



TESIS PROFESIONAL

“DESARROLLO DE UN ANALIZADOR DE SEÑALES AUDIBLES MEDIANTE LABVIEW 7.0.”

LAURA GUILLERMINA OCADIZ MARQUEZ

Academia de Acústica
Departamento de Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Zacatenco.
Unidad “Adolfo López Mateos”
Instituto Politécnico Nacional
C.P. 07380 México D.F.
México,

Desarrollo de un analizador de frecuencias audibles mediante el LabView
7.0.

© **LAURA GUILLERMINA OCADIZ MARQUEZ**

Tesis Profesional, 2012

Academia de Acústica
Departamento de Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Zacatenco.
Unidad Profesional “Adolfo López Mateos”
Instituto Politécnico Nacional
C.P. 07380 México D.F.
México.

Tel. 55 57 29 60 00 Ext. 54616 y 54652

Desarrollo de una analizado de frecuencias audibles mediante el LabView 7.0.

LAURA GUILLERMINA OCADIZ MARQUEZ

Academia de Acústica

Departamento de Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica

Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Zacatenco.

Unidad Profesional “Adolfo López Mateos”

Instituto Politécnico Nacional

C.P. 07380 México D.F.

México.

Resumen

El contenido de esta tesis nace como parte de la formación que se está dando dentro de las aulas en donde los investigadores de la Academia de Acústica que a su vez son profesores intenta inculcar en los alumnos uno de los principios básicos y fundamentales de la ingeniería; la necesidad de la investigación y desarrollo de programas que permitan a los alumnos no solo el consumo de las tecnologías de vanguardia que resultan excesivamente caras y que excluyen por completo el ingenio y la búsqueda de nuevas formas para lograr encontrar soluciones a necesidades, un ingeniero tiene la capacidad de crear nuevas cosas que satisfagan las necesidades de la gente, un ingeniero debe de ser capaz de realizar un proyecto de forma completa e integral, es decir que pueda realizar el análisis, desarrollo e implementación de nuevos programas que permitan el impulso de la investigación nacional.

Se toma como base investigaciones que llevan mucho tiempo realizándose en la Academia de Acústica y en complemento con softwares que se encuentran actualmente en el mercado permiten realizar de forma eficiente la medición y análisis de funciones que se utilizan en la campo educativo dentro de la academia de acústica y/o dentro de las carreras impartidas en la ESIME Zacatenco, esperando que este proyecto sea útil para el desarrollo de nuevas tecnologías y/o mejoramiento de este mismo.

RECONOCIMIENTOS

Agradezco la paciencia, espera, apoyo y enseñanzas, gracias Profesor Lizana y Profesor Negrete sino hubiera contado con ustedes seguramente no vería concretado este proyecto, gracias por siempre impulsar a los alumnos, por las enseñanzas dentro y fuera del salón de clases.

Agradezco tu confianza papá por haber apoyado el sueño que tuve hace más de una década y en el que pusiste mucha fe, pero no solo por este sueño por todos los sueños en lo que me has apoyado sin estar muy de acuerdo, por enseñarme lo que es el trabajo duro, mi respeto y admiración para ti, eres sin lugar a dudas el mejor de los abuelos y el mejor papá. Gracias mamá por no saber guardar silencio ante algunas cosas, por tu cariño, cuidado, apoyo, por todas tus sonrisas y también por las que provocas en mi, gracias por tu alegría, por ser tan trabajadora, pero sobretodo por ser una gran abuela pero aun mejor por ser un gran mamá. A mis hermanos, Juan Carlos que recientemente me diste una gran lección de vida, que admiración siento por ti y en efecto brillas con luz propia, a mis dos hermanas Gabriela y Montse que seria de muchas experiencias sin ellas.

A mi Tía Anita que desde hace unos años no está presente en mi vida y me ha hecho mucha falta, te agradezco tu cariño incondicional, amor, paciencia, en fin tu presencia en mi vida, seguramente desde el lugar en donde te encuentres sigues cuidando de mi como solo tú lo sabes hacer.

A mi compañero, a ti Alex tu apoyo y cariño han sido muy importantes en mi vida, recuerdo que en alguna de nuestras primeras platicas me dijiste que llegabas a mi vida para cambiarla.... Nunca pensé que sería tan literal.... Si no hubiera sido por tus constantes presiones no sé si estaría terminando esta etapa, que increíble poder cerrarla junto a ti, jamás lo habría imaginado. Gracias por tu apoyo incondicional y por las constantes muestras de confianza, fe y amor a mi, agradezco la forma en la que me hablas y me explicas las cosas, por la forma en la que a tu manera me enseñas como es el mundo y como funciona, Gracias por estos años a tu lado por enseñarme a cocinar y a ser mejor persona, pero sobre todo por enseñarme a escuchar y a hablar..... Te amo Román.

A mi hija, muchas veces escuchaba que cada hijo es el verdadero maestro de vida para los padres y que las grandes enseñanzas provienen precisamente de ellos....., espero poder aprender todo de ti, no cambiaría por nada en el mundo esa sonrisa que me regalas en las mañanas, gracias por llegar a mi vida y realizar este cambio en mi, gracias por ser el motor de muchas cosas, gracias por ser la persona que me esta

enseñando lo que es el amor incondicional, gracias simplemente por ser mi hija... Espero poder enseñarte lo suficiente, darte lo necesario, pero sobre todo espero poder educarte con el ejemplo, enseñarte que nunca es malo perseguir tus sueños que vas a llegar tan lejos como tu imaginación te lo permita, que lo más importante de esta vida no es el amor es la tolerancia hacia tu ser y al de los demás, que hay un mundo a fuera que te está esperando, que quiero que recorras y conozcas, que deseo con todo mi corazón que te pierdas en el mundo para que te puedas encontrar en el, que el cielo siempre te va a cobijar y que cuando regreses a casa estará tu mama siempre disponible para escuchar esas asombrosas experiencias que habrán de nutrir tu alma para cambiar tu vida y también para secar tus lagrimas y darte el impulso para que sigas en este maravilloso viaje que se llama vida. Te amo tejoncilla

Gracias Audihe! por estar siempre a mi lado...

“Nunca un fracaso siempre una lección”

CONTENIDO

RESUMEN.....	3
JUSTIFICACIÓN.....	9

CAPITULO 1

1.1. SONIDO.....	12
1.1.1. FRECUENCIA.....	12
1.1.2. AMPLITUD.....	13
1.1.3. TIMBRE.....	14
1.2. RUIDO.....	14
1.3. NPS.....	17
1.4. SONÓMETROS.....	21

CAPITULO 2

2.1. DISEÑO DE ALGORITMO.....	23
2.2. GENERACIÓN DE SEÑAL.....	24
2.3. TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER.....	26
2.4. CURVA DE PONDERACIÓN	27
2.5. CONVOLUCIÓN.....	31
2.6. NIVEL DE PRESIÓN SONORA.....	32
2.7. PROGRAMA FINAL.....	34

CAPITULO 3

3.1. RESULTADOS DE PONDERACIÓN	36
3.2. NIVEL DE PRESIÓN SONORA.....	37
3.3. COMPARATIVOS.....	39
3.4. PROGRAMA FINAL	42

CONCLUSIONES.....	44
-------------------	----

ANEXO.....46

BIBLIOGRAFÍA.....50

JUSTIFICACIÓN

La investigación es el estado de excelencia para muchas personas que siempre están consientes de la importancia que tienen para el desarrollo del alumno.

Así es como nace la necesidad de desarrollar un sonómetro digital utilizando softwares que se encuentran actualmente en el mercado, la cual se basa en años de investigación en el campo de la acústica, mismas que al pasar el tiempo se han ido perfeccionando y demostrando que los resultados obtenidos hace años se siguen corroborando sin importar las generaciones que pasan que con ayuda de tecnología ocupan estos mismos principios, es la implementación de un proyecto el cual permita realizar mediciones para diferentes eventos y que estos no involucren la compra de instrumentos excesivamente caros y que deban de ser operados únicamente bajos ciertos lineamientos que obliguen al aprendizaje de conocimientos propios en base a las marcas.

Con el uso del LabView, basado en las normas nacionales e internacionales, se construyo un analizador de señales audibles el cual consiste en la generación de una señal, la cual puede ser generada dentro del mismo programa o mediante el uso de fuentes externas como la utilizada en este proyecto, un micrófono, esta se convolucionan con el algoritmo matemático igualmente programado en LabView 7.0 de la curva de ponderación A para poder transformarla en una señal de sonido.

Los resultados mostrados fueron comparados con resultados de operaciones matemáticas y muestreos de campo realizados con un micrófono y dentro de la cámara anecoica de los laboratorios de la academia de Acústica de la ESIME Zacatenco.

De esta forma queda implementado un analizador de frecuencias audibles que determina resultados de una forma rápida y eficaz para que puedan ocuparse dentro de la Academia de Acústica y/o de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones y de esta manera se puedan realizar diferentes investigaciones en las aulas para el mejoramiento de este mismo proyecto o de otros.

Objetivo

Desarrollo de un analizador de frecuencias audibles (Sonómetro) mediante el LabView 7.0.

Objetivos específicos

- Desarrollar el algoritmo de la curva de ponderación A
- Desarrollar los algoritmos para la convolución de señal.
- Realizar las pruebas con una señal de entrada externa.

CAPITULO I

1.1 El sonido

El sonido, en física, es cualquier fenómeno que involucre la propagación en forma de ondas elásticas (sean audibles o no), generalmente a través de un fluido u otro medio elástico que esté generando el movimiento vibratorio de un cuerpo.

El sonido humanamente audible consiste en ondas sonoras que producen oscilaciones de la presión del aire, que son convertidas en ondas mecánicas en el oído humano y percibidas por el cerebro.

La propagación del sonido involucra transporte de energía sin transporte de materia, en forma de ondas mecánicas que se propagan a través de la materia sólida, líquida o gaseosa. Como las vibraciones se producen en la misma dirección en la que se propaga el sonido, se trata de una onda longitudinal.

El sonido es un fenómeno vibratorio transmitido en forma de ondas. Para que se genere un sonido es necesario que vibre alguna fuente. Las vibraciones pueden ser transmitidas a través de diversos medios elásticos, entre los más comunes se encuentran el aire y el agua. La fonética acústica concentra su interés especialmente en los sonidos del habla: cómo se generan, cómo se perciben, y cómo se pueden describir gráfica y/o cuantitativamente.

Cualquier sonido sencillo, como una nota musical, puede describirse en su totalidad especificando tres características de su percepción: el tono, la sonoridad y el timbre. Estas características corresponden exactamente a tres características físicas: la frecuencia, la amplitud y la composición armónica o forma de onda.

1.1.1 Frecuencia

Término empleado en física para indicar el número de veces que se repite en un segundo cualquier fenómeno periódico. En todas las clases de movimiento ondulatorio, la frecuencia de la onda suele darse indicando el número de crestas de onda que pasan por un punto determinado cada segundo. La velocidad de la onda y su frecuencia y longitud de onda están relacionadas entre sí. La longitud de onda (la distancia entre dos crestas consecutivas) es inversamente proporcional a la frecuencia y directamente proporcional a la velocidad.

La frecuencia se expresa en Hertz (Hz); una frecuencia de 1 Hz significa que existe 1 ciclo u oscilación por segundo. La unidad se llama así en honor del físico alemán Heinrich Rudolf Hertz, el primero en demostrar la naturaleza de la propagación de las ondas electromagnéticas. Las unidades como kilo Hertz (Khz.) —miles de ciclos por segundo—, mega Hertz (MHz) —millones de ciclos por segundo— y giga Hertz (GHz) —miles de millones de ciclos por segundo— se usan para describir fenómenos de alta frecuencia como las ondas de radio. Estas ondas y otros tipos de radiación electromagnética pueden caracterizarse por sus longitudes de onda o por sus frecuencias.

Las ondas electromagnéticas de frecuencias extremadamente elevadas, como la luz o los rayos X, suelen describirse mediante sus longitudes de onda, que frecuentemente se expresan en nanómetros (un nanómetro, abreviado nm, es una milmillonésima de metro). Una onda electromagnética con una longitud de onda de 1 nm tiene una frecuencia de aproximadamente 300 millones de GHz.

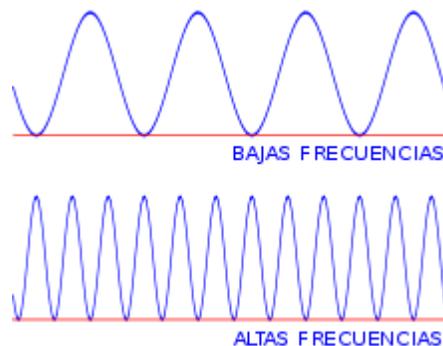


Figura 1.1 Frecuencias.

1.1.2 Amplitud

La amplitud de una onda de sonido es el grado de movimiento de las moléculas de aire en la onda, que corresponde a la intensidad del enrarecimiento y compresión que la acompañan. Cuanto mayor es la amplitud de la onda, más intensamente golpean las moléculas el tímpano y más fuerte es el sonido percibido. La amplitud de una onda de sonido puede expresarse en unidades absolutas midiendo la distancia de desplazamiento de las moléculas del aire, o la diferencia de presiones entre la compresión y el enrarecimiento, o la energía transportada.

En acústica la amplitud es la cantidad de presión sonora que ejerce la vibración en el medio elástico (aire). Al mismo tiempo, la amplitud determinara la cantidad de energía (potencia acústica) que contiene una señal sonora.

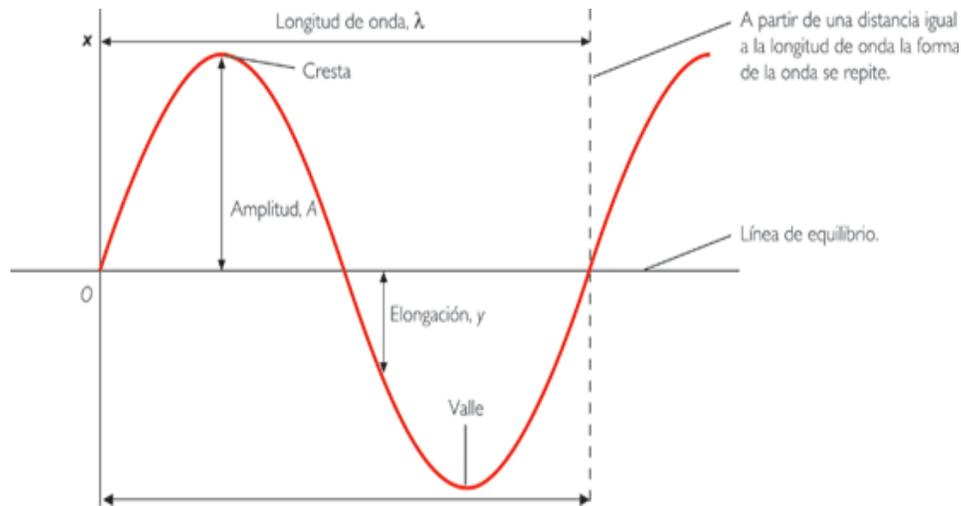


Figura 1.2 Amplitud.

1.1.3 Timbre

Es la cualidad que permite distinguir unos instrumentos de otros. Asociamos esta característica al color musical

1.2. Ruido

Este problema es muy bien conocido por las personas que residen en las ciudades es el de la contaminación acústica

La contaminación acústica es considerada por la mayoría de la población como un factor que incide de forma principal en su calidad de vida.

El término contaminación acústica hace referencia al ruido cuando éste se considera como un contaminante, es decir, un sonido molesto que puede producir efectos fisiológicos y psicológicos

nocivos para una persona o grupo de personas, el transporte, la construcción de edificios y obras públicas, la industria entre otras.

El ruido se mide en decibeles (dB); los equipos de medida más utilizados son los sonómetros, un informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS) considera los 50 dB como el límite superior deseable.

Existe documentación sobre las molestias de los ruidos en las ciudades desde la antigüedad, pero a partir del siglo pasado, como consecuencia de la Revolución Industrial, del desarrollo de nuevos medios de transporte y del crecimiento de las ciudades es cuando comienza a parecer el problema de la contaminación acústica urbana. Las causas fundamentales son, entre otras, el aumento del espectacular parque automovilístico en los últimos años y el hecho particular de que las ciudades no habían sido concebidas para soportar medios de transporte, con calles angostas y firmes poco adecuados.

Fuentes principales de niveles de ruido urbano.

En el caso de los niveles de tráfico se consideran los siguientes:

- ⊗ Nivel alto de tráfico como pueden ser las construcciones de obras urbanas.
- ⊗ Nivel medio de tráfico en esta se pueden clasificar las motos y motocicletas, aviones
- ⊗ Nivel bajo de tráfico como son el aire acondicionado y la ventilación.
- ⊗ Nivel muy bajo o sin tráfico en esta pueden entrar los siguientes; peatones y turistas con el ruido que ocasionan al hablar, caminar entre las calles.

El ruido es un sonido que interfiere con las actividades, las conversaciones y el descanso, un sonido que puede ser agradable para alguien puede ser molesto para otra persona.

Los ruidos más fuertes son los más perjudiciales y está formado por vibraciones del aire.

Los ruidos extremadamente fuertes como la explosión de un petardo demasiado cerca pueden dañar el oído para siempre, pero aun los que no son tan fuertes como la música a alto volumen, si se escuchan durante varias horas por días pueden producir sordera, después de algunos años.

Los ruidos muy agudos son más dañinos que los graves, los que son muy cortos y muy fuertes, como los martillazos impactos y explosiones.

El ruido produce otros efectos como la violencia, aumenta la presión sanguínea y produce problemas de corazón, ocasiona estrés y disminuye la concentración y en el caso específico de los niños interfiere con el aprendizaje y con el crecimiento.

En primer lugar hay que aclarar que el oído está formado por el oído externo (oreja y canal auditivo), el oído medio (el tímpano y tres pequeños huesositos) y el oído interno, este tiene la forma de un caracol y en su interior hay unas células muy pequeñas, llamadas células pilosas (en un milímetro caben 500 de ellas), estas son las responsables de que oigamos lo que oímos, pero por ser tan pequeñas son muy delicadas y los ruidos fuertes las destruyen.

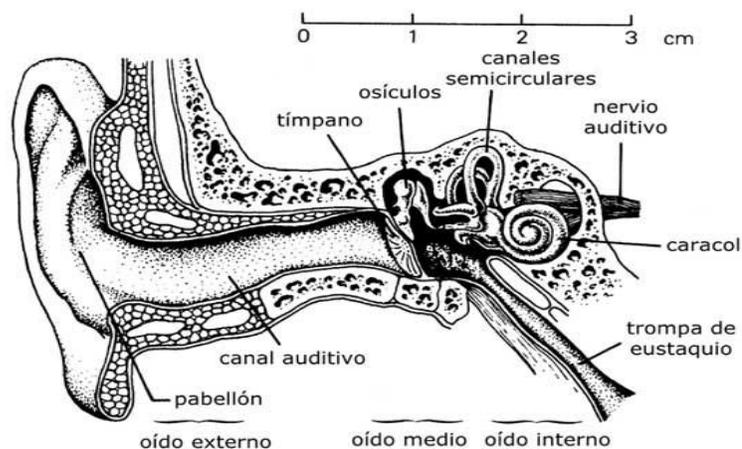


Figura 1.3 El oído.

La mejor manera de evitar esto es por medio de la higiene sonora que son una serie de medidas individuales y sociales para la protección contra el ruido, entre ellas está el saber reconocer los ruidos peligrosos, saber protegerse frente a esos ruidos y evitar producir ruidos innecesarios y respetar el derecho de las demás personas a un ambiente sonoro agradable.

1.3 NIVEL DE PRESION SONORA Y CURVAS DE PONDERACION.

La relación entre la presión del sonido más intenso (cuando es como el umbral del dolor), y la del sonido más débil, ha llevado a adaptar una escala más comprimida denominada escala logarítmica, y esta es llamada **Pref** (presión de referencia a la presión de un tono apenas audible) y **P** a la presión sonora, podemos definir el **Nivel de Presión Sonora (NPS)** L_p como:

$$NPS = 20 \log_{10} \frac{P}{P_{ref}} \quad (1)$$

NPS=Nivel de Presión sonora en decibeles (dB)

P= Presión acústica de Pascales (Pa)

Pref= Presión acústica de referencia que es 2×10^{-5} Pa

El factor de 0.00002 Pa, es la presión mínima que el oído humano alcanza a percibir a una frecuencia de 1 KHz.

En la ecuación 1 se puede notar que si se dobla la presión acústica se incrementara el NPS en aproximadamente 6 dB, si se cuadruplica la presión acústica se incrementara el NPS en 12 dB y si la presión se incrementa en ocho veces aumentara en 18 dB. Por lo que se debe de diseñar un algoritmo matemático que responda de manera muy parecida a la respuesta subjetiva del oído humano, como se muestra en la figura 1.

La sensación de sonoridad fue descubierta y medida (por Fletcher y Munson, en 1933, ver figura 1.

4.

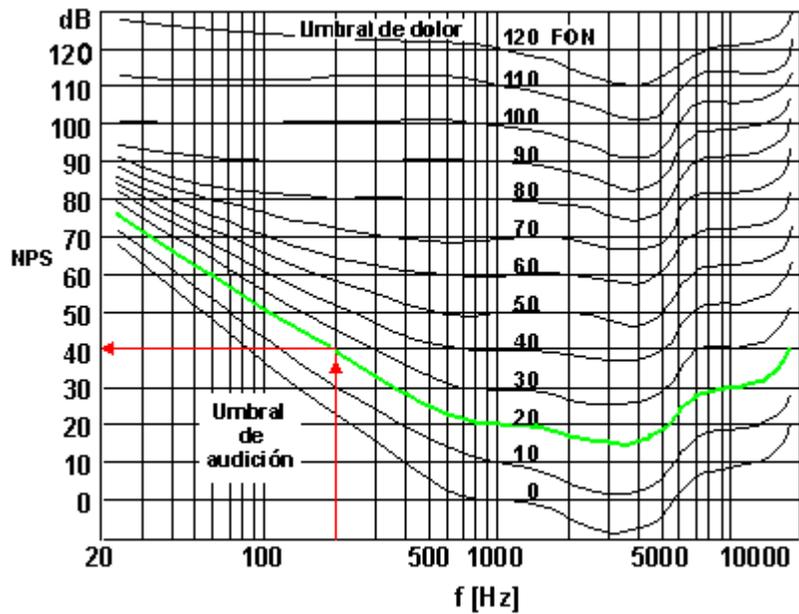


Figura 1.4 Curvas de Fletcher y Munson.

En la curva de la figura 1.4 se puede observar que el oído humano no es igual de sensitivo a todas las frecuencias, por ejemplo si se considera una frecuencia de 60 Hz, con un NPS de 70 dB, este sonido tendrá la misma sonoridad en fonos que un tono de 1 KHz a 40 dB, para diseñar un algoritmo matemático cuyas características varíen de igual forma semejante que las curvas de sonoridad subjetiva del oído humano es difícil. Esto ha dado como resultado que se diseñaran cuatro tipos de curvas para los sonómetros que son conocidas como curvas de ponderación A, B, C, D, en la actualidad. Solo se utilizan las curvas de ponderación A y C. Pero cuando se realizan mediciones de aviones a reacción se les aumentan 10 dB a las mediciones hechas por el sonómetro.

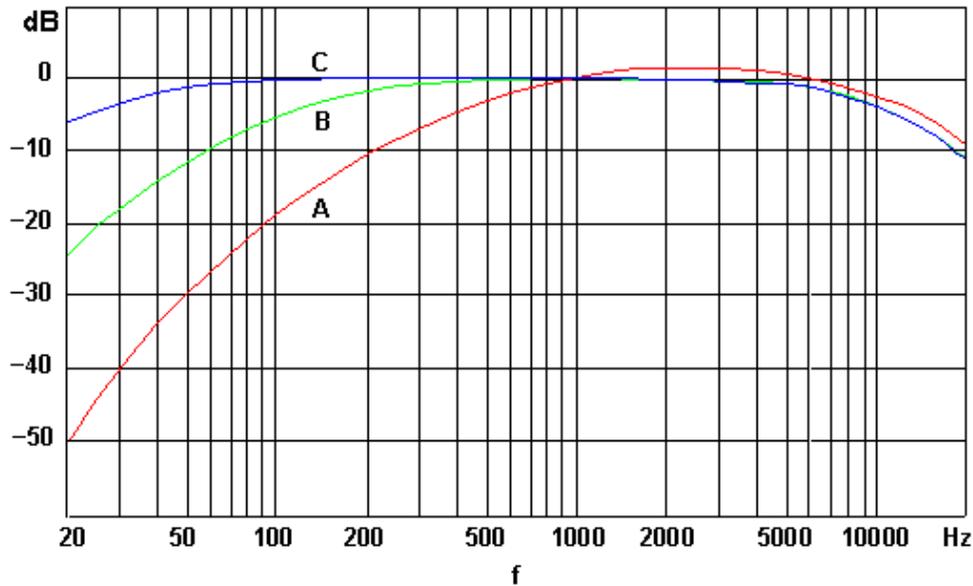


Figura 1.5 Curvas de ponderación A, B y C.

El principal objetivo para el desarrollo de los sonómetros se basa en la idea principal de diseñar un algoritmo matemático que responda de igual o parecida forma al oído humano.

Las curvas de ponderación por convención internacional del sonómetro, en la escala A la respuesta disminuye mucho a bajas frecuencias. Por ejemplo, si se tiene un tono de 50 Hz en la escala de ponderación A, este valor será menor a 30 dB que uno de 1 KHz. En la curva de ponderación C solamente se tienen pequeñas diferencias menores de 1 dB entre las frecuencias de 63 y 4 KHz. La razón principal por la que la escala de ponderación A se ha vuelto tan popular y difundida es que diversos estudios han mostrado una buena correlación entre el nivel sonoro A y el daño auditivo, así como con la interferencia a la palabra. Sin otra información disponible, el nivel sonoro con ponderación A es la mejor medida única disponible para evaluar y justipreciar problemas de ruido y para tomar decisiones en consecuencia. También exhibe una buena correlación, según han revelado diversos estudios, con la disposición de las personas afectadas por contaminación acústica a protestar en distintos niveles.

Es interesante observar que a pesar de que la escala de decibeles A fue originalmente concebida para medir sonidos de bajo nivel, ha demostrado ser más adecuada para medir daño auditivo, resultado de la exposición a ruidos de nivel elevado.

La tabla de decibeles (Figura 1.6), compara algunos sonidos comunes y muestra cómo se clasifican desde el punto de vista del daño potencial para la audición. El ruido comienza a dañar la audición a niveles de alrededor de 70 dBA. Para el oído, un incremento de 10 dB implica duplicar la sonoridad.

Tabla 1.6 decibeles.

FUENTES DE SONIDO	DECIBELES
Umbral de audición	0
Susurro, respiración normal, pisadas suaves	10
Rumor de las hojas en el campo al aire libre	20
Murmullo, oleaje suave en la costa	30
Biblioteca, habitación en silencio	40
Tráfico ligero, conversación normal	50
Oficina grande en horario de trabajo	60
Conversación en voz muy alta, gritería, tráfico intenso de ciudad	70
Timbre, camión pesado moviéndose	80
Aspiradora funcionando, maquinaria de una fábrica trabajando	90
Banda de música rock	100
Claxon de un coche, explosión de petardos o cohetes empleados en pirotecnia	110
Umbral del dolor	120
Martillo neumático (de aire)	130
Avión de reacción durante el despegue	150
Motor de un cohete espacial durante el despegue	180

El número de variaciones de la presión por segundo es lo que se llama frecuencia del sonido, y se mide en Hercios (Hz). Cada frecuencia de un sonido produce un tono distinto

Se dice que un tono es grave cuando su frecuencia es baja (aproximadamente menor de 250 Hz), y que su tono es agudo cuando su frecuencia es superior a 2,000 Hz. Las frecuencias comprendidas entre ambas se denominan frecuencias medias.

El espectro normal de audición para un adulto joven sano va desde 20 Hz a 20.000 Hz (ó 20 KHz)

Cuando se requiere información más detallada sobre un sonido complejo, la gama de frecuencia de 20 Hz a 20 KHz se puede dividir en secciones o bandas. Una octava es una banda de frecuencia donde la más alta es dos veces la frecuencia más baja. Este proceso de división de un sonido complejo se denomina análisis en bandas de frecuencia.

1.4 SONOMETROS

El sonómetro es un instrumento de medida que sirve para medir niveles de presión sonora (de los que depende la amplitud y, por tanto, la intensidad acústica y su percepción, sonoridad).

En concreto, el sonómetro mide el nivel de ruido que existe en determinado lugar y en un momento dado. La unidad con la que trabaja el sonómetro es el decibelio.

El oído no es igualmente sensible para todas las frecuencias. Por esta razón, incluso aunque el nivel de presión acústica de dos sonidos pueda ser el mismo, pueden interpretarse como de distinto nivel si uno de ellos presenta una mayor concentración en las frecuencias en que el oído es más sensible. Por esta razón se incorporan en los sonómetros filtros de ponderación en frecuencia que modifican la sensibilidad del sonómetro con respecto a las frecuencias que son menos audibles por el oído. Muchos sonómetros están provistos de diferentes filtros de ponderación sensibilidad-frecuencia. La escala de ponderación A es la utilizada más frecuentemente. La escala A está internacionalmente normalizada y se ajusta su curva de ponderación a la respuesta del oído humano. Los valores de nivel acústico medidos con esta escala se conocen como dB(A).

Hay otras escalas de ponderación utilizadas menos frecuentemente tales como la escala B, usada para sonidos de intensidad media, la escala C, usada para sonidos altos, y la escala D, usada para medida del ruido de aviones a reacción. Debido a su buen acuerdo con la respuesta subjetiva, la

escala A, es la que se suele utilizar para todos los niveles, siendo relativamente poco frecuente el uso de las escalas B, C y D.

Frecuentemente, los sonidos emitidos por las fuentes de ruido fluctúan ampliamente durante un período de tiempo dado. Puede medirse un valor medio del ruido durante dicho período conocido como nivel de presión acústica equivalente Leq . El Leq es el nivel equivalente de ruido continuo que suministrase la misma energía acústica que la del ruido fluctuante medido en el mismo período de tiempo.



Figura 1.7 Mediciones con un sonómetro en una avenida de una ciudad.



Figura 1.8 Sonómetro.

CAPITULO II

Diseño de los Algoritmos de la Curva de Ponderación y Nivel de Presión Sonora.

En este capítulo se encontrara todo el desarrollo paso a paso de los diferentes algoritmos utilizados para la construcción del analizador de frecuencias que como ya fue explicado con anterioridad es necesario que se cuenten con algunas consideraciones como son:

- Señal de entrada
- FFT de la Señal de entrada
- Algoritmo de la curva de ponderación A
- Convolución
- Cálculo del NPS

Lo anterior se muestra en el siguiente diagrama a bloques mostrado en la figura 2.1.

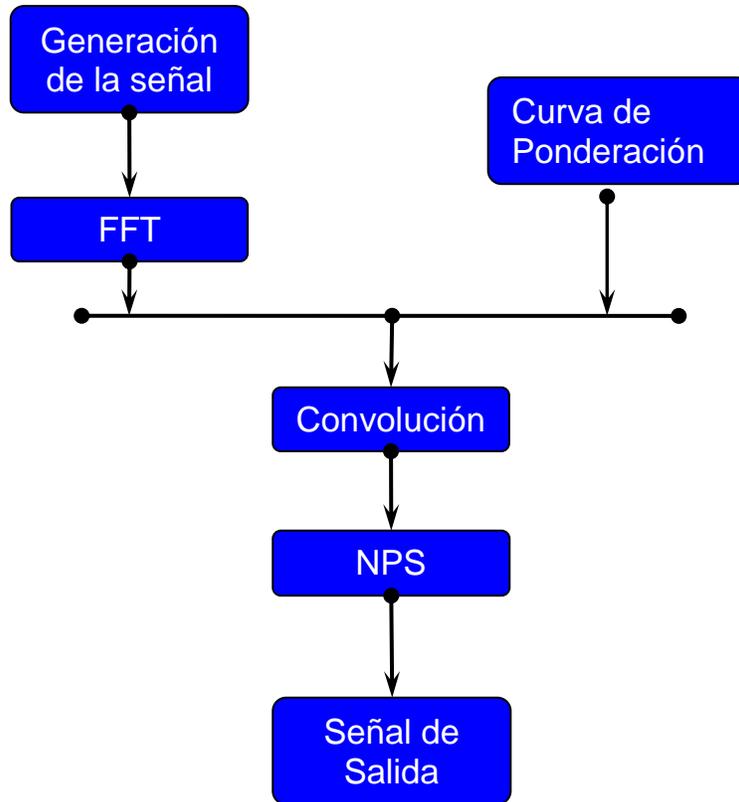


Figura 2.1 Diagrama a Bloques del Analizado de Frecuencias.

2.1. Generación de Señal

La ventaja de contar con un software como el LabView 7.0 es que dentro de este ya se cuentan con funciones predeterminadas que permiten trabajar en algoritmos más complejos para poder realizar el diseño en este caso del sonómetro digital, mediante formas de trabajo más rápidas y eficaces realizando las adecuaciones necesarias para que el sistema funcione de forma correcta cuando los parámetros de entrada se introducen. Como primer paso se introduce una señal en la cual es importante que cuente con el sampling donde este debe de ser por lo menos del doble de la frecuencia ya que si no cuenta con este parámetro el sistema no permitirá la generación de la señal y mandara una mensaje de error, como se muestra en la figura 2.4.

La representación de la información de programación para la señal de entrada se muestra en la figura 2.2.

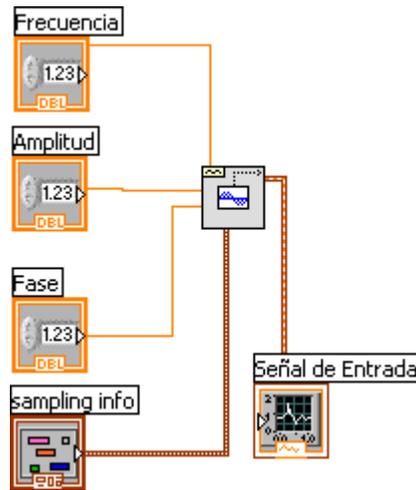


Figura 2.2. Señal de Entrada Diagrama a Bloques.

La representación gráfica de la Señal de Entrada se muestra en la figura 2.3.

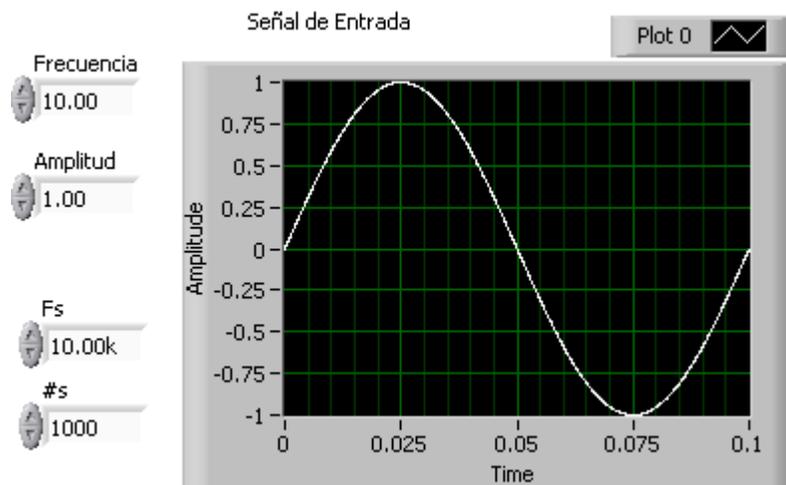


Figura 2.3. Señal de Entrada Gráfica.

Como se indico previamente para que la generación de señal se grafique de forma correcta es necesario que el sampling de información sea de al menos el doble de la información de entrada para

que el sistema no muestre ningún error en caso contrario el sistema mandara el siguiente mensaje de error.

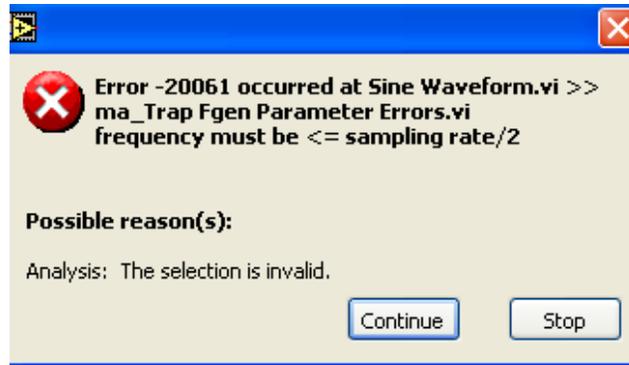


Figura 2.4 Mensaje de error.

2.2. Transformada Rápida de Fourier (FFT).

Para realizar la Transformada de Fourier de la señal de entrada se tuvo la necesidad de leer todas las especificaciones de las transformadas con las que cuenta en software ya que existen diferentes representaciones para una misma función adecuándose de mejor manera para el resultado que se buscaba la que se muestra a continuación, en donde se realizaron asignaciones de variables, representándose en la siguiente figura 2.5

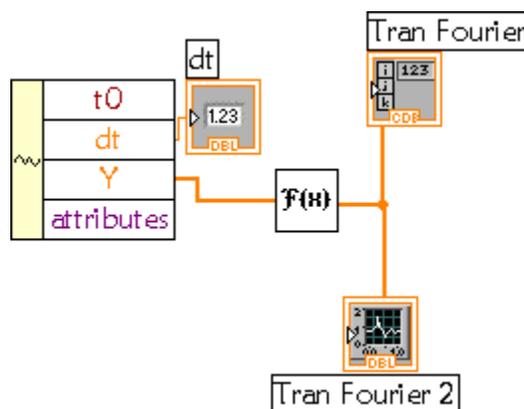


Figura 2.5. FFT Diagrama a Bloques de la FFT dentro del circuito de Labview.

Una vez realizada la señal de entrada se aplica la Transformada de Fourier (FFT) para que la señal resultante se encuentre en el dominio de la frecuencia y con la cual ya se podrán realizar los siguientes algoritmos para el desarrollo final del analizador de frecuencias, el LabView 7.0 permite realizar este paso sin complicaciones de forma rápida y eficaz como se muestra en la figura 2.6.

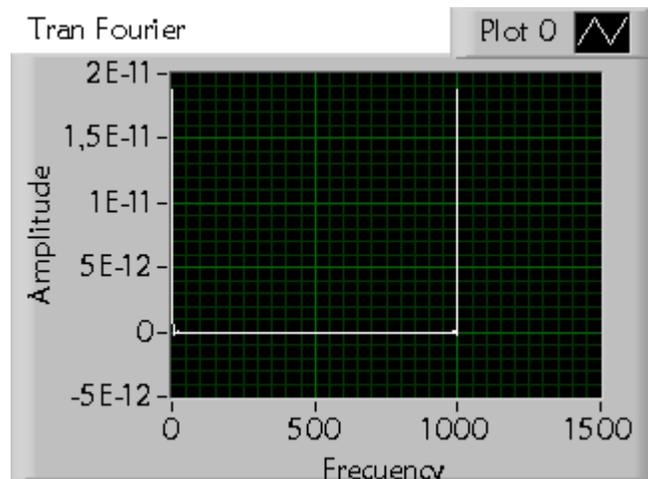


Figura 2.6. Representación Gráfica de la FFT.

2.3. Curva de Ponderación.

La ecuación de la Curva de Ponderación A, se tuvo que realizar mediante bloques lógicos para la programación en LabView 7.0, es decir en la programación de este bloque del circuito se tuvo que poner mucha atención para que al momento de realizar la fase de pruebas los resultados que arroja el software no presentaran mucha variación con respecto a los que ya se tienen conocidos.

La ecuación que se tomo como base para el siguiente algoritmo es un trabajo de investigación realizado anteriormente en que se utilizaron métodos de interpolación de datos (Método Newton), para describir el comportamiento del circuito físico de la curva de ponderación A. La simulación de esta curva en el programa de LabView 7.0, corresponde a la asignación de valores para la frecuencia mismos que se establecen en la señal de entrada y el programa realiza el cálculo del valor que

corresponde según la ecuación 2.1. Es importante recalcar que esta fórmula nos dará los valores lineales y no en decibels.

Para la Curva A:

$$A(f) = \frac{12200^2 f^4}{(f^2 + 20.6^2)(f^2 + 12200^2)(f^2 + 107.7^2)^{0.5}(f^2 + 737.9^2)^{0.5}} \quad (2.1)$$

De los resultados de la ecuación anterior es necesario que se conviertan a valores en decibeles ya que se encuentran en volts y que al momento en el que se introduzca un valor de 1000 Hz nos presente un resultado de 0 dB's, para este caso el valor obtenido es de 0.7943463957 V, la cual es la base de referencia en ganancia para cada uno de los valores de la curva de ponderación A, por lo que se resuelven dos problemas con un solo paso en donde la ecuación para convertir los valores obtenidos a decibeles es la siguiente:

$$dBA = 20 \log \frac{A(f)}{A(ref)} \quad (2.2)$$

De la ecuación anterior A(f) hace referencia a cierto valor de X de frecuencia y A(ref), se refiere al valor de referencia. Es con este valor de referencia con el cual se puede ajustar la curva que se ha obtenido, el valor de referencia a utilizar es por lo tanto es 0.7943463957 V. Por lo tanto la ecuación 2.2 quedaría de la siguiente manera:

$$dBA = 20 \log \frac{A(f)}{A(1000Hz)} \quad (2.3)$$

De esta manera los datos que contiene la curva de ponderación simulada están arrojados en dB's y corresponden a los datos determinados por la norma NMX-C-102-1976 (Tabla 2.1), que muestra las

respuestas relativas y tolerancias asociadas para condiciones libres en campo de la curva de ponderación A.

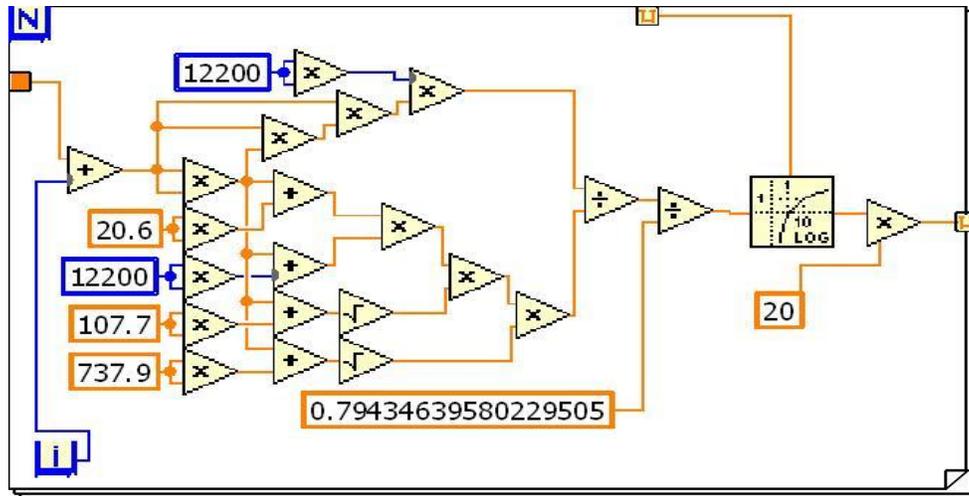


Figura 2.7. Diagrama a Bloques de la Curva de Ponderación.

La figura 2.8 muestra la representación gráfica de la Curva de Ponderación A.

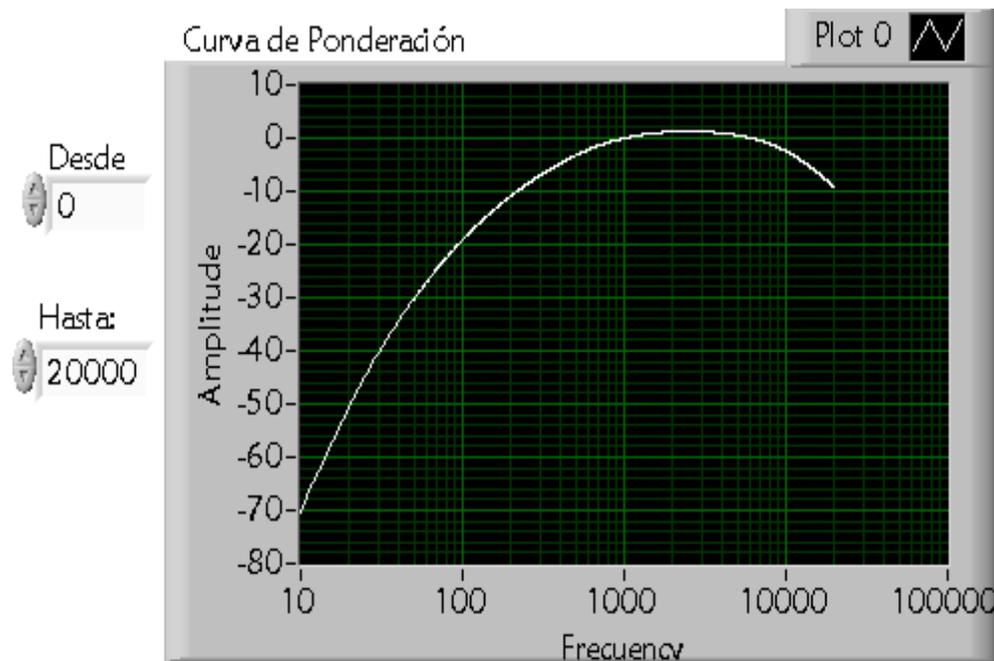


Figura 2.8. Representación Gráfica de la Curva de Ponderación.

Tabla 2.1 Norma NMX-C-102-1976.

Centro de la banda de frecuencia	Corrección a los niveles de presión acústica (dB)	Tolerancia	
10	-70.4	5	-00
12.5	-63.4	5	-00
16	-56.7	5	-00
20	-50.5	5.0	-5
25	-44.7	5.0	-5
31.5	-39.4	3.0	-3
40	-34.6	3.0	-3
50	-30.2	3.0	-2
63	-26.2	3.0	-3
80	-22.5	2.0	-2
100	-19.1	1.0	-1
125	-18.1	1.0	-1
160	-13.4	1.0	-1
200	-10.9	1.0	-1
250	-8.6	1.0	-1
315	-6.6	1.0	-1
400	-4.3	1.0	-1
500	-3.2	1.0	-1
630	-1.9	1.0	-1
800	-0.8	1.0	-1
1000	0.0	1.0	-1
1250	0.6	1.0	-1
1600	1.0	1.0	-1
2000	1.2	1.0	-1
2500	1.3	1.0	-1
3150	1.2	1.0	-1
4000	1.0	1.0	-1
5000	0.6	1.5	-1.5
6300	-0.1	1.5	-2
8000	-1.1	1.5	-3
10000	-2.5	2.0	-4
12500	-4.3	3.0	-6
16000	-6.6	3.0	-0
20000	-5.3	3.0	-0

2.4. Convolución.

Como parte del complemento del todo el análisis y desarrollo que se llevo a cabo para este analizador de frecuencias audibles, se realizo la convolución entre la FFT y la curva de ponderación como se muestra en la figura 2.9 y obteniendo la representación gráfica de la señal como se muestra en la figura 2.10.

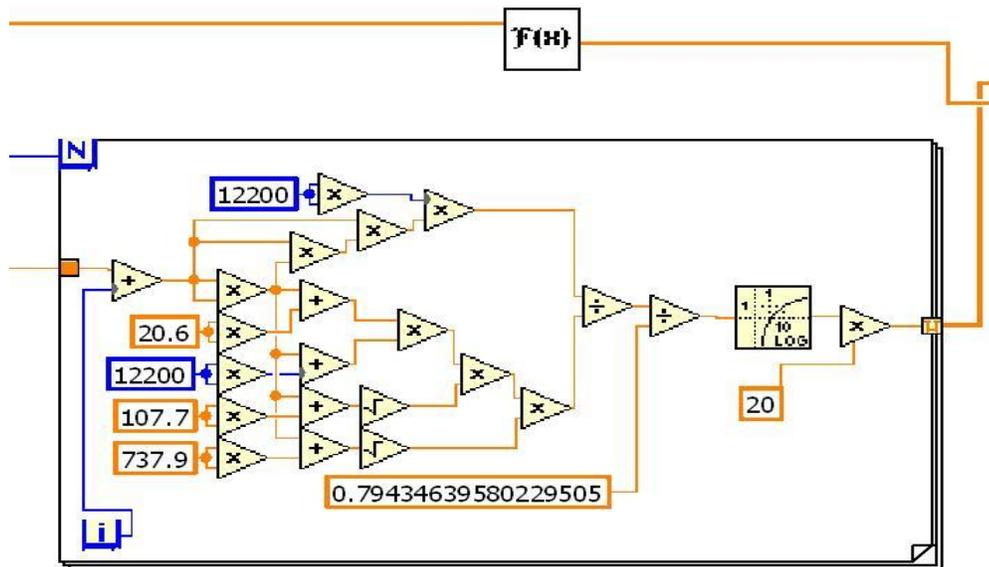


Figura 2.9. Diagrama a Bloques de la Convolución

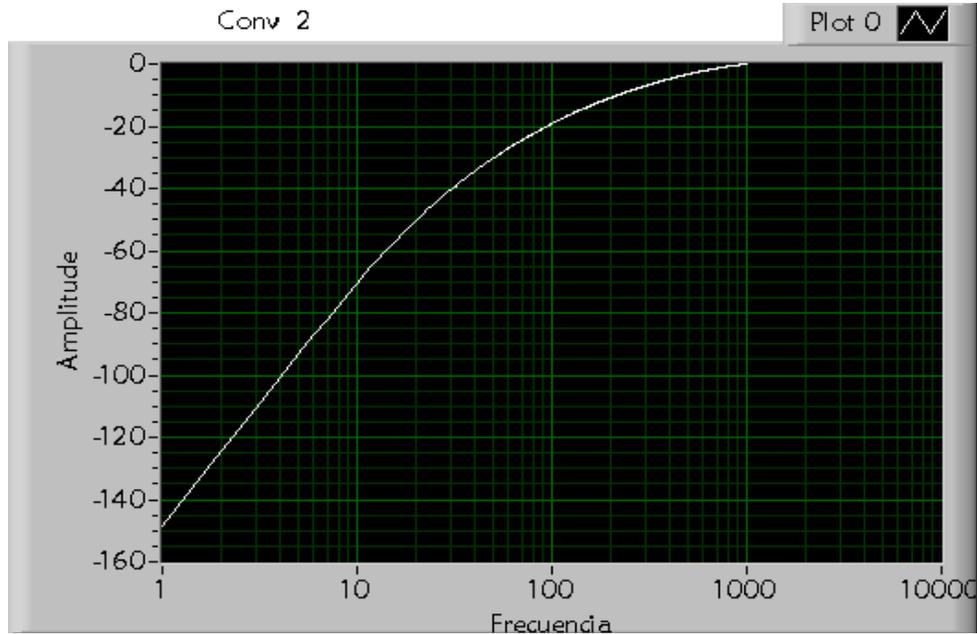


Figura 2.10. Representación Gráfica de la Convolución

2.5. Nivel de Presión Sonora.

Como último paso hay que calcular el Nivel de Presión Sonora (NPS) en la señal que se ha filtrado para lo cual se procede a calcular una amplitud ponderada de la señal, es decir, se convolucionan las señales que se han generado y analizado por separado; como se realizó en pasos anteriores la señal que ha sido filtrada y a la cual se le ha aplicado la Transformada Rápida de Fourier y por otro lado la señal que corresponde a la curva de ponderación A.

Una vez que se ha obtenido la amplitud ponderada de la señal, estamos en posibilidades de calcular el Nivel de Presión Sonora mediante la siguiente ecuación.

$$NPS = 20 \log_{10} \frac{AmpPond}{Vref} \quad (2.4)$$

En donde $Vref$ es de $20 \mu Pa$

De la formula anterior (2.4) se despeja la *AmpPond*, que este representa el valor de la Transformada de Fourier, quedando la formula de la siguiente manera:

$$AmpPond = (10^{NPS} \cdot 20) \cdot Vref \quad (2.5)$$

De esta manera uniendo todos los puntos anteriores en un solo programa, se obtiene el diagrama de bloques que se muestra en la figura 2.11, el resultado gráfico de las expresiones anteriores se presentan en la figura 2.12.

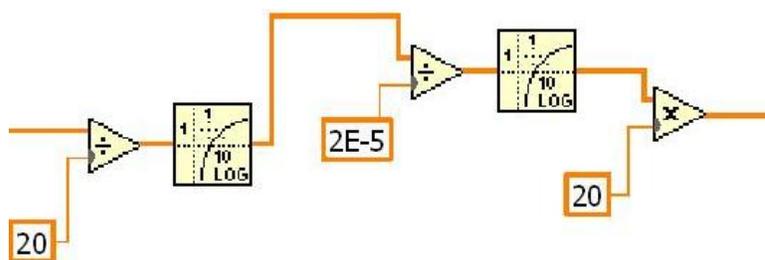


Figura 2.11. Representación del Diagrama a bloques del NPS.

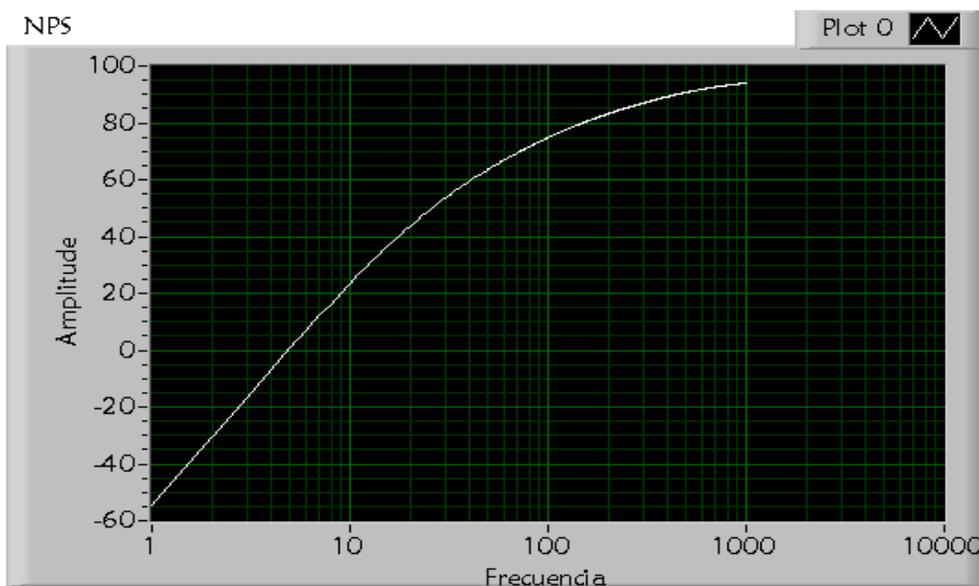


Figura 2.12. Representación gráfica del NPS.

2.6 Programa Final

De todos los pasos anteriores uniéndolos en un solo programa o diagrama a bloques se obtiene el resultado mostrado en la figura 2.13.

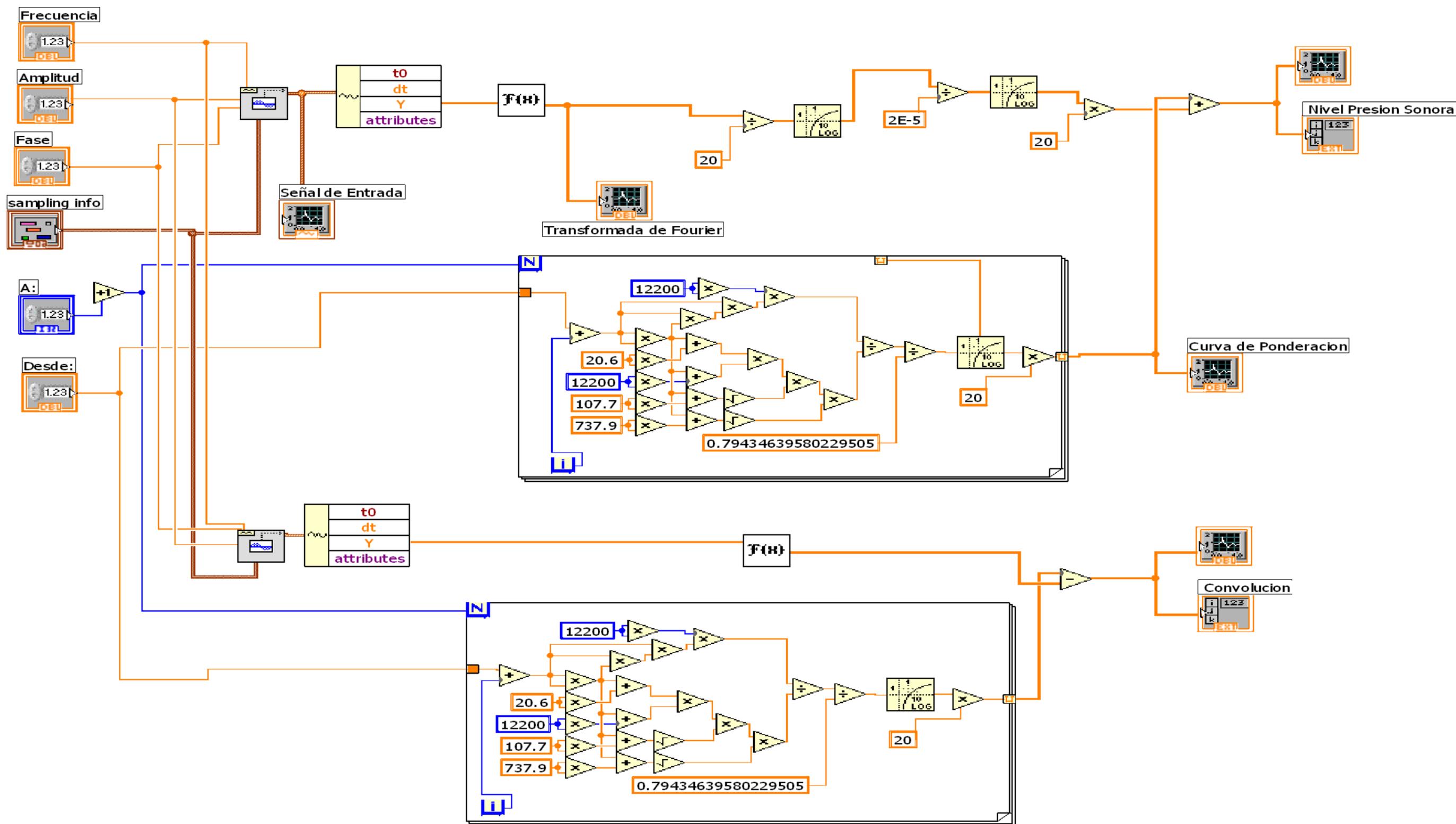


Figura 2.13. Programa Final.

CAPITULO III

PRUEBAS

Con el programa anterior completo se inician las pruebas necesarias, en la Tabla 3.1 se presenta un comparativo realizado de los valores obtenidos para la Curva de Ponderación A, este comparativo se llevo a cabo al realizar el cálculo de forma matemática y los valores obtenidos del LabView 7.0, las diferencias entre ellos son mínimas.

Tabla 3.1 Comparación de resultados de Ponderación.

Frecuencia	Curva A (Teórica)	Curva A (Práctica)
100	-19.1	-19.15
125	-16.1	-16.19
160	-13.4	-13.24
200	-10.9	-10.85
250	-8.6	-8.68
315	-6.6	-6.64
400	-4.8	-4.77
500	-3.2	-3.25
800	0.8	-0.79
1000	0	0
1250	0.6	0.58
1600	1	0.99
2000	1.2	1.2
2500	1.3	1.27
3150	1.2	1.2
4000	1	0.96
5000	0.5	0.56
6300	-0.1	-0.11
8000	-1.1	-1.14
10000	-2.5	-2.49
20000	-9.3	-9.34

Como se puede observar en la figura 3.1 los valores presentados en la tabla anterior (tabla 3.1), estos mismos pueden ser observados dentro del gráfico de la curva de ponderación A presentados en la figura 3.1.

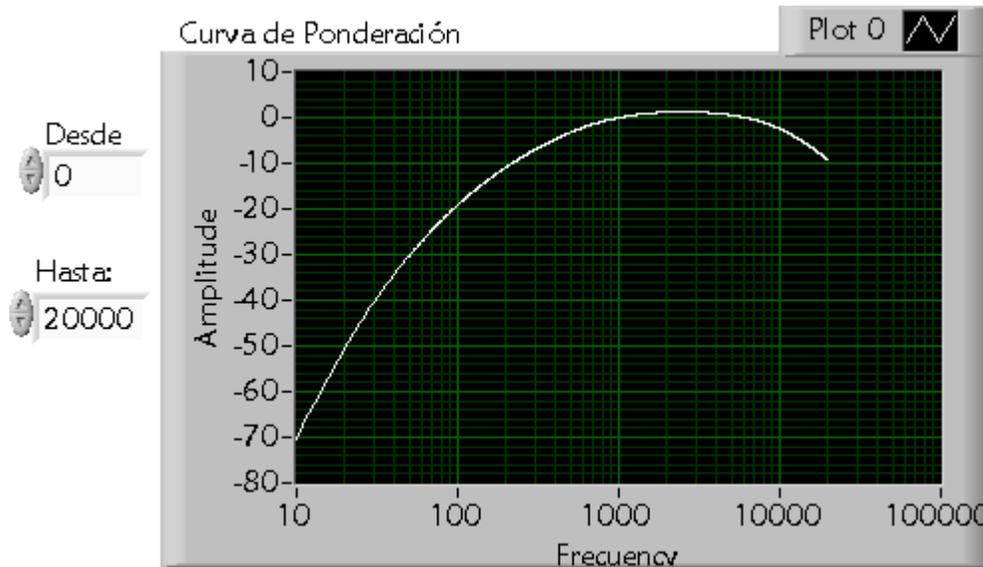


Figura 3.1 Representación de la curva de ponderación

En los resultados presentados en la Tabla 3.2 se obtiene el NPS en donde de la misma manera que en la curva de ponderación se obtuvieron resultados por el método matemático y por los obtenidos en el LabView 7.0.

Tabla 3.2 Comparación de los resultados del N.P.S.

Valor Ponderado	Programa	N.P.S
0	93.98	93.97
-10	89.64	89.63
-20	85.3	85.29
-30	80.94	80.95
-40	76.6	76.6

Figura 3.2 forma en la que se presentaron los valores en el programa LabView 7.0.

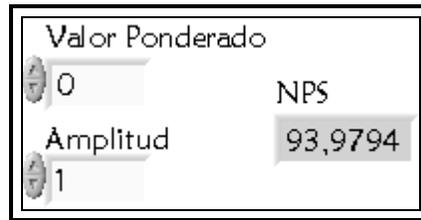


Figura. 3.2 Representación de los resultados del NPS.

En la tabla 3.3 se muestran los diferentes resultados obtenidos a diferentes frecuencias del cálculo del NPS por el programa hecho en LabView 7.0.

Tabla 3.3. Comparativo del cálculo del NPS

Frecuencia	N.P.S (Teórica)	N.P.S (Práctica)
50	63.8	63.7
100	74.9	74.83
160	80.6	80.39
200	83.1	82.73
400	89.2	88.54
500	90.8	90.73
800	93.2	93.18
1000	94	93.98
1600	95	94.97
2000	95.2	95.18
2500	95.3	95.25
4000	95	94.94
5000	94.5	94.53
8000	92.9	92.83
10000	91.5	91.49
20000	84.7	84.64

Al igual que con la curva de Ponderación A en el gráfico presentado en la figura 3.3 presenta los valores del NPS.

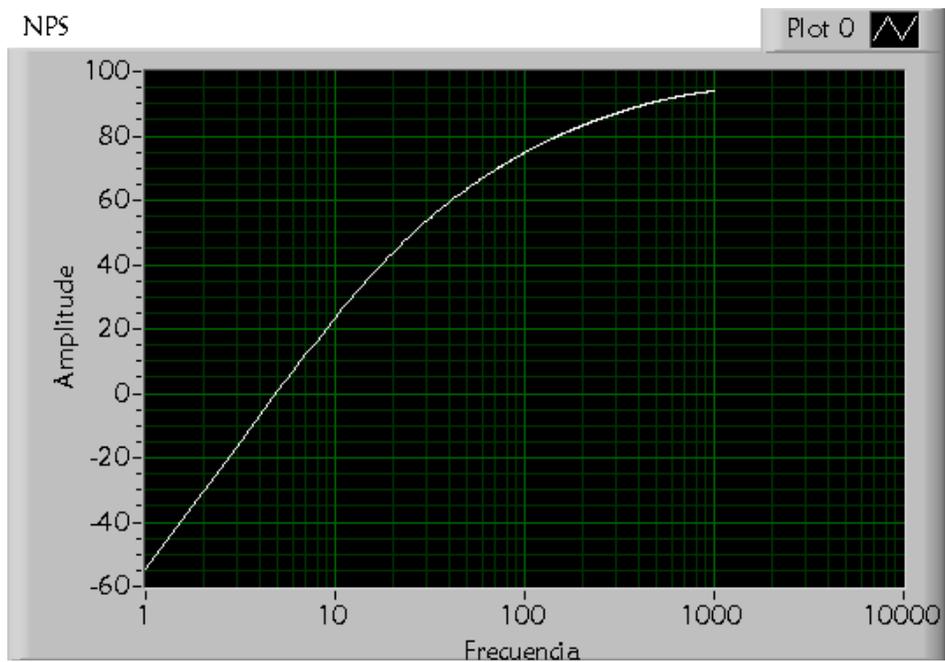


Figura 3.3 Representación gráfica del NPS.

A continuación se muestran resultados obtenidos entre la comparación de un programa que se estaba desarrollando de forma paralela (Analizador de componentes espectrales), a este en la academia de acústica, como se presenta en la Tabla 3.4, se reflejan las frecuencias con las que se trabajaron en ambos casos para concluir que los resultados presentados tienen diferencias mínimas entre ellos y los obtenidos de forma matemática mismos que se presentaron en la tabla 3.2.

Tabla 3.4 Comparativo otro proyecto (Analizador de componentes espectrales).

Frecuencia	Curva de Ponderación	N.P.S (Práctica)	N.P.S (Comparativa)
50	-30	63.8	63.7
100	-19	74.9	74.83
160	-13	80.6	80.39
200	-11	83.1	82.73
400	-5	89.2	88.54
500	-3	90.8	90.73
800	-1	93.2	93.18
1000	0	94	93.98
1600	1	95	94.97
2000	1.2	95.2	95.18
2500	1.3	95.3	95.25
4000	1	95	94.94
5000	1.5	94.5	94.53
8000	-1	92.9	92.83
10000	-2	91.5	91.49
20000	-9	84.7	84.64

A continuación se muestran resultados obtenidos en pruebas realizadas en la cámara anecoica de la academia de Acústica de la ESIME Zacatenco, Tabla 3.5, en donde la señal de entrada es remplazada por una señal externa en este caso se introdujo un micrófono.

Tabla 3.5 Comparativo cámara anecoica.

Frecuencia	Curva de Ponderación	N.P.S (Práctica)	N.P.S (Anecoica)
50	-30	63.8	63.7
100	-19	73.521	74.83
160	-13	80.6	80.39
200	-11	83.4561	82.73
400	-5	89.3065	88.54
500	-3	89.9873	90.73
800	-1	93.9256	93.18
1000	0	94.5321	93.98
1600	1	95.398	94.97
2000	1.2	95.9985	95.18
2500	1.3	95.3956	95.25
4000	1	95.0238	94.94
5000	1.5	94.6342	94.53
8000	-1	92.874	92.83
10000	-2	91.598	91.49
20000	-9	84.7167	84.64

Los resultados obtenidos nuevamente tienen diferencias mínimas contra los que se encontraron por métodos matemáticos o al realizar los comparativos con otros programas desarrollándose dentro de la academia de acústica.

Por último se realizaron pruebas dentro de la cámara anecoica con una amplitud de 5 Vp, como se pueden observar dentro de la Tabla 3.6, los resultados obtenidos presentan diferencias mínimas por lo que se comprueba que este circuito funciona a diferentes amplitudes y donde la curva de ponderación presenta resultados confiables.

Tabla 3.6 Comparativo en amplitud de 5 Vp.

Frecuencia	N.P.S (Práctica)	N.P.S (Anecoica)
100	88.8256	88.8174
200	97.2541	97.1153
300	100.4569	100.9079
400	103.1596	103.1885
500	104.4665	104.7145
600	105.9535	105.7924
700	106.7843	106.5793
800	107.0321	107.1678
900	107.6247	107.616
1000	107.0265	107.9615
1200	108.4484	108.4484
1500	108.8688	108.8688
1800	109.084	109.084
2000	109.5632	109.1642

3.1 Programa Final.

La versatilidad con la que cuenta el LabView 7.0 permite que en una pantalla realices toda la programación mediante circuitos lógicos y operaciones matemáticas (Diagrama a Bloques), como se ha estado presentando a lo largo del capítulo 2, 3 y en otra pantalla se presentan los resultados desde una forma gráfica (Panel Frontal) lo que permite que el uso del programa sea sencillo como se muestra en la Figura 3.4 y en donde se puedan introducir los valores iniciales, de esta forma se pone a trabajar el circuito.

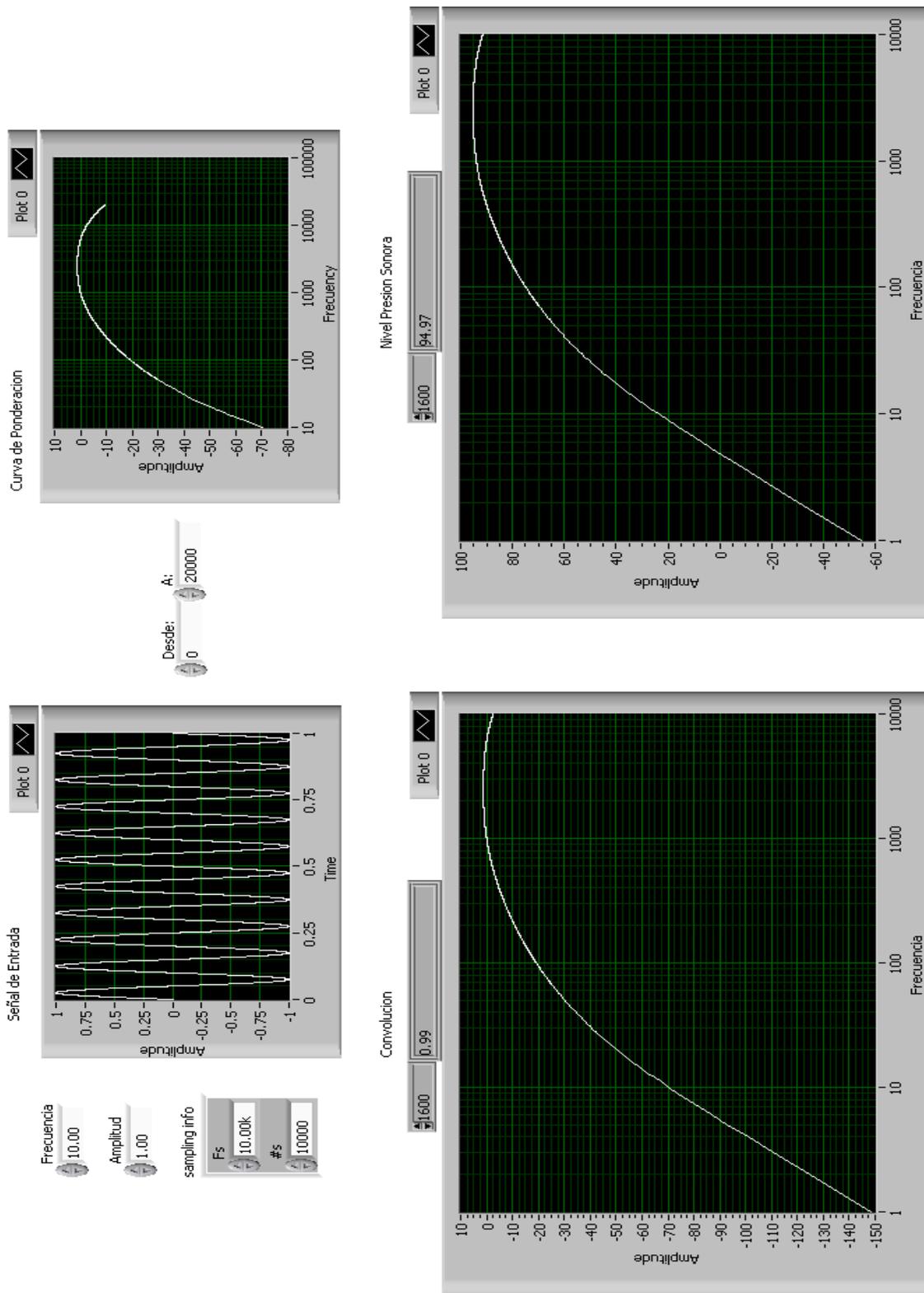


Figura 3.4 Representación gráfica del programa final.

CONCLUSIONES

1. El principal objetivo, fue el diseño de un analizador de frecuencias audibles ó sonómetro, que en la puesta en marcha resulte didáctico el funcionamiento y que permita a los alumnos de la ESIME Zacatenco y/o de la especialidad de acústica, ocuparlo durante los diversos proyectos y prácticas que se estén realizando.
2. En el caso de la curva de ponderación el sistema, al igual que con el NPS presenta la gráfica del valor calculado y los valores matemáticos resultantes en base a las operaciones previamente capturadas esto ayuda al momento de realizar las interpretaciones sea bastante práctico.
3. Otra de las grandes versatilidades de este software es que en una pantalla o Diagrama a Bloques se hace toda la programación y en otra se introducen los parámetros iniciales y presentan los resultados (Panel de control), lo que facilita el uso ya que no es necesario tener conocimientos previos para poder interpretar la información que se presente.
4. La programación en LabView 7.0 permite que sea sencillo determinar los errores ya que muestra de forma práctica en el Diagrama a Bloques donde se encuentra la falla, determinando en que punto se encuentra y dando una pequeña descripción del error indicando cuales pueden ser las posibles soluciones.
5. Los resultados obtenidos en el analizador de frecuencias audibles para la curva de ponderación A, utilizando el LabView 7.0 son confiables para los rangos de 0-200000 Hz.
6. Se propone implementar el Analizador de Frecuencias Audibles empleando el LabView 7.0, para el estudio de la curva de ponderación A y para el NPS con fines didácticos para : el estudios análisis de frecuencias de la curva de ponderación A, el análisis de los resultados para el NPS. De forma adicional se propone que se realicen

los cambios necesarios para el desarrollo de los subprogramas necesarios para que puedan autocalibrarse a medios externos.

7. Esperando que la colaboración con este proyecto sirva para que los alumnos de la especialidad de acústica lo puedan ocupar en el salón de clases y saquen provecho a esta investigación y la puedan hacer crecer en base a las necesidades de la escuela y los catedráticos.

ANEXO

LabView 7.0 es una herramienta gráfica para pruebas, control y diseño mediante la programación. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje Gráfico.

Este programa fue creado por National Instruments (1976) para funcionar sobre máquinas MAC, salió al mercado por primera vez en 1986. Ahora está disponible para las plataformas Windows, UNIX, MAC y GNU/Linux. La última versión es la 2011.



Los programas desarrollados con LabView 7.0 se llaman Instrumentos Virtuales, o VIs, y su origen provenía del control de instrumentos, aunque hoy en día se ha expandido ampliamente no sólo al control de todo tipo de electrónica (Instrumentación electrónica) sino también a su programación embebida. Un lema tradicional de LabView 7.0 es: "La potencia está en el Software", que con la aparición de los sistemas multinúcleo se ha hecho aún más potente. Entre sus objetivos están el reducir el tiempo de desarrollo de aplicaciones de todo tipo (no sólo en ámbitos de Pruebas, Control y Diseño) y el permitir la entrada a la informática a profesionales de cualquier otro campo.



Su principal característica es la facilidad de uso, válido para programadores profesionales como para personas con pocos conocimientos en programación pueden hacer programas relativamente complejos, imposibles para ellos de hacer con lenguajes tradicionales. También es muy rápido hacer programas con LabView 7.0 y cualquier programador, por experimentado que sea, puede beneficiarse de él. Los programas en LabView 7.0 son llamados instrumentos virtuales (VIs). Para los amantes de lo complejo, con LabView 7.0 pueden crearse programas de miles de VIs (equivalente a millones de páginas de código texto) para aplicaciones complejas, programas de automatizaciones de decenas de miles de puntos de entradas/salidas, proyectos para combinar nuevos VIs con VIs ya creados, etc.

Como se ha dicho es una herramienta gráfica de programación, esto significa que los programas no se escriben, sino que se dibujan, facilitando su comprensión. Al tener ya pre-diseñados una gran cantidad de bloques, se le facilita al usuario la creación del proyecto, con lo cual en vez de estar una gran cantidad de tiempo en programar un dispositivo/bloque, se le permite invertir mucho menos tiempo y dedicarse un poco más en la interfaz gráfica y la interacción con el usuario final. Cada VI consta de dos partes diferenciadas:

- Panel Frontal: El Panel Frontal es la interfaz con el usuario, la utilizamos para interactuar con el usuario cuando el programa se está ejecutando, Figura A.1. Los usuarios podrán observar los datos del programa actualizados en tiempo real (como van fluyendo los datos, un ejemplo sería una calculadora, donde tu le pones las entradas y te pone el resultado en la salida). En esta interfaz se definen los controles (los usamos como entradas, pueden ser botones, marcadores etc.) e indicadores (los usamos como salidas, pueden ser gráficas, etc.).

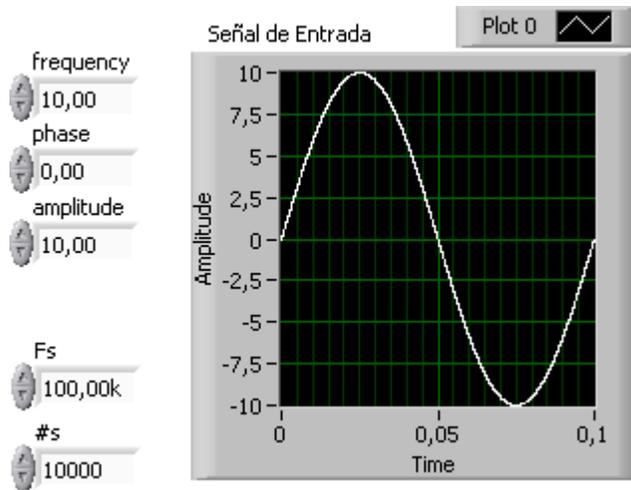


Figura A.1 Representación del Panel Frontal de LabView 7.0.

- Diagrama de Bloques: es el programa propiamente dicho, donde se define su funcionalidad, Figura A.2, aquí se colocan íconos que realizan una determinada función y se interconectan (el código que controla el programa). Suele haber una tercera parte icono/conector que son los medios utilizados para conectar un VI con otros VIs.

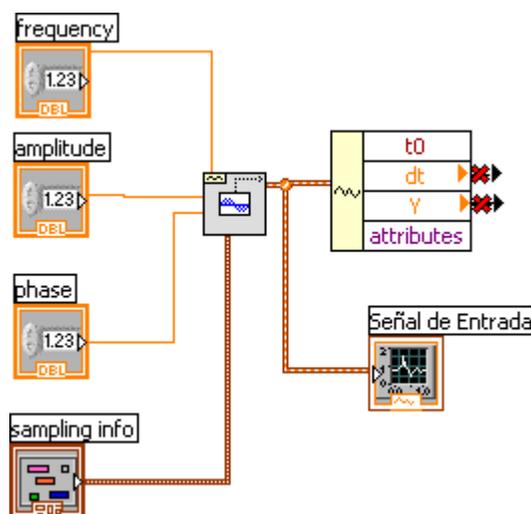


Figura A.2 representación del Diagrama a Bloques del LabView 7.0.

En el panel frontal, encontraremos todo tipos de controles o indicadores, donde cada uno de estos elementos tiene asignado en el diagrama de bloques una terminal, es decir el usuario podrá diseñar un proyecto en el panel frontal con controles y indicadores, donde estos elementos serán las entradas y salidas que interactuaran con la terminal del VI. Podemos observar en el diagrama de bloques, todos los valores de los controles e indicadores, como van fluyendo entre ellos cuando se está ejecutando un programa VI.

BIBLIOGRAFIA

- ⌘ RECUERO López, Manuel. Estudios y controles para grabación sonora. Ed. Instituto Politécnico Nacional, México 1991. Pág. 51-66, 513
- ⌘ KINSLER Lawrence E, et al. Fundamentos de Acústica. Ed. Limusa. México 1995. Pág. 22, 163
- ⌘ <http://www.ni.com/gettingstarted/labviewbasics/esa/>
- ⌘ <http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/~acustica/comite/niveles.htm>
- ⌘ <http://es.wikipedia.org/wiki/Sonoridad>
- ⌘ <http://www.ehu.es/acustica/espanol/ruido/genes/genes.html>
- ⌘ http://es.wikipedia.org/wiki/Nivel_de_presi%C3%B3n_sonora
- ⌘ http://www.anarkasis.com/pitagoras/577_presion_sonora/
- ⌘ <http://www.monografias.com/trabajos/contamacus/contamacus.shtml>
- ⌘ <http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/~acustica/biblio/pregunta.htm>
- ⌘ <http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/~acustica/comite/quesrui.htm>
- ⌘ <http://es.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>