

RAE

1. **TIPO DE DOCUMENTO:** Trabajo de grado para optar por el título de INGENIERO DE SONIDO.
2. **TITULO:** DESARROLLO DE UN ALGORITMO SUPRESOR DE FEEDBACK EN TIEMPO REAL.
3. **AUTOR(ES):** Germán Enrique Bermúdez Triana, Stephani Herrera Penagos.
4. **LUGAR:** Bogotá D.C.
5. **FECHA:** Septiembre de 2015.
6. **PALABRAS CLAVES:** Feedback, Retroalimentación Acústica, Promedio energético, Filtros Notch, Transformada de Fourier, Protocolo UDP.
7. **DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:** El objetivo principal de este proyecto es desarrollar un algoritmo capaz de suprimir retroalimentaciones en un sistema electroacústico en tiempo real por medio de una comparación entre un nivel promedio energético de la señal y el valor de la retroalimentación acústica detectada en una frecuencia en específico. A continuación, por medio de filtros notch le es asignada la frecuencia y este procede a realizar la supresión de la misma, logrado una optimización en los sistemas de refuerzo sonoro.
8. **LINEA DE INVESTIGACIÓN:** Línea de investigación USB: Tecnologías actuales y sociedad. Sublínea de la Facultad de Ingeniería: Procesamiento de Señales. Campo de investigación del programa: Diseño de sistemas de sonido.
9. **METODOLOGÍA:** Es de carácter empírico - analítico.
10. **CONCLUSIONES:** A partir de las pruebas realizadas con respecto al funcionamiento del algoritmo, se demuestra la efectividad de este, ya que genera una reducción promedio de 12 dB con respecto a la frecuencia generadora del feedback o retroalimentación del sistema. El tiempo de detección del feedback se encuentra en un promedio de 1,4 segundos de detección y reducción. La latencia del algoritmo depende netamente de la interfaz a usar, como se evidencia en los errores sistemáticos. Por esta razón, después de las pruebas realizadas con las diferentes interfaces de audio, la interfaz que presenta un menor tiempo de latencia es la Focusrite Saffire Pro 40, que le brinda una estabilidad mayor al sistema por su tipo de conexión y velocidad de transmisión de datos.

Desarrollo de un algoritmo supresor de feedback en tiempo real

Germán Bermúdez Triana, Stephani Herrera Penagos

Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero de sonido

Tutor

**Ingeniero Darío Páez
Docente Académico**

**Universidad de San Buenaventura
Facultad de ciencias básicas e ingeniería
Ingeniería de Sonido
Bogotá D.C
2015**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C

AGRADECIMIENTOS

“Si tienes una pasión, si realmente crees en algo, esfuérzate y podrás hacer posibles las cosas con las que has soñado” **Norman Foster**

Queremos agradecerles a nuestros padres por apoyarnos en este proceso de formación académica y brindarnos la oportunidad de estudiar una carrera que nos apasiona. También a nuestras familias, amigos, profesores y a todos aquellos que participaron de manera directa o indirecta en el desarrollo de nuestro proyecto.

Además, queremos agradecerle a todos nuestros docentes que se cruzaron en nuestro camino y nos ayudaron a culminar este proceso, en especial al Ingeniero Darío Páez por brindarnos sus conocimientos dentro y fuera de las aulas de clase.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	iv
CONTENIDO	v
CONTENIDO DE FIGURAS.....	viii
CONTENIDO DE TABLAS	x
INTRODUCCIÓN	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.1.1 Métodos de supresión de feedback de los últimos 50 años.....	2
1.1.2 Diseño de algoritmo de eliminación de feedback por reducción de ganancia. ...	2
1.1.3 Implementación de diferentes filtros en la detección de múltiples feedbacks. ...	3
1.1.4 Desarrollo de algoritmo supresor de feedback preventivo.	3
1.2 Descripción y formulación del problema	4
1.3 Justificación	4
1.4 Objetivos de la investigación	5
1.4.1 Objetivo General.....	5
1.4.2 Objetivos Específicos.....	5
1.4 Alcances y limitaciones del proyecto.....	6
1.4.1 Alcance	6
1.4.2 Limitación.....	6
2. MARCO DE REFERENCIA	7
2.1 Marco teórico – conceptual.....	7
2.1.1 Retroalimentación Acústica (Feedback)	7
2.1.2 Métodos De Cancelación De Feedback	9
2.1.3 Filtros Notch.....	11
2.1.4 Filtros IIR	12
2.1.5 Filtro FIR.....	12
2.1.6 Transformada De Fourier	13
2.1.7 Función De Transferencia.....	14
2.1.8 Promedio energético.....	15
2.1.9 Protocolo de comunicación UDP (User Data Protocol).	15

2.1.10	RTA (Real Time Analyser)	16
2.1.11	Correlación.....	16
3.	METODOLOGÍA.....	17
3.1	Enfoque de la investigación.....	17
3.2	Línea de investigación de usb / sub-línea de facultad / campo temático del programa	17
3.3	Hipótesis	17
3.4	Variables	18
3.4.1	Dependientes	18
3.4.2	Independientes.....	18
4.	DESARROLLO INGENIERIL.....	19
4.1	Elección del método de reducción de feedback.....	19
4.2	RTA y detector de frecuencia en Labview.....	20
4.2.1	Ingreso de señal de audio en LABVIEW.....	20
4.2.2	Análisis de frecuencia y envío de datos por UDP en LABVIEW.	20
4.3	Desarrollo del algoritmo supresor en Pure data.	21
4.3.1	Ingreso de señal de audio en Pure Data.	21
4.3.2	Filtrado por tercio de octava.	21
4.3.3	Promedio energético de filtros de bandas de tercio.....	23
4.3.4	Comparación de promedios y discriminación de feedback.	24
4.3.5	Filtros de supresión del algoritmo.	25
4.3.6	Elección de filtros para el algoritmo.....	26
4.3.6.1	<i>Filtros para las bandas de tercio de octava.</i>	27
4.3.6.2	<i>Filtros para eliminación de feedback.</i>	30
4.3.7	Conexión del sistema.....	33
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	34
5.1	Latencia del sistema.....	34
5.2	Pruebas.....	36
5.2.1	Prueba N° 1.....	37
5.2.1	Prueba N° 2.....	38
5.3	Fase.....	41
5.4	Errores sistemáticos	42

5.5	Correlación	43
5.6	Comparación del algoritmo con el supresor dbx ASF224.....	43
5.6.1	Nivel de atenuación.....	44
6.	CONCLUSIONES	51
7.	RECOMENDACIONES	53
	BIBLIOGRAFÍA.....	54
	APÉNDICE A.	56
	APÉNDICE B.	64
	APÉNDICE C.	71
	APÉNDICE D.	73

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1 Típico flujo acústico y eléctrico de una retroalimentación	8
Figura 2. Flujo de señal del método por cancelación de fase	10
Figura 3. Diagrama de bloques de entrada de señal de audio.....	20
Figura 4. Diagrama de bloques de entrada de algoritmo en Labview	21
Figura 5 Diagrama de bloques de entrada de audio en Pure Data	21
Figura 6. Diagrama de bloques de filtro en Pure Data.....	22
Figura 7. Diagrama de bloques de promedio por banda de tercio	22
Figura 8. Diagrama de bloques de promedio energético.	23
Figura 9. Diagrama de bloques de comparación de promedios.	24
Figura 10. Diagrama de bloques de envío de frecuencias a Pure Data.....	25
Figura 11. Diagrama de bloques de envío de frecuencias a memorias y filtrado en Pure Data. .	26
Figura 12. Medición de filtro Butterworth tipo Low pass y Hi pass de 2 do orden de Pure Data.	27
Figura 13. Medición de fase filtro Butterworth tipo Low pass y Hi pass de 2 do orden de Pure Data.	28
Figura 14. Medición de filtro Butterworth tipo Low pass y Hi pass de 3er orden de Pure Data.	28
Figura 15. Medición de fase filtro Butterworth tipo Low pass y Hi pass de 3 er orden de Pure Data.	28
Figura 16. Medición de filtro Butterworth tipo Low pass y Hi pass de 9no orden de Pure Data.	29
Figura 17. Medición de fase filtro Butterworth tipo Low pass y Hi pass de 9no orden de Pure Data.	29

Figura 18. Medición de filtro band stop Notch 2 do orden con Q de 10 Pure Data..	30
Figura 19. Medición de filtro band stop Notch 2 do orden con Q de 40 Pure Data	30
Figura 20. Medición de filtro band stop Notch 2 do orden con Q de 50 Pure Data	31
Figura 21. Medición de respuesta del filtro band stop Notch 2 do orden con Q de 10 Pure Data.	31
Figura 22. Medición de respuesta del filtro band stop Notch 2 do orden con Q de 40 Pure Data.	32
Figura 23. Medición de respuesta del filtro band stop Notch 2 do orden con Q de 50 Pure Data.	32
Figura 24. Diagrama de bloques de conexión del sistema.....	33
Figura 25. Medición de latencia con EASERA Systune con interfaz AudioBox	34
Figura 26. Medición de latencia con EASERA Systune con interfaz MBOX 2 Pro	35
Figura 27. Medición de latencia con EASERA Systune con interfaz FOCUS SAFFARIE PRO	35
Figura 28. Configuración prueba N° 1 entre altavoz Electro – Voice y SM 57.	37
Figura 29. Configuración prueba N° 1 entre altavoz Electro – Voice y SM 57.	39
Figura 30.. Comparación en medición de respuesta en fase en frecuencia de 63 Hz.	41
Figura 31. Comparación en medición de respuesta en fase en frecuencia de 125 Hz..	42
Figura 32. Medición Acústica de nivel reducido por supresores.....	44
Figura 33. Medición Acústica de nivel reducido por supresores 2.....	45
Figura 34. Medición Acústica de nivel reducido por supresores en frecuencia de 63 Hz... ..	46
Figura 35. Medición Acústica de nivel reducido por supresores en frecuencia de 125 Hz... ..	46
Figura 36. Medición Acústica de nivel reducido por supresores en frecuencia de 250 Hz... ..	46

Figura 37. Medición Acústica de nivel reducido por supresores en frecuencia de 500 Hz... ..	47
Figura 38. Medición Acústica de nivel reducido por supresores en frecuencia de 1000 Hz... ..	47
Figura 39. Medición Acústica de nivel reducido por supresores en frecuencia de 2000 Hz... ..	47
Figura 40. Medición Acústica de nivel reducido por supresores en frecuencia de 4000 Hz... ..	48
Figura 41. Medición Acústica de nivel reducido por supresores en frecuencia de 8000 Hz... ..	48
Figura 42. Medición Acústica de nivel reducido por supresores en frecuencia de 16000 Hz... ..	48

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Resultados con micrófono SM57 y cabina Electro-Voice LiveX 12P	37
Tabla 2. Resultados con micrófono SM58 y cabina Electro-Voice LiveX 12P.	38
Tabla 3. Resultados con micrófono AKG D3700 y cabina Electro-Voice LiveX 12P.....	38
Tabla 4. Resultados con micrófono SM57 y cabina Mackie.	39
Tabla 5. Resultados con micrófono SM58 y cabina Mackie.	40
Tabla 6. Resultados con micrófono AKG D3700 y cabina Mackie.....	40
Tabla 7. Niveles de supresión para algoritmo desarrollado por bandas de octava.....	49
Tabla 8. Niveles de supresión para supresor por bandas de octava.....	49

INTRODUCCIÓN

La comunicación es parte esencial en el desarrollo cultural de una sociedad, en la que existe un cambio de información entre individuos a través de herramientas lingüísticas. Un sistema de comunicación esta formado por emisor, mensaje, código de canal, un contexto y un receptor. Muchas veces se puede ver afectada la percepción del mensaje lingüístico, es decir, que cuando un ruido se superpone a un sonido útil, el espectro resultante difiere del original dificultando su interpretación. En el caso específico de los sistemas de refuerzo sonoro, se puede llegar a presentar un enmascaramiento en el mensaje transmitido, esto ocasionado por una retroalimentación electroacústica del sistema. A partir de allí surge la necesidad de indagar acerca de cómo este problema puede ser controlado y que no existan problemas en la transmisión del mensaje.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

1.1.1 Métodos de supresión de feedback de los últimos 50 años.

Fifty year of acoustic feedback control: state of the art and future challenges. February, 2011, IEEE.

Los autores Toon Van Waterschoot, y Marc Moone promovieron una investigación con respecto a los métodos de la eliminación de feedback, aplicados en las ultimas cinco (5) décadas y a partir de ello determinan seis diferentes métodos: 1) La modulación de fase, 2) La reducción de ganancia, 3) Filtrado especial, 4) El control de modelo de salas, 5) Filtrado adaptativo con filtros con respuesta impulsiva finita (FIR) y 6) Filtrado adaptativo con filtros con respuesta impulsiva infinita (IIR). [1]

Con base en lo anterior y retomando a Van Waterschoot, y Moone, este proyecto de grado tiene como objetivo implementar algunos de los métodos de supresión mencionados por los autores.

1.1.2 Diseño de algoritmo de eliminación de feedback por reducción de ganancia.

La autora Mónica Reyes en su tesis: “Prototipo de un cancelador de feedback o retroalimentación”, realiza un algoritmo en el software Matlab implementando un método por reducción de ganancia, el cual sea capaz de detectar las frecuencias que generan la retroalimentación en el sistema. Sin embargo después de haber realizado pruebas no funciona en tiempo real. [2]

Para el desarrollo del proyecto de grado se tomo en cuenta varias referencias en la parte de la aplicación de los métodos de supresión y la base para la estructura del algoritmo.

1.1.3 Implementación de diferentes filtros en la detección de múltiples feedbacks.

An accurate method of detection and cancellation of multiple acoustic feedbacks, AES, Barcelona 2005.

Los autores Ariel Rocha y Aníbal Ferrería desarrollan la implementación de un método de cancelación de feedback usando una alta resolución en el análisis de frecuencias y aplican un filtro Notch sin generar una distorsión en el espectro de la señal con un filtro FIR y un Filtro IIR. Posteriormente, llegan a la conclusión que tiene un mejor funcionamiento un filtro Notch IIR ya que posee menos costo computacional que el filtro FIR. [3]

1.1.4 Desarrollo de algoritmo supresor de feedback preventivo.

Diseño de un software supresor de retroalimentaciones por reducción de ganancia, para pre optimización de un sistema de monitores de sonido en vivo aplicando correcciones de filtrado en una consola Yamaha LS9 remotamente. Tesis Universidad de San Buenaventura. Mayo 2014.

El autor Carlos Andrés Peña Gil desarrolla un algoritmo supresor de feedback preventivo por mensajes midi para conexión con la consola Yamaha LS9 implementando filtros Notch mediante el software Pure Data. [4]

1.2 Descripción y formulación del problema

El objetivo principal de los sistemas de refuerzo sonoro es amplificar y transmitir un mensaje garantizándole al oyente una percepción con un nivel de presión sonora adecuado y una alta inteligibilidad. En ocasiones, esta inteligibilidad puede ser interrumpida por una retroalimentación acústica y/o electrónica también conocida como feedback, que afecta la estabilidad del sistema y trae consigo un enmascaramiento en el mensaje que se desea transmitir, originando problemas de tipo electroacústico en los diferentes dispositivos. Por ello, surge la necesidad de implementar un algoritmo en el cual se genere un control de dicha retroalimentación en tiempo real proporcionando así una estabilidad en el funcionamiento del sistema. Teniendo en cuenta el análisis mencionado anteriormente, se plantea la siguiente pregunta:

¿Cómo desarrollar un algoritmo que identifique y controle las frecuencias que generan una retroalimentación acústica y/o electrónica en tiempo real, el cual pueda ser utilizado en montajes electroacústicos generando así una protección adecuada al sistema en tiempo real?

1.3 Justificación

Los sistemas electroacústicos ocupan un espacio importante en la comunicación del ser humano debido a que permiten transmitir un mensaje de manera clara y concisa. Hoy en día, el uso de estos sistemas es parte fundamental e indispensable en el desarrollo de cualquier tipo de evento, dichos sistemas pueden verse afectados por una retroalimentación acústica y/o electrónica la cual puede generar algún daño en el sistema, molestias a nivel auditivo que pueden llegar a ser perjudiciales para la salud o simplemente retrasos en el evento que se esté llevando a cabo.

Existen diferentes métodos y dispositivos de supresión los cuales pueden ser bastante costosos, generando así una problemática para los montajes electroacústicos que son realizados con un presupuesto limitado y lo que se busca a través de este proyecto es crear un algoritmo que sea capaz de generar un control en tiempo real de las retroalimentaciones acústicas presentadas en el sistema.

Dicho algoritmo podrá ser implementado en dichos montajes y/o eventos proporcionándole un control de retroalimentación y un mejor desempeño del sistema.

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo General

Desarrollar un algoritmo capaz de suprimir retroalimentaciones en un sistema electroacústico en tiempo real.

1.4.2 Objetivos Específicos

- ❖ Caracterizar y desarrollar el algoritmo según el método escogido, definiendo las características principales con el que éste va a trabajar.
- ❖ Implementar el algoritmo en un sistema de procesamiento de datos como un computador.
- ❖ Evaluar y comparar el funcionamiento del algoritmo.

1.4 Alcances y limitaciones del proyecto

1.4.1 Alcance

Se presentará la implementación de un algoritmo supresor de feedback que genere control a los sistemas electroacústicos donde su funcionamiento sea en tiempo real.

1.4.2 Limitación

- Las especificaciones técnicas con las que cuenta el computador tales como la velocidad de procesamiento de información y la capacidad de almacenamiento de la misma.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 Marco teórico – conceptual

2.1.1 Retroalimentación Acústica (Feedback)

Este término es descubierto por Norbert Wiener, padre de la cibernautica determinándolo para el control de sistemas. A medida del tiempo, el concepto se fue referenciando en otros campos como en la comunicación debido al crecimiento en la parte radial en el año 1920 con el desarrollo de un tubo al vacío y el control de volumen automático. La primera definición sobre este término fue dada por Norbert Wiener quien dice que la retroalimentación es un proceso por el que una cierta proporción de la señal de salida de un sistema se redirige de nuevo a la entrada. Además de ello plantea que existe un feedback positivo y uno negativo, donde el feedback positivo se encarga de que el sistema no alcance un punto de equilibrio sino un punto de saturación, mientras que el feedback negativo tiende a llegar a un punto de equilibrio en sistemas de control. Teniendo en cuenta estas definiciones se llega al feedback acústico determinado como una retroalimentación positiva haciendo referencia a una inestabilidad en el sistema.

Este fenómeno de retroalimentación acústica presenta en el acople entre el micrófono y el parlante, es decir, la señal captada por el micrófono es enviada a un proceso de amplificación y finalmente es reproducida por un altavoz, pero esta señal es captada nuevamente por el micrófono generando un bucle de la señal. Esta retroalimentación de la señal convierte el sistema en un oscilador de frecuencias, generando una frecuencia en particular que depende directamente de la resonancia del micrófono, el patrón de directividad, el altavoz, la acústica de

la sala, la ubicación de los equipos y la distancia de separación entre ellos. Estas retroalimentaciones pueden generar daños en los equipos y además generar al público incomodidad auditiva.

En la Figura 1 se muestra el flujo de la señal, donde ésta es captada por un micrófono conectado a un mixer o consola que va conectado a un amplificador enviándolo a un parlante.

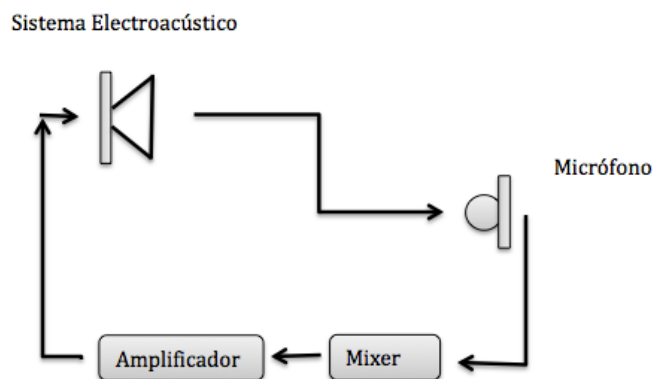


Figura 1– Típico flujo acústico y eléctrico de una retroalimentación.

Para reducir la probabilidad de que estas retroalimentaciones se presenten, es necesario tener en cuenta la directivita tanto del micrófono como del altavoz y su posicionamiento, de tal manera que el sonido generado por el altavoz no pueda ser capturado por el micrófono.

Se determina que $y(t)$ es la señal captada por el micrófono, que esta constituida por el sonido deseado $s(t)$, la molestia presentada en el trayecto de la realimentación $x(t)$ y por último la señal amplificada en la salida del sistema de refuerzo sonoro $u(t)$. Se determina que G es la ganancia independiente del amplificador, F la función de transferencia de la trayectoria de la retroalimentación acústica y $GF(\Omega)$ es la ganancia de lazo abierto del sistema. Teniendo en cuenta esto, la función de transferencia del ciclo cerrado micrófono – altavoz es la siguiente:

$$\frac{U(\Omega)}{S(\Omega)} = \frac{G}{1 - GF(\Omega)} \quad (1)$$

Teniendo en cuenta el criterio de Nyquist, este lazo cerrado se mantendrá estable si la ganancia en el lazo abierto es $GF(\Omega) < 1$ en todas las frecuencias, pero si la ganancia aumenta proporcionalmente entonces $|GF(\Omega) < 1|$ puede ser menor para algunas frecuencias en la que el valor absoluto de la función de transferencia del lazo cerrado aumentara considerablemente. Por lo tanto el sistema será inestable y se presentará un realce en cierta frecuencia con un ancho de banda amplio y un pico en el espectro.

2.1.2 Métodos De Cancelación De Feedback

- Método por Modulación de Fase

Este método fue de los primeros en implementarse para el control de retroalimentaciones, consiste en tener un control con la fase de la señal captada por el micrófono de manera que si llegan a presentarse valores de frecuencias que realcen su nivel promedio ocasionando una retroalimentación del sistema, esta será analizada, desfasada 180° y será retornada al sistema para eliminar el feedback. Para ello, se aplica un filtro modulador de fase (MF) que se encuentra antes de entrar a la etapa de amplificación para que la señal de audio esté limpia al entrar al sistema electroacústico.

Otro método es la modulación de fase (PM) generando una variación en la fase de la señal de manera proporcional con respecto a la señal del feedback, esto para poder eludir la fase según el criterio de Nyquist pero esto fue determinado después de realizar varios experimentos por Guelke, Broadhurst, Svensson, Poletti, entre otros.

Finalmente, se refleja una desventaja sobre este método debido a que la modulación de fase no presenta una estabilidad en el sistema ocasionando distorsión; esto puede aumentar con respecto a la cantidad de canales de audio a manejar.¹

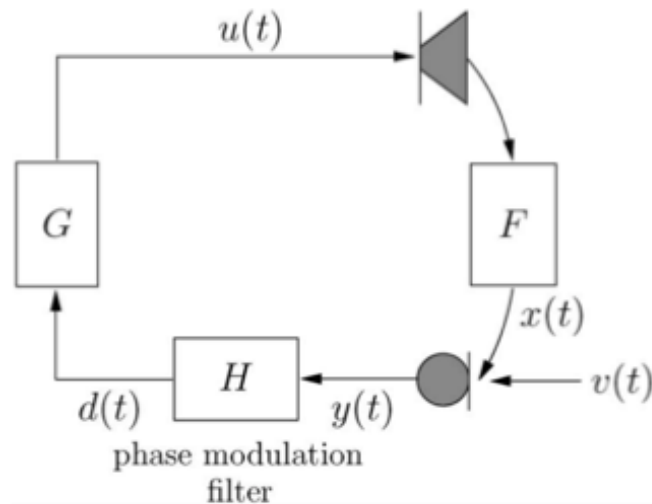


Figura 2– Flujo de señal del método por cancelación de fase.

- Método de Reducción de Ganancia

Este método es uno de los más comunes para realizar una cancelación de feedback; consiste en la reducción de la ganancia en la frecuencia que genera problemas en el sistema, para ello se debe tener en cuenta el ancho de banda de la frecuencia y la ganancia que reduce realmente. Normalmente, se aplican otros métodos que tienen como base la reducción de ganancia pero estos son de manera reactiva, esto quiere decir que la retroalimentación o feedback alcanza a ser percibida por el oyente e inmediatamente es atacada. Uno de ellos es el método de AGC conocido como reducción de ganancia temprana, esta es implementada por Patronis en el año

¹WATERSCHOOT, Toon Van. MOONEN, Marc. Fifty Year of Acoustic Feedback Control: State of the Art and Future Challenges

1978, el cual consiste en detectar la frecuencia en la que se genera el feedback e inmediatamente reducir el ancho de banda de esta pero después de un determinado tiempo el intervalo de frecuencia vuelve a restablecer su ganancia. Estas frecuencias son discriminadas a partir de la señal de fuentes tonales ya que al generarse el feedback estas frecuencias perduran por un corto tiempo.

- Método por Control de Modelo de Sala

Se encuentran dos maneras de realizar este método ya sea por un análisis realizado en el momento del montaje del sistema de refuerzo sonoro o mientras se realiza el evento.

Para ello se emplea el modelo de camino de retroalimentación (AFC), este se usa para determinar el componente que genera la retroalimentación en la señal del micrófono y esta señal es restada a la señal del micrófono lo cual genera una señal con una compensación.

Este método es muy similar a la cancelación de eco acústico (AEC) en donde se emplea un filtro adaptativo para identificar, moldear y realizar un seguimiento a la respuesta de impulso antes de que se genere una retroalimentación acústica.

2.1.3 Filtros Notch

Son filtros digitales que operan basándose en señales discretas y cuantizadas. Estos filtros son también conocidos como filtro rechaza banda ya que son estrechos y eliminan una frecuencia puntual.²

- Factor Q

² PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES, Diseño de Filtros Digitales, recuperado de <http://www.ingelec.uns.edu.ar/pds2803/Materiales/Cap07/07-Cap07.pdf>.

Es la relación que existe entre la frecuencia que va a ser afectada y el ancho de banda del filtro que se va a implementar. Este factor se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{F_o}{B} \quad (2)$$

Donde:

Fo : Frecuencia central

B: Ancho de banda

2.1.4 Filtros IIR

Son filtros digitales e invariantes en el tiempo donde su clasificación se da por la longitud de la respuesta impulsiva. La señal de entrada y la señal de salida se relacionan por la suma de convolución tomando la siguiente forma:

$$y[n] = \sum_{k=0}^{\infty} h[k] x[n - k] \quad (3)$$

La respuesta de estos filtros no es lineal y son sistemas retroalimentados. Este filtro depende de una estabilidad proporcionada por la fase ya que se determina según la ubicación que tengan los polos y ceros dentro de una circunferencia. Para tener un sistema estable la fase debe ser mínima, esto quiere decir, que la ubicación de polos y ceros debe estar en el interior de la circunferencia.

2.1.5 Filtro FIR

Son filtros digitales que presentan una buena estabilidad al realizar análisis de respuesta en frecuencia. Estos filtros son estrictamente diseñados para poder tener una respuesta de fase lineal brindando así una estabilidad en las diferentes aplicaciones como lo son el audio digital y la transmisión de datos.

Se basan al igual que los filtros IIR, en la suma de convolución de la señal de entrada y salida como se plasma en la siguiente expresión:

$$y[n] = \sum_{k=0}^{N-1} h[k] x[n - k] \quad (4)$$

Donde la variable N es el orden que posee el filtro y de este depende la cantidad del modo de la respuesta impulsiva y $h[n]$, n es la respuesta impulsiva.

Un factor que debe tenerse en cuenta al desarrollar el diseño de estos filtros es que tienen un mayor número de coeficientes que los filtros IIR debido a que las bandas usualmente son muy estrechas y el tiempo de procesamiento es mayor.

2.1.6 Transformada De Fourier

La transformada rápida de Fourier es un método matemático para transformar una función del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, dicha transformada es muy importante para el análisis de los fenómenos dependientes del tiempo. Una de las aplicaciones más importantes hace referencia al análisis del sonido, debido a que puede evaluar la distribución energética por frecuencias de un sonido.

La transformada de Fourier está definida de la siguiente manera:

$$H(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) * e^{-j\omega t} dt \quad (5)$$

Esto indica que una frecuencia determinada f es la integral de la multiplicación de una señal de entrada en este caso $h(t)$ y un tono puro $e^{-j\omega t}$. El espectro a analizar es de 0Hz hasta infinito con su imagen espectral en el eje negativo de frecuencias que es $H(f)$.

Los sistemas digitales manejan señales discretas en un tiempo discreto por ello el uso de la transformada de Fourier para su representación y dicha solución se da por medio de la Transformada Discreta de Fourier.

Si se tiene una señal $h(t)$ con una frecuencia de muestreo F_s se obtiene una señal discreta $h[n]$ donde el periodo de muestreo será T o $1/F_s$ por lo que la señal sería $h(nT)$. La transformada de Fourier en tiempo discreto se denota como $H(e^{j\theta})$, donde θ es la fase.

2.1.7 Función De Transferencia.

Es un modelo matemático que relaciona la entrada de un sistema con su salida, descrito en un principio por Laplace. Se define una función de transferencia con la siguiente ecuación:

$$H(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} \quad (6)$$

Donde, $H(s)$ es la función de transferencia, $Y(s)$ es la transformada de Laplace de la respuesta y $X(s)$ es la transformada de Laplace de la señal de entrada.

2.1.8 Promedio energético.

Cuando se manejan varios valores numéricos que se encuentran en una escala logarítmica en este caso en decibeles, es necesario realizar un promedio energético, para ello se usa la siguiente ecuación:

$$L = 10 * \log \left(\frac{10^{\frac{L1}{10}} + 10^{\frac{L2}{10}}}{2} \right) \quad (7)$$

Donde, L es el promedio energético entre L1 y L2.

En el caso que los valores a promediar sean mayores, se aplica la siguiente expresión general:

$$L_{A,e,q,T} = 10 * \log \left[\frac{1}{N} * \sum_{n=1}^N 10^{\frac{Ln}{10}} \right] \quad (8)$$

Donde, $L_{A,e,q,T}$ es el nivel promedio energético de un cierto número de datos tomados Ln .

2.1.9 Protocolo de comunicación UDP (User Data Protocol).

El protocolo UDP (User Data Protocol) realiza un intercambio de datagramas sin establecer una conexión a la red, además no presenta una confirmación de conexión ni una garantía de la recepción del mensaje enviado. Este protocolo cuenta con una cabecera conformada por cuatro (4) campos, dos (2) de ellos de los puertos fuentes y los dos (2) restantes puertos de destino cada uno de 16 bits los cuales identifican el proceso de identificación y recepción.

Normalmente, el protocolo UDP es utilizado para la transmisión de audio y video el cual garantiza una velocidad de transmisión que la recepción de todos los bytes.

2.1.10 RTA (Real Time Analyser) .

Un analizador en tiempo real es el encargado de medir y mostrar el espectro en frecuencia de la señal de audio procesada, este depende de la unidad de hardware o software con la que cuente el dispositivo o la plataforma como tal. El analizador se encarga de mostrar los datos obtenidos sea en bandas de tercio o de octava, mostrando la variación en cada una de estas bandas y manejando una relación con decibeles.

2.1.11 Correlación.

La correlación es la relación que se presenta entre dos sistemas lineales de una manera cuantitativa, esto determina en que se asemejan un sistema del otro.

3. METODOLOGÍA

3.1 Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación es empírico-analítico.

3.2 Línea de investigación de USB / sub-línea de facultad / campo temático del programa

La línea de investigación de la universidad es Tecnologías Actuales y Sociedad, debido a que el objetivo al desarrollar el proyecto es brindar una herramienta para optimizar el funcionamiento de los sistemas electroacústicos cuando se presente un feedback en el desarrollo del evento.

La línea en la facultad es Procesamiento de Señales debido a que se desea desarrollar un algoritmo que permita realizar el procesamiento de señales de audio para poder identificar y eliminar feedbacks en tiempo real.

El campo de investigación del programa es Diseño de Sistemas de Sonido ya que el algoritmo se implementará para que los sistemas de refuerzo sonoro funcionen correctamente y no presenten daños debido al mal manejo de feedbacks.

3.3 Hipótesis

Es posible realizar un algoritmo supresor de feedback en tiempo real en un software el cual permita generar una estabilidad y control en sistemas de refuerzo sonoro.

3.4 Variables

3.4.1 Dependientes

- Tiempo que tarda en actuar el algoritmo teniendo en cuenta las diferentes especificaciones de los elementos (computador e interfaz de audio) utilizados para el funcionamiento del algoritmo.
- La efectividad del algoritmo está ligada a las etapas que posea el algoritmo.

3.4.2 Independientes

- Velocidad del procesamiento del computador.
- Tipo y aplicación del filtro con el que va a trabajar el algoritmo debido al desfase propio del filtro.

4. DESARROLLO INGENIERIL

El algoritmo fue desarrollado a través de dos plataformas de programación, Pure Data y Labview, las cuales trabajan de manera paralela y operan con un tiempo de procesamiento inferior a los 35 milisegundos (ms) que es imperceptible por el ser humano. Sin embargo, Labview solo realiza un reconocimiento de la frecuencia con mayor amplitud, mientras que Pure Data es el encargado de censar los niveles de la señal y realizar la supresión del feedback.

4.1 Elección del método de reducción de feedback.

Para poder determinar el método de reducción de feedback adecuado se realizó una indagación tomando en cuenta los métodos más usados que son: 1) Reducción de ganancia, 2) Modulación de fase, 3) Control de modelo de salas, 4) Filtrado adaptativo con filtros con respuesta impulsiva finita (FIR) y 5) Filtrado adaptativo con filtros con respuesta impulsiva infinita (IIR). Después de realizar el análisis respectivo a cada uno de ellos se descartaron: 2) El método por modulación de fase debido a que presenta una distorsión en la señal y esta aumenta con la cantidad de canales a analizar lo cual no favorece en la implementación del algoritmo, 3) El método por control de modelo de salas ya que este análisis se hace partiendo de las características donde se efectúa el evento y no es objetivo para el desarrollo de un algoritmo y finalmente 4-5) El método por filtros adaptativos ya que presentan una restricción en la implementación de estos en los software a usar. Por consiguiente se decidió usar 1) El método por reducción de ganancia, dado que presenta más estabilidad en el sistema sin causar problemas de distorsión en la señal y sin afectar la fase; así mismo favorece la estructura del algoritmo puesto que su detección es mucho más rápida y su reducción más eficiente.

4.2 RTA y detector de frecuencia en Labview.

Labview realiza un análisis frecuencial para poder determinar la frecuencia que tiene mayor contenido energético, dicha frecuencia es enviada por medio del protocolo UDP a Pure data para posteriormente realizar la supresión del feedback.

4.2.1 Ingreso de señal de audio en LABVIEW.

El ingreso de señal de audio al software Labview se realiza por medio de una interfaz de audio la cual se encarga de realizar la conversión análogo digital para ingresar la señal al software por medio del elemento llamado [Configure Input] Este elemento permite configurar los parámetros de entrada como frecuencia de muestreo, canal de entrada e interfaz de audio (Figura 3).



Figura 3. Diagrama de bloques de entrada de señal de audio.

4.2.2 Análisis de frecuencia y envío de datos por UDP en LABVIEW.

Para realizar el análisis de la señal se implementa una FFT (Transformada rápida de Fourier) , en este caso se usó el elemento “PS/PSD” que permite obtener los valores de frecuencia y magnitud que se presentan en el espectro. Estos datos son obtenidos en una matriz y son condicionados por medio de un threshold pre establecido para así adquirir las tres frecuencias que presenten la mayor amplitud.

Partiendo de estos datos, se emplea el protocolo UDP (User Data Proctocol), para realizar una interconexión con el programa Pure Data enviando cada dato por un puerto específico (Figura 4).



Figura 4. Diagrama de bloques de entrada de algoritmo en Labview.

4.3 Desarrollo del algoritmo supresor en Pure data.

4.3.1 Ingreso de señal de audio en Pure Data.

El ingreso de la señal de audio en el software Pure Data se realiza por medio de un elemento de tipo objeto llamado [adc~], que tiene por significado “Analog Digital Conversor”, este permite determinar qué canal va a ser asignado a la entrada ya sea mono o estéreo (Figura 5).



Figura 5. Diagrama de bloques de entrada de audio en Pure Data

4.3.2 Filtrado por tercio de octava.

La señal de audio después de ser ingresada al sistema, pasa por un proceso de filtrado por tercio de octava para poder realizar un reconocimiento de contenido energético y a su vez para

determinar en qué banda se puede estar generando una retroalimentación. Para ello, se usa la implementación de un filtro pasa alto y un filtro pasa bajo de tipo Butterworth de orden 3 en cascada, los cuales se obtienen por una caja de tipo objeto llamada [lp3_butt~ Fc], [hp3_butt~ Fc] donde se determina el tipo de filtro, la frecuencia de corte y el orden del filtro. (Figura 6)

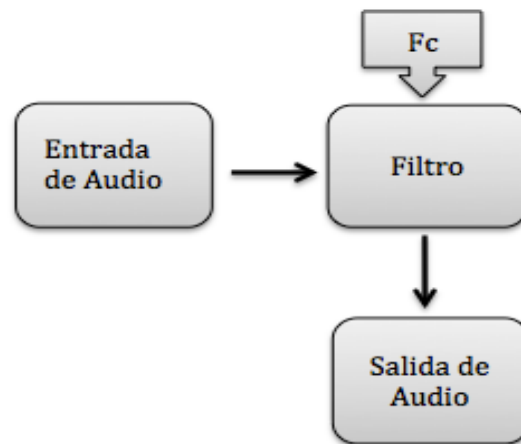


Figura 6. Diagrama de bloques de filtro en Pure Data.

A continuación de los filtros en cascada va una caja de tipo objeto llamada [env~] la cual realiza una envolvente acústica proporcionando un valor RMS en decibeles que es enviado para realizar la comparación con respecto al promedio energético (Figura 7).



Figura 7. Diagrama de bloques de promedio por banda de tercio.

4.3.3 Promedio energético de filtros de bandas de tercio.

El promedio energético se realiza a través de los valores arrojados por la envolvente de cada una de las bandas de tercio. Al realizar la sumatoria energética de todas las bandas de tercio de octava, se efectúa una división por 26 que es el número de bandas en que se está filtrando, posteriormente se ejecuta el logaritmo en base 10 y el valor resultante es multiplicado por 10 para obtener finalmente el valor del promedio energético (Figura 8).

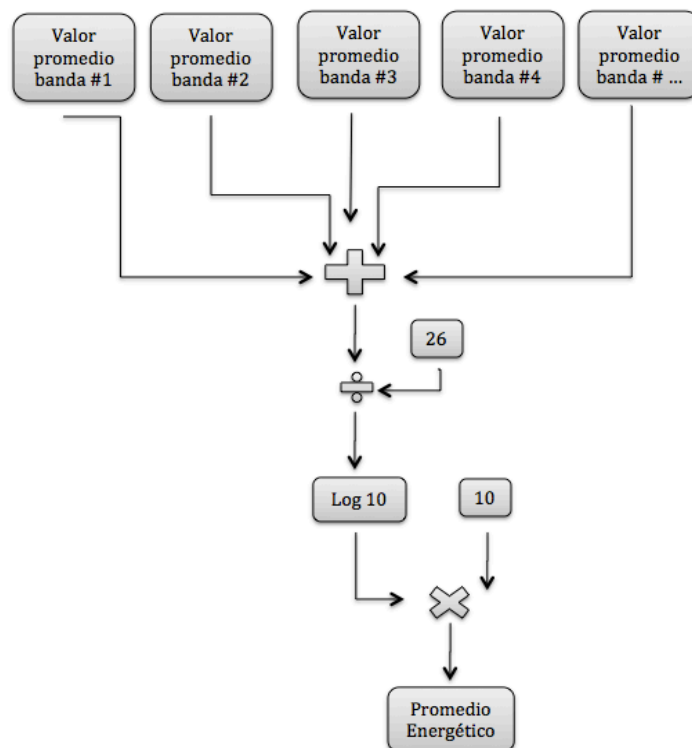


Figura 8. Diagrama de bloques de promedio energético.

Para realizar este tipo de operación en Pure Data es necesario el uso del objeto bang, el cual envía una orden para que un procedimiento específico se realice, en este caso tiene que ser una orden constante la cual está manejada a una determinada velocidad dada por el comando

[metro] que es un metrónomo, es decir las operaciones pueden realizarse cada 500 milisegundos, 1 segundo o 2 segundos, en el caso del algoritmo se usó un valor de 500 milisegundos.

4.3.4 Comparación de promedios y discriminación de feedback.

Al obtener el valor del promedio energético y el valor de salida de cada uno de los filtros por tercio de octava se realiza una comparación entre estos dos valores para discriminar la banda de tercio que puede llegar a tener problemas de retroalimentación, si la banda es mayor al promedio energético arroja un 1 si no, envía un 0 (Figura 9).

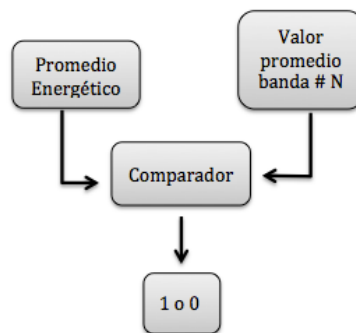


Figura 9. Diagrama de bloques de comparación de promedios.

Como el contenido energético en cada una de las bandas de tercio de octava cambia continuamente, trayendo consigo una variación del condicional (en este caso 1 o 0), es necesario determinar cuándo dicha banda posee problemas de retroalimentación y cuándo es generado por el contenido frecuencial que se está ejecutando (música, discursos, entre otros).

Por ello, se implementó un contador que permite conocer si ese promedio energético de dicha banda de tercio supero el umbral por determinado tiempo (Figura 10).

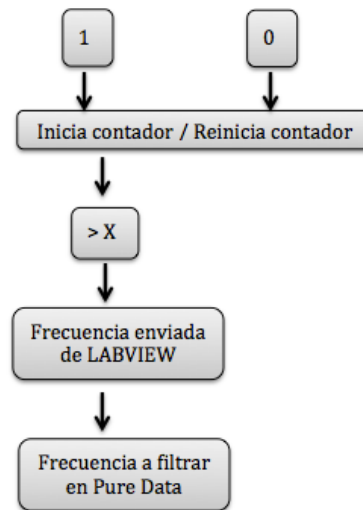


Figura 10. Diagrama de bloques de envío de frecuencias a Pure Data.

Si dichas condiciones se cumplen, es decir, si la banda ha superado el nivel promedio por el tiempo determinado, se dará paso a la frecuencia recibida por Labview. En cada uno de los elementos programados por tercio de octava se usa un condicional para verificar si el valor recibido en ese momento pertenece al rango de frecuencias de la banda, esto se realiza debido a la latencia (envío de datos) que presenta el software Labview como se explicó anteriormente. Según los parámetros explicados se puede llegar a considerar de una manera más confiable que el sistema está sufriendo alguna retroalimentación.

4.3.5 Filtros de supresión del algoritmo.

El algoritmo cuenta con tres (3) filtros fijos y tres (3) variables, los filtros fijos se encargan de atenuar tres (3) frecuencias determinadas mientras el algoritmo se encuentre en funcionamiento.

En el caso de los filtros variables abordan al menos tres (3) retroalimentaciones simultáneas, estas frecuencias son retenidas por un tiempo determinado para posteriormente ser liberadas (Figura 11).

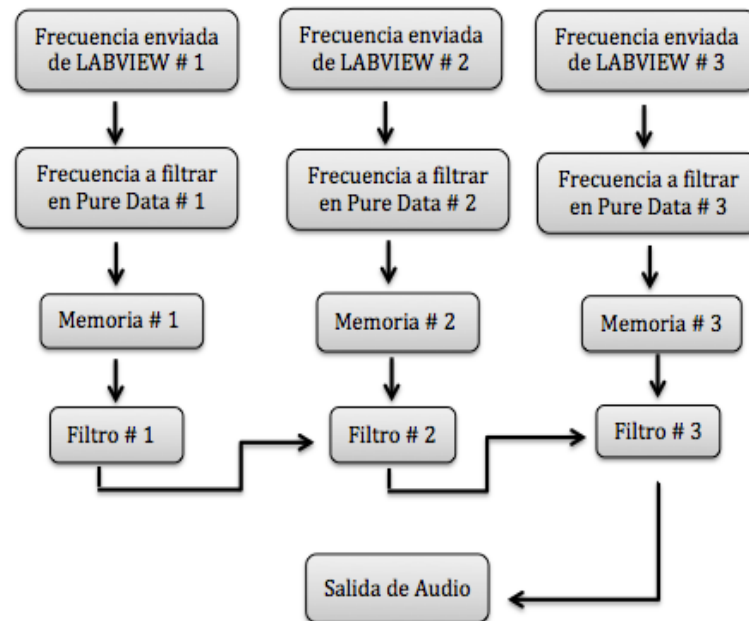


Figura 11. Diagrama de bloques de envío de frecuencias a memorias y filtrado en Pure Data.

Los filtros fijos son usados principalmente para generar un control preventivo del sistema, es decir que son ejecutados antes de dar inicio a la actividad que se realice. Los filtros variables, son usados para generar un control mientras se realiza alguna actividad, por consiguiente las retroalimentaciones serán controladas, pero después de ser liberadas pueden persistir.

4.3.6 Elección de filtros para el algoritmo.

Para la elección de los filtros se tuvo en cuenta aquellos que no generaran distorsión y/o coloración en el espectro frecuencial. Como primera medida se buscaron los filtros encargados de censar la señal y hallar los niveles por banda de tercio y el nivel promedio. En segundo lugar

se examinaron los filtros encargados de realizar la supresión del feedback, en este caso unos filtros stopband, debían tener la capacidad de cambiar su frecuencia central y su factor Q sin que genere una inestabilidad en dicho filtro.

4.3.6.1 Filtros para las bandas de tercio de octava.

En un principio se usaron filtros pasa banda con frecuencia central y un Q para bandas de tercio, pero la pendiente de dicho filtro no era lo suficientemente pronunciada, generando así contenidos de frecuencias procedentes de otras bandas de tercio y aumentando el nivel promedio de la señal. Dicho aumento ocasionó inestabilidad en el algoritmo trayendo problemas en la asignación de la frecuencia en los filtros. Por ello, se decidió realizar una implementación con filtros pasa bajos y pasa altos los cuales se configuraron en cascada. Para la elección del filtro en esta etapa del algoritmo, se realizaron varias pruebas en las cuales se contemplaron parámetros fundamentales tales como frecuencias de corte, órdenes del filtro, rizados y distorsión armónica. A través del software EASERA Systune se realizaron las mediciones con el fin de comparar los parámetros anteriormente mencionados en cada uno de los filtros, proporcionando los siguientes resultados:

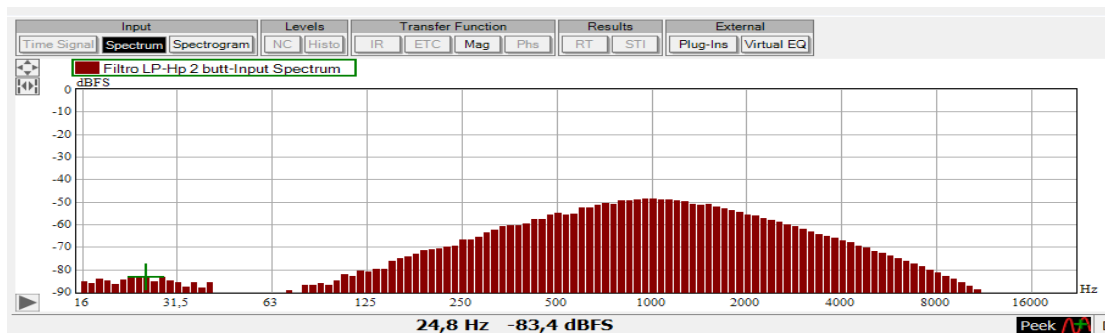


Figura 12. Medición de filtro Butterworth tipo Low pass y Hi pass de 2do. orden de Pure Data.

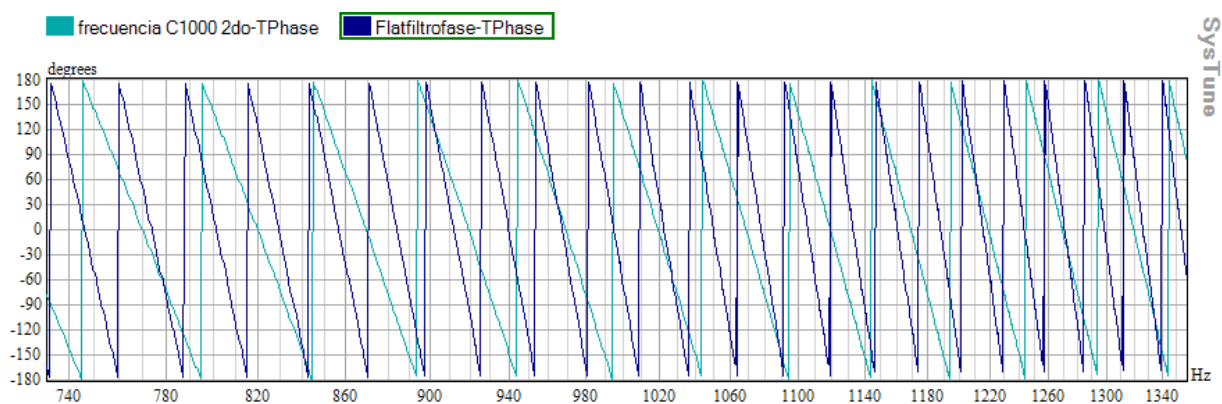


Figura 13. Medición de fase en filtro Butterworth tipo Low pass y Hi pass de 2do. orden de Pure Data.

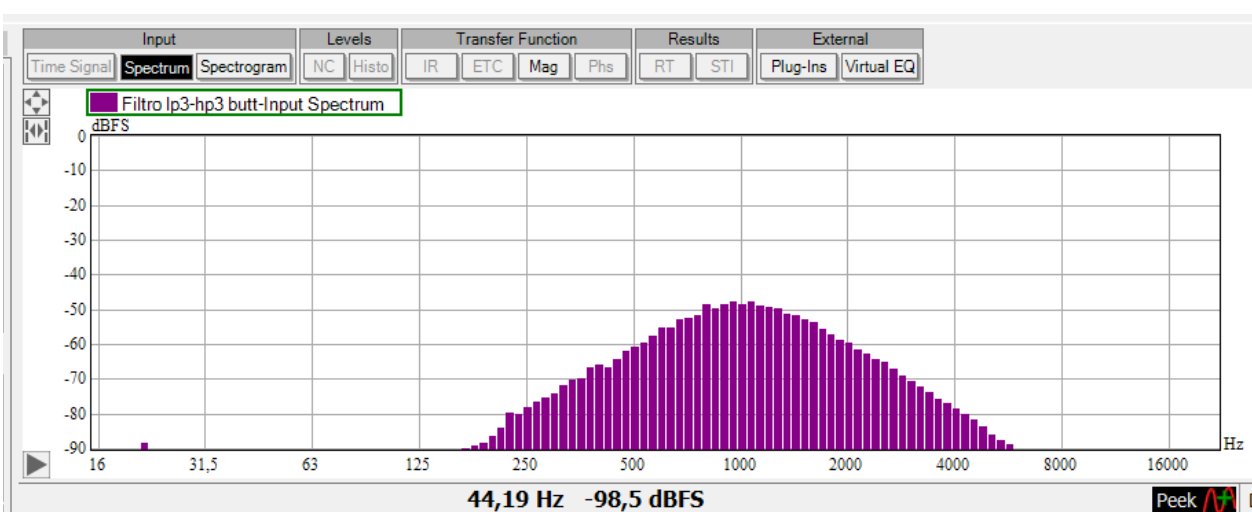


Figura 14. Medición de filtro Butterworth tipo Low pass y Hi pass de 3er. orden de Pure Data.

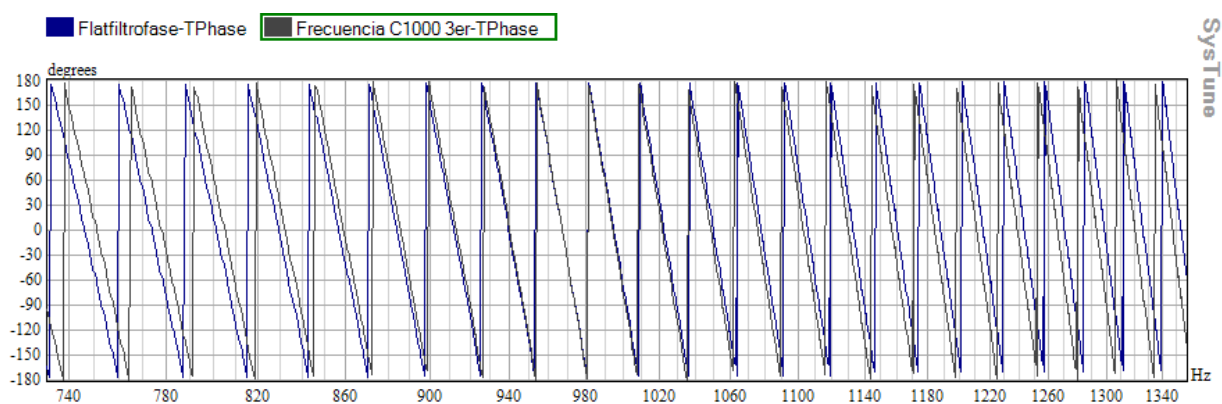


Figura 15. Medición de fase en filtro Butterworth tipo Low pass y Hi pass de 3er. orden de Pure Data.

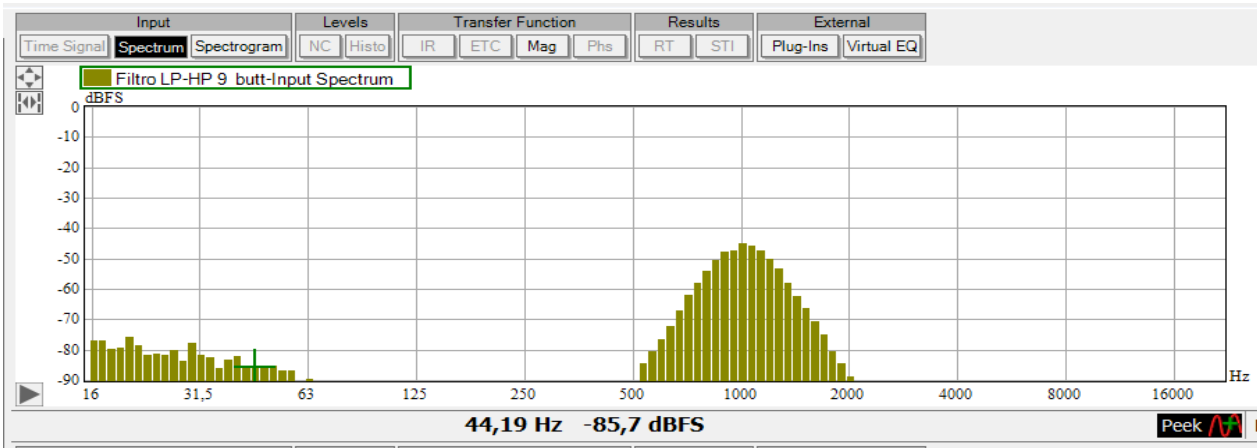


Figura 16. Medición de filtro Butterworth tipo Low pass y Hi pass de 9no. orden de Pure Data.

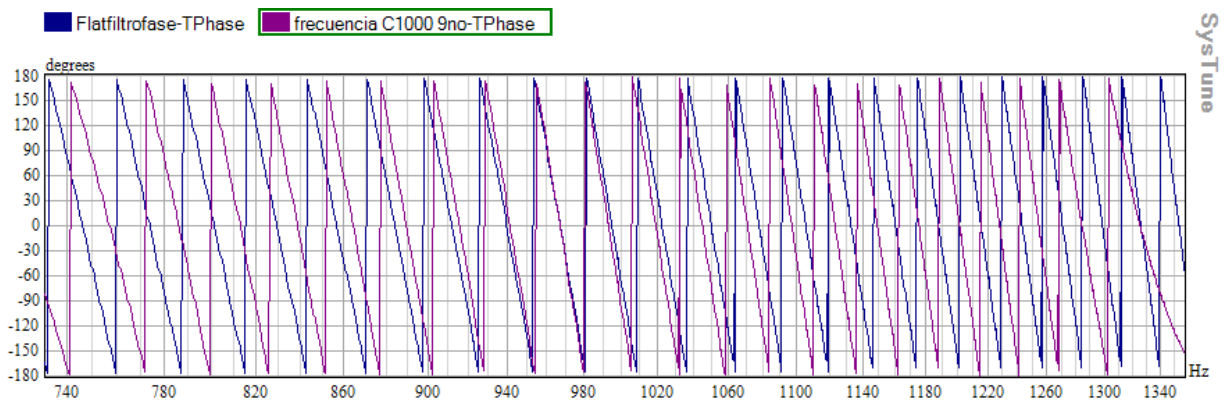


Figura 17. Medición de fase en filtro Butterworth tipo Low pass y Hi pass de 9no. orden de Pure Data.

En las figuras 12 a 17, se analizaron los filtros butterworth de orden dos (2), tres (3) y nueve (9) en los cuales se encontró que el filtro de 3er. orden permite que el algoritmo funcione de una manera óptima; al usar un filtro de mayor orden se podría encontrar un mejor filtrado pero la fase de la señal se vería afectada como se observa en las figuras 15 y 17 a una frecuencia central de 1000 Hz. Además, este tipo de filtros no presenta ningún tipo de rizado en la banda de paso, por consiguiente no se van a presentar alteraciones en la respuesta en frecuencia de la señal a estudiar.

4.3.6.2 Filtros para eliminación de feedback.

En Pure Data existe dos tipos de filtros elimina banda: 1) Bandstop Notch de Q variable y 2) Bandstop Notch [bsw2~], se decidió elegir el filtro [bsq2~] debido a que este elemento permite variar el Q del filtro y se puede obtener un mejor control sobre la retroalimentación.

Para elegir el Q se realizaron varias pruebas con los diferentes valores y estos fueron los resultados:

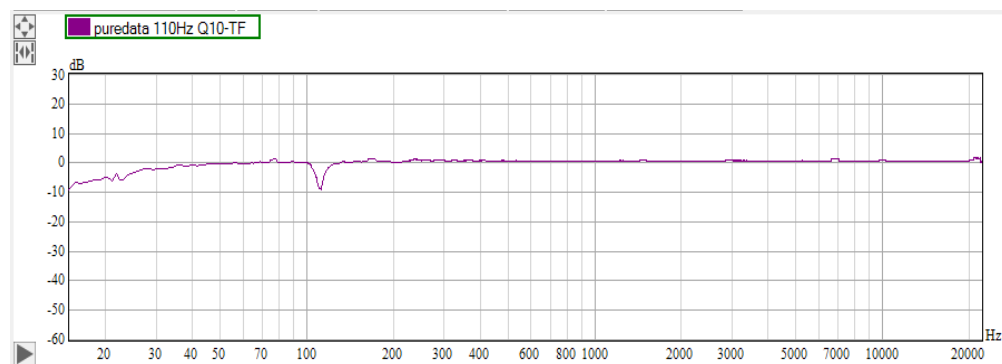


Figura 18. Medición de filtro band stop Notch 2do. orden con Q de 10 Pure Data.

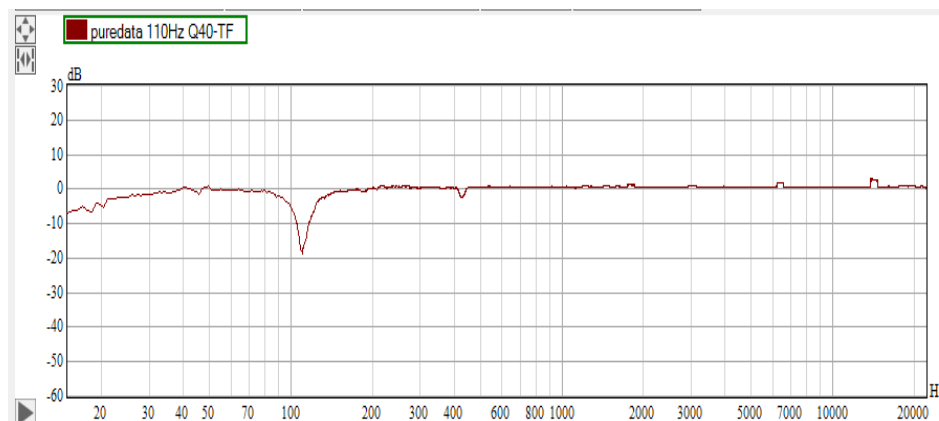


Figura 19. Medición de filtro band stop Notch 2do. Orden con Q de 40 Pure Data.

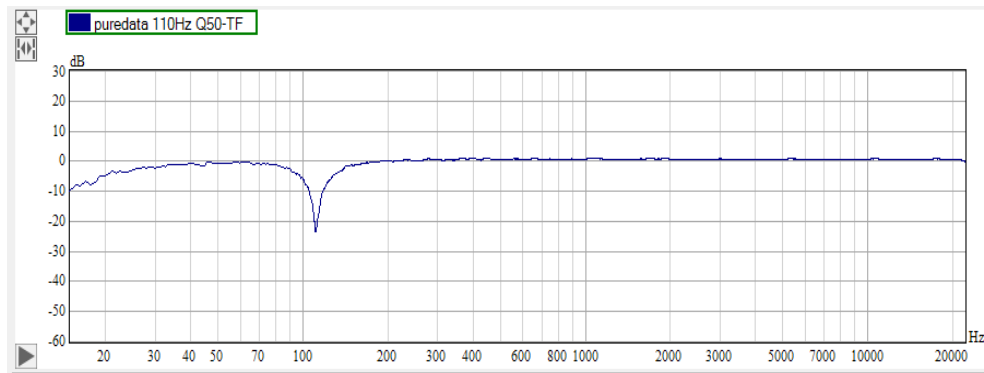


Figura 20. Medición de filtro band stop Notch 2do. orden con Q de 50 Pure Data.

Como se puede observar en las mediciones realizadas en el software EASERA Systune (Figuras 18, 19 y 20), en el caso del filtro con $Q10$ presenta una atenuación de alrededor nueve (9) dB en la frecuencia de corte, con un Q 40 es de alrededor de dieciocho (18) dB y con un Q 50 es de casi veinticuatro (24) dB, esto quiere decir, que entre mayor sea el valor Q mayor será la atenuación de dicho filtro. También es importante tener en cuenta el análisis del espectro en frecuencia, en las figuras 21, 22 y 23 se observa una atenuación en frecuencia baja debido al factor Q , entre mayor sea el valor Q , mayor será la atenuación generada.

Los filtros por defecto están asignados en una frecuencia de 5 Hz, ya que al encontrarse en 0 Hz se presentaban distorsiones en el sistema por lo cual se determinó el valor de 5 Hz ya que este no es percibido por el ser humano y no presenta problemas en los filtros.

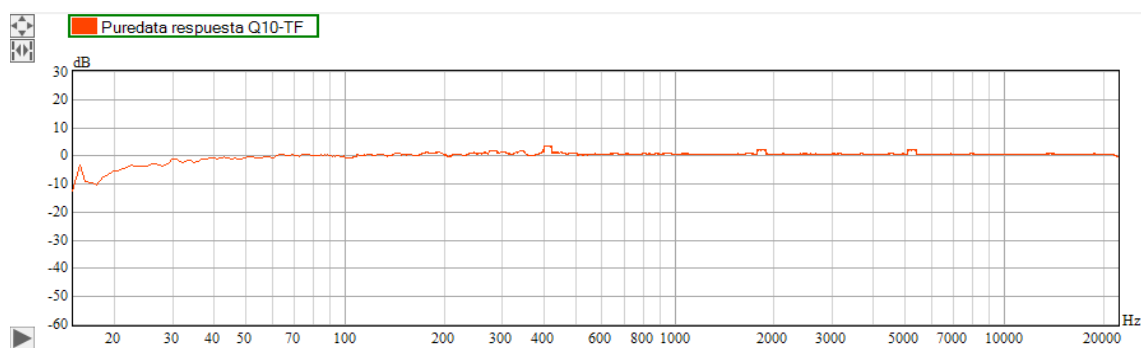


Figura 21. Medición de respuesta del filtro band stop Notch 2do. Orden con Q de 10 Pure Data.

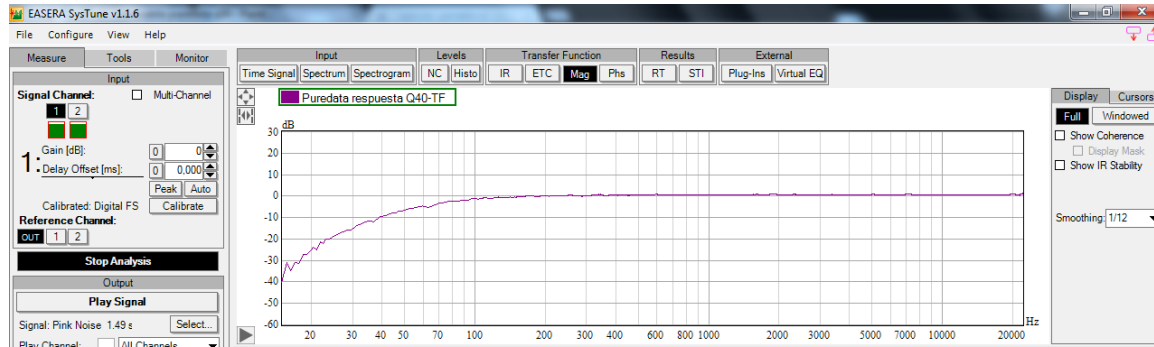


Figura 22. Medición de respuesta del filtro band stop Notch 2do. orden con Q de 40 Pure Data



Figura 23. Medición de respuesta del filtro band stop Notch 2do. orden con Q de 50 Pure Data

Después de analizar el comportamiento del sistema, se decidió implementar un factor Q 10 teniendo en cuenta los resultados con los diferentes valores de Q y el efecto que tenía en el espectro. El comportamiento con el Q 10 no afecta perceptivamente la respuesta en frecuencia y el sistema se comporta de una manera más estable.

La configuración de estos filtros en el algoritmo se realizó en cascada, debido a que si su configuración fuera en paralelo, se tendría que hacer una copia de la señal que se está procesando para los otros dos (2) filtros restantes, en los cuales persistiría la retroalimentación. Cabe resaltar que esta configuración de filtros no afecta la respuesta del sistema.

4.3.7 Conexión del sistema.

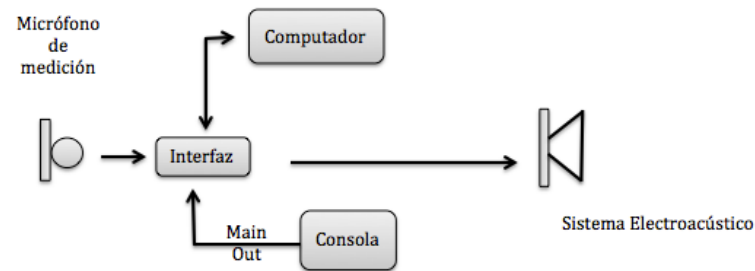


Figura 24. Diagrama de bloques de conexión del sistema.

En la conexión del sistema que está dada por dos entradas (Figura 24), una de ellas es la señal de audio capturada por el micrófono de medición que es enviada a la interfaz, esta es recibida de forma paralela a la señal del master de la consola por medio de un cable XLR. La señal del micrófono de medición es enrutada al software Labview, mientras que la señal de la consola es enrutada al software Pure Data. Después de realizar el procesamiento de las señales, la señal del software Pure Data es enviada por la salida de la interfaz de audio al sistema electro acústico.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Latencia del sistema

Para poder determinar el funcionamiento óptimo del sistema, fue importante realizar mediciones con respecto a la latencia, que es la suma de retardos que se presenta en un sistema; es necesario que este tiempo sea mínimo.

Para poder determinar este tiempo se realizaron pruebas con el software EASERA Systune usando tres (3) tipos de interfaz: 1) AudioBox- Presonus, 2) Mbox 2 Pro y 3) Focusrite Saffire Pro 40. (Ver Figuras 25, 26 y 27).

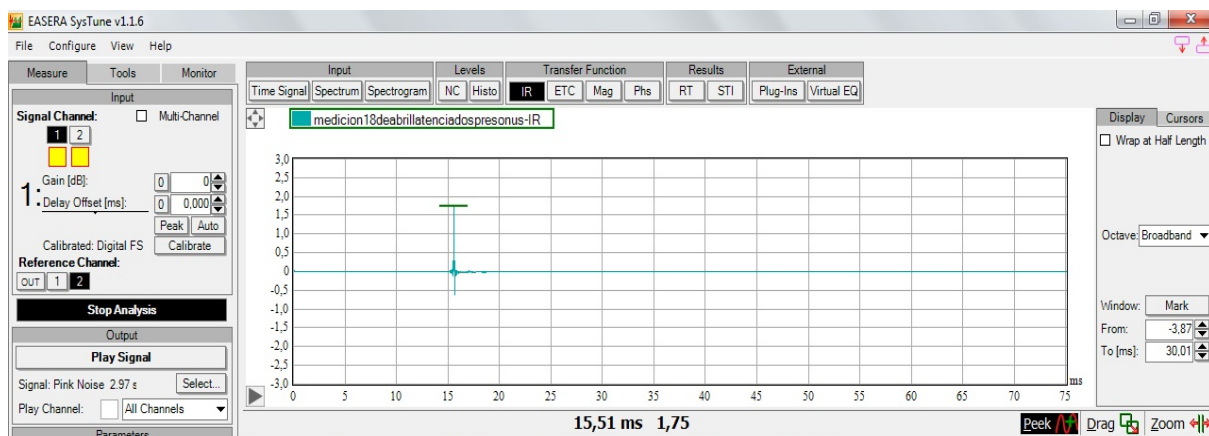


Figura 25. Medición de latencia con EASERA Systune con interfaz AudioBox - Presonus .

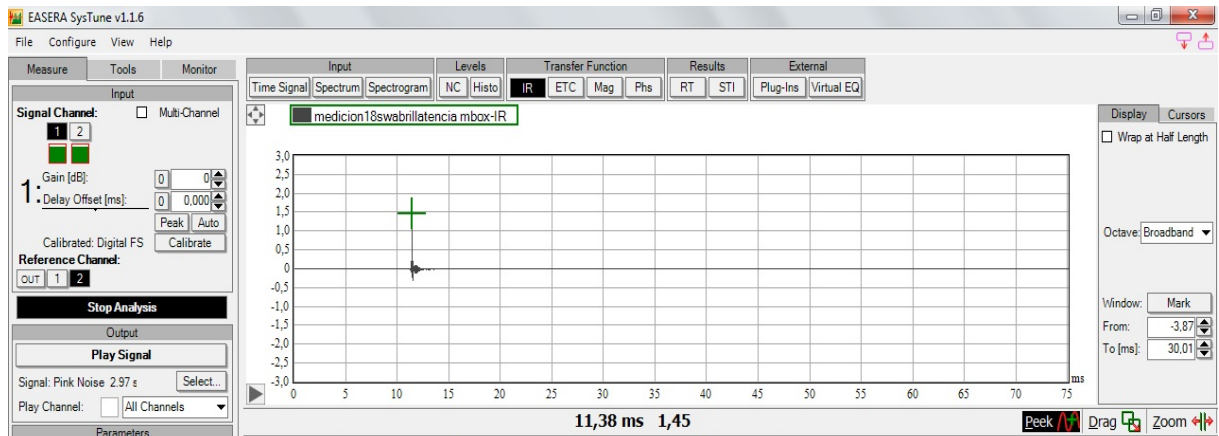


Figura 26. Medición de latencia con EASERA Systune con interfaz MBOX 2 Pro .

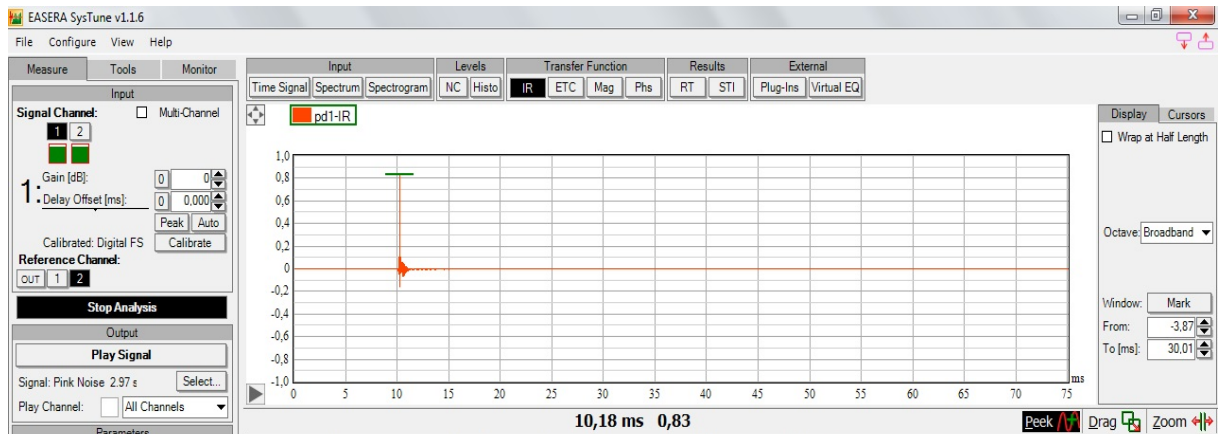


Figura 27. Medición de latencia con EASERA Systune con interfaz FOCUS SAFFARIE 40 PRO .

Analizando los resultados mostrados anteriormente, se determinó que teniendo en cuenta la conexión de cada una de las interfaces, el tiempo de retardo varia. En el caso de la interfaz 1) Audiobox – Presonus tiene una conexión por medio de USB y presenta una latencia de 15,51 ms, la interfaz 2) Mbox 2 Pro presenta una conexión Firewire y su fuente de poder es el computador, obteniendo un tiempo de 11,38 ms y por último la interfaz 3) Focusrite Saffire Pro 40 tiene una conexión Firewire y además presenta una alimentación externa obteniendo un

tiempo de retardo de 10,18 *ms*, el cual es bastante bajo y conveniente para el funcionamiento del algoritmo.

Otro factor que influye en este parámetro es la velocidad de transmisión de un puerto Firewire y un puerto de USB, la velocidad de transmisión de un puerto Firewire 800 es de 100 MB/s (codificación de 8 bits en 10 bits), mientras que la velocidad de transmisión de un puerto USB 2.0 hasta de 60 MB /s. (IEEE1394).

5.2 Pruebas

Para la comprobación del funcionamiento del algoritmo se realizaron dos (2) pruebas, que constan de dos (2) cabinas y tres (3) micrófonos dinámicos, ya que son los más usados en sonidos en vivo, aplicando diferentes alturas de micrófono para cambiar la frecuencia de retroalimentación y comprobar la efectividad del algoritmo.

Los altavoces elegidos para realizar las mediciones son dispositivos usados en sistemas de sonido en vivo. La conexión del sistema realizado se puede observar en la Figura 24.

La prueba consiste en generar retroalimentaciones tratando de que se realce solo una frecuencia, de esta manera se puede comparar la frecuencia identificada por el supresor de feedbacks *ASF224 dBx* y el algoritmo supresor desarrollado. Por otra parte, se midieron los tiempos de supresión de la frecuencia retroalimentada, que se realiza por medio de una promediación aritmética donde se midió dicho tiempo en tres (3) oportunidades.

5.2.1 Prueba N° 1.

Prueba con altavoz Electro- Voice LiveX 12P, micrófono de medición TEF 04 y los micrófonos 1) Shure SM57, 2) Shure SM58 y 3) AKG TPS D3700. La conexión realizada para esta prueba se encuentra en la Figura 27.



Figura 28. Configuración prueba N° 1 entre altavoz Electro – Voice y SM 57.

- La primera prueba se llevó a cabo con una configuración donde el micrófono SM57 se encuentra a 18 cm del altavoz, a una altura de 33 cm y de 50 cm. A continuación se muestran los valores obtenidos (Tabla 1).

Tabla 1.

Resultados con micrófono SM57 y cabina Electro-Voice LiveX 12P.

Audio	Cabina	Micrófono	Dist. Mic med	Dist Mic Feedback	Tiempo software	Tiempo Supresor	Frec dbx Hz	Frec PD Hz
Rosa	Electro voice	SM57	67 cm / alt 50	18 cm / alt 33 cm	1,43s	2,3s	110	110
Rosa	Electro voice	SM57	68 cm / alt 50	19 cm / alt 50 cm	1,43s	0,6s	6900	10444

- La segunda prueba se realizó con una configuración donde el micrófono SM58 se encuentra a 18 cm del altavoz, a una altura de 33 cm y de 50 cm. A continuación se muestran los valores obtenidos (Tabla 2).

Tabla 2.

Resultados con micrófono SM58 y cabina Electro-Voice LiveX 12P.

Audio	Cabina	Microfono	Dist. Mic med	Dist Mic Feedback	tiempo software	Tiempo Supresor	Frec dbx Hz	Frec PD Hz
Rosa	Electro voice	SM58	67 cm / alt 50	18 cm / alt 33 cm	1,22s	2,2s	110	110
Rosa	Electro voice	SM58	68 cm / alt 50	19 cm / alt 50 cm	1,2s	0,8s	6918	6412

- La tercera prueba se desarrolló con una configuración donde el micrófono AKGD3700 se encuentra a 18 cm del altavoz, a una altura de 33 cm y de 50 cm. A continuación se muestran los valores obtenidos (Tabla 3).

Tabla 3.

Resultados con micrófono AKG D3700 y cabina Electro-Voice LiveX 12P.

Audio	Cabina	Microfono	Dist. Mic med	Dist Mic Feedback	tiempo software	Tiempo Supresor	Frec dbx Hz	Frec PD Hz
Rosa	Electro voice	AKG D3700	67 cm / alt 50	18 cm / alt 33 cm	1,28	2,65	110	110
Rosa	Electro voice	AKG D3700	68 cm / alt 50	19 cm / alt 50 cm	1,66	0,615	6320	5314

5.2.1 Prueba N° 2.

Prueba con altavoz Mackie SRM450, micrófono de medición TEF 04 y los micrófonos 1)

Shure SM 57, 2) Shure SM 58 y 3) AKG TPS D 3700 (Figura 28).



Figura 29. Configuración prueba N° 1 entre altavoz Electro – Voice y SM 57.

- Para esta prueba, se colocó el micrófono SM57 a 18 cm del altavoz, a una altura de 33 cm y de 50 cm. A continuación se muestran los valores obtenidos (Tabla 4).

Tabla 4.

Resultados con micrófono SM57 y cabina Mackie.

Audio	Cabina	Micrófono	Dist. Mic med	Dist Mic Feedback	Tiempo software	Tiempo Supresor	Frec dbx Hz	Frec PD Hz
Rosa	Mackie	SM57	67 cm / alt 50	18 cm / alt 50 cm	1,38s	0,6s	4430	4564
Rosa	Mackie	SM57	68 cm / alt 50	19 cm / alt 33 cm	1,36s	2s	110	107

- La segunda prueba se realizó con una configuración donde el micrófono SM58 se encuentra a 18 cm del altavoz, a una altura de 33 cm y de 50 cm. A continuación se muestran los valores obtenidos (Tabla 5).

Tabla 5.

Resultados con micrófono SM58 y cabina Mackie.

Audio	Cabina	Microfono	Dist. Mic med	Dist Mic Feedback	tiempo software	Tiempo Supresor	Frec dbx Hz	Frec PD Hz
Rosa	Mackie	SM58	67 cm / alt 50	18 cm / alt 50 cm	1,5s	0,7s	5085	4789
Rosa	Mackie	SM58	68 cm / alt 50	19 cm / alt 33 cm	1,15s	1,2s	290	110

- La tercera prueba se llevó a cabo con el micrófono AKG D3700 a 18 cm del altavoz, a una altura de 33 cm y de 50 cm. A continuación se muestran los valores obtenidos (Tabla 6).

Tabla 6.

Resultados con micrófono AKG D3700 y cabina Mackie.

Audio	Cabina	Micrófono	Dist. Mic med	Dist Mic Feedback	Tiempo software	Tiempo Supresor	Frec dbx Hz	Frec PD Hz
Rosa	Mackie	AKG D3700	67 cm / alt 50	18 cm / alt 50 cm	1,23	0,76	5084	4785
Rosa	Mackie	AKG D3700	68 cm / alt 50	19 cm / alt 33 cm	1,38	2,05	121	110

Realizando un análisis de las tablas anteriores, se encuentran algunas diferencias entre las dos cabinas usadas, ya que a la altura de 50 *cm* varían los picos en frecuencia. En el caso de la cabina Electro Voice, este pico se encuentra en un rango de frecuencias de 4000 Hz a 6500 Hz, mientras que en la cabina Mackie se encuentra en un rango de 4000 Hz a 5000 Hz. En el caso

de la altura de 33 cm los picos de frecuencia en ambas cabinas se encuentran en un rango de 100 Hz a 200 Hz.

5.3 Fase

De acuerdo con las mediciones realizadas se observó que hay poca variación de la fase cuando se está aplicando un filtro para suprimir alguna retroalimentación, sin embargo cabe resaltar que sí existen variaciones en la fase pero que solo se hacen evidentes en frecuencias bajas y media-bajas. En el anexo B se podrán encontrar todas las mediciones realizadas, en las cuales se ubicaron filtros por bandas de octava y se procedió a hacer la comparación.

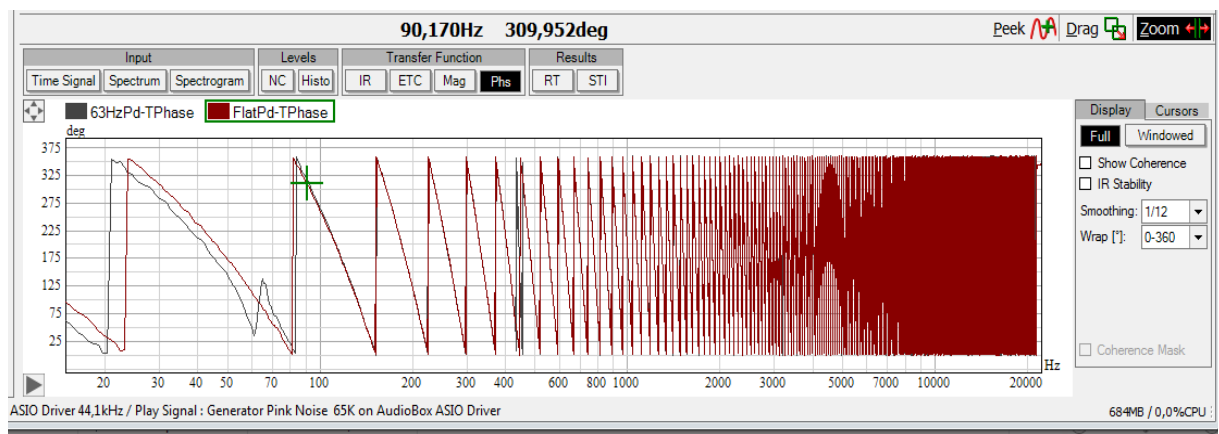


Figura 30. Comparación en medición de respuesta en fase en frecuencia de 63 Hz.

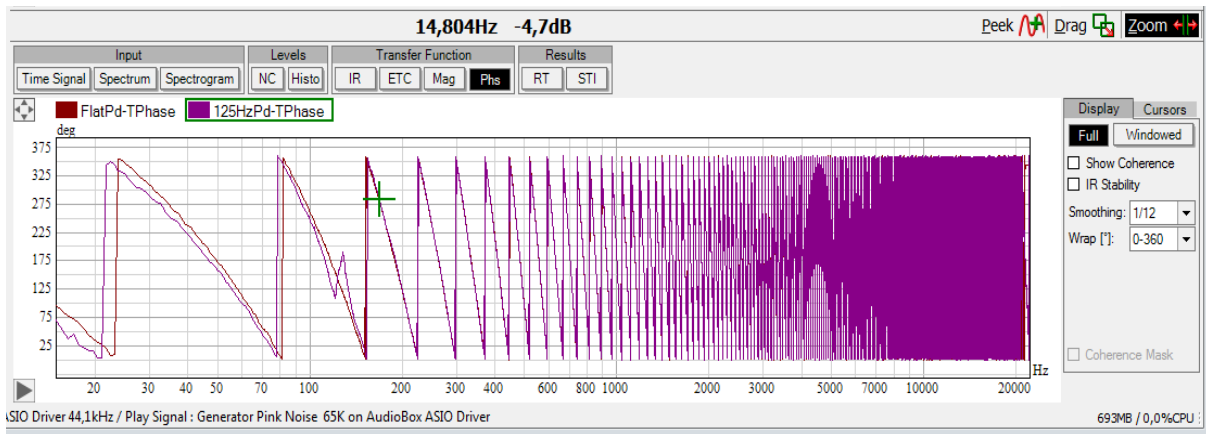


Figura 31. Comparación en medición de respuesta en fase en frecuencia de 125 Hz.

5.4 Errores sistemáticos

Durante el proceso de implementación del algoritmo, se presentaron varios errores en el sistema que ayudaron a determinar algunos parámetros fijos para el manejo del algoritmo.

Al realizar las pruebas con las tres interfaces de audio, se percibieron errores en el sistema con la interfaz Mbox2 Pro, debido a que la alimentación de este dispositivo se realiza por medio del puerto FireWire del computador y al conectar la alimentación del mismo, el computador se saturaba y apagaba el sistema. Este problema fue solucionado con la implementación de la interfaz Focusrite Saffire Pro 40, la cual cuenta con una alimentación externa, lo que hace que no dependa completamente del computador.

Se realizaron mediciones con el software EASERA Systune para poder observar la atenuación lograda por el algoritmo desarrollado y el supresor dBx ASF 224, pero al aumentar la frecuencia a filtrar, la gráfica no mostraba ninguna atenuación pero perceptualmente la frecuencia retroalimentada era filtrada. Por esta razón se decidió realizar una medición acústica para poder evidenciar esta atenuación del algoritmo y el supresor.

5.5 Correlación

Para poder determinar en cuánto se ve afectado el espectro al aplicar un filtro para eliminar una retroalimentación se realizó la correlación entre dos señales, una de ellas era un ruido rosa sin ningún filtro aplicado y la segunda era aplicando uno de los filtros. Las correlaciones se realizaron en frecuencias de 100 Hz, 1000 Hz y 10000 Hz, el resultado obtenido para la frecuencia de 100 Hz fue de 0,96 , para una frecuencia de 1000 Hz fue de 0,98 y para la frecuencia de 10000 Hz fue de 0,98.

5.6 Comparación del algoritmo con el supresor dbx ASF224.

Teniendo en cuenta las tablas del segmento anterior, se puede observar en primera medida, que los tiempos de supresión que aplica el hardware son diferentes dependiendo de la frecuencia suprimida, es decir, que cuando la retroalimentación se encuentra a frecuencia baja el tiempo es mayor que cuando la retroalimentación se genera en alta frecuencia. En cambio, el algoritmo desarrollado en este proyecto, maneja un mismo tiempo en todo el espectro, esto debido a la serie de condicionales por la cual debe pasar la frecuencia retroalimentada antes de aplicarla al filtro.

Por otra parte se comparó la frecuencia identificada por el algoritmo y el supresor dBx ASF 224 a través del software EASERA Systune. Teniendo en cuenta las características del sistema, se generan variaciones en las frecuencias de resonancia debido a que se presentan coloraciones en el espectro frecuencial; por esta razón, se observó que las frecuencias identificadas por cada

uno de los supresores cambiaba principalmente en frecuencias altas, ya que en frecuencias bajas se encontraban las frecuencias en el mismo tercio de octava.

Respecto al tiempo de procesamiento de los dos dispositivos, se puede decir que éste es bastante cercano, a pesar de que el algoritmo debe realizar un proceso más largo que el procesamiento del supresor.

5.6.1 Nivel de atenuación

Otro factor a analizar fue el nivel de atenuación generada por cada uno de los supresores, dicha medición se realizó acústicamente con un sonómetro Svantek 943 A tipo 2, la cual constaba de generar un ruido rosa con un tono puro para simular una retroalimentación. (Figura 31 – 32). El sonómetro se ubicó a la misma distancia y altura que el micrófono de medición usado con el algoritmo, en este caso fue a una distancia de 1 metro de la cabina y a 1 metro de altura ya que la cabina se hallaba a esa altura.



Figura 32. Medición Acústica de nivel reducido por supresores.



Figura 33. Medición Acústica de nivel reducido por supresores 2.

El proceso constaba de medir por bandas de octava las retroalimentaciones con el filtro aplicado y sin el filtro, cabe resaltar que para cada uno de los supresores solo se implementó uno de los filtros destinados a suprimir la retroalimentación, de esta manera se hallaron los valores de atenuación correspondientes por banda de octava de cada uno de los supresores.

En las figuras 33 a 41 se observarán los datos obtenidos de dichas mediciones.

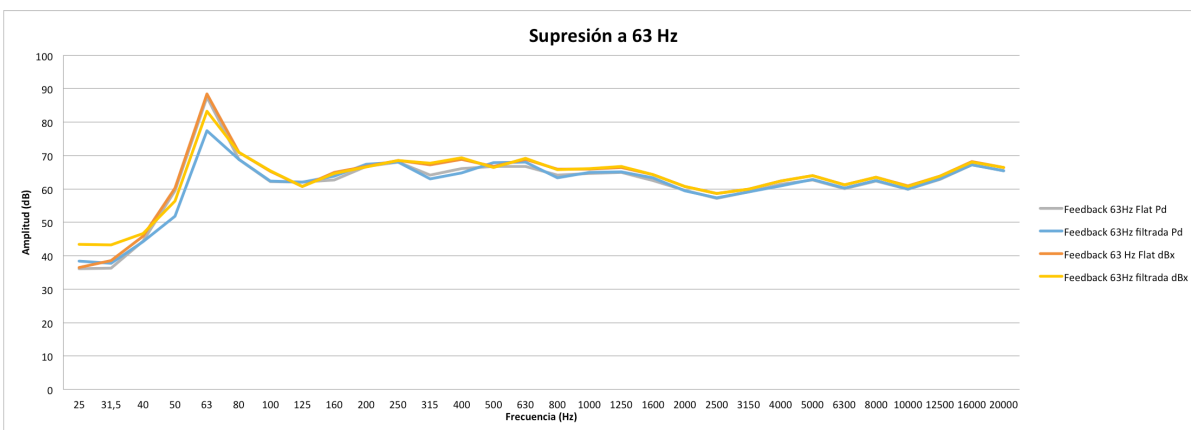


Figura 34. Medición Acústica de nivel reducido por supresores en frecuencia de 63Hz.

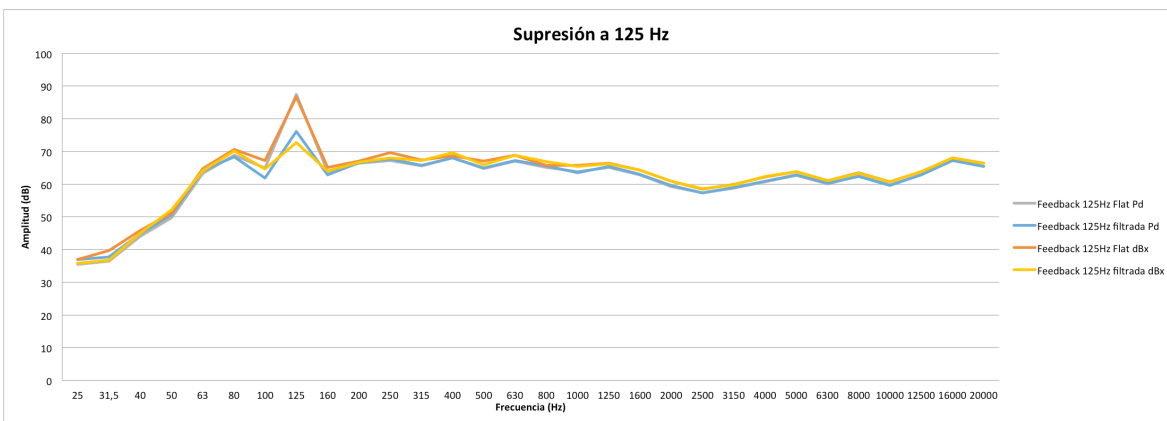


Figura 35. Medición Acústica de nivel reducido por supresores en frecuencia de 125Hz.

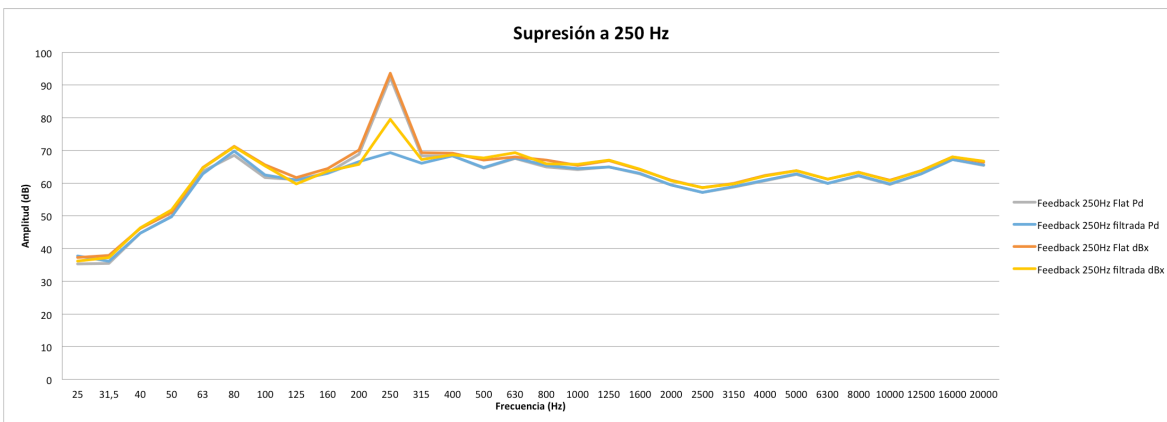


Figura 36. Medición Acústica de nivel reducido por supresores en frecuencia de 250Hz.

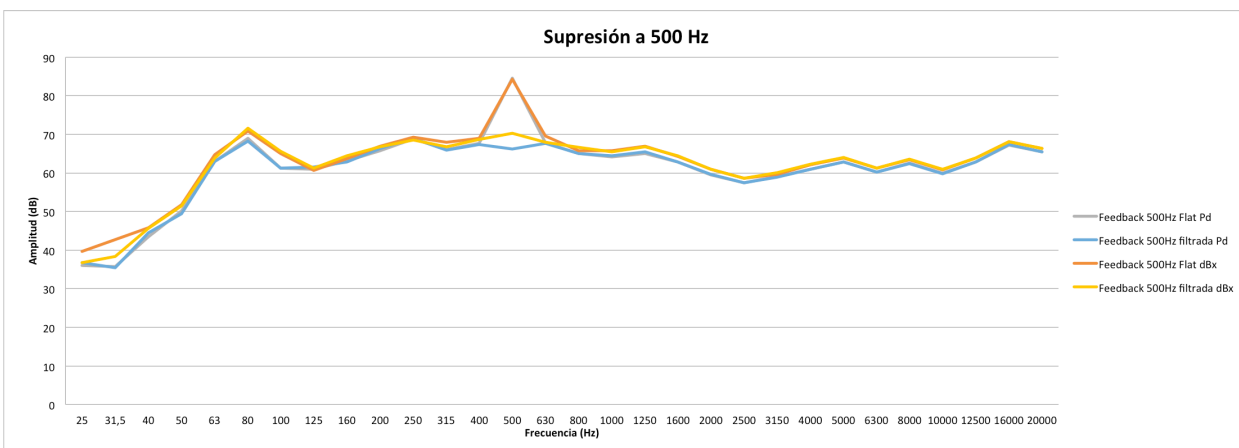


Figura 37. Medición Acústica de nivel reducido por supresores en frecuencia de 500 Hz.

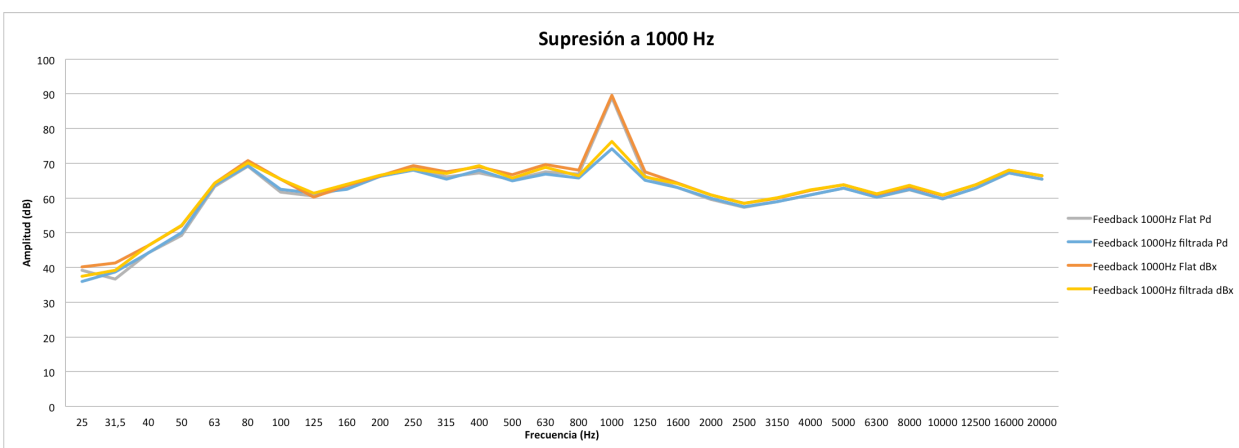


Figura 38. Medición Acústica de nivel reducido por supresores en frecuencia de 1000 Hz.

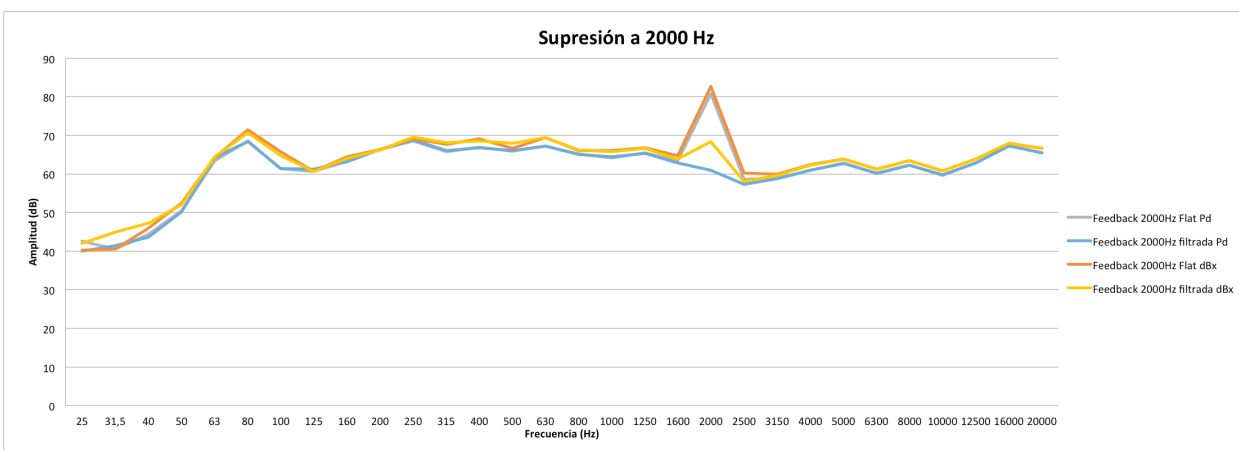


Figura 39. Medición Acústica de nivel reducido por supresores en frecuencia de 2000 Hz.

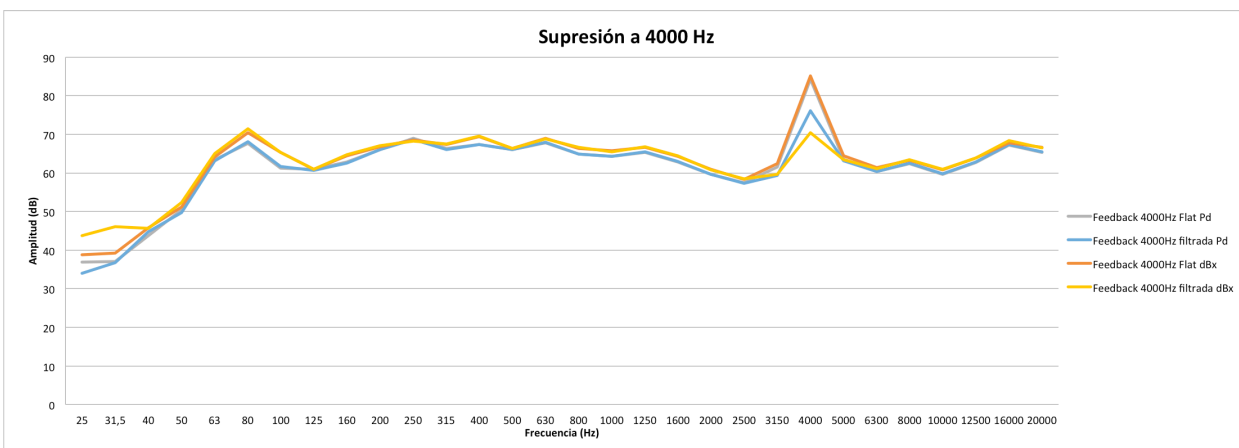


Figura 40. Medición Acústica de nivel reducido por supresores en frecuencia de 4000 Hz.

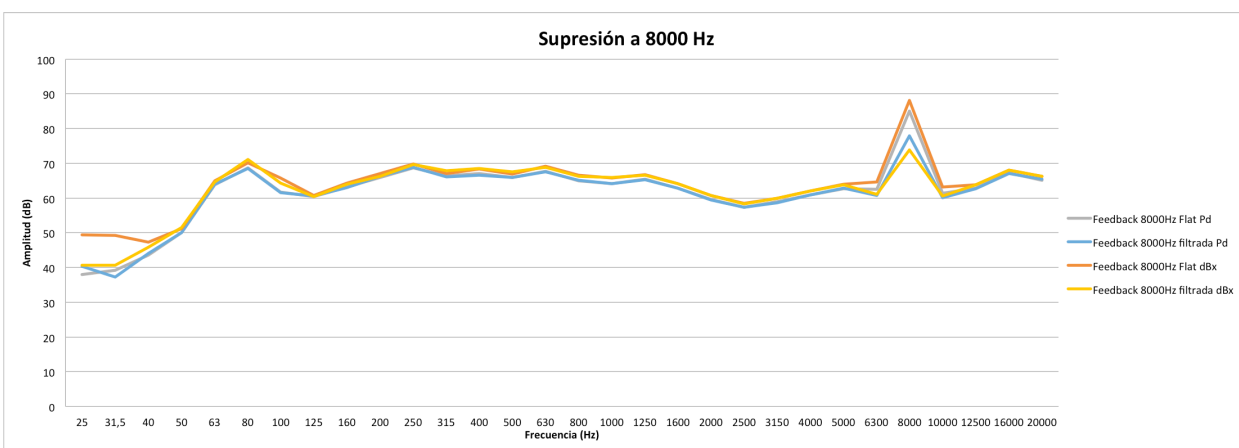


Figura 41. Medición Acústica de nivel reducido por supresores en frecuencia de 8000 Hz.

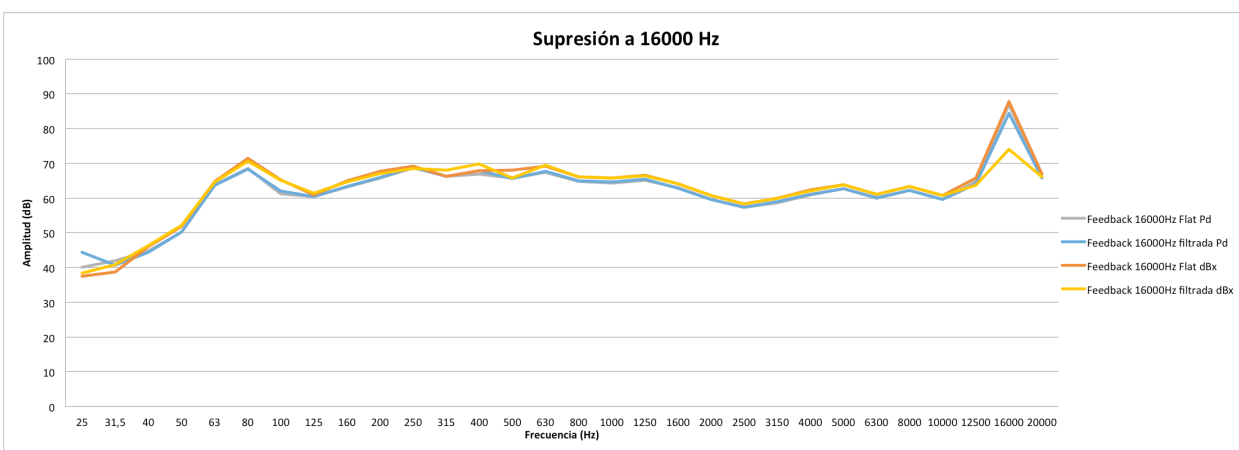


Figura 42. Medición Acústica de nivel reducido por supresores en frecuencia de 16000 Hz.

Para explicar las figuras presentadas anteriormente, se exponen en las tablas 7 y 8 los niveles obtenidos en la medición con el filtro aplicado, sin filtro, la diferencia entre estos y un promedio aritmético entre los valores de reducción.

Tabla 7.

Niveles de supresión para algoritmo desarrollado por bandas de octava.

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	16000 Hz
Flat (dB)	87,5	87,4	92,3	84,6	88,9	80,7	84,2	85,1	87
Suprimido (dB)	77,5	76,1	69,4	66,2	74,2	60,9	76,1	78	84,4
Diferencia (dB)	10	11,3	22,9	18,4	14,7	19,8	8,1	7,1	2,6
Promedio (dB)	12,76666667								

Tabla 8.

Niveles de supresión para supresor por bandas de octava.

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	16000 Hz
Flat (dB)	88,4	86,6	93,6	84,2	89,6	82,6	85,1	88,1	87,8
Suprimido (dB)	83,3	72,7	79,6	70,3	76,3	68,4	70,4	73,8	74
Diferencia (dB)	5,1	13,9	14	13,9	13,3	14,2	14,7	14,3	13,8
Promedio (dB)	9,988888889								

El nivel de supresión varía con respecto a la frecuencia, en el caso de el algoritmo desarrollado la frecuencia de 63 Hz se encontró una diferencia de 10 dB con respecto al valor medido sin filtro y con el filtro aplicado, en la frecuencia de 125 Hz la diferencia fue de 11,3 dB, en la frecuencia de 250 Hz la diferencia fue de 22,9 dB, en la frecuencia de 500 Hz la diferencia fue de 18,4 dB, en la frecuencia de 1000 Hz la diferencia fue de 14,7 dB, en la frecuencia de 2000 Hz la diferencia fue de 19,8 dB, en la frecuencia de 4000 Hz la diferencia fue de 8,1 dB, en la

frecuencia de 8000 Hz la diferencia fue de 7,1 dB y en la frecuencia de 16000 Hz la diferencia fue de 2,6 dB. En el caso del supresor dBx AFS 224 en la frecuencia de 63 Hz se encontró una diferencia de 5,1 dB con respecto al valor medido sin filtro y con el filtro aplicado, en la frecuencia de 125 Hz la diferencia fue de 13,9 dB, en la frecuencia de 250 Hz la diferencia fue de 14 dB, en la frecuencia de 500 Hz la diferencia fue de 13,9 dB, en la frecuencia de 1000 Hz la diferencia fue de 13,3 dB, en la frecuencia de 2000 Hz la diferencia fue de 14,2 dB, en la frecuencia de 4000 Hz la diferencia fue de 14,7 dB, en la frecuencia de 8000 Hz la diferencia fue de 14,3 dB y en la frecuencia de 16000 Hz la diferencia fue de 13,8 dB.

6. CONCLUSIONES

Realizado el desarrollo de este proyecto de grado, se puede concluir que:

- ❖ El método elegido por reducción de ganancia para afectar la retroalimentación fue el mejor para aplicar en este tipo de algoritmo ya que le brinda una atenuación rápida al sistema y no genera problemas con el espectro de la señal.
- ❖ A partir de las pruebas realizadas con respecto al funcionamiento del algoritmo, se demuestra la efectividad de este, ya que genera una reducción promedio de 12 dB con respecto a la frecuencia generadora del feedback o retroalimentación del sistema. El tiempo de detección del feedback se encuentra en un promedio de 1,4 segundos de detección y reducción.
- ❖ La latencia del algoritmo depende netamente de la interfaz a usar, como se evidencia en los errores sistemáticos. Por esta razón, después de las pruebas realizadas con las diferentes interfaces de audio, la interfaz que presenta un menor tiempo de latencia es la Focusrite Saffire Pro 40, que le brinda una estabilidad mayor al sistema por su tipo de conexión y velocidad de transmisión de datos.
- ❖ No se puede realizar una comparación objetiva entre el funcionamiento del supresor dBx ASF 224 y el algoritmo desarrollado, debido a que manejan diferentes métodos de filtrado. Se puede determinar que su comportamiento es similar con respecto a su tiempo de supresión y detección de frecuencia a filtrar de acuerdo a las tablas 1-6, principalmente en un rango de bajas frecuencias.
- ❖ La configuración del sistema elegida (Figura 26) presentó un mejor comportamiento sin afectar el flujo de la señal.

- ❖ El algoritmo al efectuar la supresión de la retroalimentación, afecta el espectro en frecuencia en un 2% .

7. RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados satisfactorios obtenidos con el procesamiento de la señal y el funcionamiento del algoritmo, se determinan recomendaciones a corto plazo para trabajos a futuro.

- Desarrollar el mismo principio de supresión del algoritmo que trabaje con un tiempo de procesamiento inferior a los 35 milisegundos pero con filtros adaptativos que puedan cambiar automáticamente sus coeficientes de acuerdo al algoritmo.
- La implementación en un sistema embebido para la ejecución del algoritmo.
- Explorar nuevos lenguajes de programación para el desarrollo del algoritmo y de esta manera evaluar los nuevos tiempos de procesamiento del sistema.
- Implementar otro tipo de protocolo de transmisión de datos para optimizar el funcionamiento del algoritmo.

BIBLIOGRAFÍA

WATERSCHOOT, T V. MOONEN, M., Fifty Year of Acoustic Feedback Control: State of the Art and Future Challenges. Procedente de IEEE. Vol. 99, N°. 2, Febrero 2011.

REYES Q, Mónica. Prototipo de un cancelador de feedback o retroalimentación. Bogotá, Colombia. 2011.

Cifani, Stefano, Piazza, Francesco. Real-Time Implementation of Robust PEM-AFROW Based Solutions for Acoustic Feedback Control. Audio Engineering Society Convention 127, 2009, recuperado de <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=15094> .

Ferreira, Anibal J. S; Rocha, Ariel. An Accurate Method of Detection and Cancellation of Multiple Acoustic Feedbacks. Audio Engineering Society Convention 118, 2005, recuperado de <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=13051> .

ALVAREZ P. Juan Manuel, PEREZ. Alejandro, RAVOTTI. Nicolás. Supresores de Retroalimentación Positiva. Julio 2012. Argentina.

PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES, Diseño de Filtros Digitales , recuperado de <http://www.ingelec.uns.edu.ar/pds2803/Materiales/Cap07/07-Cap07.pdf> .

MEZCLA Y MASTERIZACIÓN II. Filtros y ecualizadores. Facultad de Bellas Artes. Recuperado de http://www.astormastering.com.ar/Clase_3_Filtros_y_Ecualizadores.pdf.

KAMEN. Edward, BONNIE. Heck, Fundamentos de señales y sistemas usando la web y matlab, 3era edición, Pearson, 2008, Pág.543 -562.

DAVIS. Gary, Sound Reinforcement Handbook, 2da Edición, 1990, Pág. 47 – 48, 353 – 354.

BRIGHAN. Oran, The Fast Fourier Transform and it's applications, Prentice Hall Inc, 1988, Pág.

MARTINEZ. M, GOMEZ. L, SERRANO. A.J, Filtros Digitales, Universidad de Valencia, 2009-2010. Recuperado de http://ocw.uv.es/ingenieria-y-arquitectura/filtros-digitales/tema_1_introduccion_a_los_filtros_digitales.pdf.

ORDÀ SERGI Introducción a Pure Data. 2004. 72p.

RANE NOTE understanding acoustic feedback & suppressors. 2005. 8p.

PD FEEDBACK DETECTION, recuperado de <http://lists.puredata.info/pipermail/pd-list/2006-07/040509.html>

Colaborador Introducción a pd. Recuperado de <http://cargocollective.com/max-pd-tutorial/Introduccion-a-pd>.

IEEE Computer Society, 1394b-2002 - Standard for High Performance Serial Bus (High Speed Supplement). Recuperado de <https://standards.ieee.org/findstds/standard/1394b-2002.html>

APÉNDICE A.

Manual de manejo

1. Requerimientos del sistema.

Para el correcto funcionamiento del sistema se debe usar un computador que posea puerto FireWire para que la conexión del sistema tenga la menor latencia posible, además de ello, la interfaz encargada de realizar la conversión análogo/digital y digital/análogo debe contar con al menos dos canales de entrada y un canal de salida.

Se deben tener una versión Labview 2012 en adelante y la versión más reciente de Pure data.

Un sistema operativo Windows 7 y para Mac Mavericks . Para garantizar las características de funcionamiento del algoritmo, se debe contar por lo menos con un ordenador que posea procesador CORE i5 y una memoria RAM de al menos seis (6) GB.

2. Inicio del sistema.

Después de conectar el sistema de forma correcta y verificar que la interfaz ha sido correctamente reconocida por el ordenador, debe proceder a abrir el software LABVIEW y seguir los siguientes pasos:

2.1 Labview

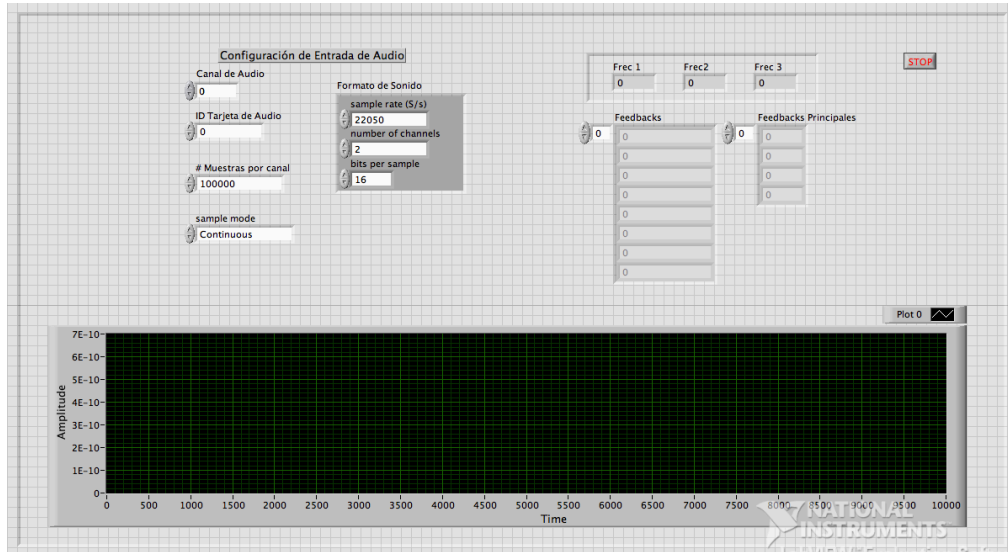


Figura 1. Visión general de interfaz en Labview.

El usuario debe configurar los parámetros de la entrada de audio al programa. Es necesario cambiar los valores de frecuencia de muestreo, número de muestras por canal, ID de la tarjeta de audio y el canal de audio. Se recomienda realizar la configuración con los siguientes parámetros:

Frecuencia de muestreo o sample rate en 44100 S/s, número de muestras por canal de 4410, ID de tarjeta de audio en 1 y canal de audio en 0. Estos valores son óptimos para el procesamiento del programa, al modificarlos podría generarse que el análisis espectral se realice más lento a lo que se realiza con estos parámetros.

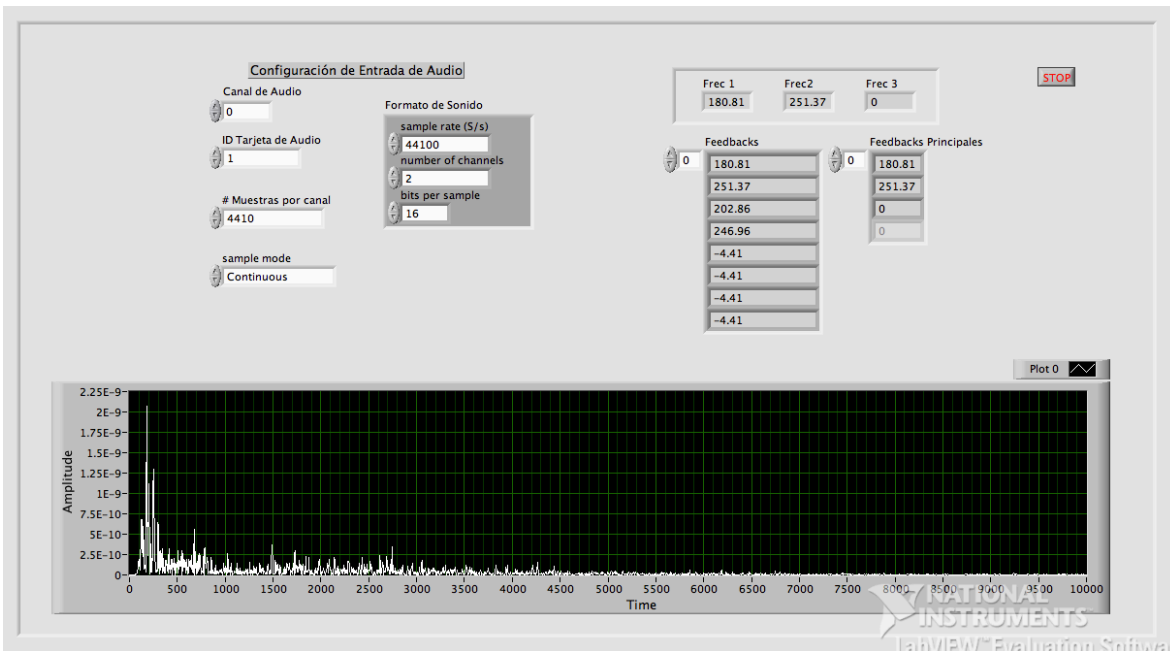


Figura 2. Visión general de interfaz en Labview en funcionamiento.

Después de asignados los parámetros el programa comienza a funcionar proporcionando los valores de las frecuencias que tengan mayor amplitud, de mayor a menor siendo Frec 1 la más alta.

2.2 PureData

Para iniciar Pure data se debe comprobar si la interfaz ha sido reconocida por dicha plataforma, este proceso debe realizarse en la opción de preferencias de audio. Se debe verificar que en los dispositivos de entrada existan dos canales y al menos un canal en el dispositivo de salida, además que el tiempo de retardo sea de 0 ms como se muestra en la siguiente figura.

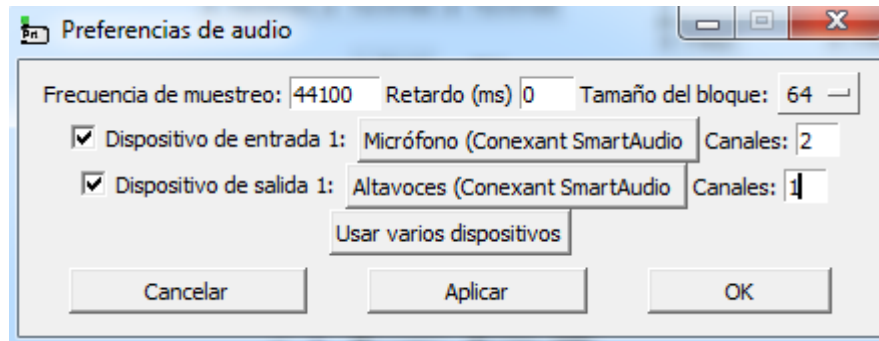


Figura 3. Preferencias de audio en Pure Data.

Después de verificar que la interfaz de audio ha sido reconocida satisfactoriamente se prosigue a ejecutar el algoritmo, para ello se deben seguir los siguientes pasos.

1. Activar el toggle que dice DSP.



Figura 4. Activación de dsp en Pure Data.

2. Activar el siguiente Bang el cual permitirá que el programa inicie y establezca todos los valores por default que se le han asignado al algoritmo supresor.

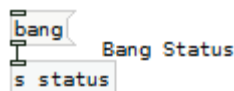


Figura 5. Activación de bang en Pure Data.

3. La elección de entradas se debe realizar de la siguiente manera:

La entrada de audio que se muestra en la figura, es la entrada de audio del micrófono que está censando la señal, es decir que si este micrófono se encuentra acoplado a la entrada uno (1) de

la interfaz se deberá poner [adc~ 1], si por el contrario se encuentra acoplado a la entrada dos (2) se deberá poner [adc~ 2] y así sucesivamente dependiendo de la entrada donde se encuentre conectado el micrófono.

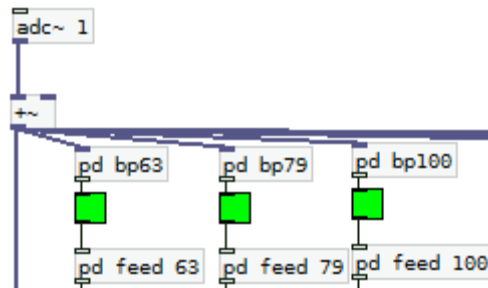


Figura 6. Filtrado por tercios de octava en Pure Data.

De la misma manera se deberá configurar la entrada por la cual se está transmitiendo el programa musical, es decir que si la salida de la consola esta conectada a la entrada dos (2) de la interfaz se deberá poner [adc~ 2] como se muestra en la figura 7.

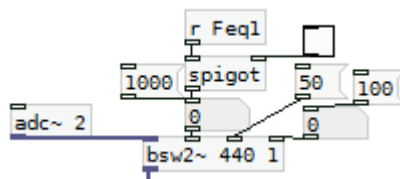


Figura 7. Preferencias de audio en Pure Data

3. Elementos del programa

3.1. Nivel promedio

Se muestra el nivel promedio del programa que se está emitiendo dicha función es llevada a cabo por el micrófono de medición

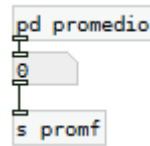


Figura 8. Visualización de nivel promedio en Pure Data.

3.2. Umbral contadores

A partir de este parámetro podemos variar que tan rápido se va reconocer la frecuencia retroalimentada; por defecto está un valor de 50, entre más pequeño sea este valor mas rápido se reconocerá la frecuencia y viceversa.



Figura 9. Umbral de contadores en Pure Data

3.3. Sensibilidad de reconocimiento

A través de este parámetro se varía el nivel energético por banda para que la retroalimentación pueda ser reconocida de manera mas fácil, debido a que en algunos casos la frecuencia baja eleva el nivel promedio y no permite que frecuencias medias altas puedan ser reconocidas como una posible retroalimentación en el sistema



Figura 10. Umbral de frecuencias en Pure Data.

El umbral de frecuencia media varía el nivel energético en las bandas de 500Hz a 3150Hz y el umbral de frecuencia alta esta configurado para manejar las bandas de 4000Hz a 20000Hz.

Nota: Dicho valor deberá ser siempre positivo.

3.4. Frecuencias recibidas de Labview

Aquí se muestran las frecuencias enviadas por el software Labview, si dichas frecuencias cumplen los condicionales programados en el software pasarán a ser filtradas por el programa.

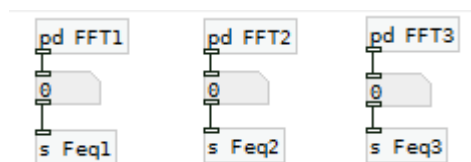


Figura 11. Frecuencias recibidas en Pure Data enviadas desde Labview

3.5. Memorias

El Software cuenta con tres memorias fijas y tres memorias variables.

- Memorias fijas: Para hacer uso de las memorias fijas se deberá tener encendido el sistema electroacústico y además no se deberá estar reproduciendo ningún tipo de

programa (Música y/o discurso). Una vez generado el feedback se deberá activar y desactivar rápidamente el toggle de cada uno de los filtros de las memorias fijas.

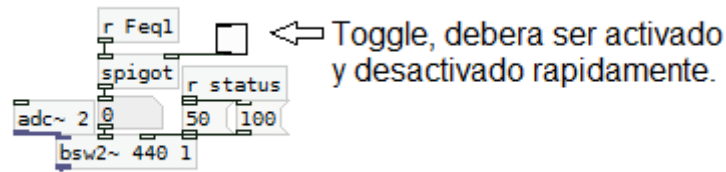


Figura 12. Activación de Toggle en Pure Data.

- **Memorias Variables:** Las memorias variables recibirán la frecuencia retroalimentada por el sistema y serán atenuadas por cierto tiempo.

3.6. Control de ganancia de salida

A través de este slider se puede controlar el nivel de salida del algoritmo para evitar saturaciones en el sistema, además cuenta con un visualizador para tener un mejor control del sistema y evitar alteraciones en la señal que está pasando por el software.

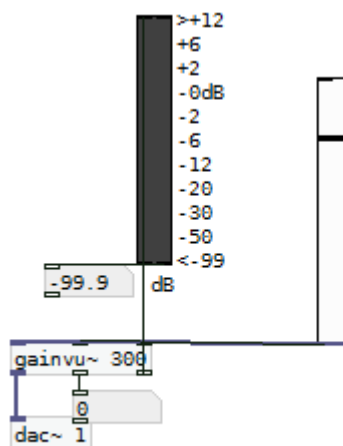
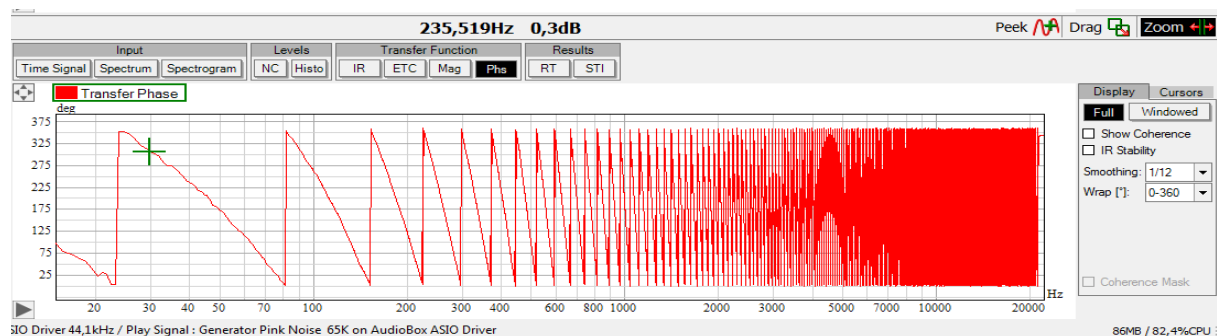


Figura 13. Control de ganancia de salida en Pure Data

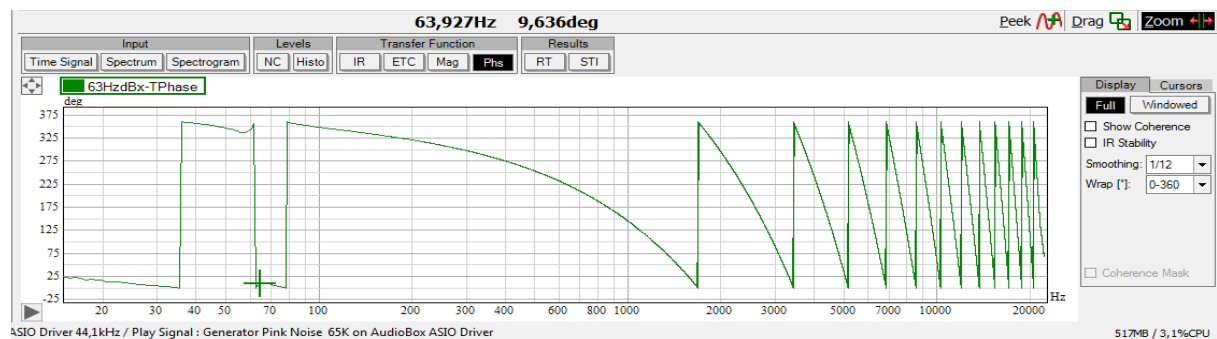
APÉNDICE B.

Respuesta en fase del sistema

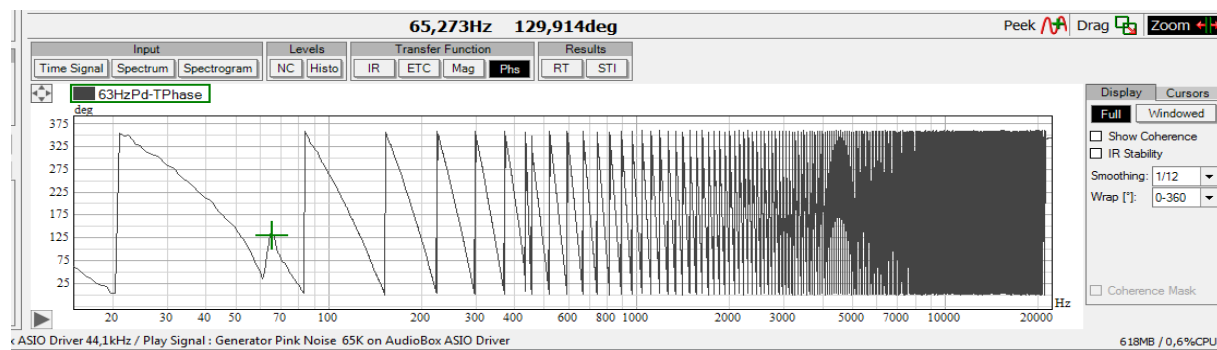
Medición de respuesta en fase flat



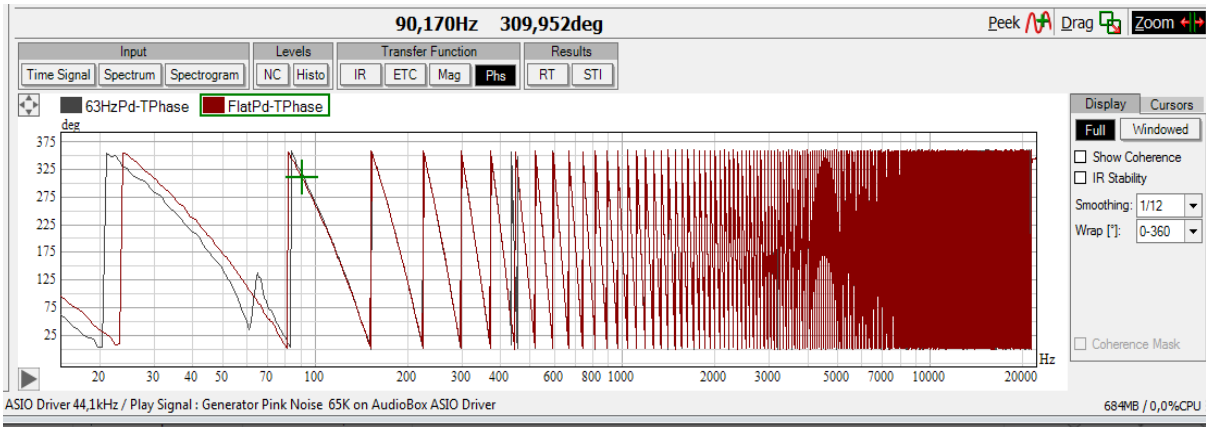
Medición de respuesta en fase 63 Hz – dbx ASF 224



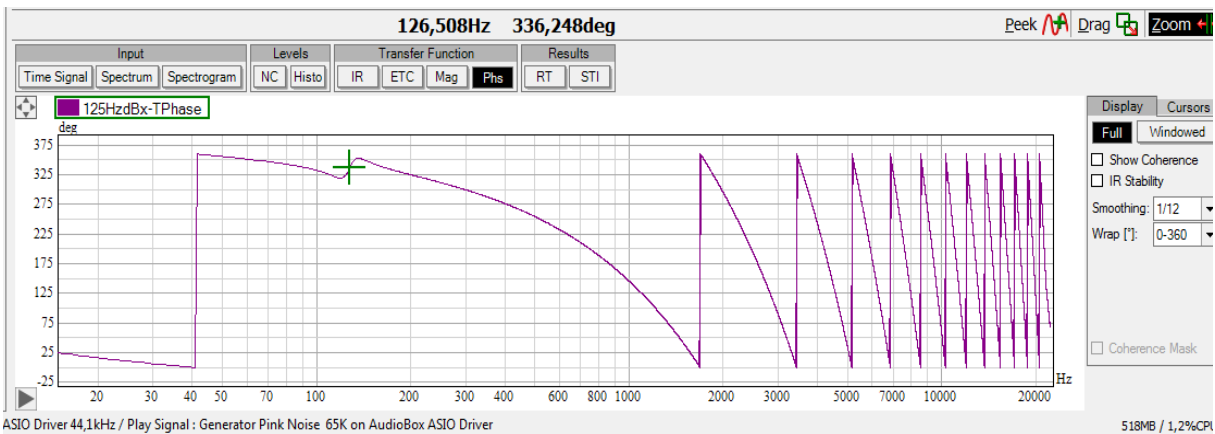
Medición de respuesta en fase 63 Hz – Pure Data



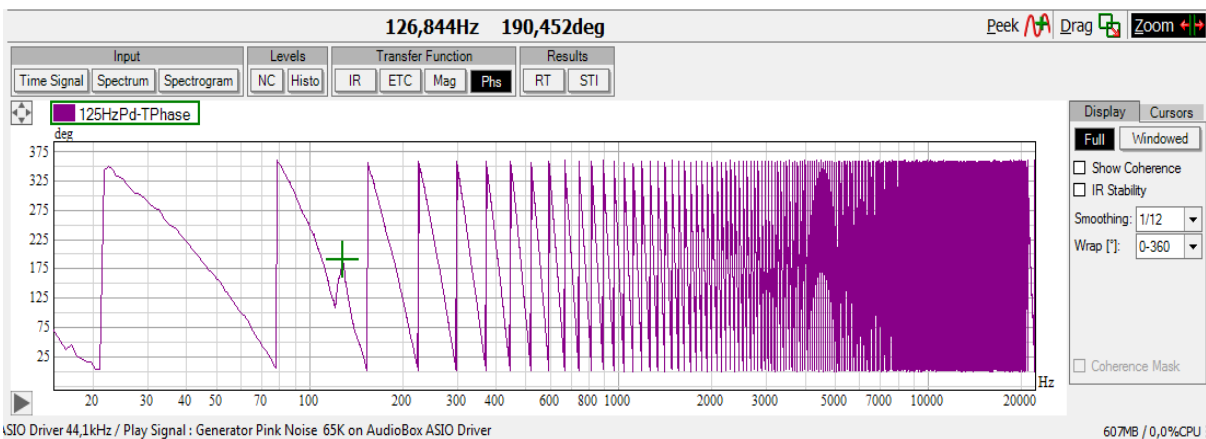
Medición de respuesta en fase 63 Hz – Comparación



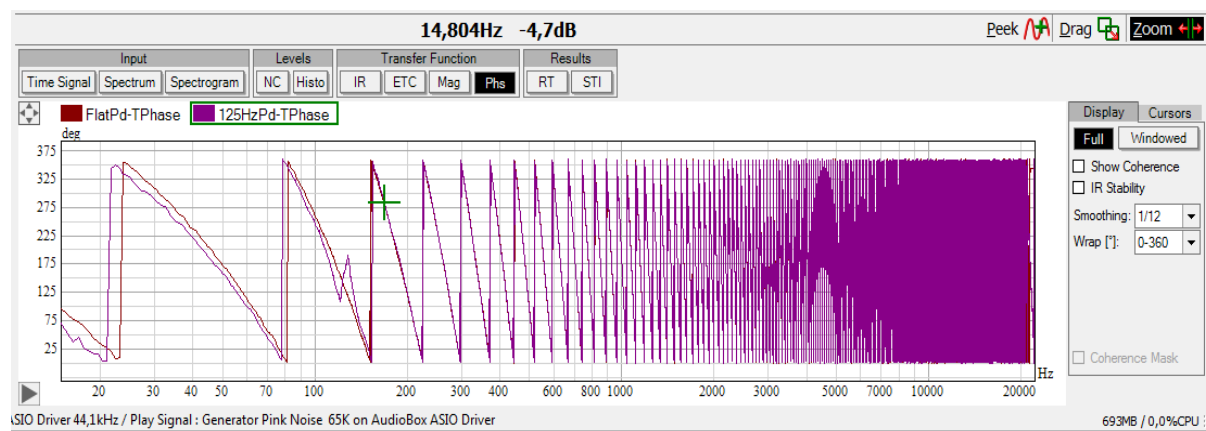
Medición de respuesta en fase 125 Hz – dbx ASF 224



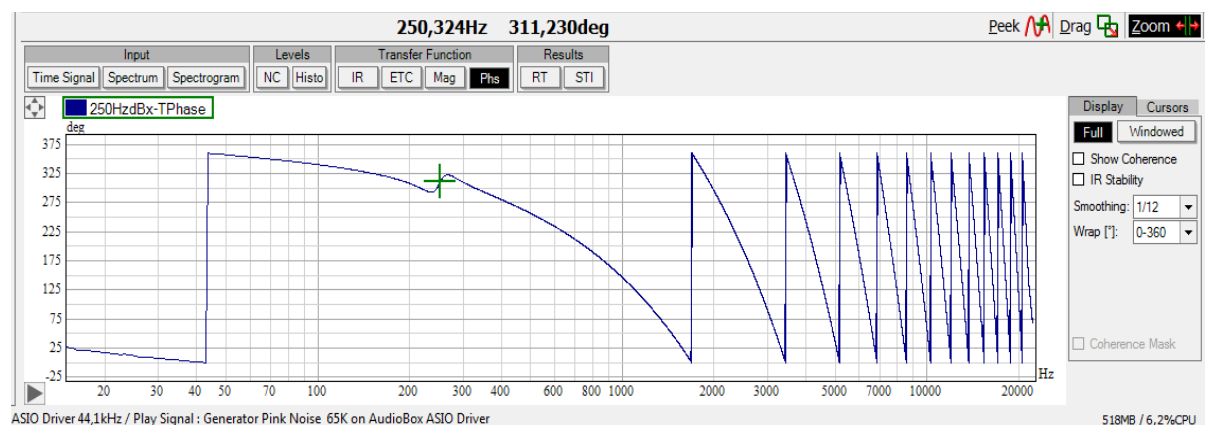
Medición de respuesta en fase 125 Hz – Pure Data



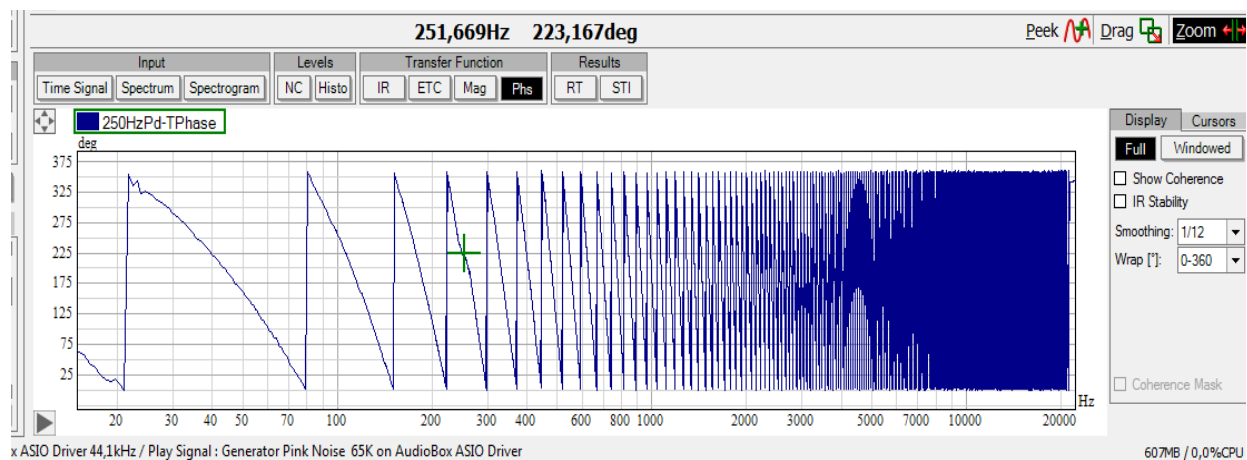
Medición de respuesta en fase 125 Hz – Comparación



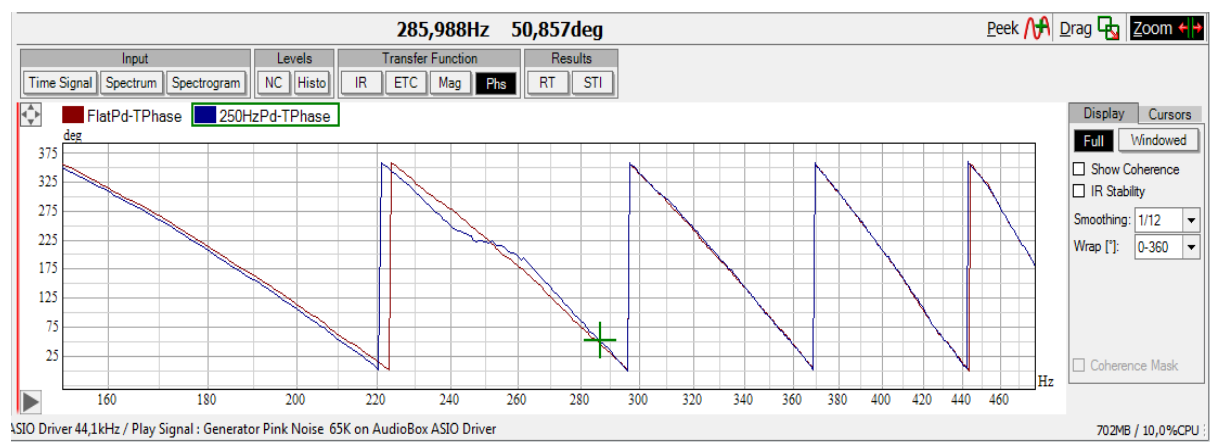
Medición de respuesta en fase 250 Hz – dbx ASF 224



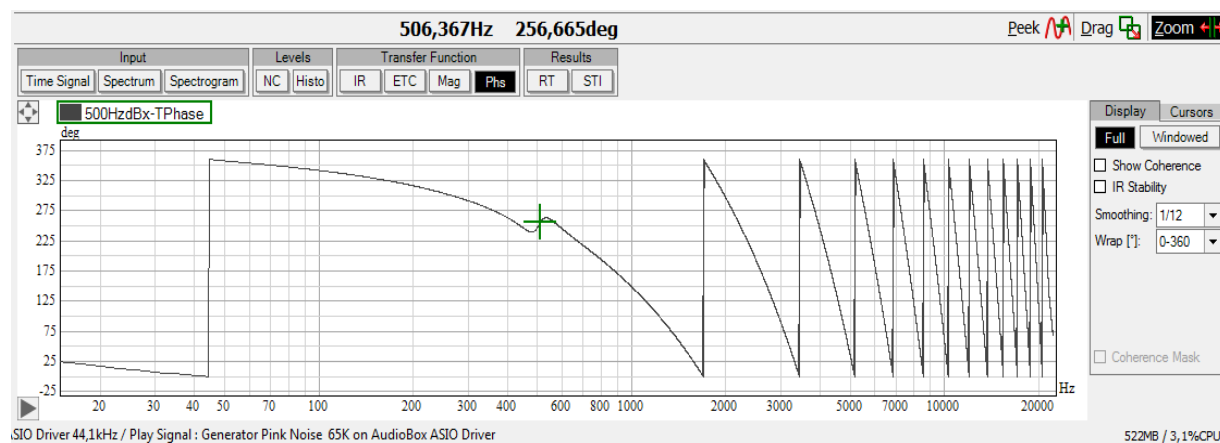
Medición de respuesta en fase 250 Hz – Pure Data



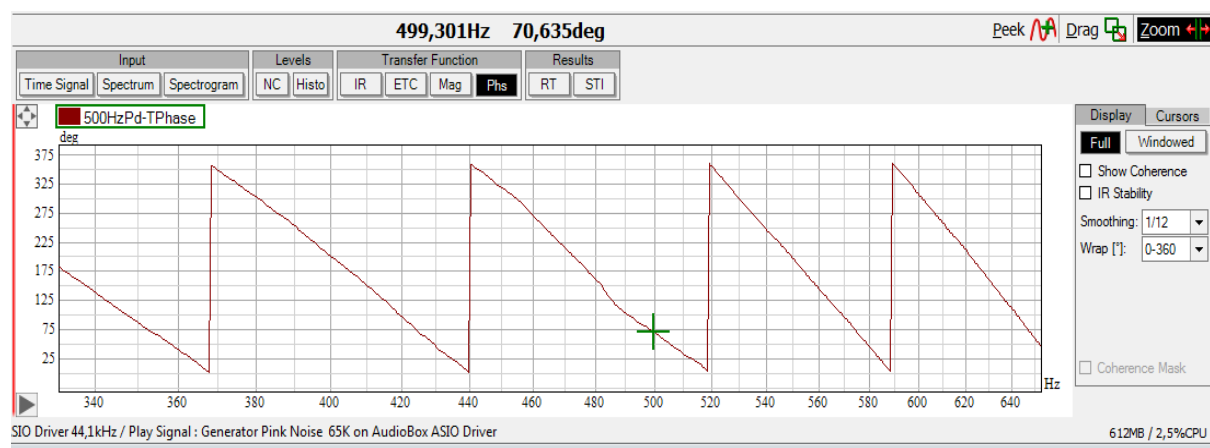
Medición de respuesta en fase 250 Hz – Comparación



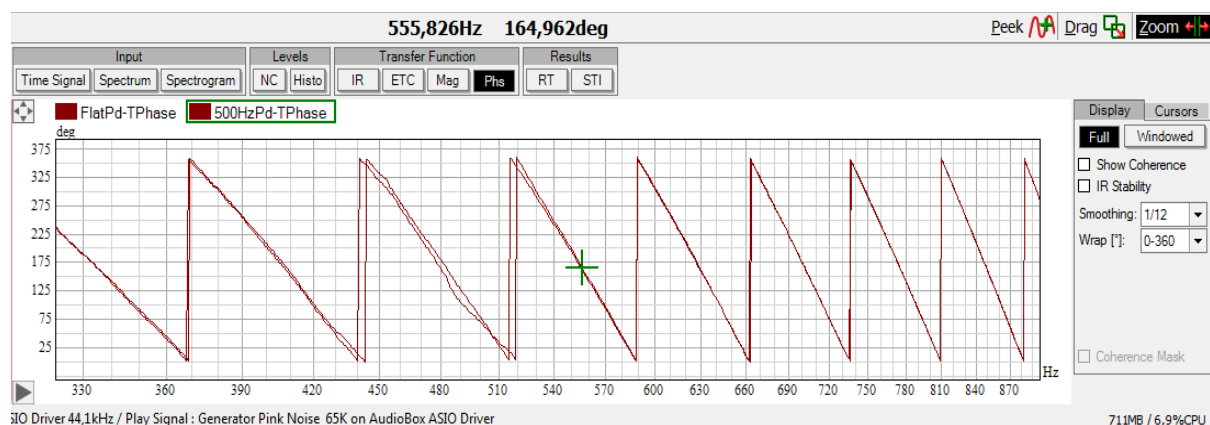
Medición de respuesta en fase 500 Hz – dbx ASF 224



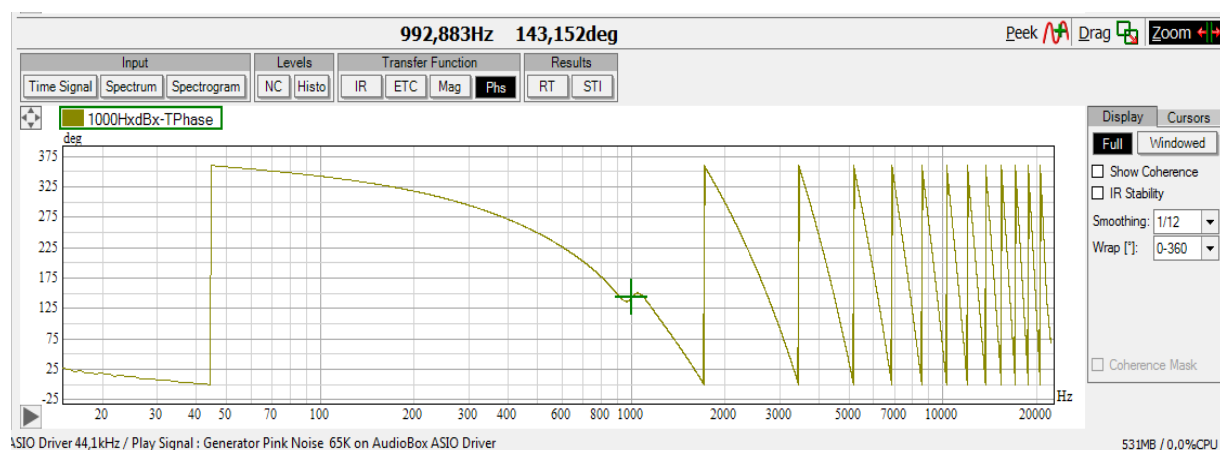
Medición de respuesta en fase 500 Hz – Pure Data



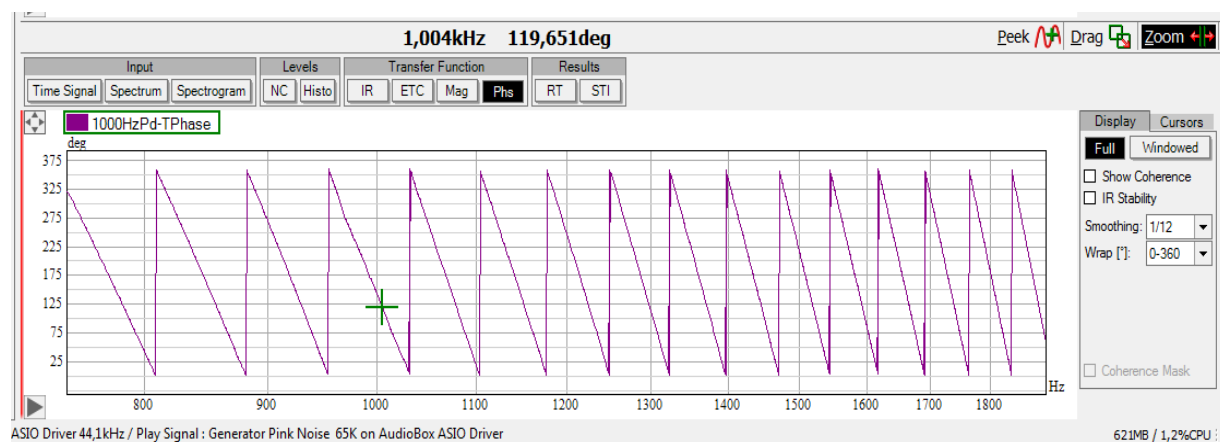
Medición de respuesta en fase 500 Hz – Comparación



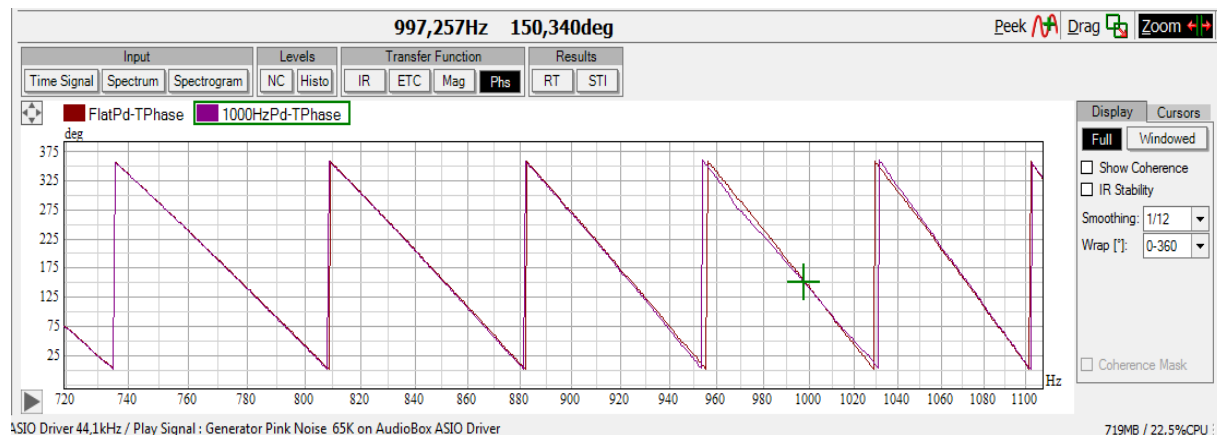
Medición de respuesta en fase 1000 Hz – dbx ASF 224



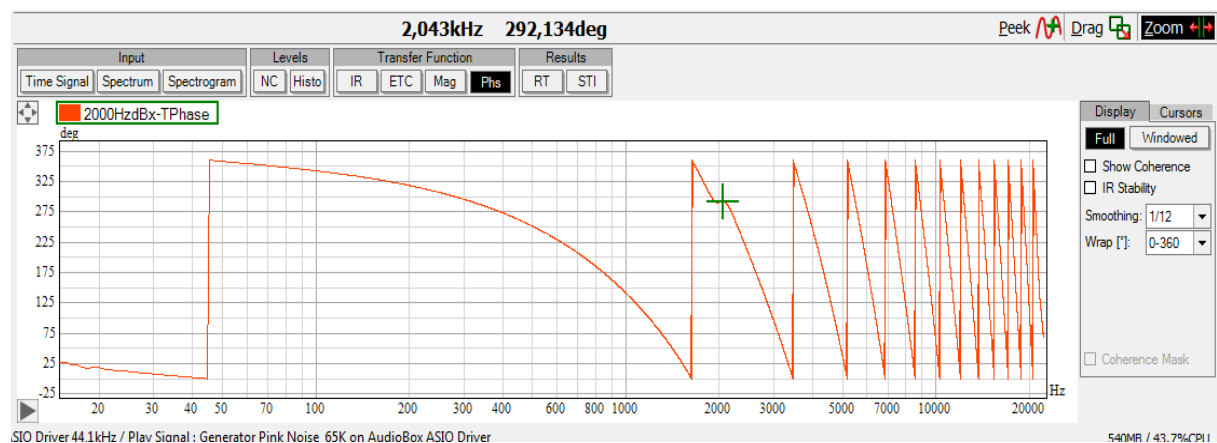
Medición de respuesta en fase 1000 Hz – Pure Data



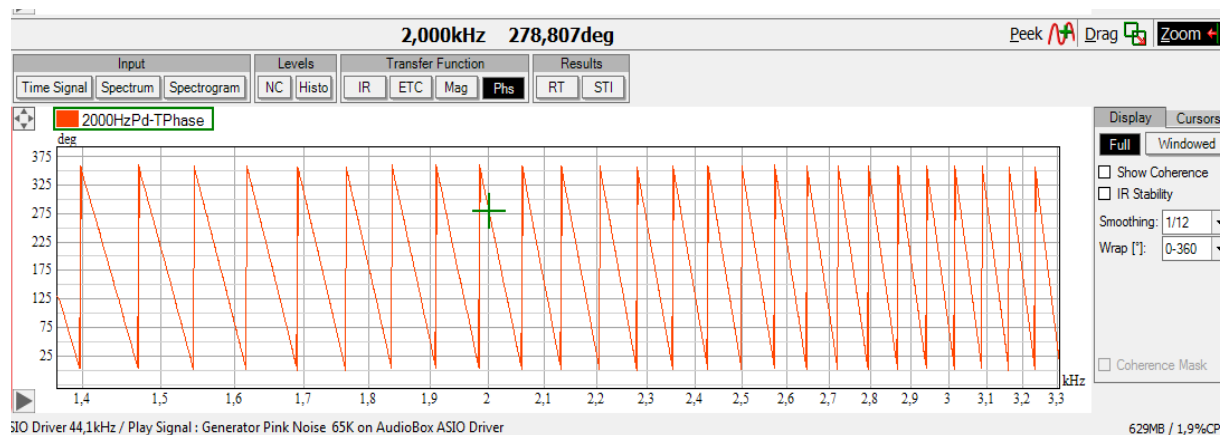
Medición de respuesta en fase 1000 Hz – Comparación



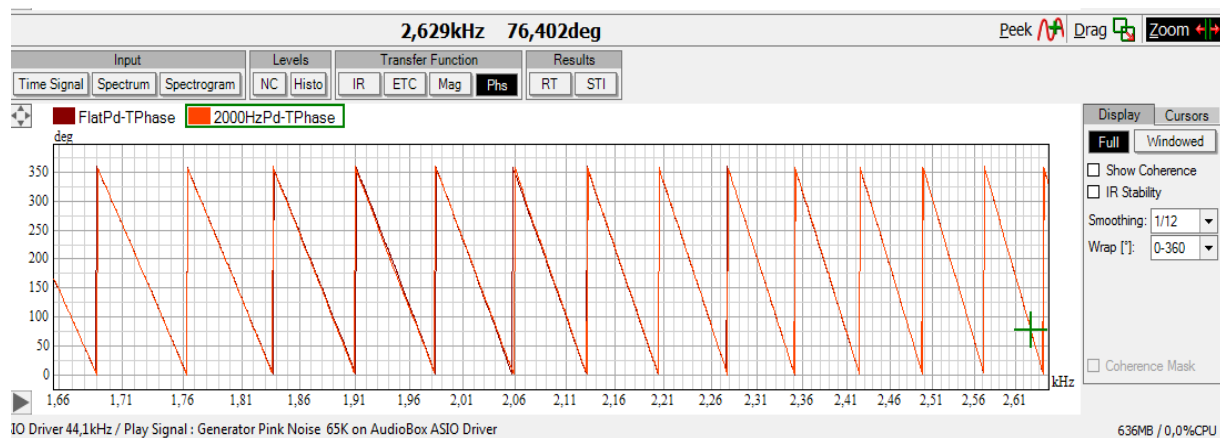
Medición de respuesta en fase 2000 Hz – dbx ASF 224



Medición de respuesta en fase 2000 Hz – Pure Data



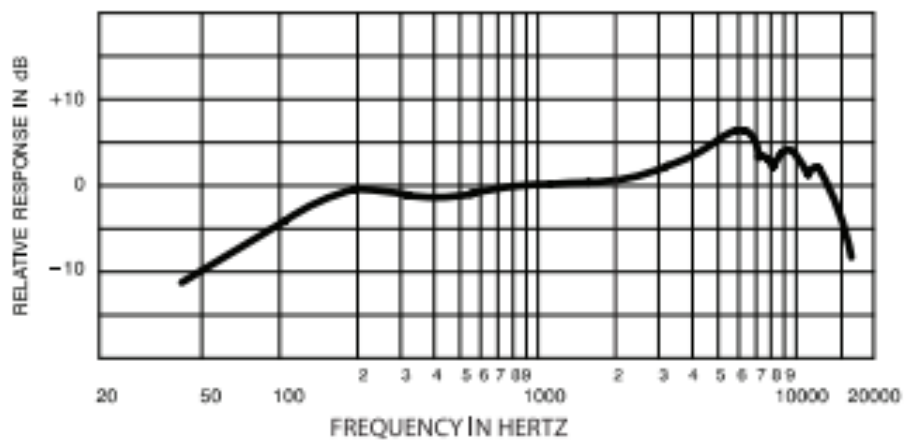
Medición de respuesta en fase 2000 Hz – Comparación



APÉNDICE C.

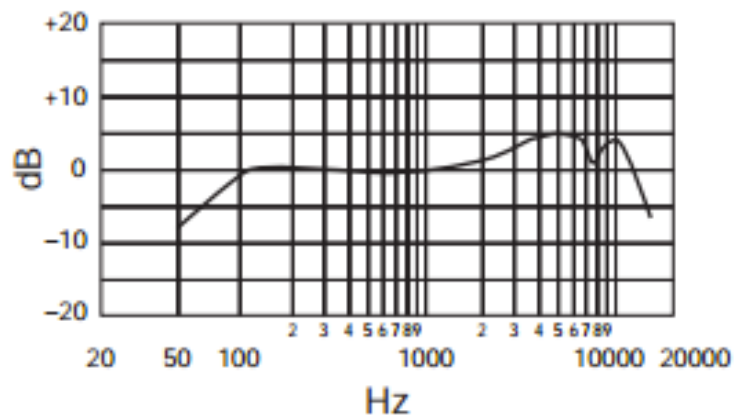
Respuesta en frecuencia de dispositivos aplicados en las pruebas.

Respuesta en frecuencia de micrófono Shure SM 57.



TYPICAL FREQUENCY RESPONSE

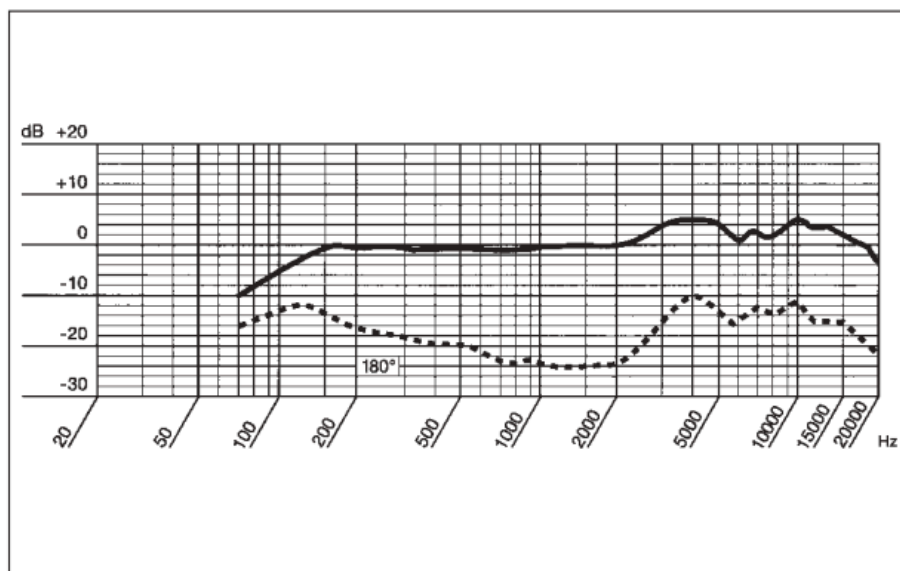
Respuesta en frecuencia micrófono SHURE SM58.



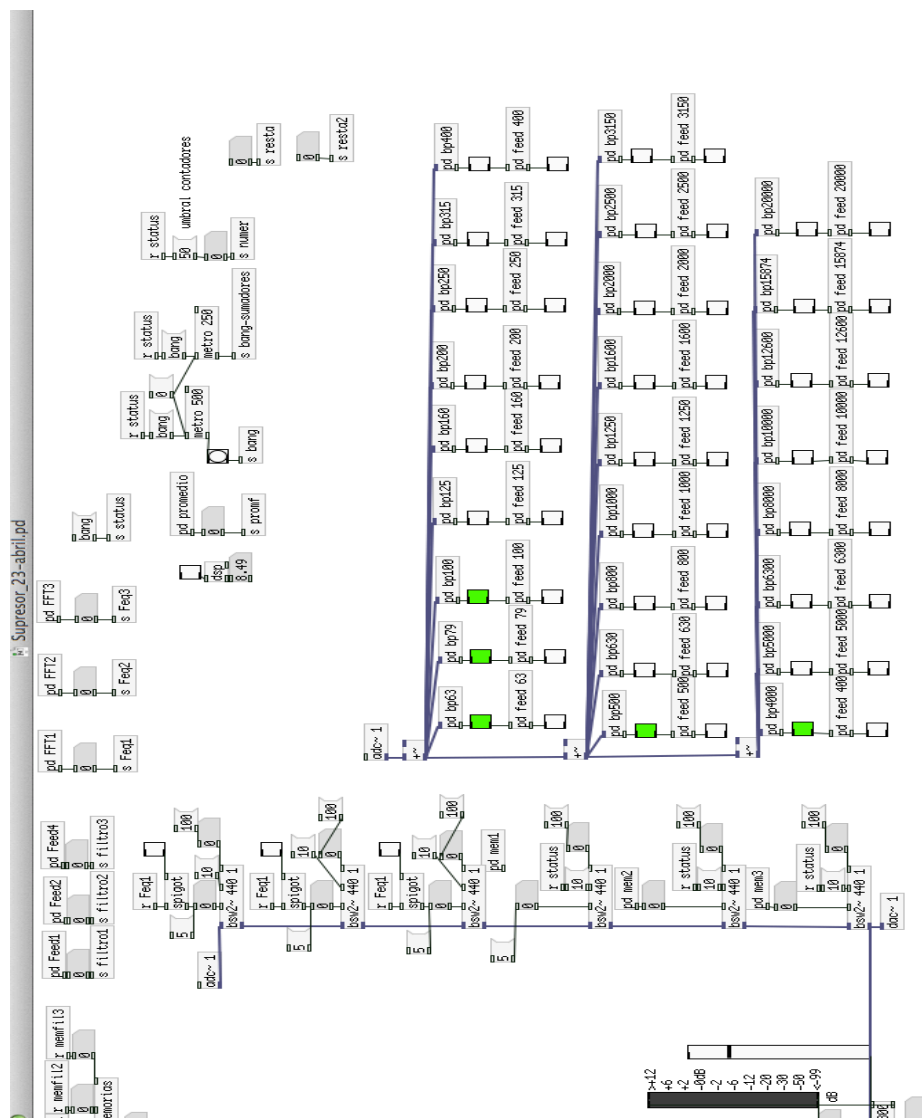
TYPICAL FREQUENCY RESPONSE

Respuesta en frecuencia micrófono AKG D3700.

Frequenzgang



4



Algoritmo completo de labview

