



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

SÍNTESIS ANÁLOGA Y DIGITAL: UNA COMPARACIÓN DE LA SÍNTESIS  
SUSTRACTIVA DE AUDIO EN EQUIPOS ANÁLOGOS Y DIGITALES

AUTOR

SANTIAGO PATRICIO SEGOVIA PÁSTOR

AÑO

2019



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

SÍNTESIS ANÁLOGA Y DIGITAL: UNA COMPARACIÓN DE LA SÍNTESIS SUSTRACTIVA DE AUDIO  
EN EQUIPOS ANÁLOGOS Y DIGITALES.

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos  
para optar por el título de Ingeniero en Sonido y Acústica.

Profesor Guía  
Mg. José Antonio Álvarez Torres Yépez

Autor  
Santiago Patricio Segovia Pástor

Año  
2019

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA.

“Declaro haber dirigido este trabajo, Síntesis análoga y digital: una comparación de la síntesis sustractiva de audio en equipos análogos y digitales, a través de reuniones periódicas con el estudiante Santiago Patricio Segovia Pástor, en el semestre 201910, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.”

---

José Antonio Álvarez Torres Yépez.

Magíster en Musicología  
CC. 170823226-7

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado este trabajo, Síntesis análoga y digital: una comparación de la síntesis sustractiva de audio en equipos análogos y digitales, del estudiante Santiago Patricio Segovia Pástor, en el semestre 201910, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

---

Juan Sebastián Vizuite Déley.

Master Universitario en Ingeniería Acústica.  
CC. 0604086769

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

---

Santiago Patricio Segovia Pástor

CC. 172231362-2

## AGRADECIMIENTOS

Gracias a José, Isaac y Alejandro por la asesoría para esta investigación. A Amaris por no dejar que falle. Y sobretodo a mis padres por su apoyo incondicional.

## DEDICATORIA

Dedico esto a mis padres,  
por el amor que me dan  
cada día, y a mi abuelita  
por su apoyo  
incondicional durante toda  
mi vida.

## RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo establecer las diferencias entre las formas de síntesis de sonido de las versiones análogas y digitales de sintetizadores de audio. Las mediciones de parámetros electroacústicos como THD, espectro de frecuencia y distribución armónica; y las respuestas de encuestas auditivas realizadas a ingenieros de sonido y productores musicales se tomaron en cuenta para esta comparación.

Para la medición de los diferentes parámetros técnicos se usaron diferentes ondas puras reproducidas a una frecuencia de 880Hz; los diferentes tonos fueron procesados por los equipos análogos y digitales. En las encuestas auditivas se incorporaron una melodía musical junto a una pista de bajo, guitarra y percusión para agregar un ambiente musical a las comparaciones.

Luego de comparar y tabular los resultados, tanto en las pruebas objetivas como subjetivas, se encontró una relación entre los valores técnicos medidos de THD y distribución armónica con las preferencias auditivas de los ingenieros de sonido.

Los equipos digitales tienen una reproducción teórica de ondas mientras que los sintetizadores análogos presentan más armónicos que la teoría planteada, esto se comprueba en los resultados de distribución y distorsión armónica presentados, los cuales son diferentes en los equipos analógicos los cuales muestran mayor cantidad de armónicos y diferente reproducción de los mismos. Las diferencias son notorias en las muestras auditivas y en la elección entre los tipos de síntesis se da preferencia a aquella que presenta mayor calidez, generalmente con mayor contenido armónico en su rango de frecuencias.

## **ABSTRACT**

This research aims to establish the differences between the forms of sound synthesis of the analog and digital versions of audio synthesizers. Measurements of electroacoustic parameters such as THD, frequency response and harmonic distribution; and the answers of auditory surveys made to sound engineers and musical producers were taken into account for this comparison.

For the measurement of the different technical parameters, different pure waves reproduced at a frequency of 880Hz were used; the different tones were processed by analog and digital equipment. In the auditory surveys, a musical melody was added along with a bass, guitar and percussion track to add a musical environment to the comparisons.

After comparing and tabulating the results, both in the objective and subjective tests, a relationship was found between the measured technical values of THD and harmonic distribution with the auditory preferences of the sound engineers.

The digital equipment has a theoretical reproduction of waves while the analog synthesizers have more harmonics than the theory proposed, this is verified in the results of distribution and harmonic distortion presented, which are different in the analog equipment which show a higher quantity of harmonics and different reproduction of them. The differences are notorious in the auditory samples and in the choice between the types of synthesis preference is given to the one that presents greater warmth, generally with greater harmonic content in its frequency range.

# ÍNDICE

1.	CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.	Antecedentes.....	1
1.2.	Marco referencial.....	3
1.3.	Hipótesis.....	4
1.5.	Justificación.....	5
1.6.	Objetivos .....	5
1.6.1.	General.....	5
1.6.2.	Específicos .....	6
2.	CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	6
2.1.	Síntesis de audio.....	6
2.2.	Formas de onda y distribución teórica de sus armónicos. ..	6
2.2.1.	Onda cuadrada.....	7
2.2.2.	Onda diente de sierra .....	7
2.2.3.	Onda triangular .....	8
2.3.	Componentes variables.....	9
2.3.1.	Osciladores Controlados por Voltaje (VCO).....	9
2.3.2.	Filtros Controlados por Voltaje (VCF).....	10
2.3.3.	Amplificadores Controlados por Voltaje (VCA).....	11
2.3.4.	Generadores de Envolvente (ADSR) .....	11
2.4.	Síntesis de audio análoga .....	12
2.5.	Síntesis de audio digital .....	12
2.6.	Síntesis sustractiva .....	13
2.7.	Procesamiento de la señal .....	13
2.8.	Distorsión armónica total (THD).....	14
2.9.	Espectro de frecuencias.....	15
2.10.	Emulación digital de equipos.....	15
2.11.	Notación Musical Moderna.....	16
2.12.	Sintetizadores Análogos.....	16
2.12.1.	Moog Little Phatty.....	16
2.12.2.	Dave Smith's Mopho SE .....	18
2.12.3.	Dave Smith's Prophet REV 2 .....	19
2.13.	Sintetizadores Digitales.....	21
2.13.1.	Roland JU-06 .....	21
2.13.2.	Propellerhead Reason Subtractor .....	22
2.13.3.	Steinberg Retrologue 2 .....	24

3.	CAPÍTULO III. METODOLOGÍA .....	25
3.1.	Recopilación y equipamiento de muestras auditivas. ....	25
3.1.1.	Características de las muestras para comparación auditiva. ....	26
3.1.2.	Composición Base.....	26
3.2.	Procesamiento a utilizar .....	28
3.2.1.	Medición de parámetros técnicos.....	29
3.2.2.	Distorsión Armónica Total (THD).....	33
3.2.3.	Espectro de Frecuencias.....	34
3.2.4.	Distribución de armónicos .....	34
3.3.	Diseño y aplicación de la encuesta auditiva.....	35
4.	CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	37
4.1.	Resultados y comparación de Medición de parámetros. ....	37
4.2.	Distorsión Armónica Total (THD). ....	38
4.2.1.	THD Mopho vs JU-06 .....	38
4.2.2.	THD Prophet REV 2 vs Subtractor .....	39
4.2.3.	THD Little Phatty vs Retrologue 2 .....	39
4.3.	Espectro de Frecuencia .....	41
4.3.1.	Espectro de frecuencias Mopho SE vs JU-06 .....	41
4.3.2.	Espectro de frecuencias Prophet REV 2 vs Subtractor .....	41
4.3.3.	Espectro de frecuencias Little Phatty vs Retrologue 2 .....	42
4.4.	Distribución y cambios en los armónicos. ....	43
4.5.	Resultados de las encuestas auditivas. ....	52
4.5.1.	Presión acústica a la que trabajan los encuestados. ....	53
4.5.2.	Preferencias entre equipos análogos y digitales. ....	54
4.6.	Resultados y análisis de las encuestas auditivas. ....	55
4.6.1.	Mopho SE vs JU-06.....	55
4.6.2.	Prophet REV 2 vs Subtractor .....	57
4.6.3.	Little Phatty vs Retrologue 2.....	58
4.7.	Comparación de resultados subjetivos y técnicos. ....	60
4.8.	Comparación de ondas por el osciloscopio y ondas en los sintetizadores. ....	62
4.9.	Análisis Económico .....	64
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	67
5.1.	Conclusiones.....	67
5.2.	Recomendaciones.....	69

REFERENCIAS .....	71
ANEXOS .....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Armónicos de diferentes ondas.....	7
<i>Figura 2.</i> Onda cuadrada y sus armónicos en el tiempo.....	7
<i>Figura 3.</i> Onda diente de sierra y sus armónicos en el tiempo.....	8
<i>Figura 4.</i> Onda triangular y sus armónicos en el tiempo.....	9
<i>Figura 5.</i> <i>Gráfico de etapas de señal un sintetizador básico.</i> ....	10
<i>Figura 6.</i> Filtros básico de un sintetizador.....	11
<i>Figura 7.</i> Little Phatty de Bob Moog en el estudio IguanaMan Records. ....	17
<i>Figura 8.</i> Sintetizador Análogo Dave Smith Mopho SE.....	19
<i>Figura 9.</i> Sintetizador Análogo Dave Smith Prophet REV2 .....	20
<i>Figura 10.</i> Sintetizador Digital hardware Roland JU-06 .....	22
<i>Figura 11.</i> Sintetizador Digital software Subtractor de Reason por Propellerhead. ...	23
<i>Figura 12.</i> Sintetizador Digital software Retrologue 2 de Cubase por Steinberg. ....	24
<i>Figura 13.</i> Hoja de música para la melodía de comparación en Finale con variación de filtro .....	27
<i>Figura 14.</i> Sesión de Logic X Pro para todas las muestras con la melodía realizada. .....	28
<i>Figura 15.</i> Cadena electroacústica para la recopilación de muestras.....	29
<i>Figura 16.</i> Mediciones con el sintetizador análogo Dave Smith Mopho SE .....	29
<i>Figura 17.</i> Mediciones con el sintetizador digital Roland JU-06.....	30
<i>Figura 18.</i> Mediciones con el sintetizador análogo Dave Smith REV 2 .....	30
<i>Figura 19.</i> Mediciones con el sintetizador análogo Moog Little Phatty .....	31
<i>Figura 20.</i> Cadena electroacústica 2 para la recopilación de muestras .....	31
<i>Figura 21.</i> Mediciones del Subtractor en Reason de Propellerhead.....	32
<i>Figura 22.</i> Mediciones del Retrologue 2 de Steinberg en Logic Pro X.....	33
<i>Figura 23.</i> Muestras de todos los equipos en Pro Tools. ....	35
<i>Figura 24.</i> Preguntas de la encuesta auditiva. ....	36
<i>Figura 25.</i> Audios para encuesta. ....	36
<i>Figura 26.</i> Calculadora online de muestras.....	37
<i>Figura 27.</i> Espectro de frecuencias Mopho SE vs JU-06, onda cuadrada y diente de sierra .....	41
<i>Figura 28.</i> Espectro de frecuencias Prophet REV 2 vs Subtractor, onda cuadrada, diente de sierra y triangular.....	42
<i>Figura 29.</i> Espectro de frecuencias Little Phatty vs Retrologue 2, onda cuadrada y diente de sierra y triangular.....	42
<i>Figura 30.</i> Onda cuadrada MOPHO SE vs JU-06.....	44
<i>Figura 31.</i> Onda diente de sierra MOPHO SE vs JU-06 .....	45
<i>Figura 32.</i> Onda cuadrada PROPHET REV 2 vs SUBTRACTOR .....	46
<i>Figura 33.</i> Onda diente de sierra PROPHET REV2 vs SUBTRACTOR .....	47
<i>Figura 34.</i> Onda triangular PROPHET REV 2 vs SUBTRACTOR .....	48
<i>Figura 35.</i> Onda cuadrada MOOG LP vs STEINBERG RETROLOGUE .....	49
<i>Figura 36.</i> Onda diente de sierra MOOG LP vs STEINBERG RETROLOGUE .....	51
<i>Figura 37.</i> Onda triangular MOOG LP vs STEINBERG RETROLOGUE .....	52

Figura 38. Pregunta 1 sobre salud auditiva de los encuestados.....	53
Figura 39. Pregunta 2 con respecto al haber utilizado equipos análogos en el pasado.....	54
Figura 40. Pregunta 3 acerca de la preferencia entre equipos análogos y digitales.	54
Figura 41. Respuesta sobre el contenido armónico de la muestra 1, A o B. ....	55
Figura 42. Respuesta sobre el equipo análogo 1, A o B.....	56
Figura 43. Respuesta sobre la muestra 1 en agrado, A o B. ....	56
Figura 44. Respuesta sobre el contenido armónico de la muestra 2, A o B. ....	57
Figura 45. Respuesta sobre el equipo análogo 2, A o B.....	58
Figura 46. Respuesta sobre la muestra 2 en agrado, A o B. ....	58
Figura 47. Respuesta sobre el contenido armónico de la muestra 3, A o B. ....	59
Figura 48. Respuesta sobre el equipo análogo 2, A o B.....	59
Figura 49. Respuesta sobre la muestra 3 en agrado, A o B. ....	60
Figura 50. FFT de onda cuadrada por el oscilador de frecuencias.....	63
Figura 51. FFT de onda diente de sierra por el oscilador de frecuencias. ....	63
Figura 52. FFT de onda triangular por el oscilador de frecuencias.....	64

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones del Little Phatty de Moog. ....	18
Tabla 2. Especificaciones del Mopho SE de Dave Smith. ....	19
Tabla 3. Especificaciones del Prophet REV 2 de Dave Smith. ....	20
Tabla 4. Especificaciones del JU-06 de Roland. ....	22
Tabla 5. Especificaciones del Subtractor de Reason por Propellehead. ....	23
Tabla 6. Especificaciones del Retrologue 2 de Steinberg. ....	25
Tabla 7. Ejemplo del cálculo del THD total según los armónicos del Mopho SE (mismo cálculo realizado para todos los demás sintetizadores) .....	34
Tabla 8. THD total Mopho SE vs JU-06, 3 tipos de ondas .....	39
Tabla 9. THD total Prophet REV 2 vs Subtractor, 3 tipos de ondas .....	39
Tabla 10. THD total Moog Little Phatty vs Retrologue 2, 3 tipos de ondas .....	40
Tabla 11. THD totales de todos los sintetizadores por ondas .....	40
Tabla 12. Comparación de datos medidos con respuestas de las encuestas auditivas. ....	60
Tabla 13. % THD de ondas perfectas calculadas desde el osciloscopio. ....	62
Tabla 14. Análisis Económico con lo equipos utilizados para esta investigación. ....	65
Tabla 15. Costo de la investigación adquiriendo los equipos de manera independiente. ....	65
Tabla 16. Costo de la investigación realizada con alquiler de equipos. ....	66

## 1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes.

La síntesis de audio se origina en 1897 con la invención del Telarmonio, un instrumento que producía sonidos mediante alternadores rotantes eléctricos. Al ser instrumento que pesaba alrededor de 200 toneladas, nunca se hizo popular. Este instrumento fue el inicio de muchos intentos, aparatos e instrumentos capaces de reproducir señales mediante modificación de ondas y un inicio hacia la música electrónica (Crombie, 1984).

El sintetizador de música electrónica RCA fue el primer sintetizador programable que hubo y dio paso a los secuenciadores que se conocen hoy en día. Instalado en la universidad de Princeton en 1955, este solo duró unos años debido a su gran tamaño, y fue reemplazado por la nueva tecnología de sintetizadores portables en los sesentas (Pejrolo y Metcalfe, 2017).

La síntesis sustractiva se realiza al filtrar una señal de audio, dicha señal base puede ser de cualquier tipo (cuadrada, sinusoidal, triangular, etc.) y el filtro que se use también varía dependiendo de la aplicación. Cuando se habla de síntesis sustractiva de audio análogo se refiere a señal que se origina con el uso de osciladores y esta onda se filtra mediante el diseño de circuitos para filtros. Dicho tipo de síntesis tiene su origen en la década de 1960 con el diseño del primer sintetizador análogo creado por Moog. Los primeros sintetizadores eran diseñados mediante electrónica analógica y diseño de circuitos. (Russ, 2009).

Desde entonces se ha tratado de emular diferentes modelos de sintetizadores clásicos así como diseñar equipos de síntesis sustractiva en el entorno digital (into the box). En 1975 con la invención del Fairlight CMI, el primer sampler comercial, artistas musicales e ingenieros de sonido comenzaron a recrear el sonido de equipos análogos. Dentro del proceso de sampling existe la etapa

donde se aplica aliasing, esta etapa causaba un problema en los cambios muy rápidos en las ondas. (Välimäki y Huovilainen, 2006).

En los principios de la síntesis digital existían dos grandes problemas, el primero era que la capacidad de un computador debía ser muy grande para poder procesar la cantidad de información que una función requiere, y el segundo era la necesidad de un lenguaje simple y poderoso para poder describir una secuencia compleja de sonidos (Mathews, 1969).

Al final de la década de 1970, el sonido de la música producida en la época se concentró mucho en la síntesis de modulación de frecuencias y samples, al mismo tiempo, el procesamiento digital de señales incrementó su popularidad en los sintetizadores musicales. Por un tiempo la síntesis sustractiva análoga se estaba volviendo cada vez más rara. Alrededor de la década de 1990, muchos músicos mostraron cada vez más interés por el sonido cálido de la síntesis análoga sustractiva. Muchos son los intentos de recrear sonidos análogos a través de síntesis digital. El Nord Lead 1, creado en 1995 por Clavia, es el primer sintetizador digital promocionado como un sintetizador de sonido análogo sin el uso de samples, y el primero en introducir el término análogo virtual para representar la simulación de equipos de audio análogo.

La síntesis digital resolvió ciertos de los problemas de la síntesis análoga, como por ejemplo el control de la temperatura, el tamaño y la afinación. Desde entonces, muchas compañías de audio han investigado y desarrollado mejores métodos para el procesamiento digital de señales para sonidos de síntesis análoga sustractiva (Pekonen y Välimäki, 2011).

Con el paso de los años la síntesis digital de audio ha ido corrigiendo las problemáticas iniciales y hoy en día es una de las herramientas más utilizadas para la composición musical, y para la creación de efectos de sonido y de paisajes sonoros, ya que encuentra incluso en los programas más básicos de edición de audio (Julius y Smith. 2002).

Dentro de las prestaciones más requeridas de los sintetizadores análogos se encuentra la capacidad de realizar la sustracción de frecuencias. La síntesis análoga virtual se lleva a cabo dentro de la síntesis digital desde hace muchos años y ha sido discutida por varios músicos e ingenieros de sonido, evidenciando un incremento en publicaciones sobre su desempeño y su comparación con la síntesis sustractiva análoga (Pekonen y Välimäki, 2011).

## **1.2. Marco referencial.**

Actualmente la síntesis de audio es uno de los recursos más utilizados dentro de la industria; está presente en procesos musicales desde producción hasta post producción y efectos sonoros.

Existen diferentes tipos de síntesis de audio, pero la más común dentro de la industria es la síntesis sustractiva; la misma en la que este trabajo se enfocará. En este tipo de síntesis, se genera una señal de audio como punto de partida; dicha señal es procesada, generalmente mediante el uso de filtros (siendo el más común el filtro pasa bajos).

Una opinión generalizada por ingenieros de sonido y productores musicales es que no existe diferencia notoria al aplicar síntesis de audio digital o análoga, es por ello que las aplicaciones de las mismas suelen ser comunes y se basan en las preferencias personales o capacidad de adquisición; considerando que los sintetizadores análogos son más costosos y poco comunes.

Tomando en cuenta lo mencionado anteriormente se usará una sola nota musical y una composición musical basada en síntesis de audio y con variación de un parámetro para comparar la síntesis digital de la análoga, analizar los parámetros técnicos como resultado de la composición y de esa manera valorar la relación calidad-precio de ambas; posteriormente verificar

auditivamente mediante una encuesta si existe diferencia sensorial auditiva entre ambas o no.

### **1.3. Hipótesis.**

- La aplicación de la síntesis de audio es tan variada que entre digital o análogo no existe una diferencia perceptible en cuanto a resultados técnicos.
- Auditivamente se puede percibir diferencia de forma subjetiva, pues la percepción del audio depende mucho de gustos personales hacia un sonido o composición.
- La síntesis de audio análoga o digital puede utilizarse para los mismos fines, siendo importante el aporte de calidez auditiva que aporta el entorno a una composición musical o a los efectos de sonido.

### **1.4. Alcance.**

El alcance del proyecto será obtención de una muestra de audio a analizar con síntesis digital y síntesis análoga mediante una composición musical para luego realizar una comparación auditiva de parámetros técnicos y una encuesta auditiva subjetiva.

Se realizará la medición de parámetros técnicos como THD, espectro de frecuencia y distribución armónica. Las mismas muestras comparadas técnicamente formarán parte de una encuesta auditiva dirigida a productores musicales e ingenieros de sonido que utilicen la síntesis de audio comúnmente en su trabajo.

El paso final es evaluar los resultados de forma estadística, aplicando análisis cuantitativo de los porcentajes obtenidos con la encuesta previamente realizada.

## **1.5. Justificación.**

Este estudio será un aporte a las comparaciones que se han venido realizando sobre las diferencias auditivas y técnicas entre el entorno análogo y digital. Al ser un estudio de la síntesis de audio el análisis auditivo juega un papel fundamental, es por ello que se utilizarán muestras de composiciones musicales para el estudio de señales.

Se aportará con información probada al debate continuo que existe acerca de qué tipo de síntesis sustractiva es mejor: análoga o digital. Y al analizar los parámetros técnicos se aportará al área de estudio de la síntesis sustractiva en sus diferentes formas.

Al culminar el estudio se tendrá un análisis profundo de las características técnicas de la síntesis análoga y digital y su relación con la percepción auditiva. Este análisis aportará con conclusiones comprobadas al debate formado alrededor del audio análogo y el audio digital, esta vez enfocado en la síntesis sustractiva de audio. En cuanto al análisis auditivo, esta parte del estudio relaciona los resultados de mediciones técnicas con la percepción del oído humano y ayuda a esclarecer el debate de forma subjetiva abarcando así las dos partes del audio: la técnica con los parámetros y mediciones, y la parte musical y de percepción con la encuesta.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. General**

Comparar analíticamente sintetizadores sustractivos de audio análogos con equipos digitales, midiendo sus parámetros técnicos: distorsión armónica total (THD) , espectro de frecuencias, distribución armónica y la percepción subjetiva mediante la escucha de ingenieros de sonido y productores musicales.

### 1.6.2. Específicos

- ❑ Generar señales de audio de diferentes sintetizadores análogos y digitales utilizando la misma nota base A5 (880Hz) como punto de comparación.
- ❑ Evaluar los mismos parámetros de filtro y frecuencia de resonancia, usando los mismos valores en cada sintetizador analizado con las mismas ondas, y medir los parámetros técnicos THD, distribución armónica y espectro de frecuencias, en equipos de síntesis sustractiva, tanto análogos como digitales, para encontrar las diferencias en sus espectros.
- ❑ Diseñar y realizar encuestas auditivas usando las señales de audio análogas y digitales, a ingenieros de sonido y productores musicales para determinar sus diferencias perceptuales

## 2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Síntesis de audio.

Es el proceso de construir un sonido complejo a través de unir diferentes componentes. Un sintetizador es un equipo que genera un sonido complejo mediante la combinación de elementos simples. Estos elementos son los elementos que se encuentran dentro del circuito del sintetizador, o de manera virtual en un software determinado. La síntesis permite generar sonidos nuevos así como emular sonidos de diferentes tipos, como instrumentos musicales convencionales.

### 2.2. Formas de onda y distribución teórica de sus armónicos.

La síntesis de audio utiliza el principio de transducción electroacústica en donde una señal eléctrica se genera, altera y reproduce mediante los altavoces de un sintetizador, es a partir de esta donde se toma el sonido principal generado por un oscilador y se agrega generalmente un filtro para llegar a diferentes resultados. Existen varios tipos de onda pero se centrará en hablar

en las ondas más comunes producidas por casi cualquier equipo de síntesis analógico y digital en el mercado.

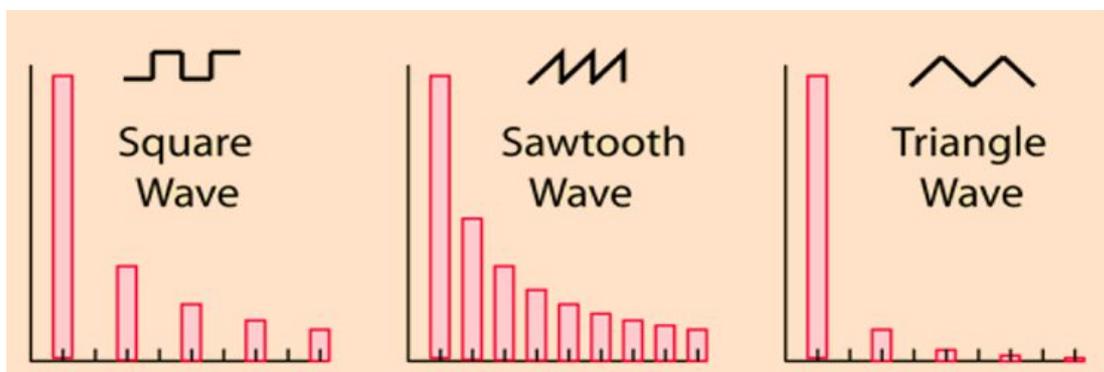


Figura 1. Armónicos de diferentes ondas.  
Tomado de (Bowhay, 2015)

### 2.2.1. Onda cuadrada

Al igual que diente de sierra, esta onda puede ser generada añadiendo series de ondas sinusoidales con volumen decreciente, pero la onda cuadrada contiene únicamente armónicos impares. La amplitud del armónico en la onda cuadrada es inversamente proporcional al número de armónicos. Por ejemplo, una onda cuadrada con una frecuencia fundamental de 200 Hz tendrá un armónico en 600Hz ( $200 \times 3$ ).

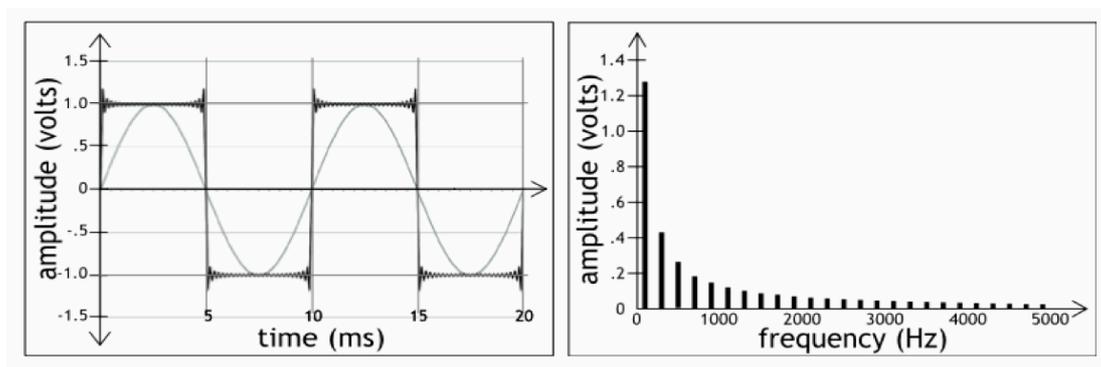
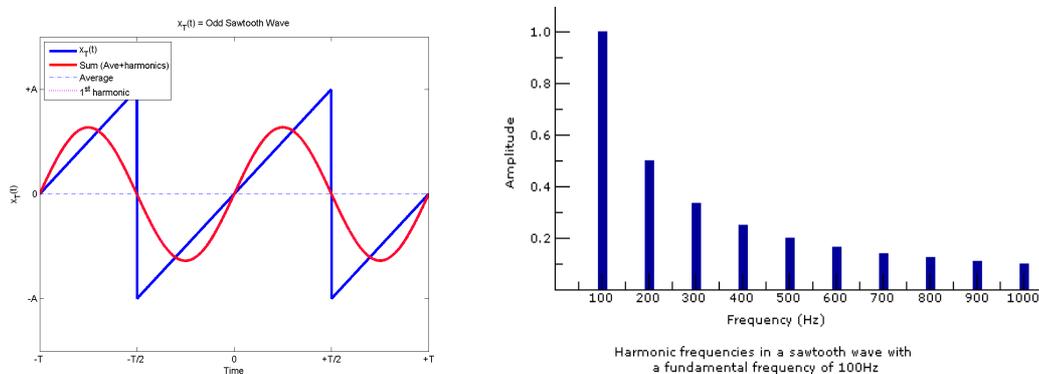


Figura 2. Onda cuadrada y sus armónicos en el tiempo.  
Tomado de (Recordingology, 2010)

### 2.2.2. Onda diente de sierra

Este tipo de ondas se obtiene añadiendo ondas sinusoidales de diferentes frecuencias y amplitudes. La frecuencia de la primera onda sinusoidal más alta es lo que se distingue como la frecuencia fundamental de la onda resultante. Cada una de las ondas sinusoidales, con amplitud decreciente, que son parte de un diente de sierra, contienen los armónicos pares de la frecuencia fundamental. Una onda diente de sierra con una frecuencia fundamental de 200 Hz tendría armónicos a 400 Hz, 600 Hz, 800 Hz; con cada armónico con menos amplitud que el anterior. Debido a los armónicos pares de la onda, esta suena cálida y agradable para el oído humano. La frecuencia fundamental define el sonido, mientras que los armónicos cambian el carácter o timbre del sonido sin afectar el sonido. La amplitud de un armónico en una onda diente de sierra es igual a la inversa del número de armónico. Una onda diente de sierra con una frecuencia fundamental de 100 Hz y una amplitud de 2 tendría un armónico a 200 Hz (100 x 2) con una amplitud de 1 o la mitad, otro armónico a 300 Hz (100 x 3) con una amplitud de 0.66 o su tercera parte, así sucesivamente. Cuantos más armónicos se agreguen de esta manera, más se verá la onda como la onda de diente de sierra idealizada.

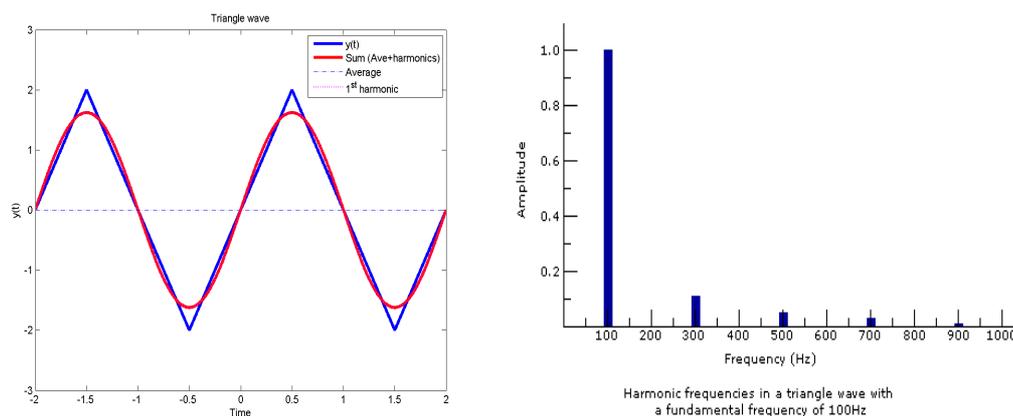


*Figura 3.* Onda diente de sierra y sus armónicos en el tiempo. Tomado de (Cheever, 2007)

### 2.2.3. Onda triangular

Las ondas triangulares son la combinación de una onda sinusoidal y una onda cuadrada. Como las ondas cuadradas, estas contienen sólo los armónicos

impares de la frecuencia fundamental. Se diferencian de las ondas cuadradas porque cada armónico cae más rápido en volumen que el anterior. La amplitud de un armónico en una onda triangular es igual al cuadrado inverso del número de armónico. Por ejemplo, una onda triangular con una frecuencia fundamental de 200 Hz y una la amplitud de 10 tendría un armónico a 600Hz ( $200 * 3$ ) con una amplitud de  $11.11 \left(\frac{10}{3}\right)^2$ .



*Figura 4.* Onda triangular y sus armónicos en el tiempo. Tomado de (Cheever, 2007)

## 2.3. Componentes variables.

Los componentes eléctricos y parámetros variables de la síntesis de sonido vienen por etapas y son: VCO (osciladores controlados por voltaje), VCF (filtros controlados por voltaje), VCA (amplificadores controlados por voltaje), y ADSR (generadores de envolvente).

### 2.3.1. Osciladores Controlados por Voltaje (VCO)

El VCO es un oscilador (componente físico de los sintetizadores) que controla la frecuencia de oscilación mediante voltaje eléctrico. Comúnmente es usado para modulación de frecuencia (Crombie, 1984).

Dentro de los tipos de VCO encontramos aquellos que generan ondas sinusoidales y los que generan ondas triangulares o dientes de sierra.

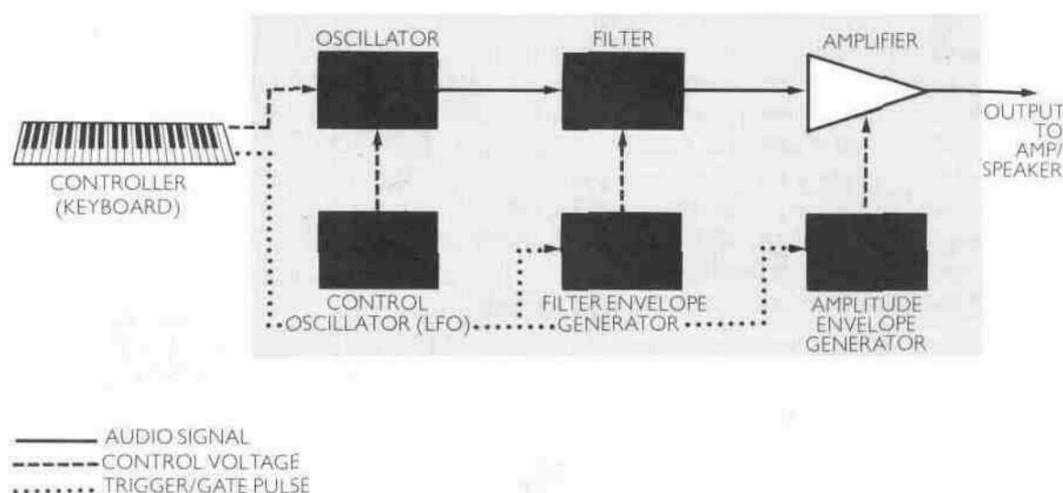


Figura 5. Gráfico de etapas de señal un sintetizador básico. Tomado de (Crombie, 1984)

### 2.3.2. Filtros Controlados por Voltaje (VCF)

Los VCF es un procesador cuyas características se aplican a las entradas de control, en este caso el VCO; cuenta con un control de frecuencia y con ayuda de la entrada de control de voltaje permite obtener mayor control del sonido en el caso de los sintetizadores. Es por ello que dentro de un sintetizador permite realizar funciones de filtraje de frecuencias sea con filtros pasa-altos, pasa-bajos, pasa-bandas, etc. También permite controlar la pendiente de dichos filtros y la resonancia donde se puede controlar el ancho de banda de la frecuencia fijada por el otro control del filtro (Crombie, 1984).

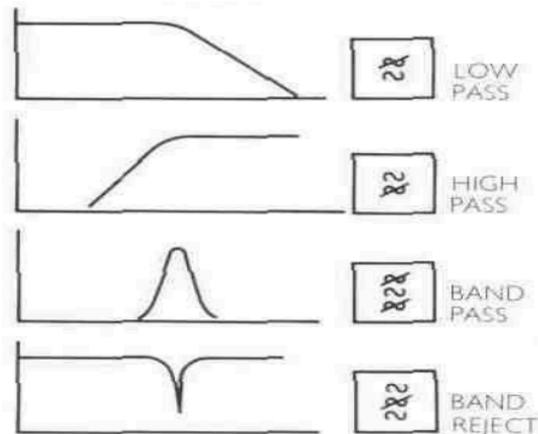


Figura 6. Filtros básico de un sintetizador.  
Tomado de (Crombie, 1984)

### 2.3.3. Amplificadores Controlados por Voltaje (VCA)

Un Amplificador Controlado por Voltaje (VCA por sus siglas en inglés) tiene un principio similar a los VCO, pero el parámetro que se controla es la amplitud. Dentro de los sintetizadores los VCA controlan la ganancia de salida de la señal generada.

### 2.3.4. Generadores de Envolvente (ADSR)

Los ADSR son elementos que modelan uno o varios parámetros de la envolvente de la señal generada. La mayoría de los generadores de envolvente presentan cuatro parámetros importantes que son: ataque, decaimiento, sostenimiento y relevo, expresados solo la inicial de cada uno, ADSR. El ataque determina el tiempo en que la curva de la envolvente empieza, el decaimiento es el tiempo en que el parámetro va de su punto máximo de ataque a un punto de estabilidad, el sostenimiento es el tiempo que se mantiene estable y el relevo es el tiempo cuanto demora en extinguirse la señal. Esta curva que se forma se puede utilizar en diferentes parámetros de la síntesis pero en la mayoría de casos se lo utiliza en la amplitud (Crombie, 1984).

## **2.4. Síntesis de audio análoga**

Los sintetizadores analógicos son formados por varios módulos. Cada uno de estos cumple una función y están establecidos en una cadena.

Esta cadena empieza con un oscilador que produce una onda con una frecuencia determinada, pueden existir más de un oscilador cuyas señales pueden sumarse para obtener una señal más llena de armónicos. Luego se la conecta a un filtro para agregar o disminuir el espectro de frecuencias de la señal producida por los osciladores. Después se prosigue a la una envolvente, que puede manipular uno o más parámetros de la onda. Por último se pasa por un amplificador de voltaje para amplificar la señal resultante (Aráuz y Jácome, 2012).

Debido a sus circuitos los sintetizadores análogos tienden a variar su afinación con el paso del tiempo, a la vez aunque sean del mismo modelo es posible que no suenen igual si hay variaciones (aunque pequeñas) en sus componentes. También los resultados pueden variar en cuanto a sonoridad según las condiciones del ambiente en el que se encuentren, sin embargo esta clase de sonidos son muy apetecibles en el diseño de paisajes sonoros por la percepción auditiva de “riqueza armónica” o “calidez”.

## **2.5. Síntesis de audio digital**

A la tecnología de control por medio de voltaje le la era digital, en la cual todos los parámetros trabajan, se controlan y almacenan en una memoria de forma digital mediante algoritmos de emulación por programación, aunque también existe aquellos que sus componentes son analógicos pero controlados digitalmente, a esto se los denomina sintetizadores híbridos.

En la actualidad la mayoría de los sintetizadores y todos sus elementos, osciladores, filtros y amplificadores trabajan de forma digital. Gracias a esto la gama de sonidos que se pueden generar se expande enormemente, incluso hasta el uso de sonidos grabados para poder ser reproducidos posteriormente.

## **2.6. Síntesis sustractiva**

Este método de síntesis parte de una onda entera (sea de forma sinusoidal, diente de sierra, cuadrada o triangular), la cual pasa por un filtro para modificar su espectro, atenuando o reforzando ciertas componentes alrededor del rango de frecuencias. La señal de partida es muy rica en contenido armónico. La ventaja de este método de síntesis es que utiliza pocos osciladores o solo uno. Este tipo de síntesis utiliza diferentes tipos de filtros para poder alterar a la señal y obtener una diferente, además posee un amplificador de voltaje y puede también incluir una envolvente para una síntesis más compleja.

## **2.7. Procesamiento de la señal**

El aspecto principal a considerarse en el audio digital es el muestreo de una señal, en el cual la señal original se convierte en una serie de muestras tomadas en intervalos determinados. En el dominio acústico y en el audio analógico las señales varían de forma continua, y si bien el oído humano distingue muy bien las diferencias de amplitud y frecuencia, existen variaciones que no es capaz de distinguir por la velocidad en la que pasan, debido a esto el proceso de muestreo de una señal es de gran importancia.

La frecuencia con la cual se toma las muestras se la denomina frecuencia de muestreo, la cual señala la cantidad de muestras que se tomarán en un determinado tiempo, si se tiene una frecuencia de muestreo de 48 kHz entonces se tomará 48000 muestras por segundo. Mientras más alta sea la frecuencia de muestreo mejor será el sonido de la señal digital. El teorema de Nyquist, directamente relacionado al muestreo de la señal, dice que la frecuencia de muestreo debe ser mayor o igual que el doble de la máxima frecuencia presente en el audio a procesar para no perder información.

Luego de un proceso de muestreo, cuantificación y codificación se debe digitalizar a la señal, se almacena a cada muestra un número binario, para lo cual se necesita un convertidor análogo digital el cual transforma valores de voltaje en números binarios. Mientras mayor sea la cantidad de bits que se utilicen en la digitalización de la señal, los cambios de amplitud de la señal serán más aferrados a la muestra real.

## **2.8. Distorsión armónica total (THD)**

Este parámetro indica el porcentaje de distorsión que una señal tiene y se calcula al medir la amplitud de los armónicos que presenta una señal tras pasar por un filtro, de 880 Hz en este caso, en función de la frecuencia fundamental. Estos armónicos que se producen en cada equipo dan un color diferente a la señal resultante. Todas las notas o sonidos fundamentales tienen propios armónicos de diferente amplitud.

Se debe considerar que la distorsión de los equipos no es lineal, ya que varía junto con la amplitud de la señal de entrada. En casos de señales de entrada muy bajas, la distorsión será casi despreciable ya que las amplitudes de estas frecuencias estarán por debajo del umbral audible. Igualmente, los armónicos más agudos y de poca amplitud podrán ser ignorados por el oído debido al enmascaramiento de frecuencias, siendo objeto importante de estudio únicamente los armónicos audibles y representativos que se pueden presentar en una señal (Báez, 2016).

La distorsión que se produce en un sonido puede ser un parámetro agradable al oído, debido a esto la distribución armónica y el THD de los equipos analógicos son las características principales que se tratan de emular en equipos digitales e instrumentos virtuales; estos parámetros son responsables de la característica sonora de los equipos en diferentes combinaciones de sus componentes, y su respuesta armónica servirá para reproducir una señal o

efecto en específico teniendo en consideración el contenido armónico de cada equipo en cuestión.

### **2.9. Espectro de frecuencias.**

El espectro de frecuencias es la combinación de todas las frecuencias percibidas como una sola onda sonora. Se puede analizar la relación armónica de una señal determinada. El espectro de frecuencia indica la manera como interactúan los armónicos de una señal de forma cuantitativa.

El espectro de frecuencias altera la percepción auditiva de una señal, ya que esta está directamente relacionada al espectro de frecuencias y la carga armónica de dicha señal. (Crombie,1984).

### **2.10. Emulación digital de equipos.**

La funcionalidad en los sintetizadores análogos y digitales es la misma que los sintetizadores virtuales. Existen iguales componentes de síntesis como oscilares, filtros y envolventes, con la diferencia que estos son incorporados en un procesador de computador a través de la programación de los mismos. Este tipo de síntesis depende de las capacidades de procesamiento del computador en que se los use.

Desde la década de 1990 el uso de los sintetizadores virtuales ha ido en crecimiento, ya que presentan grandes ventajas frente a los sintetizadores hardware, estos permiten incorporar dentro de un mismo dispositivo (un computador) gran cantidad de sintetizadores o instrumentos virtuales, sin ocupar espacio físico y de precio mucho menores.

## **2.11. Notación Musical Moderna**

Karlheinz Stockhausen es quien escribe la primera partitura para ser interpretada por instrumentos electroacústicos. Fue el quien inovó con la creación de grafías únicas para diferentes tipos de instrumentos electrónicos, desde notaciones simples hasta especificaciones como aumento y decreción de parámetros en decibelios y hertz. Sus notaciones con líneas, cuadros y figuras ha sido tomada como una de las bases para la escritura de partituras para diferentes instrumentos que requieran cambios específicos del mismo. (Villa Rojo, 2003)

## **2.12. Sintetizadores Análogos**

Los sintetizadores análogos utilizados en esta ocasión son tres diferentes modelos con componentes de similar funcionamiento al momento de producir ondas para realizar la sustracción con sus filtros. Estos modelos son los que se pudo disponer debido a la pequeña variedad de sintetizadores análogos disponibles en el área de muestra de la población.

Los tres diferentes modelos producen la onda y la pasan por un filtro pasa bajos de 24 dB por octava para luego pasar por sus diferentes envolventes y modulación, las cuales se igualaron en todo caso para no tomarse en cuenta ya que estas son distintas en cada instrumento.

### **2.12.1. Moog Little Phatty.**

Moog es conocido por ser el primer sintetizador modular análogo disponible al público en 1969. Desde entonces Moog es reconocido por su particular y característico sonido y filtro de 24dB por octava.

El Moog Little Phatty es un sintetizador analógico modelado del clásico Minimoog. El Little Phatty cuenta con dos osciladores, un filtro pasa bajos de 24 dB por octava, dos generadores de envolvente analógicos y una matriz de modulación. El panel frontal del Little Phatty tiene funciones variables para el control y ocupar menos perillas.

Los dos osciladores de audio son controlados por voltaje (VCO) y el LFO se usa únicamente para la modulación, su señal directa no se puede encender por sí sola. La micro afinación del oscilador 1 está determinada por la perilla de afinación global, mientras que el oscilador 2 puede ajustarse hacia arriba o hacia abajo siete semitonos en relación con el oscilador 1. Los VCO tienen controles de volumen individuales, lo cual facilita controlar los diferentes sonidos resultantes. En lugar de las seis formas de onda fijas que ofrece un Minimoog, las formas de onda del VCO del Little Phatty son continuamente variables y van desde una forma de onda de triángulo hacia a una onda de pulso, para así pasar por las ondas de diente de sierra y luego cuadrada que forman la base de toda síntesis sustractiva. A diferencia de un Moog clásico, el Little Phatty no genera ruido.



Figura 7. Little Phatty de Bob Moog en el estudio IguanaMan Records.

El filtro utilizado en este sintetizador es el muy admirado filtro paso bajos de Moog de 24dB por octava. Su caída es sutil, y al ser analógico, no genera los ruidos producidos por algunos filtros digitales.

Los filtros y las secciones del amplificador tienen circuitos de generador de envolventes ADSR (ataque, decaimiento, sostenimiento, relevo): el relevo puede desactivarse globalmente si se desea de que ninguno de sus componentes sigan sonando después de soltar las teclas.

Estos parámetros dan como resultado un sonido cálido y una operación parecida a la de un clásico Mini Moog.

Aquí hay una breve descripción de los componentes del Moog:

Tabla 1.  
*Especificaciones del Little Phatty de Moog.*

<b>Osciladores</b>	2 osciladores.
<b>Ondas</b>	cuadrada, diente de sierra, triangular y pulso.
<b>Filtro</b>	24 dB LP.
<b>Envolvente</b>	ADSR: filtro, amplitud.

### 2.12.2. Dave Smith's Mopho SE

El Mopho SE tiene dos osciladores analógicos y ambos tienen parámetros de control idénticos. Un interruptor permite seleccionar entre el oscilador 1 o 2. Los mismos controles manejan los parámetros para las tres envolventes, se puede seleccionar las tres envolventes y cada osciladores para cambiar sus parámetros individualmente o en conjunto.



Figura 8. Sintetizador Análogo Dave Smith Mopho SE

El control de voltaje es la última parte de la cadena. Cuenta con un LFO, un arpegiador, un secuenciador, ajuste de tempo y micro afinación.

Tabla 2.

Especificaciones del Mopho SE de Dave Smith.

<b>Osciladores</b>	3 osciladores
<b>Ondas</b>	cuadrada, diente de sierra, triangular, pulso y sinusoidal.
<b>Filtro</b>	6, 12, 18, 24 dB pasa bajos.
<b>Envolvente</b>	ADSR: filtro, amplitud.

### 2.12.3. Dave Smith's Prophet REV 2

El teclado Prophet REV 2 es un sintetizador análogo de ocho voces. La salida de los osciladores pasan por el mismo filtro paso bajo que ofrece modos de 12dB y 24dB por octava. La frecuencia de corte del filtro se ve afectada por un generador de envolvente de cuatro parámetros (ADSR) y se puede aplicar polaridad positiva o negativa a las ondas.

La sección de modulación se compone de 4 LFOs que ofrecen cinco formas de onda; con los parámetros de ataque, decaimiento y relevo puestos en cero, la frecuencia máxima del LFO es de aproximadamente 400 Hz (Smith, 2013).

El filtro resta frecuencias, cambiando el contenido armónico y el carácter de su sonido. Este cambio puede variar con el tiempo, para producir timbres más dinámicos y animados. El filtro del Prophet Rev2 es un filtro paso bajo que es conmutable entre operación de 12 dB y 24 dB por octava.



Figura 9. Sintetizador Análogo Dave Smith Prophet REV2

Parámetros del sintetizador:

Tabla 3.

Especificaciones del Prophet REV 2 de Dave Smith.

<b>Osciladores</b>	3 osciladores
<b>Ondas</b>	cuadrada, diente de sierra, trinagular, pulso y senoidal.
<b>Filtro</b>	6, 12, 18, 24 dB pasa bajos.
<b>Envolvente</b>	ADSR: filtro, amplitud.

## **2.13. Sintetizadores Digitales**

Luego de la tecnología de control por voltaje le siguió una nueva, donde los parámetros trabajan, se controlan y almacenan de forma digital, también existe aquellos que sus componentes son analógicos pero controlados digitalmente, a esto se los denomina sintetizadores híbridos.

En la actualidad la mayoría de los sintetizadores y todos sus elementos, osciladores, filtros y amplificadores trabajan de forma digital. Gracias a esto la gama de sonidos que se pueden generar se expande enormemente, incluso hasta el uso de sonidos grabados para poder ser reproducidos posteriormente o sampling.

### **2.13.1. Roland JU-06**

Los paneles frontales y los controles del JU-06 fueron diseñados para emular el sintetizador digital original sobre el que está modelado, el clásico Roland JUNO 106. Roland llama a esta tecnología ACB en inglés o CBA (comportamiento de circuito analógico). Roland afirma que los algoritmos ACB modelan las respuestas de los componentes dentro de cada sintetizador que emulan. El modelado de circuitos, como lo sugiere el nombre, es dado por el poder del CPU disponible.

Este módulo es una manera de obtener el sonido de un sintetizador clásico de 1983 en una escala menor y por un menor precio.



Figura 10. Sintetizador Digital hardware Roland JU-06

Parámetros del sintetizador:

Tabla 4.

Especificaciones del JU-06 de Roland.

<b>Osciladores</b>	2 osciladores (+1 LFO)
<b>Ondas</b>	cuadrada, diente de sierra.
<b>Filtro</b>	24 dB LP, 24 dB HP.
<b>Envolvente</b>	ADSR: filtro, amplitud.

### 2.13.2. Propellerhead Reason Subtractor

El Subtractor es un sintetizador virtual incluido con el software de audio Reason de la compañía Propellerhead desde la versión 6.0. Este sintetizador utiliza un algoritmo llamado modo sustractivo que emula la síntesis analógica de este tipo.

Los sonidos aquí también son generados por los osciladores del sintetizador. Y las primeras cuatro formas de onda que están presentando son diente de sierra, cuadrada, triangular y sinusoidal, mientras que las demás están marcadas por un número.

Hay 32 formas de onda diferentes para elegir, cada una la opción de cambiar el comportamiento de las mismas utilizando parámetros como fase, cambio de octava, afinación por semitonos, modulación de frecuencia (FM) o modulación de fase.

La fase, modulación FM y de fase solo serán notables al utilizar ambos osciladores en los modos sustractivos (-) y multiplicados (x).



Figura 11. Sintetizador Digital software Subtractor de Reason por Propellerhead.

Tabla 5.

Especificaciones del Subtractor de Reason por Propellerhead.

<b>Osciladores</b>	2 osciladores (+1 LFO)
<b>Ondas</b>	cuadrada, diente de sierra, triangular, pulso y sinusoidal.
<b>Filtro</b>	6, 12, 18, 24 dB pasa bajos.
<b>Envolvente</b>	ADSR: filtro, amplitud.

### 2.13.3. Steinberg Retrologue 2

Cubase ha ofrecido entradas para efectos desde la versión 4.1, pero no para instrumentos VST. Desde Cubase 9, los diseñadores crearon instrumentos para exportar a diferentes plataformas. El Retrologue de Cubase fue el primer instrumento VST de Steinberg.

Posee dos osciladores hasta ocho voces al unísono cada uno, PWM, sincronización y opciones de modulación, ruido, un sub oscilador, un filtro resonante, dos envolventes, dos LFO y efectos; todos estos aportan al sonido cálido que entrega este sintetizador virtual.

La versión 2 presenta una serie de opciones que permiten aplicar nuevos efectos, arpegiador y modulación de una señal de audio.



Figura 12. Sintetizador Digital software Retrologue 2 de Cubase por Steinberg.

Tabla 6.  
*Especificaciones del Retrologue 2 de Steinberg.*

<b>Osciladores</b>	3 osciladores, 1 sub, 2 LFO.
<b>Ondas</b>	cuadrada, diente de sierra, triangular, pulso y sinusoidal.
<b>Filtros</b>	4 dB LP, 18 dB LP, 12 dB LP, 6 dB LP, 12 dB HP, 12 dB BP, Notch
<b>Envolvente</b>	ADSR: filtro, amplitud.

### 3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Recopilación y equipamiento de muestras auditivas.

Para la recolección de muestras se utilizó diferentes tipos de onda que los equipos en cuestión pueden reproducir.

Luego de establecer los equipos a utilizar para el estudio se concretaron las muestras a usarse para analizar los parámetros técnicos de forma adecuada. El THD se mide con un tono puro de 1000 Hz, debido al uso musical de estos equipos se decidió usar un tono puro de 880 Hz para observar la distorsión que entrega, distribución armónica y el espectro en frecuencia del equipo.

Para las muestras de melodía musical así como las muestras de un tono puro, se controla las señales a través de MIDI para ambos casos, para ser lo más fiel posible a la interpretación.

Todas estas señales son captadas por el pre amplificador de una interfaz Apollo Twin DUO de primera generación y se utilizó la estación de audio digital Pro Tools a 48 KHz de muestreo.

Se utilizará una metodología comparativa basada en la medición de parámetros técnicos en las muestras de audio y en la aplicación de una encuesta para la percepción auditiva de dichas muestras. El estudio se llevará a cabo a través de las siguientes etapas:

- Se grabaron muestras representativas de audio (la misma nota musical A5 – 880 Hz) en diferentes sintetizadores análogos y digitales que cumplan con la misma función sustractiva de ondas para el análisis técnico.
- Se realizaron mediciones técnicas de distorsión armónica, espectro de frecuencia y distribución de armónicos siguiendo la metodología de prueba específica para cada parámetro en sintetizadores análogos y digitales.
- Divulgación de encuestas a ingenieros de sonido y productores musicales y análisis de resultados obtenidos.

### **3.1.1. Características de las muestras para comparación auditiva.**

Se realizó una composición armónica y rítmica en base a la melodía principal usada para comparar los sintetizadores análogos con los digitales. Esta fue usada para establecer al sonido del sintetizador en un ambiente donde es utilizado.

### **3.1.2. Composición Base.**

La composición se basa en una armonía simple en la escala de Mi menor junto a una base de instrumentos virtuales como acompañamiento para la melodía principal la cual será interpretada por todos los diferentes sintetizadores. Esta melodía tiene una base en la escala de MI menor pentatónica con un cambio en la variable del filtro expresada en la siguiente figura, con la notación musical moderna según Stockhausen para instrumentos electrónicos. En todas las muestras se usa un filtro de cuarto orden, este filtro varía abriéndose

paulatinamente en los primeros 13 segundos de la melodía desde totalmente cerrado hasta totalmente abierto.



The image shows a screenshot of a music score in the Finale software interface. The score is titled "Mel 5" and is for a "Pure Synth" instrument. It consists of six staves of music in 4/4 time. The melody is written in treble clef and features a sequence of eighth and sixteenth notes, with some triplets indicated by a '3' above the notes. A red line is drawn across the first three staves, indicating a filter variation over time. The software interface includes a "Composer" window and several lock icons on the right side of the staves.

*Figura 13.* Hoja de música para la melodía de comparación en Finale con variación de filtro

Esta melodía fue procesada de igual forma en cada equipo, modificando los mismos parámetros y obteniendo una pista de audio para la realización de las encuestas auditivas entre los equipos análogos y digitales.

La melodía fue agrupada con una serie de instrumentos virtuales para crear un tema musical real y fue analizado en un medidor de nivel (en plugin) para obtener un mismo nivel sonoro (evitando así problemas por percepción psicoacústica de nivel) y luego se mezcló cada muestra con el resto de instrumentos en la plataforma de audio digital Logic X Pro.

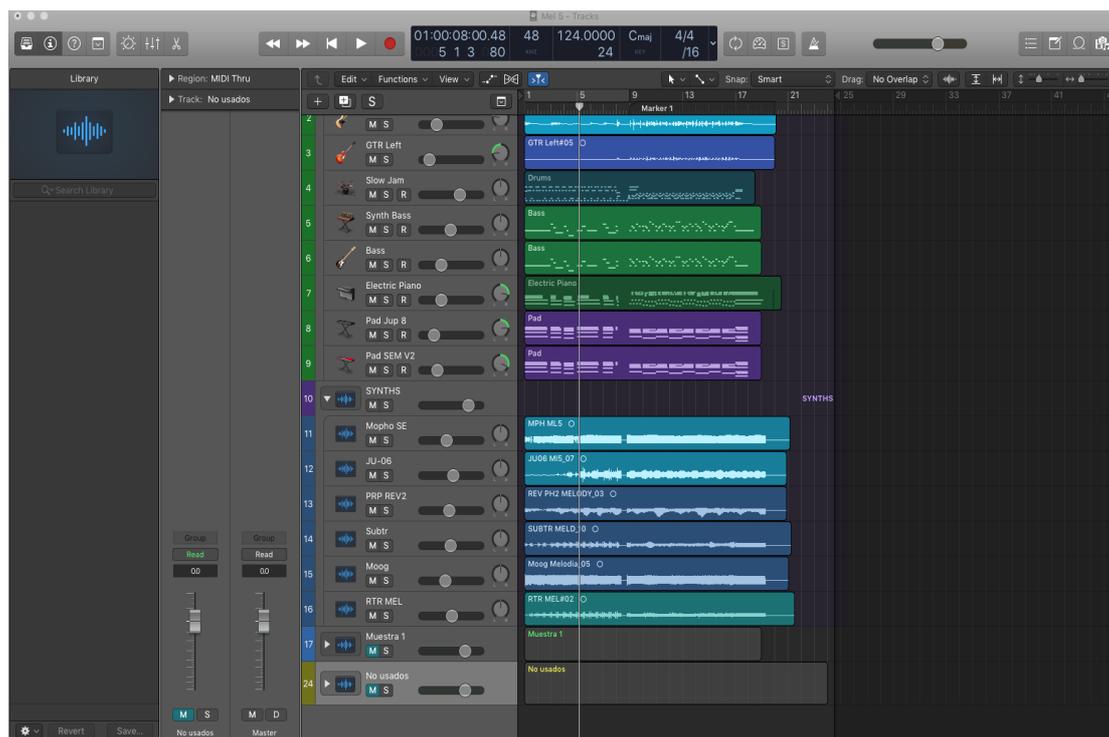


Figura 14. Sesión de Logic X Pro para todas las muestras con la melodía realizada.

### 3.2. Procesamiento a utilizar

Luego de seleccionar los equipos se escogieron las muestras a utilizar para el análisis de los parámetros técnicos a consideración. Como ya se mencionó en el apartado anterior, debido al uso musical de estos equipos se decidió usar una nota musical  $A5=880$  Hz, esta señal sirve para observar la distribución armónica, la distorsión que presenta y el espectro de frecuencia de cada equipo.

Para las muestras de melodía musical así como las muestras de señal pura, se controla las señales a través de MIDI para ambos casos, para ser lo más fiel posible a la interpretación.

Todas estas señales son captadas por el pre amplificador de una interfaz Apolo Twin DUO de primera generación y se utilizó la estación de audio digital Pro Tools a 48 KHz de muestreo.

### 3.2.1. Medición de parámetros técnicos

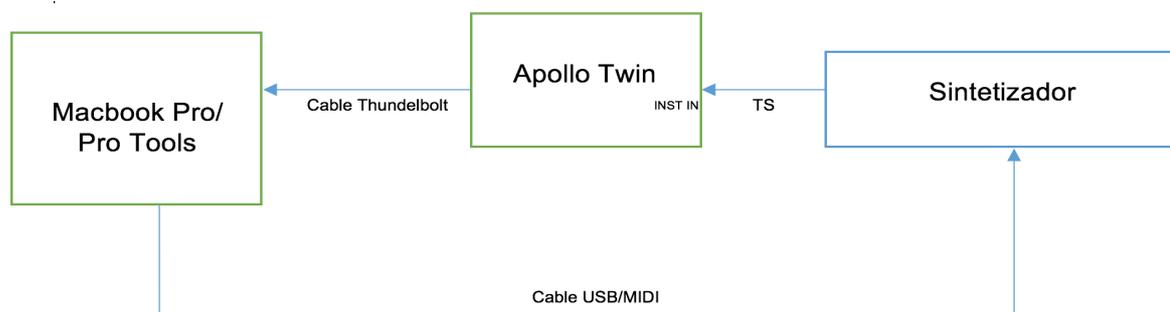


Figura 15. Cadena electroacústica para la recopilación de muestras

Para cada equipo hardware se utilizó la misma cadena electroacústica. Se envió señal MIDI desde Pro Tools hacia el sintetizador y su salida se dirige a la entrada de instrumento de interfaz la Apollo Twin DUO que regresa a un canal de audio en Pro Tools.



Figura 16. Mediciones con el sintetizador análogo Dave Smith Mopho SE

El primer sintetizador con el que se hicieron las mediciones fue el Mopho SE de Dave Smith.



*Figura 17.* Mediciones con el sintetizador digital Roland JU-06

El sintetizador digital JU-06 se midió con ayuda una interfaz M Audio y se utilizó la cadena electroacústica mostrada en la figura 7.



*Figura 18.* Mediciones con el sintetizador análogo Dave Smith REV 2

Las mediciones para el Dave Smith's Prophet Rev 2 se las realizó en el estudio de IguanaMan Records ubicado en el sector de la Merced en la ciudad de

Quito. Este se lo utilizó de la misma manera que el Mopho SE y su cadena electroacústica se expresa en la figura 9.

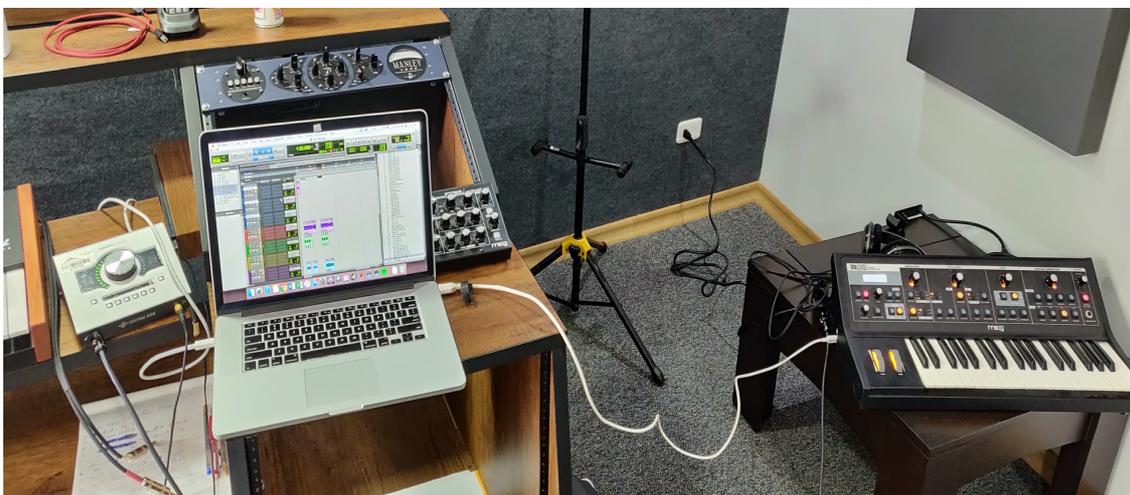


Figura 19. Mediciones con el sintetizador análogo Moog Little Phatty

El Moog Little Phatty, también grabado desde el estudio de IguanaMan Records no podía recibir señal MIDI vía USB así que se usó la salida MIDI de la interfaz M Audio M track plus para enviar la señal al sintetizador para así entrar a la interfaz Apollo y regresar a Pro Tools como se muestra en la figura 20.

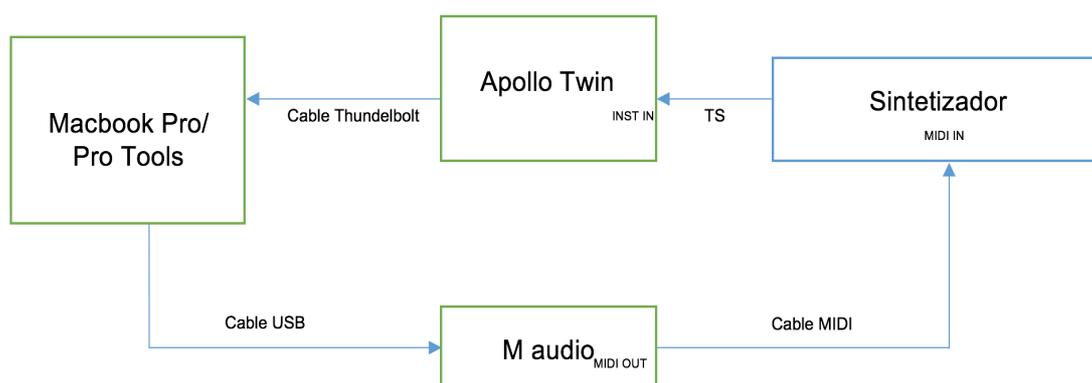


Figura 20. Cadena electroacústica 2 para la recopilación de muestras .

Los canales de los sintetizadores virtuales fueron enviados a través de una interfaz digital llamada Soundflower hacia la sesión de ProTools donde se almacenaban las muestras en pistas.



Figura 21. Mediciones del Subtractor en Reason de Propellerhead.

La señal del Subtractor fue enviada desde la plataforma de Reason hacia Pro Tools, mientras que la señal del Retrologue 2 de Steinberg fue enviada desde Logic Pro X debido a su mejor integración con instrumentos virtuales.



Figura 22. Mediciones del Retrologue 2 de Steinberg en Logic Pro X. Tomada de (Logic Pro X, 2018)

### 3.2.2. Distorsión Armónica Total (THD)

Para medir el THD se analizó cada señal, cuadrada, diente de sierra y triangular, de 880 Hz, de la misma forma, con el analizador de espectro del programa Smaart, se consigue el valor en cada frecuencia con una resolución de 1/48 de octava.

Los valores obtenidos se filtraron en el programa Excel y se obtuvieron valores resultantes de la diferencia del valor de la frecuencia fundamental, en este caso 880 Hz, y sus 10 primeros armónicos pares e impares en la hoja de Excel previamente programada para obtener el valor de THD en porcentaje (Báez, 2016).

Para obtener los valores de amplitud de cada armónico se usó el comando de copiar de Smaart. Esto permite sacar la información de la señal que se está procesando y genera un archivo para de lectura en código ASCII en el portapapeles del computador para poder copiarlo a programas como Excel.

De esta manera se pudo comparar el valor de THD de cada equipo análogo con el equipo digital.

Al obtener los datos de las frecuencias analizadas por Smaart se seleccionaron los valores de la frecuencia fundamental (880 Hz) y los 10 primeros armónicos de la misma. Para obtener los valores que se usaron en la hoja de calculo de THD primero fue necesario hacer la resta correspondiente del valor de cada armonice menos el valor de la fundamental para así obtener la diferencia de amplitud entre los mismos (Báez, 2016)

Tabla 7.

*Ejemplo del cálculo del THD total según los armónicos del Mopho SE (mismo cálculo realizado para todos los demás sintetizadores)*

MOPH OND CUAd					
Frequency (Hz)	Level (dB)	Peak (dB)	Resta (dB)	Potencia (W)	Potencia Ref (W)
884.86089	-12.62	-8.68			
1765.529587	-37.79	-15.14	-25.17	3.040885E-06	5.470160E-05
2641.64832	-22.29	-16.76	-9.67	1.078947E-04	
3522.694651	-38.02	-20.1	-25.4	2.884032E-06	
4434.809815	-27.2	-20.57	-14.58	3.483373E-05	
5270.781343	-38.43	-23.44	-25.81	2.624219E-06	
6174.829922	-30.84	-23.49	-18.22	1.506607E-05	
7028.699885	-39	-25.94	-26.38	2.301442E-06	
8000.644989	-34.09	-28.41	-21.47	7.128530E-06	
8848.608897	-39.72	-28.15	-27.1	1.949845E-06	
			<b>TOTAL THD (%)</b>	<b>1.80</b>	

### 3.2.3. Espectro de Frecuencias

Se analizó el espectro de frecuencias con la misma función de Smaart aplicada en las muestras de las diferentes ondas en cada equipo. Se enviaron por Pro Tools sus salidas mediante la interfaz virtual Soundflower usando las entradas digitales de la misma. Mediante este método se puede observar todo el rango de frecuencias de cada señal analizada.

### 3.2.4. Distribución de armónicos

Se utilizó el analizador de tiempo real para definir la distribución de armónicos de cada muestra; de esta forma se comparó las respuestas que entregan las muestras análogas y digitales. Utilizando Pro Tools se envió a la salida estéreo de las señales de los equipos análogos y digitales; para estas salidas se ocupó la interfaz digital Soundflower para poder dirigir esta señal a Smaart. Se

configuró el analizador en tiempo real en 1/48 de octava para observar más detalle entre los armónicos. De esta manera se realizó el análisis comparativo para cada una de las muestras hardware y software teniendo el detalle de la formación de armónicos de la frecuencia fundamental tomada (Báez, 2016).



Figura 23. Muestras de todos los equipos en Pro Tools.

### 3.3. Diseño y aplicación de la encuesta auditiva.

La encuesta auditiva se realizó de la forma más sencilla posible, pues no se deseaba confundir a los sujetos de prueba. Se requería el uso de la apreciación musical propia de cada individuo y su experiencia auditiva en el procesamiento de señales musicales. Es por ello que las señales de prueba elegidas fueron una sola por cada equipo comparado. Las muestras para la encuesta fueron realizadas para destacar el filtro y la distorsión armónica de cada sintetizador.

Previo a la realización de las encuestas se normalizó la sonoridad de cada muestra para que este factor no influya en la percepción de quien escucha, pues el oído humano tiende a creer que más sonoridad significa mejor sonido. (Báez, 2016)

**ENCUESTA AUDITIVA:  
SINTETIZADORES  
ANÁLOGOS VS DIGITALES**

**Nombre**  
Your answer \_\_\_\_\_

**Ocupación**  
Your answer \_\_\_\_\_

**Edad**  
Your answer \_\_\_\_\_

1. ¿Trabaja bajo altos niveles de presión acústica en su trabajo?

SI  
 NO

2. ¿Ha trabajado con sintetizadores análogos?

SI  
 NO

3. ¿Tiene preferencia entre sintetizadores análogos y digitales (hardware y plugins)?

SI  
 NO

1.1 De las dos muestras, ¿cuál le parece que posee un mayor contenido armónico?

1A  
 1B

1.2 ¿Puede distinguir cuál de las señales que acaba de escuchar es la análoga?

1A  
 1B

1.3 ¿Cuál muestra fue más agradable en para ti?

1A  
 1B

2.1 De las dos muestras, ¿cuál le parece que posee un mayor contenido armónico?

2A  
 2B

2.2 ¿Puede distinguir cuál de las señales que acaba de escuchar es la análoga?

2A  
 2B

2.3 ¿Cuál muestra fue más agradable en para ti?

2A  
 2B

3.1 De las dos muestras, ¿cuál le parece que posee un mayor contenido armónico?

3A  
 3B

3.2 ¿Puede distinguir cuál de las señales que acaba de escuchar es la análoga?

3A  
 3B

3.3 ¿Cuál muestra fue más agradable en para ti?

3A  
 3B

**SUBMIT**

Figura 24. Preguntas de la encuesta auditiva.

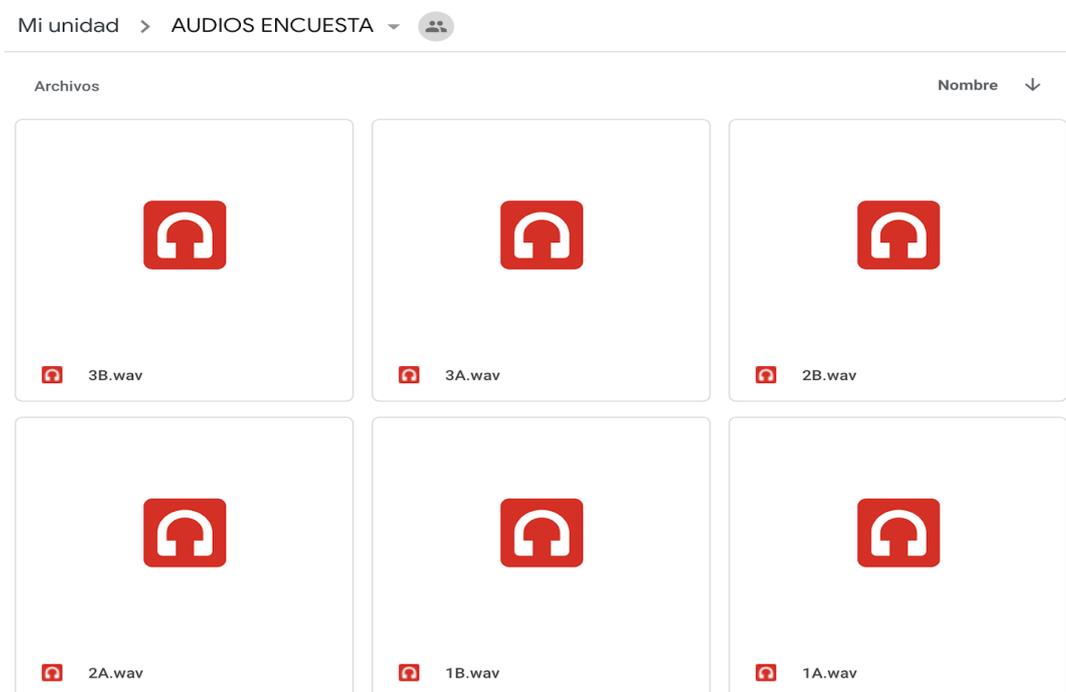


Figura 25. Audios para encuesta.

La Calculadora de muestras para poblaciones online de NetQuest fue la manera para determinar el número de muestras a realizar. Dentro de la población se encuentran 50 estudiantes de ingeniería en sonido y acústica que cursaban séptimo, octavo, noveno y decimo semestre en el momento de la evaluación, 15 estudiantes de la escuela de música que con énfasis hacia producción musical, y 20 ingenieros de sonido activos en producción musical dentro del distrito metropolitano de Quito. Con un total de 95 personas en la población de la encuesta.

### Calculadora de muestra para proporciones

Calcula el tamaño de muestra que necesitas cuando tu encuesta mide un porcentaje o proporción (por ejemplo, el % de personas que fuman en la población). En esta calculadora avanzada podrás ver cómo se relacionan margen de error, nivel de confianza y tamaño de muestra. Más información sobre las fórmulas empleadas aquí.

Para usar la calculadora:

- Indica el tamaño del universo y qué grado de heterogeneidad hay en la población.
- Indica 2 de los 3 parámetros restantes. Por ejemplo, si indicas la muestra y el nivel de confianza, podrás calcular el margen de error.
- Pulsa en CALCULAR. El valor calculado quedará destacado.

95

#### TAMAÑO DEL UNIVERSO

Número de personas que componen la población a

7

#### MARGEN DE ERROR %

Menor margen de error requiere mayor muestra.

60

#### MUESTRA

Personas a encuestar.

50

#### HETEROGENEIDAD %

Es la diversidad del universo. Lo habitual es usar 50%, el peor

92

#### NIVEL DE CONFIANZA %

Mayor nivel de confianza requiere mayor muestra. Lo habitual es entre 95% y 99%.

#### The previous result reads as:

If you survey 60 people, the real data you are looking for will be the 92% of the times in the interval  $\pm 7\%$  in relation to the data you observe in the survey.

*Figura 26.* Calculadora online de muestras.  
Tomado de (NetQuest, 2018)

La calculadora estadística presenta como resultado realizar un mínimo de 60 encuestas para validar la población. Se proyectó realizar 75 encuestas y se consiguió un total de 50 encuestas.

## 4. CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1. Resultados y comparación de Medición de parámetros.

Las siguientes gráficas y tablas presentan los resultados forma separada por parámetro técnico, THD, comparación visual de la distribución armónica, espectro de frecuencia y por cada equipo de forma comparativa entre el análogo y el digital.

Después se presentan los resultados de las encuestas auditivas. Como punto final de relaciona los resultados técnicos con los resultados subjetivos .

Los parámetros técnicos medidos en cada equipo análogo y digital fueron:

- Distorsión Armónica Total (THD).
- Distribución armónica.
- Espectro en frecuencia.

En muchos casos no se obtuvo todos estos parámetros en los manuales de usuario presentados por los fabricantes, la distribución armónica no se especifica en estos manuales ya es un parámetro variable por cada equipo que depende de factores como el tiempo de uso de cada uno. Los fabricantes de los equipos no presentan las especificaciones de elementos eléctricos utilizados para los instrumentos, y tampoco el THD de los equipos, ambas sea hardware o software, y el espectro de frecuencias se refiere al rango que tienen para reproducir los equipos y no cómo se comportan en el espectro audible.

#### **4.2. Distorsión Armónica Total (THD).**

A continuación se muestran los resultados de las comparaciones entre cada tipo de forma de onda y equipo.

##### **4.2.1. THD Mopho vs JU-06**

Tras comparar estos sintetizadores, ambos hardware, se nota que en este caso la tecnología digital de Roland para emular un sintetizador clásico presenta una mayor cantidad de armónicos, sin embargo, este fenómeno puede ser o no útil dependiendo de la aplicación final del dispositivo.

El sintetizador digital JU-06 solo puede generar 2 tipos de ondas, sin embargo genera mayor cantidad de contenido armónico al momento de reproducir las mismas.

Tabla 8.

*THD total Mopho SE vs JU-06, 3 tipos de ondas*

<b>Sintetizador</b>	<b>THD Onda Cuadrada</b>	<b>THD Onda Diente de Sierra</b>
<b>Mopho SE</b>	1.80%	3.45%
<b>JU-06</b>	2.63%	3.58%

#### 4.2.2. THD Prophet REV 2 vs Subtractor

En este caso se puede apreciar que en el sintetizador análogo REV 2, el THD es mayor en cada tipo de onda. Este es caso con mayor diferencia en cuanto a sus porcentajes de distorsión.

Tabla 9.

*THD total Prophet REV 2 vs Subtractor, 3 tipos de ondas*

<b>Sintetizador</b>	<b>THD Onda Cuadrada</b>	<b>THD Onda Diente de Sierra</b>	<b>THD Onda Triangular</b>
<b>Prophet REV 2</b>	2.58%	3.59%	2.07%
<b>Subtractor</b>	1.82%	3.21%	0.38%

#### 4.2.3. THD Little Phatty vs Retrologue 2

En esta comparación se puede apreciar que el porcentaje de variación del THD no sigue un patrón en particular en el caso de la onda triangular. Sin embargo, en la tabla 10 se puede apreciar que, en el caso de la onda cuadrada y diente de sierra, ambos generan una distorsión armónica casi similar. Cabe recalcar que este es el modelo digital que más armónicos presenta en sus ondas y genera poco ruido digital.

Tabla 10.

*THD total Moog Little Phatty vs Retrologue 2, 3 tipos de ondas*

<b>Sintetizador</b>	<b>THD Onda Cuadrada</b>	<b>THD Onda Diente de Sierra</b>	<b>THD Onda Triangular</b>
<b>Moog Little Phatty</b>	1.47%	4.75%	0.29%
<b>Retrologue 2</b>	1.28%	4.31%	0.68%

Las ondas triangulares poseen menos armónicos siempre debido a su decaimiento de amplitud en armónicos.

Tabla 11.

*THD totales de todos los sintetizadores por ondas*

<b>Sintetizador / Tipo de onda</b>	<b>% THD</b>		
	<b>Onda Cuadrada</b>	<b>Onda Diente de Sierra</b>	<b>Onda Triangular</b>
<b>Mopho SE</b>	1.80%	3.45%	-
<b>JU-06</b>	2.63%	3.58%	-
<b>Prophet REV 2</b>	2.58%	3.59%	2.07%
<b>Subtractor</b>	1.82%	3.21%	0.38%
<b>Little Phatty</b>	1.47%	4.75%	0.29%
<b>Retrologue 2</b>	1.28%	4.31%	0.68%

En la tabla 5 se exponen los resultados totales de todas las ondas y todos los equipos de comparación resaltando los de mayor contenido armónico en las diferentes ondas.

### 4.3. Espectro de Frecuencia

En los diferentes tipos de ondas el espectro de frecuencias se ve afectada por el tipo de equipo, sobretodo en bajas frecuencias.

#### 4.3.1. Espectro de frecuencias Mopho SE vs JU-06

En la figura 25 se observa como el Mopho SE tiene una curvatura menos fluctuante que el JU-06, a lo largo de su rango en frecuencias bajas antes de llegar a la frecuencia fundamental.

El sintetizador digital expresa cada armónico en bajas frecuencias más pronunciadamente a diferencia del sintetizador análogo que cuya curva expresa de forma más unida todos los armónicos debajo de la frecuencia fundamental.

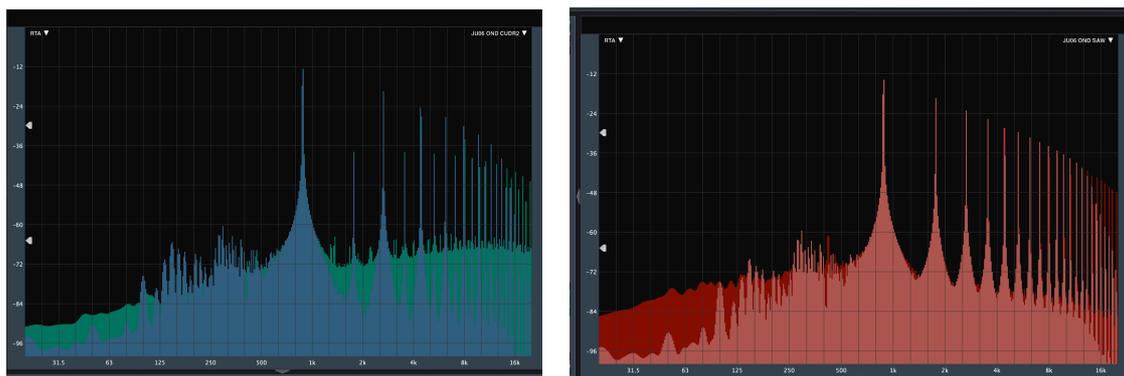
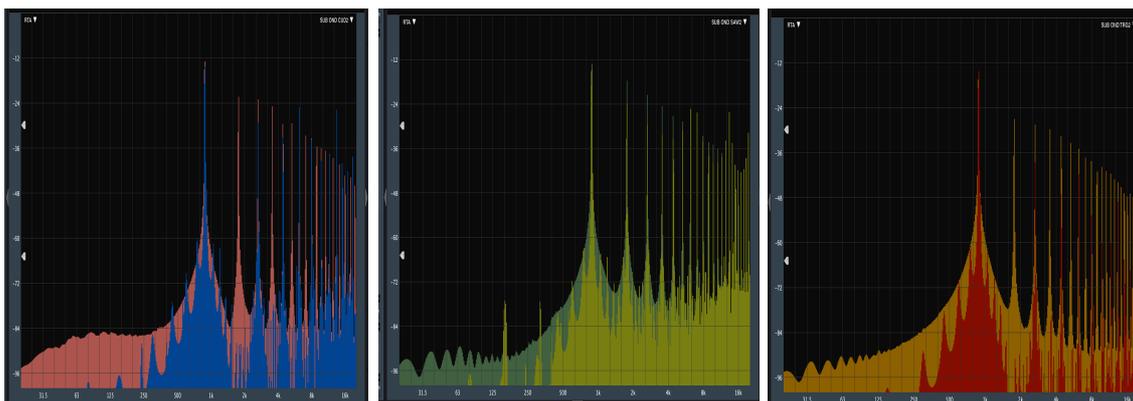


Figura 27. Espectro de frecuencias Mopho SE vs JU-06, onda cuadrada y diente de sierra

#### 4.3.2. Espectro de frecuencias Prophet REV 2 vs Subtractor

En este caso el contenido armónico que se produce por debajo de la frecuencia fundamental tiene mayores diferencias entre los equipos comparados.

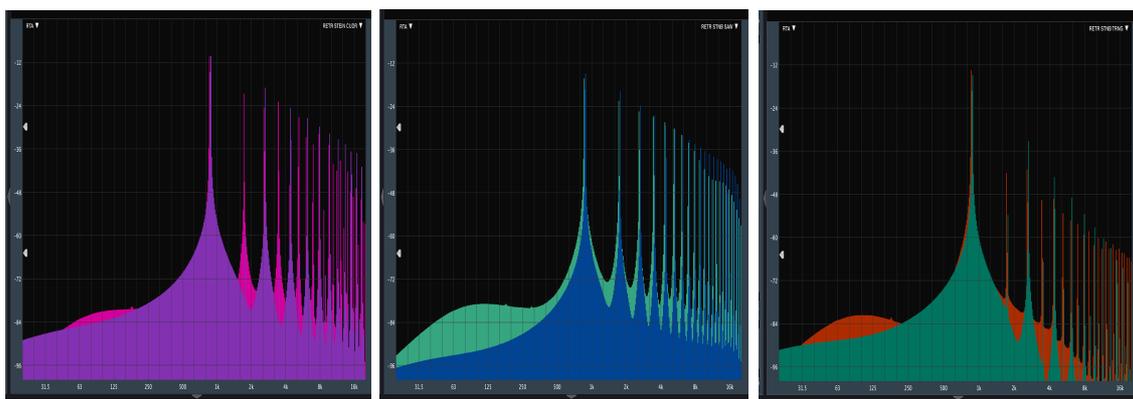
La opción digital empieza a producir armónicos 2 octavas antes que la frecuencia fundamental, dejando un espacio de frecuencia grande con respecto al equipo análogo, el cuál tiene armónicos desde el principio del rango audible.



*Figura 28.* Espectro de frecuencias Prophet REV 2 vs Subtractor, onda cuadrada, diente de sierra y triangular.

#### 4.3.3. Espectro de frecuencias Little Phatty vs Retrologue 2

En esta comparación del espectro de frecuencias es muy similar desde donde se reproducen los armónicos pero el Moog presenta un característico realce en las frecuencias bajas que se observa muy claramente en la figura 27.



*Figura 29.* Espectro de frecuencias Little Phatty vs Retrologue 2, onda cuadrada y diente de sierra y triangular.

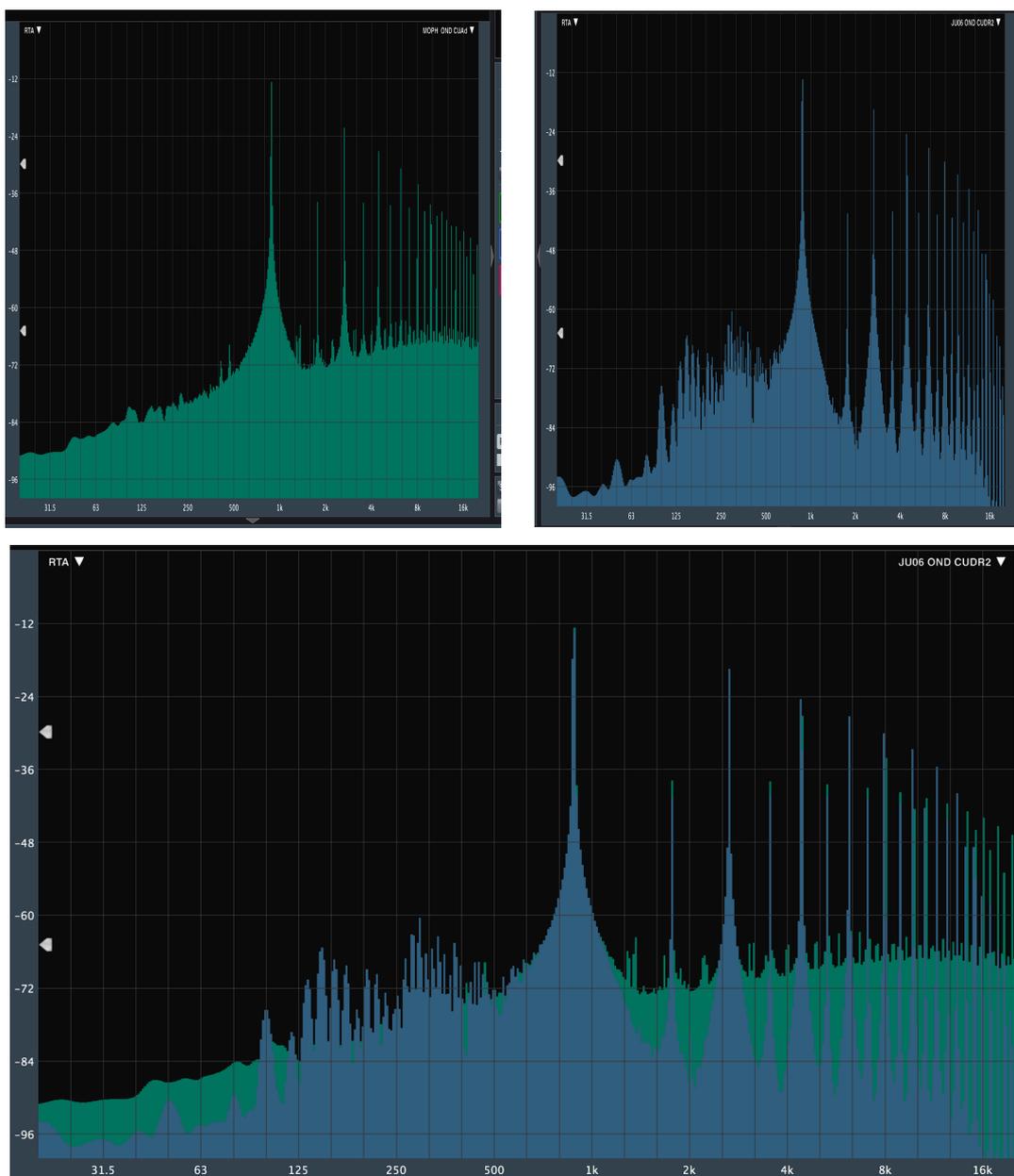
#### **4.4. Distribución y cambios en los armónicos.**

La distribución de armónicos de los equipos se evaluó usando las gráficas de respuesta en el canal simple de Smaart, comparando cada una de las muestras de onda tomadas de cada tipo de sintetizador. Este tipo de evaluación se efectuó debido a la diferente distribución armónica que presenta un equipo, y esto puede determinar el uso específico que se dará a un equipo u otro. La marca de sintetizadores Moog es reconocida para crear señales de bajo; gracias a este análisis se observa el realce de armónicos en frecuencias bajas, esto convierte al equipo ideal para crear sonidos de bajos pesados.

Las siguientes gráficas del analizador de tiempo real de Smaart se logra observar la distribución armónica para la frecuencia fundamental de 880 Hz para cada onda de cada equipo. Las imágenes están dispuestas de tal forma que se aprecia la gráfica del equipo análogo en la izquierda y el digital en la derecha y luego la señal digital sobre la señal análoga para diferenciar los armónicos extras que cada equipo aporta.

#### **4.4.1. Comparación Dave Smith's Mopho SE vs Roland JU-06**

##### **4.4.1.1. Onda Cuadrada**



*Figura 30.* Onda cuadrada MOPHO SE vs JU-06

En el caso de la onda cuadrada, se observa que debajo de la frecuencia fundamental los armónicos graves son pronunciados y están espaciados de forma equidistante al igual que en el equipo digital.

Al llegar a los armónicos superiores, se aprecia que el equipo digital reproduce cada armónico que compone la onda de manera exacta. Y la versión análoga presenta mucho más contenido entre los armónicos de la onda cuadrada.

El Mopho SE está cargado de contenido armónico entre todos los armónicos fundamentales de la onda. Esta carga armónica se presenta solo en la onda cuadrada.

#### 4.4.1.2. Onda Diente de Sierra

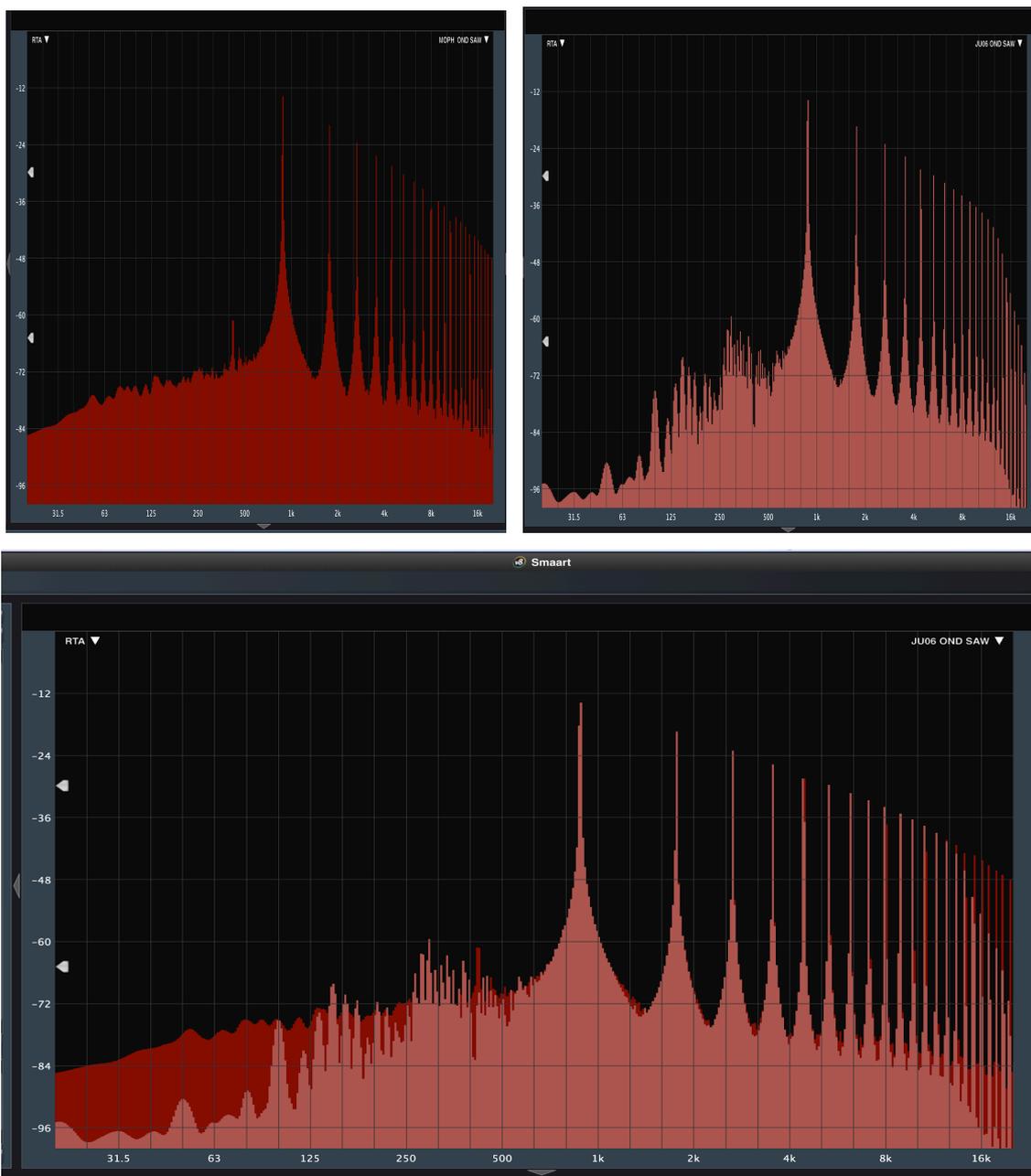


Figura 31. Onda diente de sierra MOPHO SE vs JU-06

Para la onda diente de sierra el equipo análogo y digital reproducen los armónicos de la fundamental de manera casi idéntica, pero después de los 16000 Hz los armónicos del equipo digital disminuyen mucho más rápido de los del instrumento análogo.

#### 4.4.2. Comparación Dave Smith's Prophet REV 2 vs Propellerhead Reason Subtractor

##### 4.4.2.1. Onda Cuadrada

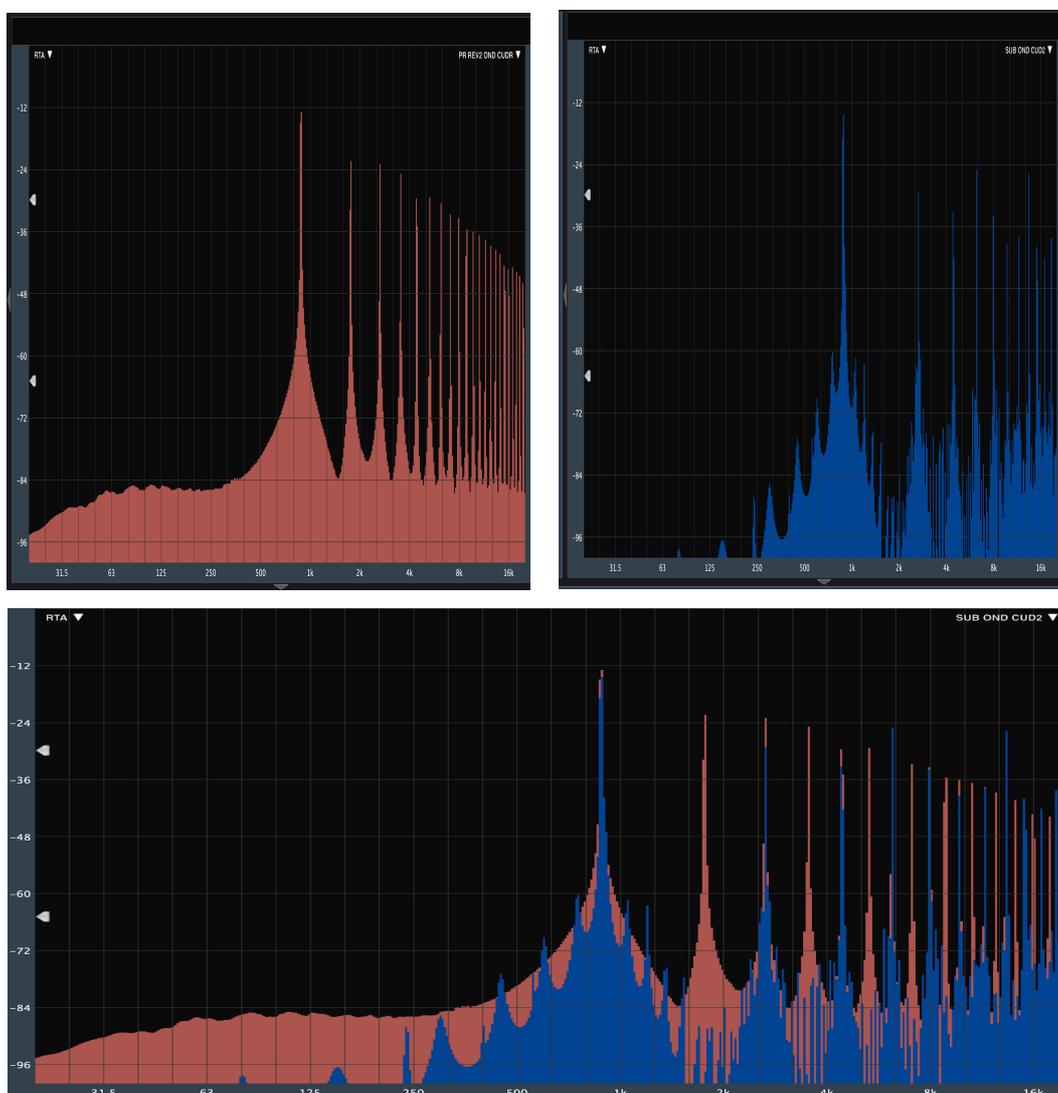


Figura 32. Onda cuadrada PROPHET REV 2 vs SUBTRACTOR

Para la onda cuadrada en esta comparación se puede observar que el equipo digital reproduce solamente los armónicos impares, como una onda cuadrada teórica debe ser; mientras que el equipo análogo reproduce todos los armónicos, pares e impares.

En bajas frecuencias los armónicos de la versión digital aparecen dos octavas antes y presentan mucho menos contenido armónico.

#### 4.4.2.2. Onda Diente de Sierra

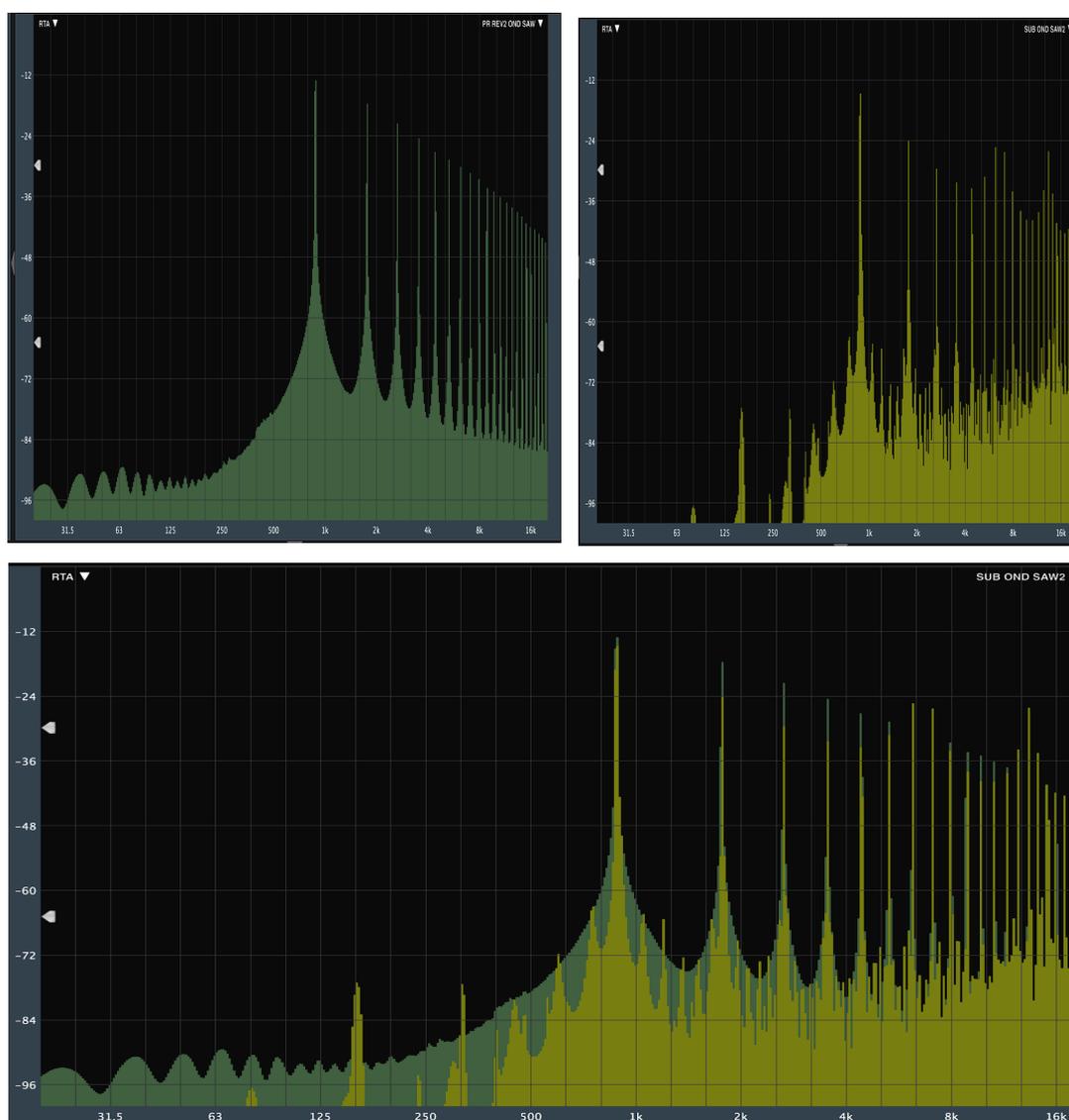


Figura 33. Onda diente de sierra PROPHET REV2 vs SUBTRACTOR

En este caso, la onda diente de sierra presenta sus armónicos principales de igual forma en ambas versiones de los equipos, sin embargo el equipo digital tiene menos contenido armónico en sí, ya que su señal presenta mayor cantidad de frecuencias con caídas y picos entre los armónicos principales y poco contenido de frecuencias antes de la fundamental.

#### 4.4.2.3. Onda Triangular

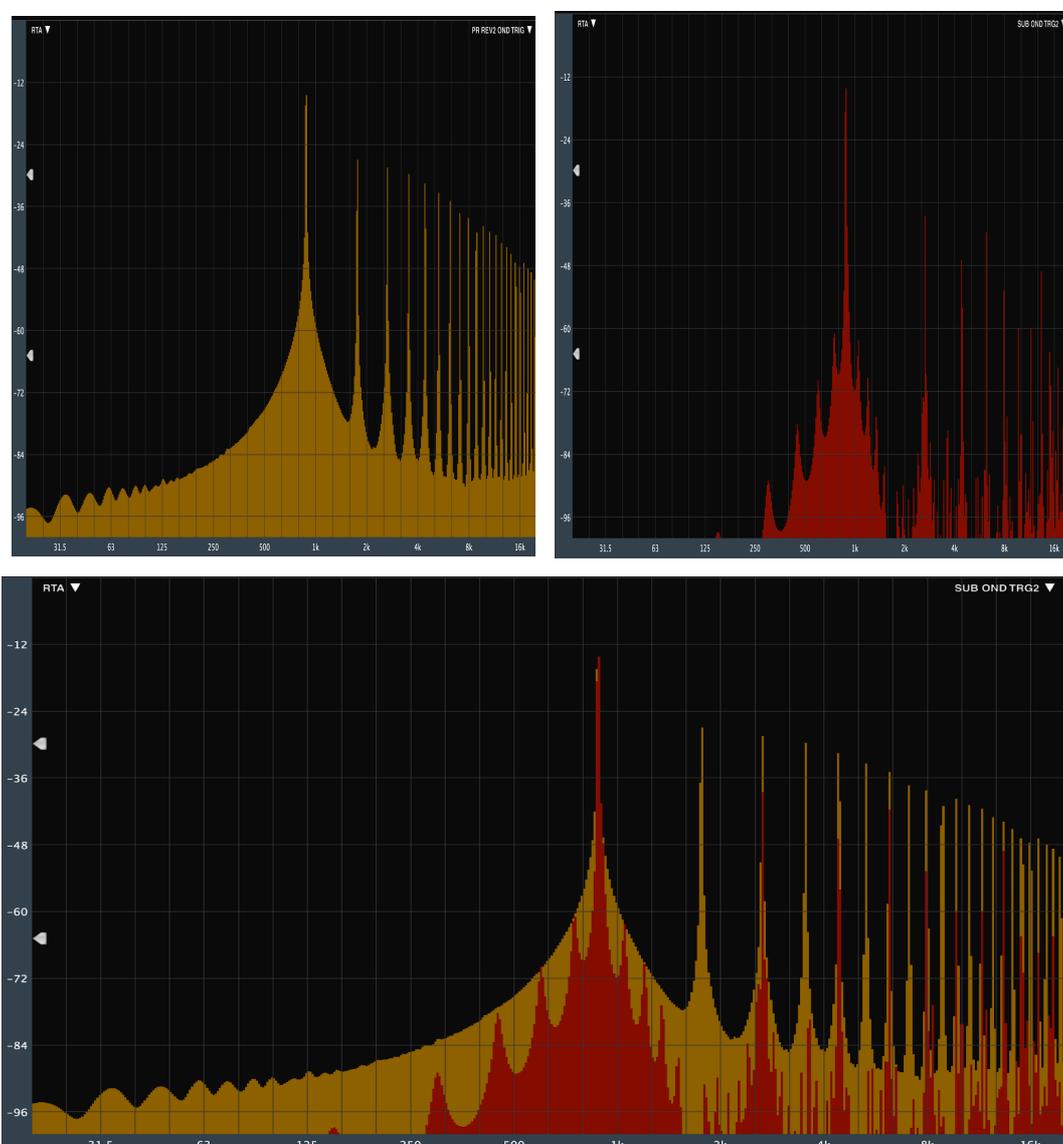


Figura 34. Onda triangular PROPHET REV 2 vs SUBTRACTOR

La onda triangular se comporta de igual forma que la onda cuadrada en el mismo caso de comparación. La versión digital reproduce una onda con los armónicos exactos que debe contener, a diferencia del hardware analógico que presenta todos los armónicos, pares e impares.

#### 4.4.3. Comparación Moog Little Phatty vs Steinberg Retrologue 2

##### 4.4.3.1. Onda Cuadrada

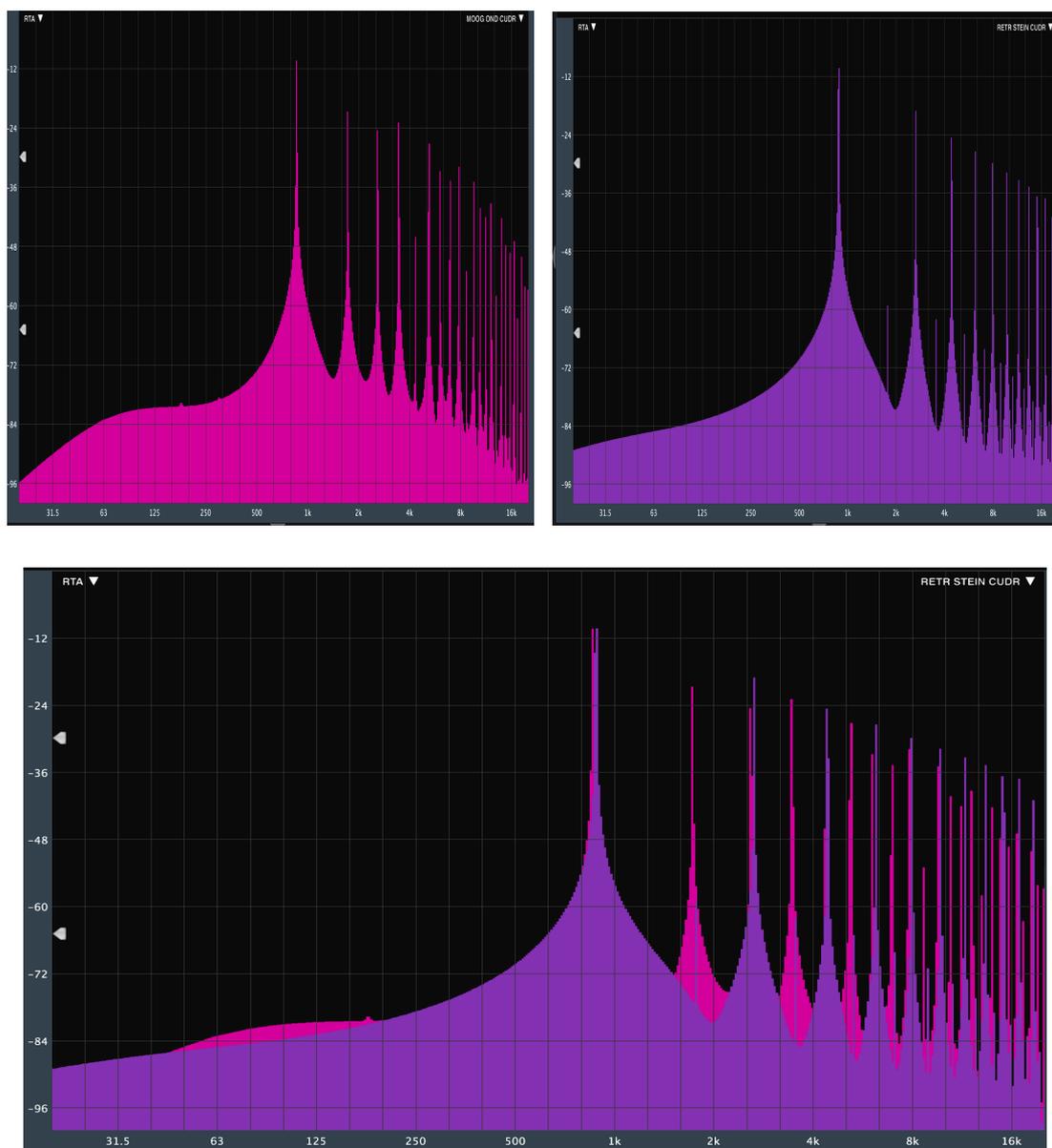


Figura 35. Onda cuadrada MOOG LP vs STEINBERG RETROLOGUE

En el caso de la onda cuadrada se observa que debajo de la frecuencia fundamental las curvas de armónicos graves son casi iguales, con la diferencia en el bajo del Moog, sin embargo el Retrologue 2 genera una onda cuadrada con los armónicos impares que está tiene realmente y el Moog genera todos los armónicos

El equipo digital reproduce cada armónico que compone la onda de manera exacta y la versión analógica contiene mucho más contenido que los armónicos que debe tener la onda cuadrada, contiene armónicos pares e impares.

#### **4.4.3.2. Onda Diente de Sierra**

En la onda diente de sierra, el contenido frecuencial es muy similar en ambos casos, pero el plug-in tiende a reproducir armónicos y decaer en amplitud más rápido sin agregar el contenido que suma el Moog entre cada armónico.

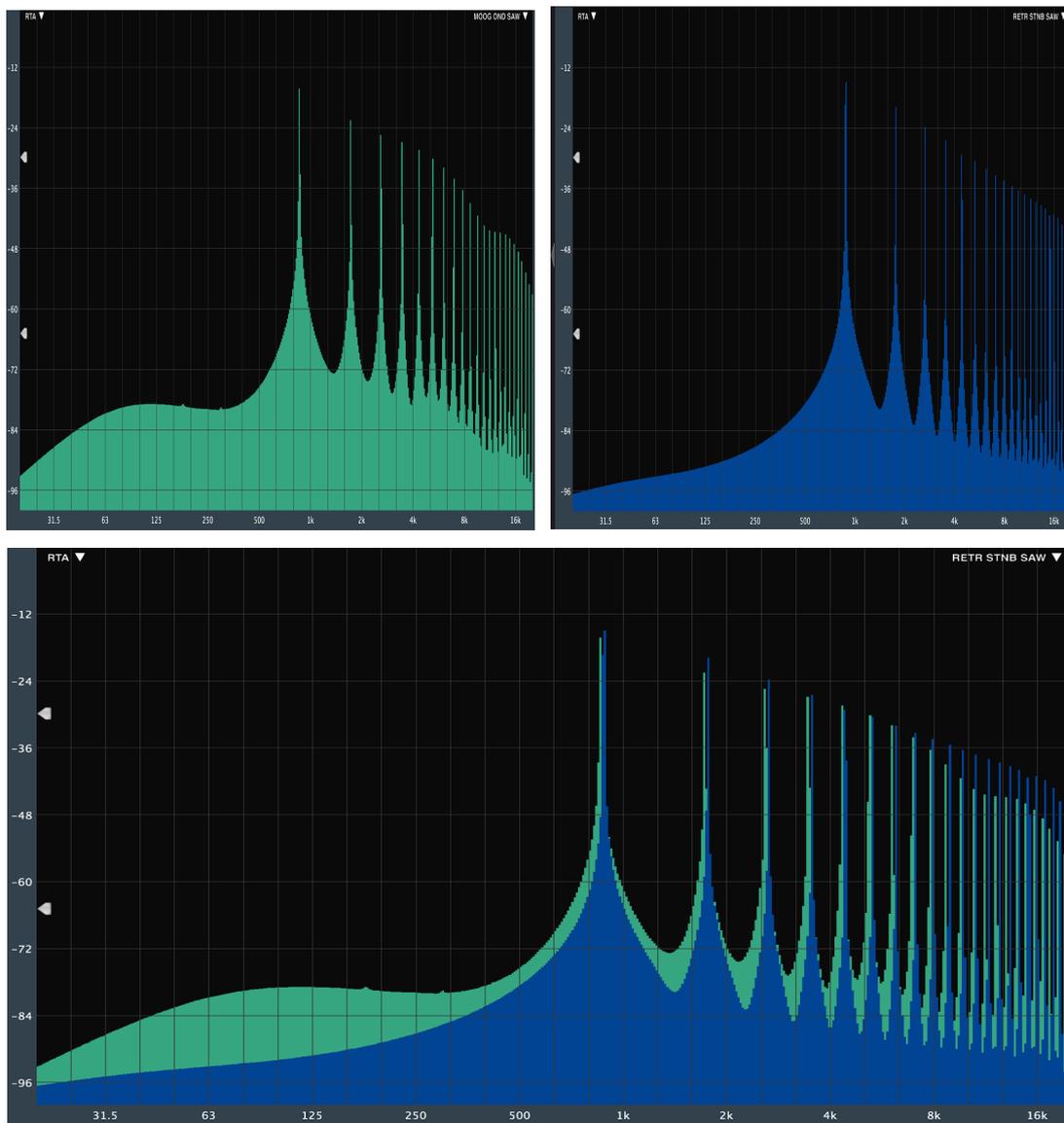


Figura 36. Onda diente de sierra MOOG LP vs STEINBERG RETROLOGUE

#### 4.4.3.3. Onda Triangular

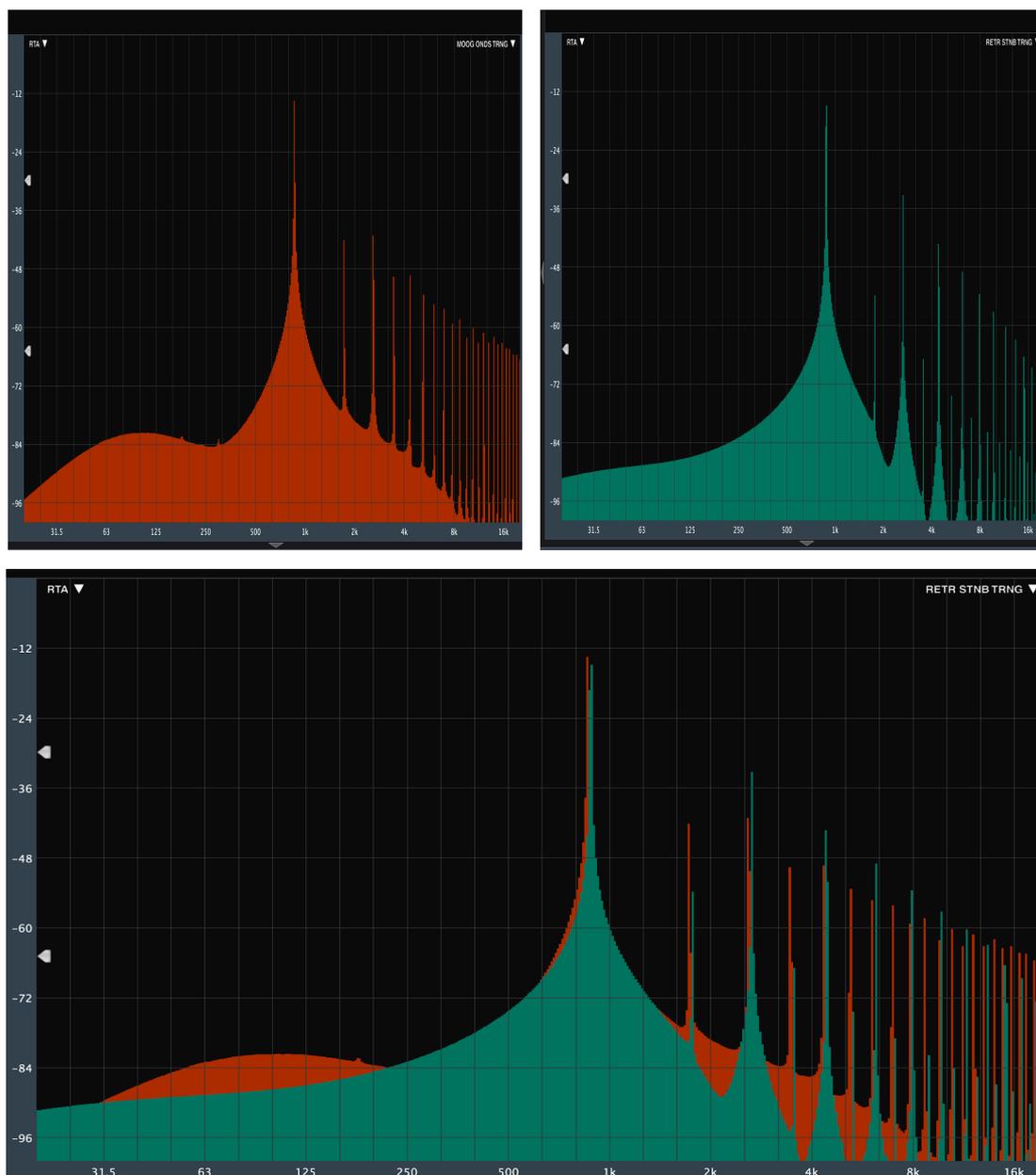


Figura 37. Onda triangular MOOG LP vs STEINBERG RETROLOGUE

En la onda triangular los armónicos pares se reproducen con menos amplitud y decaen más rápido en la versión digital que en el equipo análogo.

#### 4.5. Resultados de las encuestas auditivas.

Los resultados técnicos obtenidos de las mediciones se utilizaron para comparar junto con las respuestas obtenidos de ingenieros de sonido y productores musicales sobre la percepción auditiva que tienen acerca de estos

equipos, siendo este el factor más importante al momento del uso de estos instrumentos.

Los encuestados se encuentra entre los 19 y 30 años de edad. Las siguientes gráficas muestran los resultados obtenidos de 50 encuestas realizadas y su análisis correspondiente.

#### 4.5.1. Presión acústica a la que trabajan los encuestados.

La primera pregunta era en referencia al al ambiente sonoro en el que los encuestados trabajan, ya que la salud auditiva de los encuestados puede ser un factor que influye al momento de las respuestas entregadas.

##### 1. ¿Trabaja bajo altos niveles de presión acústica en su trabajo?

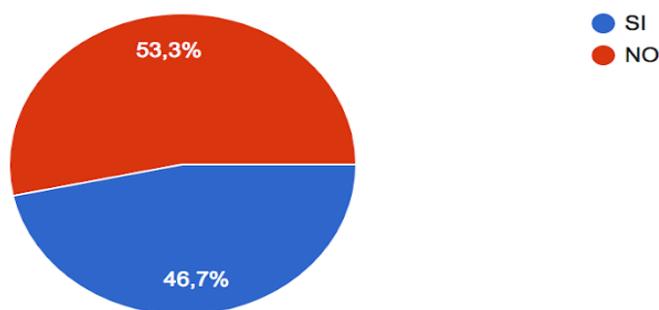


Figura 38. Pregunta 1 sobre salud auditiva de los encuestados.

Los resultados sobre exposición a altos niveles de presión sonora muestran que el 47% de los encuestados no se expone a niveles sonoros altos en su trabajo diario, mientras que un 53% está expuesto a altos niveles.

Los resultados determinan que los encuestados en general poseen una salud auditiva adecuada para este tipo de encuesta.

#### 4.5.2. Preferencias entre equipos análogos y digitales.

La segunda pregunta se refiere a haber usado con anterioridad equipos analógicos en su trabajo de los encuestados, y si ellos tienen cierta preferencia por el uso de equipo analógico o digital.

#### 2. ¿Ha trabajado con sintetizadores análogos?

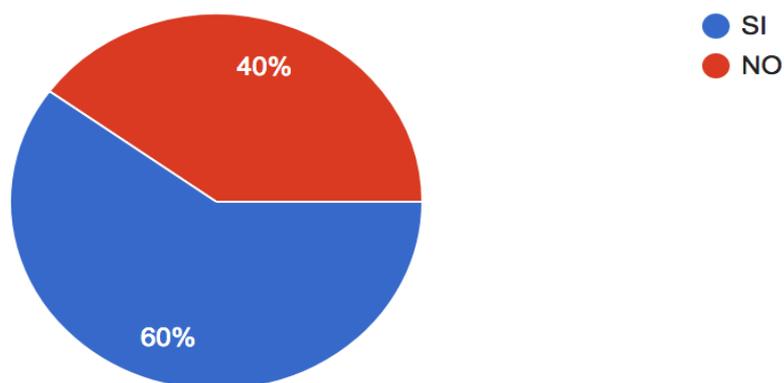


Figura 39. Pregunta 2 con respecto al haber utilizado equipos análogos en el pasado.

#### 3. ¿Tiene preferencia entre sintetizadores análogos y digitales (hardware y plugins)?

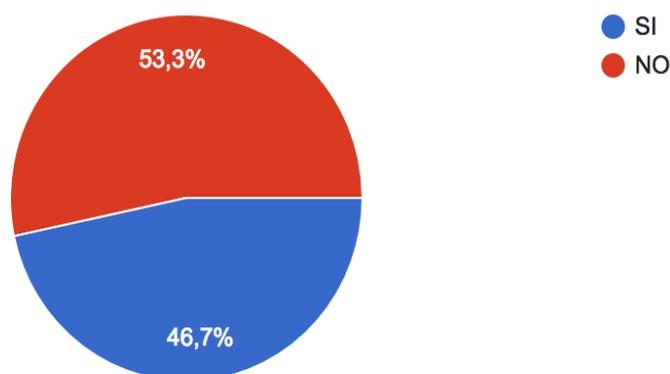


Figura 40. Pregunta 3 acerca de la preferencia entre equipos análogos y digitales.

Se observa en las figuras anteriores que el 60% de los encuestados había trabajado con equipos análogos previamente, pero solo un 47% tenía alguna preferencia entre el uso de sintetizadores analógicos o digitales.

#### 4.6. Resultados y análisis de las encuestas auditivas.

Las preguntas de comparación en la encuesta se utilizaron para determinar cuál de las muestras (A o B) tenía un mayor agrado entre los encuestados. Éstas preguntas eran 3 y consistían en:

1. ¿Cuál audio contiene mayor contenido armónico?
2. ¿Cuál audio es el análogo?
3. ¿Cuál audio es el que más le agrada?

Esto se usó para cada comparación de equipo y se presentan en las siguientes gráficas en porcentajes.

##### 4.6.1. Mopho SE vs JU-06

Un 53% de los encuestados considera que el equipo análogo es el que contiene mayor contenido armónico como se observa en la figura 39.

1.1 De las dos muestras, ¿cuál le parece que posee un mayor contenido armónico?

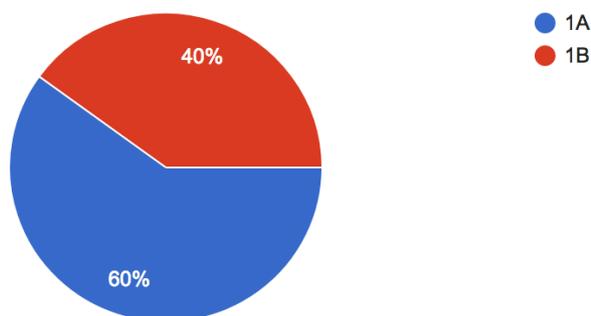


Figura 41. Respuesta sobre el contenido armónico de la muestra 1, A o B.

La figura 40 y 41 contradicen a los resultados de la primera pregunta, el 60% de los encuestados piensa que el equipo digital es analógico por su alto contenido armónico.

Este equipo, el JU-06, se posiciona como el preferido en esta comparación también la siguiente respuesta, con mayor diferencia entre las otras dos preguntas un 80% prefieren el módulo digital.

### 1.2 ¿Puede distinguir cuál de las señales que acaba de escuchar es la analógica?

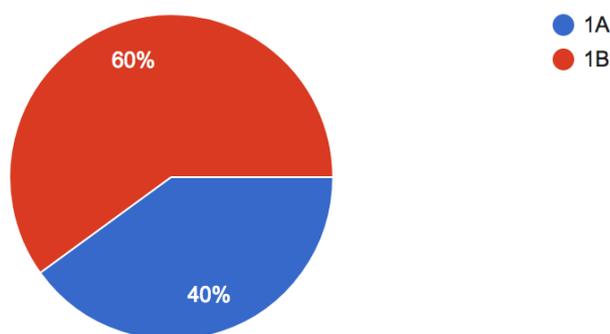


Figura 42. Respuesta sobre el equipo analógico 1, A o B.

### 1.3 ¿Cuál muestra fue más agradable en para ti?

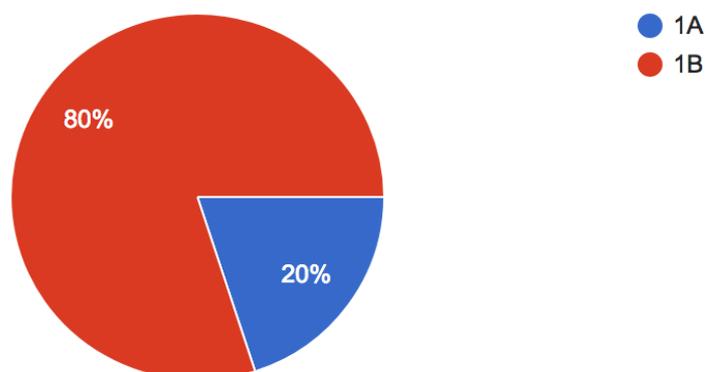


Figura 43. Respuesta sobre la muestra 1 en agrado, A o B.

#### 4.6.2. Prophet REV 2 vs Subtractor

En las figuras 42, 43 y 44 se observan los resultados de las encuestas para el Prophet REV 2 de Dave Smith y el Subtractor de Reason; en ellos se aprecia que un 53% escogieron el equipo análogo como aquel con mayor contenido armónico, por otro lado cual es la muestra análoga, el 60% eligió la muestra análoga, y este también fue la que resultó más agradable para el 80% de los encuestados, lo cual fue la mayor diferencia entre encuestados, fue también la muestra resultante del equipo analógico.

2.1. De las dos muestras, ¿cuál le parece que posee un mayor contenido armónico?

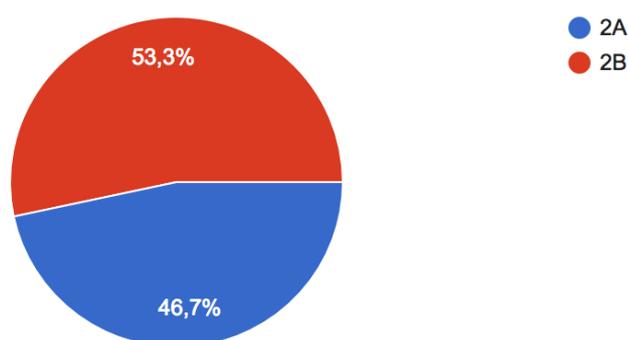


Figura 44. Respuesta sobre el contenido armónico de la muestra 2, A o B.

## 2.2 ¿Puede distinguir cuál de las señales que acaba de escuchar es la análoga?

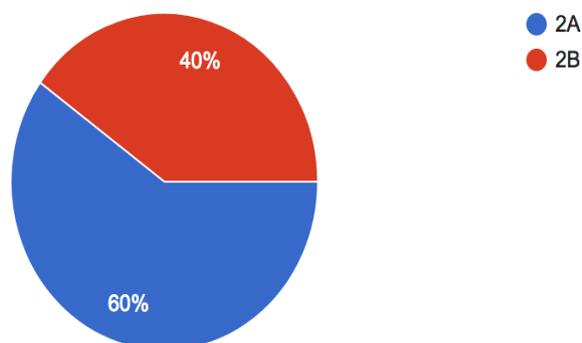


Figura 45. Respuesta sobre el equipo análogo 2, A o B.

## 2.3 ¿Cuál muestra fue más agradable en para ti?

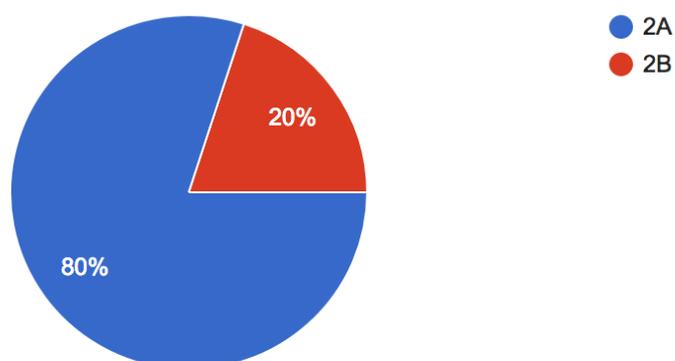


Figura 46. Respuesta sobre la muestra 2 en agrado, A o B.

### 4.6.3. Little Phatty vs Retrologue 2

Los resultados subjetivos entre el Little Phatty de Moog y el Retrologue 2 de Steinberg, mostrados en las siguientes tres figuras, muestran mayor agrado por el equipo analógico. Un 64% de la población se encuentra a favor del sintetizador análogo, mientras que un 53% acierta en el tipo de equipo. La

tercera pregunta muestra que a un 60% les agradó más la señal análoga, esto es la menor diferencia de gustos entre equipos, que puede relacionarse con el contenido y distribución armónica que presenta el modelo digital.

3.1 De las dos muestras, ¿cuál le parece que posee un mayor contenido armónico?

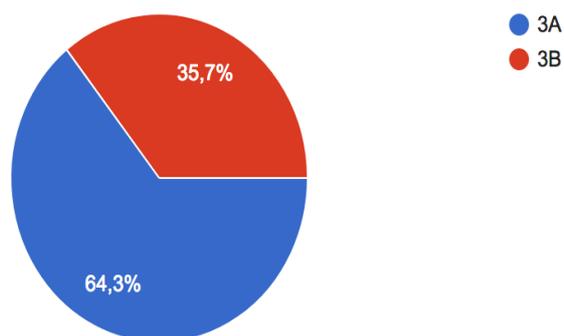


Figura 47. Respuesta sobre el contenido armónico de la muestra 3, A o B.

3.2 ¿Puede distinguir cuál de las señales que acaba de escuchar es la análoga?

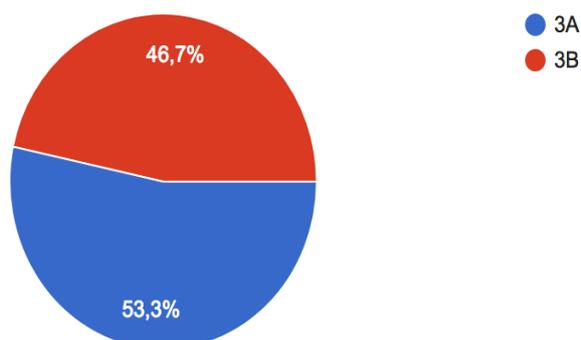


Figura 48. Respuesta sobre el equipo análogo 2, A o B.

### 3.3 ¿Cuál muestra fue más agradable en para ti?

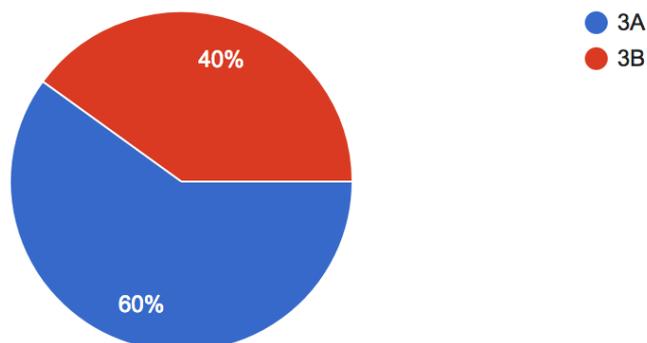


Figura 49. Respuesta sobre la muestra 3 en agrado, A o B.

#### 4.7. Comparación de resultados subjetivos y técnicos.

Con los resultados de las pruebas realizadas para los parámetros técnicos y los resultados subjetivos de las muestras, se puede relacionar ambas partes de la investigación. Se puede encontrar de esta forma la relación que existe entre los valores de THD y la distribución armónica que presenta un equipo y las preferencias auditivas de los ingenieros y productores musicales.

Tabla 12.

Comparación de datos medidos con respuestas de las encuestas auditivas.

Sintetizador	%THD			% Agrado subjetivo		
	O.Cuadr	O. Dient	O. Tring.	P.1	P.2	P.3
<b>Mopho SE</b>	1.80%	3.45%	-	60%	40%	20%
<b>JU-06</b>	2.63%	3.58%	-	40%	60%	80%
<b>Prophet REV 2</b>	2.58%	3.59%	2.07%	53%	60%	80%

<b>Subtractor</b>	1.82%	3.21%	0.38%	47%	40%	20%
<b>Little Phatty</b>	1.47%	4.75%	0.29%	64%	53%	60%
<b>Retrologue 2</b>	1.28%	4.31%	0.68%	36%	47%	40%

En la tabla 12 se presentan los resultados de las encuestas y los valores de THD de cada equipo ordenado en la forma que se comparó, análoga luego digital. La columna P.1 se refiere a la pregunta número 1 de las encuestas que se trata sobre el contenido armónico de las muestras; la segunda pregunta, P.2, se refiere a cuál equipo es se considera el analógico y la siguiente columna, P.3, se refiere a qué muestra resulta más agradable.

En las filas con fondo verde se muestran los equipos con mayores porcentajes de percepción auditiva obtenidos por las encuestas, THD mayor y mayor presencia armónica. El cuadro en azul presenta un caso particular donde se escoge al equipo análogo como el de mayor contenido armónico en la encuesta pero se prefiere al digital en las siguientes preguntas, esto puede deberse a como se presenta el ruido entre armónicos en el sintetizador JU-06.

Para el Mopho SE vs el JU-06 el hardware digital presenta mayor contenido armónico en todo es espectro de frecuencias y valor más alto de THD, fue elegido como preferido en dos de las tres preguntas en las encuestas.

El Prophet REV2 y el Subtractor muestran una relación en los resultados técnicos y subjetivos ya que el sintetizador análogo presenta mayor THD, genera más armónicos en bajas frecuencias y fue el elegido en todas las preguntas de las encuestas auditivas.

Para el caso del Little Phatty y el Retrologue 2, el equipo análogo también fue el elegido durante las encuestas auditivas, es la versión que posee mayor distorsión y presencia armónica. Con mayor amplitud en las frecuencias bajas,

un rango muy bien percibido por el oído humano, este factor puede ser determinante.

Las respuestas de las encuestas se relacionan con los resultados técnicos de todos los equipos directamente. Los resultados tienen coherencia y los porcentajes de diferencia son bajos.

#### 4.8. Comparación de ondas por el osciloscopio y ondas en los sintetizadores.

Tabla 13.

*Porcentaje de THD de ondas perfectas calculadas desde el osciloscopio.*

<b>Tipo de Onda Osciloscopio</b>	<b>% THD</b>
Cuadrada	<b>0.34%</b>
Diente de Sierra	<b>1.05%</b>
Triangular	<b>0.15%</b>

Tras realizar el cálculo de las ondas perfectas que entrega el generador de frecuencias midiéndolas con el osciloscopio, se puede realizar una comparación de distorsión armónica total con los sintetizadores análogo o digital.

Respecto a las ondas cuadradas, se puede apreciar que en el caso del generador de frecuencias presentan una distorsión del 0.34%, mostrando que los sintetizadores agregan entre 1% y 2% más de distorsión a este tipo de ondas.

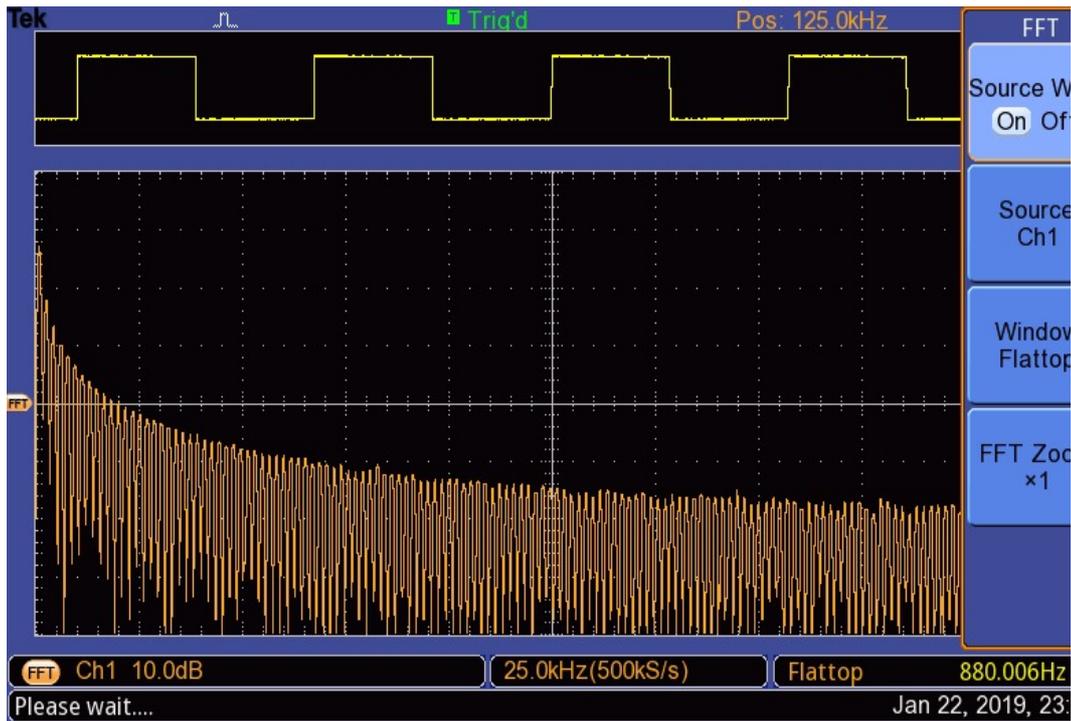


Figura 50. FFT de onda cuadrada por el oscilador de frecuencias.

En la onda diente de sierra, el oscilador muestra 1.05% de distorsión en su onda, mientras que los sintetizadores presentan valores entre 3% y 5% de distorsión armónica agregada a la onda.

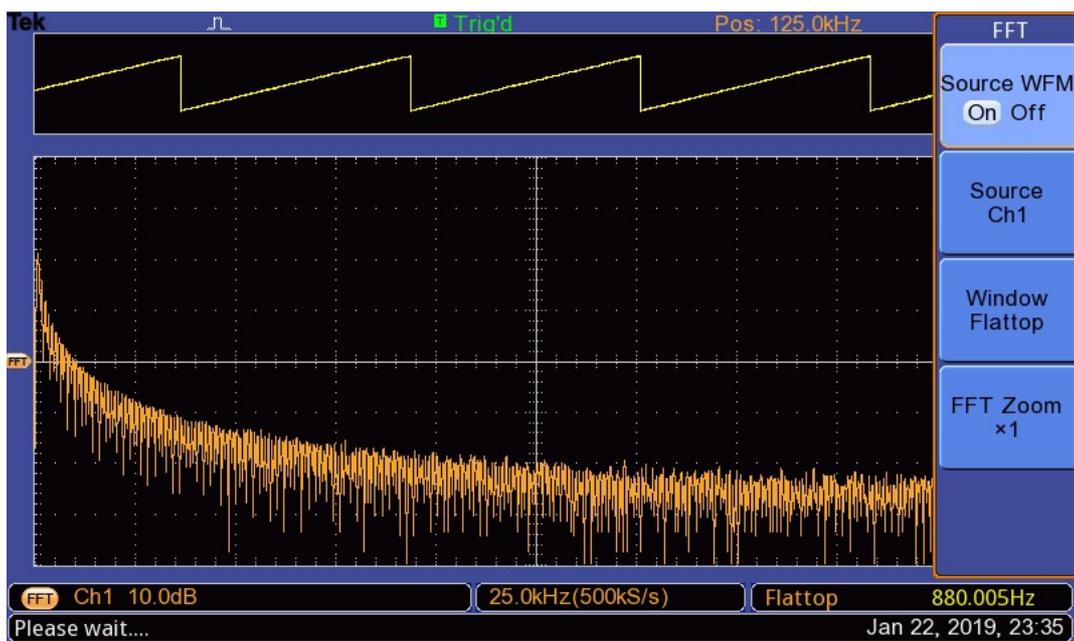


Figura 51. FFT de onda diente de sierra por el oscilador de frecuencias.

Para el caso de las ondas triangulares, las cuales presentan la menor distorsión armónica entre las tres diferentes ondas, presentan una distorsión armónica del 0.15%, comparando este valor con la tabla 12, se muestra que los sintetizadores agregan alrededor de 1% y 1.5% de distorsión a este tipo de ondas.

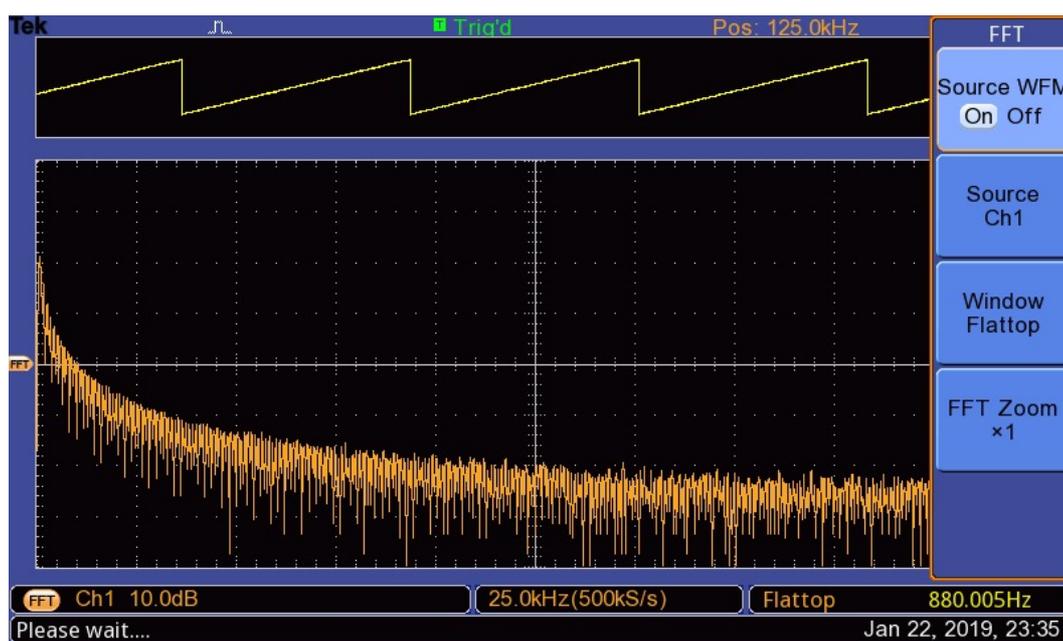


Figura 52. FFT de onda triangular por el oscilador de frecuencias.

#### 4.9. Análisis Económico

En la tabla 13 se expone una comparación de precios sin impuestos, importación o aranceles, entre los equipos análogos y digitales. Se aprecia como existe una diferencia de algunos cientos de dólares entre adquirir un equipo análogo o un equipo digital, siendo los sintetizadores virtuales los de menor precio. El Steinberg Retrologue 2 es el instrumento con la mejor emulación de ondas y con el menor ruido digital agregado y también el más fácil y barato de adquirir debido al ser un VST y no necesitar una plataforma de audio para funcionar al contrario del Subtractor de Reason.

También se presenta un presupuesto aproximado de los equipos y recursos necesarios para realizar esta investigación, considerando los precios de cada dispositivo sin los costos ya mencionados del país. Según la tabla 14 se requiere \$ 5225 dólares para realizar este trabajo obteniendo independientemente todo el equipamiento utilizado, un precio no muy factible. Por otro lado, al optar por el alquiler de un estudio con el mismo los equipos, el presupuesto necesario es reducido a tan solo \$225 dólares expuesto en la tabla 15.

Tabla 14.

*Análisis Económico con lo equipos utilizados para esta investigación.*

<b>Sintetizador Análogo</b>	<b>Precio</b>	<b>Sintetizador Digital</b>	<b>Precio</b>
Dave Smith's Mopho SE	<b>\$ 725</b>	Roland JU-06	<b>\$ 450</b>
Dave Smith's Prophet Rev 2	<b>\$ 1500</b>	Propellerhead Reason Subtractor	<b>\$ 400</b>
Moog Little Phatty	<b>\$ 1400</b>	Steinberg Retrologue 2	<b>\$ 100</b>

Tabla 15.

*Costo de la investigación adquiriendo los equipos de manera independiente.*

<b>Equipo</b>	<b>Precio</b>
Dave Smith's Mopho SE	\$ 725
Dave Smith's Prophet REV 2	\$ 1500
Moog Little Phatty	\$ 1400
Roland JU-06	\$ 450
Propellerhead Reason Subtractor	\$ 400
Steinberg Retrologue 2	\$ 100
Apollo Twin DUO	\$ 650

<b>TOTAL</b>	<b>\$ 6225</b>
--------------	----------------

Tabla 16.

*Costo de la investigación realizada con alquiler de equipos.*

<b>Rubro</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo total</b>
Hora de alquiler de equipos/ estudios de grabación	7	\$ 30	\$ 210
Transporte por día	3	\$ 5	\$ 15
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 225</b>

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

Al finalizar con todas las comparaciones se puede observar que las versiones digitales no reproducen ondas de manera igual que los equipos análogos.

Las versiones digitales tienen a reproducir la onda exactamente como esta descrita en la teoría, los equipos digitales en su versión hardware o software, sobretodo en la onda cuadrada, los equipos análogos reproducen todos los armónicos pares o impares de la fundamental, mientras que los digitales tienen a resaltar más o solo reproducir los armónicos impares que son los que componen a la onda cuadrada.

Las ondas de los sintetizadores análogos contienen más carga armónicos, el único equipo hardware digital fue el que mejor emulaba este tipo de reproducción de todos los armónicos, por lo tanto la comparación estaría mejor comprobada con mejores equipos hardware digitales de tipo simulación análoga en marcas tales como Yamaha, Roland o Nord, esta última es la primera en ofrecer el tipo de tecnología de emulación análoga.

El tipo de onda que todos los equipos puede reproducir de manera casi idéntica es la onda diente de sierra que presenta una distribución de armónicos similar en las muestras, por lo que este tipo de onda puede podría ser usada en ambos tipos de equipos para la misma o diferentes funciones.

Ningún equipo analógico o digital tiene niveles o porcentajes iguales que ningún otro equipo. Cada equipo reproduce sonido de una manera única y se aprecia a cada una de sus ondas.

El JU-06 posee más contenido en los armónicos debajo de la frecuencia fundamental, este contenido sub armónico extra que presenta este equipo puede ser la razón por la que la población escogió este como preferido en las encuestas, siendo el único equipo digital que salió a favor sobre un análogo en la investigación.

El Mopho SE es el equipo análogo que presenta una distorsión entre en los armónicos de la onda cuadrada, la misma que fue usada para la comparación de la encuesta; este ruido puede ser el factor que influye para que este sintetizador análogo sea el de menos agrado de la población encuestada.

En el caso del Subtractor se pudo apreciar la mayor diferencia en reproducción de ondas y contenido armónico entre equipos, donde este instrumento digital reproduce las ondas tal como se las plantea teóricamente, pero el estrecho ancho de banda en sus armónicos y como el decaimiento de las mismas puede ser el factor por el cual la gran mayoría de gente, un 80%, escogió al equipo análogo sobre este equipo. Sin embargo debido a que este sintetizador digital es parte de una amplia colección de instrumentos y efectos incluidos con la plataforma de audio digital Reason de Propellerhead, sus sonidos y funciones pueden ser expandidas inmensamente con las demás funciones de audio que esta DAW ofrece.

El Retrologue 2 de Steinberg es la mejor opción entre calidad y precio. Este instrumento virtual tiene una gran fidelidad al momento de reproducir todos los tonos analizados; reproduce los tonos casi de manera idéntica y trata de imitar el comportamiento análogo al reproducir armónicos que la onda teórica no tendría como se observa en el caso de la onda triangular. Excepto por las diferencias en bajas frecuencias, este sintetizador virtual puede competir con un instrumento analógico de precio 14 veces mayor a este VST. En los resultados de las encuestas se encuentra casi equilibrado en gusto personal con el hardware análogo comparado.

La reproducción de bajas frecuencias de los sintetizadores análogos, en especial del Moog, es donde más se define la diferencia y la característica tonal de este tipo de sintetizadores, son estos resultados por los que la síntesis análoga sigue siendo tan codiciada por productores e ingenieros de sonido.

La síntesis sustractiva sigue siendo la base de toda síntesis usada hasta el día de hoy para la mayoría de procesos de post producción en audio e imagen y cada día está al mayor alcance de ingenieros debido a la capacidad de llevar esta tecnología a cualquier tipo de plataforma de audio digital. Los resultados de utilizar instrumentos virtuales tampoco se verán afectados de por el estado en que se encuentran las componentes internas físicas de un equipo hardware, análogo o digital.

El filtro es un parámetro único de cada sintetizador, al momento de comparar la melodía se puede escuchar que la curva del filtro al abrirse o cerrarse es diferente en cada equipo. Debido a esto este parámetro se dejó abierto para obtener las muestras del análisis técnico.

Los ingenieros y músicos que tiene acceso a ambas tecnologías deciden usar cada una por separado para diferentes aplicaciones o en conjunto para un sonido diferente y único por esto se siguen realizando cada vez mejores equipos análogos, digitales e instrumentos virtuales que puedan realizar más o mejores funciones que el resto.

## **5.2. Recomendaciones**

El sintetizador JU-06 de Roland es el único hardware digital que se utilizó en la comparación y está diseñado para emular un sintetizador digital antiguo muy popular. Si se obtuviera el equipo original para una comparación con su reproducción actual se podría saber cuánto del contenido armónico extra que

reproduce el módulo es solo para emular al equipo vintage y cuanto es solo ruido digital.

En la comparación realizada en un lapso reducido, se utilizó únicamente tres equipos análogos, con el fin de dar un mayor sustento a los resultados obtenidos en un futuro se puede repetir los procesos detallados en este documento con diferentes equipos hardware, para conocer la variación de THD que ocurren por los cambios físicos existentes en estos dispositivos.

Para mejorar la fidelidad de las muestras pueden utilizarse pre amplificadores más limpios con mejores conversores digitales para tener muestras más fieles y reales, para así encontrar más detalles donde la síntesis digital puede mejorar al emular las ondas básicas de la síntesis sustractiva.

Para las encuestas auditivas utilizar un estudio o espacio que use el mismo monitoreo para todos los encuestados, así puede existir una veracidad más certera en los resultados obtenidos.

## REFERENCIAS

- Aráuz, N., & Jácome, C. (2012). Diseño y programación de un sintetizador virtual de sonido por componentes espectrales. Recuperado 10 septiembre, 2018, de: <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/2700>
- Báez, A. (2016). Análisis comparativo basado en parámetros objetivos y subjetivos de diferentes modelos de preamplificadores, procesadores de frecuencia y procesadores de dinámica en sus versiones hardware y software. Recuperado 10 septiembre, 2018, de: <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/5996>
- Bowhay, T. (2015). What makes a musical sound. Recuperado 16 septiembre, 2018 de: <https://slideplayer.com/slide/4173595/>
- Case, A.U. (2010). Square Waves Calculation. Recuperado 25 octubre, 2018, de: <http://recordingology.com/in-the-studio/distortion/square-wave-calculations/>
- Crombie, D. C. (1994). A Young Person's Guide to the Principles of Music Synthesis. Recuperado 24 mayo, 2018, de [http://exellon.net/book/The\\_Complete\\_Synthesizer.pdf](http://exellon.net/book/The_Complete_Synthesizer.pdf)
- Cheever, E. (2007). Fourier Series Examples. Recuperado 18 septiembre, 2018, de: <http://lpsa.swarthmore.edu/Fourier/Series/WhyFS.html>
- Dave Smith. (2011). Mopho SE Operation Manual. Recuperado 20 septiembre, 2018, de: [https://www.davesmithinstruments.com/downloads/mopho/doc/Mopho\\_Manual\\_v.1.2.pdf](https://www.davesmithinstruments.com/downloads/mopho/doc/Mopho_Manual_v.1.2.pdf)
- Dave Smith. (2013). Prophet REV 2 User's Guide. Recuperado 20 septiembre, 2018, de: <https://www.davesmithinstruments.com/wp-content/uploads/2017/05/Prophet-Rev2-Users-Guide-1.0.pdf?x72411>
- Julius, C.J., & Smith, F.S. (2002). Viewpoints on the History of Digital Synthesis. Recuperado 25 mayo, 2018, de: <https://ccrma.stanford.edu/~jos/kna/kna.pdf>

- Loy, C.L., Abbott, F.A. (1985). Programming Languages for Computer Music Synthesis, Performance, and Composition. Recuperado 25 mayo, 2018, de: <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=4485>
- Microsemi. (2015). Basic Total Harmonic Distortion (THD) Measurement. Recuperado 25 noviembre, 2018, de: [https://www.microsemi.com/document-portal/doc\\_view/134813-an30-basic-total-harmonic-distortion-thd-measurement](https://www.microsemi.com/document-portal/doc_view/134813-an30-basic-total-harmonic-distortion-thd-measurement)
- NetQuest. (2018). Calculadoras Estadísticas. Recuperado 13 noviembre, 2018, de: <https://www.netquest.com/es/panel/calculadora-muestras/calculadoras-estadisticas?submissionGuid=bd166d7e-a63c-41ef-83fd-4657e0e303cc>
- Pejrolo, A. P., & Metcalfe, S. B. M. (2017). Creating Sounds From Scratch : A practical guide for music synthesis. Recuperado 20 mayo, 2018, de <https://es.scribd.com/document/340983184/Creating-Sounds-from-Scratch-A-Practical-Guide-to-Music-Synthesis-for-Producers-and-Composers>
- Penoken, A.P., & Valimaki D.V. (2011). The Brief History of Virtual Analog Synthesis. Recuperado 24 mayo, 2018, de: [https://www.researchgate.net/publication/242020149\\_The\\_Brief\\_History\\_of\\_Virtual\\_Analog\\_Synthesis](https://www.researchgate.net/publication/242020149_The_Brief_History_of_Virtual_Analog_Synthesis)
- Pierce, C.P. (1969). The Technology of Computer Music. Miller. Moore. Recuperado 25 mayo, 2018, de: [http://bitsavers.informatik.uni-stuttgart.de/pdf/bellLabs/The\\_Technology\\_of\\_Computer\\_Music\\_1969.pdf](http://bitsavers.informatik.uni-stuttgart.de/pdf/bellLabs/The_Technology_of_Computer_Music_1969.pdf)
- Propellerhead. (2018). Reason 10 Manual. Recuperado 20 septiembre, 2018, de: <http://cdn.propellerheads.se/Reason6/Reason%20Essentials%20Operation%20Manual.pdf>
- Roland. (2013). JU-06 User's Manual. Recuperado 22 septiembre, 2018 de: [https://www.roland.com/global/support/by\\_product/ju-06/owners\\_manuals/](https://www.roland.com/global/support/by_product/ju-06/owners_manuals/)

- Russ, M. R. (2004). Sound Synthesis and Sampling. Recuperado 20 mayo, 2018, de <https://es.scribd.com/document/340983184/Creating-Sounds-from-Scratch-A-Practical-Guide-to-Music-Synthesis-for-Producers-and-Composers>
- Sievers, B. S. (2015). A Young Person's Guide to the Principles of Music Synthesis. Recuperado 24 mayo, 2018, de [https://www.uni-weimar.de/kunst-und-gestaltung/wiki/images/Young\\_Persons\\_Guide.pdf](https://www.uni-weimar.de/kunst-und-gestaltung/wiki/images/Young_Persons_Guide.pdf)
- Steinberg. (2017). Retrologue 2 Operation Manual. Recuperado 24 septiembre, 2018 de: [https://steinberg.help/retrologue/v2/en/Retrologue\\_2\\_Operation\\_Manual\\_en.pdf](https://steinberg.help/retrologue/v2/en/Retrologue_2_Operation_Manual_en.pdf)
- Valimaki, D.V.,& Huovilainen, G.H. (2006). Oscillator and Filter Algorithms for Virtual Analog Synthesis. Recuperado 25 mayo, 2018, de: [https://www.researchgate.net/publication/220386519\\_Oscillator\\_and\\_Filter\\_Algorithms\\_for\\_Virtual\\_Analog\\_Synthesis?enrichId=rgreq-aab74134f023a686d651d982621683cc-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdIOzlyMDM4NjUxOTtBUzo5OTgwNjAxODAxNTIzNkAxNDAwODA3MDE3MzYx&el=1\\_x\\_3&\\_esc=publicationCoverPdf](https://www.researchgate.net/publication/220386519_Oscillator_and_Filter_Algorithms_for_Virtual_Analog_Synthesis?enrichId=rgreq-aab74134f023a686d651d982621683cc-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdIOzlyMDM4NjUxOTtBUzo5OTgwNjAxODAxNTIzNkAxNDAwODA3MDE3MzYx&el=1_x_3&_esc=publicationCoverPdf)
- Villa Rojo, J. (2003). Notación y grafía musical en el siglo XX (pp. 267-268). Madrid, España: Iberautor.

## **ANEXOS**

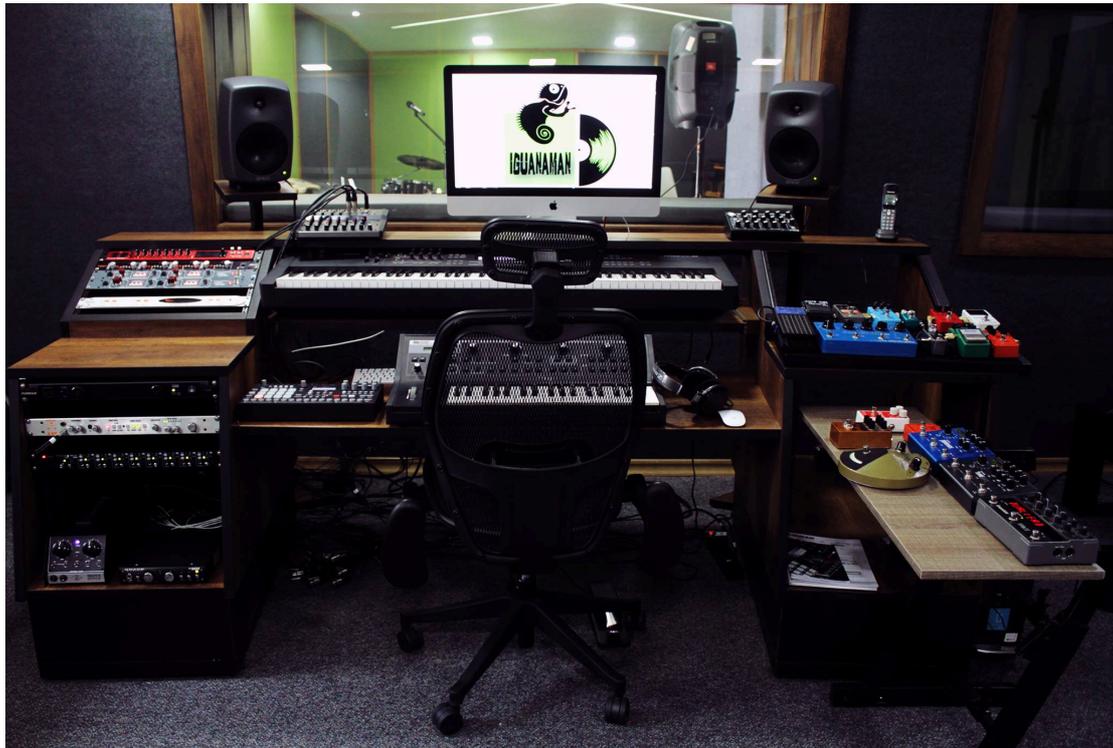


Figura 53. Estudio de IguanaMan Records donde se realizaron varias de las mediciones.  
Tomado de (IguanaMan, 2017)

Tabla 17.  
*THD total Mopho SE onda cuadrada.*

MOPH OND CUAd					
Frequency (Hz)	Level (dB)	Peak (dB)	Resta (dB)	Potencia (W)	Potencia Ref (W)
884.86089	-12.62	-8.68			
1765.529587	-37.79	-15.14	-25.17	3.040885E-06	5.470160E-05
2641.64832	-22.29	-16.76	-9.67	1.078947E-04	
3522.694651	-38.02	-20.1	-25.4	2.884032E-06	
4434.809815	-27.2	-20.57	-14.58	3.483373E-05	
5270.781343	-38.43	-23.44	-25.81	2.624219E-06	
6174.829922	-30.84	-23.49	-18.22	1.506607E-05	
7028.699885	-39	-25.94	-26.38	2.301442E-06	
8000.644989	-34.09	-28.41	-21.47	7.128530E-06	
8848.608897	-39.72	-28.15	-27.1	1.949845E-06	
			<b>TOTAL THD (%)</b>	<b>1.80</b>	

Tabla 18.  
THD total JU-06 Onda Cuadrada

JU06 OND CUDR2					
Frequency (Hz)	Level (dB)	Peak (dB)	Resta (dB)	Potencia (W)	Potencia Ref (W)
884.86089	-13.42	-8.01			
1765.52959	-40.58	-21.85	-27.16	1.923092E-06	4.549881E-05
2641.64832	-19.41	-13.83	-5.99	2.517677E-04	
3522.69465	-40.13	-29.93	-26.71	2.133045E-06	
4434.80982	-32.89	-26.26	-19.47	1.129796E-05	
5270.78134	-40.37	-28.83	-26.95	2.018366E-06	
6174.82992	-27.24	-21.03	-13.82	4.149540E-05	
7028.69989	-40.78	-23.54	-27.36	1.836538E-06	
8000.64499	-60.23	-44.25	-46.81	2.084491E-08	
8848.6089	-41.43	-35.41	-28.01	1.581248E-06	
<b>TOTAL THD (%)</b>				<b>2.63</b>	

Tabla 19.  
THD total Mopho SE Onda diente de sierra.

MOPH OND SAW					
Frequency (Hz)	Level (dB)	Peak (dB)	Resta (dB)	Potencia (W)	Potencia Ref(W)
884.86089	-13.78	-10.79			
1765.529587	-19.9	-15.8	-6.12	2.443431E-04	4.187936E-05
2641.64832	-23.58	-18.86	-9.8	1.047129E-04	
3522.694651	-26.28	-21.17	-12.5	5.623413E-05	
4434.809815	-28.45	-23.16	-14.67	3.411929E-05	
5270.781343	-30.24	-24.61	-16.46	2.259436E-05	
6174.829922	-31.83	-26.1	-18.05	1.566751E-05	
7028.699885	-33.28	-27.5	-19.5	1.122018E-05	
8000.644989	-37.37	-34.05	-23.59	4.375221E-06	
8848.608897	-35.85	-30.06	-22.07	6.208690E-06	
<b>TOTAL THD (%)</b>				<b>3.45</b>	

Tabla 20.

THD total JU-06 Onda diente de sierra.

JU06 OND SAW						
Frequency (Hz)	Level (dB)	Peak (dB)	Resta (dB)	Potencia (W)	Potencia Ref(W)	
310	884.86089	-13.82	-8.01			
358	1765.52959	-19.33	-15.87	-5.51	2.811901E-04	4.149540E-05
386	2641.64832	-23.1	-13.83	-9.28	1.180321E-04	
406	3522.69465	-25.76	-22.19	-11.94	6.397348E-05	
422	4434.80982	-36.83	-26.26	-23.01	5.000345E-06	
434	5270.78134	-29.69	-26.04	-15.87	2.588213E-05	
445	6174.82992	-31.25	-21.03	-17.43	1.807174E-05	
454	7028.69989	-32.65	-23.54	-18.83	1.309182E-05	
463	8000.64499	-63.37	-44.25	-49.55	1.109175E-08	
470	8848.6089	-35.22	-31.62	-21.4	7.244360E-06	
537				<b>TOTAL THD (%)</b>	<b>3.58</b>	

Tabla 21.

THD total Prophet REV2 onda cuadrada.

PR REV2 OND CUDR						
Frequency (Hz)	Level (dB)	Peak (dB)	Resta (dB)	Potencia (W)	Potencia Ref(W)	
884.86089	-12.92	-10.15				
1765.52959	-22.32	-18.7	-9.4	1.148154E-04	5.105050E-05	
2641.64832	-22.99	-18.48	-10.07	9.840111E-05		
3522.69465	-24.87	-21.23	-11.95	6.382635E-05		
4434.80982	-34.91	-30.27	-21.99	6.324119E-06		
5270.78134	-29.35	-25.56	-16.43	2.275097E-05		
6174.82992	-30.51	-26.88	-17.59	1.741807E-05		
7028.69989	-32.67	-28.94	-19.75	1.059254E-05		
8000.64499	-59.19	-48.78	-46.27	2.360478E-08		
8848.6089	-35.54	-32.22	-22.62	5.470160E-06		
			<b>TOTAL THD (%)</b>	<b>2.58</b>		

Tabla 22.

*THD total Subtractor onda cuadrada.*

SUB OND CUD2					
Frequency (Hz)	Level (dB)	Peak (dB)	Resta (dB)	Potencia (W)	Potencia Ref(W)
884.86089	-14.35	-10.77			
1765.529587	-97.51	-61.17	-83.16	#####	3.672823E-05
2641.64832	-29.23	-25.62	-14.88	#####	
3522.694651	-107.07	-65.83	-92.72	#####	
4434.809815	-42.23	-37.28	-27.88	#####	
5270.781343	-100.27	-65.61	-85.92	#####	
6174.829922	-24.96	-21.11	-10.61	#####	
7028.699885	-103.09	-61.04	-88.74	#####	
8000.644989	-61.54	-44.59	-47.19	#####	
8848.608897	-81.57	-65.64	-67.22	#####	
			<b>TOTAL THD (%)</b>	<b>1.82</b>	

Tabla 23.

*THD total Subtractor onda diente de sierra.*

SUB OND SAW2					
Frequency (Hz)	Level (dB)	Peak (dB)	Resta (dB)	Potencia (W)	Potencia Ref(W)
884.86089	-14.69	-10.77			
1765.529587	-24.07	-21.85	-9.38	#####	3.396253E-05
2641.64832	-29.56	-25.57	-14.87	#####	
3522.694651	-32.34	-29.93	-17.65	#####	
4434.809815	-42.62	-37.05	-27.93	#####	
5270.781343	-31.23	-28.83	-16.54	#####	
6174.829922	-25.31	-21.04	-10.62	#####	
7028.699885	-26.27	-23.54	-11.58	#####	
8000.644989	-64.45	-44.4	-49.76	#####	
8848.608897	-37.99	-35.53	-23.3	#####	
			<b>TOTAL THD (%)</b>	<b>3.21</b>	

Tabla 24.

THD total Prophet REV2 onda diente de sierra.

PR REV2 OND SAW					
Frequency (Hz)	Level (dB)	Peak (dB)	Resta (dB)	Potencia (W)	Potencia Ref(W)
884.86089	-13.09	-10.66			
1765.52959	-17.67	-14.6	-4.58	3.483373E-04	4.909079E-05
2641.64832	-21.56	-17.79	-8.47	1.422329E-04	
3522.69465	-24.55	-20.29	-11.46	7.144963E-05	
4434.80982	-38.95	-33.31	-25.86	2.594179E-06	
5270.78134	-28.69	-24.04	-15.6	2.754229E-05	
6174.82992	-30.15	-25.6	-17.06	1.967886E-05	
7028.69989	-31.41	-27.01	-18.32	1.472313E-05	
8000.64499	-61.06	-53.08	-47.97	1.595879E-08	
8848.6089	-34.35	-30.29	-21.26	7.481695E-06	
			<b>TOTAL THD (%)</b>	<b>3.59</b>	

Tabla 25.

THD total Prophet REV2 onda triangular.

PR REV2 OND TRIG					
Frequency (Hz)	Level (dB)	Peak (dB)	Resta (dB)	Potencia (W)	Potencia Ref(W)
884.86089	-14.4	-8.18			
1765.52959	-26.97	-18.45	-12.57	5.533501E-05	3.630781E-05
2641.64832	-28.48	-20.19	-14.08	3.908409E-05	
3522.69465	-29.64	-20.96	-15.24	2.992265E-05	
4434.80982	-40.25	-31.34	-25.85	2.600160E-06	
5270.78134	-33.41	-24.65	-19.01	1.256030E-05	
6174.82992	-34.9	-26.2	-20.5	8.912509E-06	
7028.69989	-37.32	-28.64	-22.92	5.105050E-06	
8000.64499	-63.1	-54.27	-48.7	1.348963E-08	
8848.6089	-41.06	-32.71	-26.66	2.157744E-06	
			<b>TOTAL THD (%)</b>	<b>2.07</b>	

Tabla 26.

*THD total Retrologue 2 onda diente de sierra.*

RETR STNB SAW					
Frequency (Hz)	Level (dB)	Peak (dB)	Resta (dB)	Potencia (W)	Potencia Ref(W)
884.86089	-14.92	-7.83			
1765.529587	-19.86	-18.28	-4.94	3.206269E-04	3.221069E-05
2641.64832	-23.67	-16.4	-8.75	1.333521E-04	
3522.694651	-26.47	-24.76	-11.55	6.998420E-05	
4434.809815	-38.24	-29.54	-23.32	4.655861E-06	
5270.781343	-30.47	-28.78	-15.55	2.786121E-05	
6174.829922	-31.99	-24.74	-17.07	1.963360E-05	
7028.699885	-33.31	-31.6	-18.39	1.448772E-05	
8000.644989	-69.38	-49.23	-54.46	3.580964E-09	
8848.608897	-35.47	-33.78	-20.55	8.810489E-06	
			<b>TOTAL THD (%)</b>	<b>4.31</b>	

Tabla 27.

*THD total Retrologue 2 onda triangular.*

RETR STNB TRNG					
Frequency (Hz)	Level (dB)	Peak (dB)	Resta (dB)	Potencia (W)	Potencia Ref(W)
884.86089	-14.84	-7.83			
1765.529587	-53.78	-18.28	-38.94	1.276439E-07	3.280953E-05
2641.64832	-33.23	-16.4	-18.39	1.448772E-05	
3522.694651	-66.87	-24.76	-52.03	6.266139E-09	
4434.809815	-52.09	-29.54	-37.25	1.883649E-07	
5270.781343	-74.37	-28.78	-59.53	1.114295E-09	
6174.829922	-48.94	-24.74	-34.1	3.890451E-07	
7028.699885	-78.93	-31.6	-64.09	3.899420E-10	
8000.644989	-84.43	-49.23	-69.59	1.099006E-10	
8848.608897	-81.86	-33.78	-67.02	1.986095E-10	
			<b>TOTAL THD (%)</b>	<b>0.68</b>	

Tabla 28.  
THD total Retrologue 2 onda cuadrada.

RETR STEIN CUDR					
Frequency (Hz)	Level (dB)	Peak (dB)	Resta (dB)	Potencia (W)	Potencia Ref(W)
884.86089	-10.22	-7.83			
1765.529587	-59.18	-55.26	-48.96	1.270574E-08	9.506048E-05
2641.64832	-19	-16.4	-8.78	1.324342E-04	
3522.694651	-61.98	-58.56	-51.76	6.668068E-09	
4434.809815	-33.47	-29.54	-23.25	4.731513E-06	
5270.781343	-65.06	-61.65	-54.84	3.280953E-09	
6174.829922	-27.4	-24.74	-17.18	1.914256E-05	
7028.699885	-68.11	-64.58	-57.89	1.625549E-09	
8000.644989	-61.03	-49.23	-50.81	8.298508E-09	
8848.608897	-71.03	-67.1	-60.81	8.298508E-10	
			<b>TOTAL THD (%)</b>	<b>1.28</b>	

Tabla 29.  
THD total Little Phatty onda cuadrada.

MOOG OND CUDR					
Frequency (Hz)	Level (dB)	Peak (dB)	Resta (dB)	Potencia (W)	Potencia Ref (W)
859.755574	-10.31	-8.24			
1715.437896	-20.61	-18.32	-10.3	9.33254E-05	9.31108E-05
2566.699346	-24.51	-22.34	-14.2	3.80189E-05	
3422.748588	-22.87	-20.44	-12.56	5.54626E-05	
4308.985176	-46.05	-43.37	-35.74	2.66686E-07	
5121.23848	-41	-35.14	-30.69	8.531E-07	
5999.637349	-32.74	-29.96	-22.43	5.71479E-06	
6829.281272	-50.79	-43.23	-40.48	8.95365E-08	
7773.650302	-31.86	-29.09	-21.55	6.99842E-06	
8597.555737	-52.95	-50.02	-42.64	5.44503E-08	
			<b>TOTAL THD (%)</b>	<b>1.47</b>	

Tabla 30.

*THD total Little Phatty onda diente de sierra.*

MOOG OND SAW					
Frequency (Hz)	Level (dB)	Peak (dB)	Resta (dB)	Potencia (W)	Potencia Ref(W)
859.755574	-16.2	-13.04			
1715.437896	-22.53	-19.18	-6.33	0.000232809	2.39883E-05
2566.699346	-25.38	-22.09	-9.18	0.000120781	
3422.748588	-26.89	-23.48	-10.69	8.531E-05	
4308.985176	-28.4	-24.7	-12.2	6.0256E-05	
5121.23848	-45.62	-38.24	-29.42	1.14288E-06	
5999.637349	-31.92	-28.27	-15.72	2.67917E-05	
6829.281272	-51.71	-42.86	-35.51	2.8119E-07	
7773.650302	-36.36	-32.43	-20.16	9.63829E-06	
8597.555737	-38.92	-35.08	-22.72	5.34564E-06	
			<b>TOTAL THD (%)</b>	<b>4.75</b>	

Tabla 31.

*THD total Little Phatty onda triangular.*

MOOG ONDS TRNG					
Frequency (Hz)	Level (dB)	Peak (dB)	Resta (dB)	Potencia (W)	Potencia Ref(W)
859.755574	-13.48	-10.73			
1715.437896	-42.07	-19.16	-28.59	1.38357E-06	4.48745E-05
2566.699346	-41.1	-22.09	-27.62	1.72982E-06	
3422.748588	-49.58	-23.48	-36.1	2.45471E-07	
4308.985176	-49.28	-24.64	-35.8	2.63027E-07	
5121.23848	-71.14	-38.24	-57.66	1.71396E-09	
5999.637349	-55.22	-28.18	-41.74	6.69885E-08	
6829.281272	-77.06	-42.86	-63.58	4.38531E-10	
7773.650302	-59.31	-32.27	-45.83	2.61216E-08	
8597.555737	-58.31	-34.83	-44.83	3.28852E-08	
			<b>TOTAL THD (%)</b>	<b>0.29</b>	

Electric Piano

The image shows a musical score for an electric piano. It consists of six systems of music. The first system is a grand staff with a treble and bass clef, containing a melodic line in the treble and a bass line in the bass. The second system through the fifth system show a more complex accompaniment with dense chords and rhythmic patterns in both hands. The sixth system shows the music ending with a final chord in the treble and a whole note in the bass. The score includes various musical notations such as notes, rests, accidentals, and dynamic markings. The text 'Electric Piano' is written in blue at the top left. The name 'Campos' is written in the top right corner of the first system. The name 'Ten' is written in green at the bottom right of the sixth system.

Figura 54. Hoja de música del piano eléctrico para la base de la melodía de las encuestas auditivas.



Slow Jam

COMPOSED

Figura 57. Hoja de música de la batería para la base de la melodía de las encuestas auditivas.

