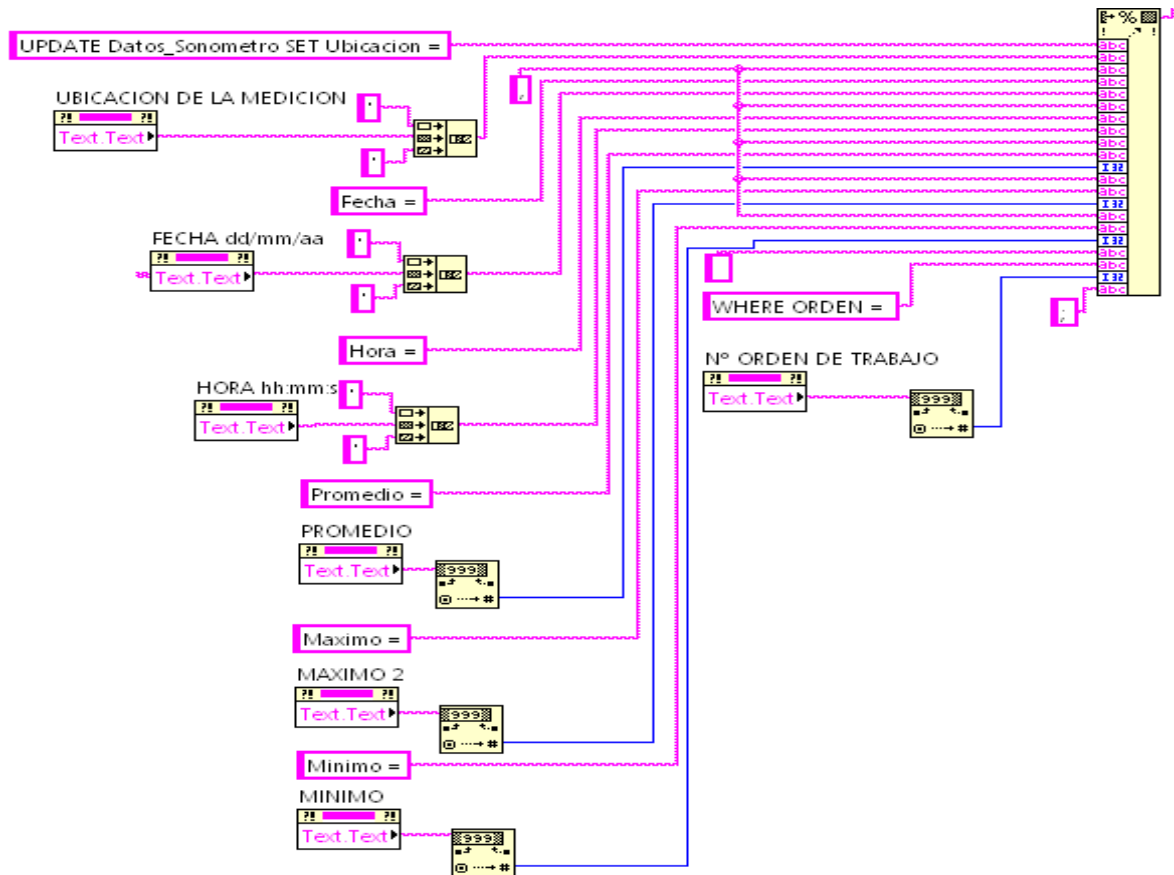


Figura 2.23 Opción UPDATE

c) Borrar cliente

Esta opción permite buscar mediante el número de la orden de trabajo y luego proceder a borrar la información no necesaria en la base de datos. La figura 2.24 nos indica la opción borrar cliente.

Figura 2.24 Opción Borrar

Para borrar los datos se utilizó la sentencia **DELETE**. La sintaxis de la instrucción LabSQL. **DELETE** <Nombre de la tabla> **WHERE** <Condición>. La figura 2.25 indica la opción DELETE

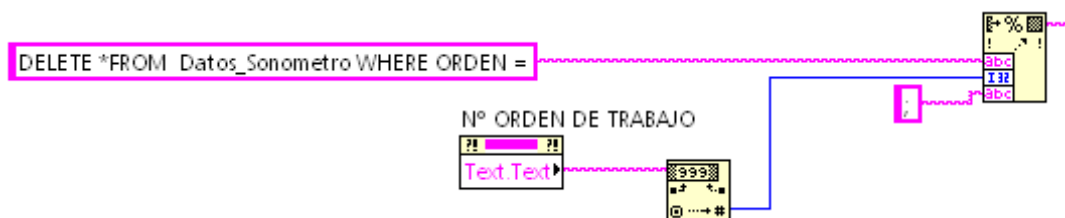


Figura 2.25 Opción DELETE

2.5.5 Guardar Excel

Esta pantalla permite realizar reportes de la medición sonométrica y presentar en formato que puede ser leído en EXCEL. La figura 2.26 indica Guardar en EXCEL.

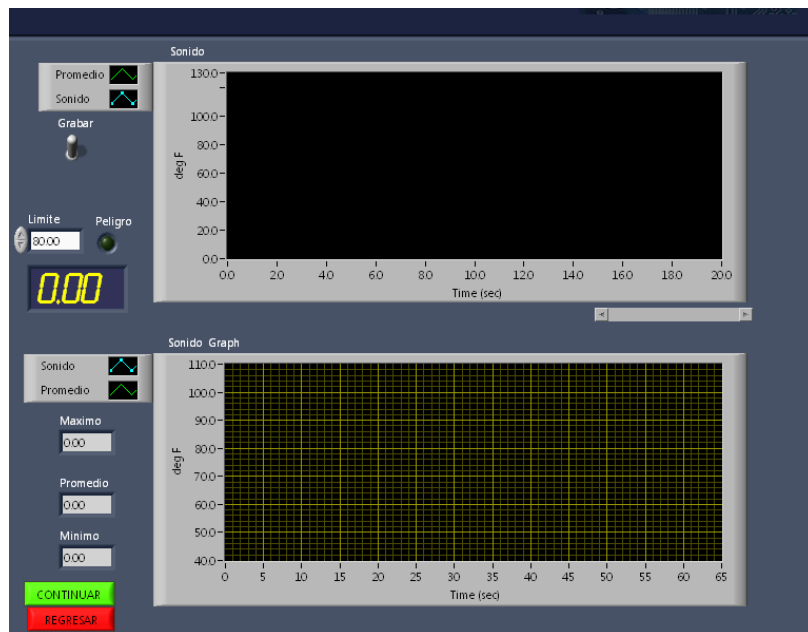


Figura 2.26 Guardar en EXCEL

2.6 ESTUDIO DE CONTAMINACIÓN ACÚSTICA EN EL SERVICIO AEROPOLICIAL (ANEXO A).

CAPÍTULO III

PRUEBAS EXPERIMENTALES

3.1 PRUEBAS EXPERIMENTALES AL EQUIPO

3.1.1 DETALLES DE LA CONSTRUCCIÓN DEL SONÓMETRO

Luego del diseño y programación de los componentes del sonómetro se procedió al armado del circuito en protoboard para la comprobación del diseño de la adquisición de datos y la comunicación con la interfase gráfica. En la figura 3.1 se indica el sonómetro armado en protoboard para pruebas experimentales.



Figura 3.1 Sonómetro armado en protoboard para pruebas experimentales.

Al comprobar el funcionamiento del sonómetro en el protoboard se procede a realizar la tarjeta electrónica en baquelita. En la figura 3.2 se indica la tarjeta electrónica del sonómetro.

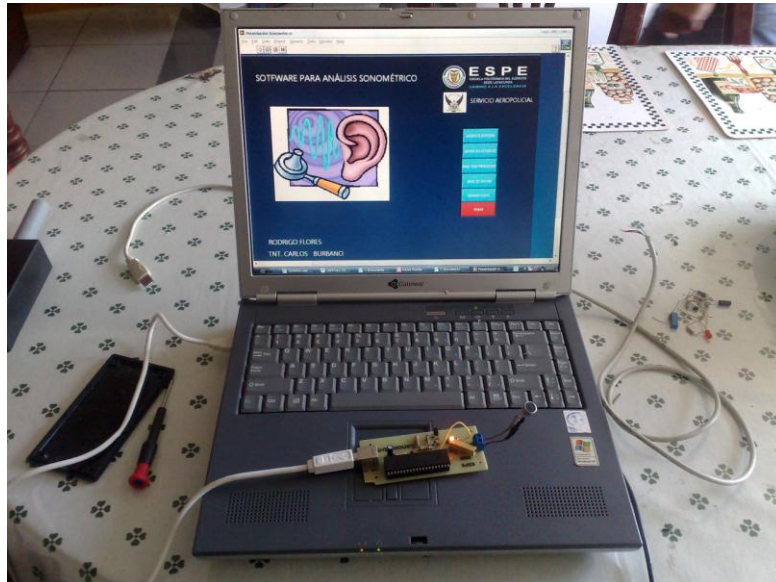


Figura 3.2 Tarjeta electrónica del sonómetro

3.1.2 CALIBRACIÓN DEL SONÓMETRO

El sonómetro fue calibrado mediante un calibrador QUEST TECHNOLOGIES QC-20 CALIBRATOR de propiedad de la Escuela Politécnica del Ejército Sede Sangolquí. En la figura 3.3 se indica al calibrador QUEST TECHNOLOGIES QC-20.



Figura 3.3 Calibrador QUEST TECHNOLOGIES QC-20

Para la calibración del sonómetro se realizó el siguiente procedimiento :

1.- Se introdujo el micrófono del sonómetro dentro del calibrador QUEST TECHNOLOGIES QC-20, el cual reproduce sonidos a 94 y 114 decibelios a una frecuencia de 250 Hz y 1 KHz, luego de las pruebas experimentales se tuvo los resultados que se muestran en la tabla 3.1

Tabla 3.1 Medición de Pruebas Experimentales con el sonómetro y el calibrador QUEST.

Fecha	Hora	Calibrador (decibelios)	Sonómetro (decibelios)	ERROR	OBSERVACIONES
02/10/2009	9:00	114	139,7	0.3	Dentro de rango Sonómetro Tipo 2

02/10/2009	9:30	94	93.78	0.22	Dentro de rango Sonómetro Tipo 2
02/10/2009	9:55	114	114	0	Dentro de rango Sonómetro Tipo 2
02/10/2009	10:30	94	93.4	0.6	Dentro de rango Sonómetro Tipo 2
02/10/2009	11:45	114	114.3	-0.3	Dentro de rango Sonómetro Tipo 2
02/10/2009	12:45	94	93.5	0.5	Dentro de rango Sonómetro Tipo 2
02/10/2009	13:00	114	114.2	-0.2	Dentro de rango Sonómetro Tipo 2
02/10/2009	14:45	94	93.7	0.3	Dentro de rango Sonómetro Tipo 2
02/10/2009	15:00	114	114.55	-0.55	Dentro de rango Sonómetro Tipo 2
02/10/2009	16:30	94	93.2	0.8	Dentro de rango Sonómetro Tipo 2

Luego de culminar la calibración se analizaron los resultados obtenidos, concluyendo que es un sonómetro de tipo 2 de propósito general, todas estas mediciones se encontraron dentro de las expectativas de diseño.

La calibración del sonómetro también se realizó mediante el software del programa, ya que se cambió de una señal de tipo lineal a una de tipo logarítmica utilizando las herramientas de Labview, para esto se realizó una interpolación entre el punto máximo y mínimo de medición del calibrador. La ecuación 3.1 indica la función encontrada luego de realizar la interpolación y en la figura 3.4 se indica la calibración del sonómetro mediante software.

$$y = 70.678 \ln(x) - 338.59 \quad \text{ec. 3.1}$$

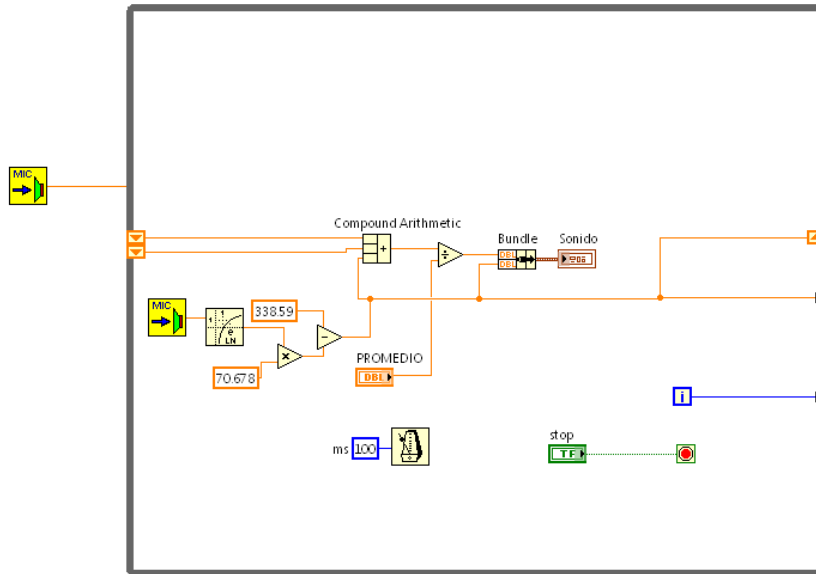


Figura 3.4 Calibración del sonómetro mediante software

3.1.3 PRUEBAS CON EL SONÓMETRO EN AEROPOLICIAL

Dentro del AeroPolicial se encuentran diferentes departamentos y oficinas (Mantenimiento, Bodega, Guardianía, Secretaría, Oficina de Pilotos, Oficina de Comando y Financiero), las pruebas experimentales se realizaron de la siguiente manera:

1.- Se midió, con ayuda del sonómetro, el área de mantenimiento, siendo uno de los lugares más ruidosos ya que se encuentra en contacto directo con la fuente de ruido como son motores, hélices que se encuentran a prueba o en mantenimiento, esta medición tuvo un promedio de 73 dB. En la figura 3.4 se indica la medición del área de mantenimiento.



Figura 3.4 Medición del área de mantenimiento

2.- Se procedió a la medición en las bodegas, en esta área se obtuvo una medición promedio de 66 dB. En la figura 3.5 se indica la medición realizada en el área de bodega.



Figura 3.5 Medición del área de bodega

3.- Luego se procedió a medir el área de guardianía teniendo una medición promedio de 65 dB.

4.- En el área de Oficina de Pilotos y Oficina de Comando se midió un promedio de 63 dB.

5.- Para culminar se monitoreó en el área financiera donde se obtuvo un valor de 54.5 dB.

En la tabla 3.2 se observa los valores promedios de las áreas medidas del Aeropolicial y en la figura 3.6 se indica el Gráfico de valor promedio de Aeropolicial.

Tabla 3.2 Valores promedios medidos en el AeroPolicial

Ítem	Fecha	Hora	Valor Medio	Área
------	-------	------	-------------	------

			Promedio (dB)	
1	07/10/2009	10:00	73	MANTENIMIENTO
2	07/10/2009	11:00	66	BODEGAS
3	07/10/2009	13:30	65	GUARDIANÍA
4	07/10/2009	14:30	62	OFICINA DE PILOTOS Y COMANDOS
5	07/10/2009	15:00	54,5	FINANCIERA

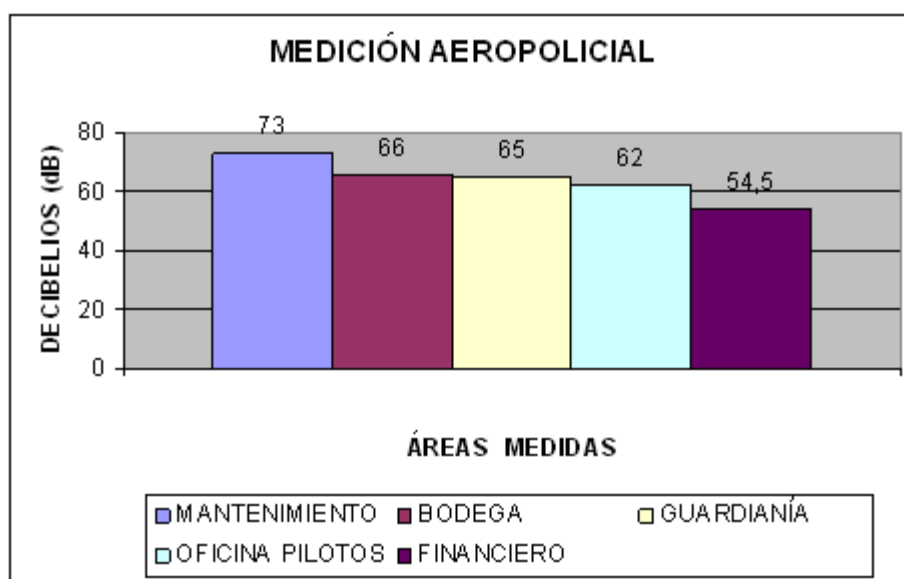


Figura 3.6 Gráfico de Valor Promedio de Aeropolicial

3.2 ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO

En la tabla 3.3 se indican los costos de fabricación del sonómetro.

Tabla 3.3 Costo de Fabricación del sonómetro

Ítem	Cantidad	Descripción	Valor(USD)
1	1	Microcontrolador 18F4550	100
2	1	Micrófono	20
3		Cables de conexión	50
4	1	Software de Adquisición de datos	300

5	1	Chasis	130
6	1	Materiales de implementación	300
7	1	Costo de Instalación	100
Total			1000 dólares americanos

Según el análisis técnico el medidor de señales acústica llamado Sonómetro ha cumplido con todas las normas y exigencias al igual que un instrumento del mismo tipo que se encuentra a la venta en el mercado, por ejemplo un Sonómetro EXTECH Modelo 407727 tipo 2 cuesta 3200 dólares americanos; pero, se debe considerar también que el equipo diseñado es un conjunto de software y de hardware que tiene grandes prestaciones y que algunos otros no las tienen, así como también por cada mejora o ventaja, el costo del mismo aumenta cuantiosamente su valor. Además, si se desea comercializar este instrumento bajaría el costo por la compra de elementos en mayor volumen. Debido a la tecnología que se utiliza, en la comunicación de tipo USB y a que posee una interfase gráfica modificable a la necesidad del cliente, sería muy apetecible y versátil.

Por estas razones, se considera que el Sonómetro está dentro de los límites de costo de fabricación para este tipo de instrumentos y que realmente el precio es mediano en comparación de otros sistemas de las mismas características.

3.3 ALCANCES Y LIMITACIONES

- El sistema entrega a más de un valor de medida acústica, una interfase gráfica, donde se han proyectado la mayoría de necesidades para este tipo de estudios como por ejemplo (curvas, promedios, almacenamiento en la base de datos); además, el proyecto puede tener un mejoramiento continuo dependiendo de las necesidades del cliente.

- El sonómetro ha llegado a tener un tolerancia alrededor de $\pm 0,5$ en su valor, esto significa que el instrumento es uno de tipo 2 para propósito general de cualquier tipo de estudio de Sonometría.
- Gracias a la comunicación vía USB el sistema puede ser transportado hacia cualquier lugar porque no necesita de fuentes externas para su alimentación, ya que recibe la energía del mismo puerto USB.
- El sonómetro actualmente está situado como de tipo 2 lo que limita los estudios de precisión, que realizan los de tipo 1 y mucho menos se puede estudios en laboratorios, ya que se necesita mayor precisión en la medición, lo cual implicaría una mayor inversión económica si se desea construir un sonómetro de tipo 0.
- Se tendría limitaciones en el mejoramiento del hardware por su costo, por que se debería utilizar elementos de mayor precisión, lo cual no sucede con el software que se puede mejorar sin ninguna inversión económica extra.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Se diseñó y se implementó un Sonómetro con adquisición de datos hacia el PC y se analizó la contaminación acústica del Servicio AeroPolicial de la Policía Nacional.
- El sonómetro es un dispositivo que permite medir la contaminación acústica en un lugar específico.

- A partir de las mediciones realizadas por un sonómetro se pueden realizar recomendaciones acerca de la seguridad industrial, para evitar enfermedades de tipo ocupacional.
- En el diseño del sonómetro se consideraron cuatro etapas: adquisición, preamplificación, acondicionamiento e interfase gráfica, por la versatilidad de las herramientas utilizadas para el diseño del instrumento se realizaron estas etapas tanto en hardware como en software, dando lugar a la optimización de recursos del proyecto.
- En el mercado electrónico existen una infinidad de tipos de micrófonos, pero el que cumple con las características es uno de tipo electret condenser, que proporciona su propia fuente de alimentación y además es de tipo omni-direccional; es decir, capta los sonidos en todo su contorno.
- Los equipos electrónicos, deben utilizar dispositivos que se adaptan a los requerimientos del diseño. Para este caso se utilizó un microcontrolador PIC 18F4550 con características de comunicación USB y con una velocidad de 1.5 Mbit/s, que se adapta a los requerimientos del sonómetro.
- Existen dispositivos electrónicos que se comunican con la PC vía puerto USB, los cuales tienen grabados en sus memorias los controladores de tipo HID(Human Interface Device), es por esto que en el diseño de la comunicación se crearon controladores de tipo HID, para que el microcontrolador del sonómetro sea reconocido por la PC vía comunicación USB.
- Actualmente existen una cantidad muy alta de microcontroladores, pero el microcontrolador PIC 18F4550 tiene grandes características que se adaptan a las necesidades del sonómetro, como la adquisición de la señal, la conversión análogo-digital y la comunicación de tipo USB.
- Para el mejoramiento del diseño del sonómetro, se utilizó como fuente de alimentación del proyecto al voltaje entregado por el

puerto USB, disminuyendo la construcción de una fuente externa y reduciendo la dimensión de la tarjeta electrónica del sonómetro.

- En la etapa de preamplificación se utilizó un transistor de tipo bipolar en configuración emisor común, el cual entregó estabilidad en su amplificación; además, se consideró a éste transistor por su consumo de corriente, ya que está dentro de los parámetros de corriente que entrega el puerto USB.
- La Interfase Gráfica se la realizó en Labview 8.6, la cual es una herramienta de programación de tipo gráfica, se crearon pantallas para la interacción entre el sonómetro y el usuario; además, en estas pantallas se puede realizar análisis sonométricos basados en las curvas del sonido en tiempo real.
- La conversión lineal a exponencial es fundamental en el diseño del sonómetro, ya que es la encargada de realizar la conversión de la señal acondicionada por el microcontrolador a una señal exponencial, para ser interpretada en las gráficas del HMI y luego ser medida en decibelios.
- Se desarrolló la base de datos en Microsoft Access 2003, logrando optimizar los recursos computacionales en comparación con otros gestores de bases de datos como SQL y Oracle; además, ésta base de datos es una herramienta de gran ayuda, ya que almacena un sin número de mediciones, clientes y lugares en las que se realizaron las mismas.
- Se creó la comunicación entre la base de datos Microsoft Access 2003 y Labview 8.6 gracias a las VIs de LabSQL, que son herramientas de acceso libre y código abierto.
- El sonómetro es de tipo 2 con una tolerancia de error de ± 1 dB, por lo que se encuentra dentro de las características de diseño del proyecto.
- En el software del sonómetro se pueden realizar mejoras, todo depende de las necesidades del usuario y de la inventiva del programador.

- Al hardware del sonómetro no se puede realizar muchas mejoras con los elementos que se manejan actualmente, pero si el usuario necesita aumentar las prestaciones del sonómetro o mejorar la precisión, se debería aumentar costos para adquirir elementos de mayor tecnología.
- Los estudios sonométricos ayudan a prevenir enfermedades auditivas, que pueden llegar hasta la pérdida total de la audición.
- Las normas OSHA indican los valores máximos y tiempos máximos en los cuales una persona puede estar bajo contaminación acústica, sin tener efectos perjudiciales para su salud.
- Los niveles de ruido del AeroPolical no son constantes ya que depende mucho del área donde se realice la medición y también de las aeronaves que entran o salen del Aeropuerto Mariscal Sucre de la ciudad de Quito.
- Según los datos obtenidos, el AeroPolical se encuentra dentro de los estándares de la norma OSHA; además, se verificó que en ciertas áreas como Mantenimiento, el personal utiliza doble protección auditiva que ayuda a atenuar el impacto del sonido mayor a 75 decibelios.
- Se verificó que el edificio del AeroPolical se encuentra a un promedio menor de 70 decibelios, ya que en la práctica en cualquier área se puede conversar con facilidad como especifica la norma OSHA.

4.2 RECOMENDACIONES

- Al conectar los terminales del micrófono se debe considerar que estos tienen polaridad tanto positiva como negativa.
- Al momento de realizar conexiones de comunicación, transmisión y recepción de datos vía USB, se debe tener mucho cuidado con los terminales de polarización, ya que si se produce un corto

circuito por cruce de terminales, pueden afectarse tanto el microcontrolador como el puerto USB del computador.

- El micrófono del instrumento de medición debe estar ubicado a una altura entre 1,0 y 1,5 m del suelo y a una distancia de por lo menos 3 (tres) metros de las paredes de edificios o estructuras que puedan reflejar el sonido.
- El sonómetro no deberá estar expuesto a vibraciones mecánicas y en caso de existir vientos fuertes, se deberá utilizar una pantalla protectora en el micrófono del instrumento.
- Para la realización de la placa en baquelita se recomienda la utilización de programas que den facilidades, como por ejemplo realizar las diferentes vistas y las pistas de los diagramas esquemáticos y pictóricos con sus respectivas simulaciones.
- Para la comunicación entre el microcontrolador del sonómetro y el puerto USB de la PC se debe revisar la creación de los controladores de extensión .INF y .PNF en la dirección C:\WINDOWS\INF, ya que si los controladores no se encuentran en la carpeta INF no existirá comunicación alguna.
- El puerto USB sirve de fuente de alimentación del sonómetro, pero se debe considerar que el puerto puede entregar hasta 500 mA, luego de esta corriente se pone en peligro su funcionamiento.
- Para la calibración del sonómetro, se debe utilizar un calibrador tipo 2, ya que el calibrador QUEST TECHNOLOGIES QC-20 es de este tipo.
- Para la conversión de señal lineal a exponencial se recomienda realizar una interpolación entre punto máximo de medida y el punto mínimo, para luego realizar la ecuación que represente la función exponencial y de igual forma proceder a programar en Labview.
- El personal que labora en el AeroPolicial debe tener en consideración que al entrar al área de mantenimiento o de bodega debe utilizar protección auditiva, ya que los daños en el

oído o enfermedades que implica la audición se presentan con el transcurrir del tiempo.

- El estudio de sonometría se debe realizar por lo menos una vez al año para verificar los niveles de ruido o contaminación, ya que el sonido en el AeroPolicial no es constante, depende mucho del tráfico aéreo que circula en el Aeropuerto Mariscal Sucre de la ciudad de Quito.
- El personal que labora en el AeroPolicial se debe realizar exámenes auditivos por lo menos anualmente, ya que es la única forma de verificar los trastornos que produce el ruido en el oído humano.
- Se debe señalar el área donde se presentan los mayores niveles de contaminación acústica e indicar la utilización de las protecciones auditivas en estos lugares.
- Para el diseño de sonómetros similares se debe partir de las características del mismo, como por ejemplo el tipo y cual es el área donde se lo va utilizar, es decir con fines generales, médicos o laboratorios, teniendo todas estas características se podrá realizar la división de etapas necesarias para el diseño de un sonómetro.
- Actualmente el sonómetro se ha convertido en un instrumento fundamental en la seguridad industrial, ya que con el transcurrir del tiempo las industrias y las mismas ciudades se han convertido en una fuente de ruido, es por esto que se recomienda la utilización de este instrumento en lugares ruidosos para evidenciar el sonido y realizar correcciones si son necesarias.

BIBLIOGRAFÍA

- Diseño con Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Analógicos, Tercera Edición, Sergio Franco, Mc GRAW HILL.
- Dispositivos Semiconductores, Quinta Edición, JASPRIT SINGH, Mc GRAW HILL.
- Teoría de Circuitos y dispositivos electrónicos, Octava Edición, Boylestd Nashelsky.
- Sistemas Electrónicos Digitales, Novena Edición, Enrique Mandado Pérez, Alfaomega.
- Diseño Electrónico (Circuitos y Sistemas), Tercera Edición, Savant JR, Prantince Hall.
- Circuitos Microelectrónicos, Quinta Edición, Adel Sedra y Kenneth C Smith, Mc GRAW HILL.
- Diseño e Implementación de un Electrocardiograma. García Marcelo, Tapia Jessy, Tesis ESPE-Latacunga, 2007
- Diseño e Implementación de un Audiómetro Virtual, con aplicación del análisis del efecto aural en los habitantes de la ciudad de la Latacunga, Pazmiño Marcela, Tesis ESPE-Latacunga, 2005.
- Diseño y Construcción de un Audiómetro, Tapia Víctor, Tesis ESPE-Latacunga, 1997.

ENLACES

- ar.geocities.com/bolanosdj/circuitos_archivos/MISONOMETRO.pdf
- <http://proton.ucting.udg.mx/somi/memorias/electron/Ele-32.pdf>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Audicion>
- <http://www.ruidos.org/Documentos/sonometros.html>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Adquisici%C3%B3n_de_datos
- <http://www.ehu.es/acustica/espanol/ruido/inmes/inmes.html>
- <http://www.desi.iteso.mx/elec/instru/electronica.pdf>
- <http://www.monografias.com/trabajos34/microcontroladores-genericos/microcontroladores-genericos.shtml>
- <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632D.pdf>
- www.cneisi.frc.utn.edu.ar/papers/3642e51321ca65a8eeead6a302e.pdf
- <http://es.wikipedia.org/wiki/HID>
- http://www.cpwr.com/pdfs/pubs/hazard_alerts/Kfspanno.pdf
- http://www.ruidos.org/Referencias/Ruido_efectos.html
- <http://jeffreytravis.com/lost/labsql.html>
- <http://forums.ni.com/ni/board/message?board.id=170&message.id=221473>
- <http://software.informer.com/getfree-download-labsql/>
- <http://quiagaleon.hispavista.com/pagina-web/microchip>
- <http://foro.webdearde.com/viewtopic.php?f=24&t=2608>
- <http://www.bricogeek.com/shop/204-pic-18f4550-48mhz-16k.html>
- http://proteus.110mb.com/Simulaciones_pic_18f4550_p1.html
- http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=2046
- <http://www.microchip.com/>
- http://www.quest-mexico.com/pb/wp_078a32f0/wp_078a32f0.html
- <http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/sonometro-66060.html>

- <http://www.grupomeyer.com.mx/fichas/Paginaweb/VibhumanasVI410.pdf>
- http://www.optiprosi.com/catalogos/s_dosfam.pdf
- <http://www.mundodvd.com/archive/index.php/t-10319.html>
- <http://www.elblogdelaprevencion.com/equipos-de-medida-del-ruido-sonometro/>
- <http://www.todoespia.com/tienda/?padre=52&cat=98&cate=Son%F3metros%20y%20Pol%FAmetros>
- http://www.taringa.net/posts/novatos/783061/Excelente-libro-de-acustica-en-pdf!!!!-por-F_-Alton-Everest.html
- <http://personal.redestb.es/azpiroz/libros.htm>

ANEXOS

Diseño e Implementación de un Sonómetro con adquisición de datos hacia el PC y Estudio de contaminación acústica del Servicio AeroPolicial de la Policía Nacional

Rodrigo Fernando Flores Maigua¹ Carlos Iván Burbano Chávez²

¹ Departamento de Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica del Ejército Sede Latacunga, Márquez de Maenza S/N Latacunga, Ecuador. email : rflores1104@hotmail.com

² Departamento de Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica del Ejército Sede Latacunga, Márquez de Maenza S/N Latacunga, Ecuador. email: calos_ivan_burbano_chavez@hotmail.com

El sonómetro o decibelímetro es un instrumento que incurre en el campo de la bioelectrónica, este dispositivo en sus inicios se utilizó con propósitos acústicos y después fue adoptado por organismos de seguridad e higiene industrial como indicador en la prevención de la pérdida de la audición.

El sonómetro incursiona dentro del campo de la bioelectrónica, ya que esta materia se dedica a la creación de dispositivos e instrumentos electrónicos, que sirvan a los profesionales de la medicina como herramienta de diagnóstico y análisis, las cuales los lleve a obtener datos más precisos en sus estudios e investigaciones sobre el cuerpo humano.

En muchas ocasiones es deseable conocer a que niveles de ruido está sometido un individuo, por ejemplo en ambientes industriales donde las personas están expuestas a intensas fuentes de ruido debe conocerse si los niveles del mismo están dentro de los límites aceptables, ya que de no respetarse estos límites la persona podría contraer diferentes tipos de enfermedades que van desde el estrés hasta la pérdida de la audición en forma irreversible.

Para verificar el funcionamiento del sonómetro diseñado en este proyecto de tesis, se procedió a realizar diferentes pruebas tanto para la calibración de hardware y la programación de software, entre estas pruebas se realizó la medición acústica e informe de novedades correspondiente al Servicio AeroPolicial que se encuentra ubicado en la ciudad de Quito en el Aeropuerto Mariscal Sucre y como complemento se realizó pruebas en la Escuela Politécnica del Ejército Sede Sangolquí, en esta sede se procedió a utilizar el calibrador QUEST TECHNOLOGIES QC-20 para verificar la calibración en el sonómetro diseñado.

ABSTRACT: The Sound Level Meter or Decibel is an instrument that falls into the field of bioelectronics, this device was used in its early acoustical purposes and later adopted by security agencies and industrial hygiene as an indicator in the prevention of hearing loss.

The sound level meter foray into the field of bioelectronics, since this matter is dedicated to the creation of electronic devices and instruments, serving the medical professionals and diagnostic and analytical tool, which takes them to obtain more precise data their studies and research on the human body.

It is often desirable to know that noise is under an individual, eg in industrial environments where people are exposed to intense noise sources must be known if the same levels are within acceptable limits, since not complied these limits the person could get different types of diseases ranging from stress to loss of hearing in an irreversible manner.

To verify the operation of sound level meter designed in this thesis project, we proceeded to perform different tests for calibrating both hardware and software programming, among these tests were performed acoustic measurement and reporting for the news service found AeroPolicial located in the city of Quito Mariscal Sucre Airport and in addition are tested at the Escuela Politécnica del Ejército Sede Sangolquí, at headquarters is proceeded to use the gauge Quest Technologies QC-20 to check the calibration on the meter design.

I. INTRODUCCIÓN

El sonómetro o decibelímetro es un instrumento que permite medir el nivel de presión acústica (expresado en dB). Está diseñado para responder al sonido casi de la misma forma que el oído humano y proporcionar mediciones objetivas y reproducibles del nivel de presión acústica⁴.

El sonido es parte tan común en nuestra vida diaria pero no se aprecia sus funciones, proporciona agradables experiencias en la audición de la música, posibilita la comunicación hablada y alerta o previene en múltiples circunstancias.

El sonido es toda variación de presión (vibración) en el aire, en el agua o cualquier medio elástico, que pueda ser detectada por el oído humano. Al número de variaciones de presión por segundo se le llama *frecuencia* del sonido y es medida en ciclos por segundos (Hz). La frecuencia de un sonido produce su tono distintivo, así, el sonido de un trueno tiene un tono de frecuencia baja, mientras que una sirena tiene un tono de frecuencia alta. El rango de audición para una persona joven y saludable abarca aproximadamente de 20Hz a 20,000 Hz (20kHz). La rapidez con que viaja el sonido depende del medio, por ejemplo si el medio es el aire lo hace a una velocidad de 1,238 Km/H y para propósito de mediciones acústicas ésta es de 324 m/s a condiciones normales de presión y temperatura. Conocidas la velocidad y frecuencia de un sonido se puede determinar su longitud de onda (λ); es decir; la distancia física en el aire, desde el vértice de presión de una onda al de la siguiente. A los sonidos que son desagradables al oído se les conoce como RUIDO, el cual es una compleja compilación de señales con diferentes amplitudes y frecuencias, que varían aleatoriamente. El grado de molestia del ruido no sólo depende de sus cualidades, sino también de la actitud, hacia él, pero puede causar daños irreversibles al oído humano.

Las medidas sonoras permiten el análisis preciso y científico de los sonidos molestos. Aunque hay que recordar que por las diferencias psicológicas y fisiológicas entre los individuos, el grado de molestia de una señal dada para una persona no se puede medir científicamente, pero las medidas proporcionan un medio objetivo para comparar los sonidos molestos, bajo diferentes condiciones. Por otro lado, las medidas sonoras indican cuando un sonido puede causar daños sensoriales, para adoptar disposiciones correctas. La medición de los sonidos sirve como una herramienta de diagnóstico para prevenir daños en el oído humano. La medida más corriente en el ruido comunal es el nivel en dB(A) y se realiza con un sonómetro provisto con un filtro con ponderación tipo A, que simula la respuesta del oído. El nivel en dB(A) se usa para describir los ruidos ambientales e intrusos. En la medición del sonido deben considerarse los criterios para ruidos de régimen permanente, que son aplicables a la persona, como por ejemplo: obreros expuestos durante toda la jornada de trabajo a los mismos niveles en dB(A). La medida del ruido permanente se suele realizar con sonómetros provistos de ponderación tipo A.

⁴ ar.geocities.com/bolanosdj/circuitos_archivos/MISONOMETRO.pdf

El ruido se debe medir en la posición ocupada por la cabeza del obrero, con un micrófono omnidireccional para garantizar que todas las fuentes del ruido intervengan en la medición. La finalidad de los programas de acción contra el ruido industrial y de conservación del oído, es proteger a los empleados contra pérdidas permanentes del oído, en la gama de frecuencias de la audición, por exposición a niveles elevados del ruido. La exposición a niveles elevados del ruido, incluso durante breves periodos, produce pérdidas temporales del oído. En los casos de pérdida por exposición en breves periodos, produce una rápida recuperación al volver al medio normal, pero cuando la exposición es de todos los días, durante años, el empleado termina experimentando una pérdida permanente del oído.

Como la pérdida se desarrolla en un periodo largo, los ambientes ruidosos se consideran riesgos contra la salud, en lugar de riesgos contra la seguridad. No se ha establecido un criterio uniforme con respecto a cómo deben ser las normas sobre la exposición al ruido en el trabajo, ya que varían de país en país e incluso, en un país, de una región a otra. Los criterios más utilizados son los de la Norma ISO R1999 y la Norma OSHA, ambos criterios prescriben un nivel de exposición continuo máximo de 90 dB(A), durante una jornada de 8 Hrs. de trabajo, actualmente los departamentos de seguridad física de una empresa se basan en el criterio estipulado por la OSHA, la cual norma el límite máximo de exposición por valoración de área, por ejemplo: 8 Hrs. a 90 dB(A) ó 4 Hrs. a 95 dB(A)⁵.

Más allá de las ondas sonoras físicas del sonido, el proceso de la audición humana implica procesos fisiológicos, derivados de la estimulación de los órganos de la audición y procesos psicológicos, derivados del acto consciente de escuchar un sonido.

Puede dividirse el sistema auditivo en dos partes:

- Sistema auditivo periférico (el oído), responsable de los procesos fisiológicos que captan el sonido y lo envían al cerebro.
- Sistema auditivo central (nervios auditivos y cerebro), responsable de los movimientos psicológicos que conforman lo que se conoce como percepción sonora.

En el ser humano la capacidad de percibir sonidos se realiza por medio del oído. Anatómicamente el oído tiene tres partes: el oído externo, medio e interno.

- En la Figura 1 se muestra las partes principales del oído humano.

⁵ <http://proton.ucting.udg.mx/somi/memorias/electron/Ele-32.pdf>

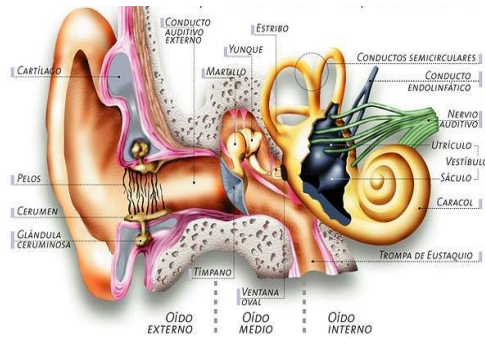


Figura 1. Partes del oído

El oído capta los sonidos de la siguiente manera: La oreja capta las ondas sonoras que se transmiten a través del conducto auditivo hasta el tímpano. El tímpano es una membrana flexible que vibra cuando le llegan las ondas sonoras, ésta vibración llega a la cadena de huesecillos que amplifican el sonido y lo transmiten al oído interno a través de la ventana oval. Finalmente las vibraciones "mueven" los dos líquidos que existen en la cóclea (perilinfia y endolinfa), deformando las células ciliadas existentes en el interior. Estas células transforman las ondas sonoras en impulsos eléctricos que llegan al nervio auditivo y de este nervio a la corteza auditiva que es el órgano encargado de interpretar los sonidos³.

II. DESARROLLO

2.1 Especificación de Requisitos del Sistema.

El diseño y montaje de un sonómetro ayuda en el diagnóstico necesario para el estudio y aplicación de normas de seguridad referentes al ruido tolerado por el ser humano en el campo de la Seguridad Industrial, En este caso particular el dispositivo será calibrado bajo las normas OSHA.

Para el efecto, se establece que la implementación se lleve a cabo en los siguientes términos:

1. El equipo indicará el sonido que se encuentra en un lugar específico; además, se podrá contar con un documento de extensión (xls) donde indicarán valores referentes a los medidos en un estudio sonométrico. Se incluye también el diseño de una base de datos donde se irán almacenando los datos obtenidos.
2. Diseño e implementación de la tarjeta para obtener los resultados deseados en cuanto a valores medidos. Comunicación USB.
3. Selección del software para la mejor visualización de los parámetros medidos dentro de un estudio de sonometría.
4. Acondicionar las señales analógicas de entrada, para no perder información ya que este instrumento se utilizará en ambientes ruidosos los cuales pueden provocar pérdidas de información.
5. Generación de la documentación técnica necesaria: manual de usuario.

2.2 Diagrama de Bloques del Sistema

El Diagrama de Bloques del Sonómetro con adquisición de datos hacia el PC se presenta en la Figura 2 y consta de los siguientes bloques:

³ <http://es.wikipedia.org/wiki/Audicion>

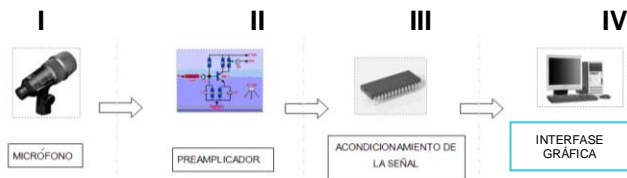


Figura 2. Diagrama de Bloques del Sonómetro con adquisición de datos hacia el PC

BLOQUE I: Es la etapa de la adquisición de datos, donde el transductor convertirá la señal acústica en una señal eléctrica, los únicos micrófonos que cumplen con las normas establecidas son los de tipo electret condensador que están formados por un diafragma metálico, frente a una placa rígida y como dieléctrico al aire, lo cual forma un condensador.

BLOQUE II: Esta etapa es el preamplificador, el cual está inmediatamente detrás del micrófono para reducir la alta impedancia y así poder utilizar cables alargadores para conectarlos al resto de la cadena de medida con una impedancia de entrada relativamente baja. El preamplificador debe tener un ruido eléctrico muy bajo, una dinámica y rango de frecuencia mayor que las del micrófono que se le conecte.

BLOQUE III: Consta de un microcontrolador del tipo PIC 18F4550, el que realiza la comunicación USB entre el computador y la tarjeta del sonómetro; además, se encarga de realizar el acondicionamiento de la señal y la conversión análogo-digital para luego entregar la información al computador y ser visualizada mediante una interfase gráfica.

BLOQUE IV: Como último bloque se tiene a la interfase gráfica del sistema, esta HMI(Interfase Humano Máquina) está diseñada en Labview 8.6, que será capaz de indicar los valores del sonido, generar reportes y almacenar en la base de datos. La comunicación entre la PC y el μ c es vía USB, alcanzando velocidades de transmisión de datos de 12 Mbits/s.

2.6 Diseño de la Interfase Gráfica

Para realizar la interfase gráfica se consideró a LabVIEW 8.6 como herramienta de diseño, ya que constituye un revolucionario sistema de programación gráfica para aplicaciones que involucran adquisición, control, análisis y presentación de datos. Además, LabVIEW 8.6 es un entorno de programación destinado al desarrollo de aplicaciones similar a los sistemas de desarrollo comerciales que utilizan el lenguaje C o BASIC; sin embargo, LabVIEW 8.6 se diferencia de dichos programas en un importante aspecto, los citados lenguajes de programación se basan en líneas de texto para crear el código fuente del programa, mientras que éste software utiliza la programación gráfica o lenguaje G para crear programas basados en diagramas de bloques. Además, se utilizará una herramienta de National Instruments conocida como VISA que es una aplicación de una interfase de programación que se comunica con buses de instrumentación, plataformas y medios independientes, en este caso se comunicará mediante el Bus USB.

En la figura 3 se presenta la pantalla principal del programa donde se realiza la interacción entre el usuario y el sonómetro, teniendo cinco tipos de opciones (Gráfico, General, Gráfico Histórico, Máximo, Mínimo y Promedio, Grabar en Excel, Base de Datos y PARADA).



Figura 3. Pantalla Principal

3.1 Detalles de construcción del Sonómetro.

Luego del diseño y programación de los componentes del sonómetro se procedió al armado del circuito en protoboard para la comprobación del diseño de la adquisición de datos y la comunicación con la interfase gráfica. En la figura 4 se indica el sonómetro armado en protoboard para pruebas experimentales.

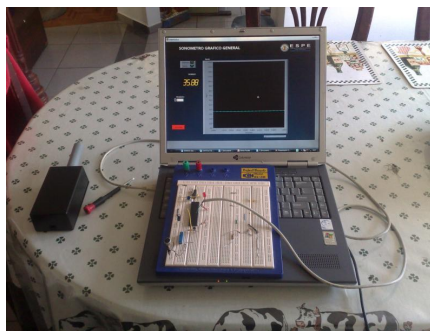


Figura 4. Sonómetro armado en protoboard para pruebas experimentales.

Al comprobar el funcionamiento del sonómetro en el protoboard se procede a realizar la tarjeta electrónica en baquelita. En la figura 5 se indica la tarjeta electrónica del sonómetro.

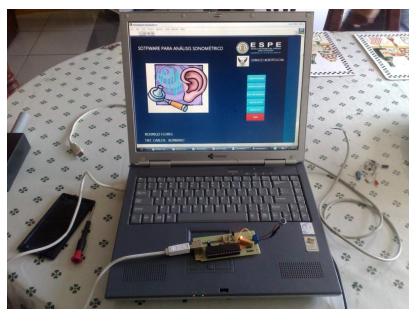


Figura 5. Tarjeta electrónica del sonómetro

3.2 Calibración del Sonómetro

El sonómetro fue calibrado mediante un calibrador QUEST TECHNOLOGIES QC-20 CALIBRATOR de propiedad de la Escuela Politécnica del Ejército

Sede Sangolquí. En la figura 6 se indica al calibrador QUEST TECHNOLOGIES QC-20.



Figura 6. Calibrador QUEST TECHNOLOGIES QC-20

Para la calibración del sonómetro se realizó el siguiente procedimiento :

1.- Se introdujo el micrófono del sonómetro dentro del calibrador QUEST TECHNOLOGIES QC-20, el cual reproduce sonidos a 94 y 114 decibelios a una frecuencia de 250 Hz y 1 KHz, luego de las pruebas experimentales se tuvo los resultados que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Medición de Pruebas Experimentales con el sonómetro y el calibrador QUEST.

Fecha	Hora	Calibrador (decibelios)	Sonómetro (decibelios)	ERROR	OBSERVACIONES
02/10/2009	9:00	114	139,7	0.3	Dentro de rango Sonómetro Tipo 2
02/10/2009	9:30	94	93.78	0.22	Dentro de rango Sonómetro Tipo 2
02/10/2009	9:55	114	114	0	Dentro de rango Sonómetro Tipo 2
02/10/2009	10:30	94	93.4	0.6	Dentro de rango Sonómetro Tipo 2
02/10/2009	11:45	114	114.3	-0.3	Dentro de rango Sonómetro Tipo 2
02/10/2009	12:45	94	93.5	0.5	Dentro de rango Sonómetro Tipo 2
02/10/2009	13:00	114	114.2	-0.2	Dentro de rango Sonómetro Tipo 2
02/10/2009	14:45	94	93.7	0.3	Dentro de rango Sonómetro Tipo 2
02/10/2009	15:00	114	114.55	-0.55	Dentro de rango Sonómetro Tipo 2
02/10/2009	16:30	94	93.2	0.8	Dentro de rango Sonómetro Tipo 2

Luego de culminar la calibración se analizaron los resultados obtenidos, concluyendo que es un sonómetro de tipo 2 de propósito general, todas estas mediciones se encontraron dentro de las expectativas de diseño.

La calibración del sonómetro también se realizó mediante el software del programa, ya que se cambió de una señal de tipo lineal a una de tipo logarítmica utilizando las herramientas de Labview, para esto se realizó una interpolación entre el punto máximo y mínimo de medición del calibrador. La ecuación 1 indica la función encontrada luego de realizar la interpolación y en la figura 7 se indica la calibración del sonómetro mediante software.

$$y = 70.678 \ln(x) - 338.59 \quad \text{ec. 1}$$

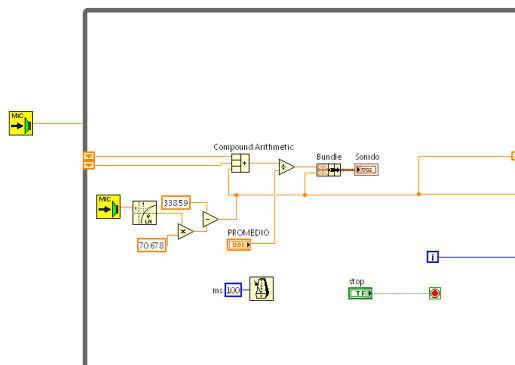


Figura 7. Calibración del sonómetro mediante software

IV. RESULTADOS OBTENIDOS

Dentro del AeroPolicial se encuentran diferentes departamentos y oficinas (Mantenimiento, Bodega, Guardianía, Secretaría, Oficina de Pilotos, Oficina de Comando y Financiero), las pruebas experimentales se realizaron de la siguiente manera:

1.- Se midió, con ayuda del sonómetro, el área de mantenimiento, siendo uno de los lugares más ruidosos ya que se encuentra en contacto directo con la fuente de ruido como son motores, hélices que se encuentran a prueba o en mantenimiento, esta medición tuvo un promedio de 73 dB. En la figura 8 se indica la medición del área de mantenimiento.



Figura 8. Medición del área de mantenimiento

2.- Se procedió a la medición en las bodegas, en esta área se obtuvo una medición promedio de 66 dB.

3.- Luego se procedió a medir el área de guardianía teniendo una medición promedio de 65 dB.

4.- En el área de Oficina de Pilotos y Oficina de Comando se midió un promedio de 63 dB.

5.- Para culminar se monitoreó en el área financiera donde se obtuvo un valor de 54.5 dB.

En la figura 9 se indica el Gráfico de valor promedio de Aeropolicial.

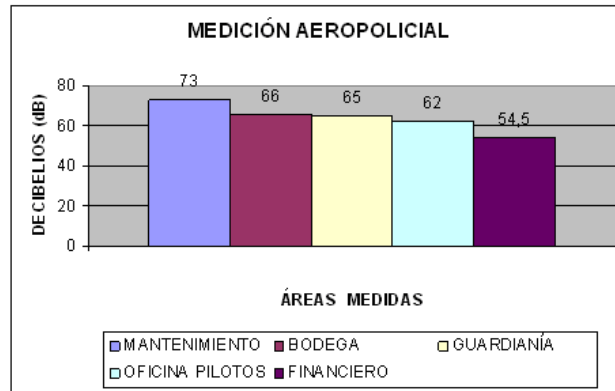


Figura 9. Gráfico de Valor Promedio de Aeropolicial

VI. CONCLUSIONES

- I. A partir de las mediciones realizadas por un sonómetro se pueden realizar recomendaciones acerca de la seguridad industrial, para evitar enfermedades de tipo ocupacional.
- II. En el diseño del sonómetro se consideraron cuatro etapas: adquisición, pre-amplificación, acondicionamiento e interfase gráfica, por la versatilidad de las herramientas utilizadas para el diseño del instrumento se realizaron estas etapas tanto en hardware como en software, dando lugar a la optimización de recursos del proyecto.
- III. En el mercado electrónico existen una infinidad de tipos de micrófonos, pero el que cumple con las características es uno de tipo electret condenser, que proporciona su propia fuente de alimentación y además es de tipo omni-direccional; es decir, capta los sonidos en todo su contorno.
- IV. Los equipos electrónicos, deben utilizar dispositivos que se adaptan a los requerimientos del diseño. Para este caso se utilizó un microcontrolador PIC 18F4550 con características de comunicación USB y con una velocidad de 1.5 Mbit/s, que se adapta a los requerimientos del sonómetro.
- V. Existen dispositivos electrónicos que se comunican con la PC vía puerto USB, los cuales tienen grabados en sus memorias los controladores de tipo HID(Human Interface Device), es por esto que en el diseño de la comunicación se crearon controladores de tipo HID, para que el microcontrolador del sonómetro sea reconocido por la PC vía comunicación USB.
- VI. Actualmente existen una cantidad muy alta de microcontroladores, pero el microcontrolador PIC 18F4550 tiene grandes características que se adaptan a las necesidades del sonómetro, como la adquisición de la señal, la conversión análogo-digital y la comunicación de tipo USB.

- VII. Las normas OSHA indican los valores máximos y tiempos máximos en los cuales una persona puede estar bajo contaminación acústica, sin tener efectos perjudiciales para su salud.
- VIII. Los niveles de ruido del AeroPolical no son constantes ya que depende mucho del área donde se realice la medición y también de las aeronaves que entran o salen del Aeropuerto Mariscal Sucre de la ciudad de Quito.
- IX. Según los datos obtenidos, el AeroPolical se encuentra dentro de los estándares de la norma OSHA; además, se verificó que en ciertas áreas como Mantenimiento, el personal utiliza doble protección auditiva que ayuda a atenuar el impacto del sonido mayor a 75 decibelios.
- X. Se verificó que el edificio del AeroPolical se encuentra a un promedio menor de 70 decibelios, ya que en la práctica en cualquier área se puede conversar con facilidad como especifica la norma OSHA.

VII. REFERENCIAS

- [1] Diseño con Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Analógicos, Tercera Edición, Sergio Franco, Mc GRAW HILL.
- [2] Dispositivos Semiconductores, Quinta Edición, JASPRIT SINGH, Mc GRAW HILL.
- [3] Teoría de Circuitos y dispositivos electrónicos, Octava Edición, Boylestd Nashelsky.
- [4] Diseño e Implementación de un Electrocardiograma. García Marcelo, Tapia Jessy, Tesis ESPE-Latacunga, 2007.
- [5] <http://www.microchip.com/>

MANUAL DE USUARIO

OPERACIÓN DEL SOFTWARE PARA ANÁLISIS SONOMÉTRICO

Configuración Inicial

1. Conecte el sonómetro mediante el cable USB hacia el puerto USB del computador.
2. Encienda el sonómetro mediante el switch de encendido (ON).
3. Inicie el Software para Análisis Sonométrico. En la Figura B.1 se indica el software para el análisis sonométrico.



Figura B.1. Software para análisis sonométrico.

4. Presione la opción Gráfico General
 - Al presionar Gráfico General en la pantalla principal se presenta la Figura B.2 en donde se observa la respuesta del sonómetro, la cual indica el nivel de ruido existente en la zona muestreada.

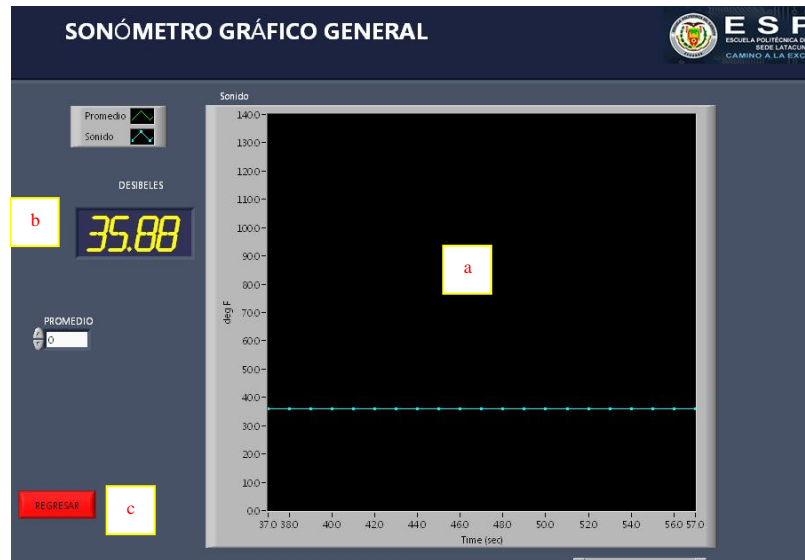


Figura B.2. Gráfico General

- La pantalla de la figura B.2 realiza las siguientes funciones:
 - Visualización de la variable adquirida (sonido).
 - Visualización de la variable mediante indicador.
 - Regreso a la pantalla principal.

5. Presione la opción Gráfico Histórico, como se indica en la Figura B.3



Figura B.3. Pantalla Principal

- Al presionar Gráfico Histórico en la pantalla principal se observa lo presentado en la Figura B.4.



Figura B.4. Pantalla Gráfico Histórico

- La pantalla de la figura B.4 realiza las siguientes funciones:
 - a) Gráfico con la medición real del sonido.
 - b) Gráfico con el promedio de la medición en un tiempo determinado.
 - c) Indicador de la variable sonido.
 - d) Regreso a la pantalla principal.
6. Presione la opción Máximos – Mínimos – Promedio, como se indica en la Figura B.5.



Figura B.5. Pantalla Principal

- Al presionar Máximos – Mínimos – Promedio en la pantalla principal se observa lo presentado en la figura B.6.



Figura B.6. Pantalla de Máximos, Mínimos y Promedio

- La pantalla de la figura B.6 permite seleccionar las siguientes funciones:
 - a) Gráfico con la medición real del sonido.
 - b) Gráfico con el promedio de la medición en un tiempo determinado.
 - c) Indicador de la variable sonido.

- d) Regreso a la pantalla principal.
- e) Indicador del valor máximo de la medición en un tiempo determinado.
- f) Indicador del valor mínimo de la medición en un tiempo determinado.
- g) Indicador del valor promedio de la medición en un tiempo determinado.
- h) Número de Orden de trabajo para almacenamiento en la base de datos.
- i) Ubicación del lugar de la medición para almacenamiento en la base de datos.

7. Presione la opción Base de Datos, como se indica en la Figura B.7.



Figura B.7. Pantalla Principal

- Al presionar Base de Datos en la pantalla principal se observa lo presentado en la Figura B.8.



Figura B.8. Base de Datos

- La pantalla de la Figura B.8 realiza las siguientes funciones:

- Almacenamiento de la Base de Datos.
- Opción para Añadir mediciones de la base de datos.
- Opción para Modificar mediciones de la base de datos.
- Opción para Borrar mediciones de la base de datos.
- Regreso a la pantalla principal.

8. Presione la opción Grabar en Excel, como se indica en la Figura B.9.



Figura B.9. Grabar en Excel

- Al presionar Grabar en Excel en la pantalla principal se observa lo presentado en la Figura B.10.

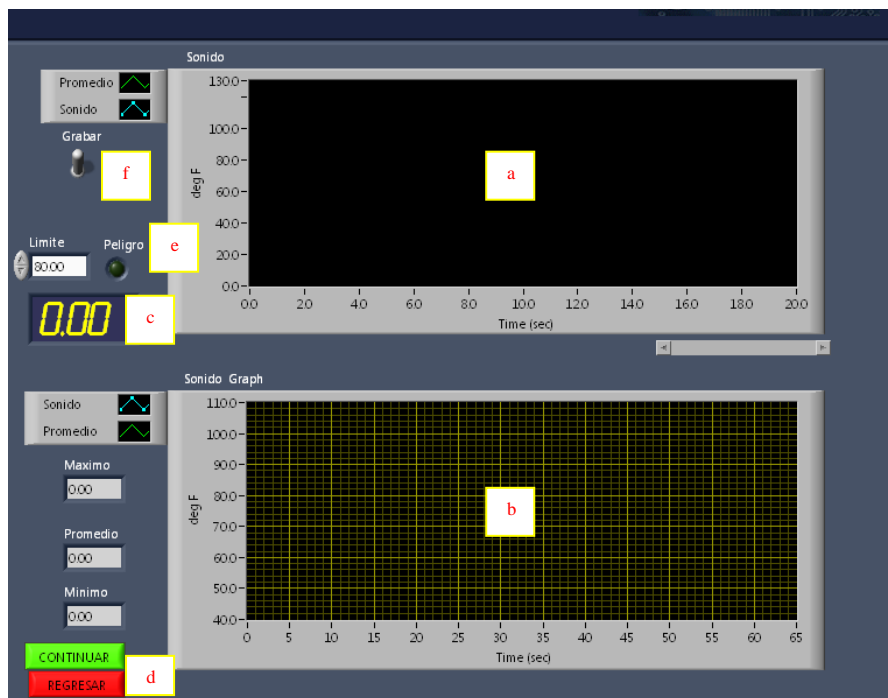


Figura B.10. Guardar en EXCEL

- La pantalla de la figura B.10 permite realizar las siguientes funciones:
 - a) Gráfico con la medición real del sonido.
 - b) Gráfico con el promedio de la medición en un tiempo determinado.
 - c) Indicador de la variable sonido.
 - d) Regreso a la pantalla principal.
 - e) Alarma visual programable.
 - f) Grabación en Excel.

Calibración

El medidor de nivel de sonido debe ser calibrado regularmente para asegurar su desempeño y verificar que no ha cambiado la sensibilidad del micrófono.

La calibración se realiza de la siguiente forma.

1. Coloque el calibrador externo sobre el micrófono del medidor de nivel de sonido y encienda el calibrador.
2. La lectura del medidor deberá aproximarse al nivel de salida dB del calibrador. Los niveles típicos de salida del calibrador son 94dB y 114dB.
3. Si el medidor está dentro de ± 1 dB de la salida del calibrador, no es necesario ajustar.

Colocación del medidor

El medidor puede ser usado a mano, montado en una pared, sobre un escritorio o un trípode. Para operación de montaje en pared, oriente el micrófono perpendicular a la pared para minimizar el efecto de reflexión acústica. Para montaje sobre escritorio, coloque encima del mismo en un lugar fijo. Se indica en la Figura B.11 la forma de colocación del sonómetro para mediciones.

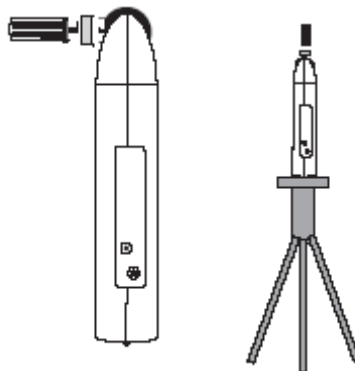


Figura B.11. Colocación del sonómetro para mediciones

ESTUDIO DE CONTAMINACIÓN ACÚSTICA EN EL SERVICIO AEROPOLICIAL

ANTECEDENTES

El primer vuelo del helicóptero Bell 206 fue en septiembre de 1997, esto marcó el inicio del Servicio AeroPolicial que nació en Quito como un nuevo mecanismo para precautelar la seguridad ciudadana.

En el 2000, se implementó este servicio en Guayas y en el 2006 en Santo Domingo de los Colorados. El objetivo es que la aviación policial cuente al menos con 20 naves, según el coronel Mario Segovia, propulsor de la Policía del Aire.

Según reporte del servicio Aeropolicial, desde su creación, se han cumplido más de 13.800 misiones en el Ecuador – 7.800 en Quito y más de 6.000 en el resto del país.

Aeropolicial sirve al país con tres bases: Quito, Guayaquil y Santo Domingo.

La de Quito tiene un grupo de pilotos especializados, que han sido debidamente entrenados en Chile, Perú, Colombia o han sido graduados en la FAE, Aviación Naval y Aviación del Ejército.

AeroPolicial realiza sus operaciones desde el Aeropuerto Mariscal Sucre; es por esta razón, que existe contaminación acústica en el medio que le rodea, por lo cual se deben realizar estudios de sonometría para precautelar alteraciones o enfermedades ocupacionales.

OBJETIVOS

Objetivo General

Realizar el estudio de la contaminación acústica del AeroPolicial ubicado en el Aeropuerto Mariscal Sucre de la ciudad de Quito.

Objetivos Específicos

- Medir los niveles de ruido de las diferentes áreas del AeroPolicial.
- Analizar los datos obtenidos por el sonómetro en las áreas del AeroPolicial.
- Obtener conclusiones y realizar las recomendaciones y conclusiones a partir del estudio sonométrico, considerando las normas OSHA para la seguridad industrial del personal del Servicio AeroPolicial.

METODOLOGÍA

La metodología que se utiliza consiste en la medición en campo, en las diferentes áreas del AeroPolicial para determinar los niveles de ruido o contaminación acústica y verificar si el Servicio AeroPolicial se encuentra dentro de las normas de seguridad que especifica la norma OSHA.

Datos Obtenidos

Los Datos se obtuvieron de las siguientes áreas: Mantenimiento, Pilotos y Comandos, Financiera, Bodega y Guardianía.

- **Área de Mantenimiento**

En la figura A1, se indican los valores medidos en el área de mantenimiento, en esta figura se observan los valores máximos, mínimos y promedios medidos por el sonómetro en decibelios(dB).

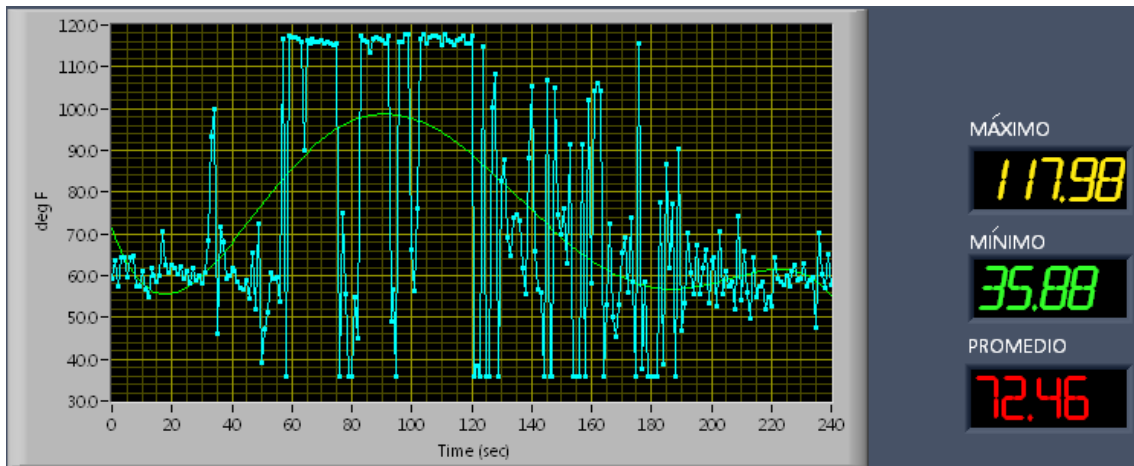


Figura A1. Valores medidos en el área de mantenimiento

- **Área de Pilotos y Comandos**

En la figura A2, se indican los valores medidos en el área de pilotos y comandos, en esta figura se observan los valores máximos, mínimos y promedios medidos por el sonómetro en decibelios(dB).

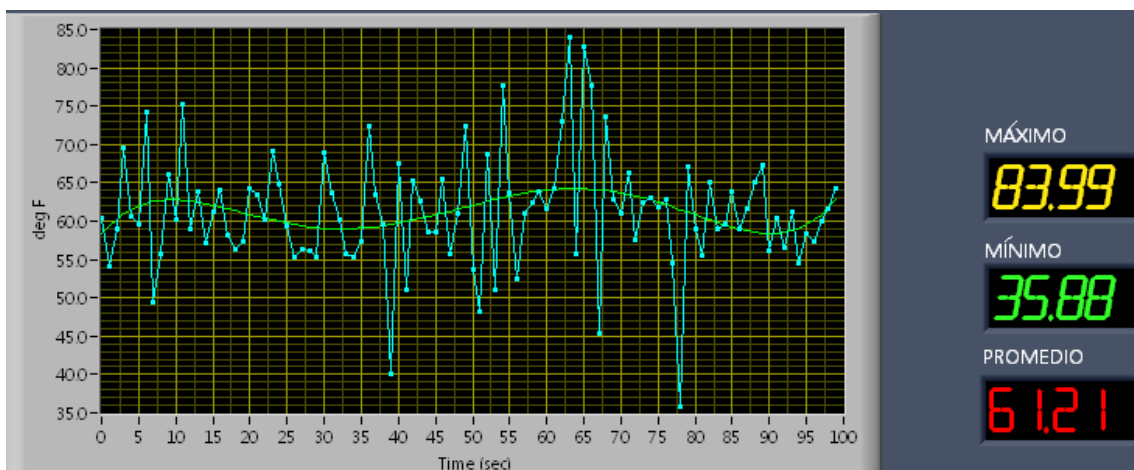


Figura A2. Valores medidos en el área de pilotos y comandos

- **Área Financiera**

En la figura A3, se indican los valores medidos en el área financiera, en esta figura se observan los valores máximos, mínimos y promedios medidos por el sonómetro en decibelios(dB).

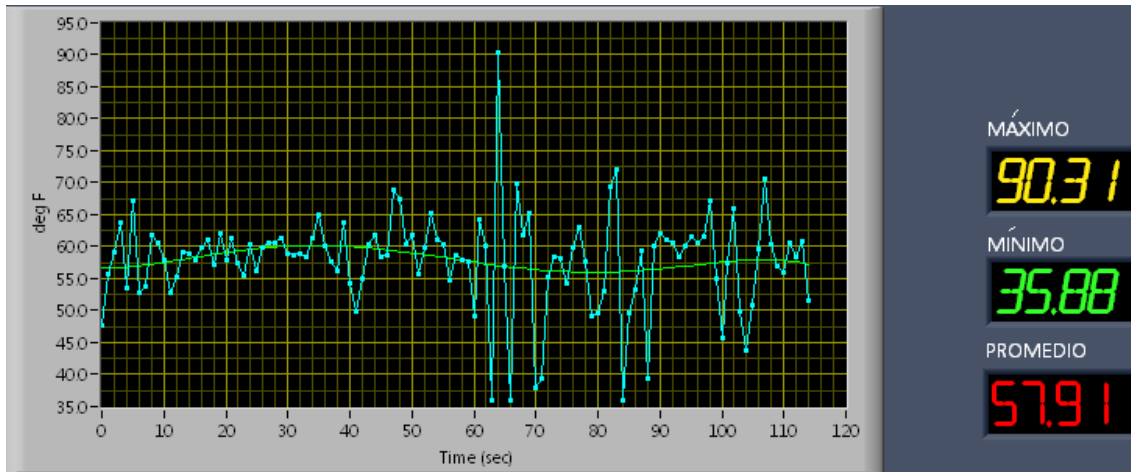


Figura A3. Valores medidos en el área financiera

- **Área de Bodegas**

En la figura A4, se indican los valores medidos en el área de bodegas, en esta figura se observan los valores máximos, mínimos y promedios medidos por el sonómetro en decibelios(dB).

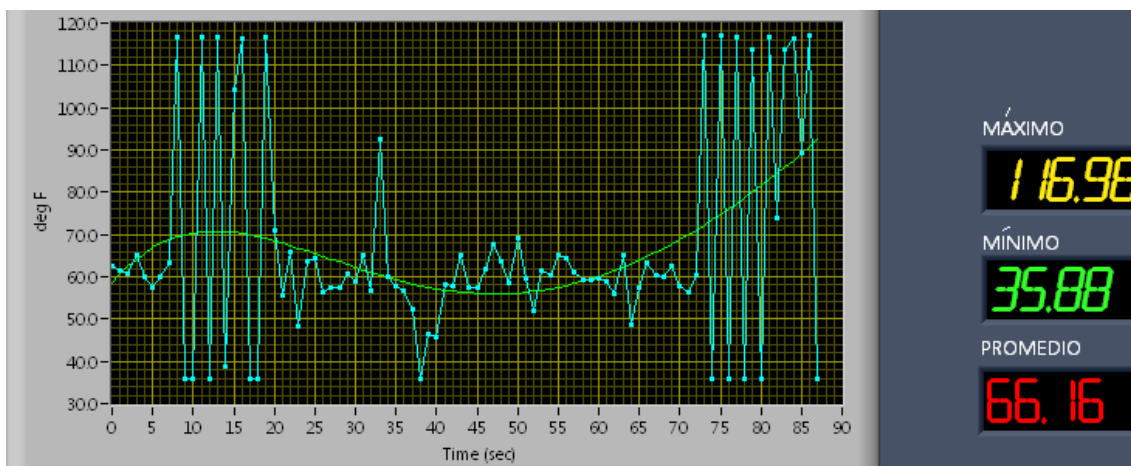


Figura A4. Valores medidos en el área de bodegas

Área de Guardianía

En la figura A5, se indican los valores medidos en el área de guardianía, en esta figura se observan los valores máximos, mínimos y promedios medidos por el sonómetro en decibelios(dB).

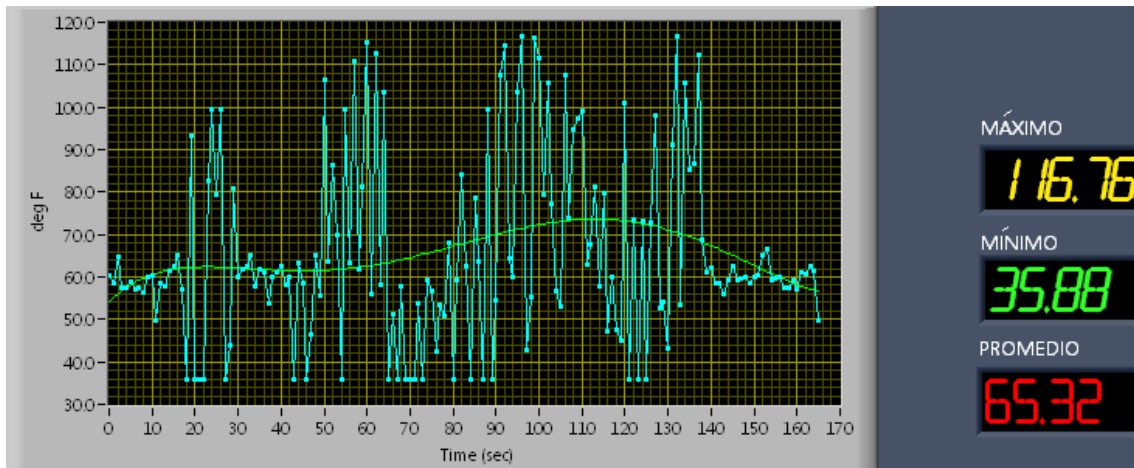


Figura A5. Valores medidos en el área de guardianía

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Marco Legal de referencia

La Norma Técnica dictada bajo el amparo del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, Libro VI Anexo V, publicada en el Registro Oficial No.- 3516 del 31 de Marzo del 2003, es la norma que se encuentra vigente y en la cual se establecen los niveles de presión sonora máxima permitida de acuerdo a la categoría del uso del suelo.

Niveles máximos permisibles de ruido

Los niveles de presión sonora equivalente expresados en decibeles, que se obtengan de la emisión de una fuente fija emisora de ruido, no podrán exceder los valores que se fijan en la Tabla A1.

Tabla A1. Valores Máximos de Ruidos Permisibles

NIVELES MÁXIMOS DE RUIDO PERMISIBLES SEGÚN LA ZONA	NIVEL DE PRESIÓN SONÓRA EQUIVALENTE	
	[dB(A)]	
	DE 06H00 A 20H00	DE 20H00 A 06H00
Zona Hospitalaria y Educativa	45	35
Zona Residencial	50	40
Zona Residencial mixta	55	45
Zona Comercial	60	50
Zona Comercial mixta	65	55
Zona Industrial	70	65

Luego de observar la referencia legal del Ministerio de Ambiente, se puede analizar las diferentes áreas del Servicio AeroPolicial.

- En el área de Mantenimiento se obtuvo una medición promedio de 73 dB, lo cual indica que ésta es una área altamente ruidosa, pero hay que considerar que esta fuente no es constante, ya que depende del tráfico aéreo del Aeropuerto Mariscal Sucre y del encendido o apagado de hélices de los helicópteros. Además, se evidenció la utilización de la doble protección auditiva del personal que labora en esta área, la protección auditiva atenúa el impacto del ruido que sobrepasa los 75 dB.
- En el área de Bodega se midió un promedio de 66 dB, que según referencia del Ministerio de Medio Ambiente se encuentra dentro de la norma, las mediciones en este lugar también dependen mucho del tráfico aéreo y de los trabajos que se están realizando, ya que se encuentra junto a la pista del Aeropuerto Mariscal Sucre.

- En el área de Guardianía se tiene una medición de 65 dB, lo cual está dentro de la norma establecida, este lugar está un poco alejado de la pista teniendo una contaminación aceptable.
- En el área de Pilotos y Comandos se obtuvo un valor de 62 dB, en este lugar se observó de igual forma que las mediciones están dentro de las normas establecidas; además, es un lugar donde el personal de oficiales labora diariamente y donde realiza sus labores sin ninguna dificultad al hablar, ya que como una prueba de campo se dice que si una conversación se realiza con gritos es una área contaminada y que no cumple con la norma OSHA.
- En el área Financiera se obtuvo una medición de 58 dB, este lugar es el más silencioso del Servicio AeroPolicial y es un área que se encuentra con vidrios atenuadores de ruido.

En la tabla A2, se indican los valores promedios de las áreas medidas del AeroPolicial.

Tabla A2. Valores promedios medidos en el AeroPolicial

Ítem	Fecha	Hora	Valor Medio Promedio (dB)	Área
1	07/10/2009	10:00	73	MANTENIMIENTO
2	07/10/2009	11:00	66	BODEGAS
3	07/10/2009	13:30	65	GUARDIANÍA
4	07/10/2009	14:30	62	OFICINA DE PILOTOS Y COMANDOS
5	07/10/2009	15:00	54,5	FINANCIERO

En la figura A6, se indica el promedio en forma gráfica del ruido existente en el Servicio AeroPolicial.

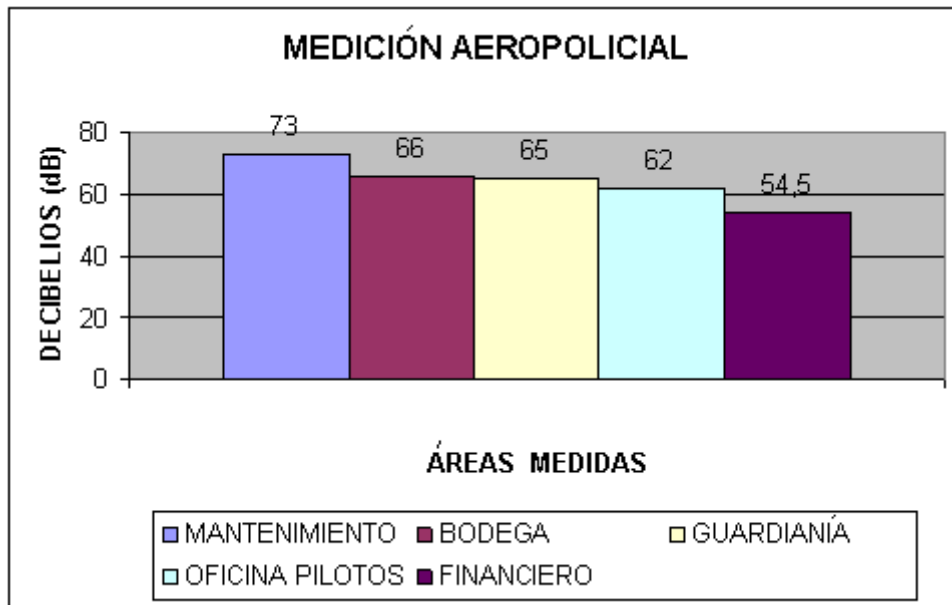


Figura A6. Gráfico del Ruido existente en el Servicio AeroPolicial

En la figura A7, se indica el plano donde se realizaron las mediciones en el Servicio AeroPolicial.

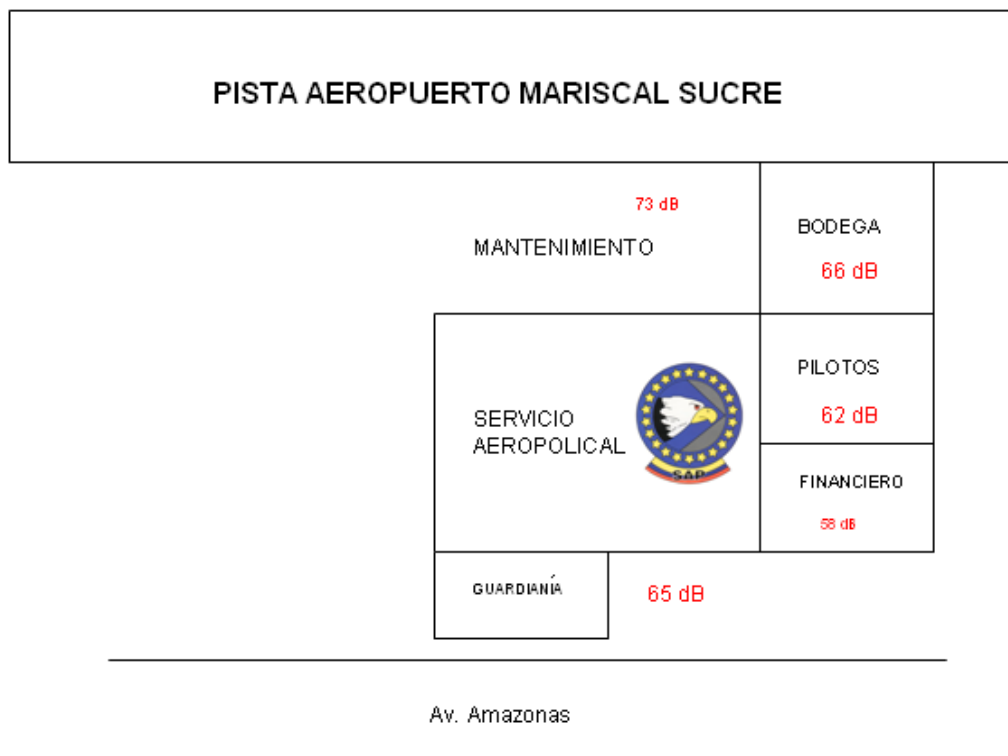


Figura A7. Plano donde se realizaron las mediciones en el Servicio AeroPolicial.

CONCLUSIONES

- Los niveles de ruido del AeroPolical no son constantes, ya que dependen del área donde se realiza la medición y también de las aeronaves que entran o salen del Aeropuerto Mariscal Sucre de la ciudad de Quito.
- Según los datos obtenidos, el AeroPolicial se encuentra dentro de los estándares de la norma OSHA; además, se verificó que en áreas como Mantenimiento, el personal utiliza la doble protección auditiva que ayuda atenuar el impacto del sonido mayor a 75 decibelios.
- Se verificó que el edificio del AeroPolicial se encuentra a un promedio menor de 70 decibelios, ya que en la práctica en cualquier área se puede conversar sin inconvenientes como especifica la norma OSHA.

RECOMENDACIONES

- El personal debe tener en consideración que al ingresar al área de mantenimiento o de bodega del AeroPolicial debe utilizar protección auditiva, ya que los daños en el oído o enfermedades que implica la audición se presentan con el transcurrir del tiempo.
- El estudio de sonometría se debe realizar por lo menos una vez al año para verificar los niveles de ruido o contaminación, ya que el sonido en el AeroPolicial no es constante y depende del tráfico aéreo que circula en el Aeropuerto Mariscal Sucre de la ciudad de Quito.
- El personal que labora en el AeroPolicial se debe realizar exámenes auditivos por lo menos anualmente, ya que es la única forma de verificar los trastornos que produce el ruido en el oído humano.

- Señalizar el área donde se presentan los mayores niveles de contaminación acústica e indicar la utilización de las protecciones en estos lugares.

Para certificar que éste trabajo fue desarrollado en el Servicio AeroPolicial firma a continuación el Comandante del Servicio AeroPolicial

Milton Andrade

Comandante del Servicio AeroPolicial

Coronel de Policía de Estado Mayor