



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LOPEZ MATEOS”

“EVALUACIÓN DE LA ARMONÍA EN UNA INTERPRETACIÓN MUSICAL ENTRE GUITARRA ELÉCTRICA Y BATERIA ACÚSTICA”

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA

PRESENTA:

MARCO ANTONIO ÁLVAREZ CHÁVEZ
ENRIQUE GONZÁLEZ CID DE LEÓN

ASESORES:

M. EN C. ITZALÁ RABADÁN MALDA
ING. JOAQUIN CONTRERAS ESTRADA
ING. ÉRICA FABIOLA OLMOS CASIANO



MÉXICO D.F.

2015

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”

TEMA DE TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN
DEBERA (N) DESARROLLAR

INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA
TESIS COLECTIVA Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL
C. MARCO ANTONIO ALVAREZ CHAVEZ
C. ENRIQUE GONZALEZ CID DE LEON

“EVALUACIÓN DE LA ARMONÍA EN UNA INTERPRETACIÓN MUSICAL ENTRE GUITARRA
ELÉCTRICA Y BATERÍA ACÚSTICA”

EVALUAR LA RESPUESTA EN FRECUENCIA DE UNA GUITARRA Y UNA BATERÍA ACÚSTICA A FIN DE
DETERMINAR DE MANERA OBJETIVA EL FENÓMENO DE LA ARMONÍA MUSICAL UTILIZANDO COMO
MÉTODO DE EVALUACIÓN EL DE ANÁLISIS GRÁFICO DE ESPECTROGRAMA.

- OBJETIVO
- JUSTIFICACIÓN
- INTRODUCCIÓN
- MARCO TEÓRICO
- METODOLOGÍA DE REGISTRO DE MUESTRAS
- ANÁLISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES
- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

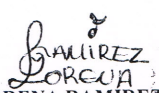
MÉXICO D.F. A 23 DE OCTUBRE DE 2015


ASESORES


M. EN C. LIZALA RABADÁN MALDA


ING. JOAQUÍN CONTRERAS ESTRADA


ING. ERICA FABIOLA OLMOS CASIANO


ING. PATRICIA LORENA RAMÍREZ RANGEL
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE
INGENIERÍA EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA



Índice

Objetivo	1
Justificación	2
Introducción	3
Capítulo 1 Marco Teórico	4
1.1 El Sonido	4
1.1.1 Es una onda mecánica	5
1.1.2 Es una onda longitudinal	5
1.1.3 Es una onda esférica	5
1.2 Condiciones de audibilidad.	6
1.3 Parámetros Subjetivos del Sonido	8
1.3.1 La Altura o tono	9
1.3.2 La sonoridad	9
1.3.3 El Timbre	10
1.3.4 Pitch	11
1.4 Acústica Musical	12
1.5 Música	12
1.5.1 Ritmo	13
1.5.2 Armonía	13
1.5.3 Melodía	14
1.6 Nota Musical	14
1.7 La Escala Cromática o Temperada	15
1.8 La Escala Pentatónica	16
1.9 Rangos de Frecuencias de los Instrumentos	17
1.10 Guitarra Eléctrica	20
1.10.1 El Cuerpo	20
1.10.2 El Clavijero	22
1.10.3 El Mástil	23
1.10.4 El Diapasón	23
1.10.5 Controles de Volumen y Tono	24
1.10.6 Afinación	25

1.11 Batería acústica-----	26
1.11.1 Piezas-----	27
1.11.2 Platillos -----	28
1.11.3 Baquetas-----	31
1.11.4 Pedales-----	32
1.11.5 Afinación -----	34
Capitulo 2 Metodología de registro de muestras -----	36
2.1 Toma de muestras de la Batería. -----	36
2.2 Toma de muestras de la Guitarra Eléctrica. -----	39
2.3 Determinación de la sección armónica a analizar subjetivamente.-----	40
2.4 Proceso de análisis para determinar la armonía objetivamente.-----	41
2.5 Archivos de audio para el análisis espectral. -----	42
Capitulo 3 Análisis de resultados -----	44
3.1 Análisis espectral de la señal de batería acústica.-----	44
3.2 Análisis espectral de la señal mezclada de guitarra y batería acústica. -----	48
3.3 Análisis espectral de la señal de Guitarra Eléctrica -----	57
3.4 Análisis espectral de las señales de Guitarra Eléctrica vs Guitarra y Batería Acústica-----	63
Conclusiones y observaciones -----	73
Referencias bibliográficas -----	75

Objetivo

Evaluar la respuesta en frecuencia de una guitarra y una batería acústica, a fin de determinar de manera objetiva el fenómeno de la armonía musical utilizando como método de evaluación el de análisis gráfico o de espectrograma, para la cual deberá respetarse el siguiente orden:

- 1.- Obtener el registro individual de la señal emitida individualmente por los instrumentos.
- 2.- Obtener la gráfica de ambos instrumentos interpretando en una sesión musical.
- 3.- Identificar las diferencias entre los resultados de los puntos 1 y 2, identificando las partes donde los intérpretes marcan la existencia de sonidos consonantes.
- 4.- Analizar los resultados obtenidos en el punto 3, a fin de resaltar la señal mostrada por un sonido consonante, es decir armónico entre guitarra y batería acústica.

Justificación

Una de las muchas habilidades que debe tener el egresado de la especialidad de acústica de la carrera de Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica es la que se refiere al análisis de señales acústicas, de entre ellas las correspondientes a la música representan un área de desarrollo para el futuro diseñador de sintetizadores, o bien para el especialista en manejo de los nuevos sistemas de edición de audio, por ejemplo.

Por otro lado, se encuentran muy pocos trabajos publicados acerca del enfoque objetivo de los parámetros medibles de la música, lo cual en si mismo es razón de ser la acústica musical; así entonces, la evaluación de la armonía a partir del análisis gráfico de señal representa un campo prácticamente virgen para el desarrollo de proyectos de investigación en escuelas de educación superior, tal como es el caso de ESIME Zacatenco.

El caso peculiar de la armonía existente entre una guitarra eléctrica y una batería resulta interesante ya que estos dos instrumentos no solo pertenecen a dos familias diferentes (cuerdas y percusiones) sino que además, la guitarra lleva la melodía mientras la batería presenta ritmos, entonces la pregunta es: ¿cómo visualizar el o los momentos en que ambos instrumentos logran forjar una armonía entre ellos?, hallar la respuesta concierne al especialista en acústica musical, las aplicaciones corresponden a todos aquellos relacionados con la música, el audio y el procesamiento de señales.

Introducción

La música es un arte que ha acompañado al ser humano casi desde su aparición en la tierra, nos atrevemos a decir que es una de las artes de más fácil asimilación por nuestra parte. Además: “La música es al mismo tiempo un arte y una ciencia, por lo cual debe ser apreciada emocionalmente y comprendida intelectualmente. Como ocurre con cualquier arte y con cualquier ciencia, no existe límites a su perfeccionamiento ni a su comprensión”¹.

Así pues, la ciencia que se encarga del estudio de la música y de los instrumentos generadores de esta, es la acústica musical. Es en esta disciplina que se busca “medir la música”, cosa nada fácil ya que como todo aquello que involucra al ser humano es difícil hallar definiciones, conceptos o inclusive fórmulas que determinen con exactitud el comportamiento físico de la música; tal vez en este punto pudiéramos pensar que, por el contrario, los instrumentos musicales son mucho más sencillos, son en realidad, verdaderas maquinarias de ingeniería.

Por otro lado dentro del ámbito de la música la armonía se define como los sonidos producidos por dos o más instrumentos tocando unísono, llamándose a la agradabilidad de esa combinación el término consonancia y a la desagradabilidad del mismo fenómeno el término disonancia.

Finalmente, la evaluación de los parámetros musicales, como en muchos casos de la ciencia acústica, se dificulta por que en la buena medida se depende de descripciones subjetivas, por lo cual se aplican métodos de análisis estadísticos, para lo cual se requiere siempre la toma de muestras proporcionadas por especialistas o bien directamente por el usuario de un sistema acústico, en nuestro caso en particular, los músicos y en algunos casos los luthiers o luthiers (fabricantes de instrumentos musicales) o bien las personas involucradas en el procesamiento de señales musicales.

Por las razones explicadas en los párrafos anteriores, este trabajo propone el estudio serio, de ingeniería, para la visualización gráfica del fenómeno musical conocido como armonía.

¹ Salvat-Grandes Compositores.

Capítulo 1 Marco Teórico

1.1 El Sonido

El sonido es una vibración que se propaga en un medio elástico (sólido, líquido o gaseoso), generalmente el aire, capaz de excitar el sentido del oído. Otra definición para el sonido podría ser: Es la sensación producida en el oído por la vibración de las partículas que se desplazan (en forma de onda sonora) a través de un medio elástico que las propaga.

Para que se produzca un sonido se requiere la existencia de un cuerpo vibrante llamado "foco" (una cuerda tensa, una varilla, una lengüeta...) y del medio elástico transmisor de esas vibraciones, las cuales se propagan a través constituyendo la onda sonora y un oído humano. En ocasiones, para imaginar cómo se produce una onda de este tipo se utiliza el símil mecánico que aparece representado a continuación en la figura 1.1.



Figura 1.1 Arreglo masa-resorte para ejemplificar la transmisión del sonido

Si se hace vibrar horizontalmente la primera masa, las restantes se mueven a su vez, oscilando hacia adelante y hacia atrás, una tras otra, pudiendo ver así una onda que se desplaza lo largo de la cadena de masas y muelles.

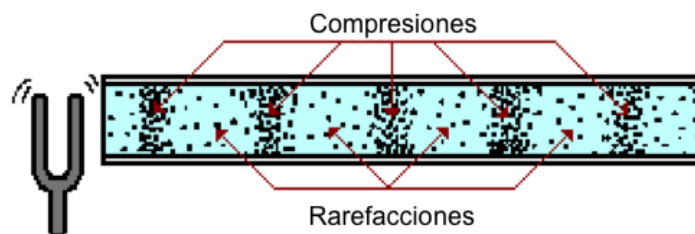


Figura 1.2 Representación de una onda mecánica transmitida por medio del aire

La figura 1.2 es una imagen rudimentaria de cómo se transmiten las ondas sonoras, pero nos permite comprender que cuando un foco vibra en el aire, "obliga" a que las partículas de ese medio entren a su vez en vibración, siempre con cierto retraso con respecto a las anteriores. Su avance se traduce en una serie de compresiones o regiones donde las partículas del medio se aproximan entre sí en un momento dado y rarefacciones o regiones donde las partículas estarán más separadas entre sí. Debido a que estas compresiones y rarefacciones avanzan con la onda, podemos afirmar que una onda sonora es una onda de presión.

Como onda, el sonido responde a las siguientes características:

1.1.1 Es una onda mecánica

Además, de que exista un medio material, se requiere que éste sea elástico. Un medio inelástico no permite la transmisión del sonido, porque no permite las vibraciones.

La propagación de la perturbación se produce por la compresión y expansión del medio por el que se propagan. La elasticidad del medio permite que cada partícula transmita la perturbación a la partícula adyacente, dando origen a un movimiento en cadena, por tanto en el vacío no será posible la transmisión de una onda sonora.

1.1.2 Es una onda longitudinal

El movimiento de las partículas que transporta la onda se desplaza en la misma dirección de propagación de la onda.

1.1.3 Es una onda esférica

Las ondas sonoras son ondas tridimensionales, es decir, se desplazan en tres direcciones y sus frentes de ondas son esferas radiales que salen de la fuente de perturbación en todas las direcciones. El principio de Huygens afirma que cada uno de los puntos de un frente de ondas esféricas puede ser considerado como un nuevo foco emisor de ondas secundarias también esféricas, que como la originaria,

avanzarán en el sentido de la perturbación con la misma velocidad y frecuencia que la onda primaria.

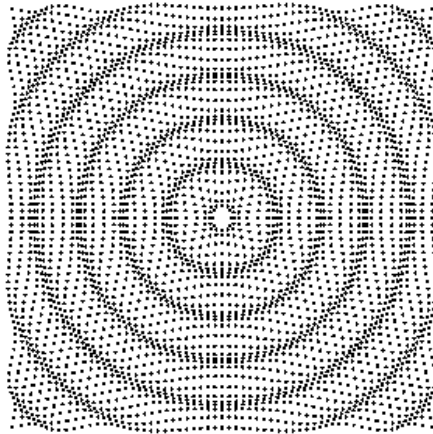


Figura 1.3 Representación de una onda esférica

1.2 Condiciones de audibilidad.

Para que en el ser humano exista el fenómeno de oír, existen dos condiciones primordiales que se deben de cumplir, la primera se refiere a la frecuencia y es que, para ser oída, la vibración deberá encontrarse en el rango de 20 a 20000 oscilaciones por segundo o Hertz (Hz), que es llamado rango audible. La segunda condición se refiere al nivel de presión sonora medida en decibeles (dB), rango ubicado entre los 0 dB a 120 dB (ver la Figura 1.4).

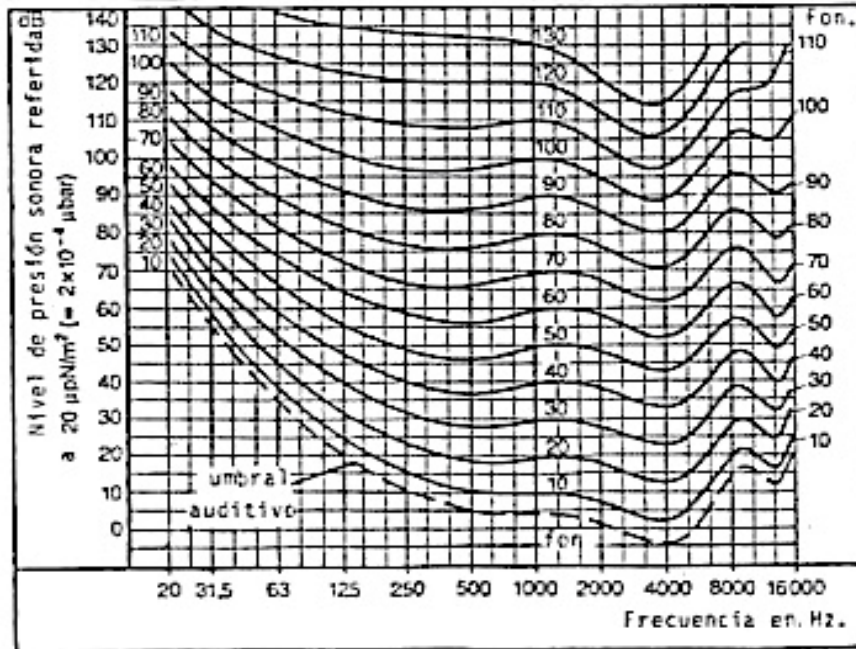


Figura 1.4 Curvas de igual sonoridad.

En la figura 1.5 se observa los niveles críticos de presión, con su equivalente en intensidad, que soporta el oído humano, además se observan las variaciones de estas curvas con la edad.

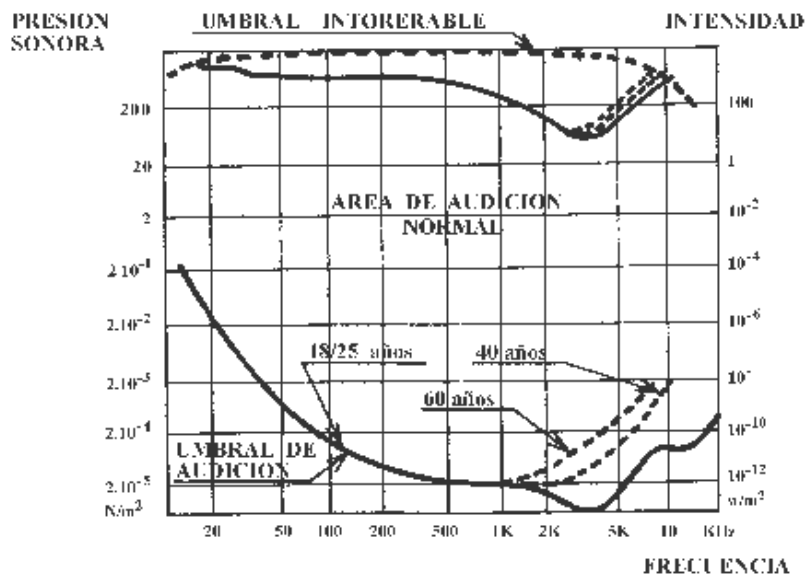


Figura 1.5 Variación de la presión sonora contra la frecuencia, para los umbrales auditivos.

Ahora bien, ya mencionado que la audición humana tiene ciertos límites de frecuencia (20 Hz a 20 KHz) y presión (0 a 120 dB), el oído es capaz de discriminar y clasificar sonidos de acuerdo a una cierta interpretación por la cual podemos definir en los términos mencionados la música y la palabra. En la figura 1.6 se puede observar cómo es mucho menor el rango en frecuencia, pero sobre todo en amplitud para las señales de música (las cuales se encuentran aproximadamente entre los 60 dB en 50 Hz y los 40 dB en 15,000 Hz) y aún menor para la voz que el rango audible.²

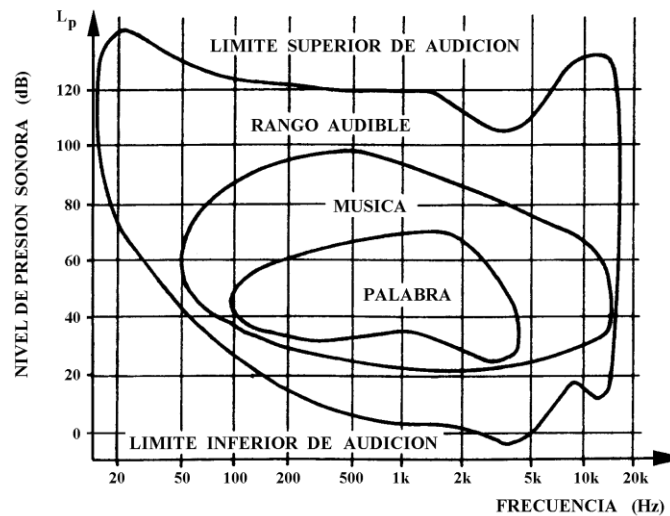


Figura 1.6 Comparación en rangos de música y palabra respecto al rango audible.

1.3 Parámetros Subjetivos del Sonido

Cuando escuchamos un sonido, percibimos sensaciones que pueden ser clasificadas en tres tipos: la altura o tono, la sonoridad, el pitch y el timbre.

Nota: Es importante conocer los siguientes 3 conceptos para comprender mejor y poder continuar con la lectura:

² Malda, I. R. (2013). Capítulo 1. Definiciones y conceptos generales de la teoría de la música. In *Apuntes de acústica musical*. México, Distrito Federal, México.

Frecuencia fundamental: Es la frecuencia más baja que forma parte de un sonido complejo.

Sobretono: Cualquier múltiplo (entero o fraccionario) de la frecuencia fundamental.

Armónico: Es aquel sobretono que corresponde a un múltiplo entero de la frecuencia fundamental.

1.3.1 La Altura o tono

Es la sensación que nos permite distinguir los sonidos graves de los agudos, y, más específicamente, diferenciar los sonidos de una escala musical.³

La relación entre frecuencia fundamental y altura, es bastante directa, correspondiendo las bajas frecuencias a sonidos graves y las altas frecuencias a sonidos agudos (ver figura 1.7).

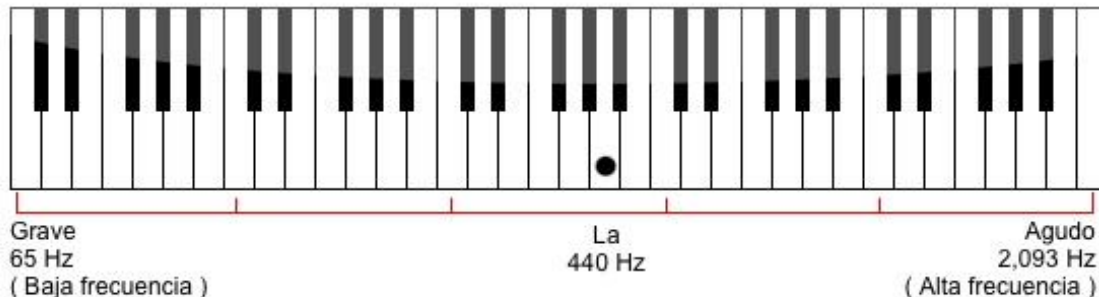


Figura 1.7 Relación entre la frecuencia y altura en un teclado de 5 octavas, donde es marcado La central, cuya frecuencia se encuentra normalizada internacionalmente a 440 Hz.

1.3.2 La sonoridad

La sonoridad, volumen o intensidad de sonido, es la sensación por la cual distinguimos un sonido fuerte, de uno débil, en principio es relacionada generalmente con la amplitud, sin embargo también es dependiente de la frecuencia ya que como primer caso, a una misma frecuencia, la sonoridad dependerá 100% de la amplitud

³ Miyara, F. (s.f.). Acústica y sistemas de sonido. *Soporte Teórico*, Pag. 18 -19.

como se muestra en la figura 1.8, y como segundo caso si las frecuencias son distintas, la sonoridad dependerá primordialmente de la frecuencia sobre la que estemos trabajando (ejemplo en la figura 1.9).⁴

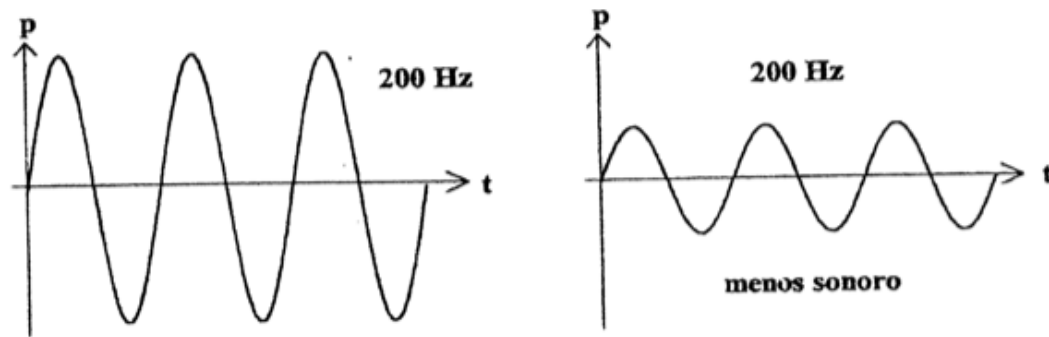


Figura 1.8 Representación gráfica de dos sonidos de misma frecuencia (200 Hz).

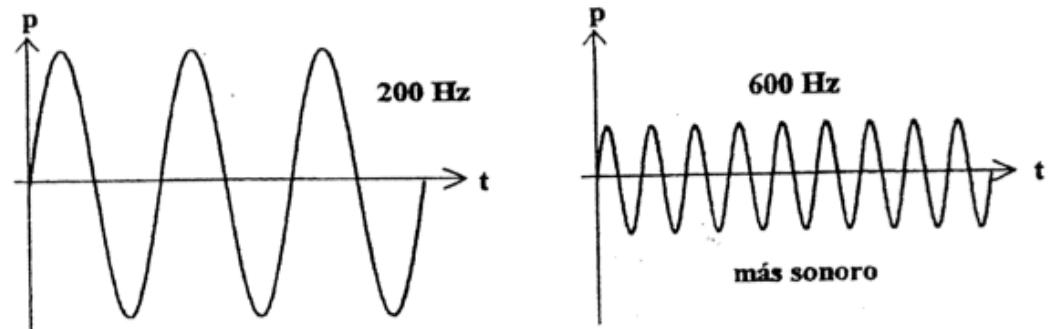


Figura 1.9 Representación gráfica de dos sonidos con diferente frecuencia.

1.3.3 El Timbre

Es la interpretación que el cerebro humano da al conjunto de sobretonos (armónicos e inarmónicos) que acompañan a cualquier sonido.

⁴ Miyara, F. (s.f.). Acustica y sistemas de sonido. *Soporte Teórico*, Pag 20.

1.3.4 Pitch

Definición Conceptual

El término pitch define al atributo de la sensación auditiva en términos de cuales sonidos podrían ser ordenados en una escala musical.⁵

También se puede describir al pitch como ese atributo del sonido según el cual los sonidos pueden ser ordenados sobre una escala desde bajo hasta alto. El pitch depende principalmente del contenido frecuencial del estímulo sonoro, pero también depende de la presión del sonido y el estímulo debido a la forma de onda.⁶

Finalmente, se define al pitch como la percepción de la frecuencia fundamental de un sonido, es decir el estimado que nuestro cerebro hace para percibir la frecuencia fundamental de un sonido.

Definición Operacional

La forma habitual en que se mide el pitch es la siguiente:

Un escucha es presentado con dos sonidos: Un sonido destino (final), por el cual el pitch está por determinarse, y un sonido a emparejar (o coincidente).

Usualmente se usa un tono puro para el sonido a emparejar. Los niveles del sonido final y el sonido coincidente son ecualizados para evitar diferencias en el nivel de la percepción del pitch.

Los sonidos son reproducidos secuencialmente o simultáneamente, para esto se le asigna al escucha la tarea de ajustar la frecuencia fundamental del sonido coincidente de tal manera que empareje este mismo con el sonido final (en este caso es un sonido de referencia).

⁵ Association (ASA, 1960)

⁶ The American National Standards Institute (ANSI, 1994)

La frecuencia fundamental del sonido coincidente es grabado y anotado y se repite varias veces con diferentes escuchas.

La información es resumida y si la distribución de las frecuencias fundamentales muestran un pico claro alrededor de cierta frecuencia, se dice que el sonido final (sonido de referencia) tiene un pitch correspondiente a esa frecuencia.

1.4 Acústica Musical

La acústica musical es aquella parte de la ciencia acústica que trata del estudio de las relaciones entre esta ciencia y el arte musical. Se ocupa particularmente de los principios de las distintas teorías musicales, de los problemas sonoros y de la constitución y funcionamiento de los instrumentos musicales (organología), del uso de los sistemas de grabación, de la modificación electrónica de la música y el estudio de su percepción.

Las relaciones entre el arte musical y la ciencia acústica se han estrechado de tal forma, que es imprescindible que, por una parte el músico conozca las leyes que rigen los principios físicos por los que se rige la música, y por otra parte, el físico acústico que desarrolla su profesión en relación con el arte musical, disponga de los conocimientos necesarios como para poder desarrollar con éxito su trabajo. Es por eso que la teoría de este arte debe comenzar por el estudio del hecho sonoro y de las diversas formas de su producción.⁷

1.5 Música

La música (del griego: μουσική [τέχνη] - mousikē [téchnē], "el arte de las musas") es, según la definición tradicional del término, el arte de organizar sensible y lógicamente una combinación coherente de sonidos y silencios utilizando los principios fundamentales de la melodía, la armonía y el ritmo, mediante la intervención de complejos procesos psico-anímicos.

⁷ Universidad de Valladolid. (2006). *Acustica Musical*. Retrieved 2 de Abril de 2014 from [www.lpi.tel.uva.es:
http://tanis.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_05_06/io2/public_html/introduccion.html](http://tanis.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_05_06/io2/public_html/introduccion.html)

La música, como toda manifestación artística, es un producto cultural. El fin de este arte es suscitar una experiencia estética en el oyente, y expresar sentimientos, circunstancias, pensamientos o ideas. La música es un estímulo que afecta el campo perceptivo del individuo; así, el flujo sonoro puede cumplir con variadas funciones entretenimiento, comunicación, ambientación, etc..

1.5.1 Ritmo

Es la división regular del tiempo. El ritmo está relacionado con cualquier movimiento que se repite con regularidad en el tiempo, en la música se lo divide por medio de la combinación de sonidos y silencios de distinta duración.

1.5.2 Armonía

La armonía se fundamenta sobre las mismas cualidades del sonido que la melodía: altura, duración y timbre (cada acorde tiene una sonoridad concreta y determinada, dependiendo de los intervalos que lo formen y el grado de la escala sobre el que se construya). Mientras la melodía es una organización de sonidos sucesivos, la armonía consiste en la organización de los sonidos simultáneos. Por lo tanto, la armonía se basa en los **intervalos armónicos**.

Las definiciones habituales de la armonía suelen describirla como la ciencia que enseña a constituir los acordes y que sugiere la manera de combinarlos en la manera más equilibrada, consiguiendo así sensaciones de relajación, sosiego (armonía consonante), y de tensa e hiriente (armonía disonante o dispuesta).

Esta definición se basa en la idea de que ciertas combinaciones de sonidos (intervalos o acordes) producen al oyente una sensación de tensión (combinaciones que se llaman disonantes) y otras producen una sensación de reposo o calma (combinaciones consonantes).

Esta diferencia entre sonidos consonantes y disonantes tiene una base acústica: cada sonido incluye dentro de sí a varios sonidos que suenan con menor volumen (llamados armónicos); cuando la combinación de sonidos ejecutados incluye a varias

notas con sonidos armónicos en común, tales combinaciones serán percibidas como consonantes.

1.5.2.1 Consonancia

Sonidos que el oído percibe de forma distendida, es decir, van a sonar sin ser rechazados por el oído, son sonidos que le agradan al escucha.⁸

1.5.2.2 Disonancia

Sonidos que el oído percibe con tensión, que parece que se repelen y chocan entre si y son rechazados por nuestro oído, es decir, son sonidos que, al menos de inicio, suelen desagradar al oyente.⁵

1.5.3 Melodía

Es un conjunto de sonidos (concebidos dentro de un ámbito sonoro particular) que suenan sucesivamente uno después de otro (concepción horizontal), y que se percibe con identidad y sentido propio. También los silencios forman parte de la estructura de la melodía poniendo pausas al “discurso melódico”.

1.6 Nota Musical

Una nota es un concepto musical que sirve para expresar la altura o tono de un sonido. En el campo de ingeniería, las notas son nombres dados a frecuencias específicas, que permiten decir que un sonido musical corresponde a cierta nota o que es una combinación de varias notas. Una nota puede denotarse según la convención musical o mediante la expresión de su frecuencia, por ejemplo La_4 es igual a 440 Hertz, o vibraciones por segundo, en afinación estándar.

A diferencia del ruido (música), una nota musical describe un patrón constante y controlado de vibraciones o frecuencia, que permite definirlo correctamente y

⁸ <https://mcarmenfer.wordpress.com/2011/02/20/la-armonia-consonancia-y-disonancia/>

reproducirlo en distintos medios de creación de ondas sonoras, por lo cual, una nota se puede reproducir con la misma afinación exacta en una cuerda frotada, punteada, en una vibración metálica e incluso en una madera percutida.

La nota musical es un signo gráfico que representa y determina la altura de los sonidos musicales. Las notas son DO, RE, MI, FA, SOL ,LA y SI. Son colocadas sobre líneas y espacios, determinando la altura relativa según las distintas posiciones que adopten sobre el pentagrama (ver figura 1.10).⁹



Figura 1.10 Notas en el pentagrama en clave de sol

1.7 La Escala Cromática o Temperada

El último cambio para las escalas fue en el siglo XVII, donde los semitonos deben ser iguales, es decir que la distancia que existe entre cada nota vecina debe ser igual a la raíz doceava de dos, esto fue elaborada por el alemán Andreas Werckmeister, y fue llamado “Sintonización bien temperada” o “Temperamento igual”. La escala cromática tiene 12 semitonos iguales y cada uno de estos semitonos se dividen en 100 partes iguales, estos son llamados centavos de semitonos.

La fórmula que se utiliza para calcular la escala cromática es:

$$F2 = 12\sqrt{2} F1 \text{ cuando } F2 > F1$$

⁹ Angelica Elvira, A. (2009). *Estudio comparativo de dos guitarras acusticas*. Tesis Curricular, Instituto Politecnico Nacional, Especialidad de Acustica, México. Pags 31-32.

Y para las frecuencias $F2 < F1$ la fórmula será:

$$F2 = \frac{F1}{12\sqrt{2}}$$

Tabla 1.1 Octava en escala temperada (cromática) tomando como base el tono $La_4 = 440$ Hz.

Cromática	261.63	277.18	293.66	311.13	329.63	349.23	369.99	392.00	415.30	440.00	466.16	493.88
	Do	Do#	Re	Re#	Mi	Fa	Fa#	Sol	Sol#	La	La#	Si

1.8 La Escala Pentatónica

Esta escala se utiliza más para el género de rock, heavy metal y blues, está conformada solo por 5 tonos, se encuentra separada por un tono o un tono y medio representados por T y TS, en el ejemplo mostrado en la tabla 1.2 el valor de T será (9/8) y para TS (27/32), de acuerdo a esto se puede construir escalas mayores y menores, la combinación de sonidos más pura es la quinta, es decir, el intervalo musical entre dos notas.

Tabla 1.2 Ejemplo de escala pentatónica

293.33	8:9	330.00	27:32	391.11	8:9	440.00	8:9	495.00	27:32	586.67
Re ₄		Mi ₄		Sol ₄		La ₄		La ₄		Re ₅

La distancia de 9/8 se llama tono (T). La distancia de 32/27 es igual a 1.5 tonos (TS). Esta serie de cinco intervalos musicales, T-TS-T-T-TS se llama escala pentatónica, y el sistema musical en que se usa esta escala, se llama pentafonía.

Además de los géneros musicales mencionados al inicio de este apartado, la pentafonía se usa en la mayoría de los sistemas musicales tradicionales, ya que es la escala más simple e intuitiva.

1.9 Rangos de Frecuencias de los Instrumentos

A continuación se mostraran en la siguiente figura los rangos de frecuencia de frecuencias fundamentales de los instrumentos musicales (Figura 1.11,1.12 y 1.13) y una tabla (Tabla 1.3) donde se hace mención de las frecuencias sobre las que se han utilizado en este trabajo. Es recomendable analizar mas de una opción, ya que pueden haber pequeñas variaciones entre ellas por ello que se consultaron 3 diferentes fuentes para conocer las bandas de frecuencias de instrumentos musicales y de voz.

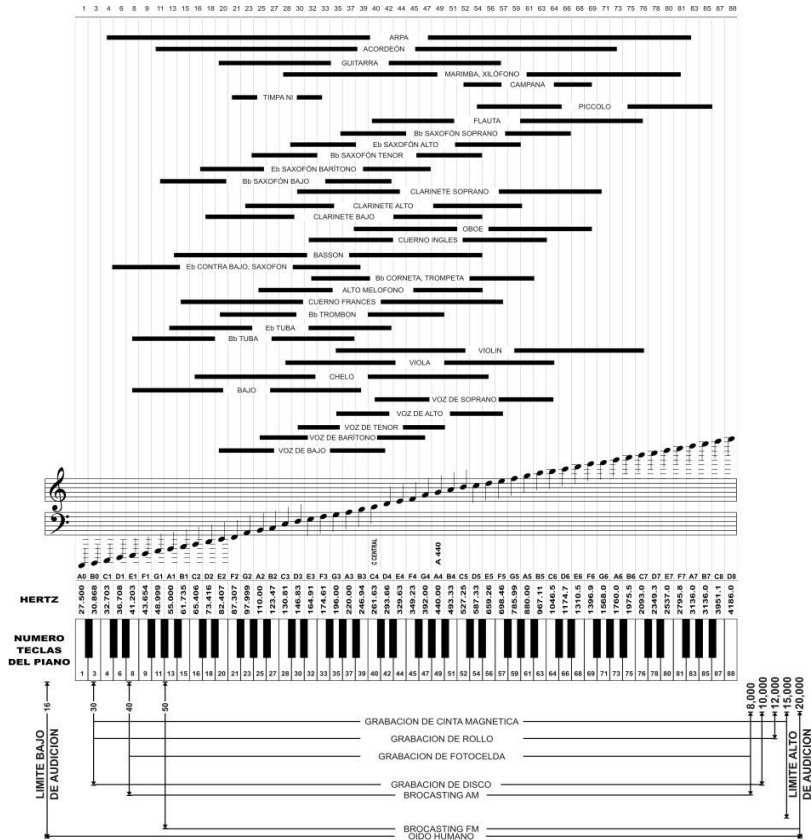
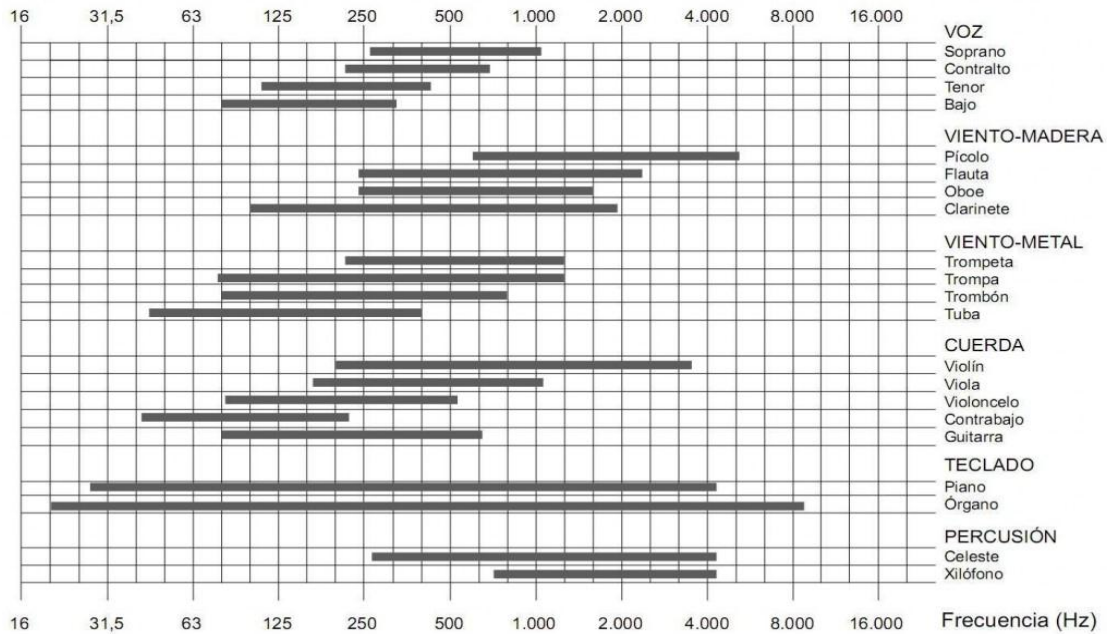


Figura 1.11 Rango de frecuencias de los tonos fundamentales de las notas de los instrumentos musicales por <http://www.musicologos.net>.



Bandas de frecuencias de instrumentos musicales y de la voz

Figura 1.12 Rango de frecuencias de los tonos fundamentales de las notas de los instrumentos musicales por <http://eltamiz.com>.

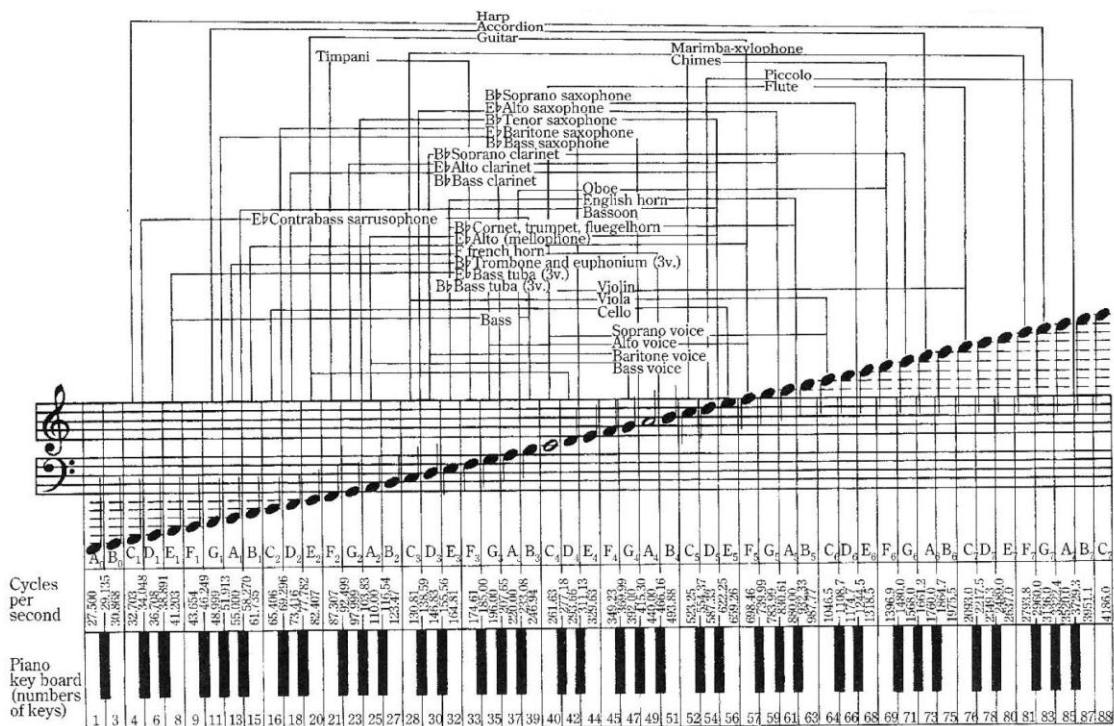


Figura 1.13 Rango de frecuencias de los tonos fundamentales de las notas de los instrumentos musicales por astormastering.com.ar.

Tabla 1.3 Rango de frecuencias de los instrumentos musicales de hispasonic.com.

Instrumento	Fundamental (Hz)	Armónicos
<i>Flauta</i>	261-2349	3-8 KHz
<i>Oboe</i>	261-1568	2-12 KHz
<i>Clarinete</i>	165-1568	2-10 KHz
<i>Fagot</i>	62-587	1-7 KHz
<i>Trompeta</i>	165-988	1-7.5 KHz
<i>Trombón</i>	73-587	1-4 KHz
<i>Tuba</i>	49-587	1-4 KHz
<i>Tambor</i>	100-200	1-20 KHz
<i>Bombo</i>	30-147	1-6 KHz
<i>Platillos</i>	300-587	1-15 KHz
<i>Violín</i>	196-3136	4-15 KHz
<i>Viola</i>	131-1175	2-8.5 KHz
<i>Cello</i>	65-698	1-6.5 KHz
<i>Bajo acústico</i>	41-294	1-5KHz
<i>Bajo eléctrico</i>	41-300	1-7 KHz
<i>Guitarra acústica</i>	82-988	1-15 KHz
<i>Guitarra eléctrica (amplificador)</i>	82-1319	1-3.5 KHz
<i>Guitarra eléctrica (Línea directa)</i>	82-1319	1-15 KHz
<i>Piano</i>	28-4196	5-8 KHz
<i>Saxo Soprano</i>	247-1175	2-12 KHz
<i>Saxo alto</i>	175-698	2-12 KHz
<i>Saxo tenor</i>	131-494	1-12 KHz
<i>Cantante</i>	87-392	1-12 KHz

1.10 Guitarra Eléctrica

A continuación se hará mención de las partes con las que cuenta una guitarra eléctrica. Los que ya conocen las partes de una guitarra acústica verán gran número de similitudes en el clavijero, y mástil. Y es que tanto su forma como su fabricación pueden ser parecidas. La parte en la que más se diferencian es sin duda el cuerpo, que es donde se sitúan las pastillas y demás circuitería que sustituyen a la caja resonante de las guitarras acústicas, que es la que da el sonido característico de este instrumento musical.

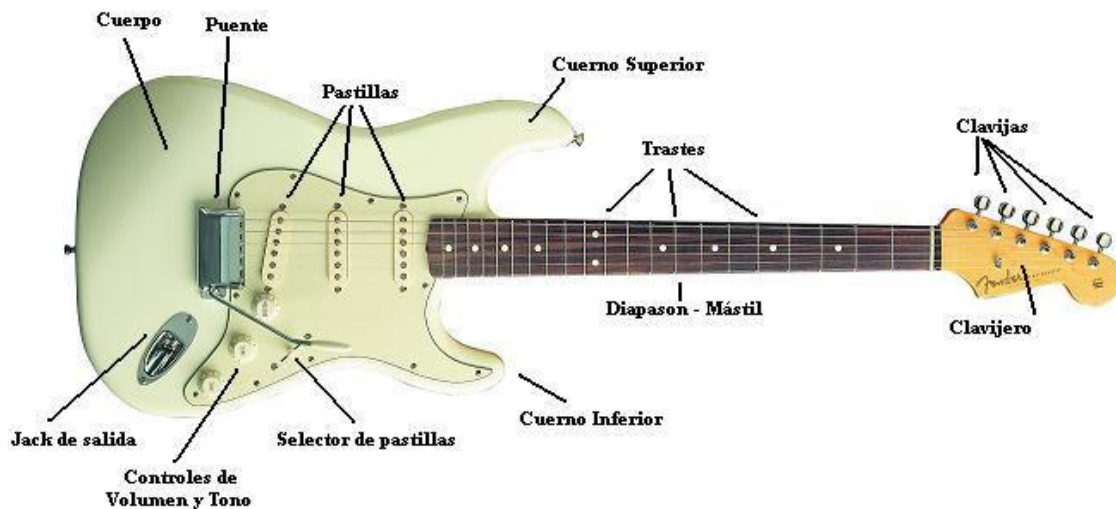


Figura 1.14 En esta imagen podemos ver situada las distintas partes de la guitarra eléctrica.

1.10.1 El Cuerpo

El cuerpo de la guitarra eléctrica es fundamental desde dos puntos de vista, el estético y el del sonido. Hay que tener en cuenta que contiene todas las partes que se necesitan para enviar el sonido sin amplificar, que son las pastillas, los controles de tono y volumen, el selector de pastillas y el jack de salida.

Normalmente el cuerpo esta formado por un bloque de madera sólida, donde se han realizado los cortes necesarios para colocar las distintas partes de la guitarra, como las pastillas.

Una característica muy importante viene del hecho que el cuerpo tiene uno o dos cuernos, en la figura se señalan como superior e inferior. El inferior ayuda al acceso a los trastes mas altos mientras que el superior no tiene otro uso que el puramente estético como se muestra en la figura 1.15.



Figura 1.15 Cuerpo convencional de una guitarra eléctrica.

La diferencia fundamental con una guitarra acústica es simple, estas últimas necesitan tener una caja de resonancia que amplifique el sonido que produce la cuerda. Es decir, para una guitarra no amplificada su cuerpo actúa como un altavoz amplificando el sonido. En una guitarra eléctrica, por tanto, no es necesaria la caja de resonancia. Además la construcción de los cuerpos de la guitarra en maderas macizas tienen otra ventaja: la caja de resonancia recibe potencia de la cuerda haciendo que esta pierda su fuerza mucho más rápido que la cuerda de la guitarra eléctrica. En cambio, la madera maciza no absorbe esta potencia y permite que la cuerda vibre durante más tiempo. A la duración del sonido de una cuerda se le llama normalmente "sustain" y para los guitarristas suele ser muy importante.

1.10.2 El Clavijero

El clavijero, como en la guitarra acústica, es el segundo punto de enganche de las cuerdas. Cada una se enrosca en unos tornos llamados clavijas que permiten tensar o destensar las cuerdas según las necesidades para afinar correctamente.



Figura 1.16 Clavijero de una guitarra eléctrica.

Normalmente en el clavijero viene la marca de la guitarra y el corte es característico de cada uno. Además las clavijas pueden colocarse las seis en un lado (modelo Fender) o 3 a cada lado como las guitarras clásicas. Eso depende del diseño.

Hay algunas guitarras que poseen unos tornillos al comienzo del diapasón que permiten fijar las cuerdas de tal manera que no se puedan desafinar al tocar las clavijas de nuevo.



Figura 1.17 clavijas utilizadas para las guitarras eléctricas.

1.10.3 El Mástil

El mástil es la pieza que sobresale del cuerpo y donde se coloca el diapasón. Es una pieza muy importante ya que aguanta toda la tensión de las cuerdas, y si no es de buena calidad puede llegar a pandearse dejando la guitarra inservible. Esta es la razón de que se aconseja que cuando se deja una guitarra sin usar por largos periodos de tiempo es aconsejable dejarla un par de tonos más baja que el afinado correcto, si se dejara más, o sin cuerdas pondría suceder lo contrario, que se pandea hacia fuera, efecto también indeseable.

1.10.4 El Diapasón

El diapasón se sitúa en la parte frontal del mástil y es donde se colocan los trastes. Es la zona donde se pulsan las cuerdas para que suenen los distintos acordes. Las maderas que se suelen utilizar en su fabricación son palisandro, arce, o ébano, u otros tipos de maderas duras.

Los trastes son unos salientes metálicos que se insertan en el diapasón para permitir tensar la cuerda con exactitud. Esto es completamente diferente a otros instrumentos de cuerda como el violín que al no estar trasteados requieren de una gran precisión

para colocar el dedo y que suene la nota correcta. La distancia entre los trastes va decreciendo según nos acercamos al cuerpo de la guitarra. Normalmente y sobretodo en guitarras acústicas y eléctricas hay incrustados además unos marcadores de posición. Estos están colocados en los trastes 3, 5, 7, 9, 12, 15, 17, 19, 22 y 24.

1.10.5 Controles de Volumen y Tono

Existe un pequeño circuito entre las pastillas por las que entra el sonido y la clavija (jack) de salida, Este esta formado simplemente por los controles de volumen y tono. El control de volumen tiene la capacidad de modificar la potencia de la señal de salida, esto se consigue con una resistencia variable conectada al control situado en el instrumento.

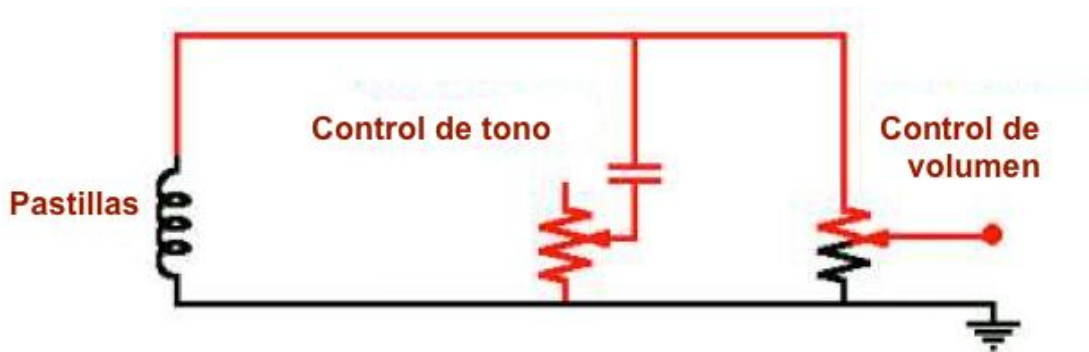


Figura 1.18 Esquema eléctrico de los controles de tono y volumen.

El control de tono combina un capacitor y una resistencia. Este sistema actúa como un filtro que no deja pasar las frecuencias altas. Variando el control se decide que frecuencias se quiere filtrar, cuando se coloca el tono al máximo se dejan pasar todas las señales, mientras que al mínimo se filtran casi todas las frecuencias. Esto es contrario al efecto que se le supone normalmente a este control ya que se cree ampliamente que dependiendo de la posición realza las frecuencias altas o bajas, mientras que en la realidad las frecuencias bajas no son modificadas prácticamente.



Figura 1.19 Controles de la guitarra eléctrica.

1.10.6 Afinación

El objetivo de afinar una guitarra eléctrica es hacer que cada cuerda tenga la tensión adecuada, de esa forma reproducirá la frecuencia(nota) correcta.

En la afinación normal de la guitarra las cuerdas tocadas al aire (sin pulsarlas en ningún traste) reproducen las siguientes notas de 1ª a 6ª cuerda:

1 - Mi , 2 - Si , 3 - Sol , 4 - Re , 5 - La , 6 - Mi

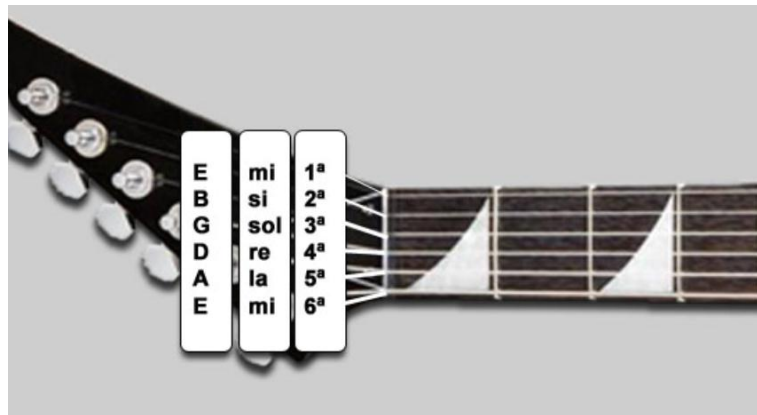


Figura 1.20 Notas respectivas a cada cuerda pulsada al aire para la afinación estándar.

El método mas recomendable y preciso (siempre que el aparato lo sea) de afinador es mediante el afinador electrónico. Además no se requiere de oído musical.

El uso del afinador consiste en: Conectar, tocar una cuerda y el afinador indica la nota reproducida y la desviación respecto a la nota estándar, ahora hay que actuar sobre la clavija en la dirección correspondiente para corregir la desviación. El indicador puede ser una aguja, unos leds de colores... dependiendo del tipo de afinador.

Podemos encontrar distintos modelos de afinadores en el mercado: unos se conectan a la guitarra, otros van intercalados en la cadena de sonido dejando pasar la señal (permiten afinar una guitarra eléctrica en vivo durante una pausa). Los hay con forma de pinza y captan la vibración en el mástil (muy práctico, colocado en la pala de la guitarra puedes verlo mientras tocas) y otros vienen incorporados en los multiefectos y equipos virtuales para PC.



Figura 1.21 Afinadores electrónicos.

1.11 Batería acústica

La batería está compuesta por un conjunto de tambores, comúnmente de madera, cubiertos por dos parches que están hechos comúnmente de un material plástico y dependiendo del tambor es el tipo de parche, hay desde parches muy básicos hasta los parches más complejos, compuestos por una capa de un plástico base, otra con aceite que guarda el sonido y otra que es la sección de golpeo hecha de un material derivado del látex para la mayor duración de la reverberación producida por el parche

superior.

Un tambor esta compuesto por dos parches, uno de golpeo (en la parte superior) y otro resonante (en la parte inferior). Estos tambores pueden variar su diámetro, afectando al tono, y la profundidad, variando la sensibilidad sobre el parche de resonancia.

Además la batería también es acompañada por los imprescindibles platillos, otros accesorios relativamente comunes (tales como el cencerro, panderetas, bloques de madera, entre otros) y ocasionalmente cualquier objeto que produzca un sonido con cierta musicalidad y del gusto del baterista.

La batería se puede afinar con una llave de afinación y un sistema de capachos o lugs y pernos de afinación que tensan el parche. Mientras más tenso el parche, más agudo el sonido, y viceversa.

1.11.1 Piezas

Batería consta de una caja en el centro, dos bombos cada uno con su pedal, dos Toms aéreos, dos Toms base a la derecha, un hi-hat con su pedal a la izquierda de la caja, un plato Ride (el más grande) a la derecha de la caja, varios Crash, un pequeño Splash y un China.

Bombo: Usualmente tiene un diámetro desde 18" hasta 26", y una profundidad de entre 14" y 22" aunque también se los encuentra desde las 16 pulgadas hasta las 28 pulgadas de diámetro. El más usado es el de 22×18". El bombo generalmente se maneja con el pie a través de un pedal con una maza. También se puede manejar con un doble pedal, usando los dos pies que, comúnmente se conectan por medio de un sistema cardánico que activa la segunda maza, aunque existen diversos sistemas, incluso algunos de activación con el talón y la punta de los pies. El bombo posee la voz más grave y potente de todo el conjunto y, por ello, cumple una función de cimentación básica en la interpretación.

Caja, tarola o redoblante: Suele tener un diámetro de 14", pero los hay desde 10" a 17". La profundidad estándar es 5,5", pudiendo variar desde 3,5" (piccolo) hasta 8,0".

A diferencia de los otros tambores, la caja posee una bordona o conjunto de alambres que, colocada en contacto con el parche de resonancia, produce su vibración por simpatía y el característico sonido a zumbido de la caja. Su función es marcar los compases, lo que no impide que se use libremente logrando cambios en la marcha y/o contratiempos

Tom toms o toms: Miden desde 6" hasta 15" de diámetro. Generalmente van montados sobre el bombo, pero si se usan más de dos, llevan soportes adicionales muchas veces los toms van sobre los pedestales de los platillos.

Tom base o tom de piso (goliat): Miden desde 14" hasta 20" pulgadas de diámetro. Generalmente poseen patas individuales, pero algunas veces permiten ser anclados a un pedestal de platillo.



Figura 1.22 Batería Acústica

1.11.2 Platillos

Los platillos se comportan como una placa delgada la fuerza de recuperación se debe por completo a la rigidez de la propia placa, las placas vibrantes pueden hacerlo transversalmente, sus modos de vibración son sobretonos que no son armónicos del fundamental. El sonido producido por la campana depende de sus

dimensiones, del espesor de la parte inferior de la misma, del peso y de su estructura metálica.

Las principales aleaciones utilizadas para la fabricación de platos son las siguientes:

- *Latón (CuZn): Cobre (Cu) y Zinc (Zn)*
- *Bronce (CuSn): Cobre (Cu) y Estaño (Sn)*
- *Nickelsilver (NiAg): Níquel (Ni) y Plata (Ag)*

Esta última sirvió en su momento para la producción de la ahora rebuscada Serie Sterling de Meinl®. Sin embargo, casi todas las marcas recurren actualmente a las Aleaciones del Cobre.



Figura 1.23 Interferogramas Holográficos obtenido mediante haces láser, ilustrando algunos modos de vibración en una campana

El Latón se emplea para producir platos de series bajas, en tanto que el Bronce sirve para la fabricación de platos de mayor calidad, que solemos llamar series intermedias y altas. Cada aleación muestra proporciones variables de uno y otro de sus componentes, pero es finalmente el porcentaje de cobre el que suele determinar su menor o mayor costo. las series B8 y Xs20 de Sabian®, con 8% y 20% de cobre en su bronce, respectivamente, cabe recalcar que estas series de platillos fueron los que se usaran en el presente trabajo.

Diversos platillos tipo hi-hat o charles cada hi-hat se compone de dos platillos, uno superior cuya altura se controla con el pedal y otro inferior, generalmente más pesado, se fabrican de entre 10" y 15", aunque se han llegado a fabricar incluso de 16". El más común es el de 14" y el de 15" pulgadas. Puede ser normal o edge (borde); este último consiste en que el plato que va abajo (bottom) tiene un borde corrugado que da un sonido mejor para ciertos géneros. Los Hi-hats se puede tocar cerrado y abierto, usando el pedal.

Crash o Remate: Platillo mediano de 12" a 20". Se utiliza para dar énfasis en los pasajes musicales y para algunos ritmos.

Ride o Ritmo: Platillo grande cuyo diámetro varía entre 17" y 24", aunque hay marcas a modo de curiosidad que los fabricaron de 26" e incluso hasta de 32". Los más comunes son los de 20" 21" y 22". Muchas veces se usan para llevar el ritmo en sustitución del hi-hat.

Splash: Platillo pequeño que varía de 5" hasta 13" pulgadas. Se usan para efectos especiales, comúnmente en pasajes de poca intensidad sonora.

China: Platillo que se fabrica desde 10" hasta 22". También existe el china-splash, de 8" a 12" pulgadas. Se usan para efectos. Su diseño es característico pues son colocados del revés. Tiene una cierta similitud de sonido con el crash.

Crash ride: Platillo mediano-grande de 18"- 20". Hay gente que los usa como Crash y como Ride, y gente que los usa solo como Crash, debido a su mayor potencia.

También existen platillos de efectos "especiales", como los cup chime, los bell, los chopper, spiral trash, china-splash, etc. que producen sonidos verdaderamente únicos y característicos para ampliar las posibilidades musicales del instrumento.



Figura 1.24 Platillos de batería.

1.11.3 Baquetas

La longitud del palillo varía entre 15 1/2 y 17 pulgadas, corriendo tal dimensión en paralelo al peso de la punta como de la baqueta en su conjunto, una baqueta larga disfruta de mayor inercia que una baqueta corta, por lo que resulta ideal para quienes gustan de las notas fantasmas y de los golpes con rebote.

Las baquetas de madera se diferencian por su densidad, la que guarda relación con la granulación del árbol de origen, *las de maple son más livianas que las de nogal, dado que una y otra son maderas de grano fino y grueso, respectivamente. Las de nogal son de menor costo, y por ende las más populares.* Generalmente las más pesadas se usan para estilos más contundentes como el Hard Rock y el Metal por la potencia que proporcionan, y las más ligeras para estilos más suaves como el Jazz o el Pop, aunque cada baterista suele usar aquello con lo que más cómodo se siente.

Suelen tener grosor, longitud y punta proporcionales, para garantizar su balance (Relación Cabo/Punta), de modo que al empuñarla no tenga que hacerse ni muy abajo ni muy arriba del palillo. El peso de la baqueta se relaciona directamente con el volumen a obtener, tanto de los tambores como de los platillos, *los bateristas de rock prefieren las de número 2, 3 y 5, de punta B (gruesa), en tanto que los de jazz apelan a las de número 7 con tip A (delgado).*



Figura 1.25 Baquetas utilizadas para tocar la batería.

1.11.4 Pedales

Pedal de bombo simple con sistema de tracción doble cadena (nótese que la cadena que une la leva y la plataforma es doble) y maza con dos superficies intercambiables al girarla.

Los pedales se emplean para controlar con los pies distintos elementos de la batería, generalmente los platillos hi-hat y el bombo de la batería. En ocasiones, aunque no es tan común, algunos bateristas usan pedales en cajas, tambores u otros hi-hats que controlan con pedales remotos.

Los pedales de bombo constan básicamente de:

- Una plataforma sobre la que el pie aplica la fuerza.
- Una maza con un extremo pesado que golpea el parche del bombo, con superficie de diversos materiales como madera, plástico o fieltro.
- Un sistema de muelles u otro sistema que provoque la tensión necesaria para que la maza del pedal vuelva a su posición de reposo.
- Una leva que transforma el movimiento giratorio arriba-abajo de la plataforma en el movimiento giratorio atrás-adelante de la maza.
- Una conexión mecánica entre el pedal y la leva. Generalmente se trata de una cinta de nylon, kevlar o una cadena simple o doble de acero. En los últimos años está ganando popularidad el sistema de tracción directa, en el que una pieza rígida une la plataforma y la leva.

El funcionamiento del pedal de platillo hi-hat es parecido, aunque su función es la de cerrar verticalmente los dos platillos y volver a separarlos al soltar el pedal, por lo que

carece de leva y maza.

Tradicionalmente se ha usado un solo pedal de bombo, aunque en las últimas décadas el pedal doble (un segundo pedal unido mediante una junta homocinética cardan) ha ganado bastante popularidad, al permitir al baterista tocar el bombo con dos pies, pudiendo así tocar patrones más complejos de la misma forma que toca con las manos. Además, tiene la ventaja de no tener que recurrir a un segundo bombo completo con su pedal (doble bombo) con el costo que ello acarrea.

Doble Pedal

El doble pedal es un aparato similar al pedal simple con la ventaja de poder controlar los golpes de bombo con ambos pies. El doble pedal articula dos mazas en la mayoría de las veces a un solo bombo, con lo cual se obtiene la ventaja de un sonido similar en cada golpe.

Este tipo de pedal es utilizado principalmente en grupos de rock, metal, hard core, y relacionados. Asimismo, muchos bateristas profesionales independientes de estudio destacan en el uso de éste aparato.



Figura 1.26 Pedal de batería.



Figura 1.27 Pedal doble para batería.

1.11.5 Afinación

Para la afinación de la batería acústica utilizada en la interpretación musical se utiliza un afinador de batería dinamométrico marca Drum Dial.



Figura 1.28 Afinador dinamométrico.

Este afinador funciona por tensión. Se coloca sobre el parche junto al tornillo de afinación y mide de una manera sumamente precisa la tensión que tiene dicho tornillo. Con esto se asegura que todos los tornillos tienen exactamente la misma

tensión. El afinador cuenta con una tabla que indica, dependiendo el tamaño del tambor y el material que esta construido su parche superior, así mismo la tensión del parche resonante.

Tabla 1.4 Tensiones de parche según dimensiones de tambor y tipo de parche.

Tamaño del tambor. Profundidad & diámetro	Parche resonante superior de una capa liso	Parche resonante superior rebozado	Parche resonante superior Hidráulico	Parche resonante inferior
8x8	72-78	76-79	77-82	70-75
9x10	72-78	75-78	77-82	70-75
10x12	72-78	75-78	77-82	70-75
11x13	74-79	75-78	77-82	70-75
12x14	74-79	75-80	78-83	70-75
13x15	75-80	77-82	78-83	70-75
14x16	75-80	77-82	78-83	70-75
14x14	75-80	75-80	78-83	70-75
16x16	75-80	75-80	78-83	70-75
16x18	77-82	78-83	78-83	70-75
4x14		85-90		80-85
5x14		85-90		80-85
5.5x14		85-90		80-85
6.5x14		85-90		80-85
14x18	75-80	78-83	75-80	78-85
16x20	75-80	75-80	73-78	75-80
16x22	75-80	75-80	73-78	75-80

La tarola que usada es de 14" y los toms de 10", 12" y 14", son de parches hidráulicos de doble capa, un bombo de 22" de parche de doble capa por lo que se tenso según se recomienda en la tabla 1.4, teniendo así una afinación mas objetiva.

Capítulo 2 Metodología de registro de muestras

2.1 Toma de muestras de la Batería.

El proceso de grabación para obtener las muestras de los 6 elementos de la batería a analizar fue llevado a cabo dentro del cuarto de percusiones, en el laboratorio de acústica en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco.

Primeramente se llevo a cabo la grabación de la interpretación musical por parte de la batería, utilizando para esto una técnica de microfoneo de 5 elementos propuesta en el curso de Grabación de octavo semestre⁽¹⁾ en la especialidad de acústica, dicha técnica utilizada se muestra en la figura 2.1.



Figura 2.1 Microfoneo de la batería.

(1) Impartida en la academia de acústica de la Escuela Superior Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco.

Como se puede observar se hace uso de un Shure Beta 52A para la captación de las frecuencias bajas que produce el bombo POWER BEAT de 22 pulgadas (ver figura 2.2), para la tarola de aluminio de 14 pulgadas es colocado un micrófono Shure SM57 que por características del micrófono es recomendable para este elemento, en el caso de los toms fueron usados uno de 10 pulgadas y otro de 12 pulgadas los cuales han sido captados por un Shure PG81 cada uno; y finalmente para la captación tanto de los contras Zildjian de 12 pulgadas como los overheads es colocado un Shure SM81 aéreamente para captar exclusivamente todos los platillos.



Figura 2.2 Beta 52A captando al bombo.

Finalmente para realizar una grabación mas limpia y libre de sonidos externos o ruido indeseable, fueron colocados barreras acústicas antireflejantes (ver figura 2.3), que además de aislar de una manera mas notoria las frecuencias producidas al golpear las percusiones, es de ayuda para una mejor captación de la presión sonora para los micrófonos, lo cual para propósitos de este trabajo es mas conveniente para poder observar claramente y de una forma natural las frecuencias provenientes de cada elemento que conforma a la batería.



Figura 2.3 Posicionamiento de barreras acústicas antirreflejantes.

Con lo anterior correctamente posicionado, se ejecutó la interpretación musical para obtener la toma de muestras de cada elemento que conforma a la batería haciendo uso de una interfaz Alesis io|26 (convertidor analógico a digital) de ocho canales y del software especializado de grabación Logic Pro X[®] 10.0.6 (figura 2.4).



Figura 2.4 Muestras grabadas en Logic Pro X[®] de cada elemento que conforma a la batería.

Así, de esta manera fueron tomadas las muestras de la batería de una interpretación musical completa, que mas adelante serán utilizadas para su análisis correspondiente.

2.2 Toma de muestras de la Guitarra Eléctrica.

El proceso para la obtención de las muestras por parte de la guitarra eléctrica fue relativamente más sencillo, ya que fue grabada directamente por línea, lo cual es de ayuda para evitar presencia de ruido o sonidos indeseables que captan a veces los micrófonos además de evitar los mismos filtros que poseen de fabricación y que además afectan a las muestras, así de esta manera trabajar sobre las muestras naturales.

Haciendo uso de una interfaz Apogee Jam de un solo canal, especializado para hacer la conversión de analógico a digital de guitarras y bajos eléctricos, de manera sencilla y profesional se llevó a cabo la grabación de la guitarra eléctrica Ibanez RG420 complementando la interpretación musical hecha por la batería inicialmente (figura 2.5).

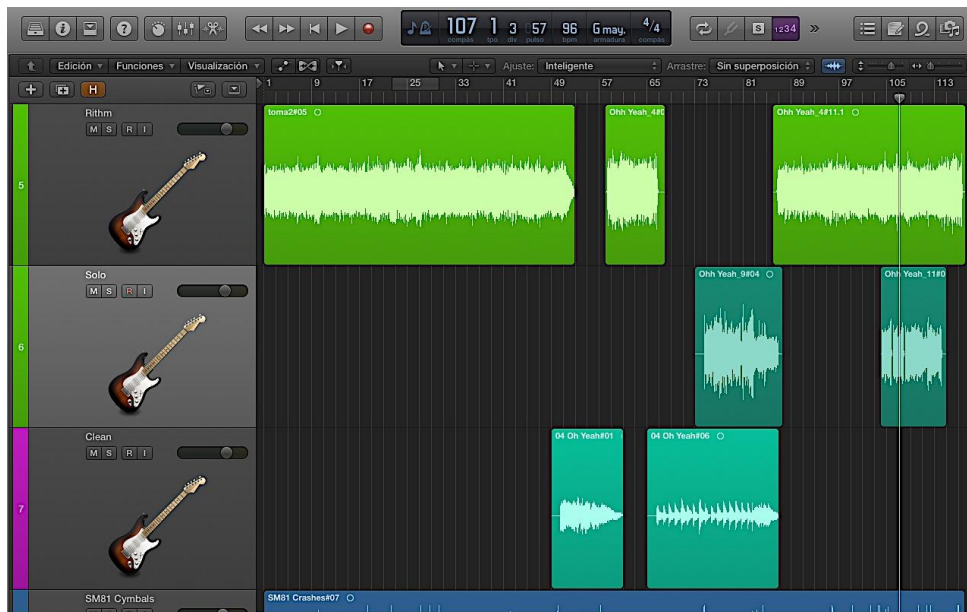


Figura 2.5 Muestras grabadas en Logic Pro X[®] de las guitarras eléctricas con que cuenta la interpretación musical.

2.3 Determinación de la sección armónica a analizar subjetivamente.

Una vez obtenidas las grabaciones de tal interpretación musical, tanto de la guitarra eléctrica como la batería se procedió a la unión de dichas pistas grabadas para su mezcla, edición y ecualización, dichos pasos son de ayuda para observar diferencias de señales, familiarizarnos con patrones de forma de onda producidas por cada instrumento musical, y trabajar sobre sus respectivos espectros para guiarnos en las frecuencias sobre las cuales el instrumento trabaja y así ser resaltadas en una interpretación, dependiendo la intención que se quiera dar por parte del músico o ingeniero de audio.



Figura 2.6 . Unión, comparación, edición y ecualización de muestras grabadas.

A continuación haciendo un análisis subjetivo de manera auditiva se continua con la determinación de la sección armónica dentro y a lo largo de la interpretación musical.

Esta sección que se ha determinado como armónica coincide con el coro de la canción, la cual es utilizada repetidamente dentro de la interpretación, por tanto el análisis que se realizara estará enfocado exclusivamente al coro, el cual para efectos prácticos ha sido recortado de las muestras grabadas anteriormente (figura 2.7) para así facilitar su análisis y estar 100% enfocados en el tema que nos compete en este trabajo (la evaluación de la armonía).

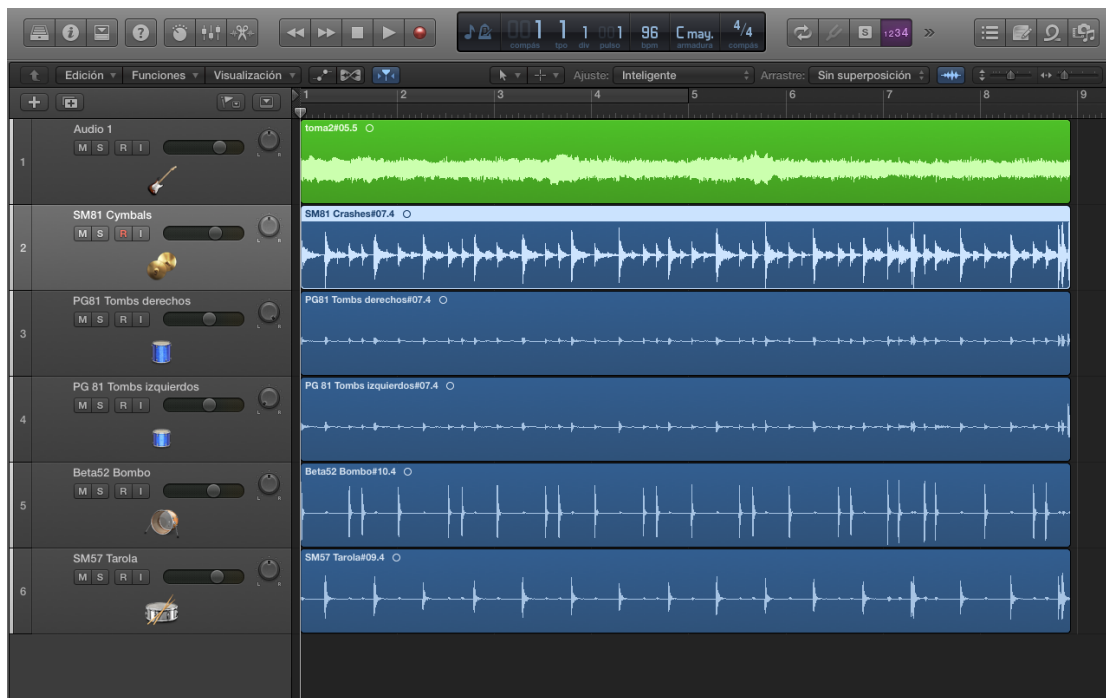


Figura 2.7 Muestras del coro (sección armónica) de la interpretación sobre la cual se llevara a cabo el análisis.

2.4 Proceso de análisis para determinar la armonía objetivamente.

El análisis será desarrollado utilizando el software de medición acústica FuzzMeasure Pro[®], el cual cuenta con analizador frecuencial (analizador de espectros) de archivos de audio sin comprimir (.wave y .aiff).

Para obtener dichos archivos de audio, el mismo software de grabación Logic Pro X[®] cuenta con la herramienta de exportar las muestras grabadas en cualquiera de los dos tipos de extensiones de audio. Así mismo tal software nos permite exportar pistas (archivos de audio) por separado.

El poder exportar pistas por separado nos permite obtener los archivos de audio de cada instrumento, para este caso es de interés obtener un archivo independiente de cada instrumento, es decir, un archivo de la edición de la guitarra y batería por separado, finalmente para obtener un análisis mas completo un ultimo archivo de los dos instrumentos en conjunto.

2.5 Archivos de audio para el análisis espectral.

Una vez obtenidos los archivos de audio sin comprimir se llevó a cabo el análisis de estos tres archivos, tales muestras de audio las podemos observar en las siguientes capturas de pantalla del software analizador.

Dichas capturas, nos muestran el espectro de frecuencias de la guitarra eléctrica únicamente en la figura 2.8 , para la batería con todos sus elementos ya implícitos sin guitarra se puede apreciar en la figura 2.9, y por ultimo complementariamente las graficas correspondientes en tiempo y frecuencia para la guitarra eléctrica en conjunto con la batería es mostrada en la figura 2.10.

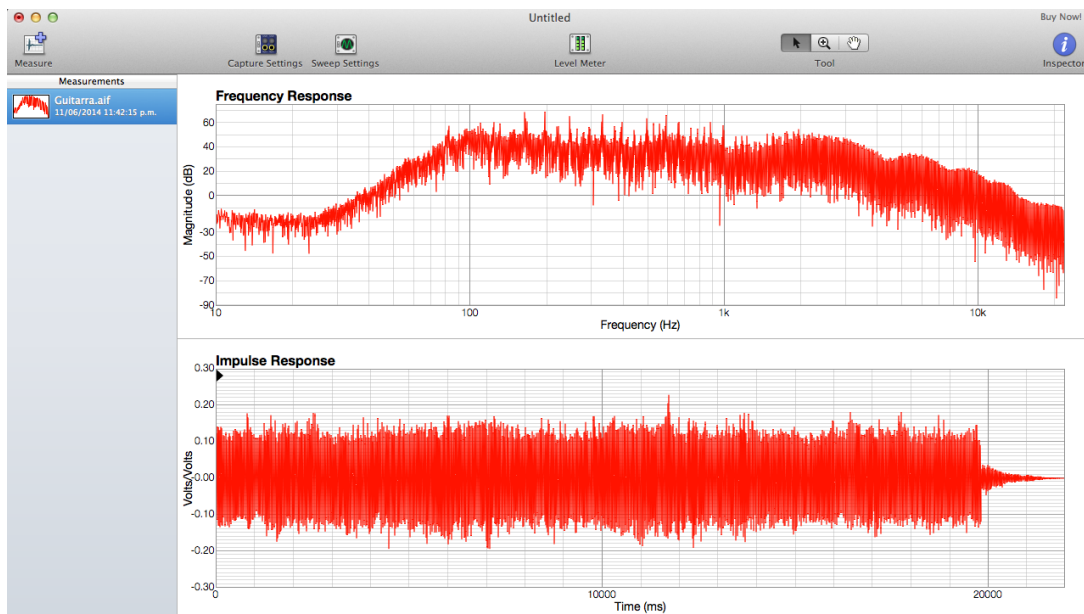


Figura 2.8 Muestra de la guitarra eléctrica en su análisis espectral dentro del software FuzzMeasure Pro®.

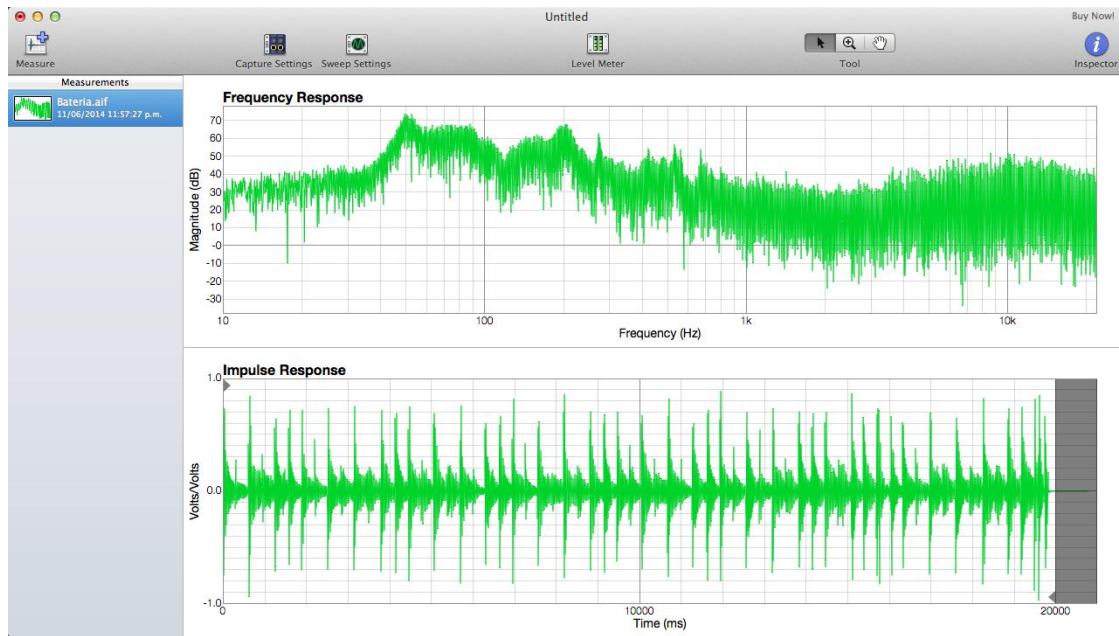


Figura 2.9 Muestra de la batería en su análisis espectral dentro del software FuzzMeasure Pro®.

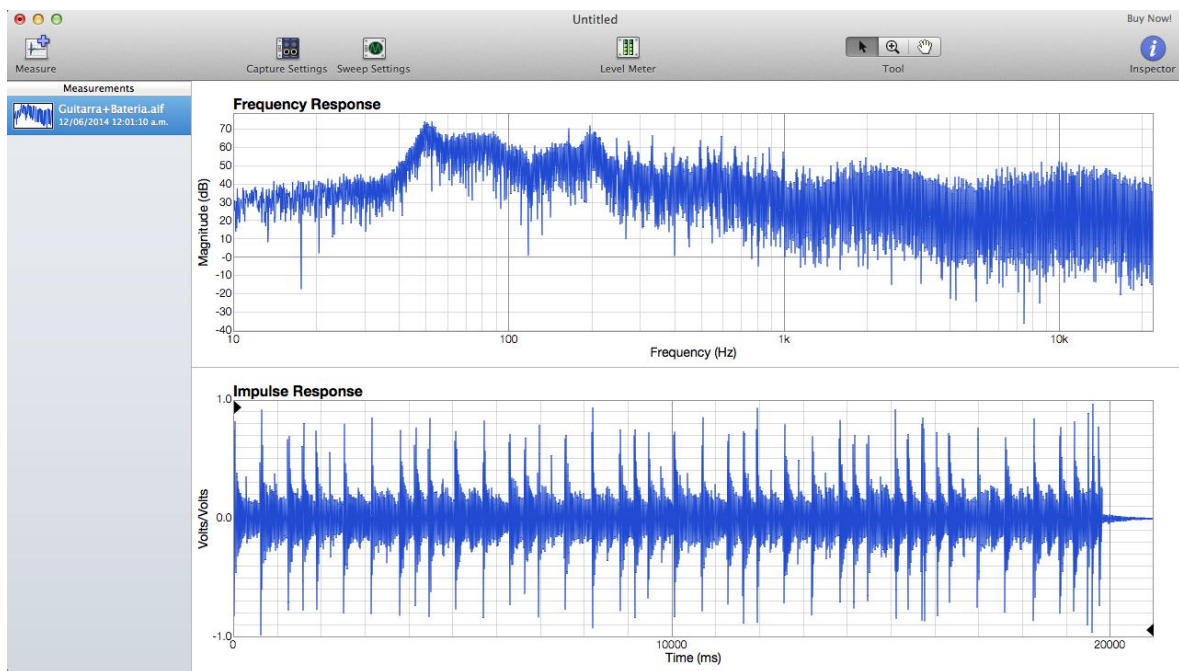


Figura 2.10 Muestra de la Guitarra eléctrica en conjunto con la batería en su análisis espectral dentro del software FuzzMeasure Pro®.

Ahora sí, con el material ya mencionado se puede realizar correctamente el análisis de las señales, que en el siguiente capítulo es desarrollado más detalladamente, a fin de visualizar la armonía entre estos instrumentos musicales.

Capítulo 3 Análisis de resultados

Como se mencionó en el capítulo anterior el procedimiento seguido para la toma de nuestras muestras fue:

- 1.- Grabación y registro de batería acústica.
- 2.- Grabación y registro de la guitarra eléctrica.
- 3.- Mezcla, edición y ecualización de pistas.
- 4.- Exportación de archivos de audio a software especializado.

3.1 Análisis espectral de la señal de batería acústica.

En la figura 3.1 se tiene la señal correspondiente a la batería acústica, se tiene la señal en función de la frecuencia y su magnitud en dB, tomaremos en cuenta las frecuencias a partir de 30Hz ya que es la frecuencia más baja que nos puede producir el bombo de la batería y todo lo que hay debajo de esta frecuencia se consideraría ruido de los propios instrumentos, micrófonos, interfaz, etc. A partir del rango de frecuencias que genera cada componente de la batería que se usó para esta interpretación principalmente bombo, tarola, contra-tiempos y platillos tipo crash, se ha podido localizar su frecuencia fundamental y sus armónicos.

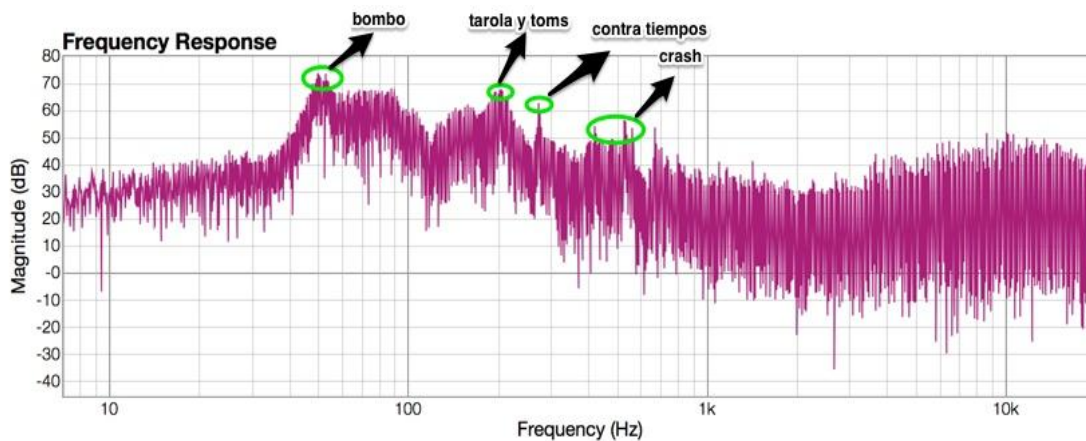


Figura 3.1 Señal de la batería acústica.

En la figura 3.2 tenemos un acercamiento suficiente para apreciar a detalle donde se ubica la frecuencia fundamental del bombo, a 49.5 Hz (nota Sol₁) con una amplitud de 74 dB.

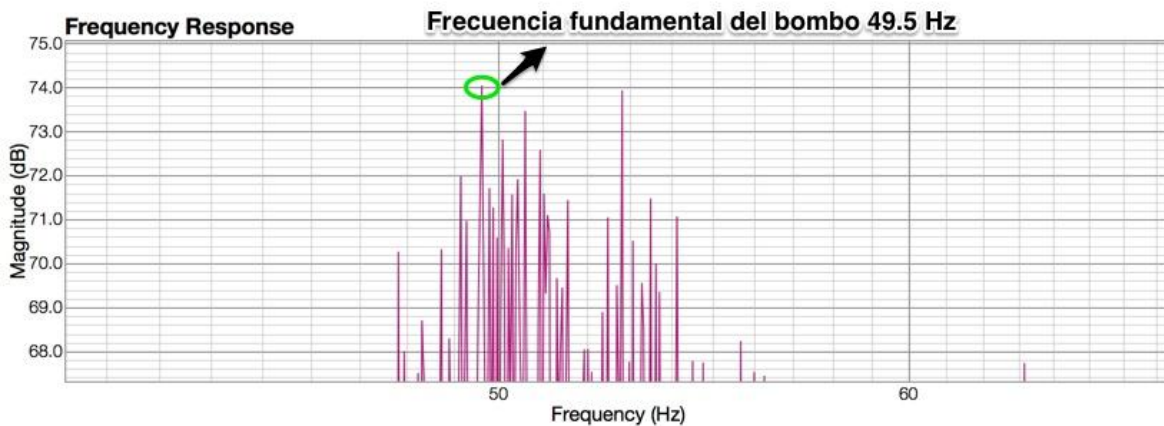


Figura 3.2 Frecuencia fundamental del bombo.

En la figura 3.3 se muestra la frecuencia fundamental de la tarola y los toms que de acuerdo al rango de frecuencia que manejan coinciden en su fundamental, por lo que en la gráfica la ubicamos a 205 Hz con amplitud de 68.5 dB.

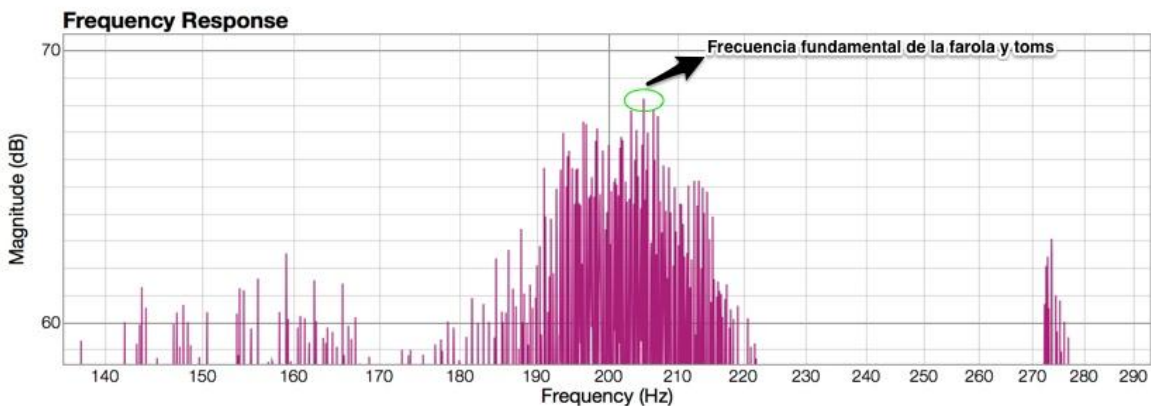


Figura 3.3 Frecuencia fundamental de la tarola.

La figura 3.4 corresponde al siguiente pico que encontramos en la señal, siguiendo la misma metodología encontramos que la frecuencia de 272 Hz está dentro del rango

de frecuencias en donde encontramos la fundamental de los contra-tiempos, con una amplitud de 63 dB.

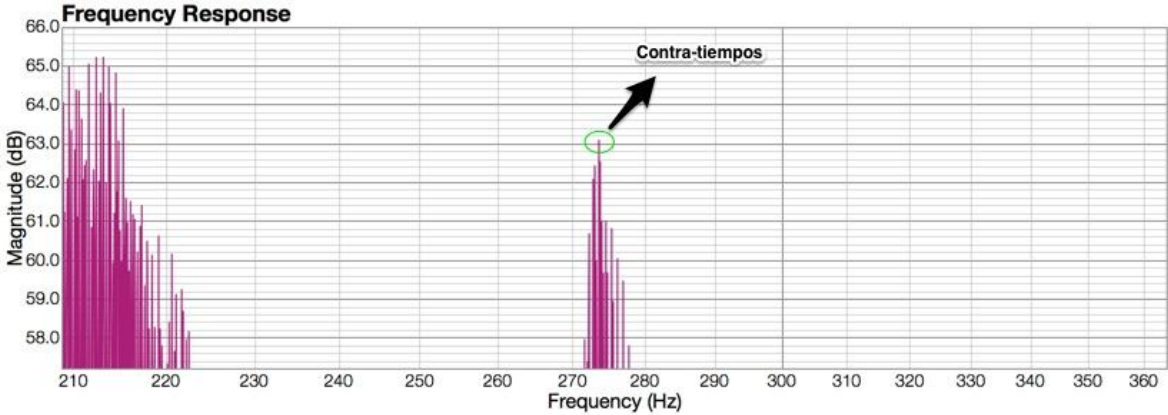


Figura 3.4 Frecuencia fundamental de los contra-tiempos.

El último componente de la batería a localizar es el crash del cual su frecuencia fundamental está dentro del rango que esperábamos ubicándose a los 532 Hz con una amplitud de 57 dB (figura 3.5).

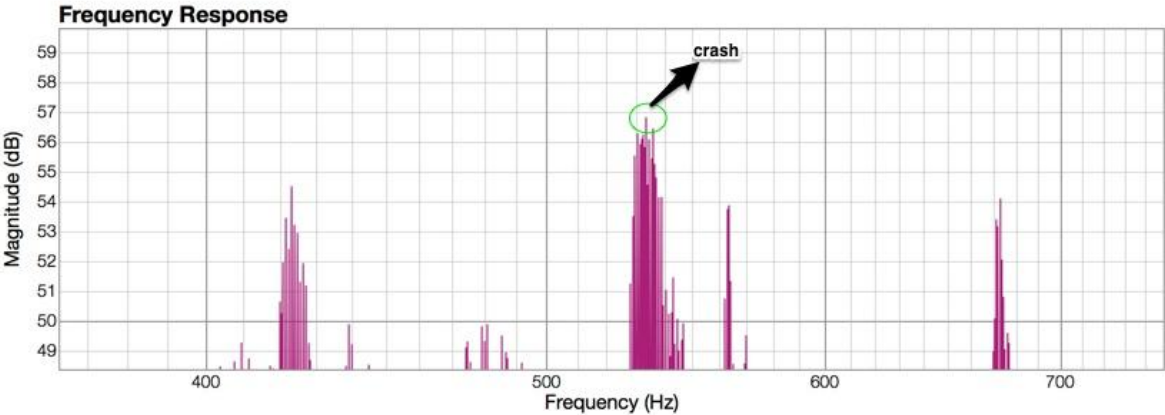


Figura 3.5 Frecuencia fundamental del crash.

En la parte final de la señal a partir de los 2.5 kHz que es donde se producen los sobretonos del bombo con una amplitud de 39 dB, a los 5 kHz la tarola sus sobretonos le dan claridad y los toms su ataque con una amplitud de 44 dB, a los 7.5

kHz los contratiempos obtienen su brillo con una amplitud de 46 dB y por ultimo los sobretonos de los platillos pueden estar desde 3 kHz hasta los 15 kHz los cuales son los de mayor amplitud de hasta 52 dB (figura 3.6).

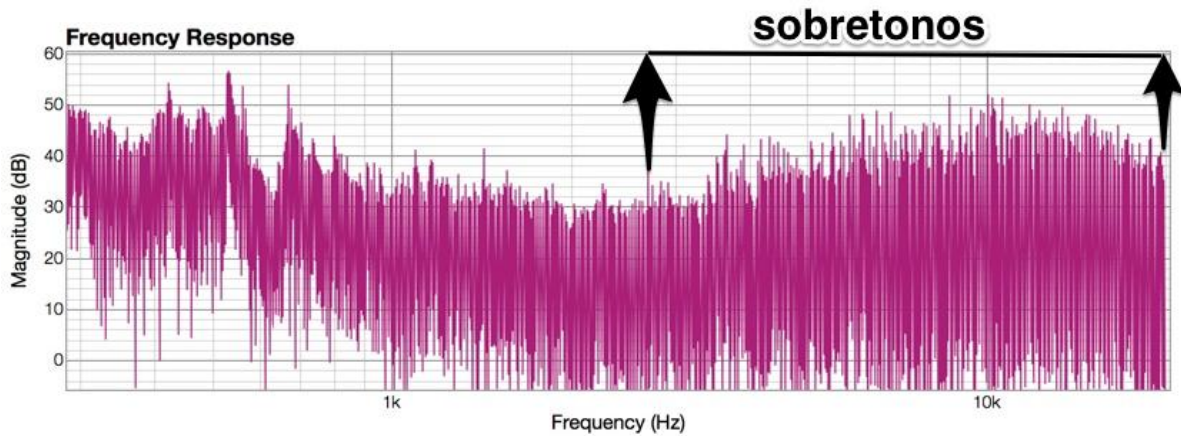


Figura 3.6 Rango de frecuencias de los sobretonos.

Dentro de las capacidades del software Fuzzmeasure es que nos proporciona una grafica de la señal de volts vs tiempo, en este caso son 20,000 ms que es el tiempo que dura la muestra de la pista que se grabo. en la que podemos observar a simple vista si la batería esta desafinada o no, ya que si muestra un impulso con un decaimiento drástico significa que esta afinado el tom, y si el parche no estuviera bien tensado su decaimiento se vería suavizado. Véase figura 3.7 de la señal respuesta de impulso de la batería acústica utilizada en la interpretación, se puede notar claramente el impulso con un decaimiento casi instantáneo lo cual significa que los parches están bien tensionados con respecto a la afinación recomendada en la tabla 1.4.

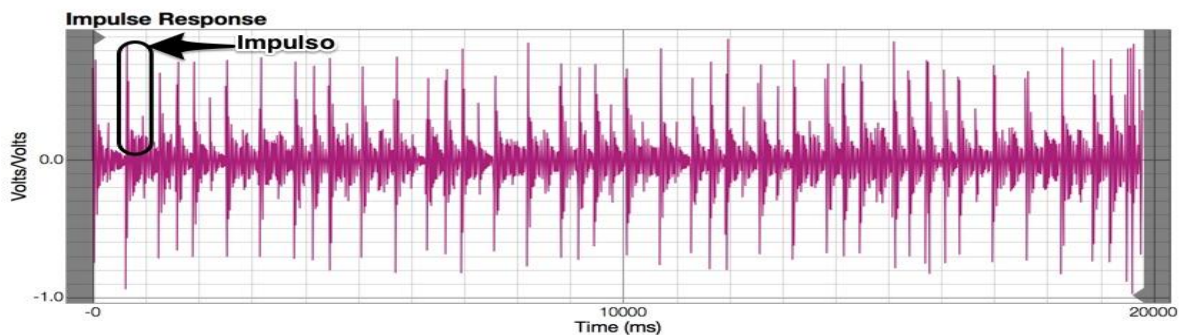


Figura 3.7 Señal en el dominio del tiempo.

3.2 Análisis espectral de la señal mezclada de guitarra y batería acústica.

A continuación analizaremos que cambios presento la señal de cada elemento de la batería en la señal mezclada con la guitarra, ubicaremos la frecuencia fundamental de la tarola y toms cercano a los 200 Hz, bombo por los 50 Hz, contra-tiempos por los 270 Hz y crash alrededor de los 500 Hz, así como sus armónicos a partir de los 2.5 kHz. Figura 3.8.

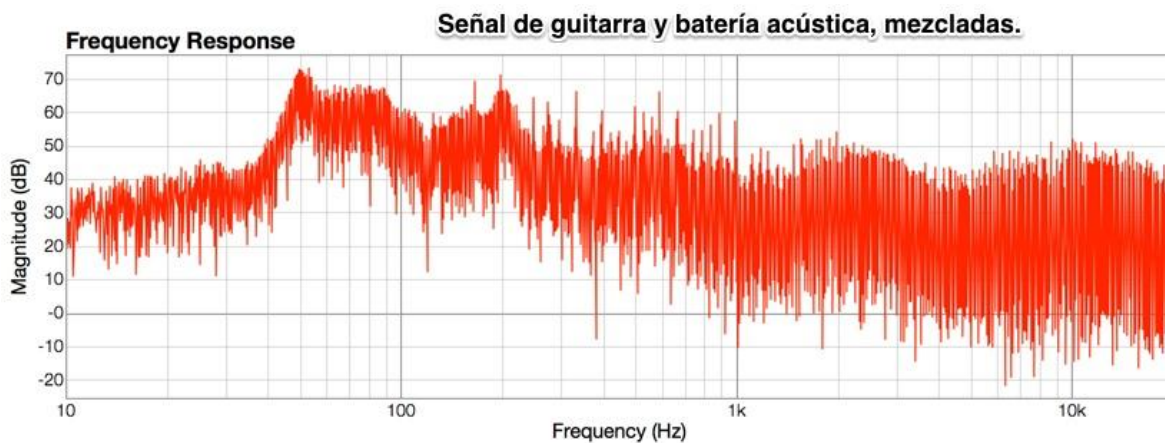


Figura 3.8 Señal de la guitarra eléctrica y batería acústica mezcladas en el dominio de la frecuencia.

La frecuencia fundamental del bombo (figura 3.9) se mantuvo casi en la misma frecuencia y misma amplitud ya que en este rango de frecuencias no interactúan las de la guitarra y predomina la del bombo, la frecuencia mas baja que presenta la guitarra es 165 Hz a una amplitud de 73.8 dB que corresponde a la nota Mi_3 , podemos comparar los valores de frecuencia y magnitud entre la señal mezclada y la señal de la batería acústica en la tabla 3.1.

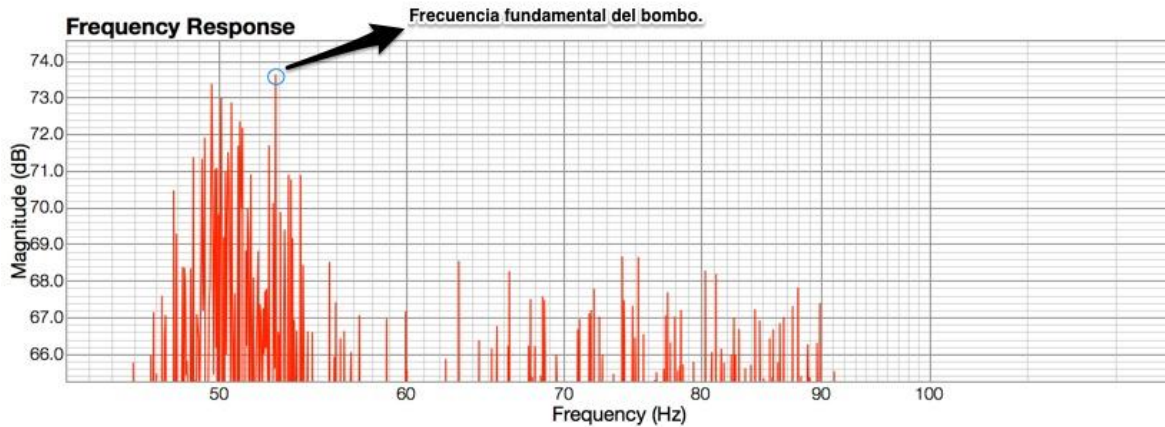


Figura 3.9 Frecuencia fundamental del bombo en la señal mezclada.

En la figura 3.10 es ubicada la frecuencia fundamental de la tarola y toms a los 198 Hz con una amplitud de 71.6 dB, en la señal mezclada la frecuencia fundamental de la tarola predomino solo que se adelanto casi 10 Hz con respecto a señal exclusiva de la batería y su amplitud disminuyo cerca de 7 dB's.

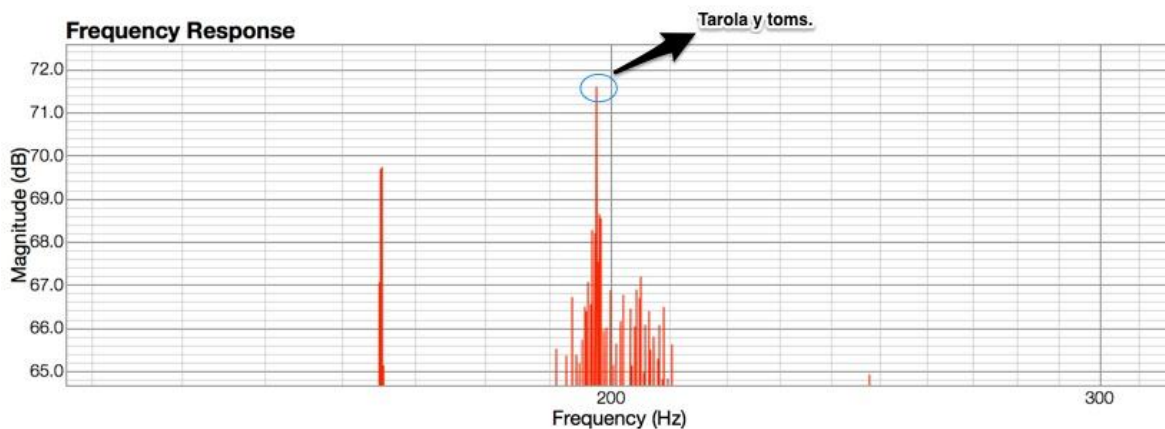


Figura 3.10 Frecuencia fundamental de la tarola en la señal mezclada.

Los contra-tiempos los ubicamos cerca de los 270 Hz con una amplitud de 63.6 dB que comparando con la señal de la batería vemos no varió a simple vista pero se notan mas picos a sus lados que corresponde a los armónicos de la guitarra ya que a 248 Hz se encuentra la nota Si₃ y es la nota mas próxima que interactúa con la frecuencia fundamental de los contra-tiempos.

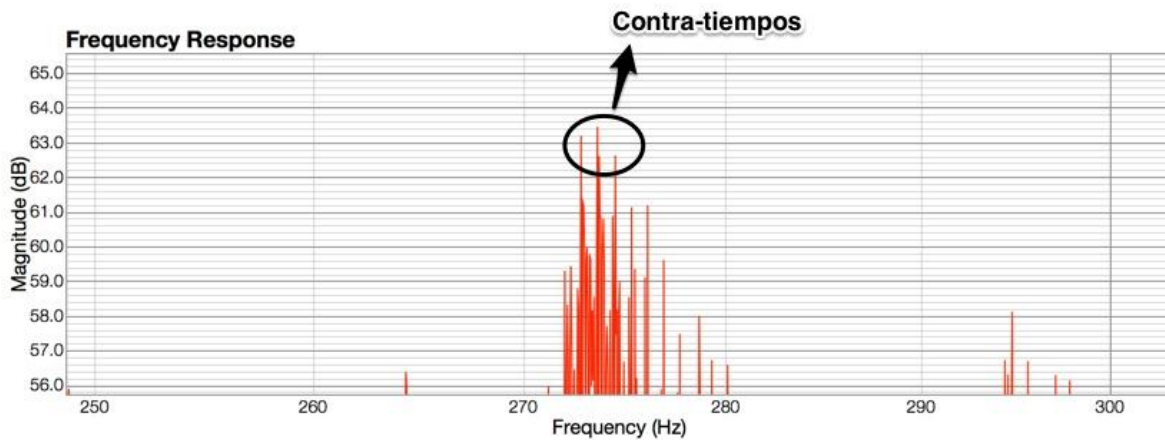


Figura 3.11 Frecuencia fundamental de los contra-tiempos en la señal mezclada.

Por último el elemento que falta ubicar en la señal mezclada es el crash que en la señal de la batería se ubicó a los 532 Hz con una amplitud de 57 dB, en la figura 3.12 podemos ver que el crash se ubicó en la señal mezclada a 529 Hz con una amplitud de 62 dB's, aquí hubo una diferencia entre las frecuencias de la señal de la batería y la señal mezclada, además hay que considerar empiezan a tener un papel más importante las notas de la guitarra cerca de estas frecuencias e interactúan con la frecuencia fundamental del crash.

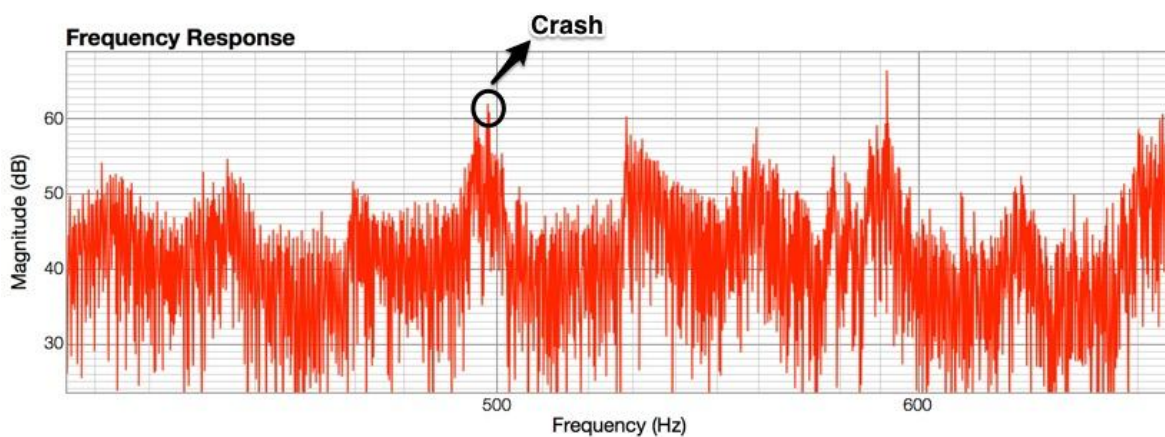


Figura 3.12 Frecuencia fundamental del crash en la señal mezclada.

Ahora analizaremos las frecuencias donde están los armónicos de la batería cuando se hace la mezcla con la guitarra eléctrica.

Nos ubicamos nuevamente en la frecuencia de 2.5 kHz donde comienzan a generarse los sobretonos del bombo con una amplitud de 49 dB, tenemos una amplitud de 49.5 dB, a los 5 kHz la tarola y los toms con una amplitud de 44 dB, a los 7.5 kHz los contratiempos con una amplitud de 48 dB y por último los sobretonos de los platillos pueden estar desde 3 kHz hasta los 15 kHz los cuales son los de mayor amplitud de hasta 52 dB. (Figura 3.13)

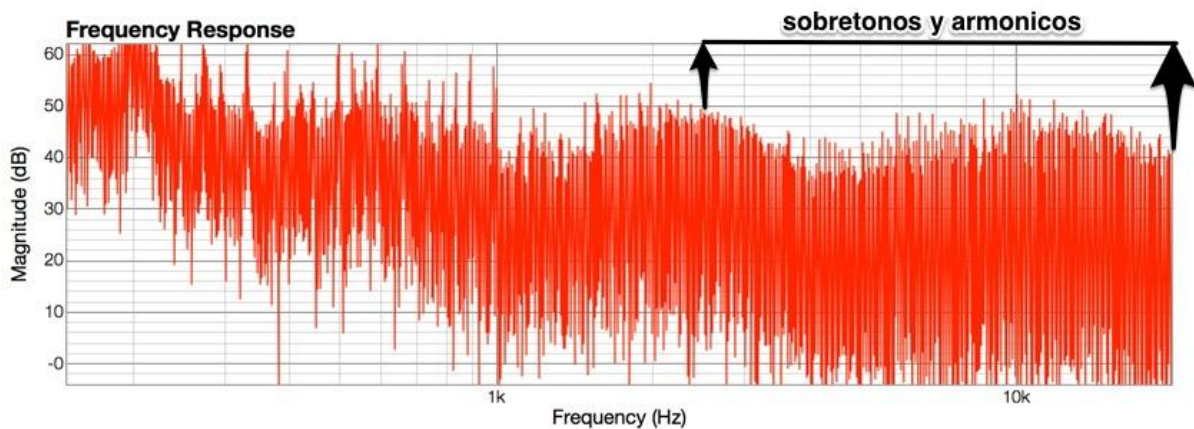


Figura 3.13 Rango de frecuencias de los sobretonos y armónicos de la señal mezclada.

En la siguiente tabla comparamos los valores en magnitud de nivel de presión acústica (dB) entre la señal de la batería y la señal mezclada.

Tabla 3.1 Resumen de valores obtenidos.

Elemento de la batería	Frecuencia fundamental solo batería	Señal de la batería acústica	Frecuencia fundamental en la mezcla.	Señal mezclada
Bombo	49.5 Hz	74 dB	53.8 Hz	74 dB
Tarola y toms	205 Hz	78.5 dB	198 Hz	71.6 dB
Contra-tiempos	272 Hz	63 dB	272 Hz	63.6 dB
Crash	532 Hz	57 dB	529 Hz	62 dB
Sobretonos	2.5 kHz - 15 kHz	52 dB	2.5 kHz -15 kHz	52 dB

Para observar de forma mas grafica la diferencia de niveles entre las señales vamos a compararlas y vamos a aplicar un smoothing de 1/48 de octava (véase figura 3.14). En la figura 3.14 podemos apreciar de mejor forma que paso con la señal de la batería cuando se mezclo con la guitarra, se respetaron los colores de las graficas de cuando se hizo el análisis por separado de las señales, el rojo corresponde a la mezcla y el morado a la batería. Esta gráfica alteró las amplitudes de la señal original pero el objetivo de usarla es para ubicar las zonas en donde podemos observar las diferencias mas notables.

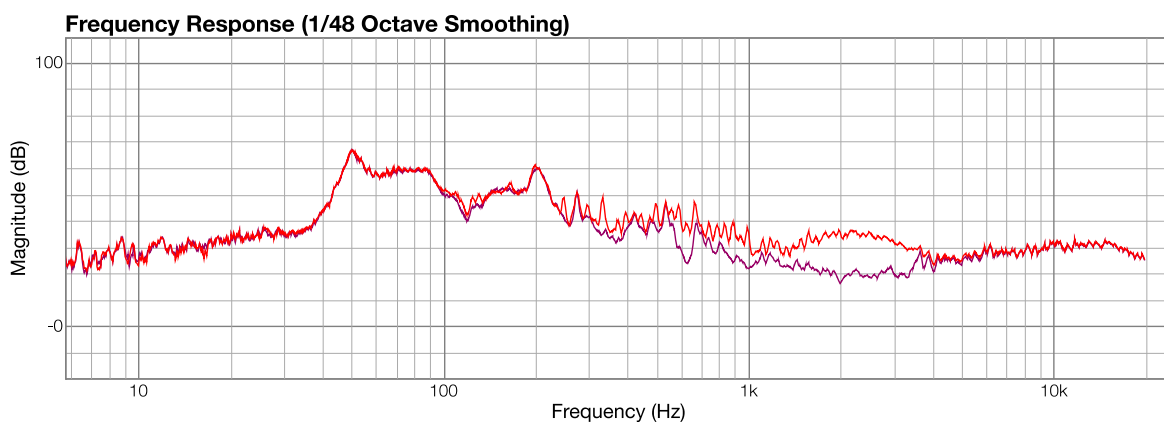


Figura 3.14 Resolución a 1/48 de octava.

De la figura 3.15 se hace un zoom lo suficiente para observar a mayor detalle sobre estas zonas que se marcaron pero en la diferencia de señales sin amortiguación, es decir, en flat.

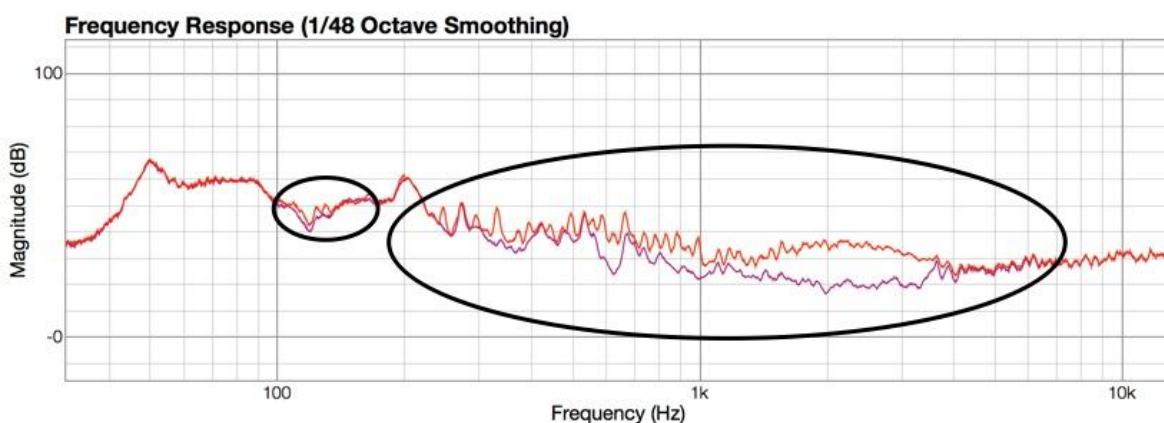


Figura 3.15 Diferencia entre señales mas importantes.

La señal sin amortiguamiento (smoothing) se observa en la siguiente figura 3.16.

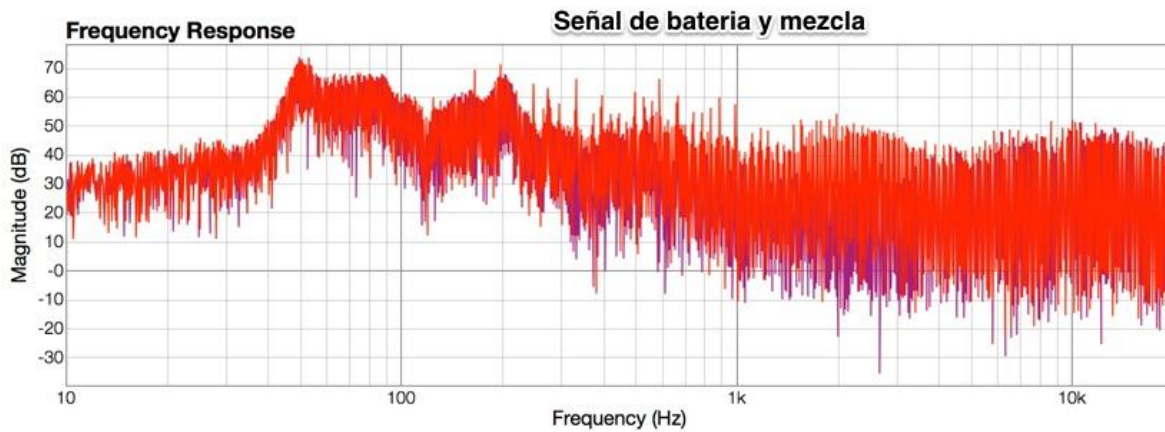


Figura 3.16 Señal sin smoothing.

Se observa a detalle dónde se ubica la frecuencia fundamental del bombo en la figura 3.17 en la que como era de esperarse no hay gran cambio notable entre señales ya que las frecuencias de la guitarra no están en este rango y se mantienen las frecuencias del bombo a una misma amplitud.

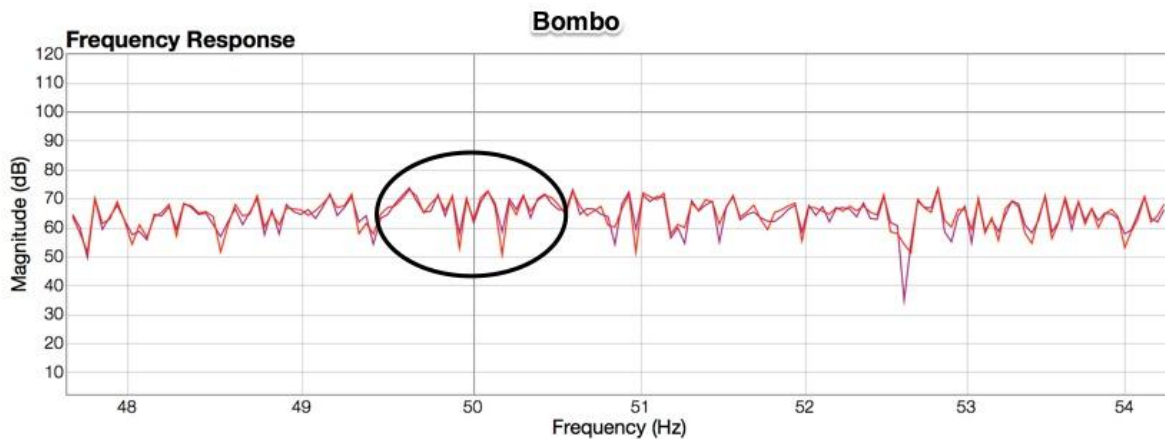


Figura 3.17 Acercamiento a la frecuencia fundamental de bombo en la comparación de señales.

Continuando con la tarola y toms, son ubicadas las frecuencias donde esta su fundamental y se ve que hay unas diferencias con la señal mezclada, en el primer óvalo se puede observar un amortiguamiento por parte de la señal mezclada (rojo) a

la de la batería (morado) su pendiente es suavizada drásticamente con respecto a la señal de la batería y los mismo sucedió en los óvalos 2, 3 y 4. Véase la figura 3.18.

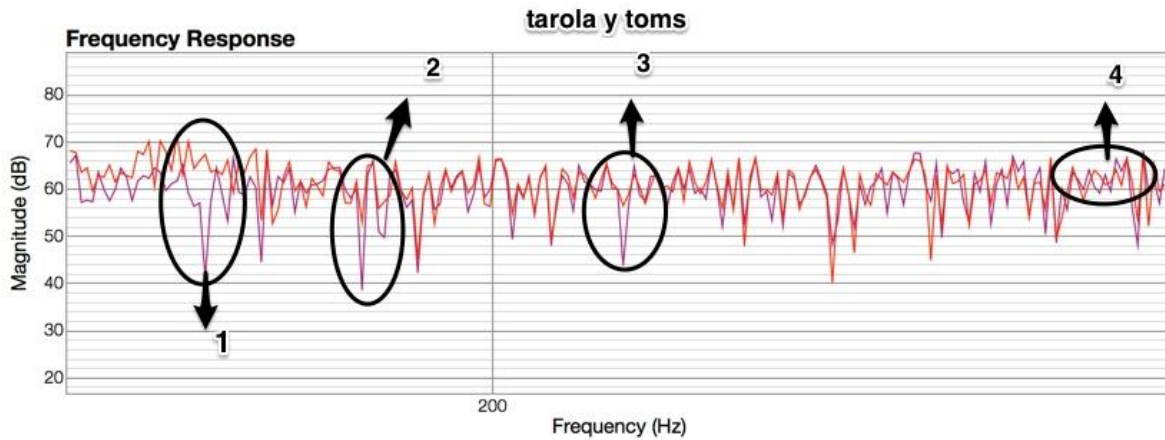


Figura 3.18 Acercamiento a la frecuencia fundamental tarola y toms en la comparación de señales.

A continuación se tiene un acercamiento a las frecuencias que corresponden a los contra-tiempos (270 Hz) para ver de qué forma se comporto la señal al momento de la mezcla y que cambios se notan.

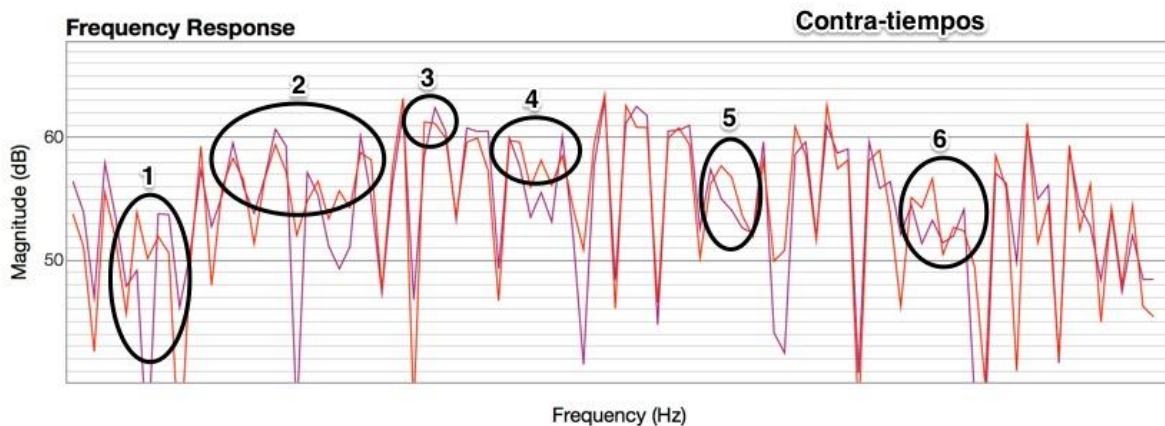


Figura 3.19 Acercamiento a la frecuencia fundamental de los contra-tiempos en la comparación de señales.

Se vuelve a observar un comportamiento muy similar a los anteriores análisis en los que fue aplicado un zoom lo suficientemente grande para apreciar como los picos

que presenta la batería en su señal (morada) se ven atenuadas esos decaimientos drásticos con pendientes muy pronunciadas, en la figura 3.19 que corresponde a la comparación de las dos señales se puede notar de forma gráfica, hay que tomar en cuenta que estamos muy cerca de la nota Si_3 (493 Hz) entonces se pueden confundir las notas fundamentales de el crash y de los contratiempos con las frecuencias fundamentales de las notas de la guitarra que empiezan a interactuar en este rango de frecuencias.

A los 532 Hz se encuentra la frecuencia fundamental del crash en la señal de la batería, después en la señal mezclada lo encontramos a 529 Hz y a simple vista no se apreciaba este cambio por lo que le aplicamos un zoom adecuado y se observó lo siguiente:

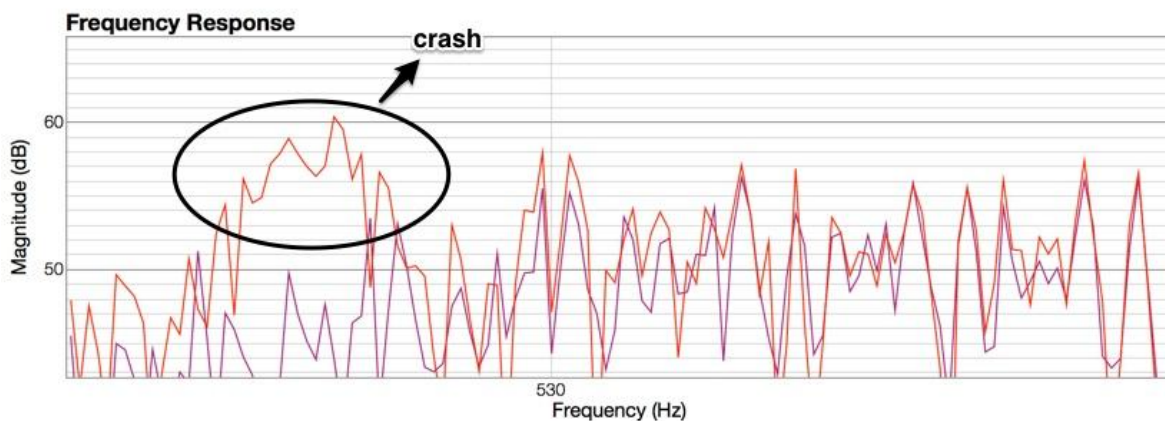


Figura 3.20 Acercamiento a la frecuencia fundamental del crash en la comparación de señales.

Se puede apreciar que el pico de mayor amplitud de (60 dB) que corresponde a la frecuencia fundamental del crash, tiene pendientes más suavizadas que a la de la señal de la batería acústica, lo que a nuestro oído es más agradable que una pendiente que este demasiado inclinada.

Por último se observan las frecuencias que están entre 2.5 kHz y 15 kHz donde se ubican los sobretonos de la batería acústica, en la figura 3.21 podemos notar que estos sobretonos aumentan en amplitud pues se suman junto con los armónicos generados por la guitarra.

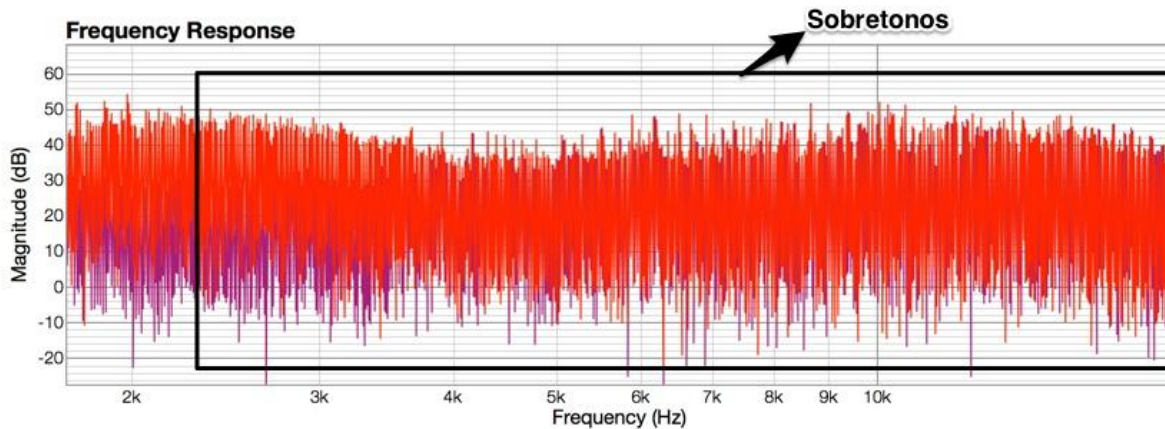


Figura 3.21 Rango de frecuencias de los sobretonos de la batería.

En la figura 3.15 se había notado una diferencia muy notoria entre las dos señales alrededor de las frecuencias de 1 kHz - 3 kHz, esto se debe a que los armónicos de la guitarra eléctrica comienzan a partir de los 1.4 kHz y los sobretonos de la batería comienzan en los 2.5 kHz por lo que sobresalen los armónicos de la guitarra al momento de comparar las dos señales. Véase la figura 3.22.

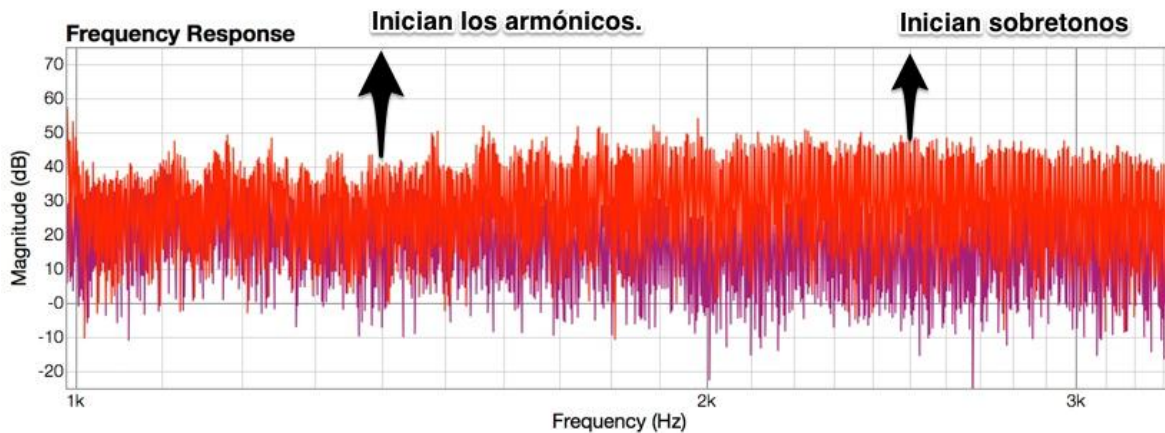


Figura 3.22 Ubicación de inicio de armónicos y sobretonos.

3.3 Análisis espectral de la señal de Guitarra Eléctrica

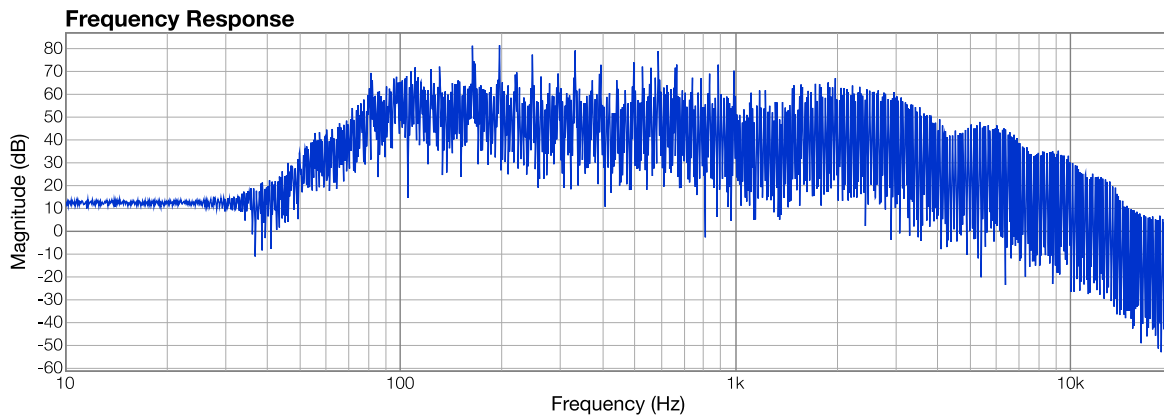


Figura 3.1 Señal de la guitarra eléctrica en el dominio de la frecuencia.

En la figura 3.23 se muestra el espectro en frecuencia general de la señal de la guitarra eléctrica. Para el análisis de esta señal de guitarra, es importante resaltar que nos enfocaremos totalmente en un rango de frecuencias que comprende desde los 82 Hz hasta los 1400 Hz (figura 3.24), ya que este es el rango aproximado de frecuencias fundamentales sobre las cuales se encuentran las notas que trabaja una guitarra eléctrica, todo lo que este por debajo de tales frecuencias es considerado ruido ajeno al instrumento, por encima del mismo rango se encuentran los armónicos de las frecuencias fundamentales figura 3.24, 3.25.

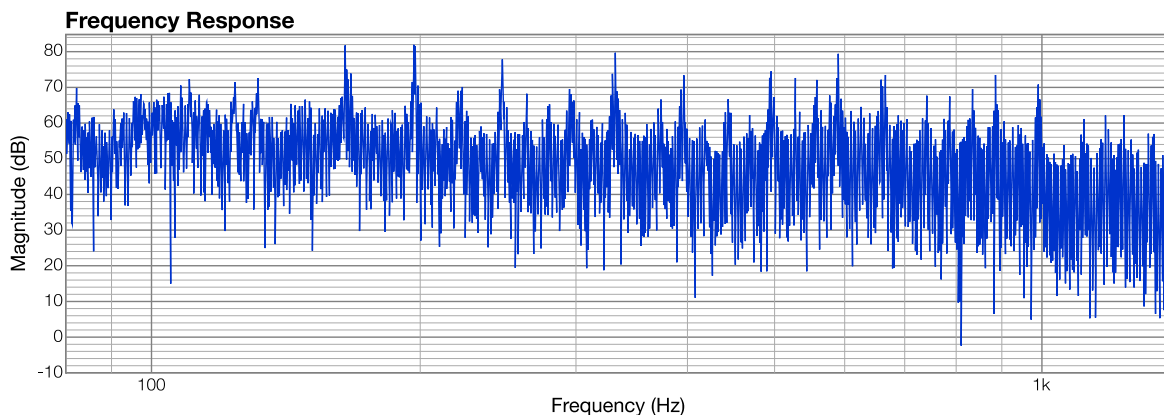


Figura 3.2 Rango (82 Hz – 1400 Hz) a analizar de la señal de la guitarra eléctrica.

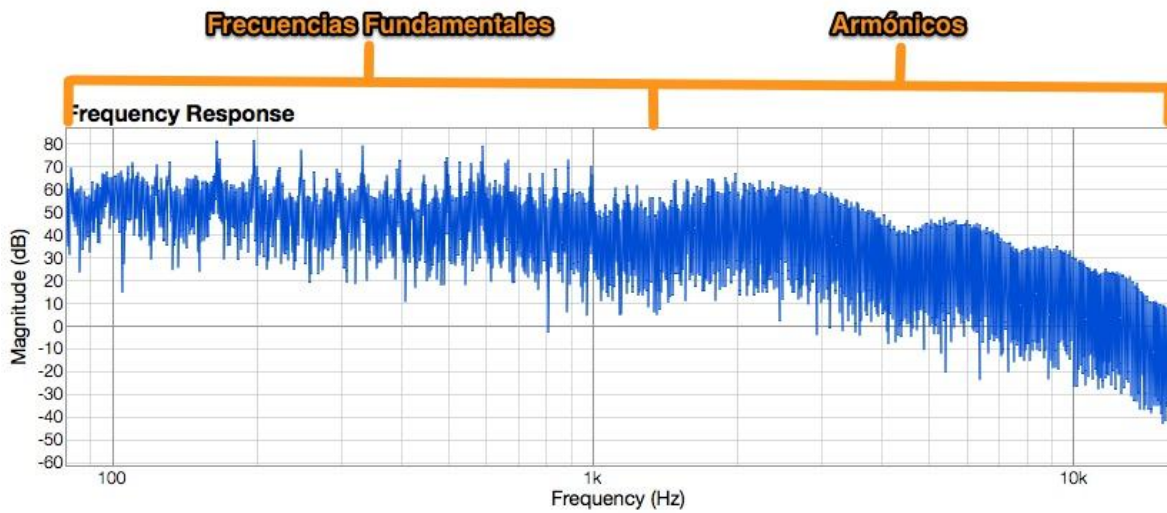


Figura 3.3 Rangos de las frecuencias fundamentales y los armónicos de la señal a analizar.

Ahora procedemos a la ubicación de las frecuencias fundamentales que nos interesan de la guitarra, que son las frecuencias que se están utilizando en este segmento de interpretación.

La nota más grave que produce la guitarra con que esta realizada esta interpretación es Mi_3 (sexta cuerda al aire en la guitarra) correspondiente a 165 Hz, con 81.8 dB de magnitud, observamos en la figura 3.26 el primer pico mayor que muestra nuestra señal, que corresponde con dicha nota musical.

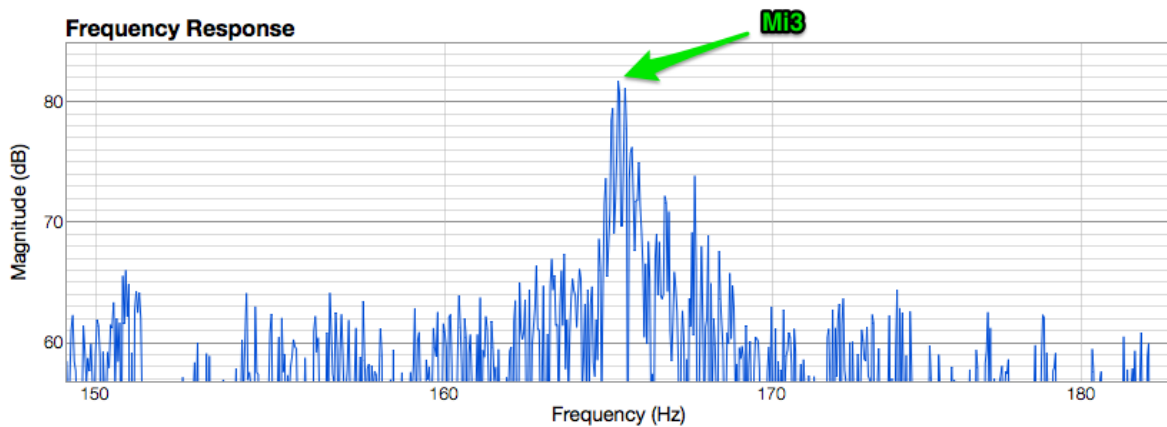


Figura 3.4 Frecuencia fundamental de la nota Mi_3 .

En la figura 3.27 es ubicado (con un acercamiento mas detallado que nos permite realizar el software) el segundo pico de mayor amplitud que esta a 197.8 Hz con 81.9 dB en magnitud, la cual corresponde a la nota musical Sol₃ (sexta cuerda, traste numero 3 en la guitarra).

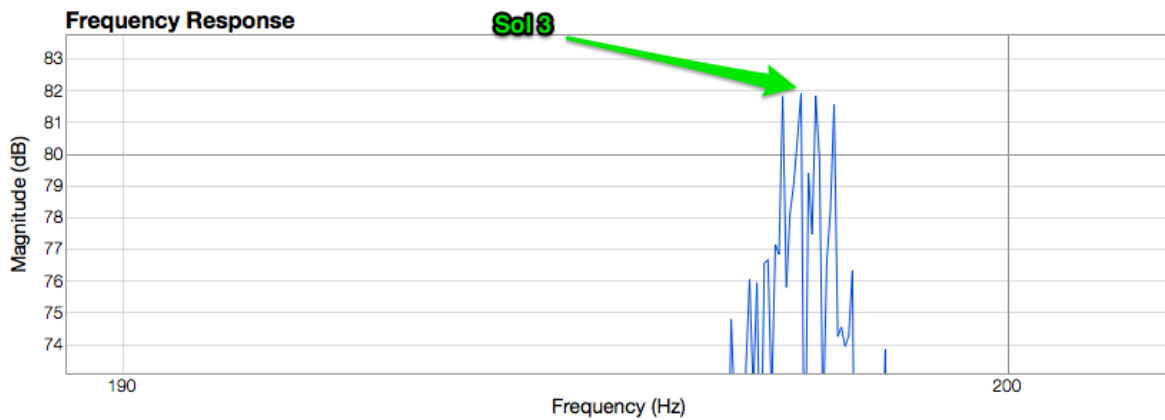


Figura 3.5 Frecuencia fundamental de la nota Sol₃.

El siguiente pico no es muy pronunciado a comparación de las anteriores dos ya que al momento de la ejecución se realiza un acorde compuesto con distintas notas, pero esencialmente la nota de base es La₃ (quinta cuerda al aire en la guitarra) mostrada en la figura 3.28, comprobando así que tal pico se encuentra a 222.5 Hz con tan solo 70.2 dB de potencia.

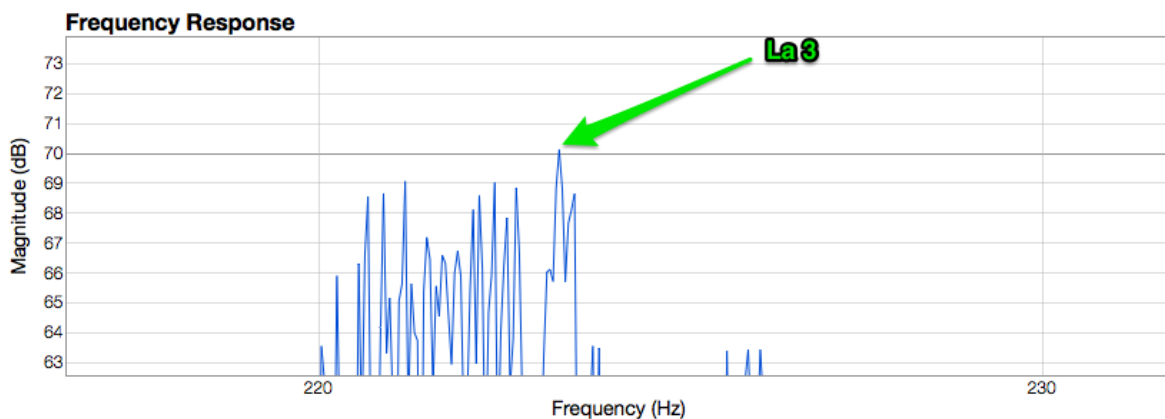


Figura 3.6 Frecuencia fundamental de la nota La₃.

En la figura 3.29 se muestra el pico que se encuentra a 248 Hz con 78 dB, la cual corresponde a la nota Si_3 (quinta cuerda, traste numero dos) y que es dicha nota musical con la que se finaliza este segmento de interpretación que es considerado armónico.

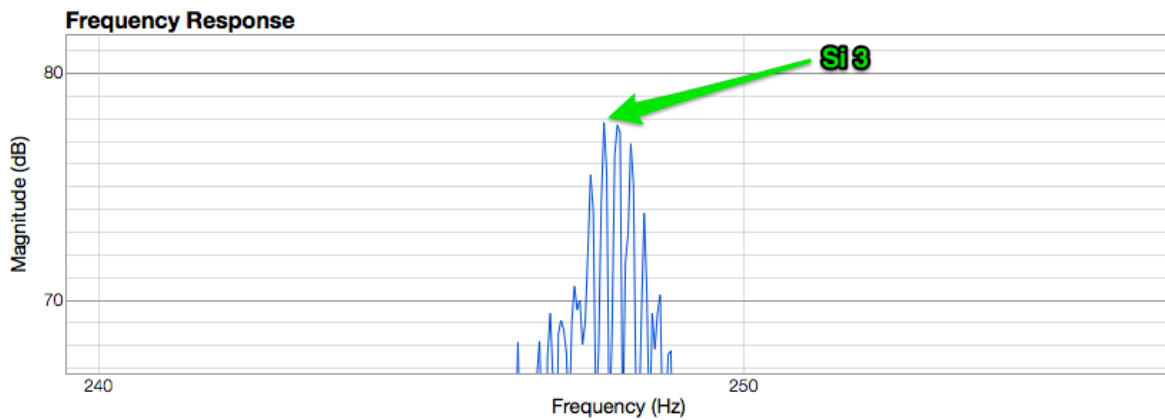


Figura 3.7 Frecuencia fundamental de la nota Si_3 .

Finalmente para complementar, se encuentra la última frecuencia fundamental que sobresale en este espectro da frecuencias que está ubicada en 294 Hz a 69.6 dB correspondiente a la nota musical Re_4 que en la guitarra se produce excitando la cuerda número cuatro al aire (ver figura 3.30).

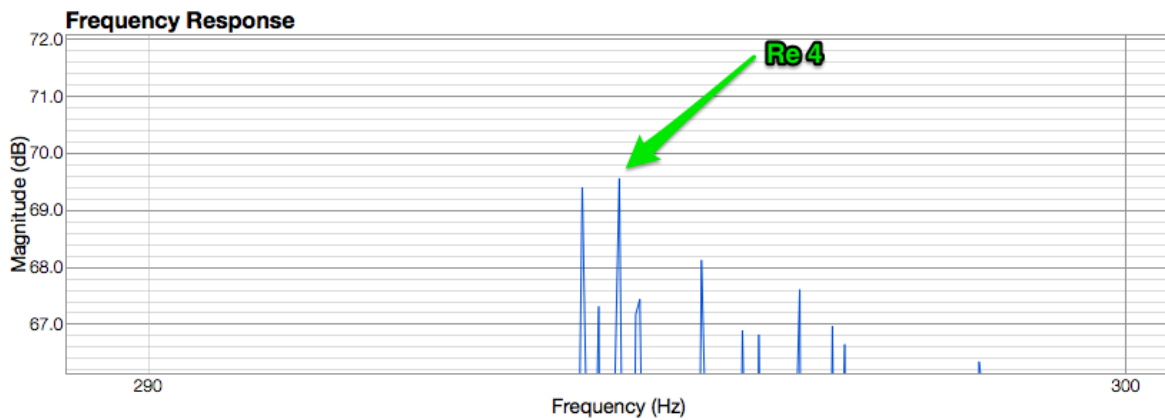


Figura 3.8 Frecuencia fundamental de la nota Re_4 .

En resumen, en la figura 3.31 se resaltan notoriamente (mediante círculos numerados) 5 picos importantes que corresponden a las frecuencias fundamentales de las notas sobre las cuales este segmento de interpretación esta armonizado.

El círculo número 1 corresponde a la nota Mi_3 (165 Hz) con 81.8 dB de magnitud , el número 2 pertenece a la nota Sol_3 (197.8 Hz) con 81.95 dB, el pico numero 3 a la nota La_3 (222.5 Hz) con 70.2 dB, el circulo numero 4 representa a la nota Si_3 (248 Hz) con 78 dB y finalmente el círculo número 5 hace resaltar a la nota Re_4 (294 Hz) con 69.6 dB, para mejor detalle ver la tabla 3.2.

Los picos posteriores a la nota Re_4 (círculo número 5) corresponden a los armónicos de las frecuencias de las notas anteriormente mencionadas (son sus sobre tonos enteros).

Así mismo los picos anteriores a la nota Mi_3 (círculo número 1) son despreciados y considerados ruido por lo ya mencionado, acerca de la frecuencia más baja que puede generar la guitarra eléctrica utilizada en esta interpretación.

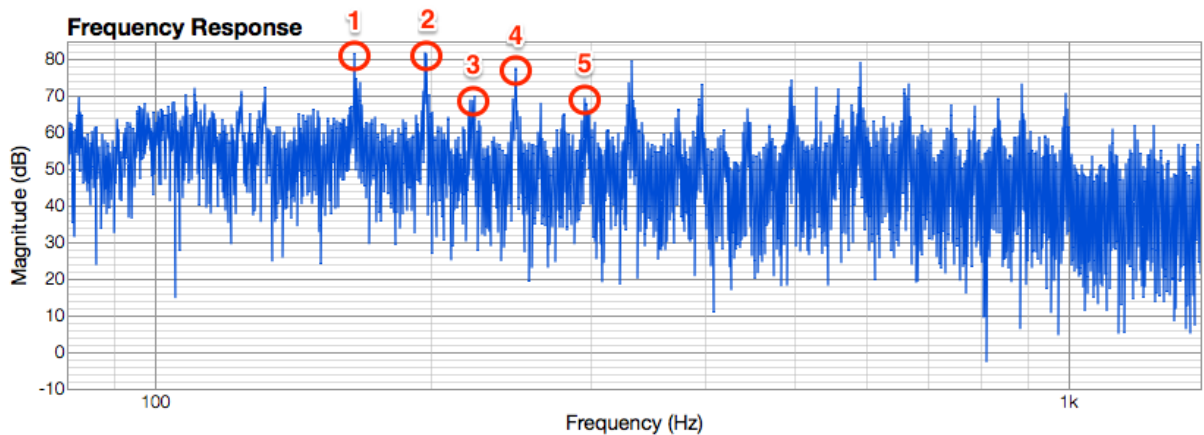


Figura 3.9 Frecuencias fundamentales.

Tabla 3.2 Resumen de frecuencias fundamentales obtenidas de la gráfica espectral de la guitarra eléctrica.

Pico	Nota musical	Frecuencia (Hz)	Magnitud (dB)
1	Mi ₃	165	81.8
2	Sol ₃	197.8	81.95
3	La ₃	222.5	70.2
4	Si ₃	248	78
5	Re ₄	294	69.6

Reiterando, los picos se encuentran a ciertas frecuencias que pertenecen a dichas notas musicales, esto es comprobado musicalmente conociendo los acordes que se generaron al realizar la composición musical, específicamente en este segmento de tiempo, afirmando así que efectivamente son las notas ejecutadas sobre las cuales nos interesa enfocar más este análisis al momento de comparar con la señal mezclada.

Ahora bien, para comprobar que los armónicos corresponden a los picos restantes a partir de estos cinco importantes que han sido marcados, basta únicamente con basarse en análisis de señales y aunado a teoría musical donde muestra entre otras cosas, que los armónicos son los múltiplos enteros de la frecuencia fundamental, es decir, $n * f$ donde $n =$ Número natural.

Para cuestión de comprobación, en la tabla 3.3 se han calculado los primeros 5 armónicos de cada una de las 5 frecuencias fundamentales.

Tabla 3.3 Cálculo de los primeros cinco armónicos a partir de las frecuencias fundamentales.

Pico	Nota musical	Frecuencia Fundamental (Hz)	Magnitud (dB)	Armónicos = $n * f$ (Hz)				
				$2 * f$	$3 * f$	$4 * f$	$5 * f$	$n * f$
1	Mi ₃	165	81.8	330	495	660	825	...
2	Sol ₃	197.8	81.95	395.6	593.4	791.2	989	...
3	La ₃	222.5	70.2	445	667.5	890	1112.5	...
4	Si ₃	248	78	496	744	992	1240	...
5	Re ₄	294	69.6	588	882	1176	1470	...

Finalmente para terminar este apartado se observa que el primer armónico que se produce por parte de la guitarra eléctrica en este segmento de interpretación considerado armónico se encuentra en los 330 Hz.

3.4 Análisis espectral de las señales de Guitarra Eléctrica vs Guitarra y Batería Acústica

A continuación serán analizados que cambios presentó la señal de cada nota resaltante de la guitarra en la señal mezclada con la batería, serán ubicadas las frecuencias fundamentales de las notas musicales, y será observado el comportamiento de sus armónicos a partir de los 1.4 kHz.

En la figura 3.32 se encuentran la señal de la guitarra eléctrica en color azul y la de color rojo es la señal mezclada de guitarra eléctrica con la batería acústica.

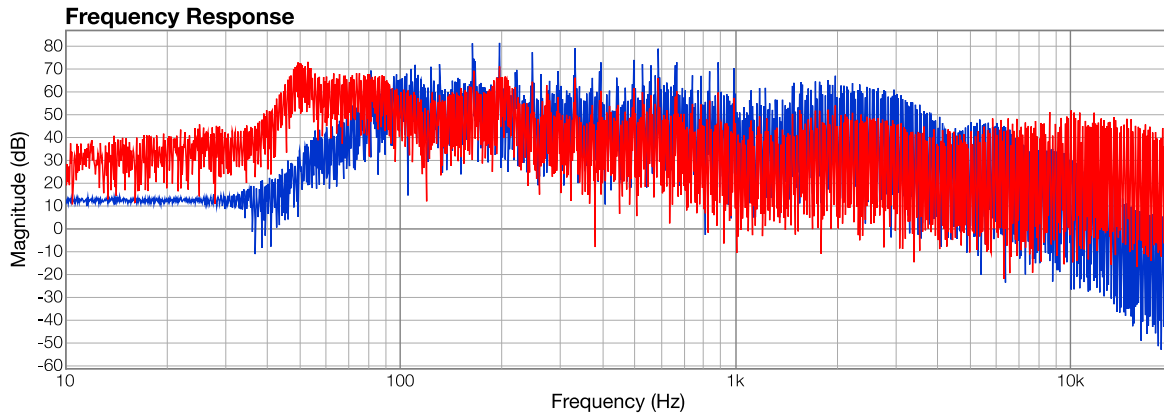


Figura 3.10 Señal de la guitarra eléctrica (Azul), señal mezclada (rojo).

Para llevar a cabo el análisis de la señal de guitarra eléctrica con la señal mezclada, nos enfocaremos nuevamente dentro del rango de frecuencias que comprende desde los 82 Hz hasta los 1400 Hz (figura 3.33), ya que este es el rango aproximado de frecuencias sobre las que trabaja la guitarra eléctrica y especialmente para este análisis será enfocada la atención a las cinco frecuencias fundamentales, todo lo que este por debajo a tales frecuencias no es de importancia puesto que es considerado ruido innecesario (en este análisis hecho con la guitarra eléctrica respecto a la señal mezclada), y lo que esté a partir de los 330 Hz, reiterando, son los armónicos de la guitarra, los cuales a su vez coincidirán algunos con los sobretonos de la batería.

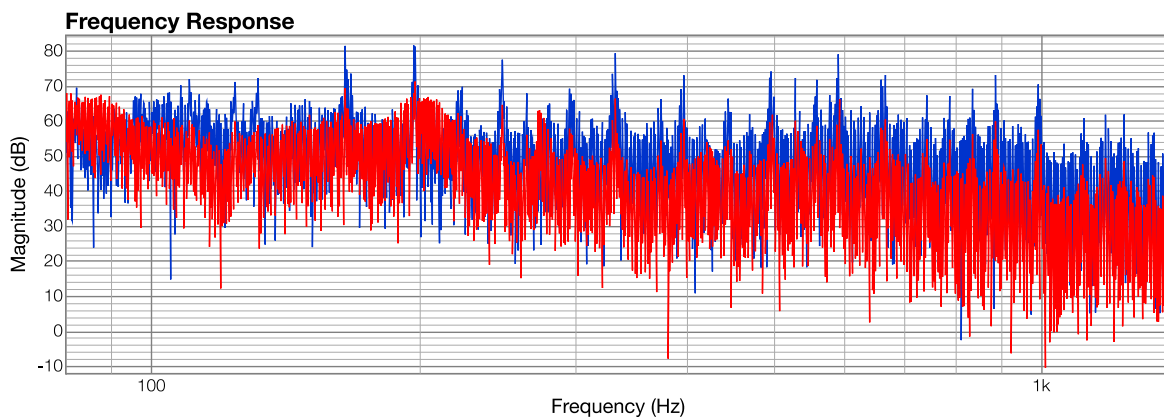


Figura 3.11 Señales a analizar dentro del rango que va aproximadamente de los 82 Hz a los 1,400 Hz.

Ahora bien, analizaremos de izquierda a derecha respecto a la gráfica de frecuencias detalladamente los cambios que surgieron al comparar la muestra mezclada contra la muestra de guitarra solamente, utilizando como referencia la figura 3.34 para ubicar las frecuencias fundamentales dentro de esta comparación entre ambas señales.

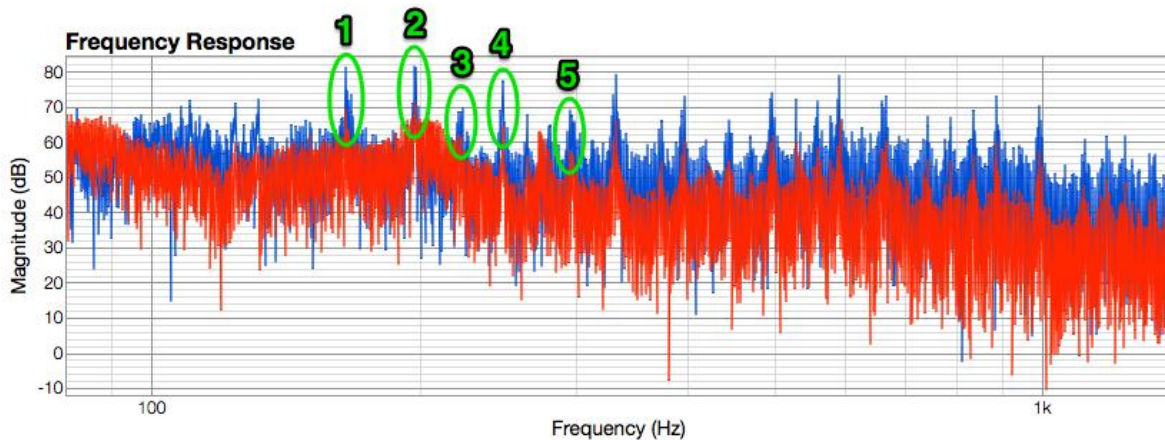


Figura 3.12 Picos correspondientes a las notas Mi, Sol, La, Si, Re.

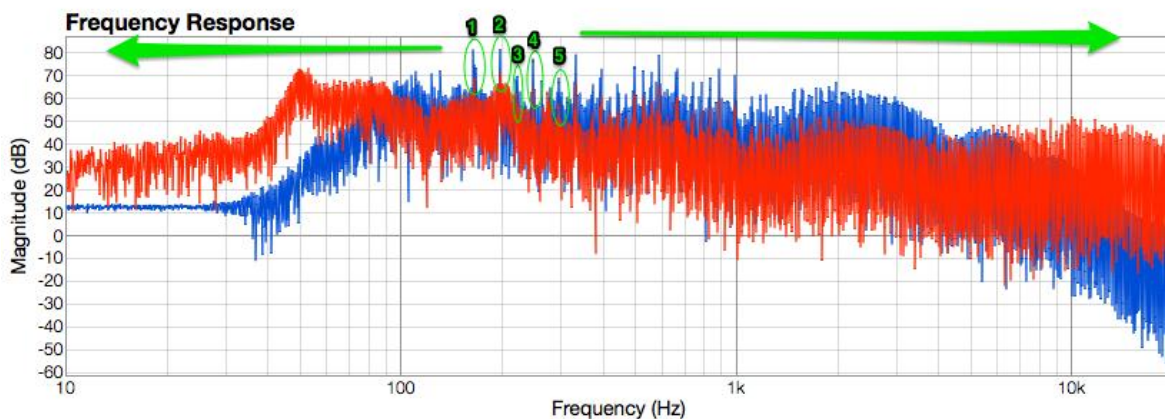


Figura 3.13 Frecuencias fundamentales de referencia en el espectro general

Con ayuda de la figura 3.35 como referencia, todo lo que está señalado por la flecha direccionada hacia la izquierda, es decir, valores previos a la frecuencia fundamental (número 1), no afecta en lo absoluto a la señal de la batería, por lo que se supone que esa forma de onda que vemos (de la señal mezclada (señal roja)) es puramente

de algún elemento de la batería (bombo), sin embargo podemos ver mas detalladamente en la figura 3.36 marcada con la letra **A** que existe presencia de señal antes del pico número 1, esta presencia de señal puede ser justificada por dos razones:

1. La guitarra utilizada es de puente flotante, por lo que este en momentos de accionar varias cuerdas, sin querer genera frecuencias más bajas, que son casi imperceptibles al oído.
2. Ruido generado por cuestiones externas, tales como cables, interface, desgaste de algún plug.

Sin embargo se puede ver que en esta parte la señal de la guitarra decreció en cuanto a magnitud cerca de 10 dB respecto a la señal mezclada.

En el recuadro marcado con la letra B, vemos que es normal el incremento exponencial de la señal a partir de que son imperceptibles las frecuencias e intensidad del sonido, hasta que se empieza a hacer notoria y se van haciendo presentes las frecuencias que maneja una guitarra eléctrica, hasta llegar a la fundamental que esta guitarra puede en teoría generar, y es precisamente la que se oye más por tanto su pico es pronunciado sobre las anteriores frecuencias por debajo de ella.

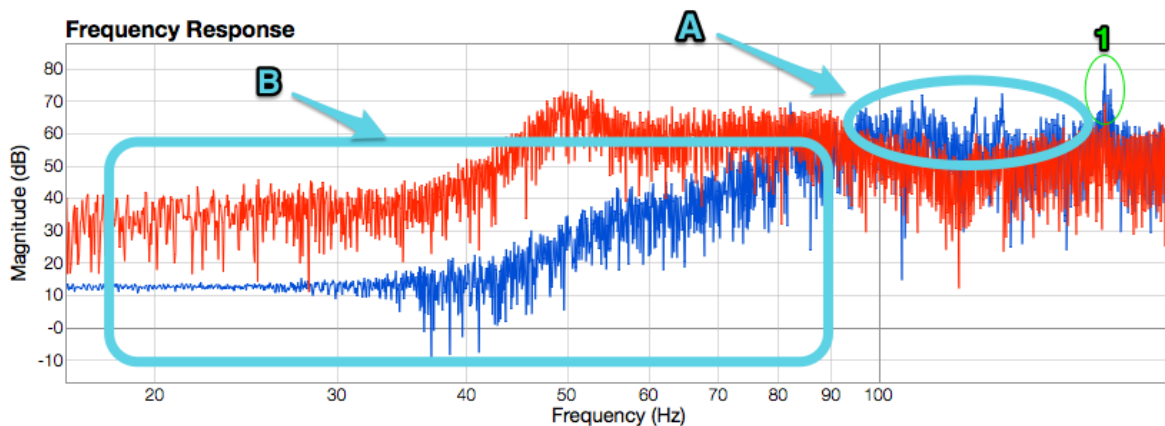


Figura 3.14 Comportamiento de las frecuencias anteriores a la primera fundamental respecto a la señal mezclada.

A continuación la atención es enfocada en una segunda parte que ya comprende el rango de las frecuencias fundamentales que maneja la guitarra eléctrica comparando con la señal mezclada dicho rango se muestra en la figura 3.37 donde encuentran las frecuencias fundamentales numeradas.

Se observa que la señal de la guitarra en todo momento se encuentra muy por encima de la señal mezclada, lo cual se deduce a grandes rasgos que al combinar la señal de guitarra con la batería, se suaviza la señal resultante.

Todo lo que se encuentra dentro del recuadro **A** en la figura 3.37 son frecuencias fundamentales, sin embargo para este segmento de interpretación, coinciden con los armónicos de las frecuencias que hemos marcado con números, empezando el primero a partir de los 330 HZ, estas frecuencias numeradas les enfocaremos mas nuestra atención porque es donde interactúan ambos instrumentos en frecuencias, por tanto hay mas posibilidad de ubicar los cambios generados.

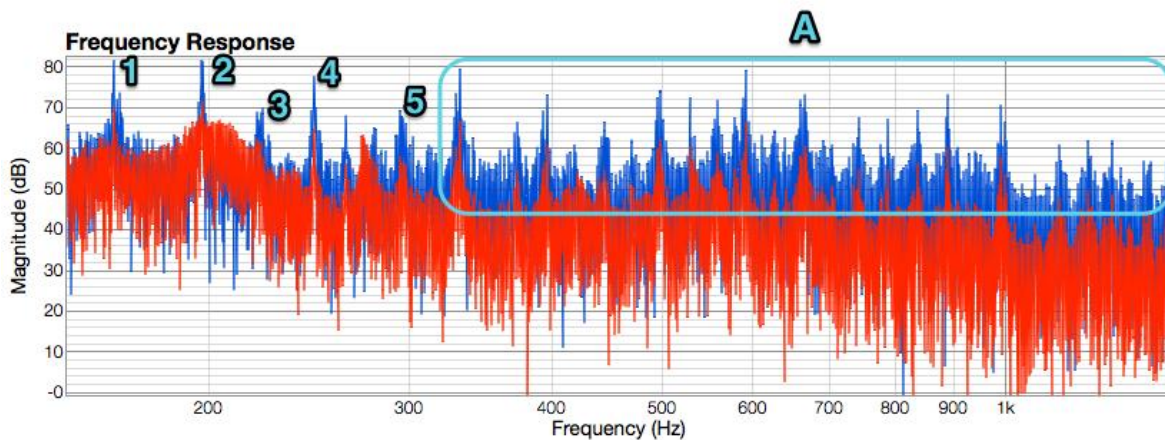


Figura 3.15 Comportamiento de las frecuencias fundamentales respecto a la señal mezclada.

Detalladamente en la nota 1 (Mi_3 , 165 Hz) podemos observar que el pico se mantuvo a la misma frecuencia y al parecer el resto de los picos que mantiene a los lados permanecen con la misma forma de onda, pero la frecuencia fundamental, como se observa se redujo en magnitud cerca de 12 dB (ver figura 3.38).

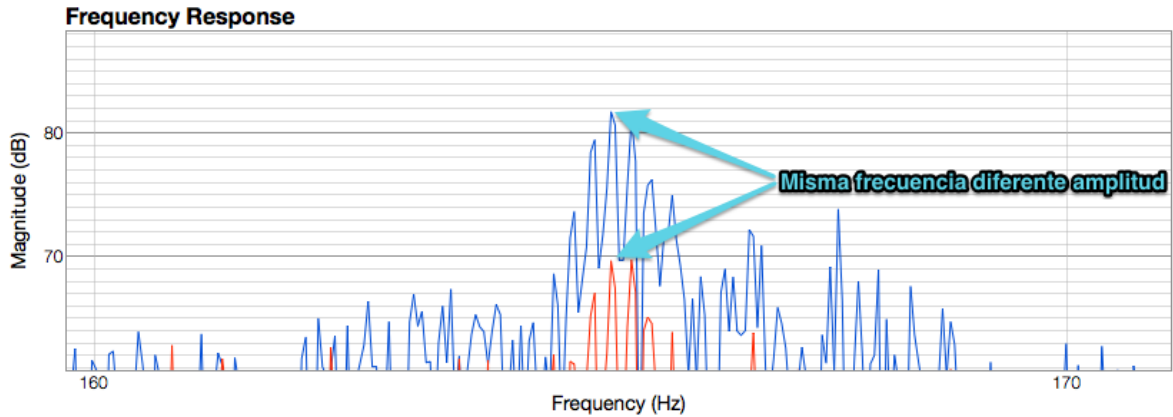


Figura 3.16 Acercamiento a la nota 1 para ver diferencias.

En la nota número 2 (Sol₃, 197.8 Hz) se observa que son más perceptibles, visualmente, las diferencias entre ambas señales. En la figura 3.39 se observa a la frecuencia 2, seguido de esta vemos que hay una caída muy pronunciada, la cual, en la señal mezclada parece no ser de gran importancia ya se que muestra muy estable en cuanto a magnitud, sin embargo se ve por parte de la señal mezclada que muchos picos ya no corresponden en su mayoría a los de la guitarra.

Se ha ubicado el pico mas alto de la señal mezclada, que es donde supuestamente es donde la frecuencia 2 esta influyendo en la mezclada, observamos que se mantiene la misma frecuencia 197.8 Hz, pero con una reducción de aproximadamente 11 dB de magnitud.

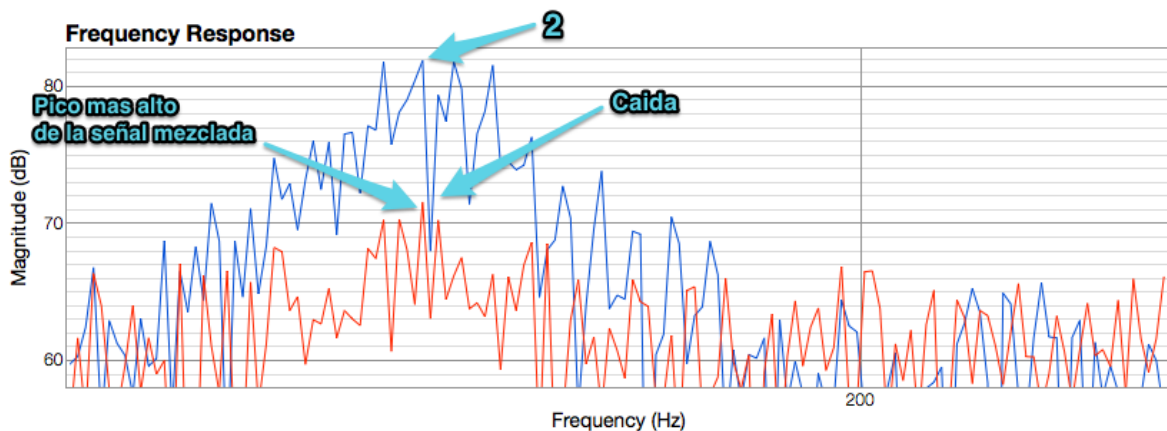


Figura 3.17 Acercamiento a la frecuencia 2 para ver diferencias.

Así mismo todo ese recorrido de frecuencias hasta llegar a la nota 3 (La_3 , 219.98 Hz) se percibe visualmente que son muy aleatorios los picos en cuanto a frecuencias y magnitudes, al momento de ubicar la frecuencia 3 se observa que en la señal mezclada, esta nota ha desaparecido por completo, notándose que la señal mezclada sigue siendo muy aleatoria en cuanto a sus características, en la figura 3.40 se ve muy notoria la supresión de tal nota.

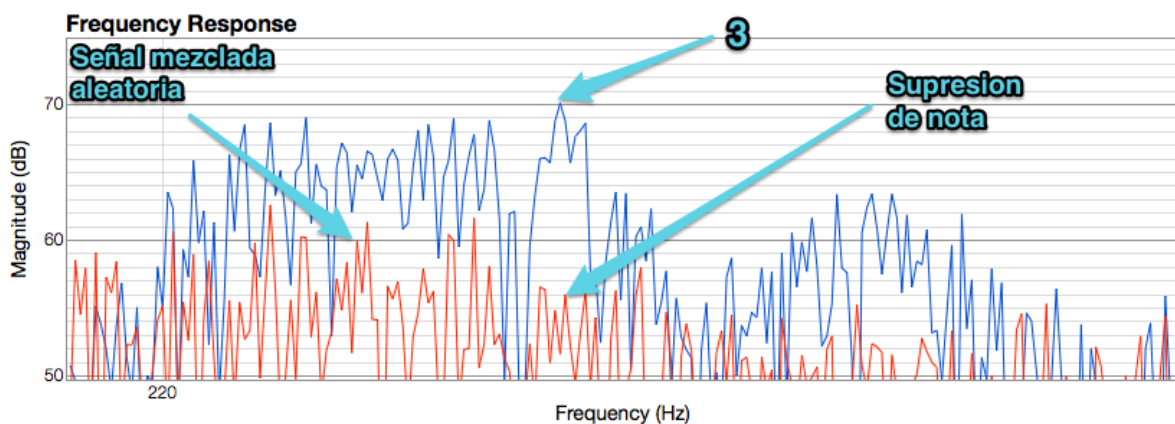


Figura 3.18 Acercamiento a la nota 3 para ver diferencias.

A continuación del recorrido de frecuencias del espectro llegamos donde se encuentra la frecuencia 4 (Si_3) la cual esta a 248 Hz, se observa en la figura 3.41 que al llegar a esta nota la señal mezclada se vuelve a estabilizar tomando las formas de onda que tiene la de guitarra sola, el cuadro **A** de la figura 3.41 remarca como las frecuencias seguían siendo bastante aleatorias, pero ya a partir de los 245 Hz esta se torna mas estable regresando al patrón de la muestra de guitarra. El pico máximo de la señal mezclada correspondiente a esta nota 4 fue reducida en 13 dB.

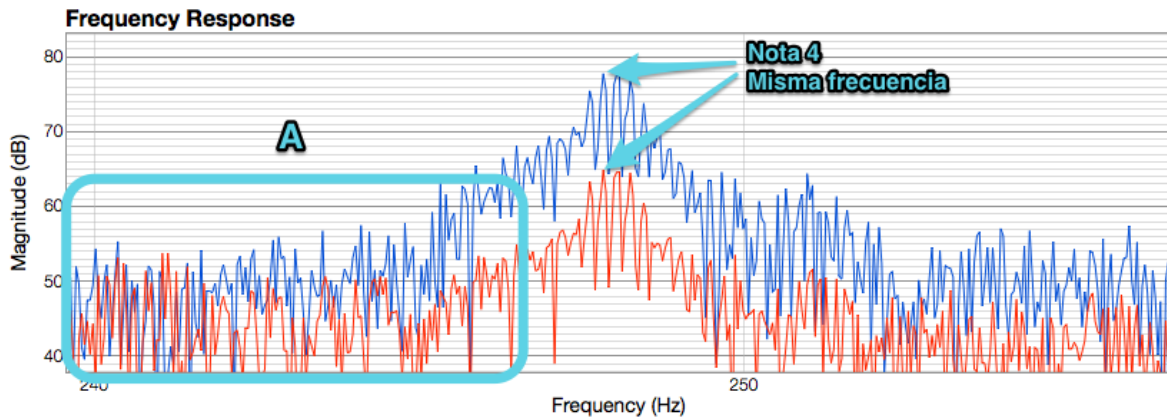


Figura 3.19 Acercamiento a la nota 4 para ver diferencias.

Finalmente en la frecuencia 5 (Re_4) los picos mas altos coinciden de ambas señales estando estas a 293.78 Hz, sacando un diferencia de 12 dB como se muestra en la figura 3.42 y observando que las frecuencias anteriores y posteriores se comportan un poco más aleatorias con un recorrimiento mínimo, no tan notorio, pero manteniendo el patrón de la señal de guitarra.

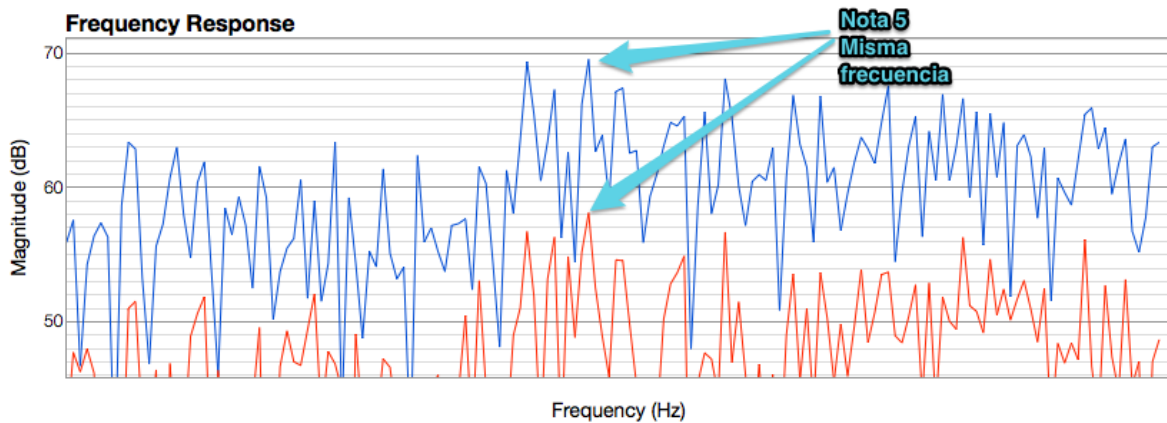


Figura 3.20 Acercamiento a la nota 5 para ver diferencias.

Echando un vistazo de vuelta a la figura 3.37 a simple vista se puede ver que las frecuencias de la muestra mezclada que se encuentran dentro del recuadro **A**, siguen el mismo patrón que el de la muestra de guitarra, y tomando en cuenta que son armónicos en su mayoría de las frecuencias resaltadas, y estando dentro del

rango de frecuencias fundamentales que trabaja la guitarra, deducimos del análisis de estas 5 anteriores ya analizadas que la diferencias de magnitud serán en promedio de 11 – 13 dB en cualquiera de estas frecuencias que estén dentro del rango manejado por la guitarra eléctrica.

En la figura 3.43 se hace uso de un suavizado de la señal a una resolución de 1/48 de octava para apreciar que al llegar a la frecuencia 2 es donde se aprecian los cambios muy notorios, donde se ve que la señal mezclada tiene una pendiente de caída muy pronunciada, que es la parte donde es suprimida la frecuencia 3, a la vez al llegar a la frecuencia 4 esta empieza a estabilizarse, pero no lo hace por completo hasta pasar de la frecuencia 5, que es el momento donde vemos que la señal se comporta tal cual en su mayoría al patrón de la señal de guitarra sola hasta llegar a los 1400 Hz.

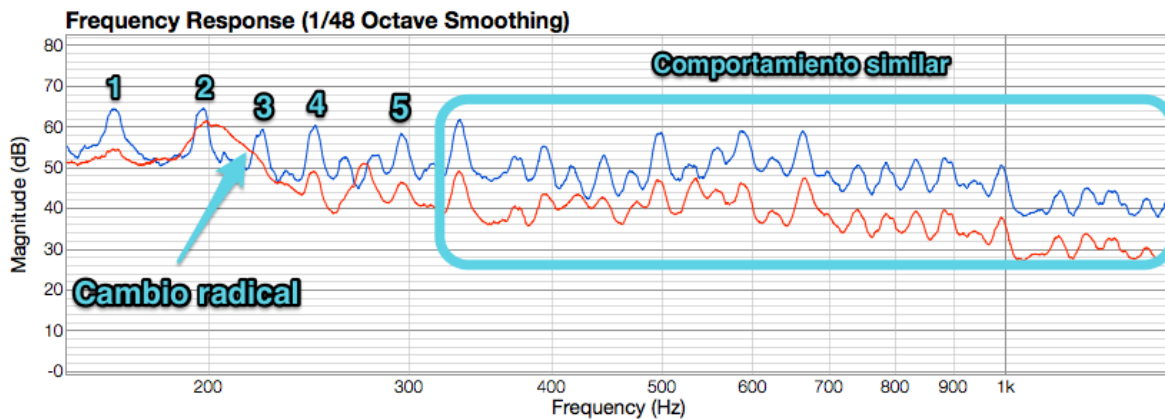


Figura 3.21 Resolución a 1/48 de octava.

Finalmente para terminar este apartado de la guitarra nos queda analizar el comportamiento existente a partir de los 1400 Hz hasta los 4 kHz aproximadamente que ya todo este rango es solo de armónicos, lo que se encuentre por delante ya es considerado ruido externo a la fuente e indeseable ocasionado por agentes externos.

Observando así en la figura 3.44 que las frecuencias de la guitarra se van atenuando en nivel de magnitud conforme se acerca a los 4 KHz, momento en el cual ya se

encuentra el nivel de la señal de guitarra en los 40 dB lo cual ya es un nivel muy bajo casi imperceptible por el oído humano. Encima de los 4 kHz, lo que se aprecia es ruido que no afecta al escucha puesto que tiene un nivel de potencia muy bajo.

En cuanto a la señal mezclada color rojo observamos que esta se mantiene lineal manteniéndose entre los 40 y 50 dB hasta llegar al límite de la frecuencia audible, lo cual no es nada molesto para el oído humano mas que nada por el nivel de magnitud que ha resultado de la unión entre batería acústica y guitarra eléctrica.

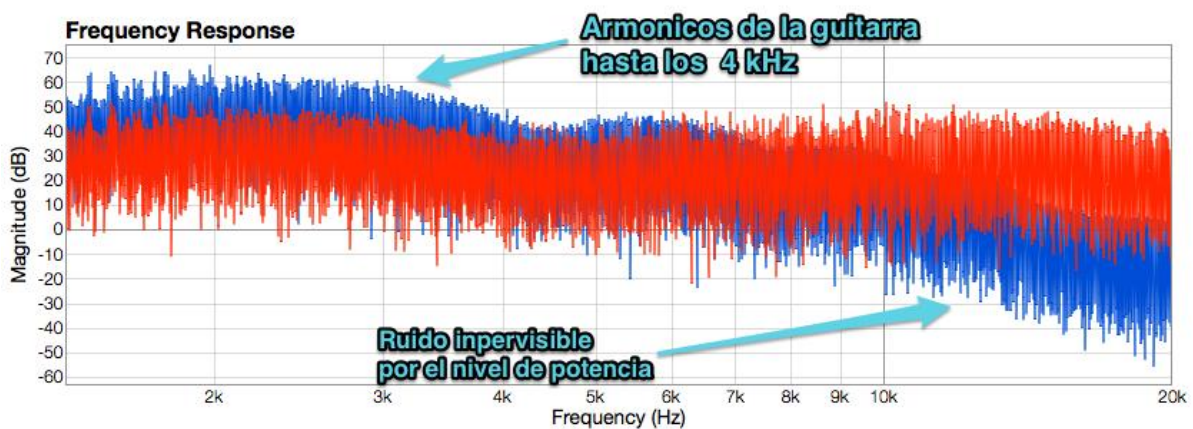


Figura 3.22 Frecuencias correspondientes a armónicos.

Conclusiones y observaciones

Un elemento que presentó uno de los cambios más notables al momento de la mezcla, fue la tarola, siendo esta uno de los elementos principales cuando se lleva un ritmo, y lo que se observó fue que se atenuaron decaimientos bruscos en la fundamental, así como también los picos fueron suavizados. La frecuencia de 197.8 (Sol₃) de la guitarra al mezclarse con la frecuencia fundamental de la tarola suaviza su pendiente a tal grado que se suprime la frecuencia de 222 Hz (La₃).

En los contratiempos se observó en general un comportamiento parecido al de la tarola, muchos picos se atenuaron pero no desaparecieron completamente sin embargo la diferencia fue notoria.

Los sobretonos ganaron amplitud al mezclarse con los armónicos de la guitarra.

Los crash ganaron amplitud, pero sus picos presentaron el mismo fenómeno de atenuación de pendientes.

Se genera una resultante debido a la suma de ambas señales (guitarra y batería).

En general, en la señal mezclada se suavizan y/o se amortiguan pendientes y se atenúan magnitudes de la guitarra al sumarse con la señal de la batería.

Es sabido que al oído le es más sencillo identificar señales de tipo senoidal (acústica de la audición y psicoacústica) en señales que muestran cambios de pendiente muy bruscos tal como son los picos producidos por muchas percusiones, al sentido auditivo le es difícil procesar la información, por lo tanto en este último caso los sonidos producidos son desagradables, lo cual finalmente impide disfrutar la interpretación musical.

Finalmente se concluye que la armonía se va ver en un espectrograma como una modulación en amplitud y frecuencia; con lo cual se cumplen los objetivos establecidos para este trabajo.

Referencias bibliográficas

Camacho, A. (2007). *WIPE: A SAWTOOTH WAVEFORM INSPIRED PITCH ESTIMATOR FOR SPEECH AND MUSIC*. University of Florida.

Carmen, M. (20 de Febrero de 2011). *www.wordpress.com*. Recuperado el 5 de Abril de 2014, de Blog de Musica: <http://mcarmerfer.wordpress.com/2011/02/20/la-armonia-consonancia-y-disonancia/>

Única, J. (2012). *Escuela de Riffs*. Recuperado el 2015, de <http://escueladeriffs.com/10-como-afinar-una-guitarra-electrica/>

Acustica Musical. (2005). Obtenido de http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_05_06/io2/public_html/introduccion.html

Angelica Elvira, A. (2009). *Etudio comparativo de dos guitarras acústicas*. Tesis Curricular, Instituto Politécnico Nacional, Especialidad de Acústica, México.

F., A. E. (2001). *The Master Handbook of Acoustics*, (Rango de frecuencias de los instrumentos ed.). McGraw-Hill.

Garcia Lorenzo, D. (28 de Mayo de 2003). *La guitarra eléctrica estructura y funcionamiento*. Recuperado el 8 de Abril de 2014, de <http://www.lpi.tel.uva.es:> http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_02_03/Guitarra/index.htm

Malda, I. R. (2013). Capítulo 1. Definiciones y conceptos generales de la teoría de la música. En *Apuntes de acústica musical*. México, Distrito Federal, México.

Miyara, F. (s.f.). Acústica y sistemas de sonido. *Soporte Teórico* .

Olson, H. F. (1967). *Music, physics and engineering* (Second Edition ed.). Miraya.

Ramír, A. L. (s.f.). *Formación de escalas y sonoridades en el siglo XX*. Obtenido de <http://www.teoria.com/articulos/aramirez/indice.htm>

Universidad de Valladolid. (2006). *Acústica Musical*. Recuperado el 2 de Abril de 2014, de www.lpi.tel.uva.es:

http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_05_06/io2/public_html/sonido.html#evolucion_temporal

Universidad de Valladolid. (2006). *Acustica Musical*. Recuperado el 4 de Abril de 2014, de www.lpi.tel.uva.es:

http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_05_06/io2/public_html/introduccion.html

Wolfe, J. (1997). *Music Acoustics UNSW*. Obtenido de <http://www.phys.unsw.edu.au/music/>