

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE ARTES

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO



**Relaciones psicofísicas entre el color y cinco de los acordes con séptima más comunes en la
armonía popular**

TESIS

POR:

Jesús Iván Almanza Ponce

TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN ARTES

CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO

DICIEMBRE DE 2017



Relaciones psicofísicas entre el color y cinco de los acordes con séptima más comunes en la armonía popular. Tesis presentada por Jesús Iván Almanza Ponce como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Artes, ha sido aprobada y aceptada por:

Armando Núñez P.

M.M Armando Núñez Portillo
Director

Luis Raúl Baray Martínez

cDr. Luis Raúl Baray Martínez
Codirector

Ángela Sánchez de Vera Torres

Dra. Ángela Sánchez de Vera Torres
Asesor

Jesús Iván Almanza Ponce

M.M. Iván Sparrow Ayub
Asesor

Fecha: mayo de 2018

Comité:

M.M Armando Núñez Portillo
c Dr. Luis Raúl Baray Martínez
M.M Iván Sparrow Ayub
Dra. Ángela Sánchez de Vera

© Derechos Reservados

Jesús Iván Almanza Ponce
Col., Escorza 900, Zona Centro, 31000
Chihuahua, Chih. México.
Teléfono: 01 614 439 1500

5 de Diciembre de 2017

Agradecimientos.

Este trabajo ha resultado ser mucho más complejo y desafiante de lo que supuse en un comienzo y, no habría sido posible sin la comprensión y paciencia de maestros, familia y amigos. En primera instancia me gustaría agradecer a mi familia, la cual siempre me ha apoyado en cada idea que he tenido y en cada giro que ha dado mi vida; la maestría no fue cualquier cosa. Les agradezco enormemente por creer en mí y en mi proyecto. A mis amigos por aguantarme cuando aprovechaba cada instante para hablar de mi tesis. Agradezco de todo corazón a mi amigo y hermano Max Sandoval por su sinceridad y objetividad cuando le pedí consejo, jamás se negó a dármele con la verdad.

Agradezco a mis maestros a lo largo de la maestría por la enseñanza y formación que me dieron, pues la aproveche al máximo y el conocimiento obtenido ha cambiado mi vida para bien. Hoy me siento una persona más crítica y mejor preparada, con una mayor objetividad y una insaciable hambre de conocimiento, aun así, falta mucho por recorrer.

Agradezco de todo corazón la ayuda de la Maestra Águeda Caballero, pues me brindó una gran cantidad de información que para mi tesis fue invaluable. En verdad fue de mucha ayuda Águeda, gracias por todo. De igual manera me gustaría agradecer al Dr. Thomas Chacón Rivera por su apoyo durante los cursos a lo largo de toda la maestría y por su amable ayuda para con mi trabajo. En verdad apreció todo en lo que me ayudo, un excelente maestro y un buen amigo.

Agradezco a mi asesor de tesis y amigo, Armando Núñez Portillo por su objetividad y esfuerzo al revisar mi trabajo. Por darle un seguimiento hasta la

finalización del proyecto y por sus oportunas correcciones y recomendaciones. Muchas gracias amigo.

Sin embargo, este trabajo no hubiera sido posible sin la incansable ayuda de mi amigo, maestro, compañero, colega y codirector Luis Raúl Baray Martínez. Me enseñó que los títulos no valen nada si no tienes un título como persona. Me enseñó que arte y ciencia están siempre entremezclados. Agradezco inmensamente tu apoyo y colaboración con esta idea que no veía como empezar. Por aceptar ayudarme con el único pago de aprender, jamás dejaré de estar agradecido con tu ayuda, comprensión, amistad y conocimiento. Mereces más de lo que pudiese escribir aquí.

Quiero agradecer especialmente a mi esposa Evelyn Girón, la cual me brindó consuelo y apoyo cuando pensé que no podría obtener un resultado debido a la naturaleza de mi trabajo. Por creer en mí más que nadie y estar a mi lado en todo el proceso. Cuando estuve feliz por los resultados y cuando sentí decepción de los mismos. De igual manera cuando buscábamos la forma de continuar con los estudios cuando los imprevistos se hacían ver. Te agradezco por ser mi inspiración para entrar al posgrado y por ser mi proyecto de vida. Te amo tanto.

En última instancia, agradezco a todas aquellas personas que no creyeron y que aún siguen sin creer que este proyecto pueda ser posible, pues, me impulsaron a querer contradecirlos de la mejor manera. Aún falta mucho trabajo por hacer y los resultados aquí propuestos son apenas una pincelada del inmenso éter que rodea a las artes.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA
FACULTAD DE ARTES
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

Los que suscriben, Secretario de Investigación y Posgrado de la Facultad de Artes, Director de Tesis y Comité de Grado hacen CONSTAR que la presente Tesis:

"RELACIONES PSICOFÍSICAS ENTRE EL COLOR Y CINCO DE LOS ACORDES CON SÉPTIMA MÁS COMUNES EN LA ARMONÍA POPULAR"

Reúne los requisitos exigidos por la normativa interna de la Secretaría de Investigación y Posgrado de la Facultad de Artes, por lo que es aceptado para su impresión y defensa, como requisito parcial para optar por el grado de Maestro en Artes del

C. JESÚS IVÁN ALMANZA PONCE

Se extiende la presente a los diez días del mes de noviembre del año dos mil diecisiete.

Armando Núñez P

M.M. Armando Núñez Portillo
SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

Armando Núñez P

M.M. Armando Núñez Portillo
DIRECTOR DE TESIS

Luis Raúl Baray Martínez

cDr. Luis Raúl Baray Martínez
CODIRECTOR DE TESIS



Facultad de
Artes

A'c

Dra. Angela Sánchez de Vera
ASESORA

SECRETARÍA DE
INVESTIGACIÓN
Y POSGRADO

Ivan Sparrow Ayub
cDr. Ivan Sparrow Ayub
ASESOR

Resumen

El color y el sonido han maravillado al ser humano desde siempre y han generado un gran impacto en su sociedad, llevándolo a modificar su estructura cultural, social, mental y hasta educativa con base en estos dos fenómenos. El parangón entre los colores y la música ha sido un tema recurrente entre grandes científicos y artistas como Newton, Kandinsky, Goethe, Aristóteles, por mencionar a algunos (Caivano & et al, ArgenColor 1992, Octubre, 1994). Con base en los resultados de algunos proyectos, las observaciones de la psicología del color y la música y las propuestas de artistas y científicos contemporáneos, además de los resultados de esta investigación, se llevará a cabo una comparación desde algunos principios fisicomatemáticos de la superposición de ondas sinusoidales en cinco de los acordes más comunes en la armonía tonal (con base en el sistema de afinación del temperamento igual), con las frecuencias (colores) del espectro electromagnético visible y los efectos fisiológicos desencadenados por estos dos fenómenos. Se propondrá además un estudio (posterior a este trabajo) desde la perspectiva psicológica a diferentes grupos de control, contrastando los resultados de los efectos fisiológicos observados con anterioridad. Esto tiene el objetivo de demostrar que tendemos a relacionar los colores con la música de una manera inconsciente, lo cual podría significar la existencia de una serie de causas físicas y psicológicas que nos inducen a hacerlo.

Abstract

Color and sound have always amazed human kind and have generated a great impact on their society, having them modify their culture, mentality and even educational and social structures based on these two phenomena. The comparison between colors and music has been a reoccurring topic among great scientists and artists such as Newton, Kandinsky, Goethe, Aristotle, to mention a few (Caivano & et al, ArgenColor 1992, October, 1994). Based on the results of some projects, observations on the psychology of color and music and the proposals of contemporary artists and scientists, as well as the results of this research, a comparison will be made between some mathematical physics principles of the superposition of sinusoidal waves in five of the most common chords in tonal harmony (based on the equal tempered tuning system), frequencies (colors) of the visible electromagnetic spectrum and the physiological effects generated by these two phenomena. A study from a psychological perspective, to be applied to different control groups, contrasting the results of the physiological effects observed previously will be proposed to be made at a later time. This has the purpose of demonstrating that we tend to relate colors to music in an unconscious way, meaning that there could actually be a series of physical and psychological causes that incite us to do so.

Contenido

Capítulo 1	1
Introducción	1
Antecedentes	3
Planteamiento del Problema	8
Objetivos	9
Objetivo general	9
Objetivos específicos	9
Preguntas de Investigación	9
Capítulo 2	10
Marco Teórico	10
Las cualidades físicas del sonido y su percepción	10
Las cualidades físicas del color y su percepción	20
Relaciones psicofísicas entre color y sonido	27
Capítulo 3	49
Metodología	49
Teoría de la frecuencia promedio (Fp)	49
Superposición de ondas	61
Análisis del patrón de onda que representa a los acordes	67
Capítulo IV	124



Resultados	124
Conclusiones	128
Fuentes de información	131

Capítulo 1

Introducción

Le aseguro al hombre de ciencia que hojee este [escrito], que abrigo el mayor respeto hacia sus métodos y realizaciones y no es mi propósito conquistar parte de su territorio ni establecer una potencia rival. [Sino todo lo contrario, buscar una transversalidad que valide de una mejor forma la coexistencia de todas las *Technés* haciendo uso de sus métodos][...]. Comprendo que mi tratamiento de un tema como la percepción, [...] no puede menos que parecer precipitado y superficial a los ojos [de la ciencia]. [...] En última instancia, no hago distinciones entre ciencia y arte, salvo como métodos, y creo que la oposición creada entre ambas en el pasado se ha debido a una concepción limitada de ambas actividades. El arte es representación, la ciencia es aplicación –de la misma realidad- (Read, 1985, p. 35-6).

La relación que el color y la música tienen es un tema que se ha tratado de responder de variadas formas y por grandes personajes. Desde la Grecia antigua, hasta nuestros días, ha sido un tema recurrente entre científicos y artistas, quienes no han podido denotar de manera concisa y contundente esta correlación. A través de los estudios de algunas obras artísticas y de la experimentación con base en leyes físicas y matemáticas, se han propuesto diferentes teorías que puedan denotar esta comparación de espectros físicos que rayan en la subjetividad. Sin embargo, la apreciación del color y el sonido, despiertan indudablemente en el hombre un sinfín de percepciones y sensaciones tanto físicas como psicológicas. Es por esta misma razón que el tema de tinte subliminal y

parcialmente subjetivo, fue tachado a lo largo de la historia como un tema sin fundamentación científica y poco objetivo.

El avance en la tecnología, el descubrimiento de nuevas leyes físicas y matemáticas, y la evolución de la psicología a través de la historia, han marcado una pauta considerable dentro de estas dos cuestiones físicas. Tanto el color como el sonido, son interpretados por nuestra mente de maneras similares, creando sensaciones claramente observables para la psicología y el estudio de la mente. Logrando con esto, denotar una nueva forma de visualizar ambos aspectos y la relación perceptual y fisiológica que ambos conllevan.

Este trabajo intenta añadir otro punto de vista a los ya tratados científica y artísticamente con respecto a estos dos fenómenos. Y, con los resultados físicos obtenidos, poder generar una propuesta para que esta línea de investigación continúe con una prueba psicológica de los resultados de la experimentación, con el fin de comprobar que el color y el sonido influyen directamente en la conducta humana y tienen una utilidad mayor que la de solo brindar sensaciones estéticas.

Para poder tener un buen entendimiento de lo que se pretende en este trabajo es preciso denotar y enmarcar, algunos conceptos tales como temperismo, armonía y acordes de séptima. Al igual que el funcionamiento de los órganos como el oído, los ojos y la comprensión de las ondas sinusoidales. No se abordarán estos temas de una manera muy profunda, sino simplemente su definición y una breve explicación de los mismos, puesto que estos temas son en verdad muy extensos y profundos, aunque importantes para la comprensión del documento.

Antecedentes.

Dentro de las cuestiones perceptuales, sin lugar a dudas, algunas de las más importantes para todo hombre sin ninguna discapacidad son la visión y el oído. Estas operaciones sensitivas dan una pronta comprensión del entorno y de la realidad y son de los primeros sentidos en ser utilizados desde el momento del nacimiento. En la actualidad, gran parte de la información es audiovisual, y utilizamos los colores y sonidos con propósitos que van más allá de simplemente producir placer. El color y el sonido son parte fundamental en la cognición humana y sus procesos están paralelamente arraigados en cuestiones sensitivas inherentes al hombre; produciendo en éste, conductas y actitudes con base en estos dos fenómenos.

Desde una perspectiva psicológica, el sonido y el color juegan un papel importante en el hombre, no sólo en cuestión de pensamiento y raciocinio, sino de una manera conductual que puede llevar a la supervivencia. Es por esta razón que la psicología ha creado dos ramas, la psicología del color y la psicología de la música.

Dentro de la psicología del color se denotó el concepto de color psicológico sobre el cual Netdisseny dice que: “Son las diferentes impresiones que emanan del ambiente creado por el color, que pueden ser de calma, de recogimiento, de plenitud, de alegría, opresión, violencia...” (2017, p. 12). Esto sin duda trata de una cuestión meramente perceptual y subjetiva y puede estar atada a simbolismos propios de la cultura, llegando a denotar diferencias entre la percepción de un mismo color psicológicamente hablando hasta en individuos de una misma comunidad.

El arte moderno ha comprendido desde hace mucho, no solo que el color es el elemento constitutivo de todo fenómeno óptico, sino que él es también inherente—

que precisamente a él es inherente— una fuerza expresiva capaz de provocar estado de ánimo sin necesidad de rodeos psicologizantes. Tamayo, 1987. (citado en Acha, 1992 (reimp. 2006) p. 122)

Quizá ya en este sentido Tamayo conocía el poder que ejerce lo colorido ante el ser humano y no le importaba para nada la opinión de la psicología en el tema. Sin embargo, estudios historiográficos y geográficos realizados en una investigación con autoría de la psicóloga alemana Eva Haller, demostraron una gran coincidencia en muchos de los individuos estudiados en diferentes localidades de Europa.

De igual forma, Goethe tuvo una gran curiosidad y examinó los efectos que el color causaba en los individuos, llevándolo a denotar una relación entre los sentimientos y los colores. Aun así, él negaba una comparación entre el color y la música pero, a su vez, sostenía que probablemente podrían ser ambos fenómenos referidos a una ecuación superior de la cual partían y eran divididas en lo que son (Caivano et al, ArgenColor 1992, Octubre, 1994). Hoy en día, algunas teorías físicas sustentan el pensamiento de Goethe, pues una parte de la física teoriza que todo es parte de lo mismo, lo que varía es cómo estas estructuras están acomodadas.

Por otro lado Newton, quien habría realizado estudios relevantes acerca del fenómeno óptico de la luz, creía que las vibraciones de ésta, al igual que las vibraciones mecánicas del sonido, incitaban a cada órgano de manera similar. Esto, dependiendo de la longitud de onda de cada espectro. Pues al igual que dos sonidos pueden ser percibidos armónica o disarmónicamente, los colores poseían la misma cualidad, despertando sensaciones cognitivas similares entre los siete colores que Newton proponía y las siete

notas de la escala mayor. Posteriormente, algunos estudios confirmarían que el sonido imprime imágenes mentales como si de una imagen visual se tratase.

El patrón sonoro (patrón temporal) es <<proyectado>> como un patrón especial sobre la membrana basilar. El resultado es una imagen *espacial*, muy parecida a la proyectada sobre la retina. De aquí en adelante, ambos sistemas operan sobre sus respectivas informaciones de manera análoga, lo que conduce eventualmente a las sensaciones musicales y pictóricas, respectivamente (Roederer, 2014),

De esta manera, se hace igualmente fáctica la proposición de una correlación cognitiva más estrecha. Claro está, que en este sentido, influyen un sinnúmero de factores como las vivencias y el contexto cultural.

[...] Un sonido complejo es un compuesto de varias vibraciones relacionadas que corresponden a los diferentes armónicos y un sonido puro está hecho de una única vibración. De la misma manera, el blanco o cualquier color acromático es el resultado de varias longitudes de onda combinadas (una porción amplia del espectro) y un color puro está hecho de una única longitud de onda (una porción muy angosta del espectro). Entonces, desde el punto de vista físico, los correlatos son: un ruido con un color acromático, un sonido complejo intermedio —típico de los instrumentos tradicionales— con un color desaturado intermedio, y un sonido puro —el del diapasón— con un color puro o saturado. (Caivano et al, ArgenColor 1992, Octubre, 1994, p. 36)

Así, muchas comparaciones y teorías sustentadas en estudios fisicomatemáticos aparecerían poco a poco. Comparaciones como la luminosidad del color y la sonoridad,

la saturación del color con el timbre del sonido, el tamaño del color y la duración del sonido, son algunas de las correlaciones físicas propuestas por personajes como: Ralph Pridmore, Albert Henry Munsell, Alexander Graham Bell, Sir James Jeans y W. Garner por mencionar algunos. De este modo, no se harían esperar las correlaciones con aspectos sensitivos, como Kandinsky que comparaba los colores con el tacto y las diferentes texturas (Caivano et al, ArgenColor 1992, Octubre, 1994). Propiamente dicho, las comparaciones entre el color y el sonido fueron atribuidas a aspectos sensoriales y poco a poco se crearían alegorías en las artes refiriéndose a estas comparaciones: La escala cromática, el tono, el brillo, el color, la saturación, el ritmo, el matiz, la forma y la textura, entre otros, son términos que comparten ambas disciplinas, quizá de una manera inconsciente. Sin embargo la relación está allí.

En la Tabla uno y la Figura uno, extraídas de las *actas del primer congreso del color* llevadas a cabo en Argentina en 1992 se pueden observar los resultados físicos y matemáticos de algunos de los científicos que han realizado una correlación entre el sonido y el color.

Tabla 1

Resultados de algunas comparaciones físicas y matemáticas del color y la música (Caivano et al, ArgenColor 1992, Octubre, 1994, p. 31)

Note	Newton 1700	Castel 1720-1735	Finn 1881	Lind 1900	Maryon c. 1920
C	red	blue	red	259 Hz, red (476)	red
C#		sea green, blue-green	vermillion		red-orange
D	orange	green, bright green	orange	289 Hz, orange (511)	orange
D#		olive, yellow-green	yellow		orange-yellow
E	yellow	yellow	yellow-green	322 Hz, yellow (546)	yellow
F	green	apricot, yellow-orange, aurora	green	342 Hz, green (588)	yellow-green
F#		orange	blue-green		green
G	blue	red	turquoise blue	385 Hz, blue (630)	blue-green
G#		crimson	blue		blue
A	indigo	violet	indigo	427 Hz, indigo (665)	blue-violet
A#		agate, blue-violet, light purple	violet		violet
B	violet	indigo	purple	485 Hz, violet (721)	violet-red

Círculos de color

Munsell	5 tintes
Küppers	6 tintes
Newton	7 tintes
Itten/Pope	12 tintes
Ostwald	24 tintes

(ver también la Figura 5).

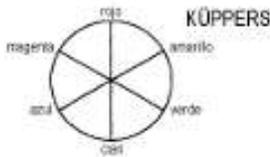
Escalas musicales

- escala pentatónica, ej. música incaica
- escala hexáfona, por tonos, ej. Debussy
- escala diatónica, tonos y semitonos
- escala cromática, ej. Bach, música temperada
- escala de cuartos de tono, ej. música microtonal



MUNSELL

ESCALA PENTATÓNICA



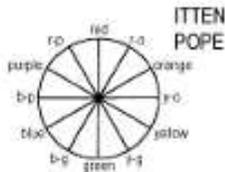
KÜPPERS

ESCALA HEXAFÓNICA (por tonos)



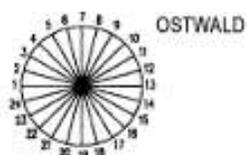
NEWTON

ESCALA DIATÓNICA (tonos y semitonos)



ITTEN
POPE

ESCALA CROMÁTICA (semitonos)



OSTWALD

ESCALA MICROTÓNAL (cuartos de tonos)

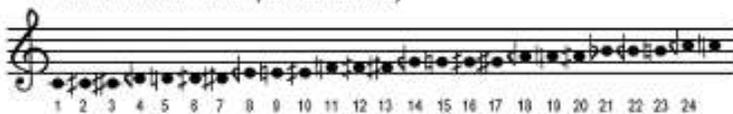


Figura 1. Resultados de algunas comparaciones físicas y matemáticas del color y la música (Caivano & et al, ArgenColor 1992, Octubre, 1994, p. 32)

A lo largo de este trabajo se hará alusión y mención de más antecedentes de esta comparación entre los espectros perceptibles del color y el sonido.

Planteamiento del Problema

La multidisciplinariedad de dos ramas artísticas en un solo proyecto siempre ha implicado un reto. Sincronización, investigación, creación y producción son siempre constantes a resolver. Aunado a esto, este proyecto en particular trata de ciencias exactas y artes. Pero, el problema más grande a resolver siempre es la visualización del público en general del proyecto como una unidad, una sola obra, y más aún cuando esta pretende ser una demostración científica de la correlación psicofísica de dos procesos artísticos.

Cuando artes y ciencia se unen en un solo proyecto, requiere de la colaboración de distintos especialistas: músicos, artistas plásticos, expertos en estadística, físicos y matemáticos. En este proyecto, esta colaboración es de vital importancia. Mediante la experimentación fisicomatemática se analizarán los espectros audibles y visibles con el fin de encontrar un paralelismo físico entre ambos objetos de estudio, observándolo desde la perspectiva física ideal y consecuentemente la real, para posteriormente crear una propuesta psicológica con base en los resultados.

Si existe la sensación de tristeza, enojo, indiferencia, alegría, serenidad o vacío, ¿Por qué se interpretan estas sensaciones tan comunes en el ser humano, como frecuencias de color y música? He ahí el verdadero problema a solucionar en cuestión técnica. ¿Por qué el hombre tiende a relacionar los colores y la música con aspectos sensitivos? ¿Existirá acaso una explicación física?

A un nivel social el problema a solucionar es la empatía y la transversalidad de las *Technés*, que la sociedad experimente nuevas formas de percibir el arte y a su vez se cree la conciencia colectiva de que estas disciplinas van cambiando constantemente, pero aun así, son parte de la misma realidad en la que las sociedades convergen.

Objetivos

Objetivo general.

El objetivo general de este trabajo es demostrar que físicamente el ser humano relaciona sonidos con aspectos visuales, y éstos, a su vez, con cuestiones sensoriales, con la finalidad de corroborar que él, es influido por el color y la música en la percepción de su entorno.

Objetivos específicos.

Los objetivos específicos de esta investigación son: crear una manera de empatar el espectro sonoro con el lumínico para posteriormente hacer una revisión de las similitudes físicas entre estos dos espectro; realizar un análisis espectral de ondas sinusoidales puras (ideal) y ondas sinusoidales de un instrumento (real) de cuerda (guitarra eléctrica), con el fin de encontrar una firma distintiva para los tipos de acorde usados en esta investigación. Y así de esta manera, correlacionar los resultados físicos con los resultados de la psicología del color y la música que ya se han propuesto en trabajos como los de Eva Haller y Patrick N. Justin.

Preguntas de Investigación.

- ¿En qué medida el ser humano tiende a relacionar psicológica y físicamente los colores con la música de una manera inconsciente?
- ¿Existen una serie de causas físicas y fisiológicas que lo orillan a hacerlo?

Capítulo 2

En este capítulo se analizan los temas ya tratados por científicos y artistas de distintas etapas de la historia alrededor de los espectros del color y la música, al igual que los conceptos básicos de qué son y cómo funcionan, tanto perceptual y físicamente hablando. A su vez se verán las relaciones ya tratadas de ambos espectros y la teorización de nuevas relaciones psicofísicamente hablando.

Marco Teórico

Las cualidades físicas del sonido y su percepción.

El sonido es una perturbación de un medio elástico (Segués, 2007). Esta perturbación en manera de vibración mecánica es percibida por el oído. Gracias a la propagación de las ondas sonoras a través de un medio sólido, líquido o gaseoso, es posible escuchar estas variaciones de presión (Pérez Vega, 2003). Si no hay materia, el sonido simplemente no es audible.

Las variaciones rápidas de la presión en el aire hacen posible la propagación audible del sonido. Estos cambios de presión distorsionan el medio por el cual el sonido viaja. Estas variaciones de presión son llamadas también como presión acústica o sonora (Segués, 2007). Las perturbaciones son transportadas en el aire hasta llegar al oído. Cuando estas variaciones hacen contacto con el aire, éste tiende a comprimirse y enrarecerse (hacerse menos denso de lo normal) (Pérez Vega, 2003). La naturaleza de la compresión y descompresión hace que el aire oscile. Es importante entender que el aire no viaja, sólo es el medio de propagación del sonido, lo que viaja son las compresiones y enrarecimientos. Al entrar al aparato fonador, las ondas sonoras crean un movimiento mecánico. Este movimiento decodifica la información de las ondas mecánicas (sonidos)

y las transforma en algo audible. El espectro sonoro y su naturaleza, puede ser cambiante por lo cual es dividido en varias categorías.

Las cualidades del sonido están divididas en armónico, inarmónico y continuo, éstas pueden ser aprovechadas y utilizadas de diversas maneras. El espectro armónico es comúnmente utilizado en las artes. La música hace uso de los armónicos para enriquecer el sonido que se proyecta. Esto genera una combinación de ondas sonoras ricas en los mismos. A su vez, los armónicos son los responsables del timbre de cada instrumento y son los responsables de que ninguna voz humana sea idéntica a otra. Sin el espectro armónico todo sonido sería seco y sin cuerpo. El espectro inarmónico, al contrario del anterior, no presenta una relación armónica. Los sonidos inarmónicos no tienden a tener una regularidad y se les puede encontrar en sonidos de campanas y placas de metal. Esta cualidad inarmónica tiende a aparecer como sonidos brillantes y fuertes, aunque no son catalogadas como ruido. El espectro continuo a su vez, es conocido como ruido. El ruido carece de un equilibrio, por lo cual no tiene periodicidad y tiende a ser aleatorio. Este último espectro suele ser el más dañino para el aparato fonador (Rocamora, 2006).

Se puede definir el sonido entonces, como un movimiento mecánico que sucede en el oído al captar las alteraciones de presión en el aire. El movimiento mecánico causado por la vibración de un objeto es el responsable de que el oído pueda escuchar. El estudio de la acústica ha llevado al ser humano a crear grandes y asombrosas maravillas como la música, a aprovechar el sonido para mantenerse alerta y, lo más importante, a poder comunicarse a través del rango audible y más allá.

Cuando el aire se comprime debido a las vibraciones en la presión, por reacción tiende a descomprimirse; esta compresión y descompresión ocasiona una oscilación en el

aire y al ocurrir esta variación en el aparato fonador se genera un movimiento mecánico que es decodificado por el cerebro como algo audible, produciéndose así el sonido. La frecuencia es la unidad de medida que se le da a la repetición de una onda con respecto al tiempo. Tales ondas pueden ser sonoras, electromagnéticas (como la luz de la cual surge el color), y eléctricas, entre otras. La unidad de frecuencia es denominada Hertz (Hz) y el oído humano es capaz de escuchar un rango de entre 15 y 20,000 Hz (Pérez Vega, 2003), aunque esta constante puede estar afectada por factores como la edad o alguna anomalía auditiva. Al igual que ocurre con la luz; este rango delimita las frecuencias de los sonidos que puede oír el hombre. Sin embargo, de la misma manera que la luz; existen espectros no audibles como los infra y ultrasonidos. Su función perceptual va más allá de sólo transmitir información. Las ondas, ya sean electromagnéticas o mecánicas, impactan directamente en la conducta de los seres vivos debido a sus similitudes físicas, teniendo una influencia fisiológica y psicológica.

La música es combinar sonidos y silencios en el tiempo, esto observándolo desde un punto de vista artístico y de una manera banal y muy simplista. Sin embargo, observándolo desde un punto de vista físico, el sonido es una sucesión de ondas al igual que lo es el color. Estas ondas consisten en la alteración mecánica de las partículas de un medio elástico, esta alteración generada principalmente por un objeto vibrante, al moverse por el medio elástico genera ondas mecánicas las cuales viajan por el aire y entran por el pabellón del oído haciendo vibrar la membrana del tímpano, la cual la convierte en impulsos neuronales y es codificada por el cerebro, esto a grandes rasgos, ya que ambas cuestiones son mucho más complejas de lo que aquí se explica. (Segués, 2007).

El temperismo y su influencia en la música popular.

El estudio de las frecuencias sonoras y visuales ha fascinado al hombre desde tiempos Pitagóricos, pues la relación que se les adjudica ha sido tema de debate desde entonces. Esta idea llevó a teorías muy revolucionarias que estuvieron en duda hasta muchos siglos después. Gracias a las nuevas tecnologías, el estudio de las artes ha tenido grandes e ingeniosos cambios a lo largo de la historia, intentando explicar y simplificar la realidad en la que el hombre vive. Muchos sistemas fueron creados para poder llegar a una explicación de la perfección matemática en las artes, uno de esos sistemas es tan funcional que su uso lleva más de doscientos años hasta la época actual (Miyara, 2005).

En una gran mayoría de la música tonal diatónica del Barroco a la actualidad, la armonía es la base por la cual camina la melodía. La afinación de los instrumentos al temperismo, permitió que éstos pudiesen ser afinados con mayor precisión entre ellos, más que en cualquier otro punto de la historia antes de este sistema, dando paso a un cambio de paradigmas (aunque hay quienes dicen que con el temperismo se perdió la verdadera música). Esta nueva forma de afinar logró extender la formación de los acordes y ampliar poco a poco el concepto de tonalidad que hasta hoy se maneja; pues su estructura cambió a no sólo una tríada común, sino que alcanzó una polifonía, en el sentido literal de la palabra, de hasta siete sonidos tocados al mismo tiempo con un gran congruencia musical en cualquier tonalidad.

Esta forma de afinación permitió gradualmente nuevos usos en la armonía, usos que se hicieron más presentes durante el Impresionismo y que continúan hasta el siglo

XXI¹. La diferencia en la música popular que sucedió al impresionismo, fue que estos acordes comenzaron a formar parte fundamental y no ocasional en la estructura de las piezas. La armonía popular ha logrado traspasar la barrera de algunas leyes armónicas clasicistas de la música occidental del siglo XVII. Esta conceptualización armónica logró desatar grandes cambios.

La armonía popular permitió mayor libertad en la composición. Este acaecimiento armónico, rompió con la tradición que se sustentaba en el barroco, ya que las reglas barrocas de la armonización eran meticulosamente cuidadas; se procuraba evitar el uso de quintas y octavas paralelas², sin contar el hecho de que existían muchas reglas más que cuidar. La libertad armónica Barroca estaba coartada por un movimiento estético de las voces, no así en la armonía popular; pues el uso en ella, logró romper con tan particular concepto; la estructura de los acordes extendidos³ permitió crear relaciones tonales más complejas y la visualización modal⁴ de las escalas logró destacar a un acorde con más de dos tonalidades posibles.

Los efectos que esto logró, marcaron dramáticamente la composición contemporánea, ahora una pieza puede gozar de una gran variedad, tanto rítmica, melódica y armónicamente sin la mínima preocupación de consonancia o cuadratura (hablando en sentido figurado); la estética radica principalmente en la libertad y

¹ Aunque existen evidencias de que este tipo de acordes eran usados desde el barroco o quizá desde antes.

² Las quintas y octavas paralelas eran un movimiento melódico de las voces un poco restringido en la música Barroca.

³ Los acordes extendidos son aquellos acordes que sobrepasan de su séptima, es decir tienen más de cuatro sonidos, un ejemplo de un acorde extendido es un Mayor13, el cual posee: 1-3-5-7-9-11-13 en ese orden, es decir, todas las notas de la escala mayor.

⁴ Una escala o tonalidad modal es simplemente la visualización de la escala mayor desde otra perspectiva, la escala mayor posee siete modos griegos: jónico, dórico, frigio, lidio, mixolidio, eólico y locrio. Cada uno de ellos con un acorde específico y una sonoridad característica.

creatividad del compositor. Las nuevas prácticas en la composición popular crearon un cambio radical de un momento a otro, generando otra vertiente aparte de la ideología purista de la armonía tradicional Clásica. Sin embargo, lo que hoy conocemos como armonía popular no sería posible sin la invención de la escala temperada.

La escala temperada tiene sus fundamentos en la escala pitagórica (Miyara, 2005). La invención de ésta, logró denotar una precisión en la afinación más congruente entre una mayor gama de instrumentos, pues parte la octava en doce sonidos equidistantes, creando una afinación más exacta entre instrumentos de familias diferentes. Sin los estudios musicales realizados por Pitágoras con el monocordio, la fundamentación del temperismo no habría sido posible, pues dichos estudios lograron descubrir la exactitud geométrica, aritmética y armónica de la escala musical, brindando una subdivisión tonal más simple y funcional que la escala de Pitágoras (Tomasini, 2007).

El principal descubrimiento de este filósofo en el estudio musical, fue que al dividir una cuerda que vibra en partes de longitudes determinadas, en la porción de $n + 1$; creaba sonidos consonantes y armoniosos denotando una escala de siete sonidos conocidos como escala pitagórica (Tomasini, 2007). Estos fundamentos descubiertos por Pitágoras crearon las bases sólidas de la música occidental al momento de la invención del temperismo. Las teorías de este filósofo y de su escuela, anunciaron un cambio radical a largo, mediano y corto plazo.

Los estudios musicales de Pitágoras condujeron el camino de la música popular. La Escuela Pitagórica tuvo su principal interés en la canónica, la cual es el estudio de los intervalos musicales y su relación entre pares de sonidos (armonía). María Cecilia Tomasini, en su ensayo *El fundamento matemático de la escala musical y sus raíces*

pitagóricas dice: “La estructura matemática de la escala musical asombró a los pensadores de la Escuela Pitagórica [en los siglos VI-V a.C.]” (Tomasini, 2007. p. 15). Estos estudios dieron a los pitagóricos la creencia de que el número gobernaba el universo y así, colocaron a la música dentro de lo que llamaron “quadrivium” o la cuádruple vía a la sabiduría; que eran las cuatro ciencias matemáticas por excelencia: música, geometría, aritmética y astronomía⁵, demostrando así los griegos, la importancia de las artes en su educación; posteriormente se volvió similar al pensamiento de Hebert Read en el cual las artes deberían ser la base de la educación.

Los cimientos que Pitágoras sentó, generaron las ecuaciones matemáticas necesarias para siglos posteriores. Él notó en el monocordio que al dividir la cuerda en porciones de cierta longitud determinadas, se obtenían ocho sonidos. Arquitas, quien fue discípulo de Pitágoras y contemporáneo de Platón menciona que: “... en la música existen tres medidas: la primera es la media aritmética; la segunda es la geométrica; la tercera es la media subcontraria, llamada armónica...” (Citado en Tomasini, p. 17). Todo esto basado en el estudio matemático de las relaciones de proporción de la escala mayor, en donde la media aritmética se escribe como: $b = \frac{a+c}{2}$ en donde **a** y **c** son las frecuencias de los extremos de la escala mayor.

Esta ecuación dio paso a la construcción en la que se fundamentó la música actual, ya que si sustituimos en la ecuación antes mencionada $b = \frac{261+522}{2}$ en donde **261** es *Do* grave y **522** *Do* agudo, da como resultado una aproximación significativa a *Sol* \cong **391.5**, tomando así, el intervalo de quinta como la proporción en la cual se basaría el

⁵ Platón extendería este concepto incluyendo a la dialéctica en esta rama de ciencias.

temperismo (Tomasini, 2007). Sin los estudios de Pitágoras quizá la música actual estaría formada de otra manera y las bases de la música como la conocemos serían totalmente distintas en occidente. Aunque el temperismo no es el único sistema hoy en día, es el más simple y funcional desde el siglo XVIII (Miyara, 2005).

La escala temperada modificó la historia de la música. En el siglo XVIII, Bach (1685-1750) incluyó en su obra: *El clave bien temperado*, una modificación hecha a la escala de Pitágoras; en esta obra, Bach realizó ejercicios en todas las tonalidades posibles (aunque se sabe que Bach no fue el primero en utilizar este sistema) (Miyara, 2005). Esta modificación realizada a la escala con el fin de simplificar la ejecución instrumental, surgió de la necesidad de la música al ir cambiando; siete notas de la escala pitagórica ya no fueron suficientes por lo cual se fueron agregando más sonidos denominados “*fictus*” o falsos, principalmente por la necesidad de transposición; eventualmente los sonidos fueron excesivos y su funcionalidad muy compleja.

El cambio que sufriría la música sería dado por la relación de quintas antes mencionada, pues al realizar la transposición para ajustar la tonalidad, era necesario efectuar un complejo procedimiento de subir o bajar quintas⁶ (doce para ser exactos) para llegar a una aproximación de siete octavas⁷ de esta manera: “si pretendemos representar el principio de equivalencia en todas las tonalidades [...], será preciso agregar una infinidad de sonidos” (Miyara, 2005). Tomando esta aseveración, la escala temperada creó un método ingenioso en el cual tomó el error de las doce quintas y siete octavas y lo repitió así en las mismas doce quintas, las cuales ya eran meras aproximaciones,

⁶ El intervalo de quinta es, como su nombre lo indica, cinco notas arriba o debajo de una nota primera. Ejemplo: la quinta de Do es Sol. **Do (1)**-Re (2)-Mi (3)-Fa (4)-**Sol (5)**-La (6)-Si (7)-Do (8/1)

⁷ Una octava es volver a la primera nota mediante grados conjuntos, es decir, de Do a Do existen 8 notas.

quedando así: $q^{12} = 2^7$; despejando q es: $q = (\sqrt[12]{2})^7 / 3/2$, siendo $3/2$ el valor de la quinta; el error fue casi imperceptible quedando como resultado $(\sqrt[12]{2})^2 =$ un tono y $\sqrt[12]{2} =$ semitono. Este cambio en la afinación de los instrumentos permitió que los mismos pudiesen tocar en todas las tonalidades, haciendo que la música fuese más flexible y mucho menos compleja; también dio paso a una revolución musical a nivel mundial que aún sigue vigente. El temperismo permitió utilizar una armonía más compleja que sucedió a acordes de tres sonidos, esto fue lo que la armonía popular tomó como su fundamento.

En la música, la formación de acordes es fundamental para el acompañamiento de melodías, ya que éstos dan sostén y cuerpo a las mismas. Los acordes están diferenciados por intervalos⁸, estos intervalos existen entre una nota y otra y al igual que los colores, existen una gran cantidad de acordes que pueden surgir de doce sonidos. Un acorde es dos o más notas tocadas al mismo tiempo, generalmente divididas por intervalos de terceras mayores o menores. Una tercera mayor equivale a dos tonos enteros, una tercera menor equivale a uno y medio tonos. Esto teniendo en cuenta los doce sonidos de la escala cromática.⁹

Existe una gran variedad de acordes, al igual que una gran variedad de colores, pero de la misma manera que en los colores existen los primarios, en la música existen los más comunes o más utilizados, los cuales son de cinco tipos diferentes, hablando concretamente en acordes de séptima. Todos son provenientes de diferentes posiciones

⁸ Un intervalo en música, es la distancia existente entre una nota y otra.

⁹ La escala cromática es dividida en dos estructuras y poseen los doce sonidos posibles en la música con el sistema temperado:

- C-C#-D-D#-E-F-F#-G-G#-A-A#-B-C
- C-Db-D-Eb-E-F-Gb-G-Ab-A-Bb-B-C

de la escala mayor y menor (armónica y melódica). De modo que la gran mayoría de la música tonal que conocemos y que hemos escuchado a lo largo de la historia desde la invención del temperismo, puede ser tocada únicamente con cinco tipos de acordes, siempre y cuando sean armonías basadas en intervalos de terceras mayores y menores, ya que existe la armonía cuartal, clusters, entre otros.

Cinco de los acordes más comunes que derivan de la armonía popular serán estudiados en esta investigación. Estos acordes, con cuatro notas cada uno, son diferenciados por una alteración descendente entre uno y otro; gracias a la escala temperada actual, esta construcción es uniforme y puede ser movida a cualquier tonalidad de una manera armoniosa. La armonía que denota cada uno de estos acordes puede ser encontrada en tres tipos diferentes de escalas: la escala mayor con los grados conjuntos **(1-2-3-4-5-6-7)**; la menor armónica **(1-2-b3-4-5-b6-7)**; la menor melódica **(1-2-b3-4-5-6-7)**; generando veintiún modos diferentes, cada uno con un acorde específico y una armonía distinta. Sin embargo, en la armonía popular, de entre estos veintiún acordes podemos denotar cinco con la estructura básica; los demás son alteraciones de eso cinco acordes. La armonía popular permite que con sólo estas cinco formas básicas puedan ser armonizadas casi cualquier pieza compuesta desde el siglo XVIII y quizá más atrás (aunque existen excepciones). Las familias de acordes, al igual que los colores, poseen estructuras básicas de los cuales se obtiene una gran cantidad de variables.

Dentro de los acordes revisados en este trabajo, existe una clasificación en la cual pueden quedar acomodados por grupos o familias; cada uno de ellos con una característica y función diferente entre sí. Al agregar la séptima a un acorde, se extiende su posibilidad de ser visto en más de una forma; ya que lo que importa en la armonía

popular es su estructura, esto permite una gran cantidad de variantes de un mismo acorde.

Dentro de las familias armónicas se pueden resaltar cinco tipos de acordes, como se puede observar en la tabla dos.

Tabla 2

Intervalos y grados de los acordes de séptima

Acorde	Intervalos	Formula	Símbolo
Mayor	3M+3m+3M	1-3-5-7	$\Delta 7$
Dominante	3M+3m+3m	1-3-5-b7	7
Menor	3m+3M+3m	1-b3-5-b7	m7
Semi-disminuido	3m+3m+3M	1-b3-b5-b7	$\emptyset 7$
Disminuido	3m+3m+3m	1-b3-b5-bb7	$^{\circ} 7$

Estas cinco familias o acordes, son la base de la mayoría de la música popular, la cual gira en torno a la armonización y podría decirse que la melodía depende de ella, ya que tiene la facultad de cambiar radicalmente la intención melódica. Estructuralmente todos los acordes tienen algo en común, ¿Será posible que espectralmente los acordes tengan una relación directa entre ellos y a su vez con la luz y por ende, con los colores?

Las cualidades físicas del color y su percepción.

La luz es uno de los medios más importantes por el cual la mayoría de los seres vivos interactúan (Barrientos García & Martínez Jiménez, 2011). Esta interacción es posible gracias a la capacidad de la materia de absorber energía. La transformación energética es percibida por el sentido de la vista como los colores observables. La materia refleja la luz que no puede absorber y proyecta un espectro en forma de color. Los colores son la luz que la materia rechaza (www.gczarrias.com).

El fenómeno de la luz es la razón por la cual los colores son perceptibles. Este fenómeno ha cautivado desde siempre a la humanidad. El estudio de esta maravilla

luminosa ha permitido comprender la naturaleza de una manera más amplia y certera, el fenómeno de la refracción permitió comprender qué es la luz. La separación de la luz blanca es lo que permite a los objetos tener un color propio. Sin este brillo sería imposible percibir el color de las cosas. Todo sería de tonos grises, no habría claridad y mucho menos colores. La separación de la luz se consigue mediante la refracción. Está divide la luz blanca en siete colores perceptibles por el ojo humano. El rojo, naranja, amarillo, verde, azul, azul marino y violeta son los siete colores que refracta la luz blanca (Netdisseny, 2017). Esta separación es conocida como “dispersión cromática” y, contrario a la lógica, dentro del ojo estos colores no son más que la mezcla de sólo tres de ellos: el rojo, el verde y el azul (RGB)¹⁰ (Déribéré, 1967), pues son los únicos que puede percibir este órgano. Cuando el ojo recibe un color diferente, la excitación ocurre en dos o más de los tres tipos de receptores, lo cual es interpretado como un color no primario. Pero, en la naturaleza sí existen todos los colores posibles, y hay millones de ellos. Cada color corresponde a una frecuencia particular o a una mezcla de frecuencias.

Simplemente lo que los ojos perciben no es más que una ilusión de lo que la luz muestra. Los colores que derivan de la misma no existen si la luz no está. La Vida es llevada a cabo en un mundo cromático en el cual ningún color es el verdadero. Una hoja es verde porque el verde es el color que no quiso la hoja, el único que no absorbió. Sin embargo, la humanidad ha sabido aprovechar lo que la naturaleza le brinda, asignando

¹⁰ El sistema RGB es propiamente dicho el color de la luz. Nuestros ojos funcionan con este sistema, y todos los colores que provienen de cualquier fuente lumínica son considerados RGB. El sistema CMYK es el sistema de colores de la materia por lo cual al hablar de RGB se hará alusión a la luz y cuando se hable de CMYK será a la materia. Aunque sin la percepción de la luz por nuestra vista no sería posible la percepción del color en la materia. Esta fue la constante pelea de Goethe contra las teorías Newtonianas de la Óptica. (Haller, 2012)

colores a todo lo que los rodea. Los colores han ayudado tanto a endulzar la vista como a sobrevivir.

Todo cuerpo que no es blanco, gris o negro, se dice colorado (que tiene color). Si no está más que débilmente colorado, puede ser llamado blanco (gris o negro), rojizo, amarillento, etcétera. El nombre 'color' se toma con frecuencia en un sentido menos restrictivo que el adjetivo 'colorado'; el blanco, los grises, el negro, son entonces considerados como 'colores' (Dérivé, 1967, p. 14).

El ojo humano traduce la información del espectro de luz transformándolo en impulsos electromagnéticos cuya función es brindar un panorama del entorno que nos rodea, obteniendo así, una gran gama de colores. Éstos, derivados de la luz, son absorbidos por la materia en forma de energía, dejando escapar uno o más de estos colores al ambiente produciendo así el color de ese objeto. La materia, al absorber la luz blanca permite al ojo humano descifrar la frecuencia a la que el objeto vibra. Esta vibración es medida en Hertz (Hz) y cada uno de sus siete colores posee una frecuencia diferente, la luz blanca representa la suma de todas estas.

Como se ha venido tratando a lo largo de este capítulo, comúnmente se tiende a asegurar que un objeto es de un color específico dado a que la materia es capaz de absorber la radiación lumínica a excepción de una, que es lo que se percibe. Esta explicación, aunque cierta, es demasiado simplista, ya que el proceso de la percepción del color depende de tantos factores, no sólo del hecho de la absorción, refracción y difracción de la luz. Este proceso de coloración material puede depender de factores tales como la estructura química, las modificaciones de la coloración mineral, coloraciones por juegos ópticos, coloración por presencia de elementos exteriores, por pigmentación

animal o vegetal, entre otros (Dérivé, 1967). Sin embargo, el proceso humano de percepción es otra cosa, y en realidad estos factores anteriormente mencionados no influyen más que en la coloración de la materia.

No obstante, la percepción de los colores sí depende de factores fisiológicos como la visión de los colores simples, en los que: “según Young, la retina debe poseer elementos de tres especies, sensibles respectivamente al azul índigo, al verde amarillo y al rojo para que posea, por síntesis la visión total de los colores.” (Citado en Dérivé, 1967, p. 69). El ojo humano, siendo uno de los sistemas más complejos de la naturaleza, es capaz de diferenciar fácilmente un gran número de colores; pareciera imposible que en la retina existieran sistemas receptores con tal número de proporción, las ochocientas mil fibras del nervio óptico serían insuficientes para tal proeza. Es así como Young en 1801 creó la teoría tricromática, la cual es la base de las teorías más modernas (Dérivé, 1967).

La frecuencia con la que vibran los objetos determina su espectro visible. La refracción de la luz posee distintas frecuencias que pueden ser vistas como: rojo, naranja amarillo, verde, azul, azul marino y violeta, según la frecuencia a la que vibre el haz de luz al ser dividido. Esto último fue descubierto por Isaac Newton al observar que un rayo de luz blanca que atravesaba un prisma de vidrio, aumenta su tamaño al igual que sus colores debido al fenómeno de refracción, por lo cual Newton concluyó diciendo: “el color no existe y no es una característica de un objeto, sino una apreciación subjetiva” (Citado en De los Santos Y, p. 1). Esta apreciación subjetiva es dada por la frecuencia a la que vibra el rayo de luz de determinado color, llevando desde 400 a 800 THz aproximadamente, siendo este rango el espectro visible por el ojo humano. Los espectros

perceptibles que van desde la luz roja hasta la luz violeta son en realidad un impulso eléctrico que brindan las partículas de luz. El espectro visible por el humano no es más que un capricho de la naturaleza dado por frecuencias individuales cuyo movimiento es de tipo electromagnético. Las ondas electromagnéticas son lo que en realidad percibimos.

Estas ondas se forman a partir de oscilaciones alternadas de campos eléctricos y magnéticos, o sea la luz es un fenómeno electromagnético, al igual que las ondas de radio, de televisión o las microondas, sólo que la frecuencia de la luz es mayor. Todas las ondas electromagnéticas viajan a la misma velocidad, es decir, aproximadamente a 300 000 Km por segundo, por lo que se infiere que esa misma es la velocidad de la luz (Sirlin, 2006).

Estas ondas electromagnéticas, poseen la capacidad de viajar grandes distancias sin perder sus características, es por eso que la luz del sol puede recorrer distancias en el vacío hasta llegar a la Tierra. Las ondas electromagnéticas, permiten al ojo su identificación en un rango cromático, sin embargo, dentro de esta carrera de frecuencias existen algunas no observables como el infrarrojo y el ultravioleta. El color es la percepción visual que genera el cerebro al intentar interpretar las señales nerviosas que son enviadas por los fotorreceptores de la retina del ojo, éstos interpretan y distinguen las longitudes de ondas perceptibles del espectro electromagnético (De los Santos Y.).

Los colores primarios son considerados los únicos colores que no pueden obtenerse de la mezcla de ningún otro, es decir que sólo existen de una sola manera en la naturaleza, por decirlo así, ya que en realidad es la percepción del ojo la cual realiza este efecto. Estos colores carecen de matices en común y la mezcla de ellos dispara una gran cantidad distinta de tonos. Existen varios modelos en los que identifican colores

primarios a lo largo de la historia, pero siempre los más aceptados son los modelos con tres colores. Esto debido a que la visión humana es tricromática, es decir con tres tipos de receptores que responden concretamente a ciertas longitudes de ondas producidas por la luz (Déribéré, 1967). Los dos más utilizados por el ser humano es el sistema RGB y el CMYK.

Otro factor que influye en la percepción es la síntesis aditiva o sustractiva. Es decir, la percepción de los colores complejos. Ya en el siglo XV Reische afirmaba que los colores eran en un número de siete. Newton arbitrariamente conservó esta misma cifra pero reemplaza el blanco y el negro por el índigo y el anaranjado. Para los tiempos de Newton, Mariotte argumentaba que los “colores fijos y permanentes de los objetos” son solamente en un número de cinco, en lo cual aborda ya la tricromía porque sus cinco colores comparten de nuevo el blanco y el negro (Déribéré, 1967, p. 73). Estos cinco colores corresponden a la funcionalidad de entremezclarse y generar nuevos colores. Los peritos de la tintura y el grabado llamaban a esto *los tres primitivos*, que posteriormente serían llamados colores primarios.

En el sistema RGB, el cual es el color luz, al ser proyectados tres círculos de luces, roja, azul y verde (RGB), y superponiéndolos en una pantalla de color blanco se obtienen otros tres colores distintos: 1) amarillo (mezcla del rojo y verde); 2) cian (mezcla del verde y azul); y 3) violeta (mezcla del azul y rojo). La combinación de los tres colores primarios da como resultado el color blanco, sólo si la cantidad de colores es la adecuada; esto es llamado síntesis aditiva. Si son colocados filtros y los colores son superpuestos uno encima de otro el resultado es distinto, dando como resultado el color

negro; llamado también síntesis sustractiva. Es de esta manera como el ojo humano puede percibir los colores complejos.

De igual manera, existen otros tantos factores que influyen en la percepción del color como: la adaptación visual y los contrastes, la aberración cromática que es una percepción distinta de las diferentes longitudes de onda (λ) en un mismo objeto o color, los colores brillantes o huidizos, la retribución de los colores, la movilidad de los objetos y la latencia¹¹. Por último, las anomalías visuales y los problemas genéticos como la sinestesia (de la cual no se tocará el tema, ya que lo que se pretende es encontrar resultados físicos no modificados de forma congénita ni genética).

Existe un mundo de los colores como existe un mundo de las formas y, por lo demás, vivimos naturalmente en un mundo colorado y nuestro ser recibe sus manifestaciones como un espejo, se penetra de ellos y reacciona instintivamente en consecuencia. (Déribéré, 1967, p. 89).

Entonces, ¿Es difícil pensar que los colores evoquen en el hombre cualesquiera de las infinitas reacciones emocionales? El ser humano tiene la conciencia de saber que ciertos objetos poseen ciertas cualidades y que estas características pueden afectarlo de manera significativa, como un objeto punzante, por poner un ejemplo. ¿Qué es lo que le hace pensar entonces que los colores sean la excepción a la regla? Pues es indudable que el color ha jugado, juega y jugará un papel de suma importancia en la psicología y la fisiología, generando afinidad o repulsión a distintas longitudes de onda, dependiendo casi por regla general, del estado anímico, la cultura y la predisposición.

¹¹ La latencia se refiere al pequeño desfase de tiempo que existe entre la percepción de un haz de luz o un sonido y su interpretación.

Los colores son utilizados en un sinnúmero de cuestiones simbólicas y cognitivas, tanto como para señalar acciones o denotar tradiciones; hasta para recalcar privilegios: “Los colores juegan un papel considerable en nuestras vidas. Nos rodean, su armonía o disparidad crean en torno nuestro un marco agradable o desagradable; actúan sobre nuestro espíritu, sobre nuestro estado de alma” (Dérivé, 1967, p. 95). Así pues, la influencia que estos producen en el hombre, quizá sea una manifestación física del *Pathos* en él. La materialización de la inteligencia emocional dentro del cuerpo; la expresión misma de la *Psique*.

Relaciones psicofísicas entre color y sonido.

Extracto de Aristóteles: *De sensu et sensiti*. (Según Geoffroy)

Lo mismo que en el aire hay unas veces luz y otras veces oscuridad, de la misma manera en los cuerpos se hallan el blanco y el negro. En cuanto a los demás colores, vamos a pasarles revista a los modos según los cuales se forman. En primer lugar, puede hacerse que el blanco y el negro se yuxtapongan paralelamente de suerte que cada uno de ellos en particular se torne invisible a causa de su débil extensión y de que ya no se ve sino el resultado de esta yuxtaposición: ya no habrá ni el blanco y el negro; ahora bien, puesto que es necesario que esto sea un color, y que no sea ninguno de los dos precedentes, será un color mezclado y que presente un aspecto de un género nuevo. Puede así comprenderse que hay otros colores además del blanco y del negro, y que haya muchos de ellos. En efecto, sus relaciones proporcionales de yuxtaposición, pueden ser entre ellas como las fracciones $3/2$, $3/4$ y así sucesivamente. Las relaciones que no pueden ser expresadas numéricamente, sea por exceso, sea por defecto, son

incommensurables; y también esto es lo que sucede respecto de los sonidos. Los colores engendrados por las relaciones proporcionales más perfectas, como esto sucede también para los sonidos, parecen ser los más agradables; tales son el violeta, el rojo y algunos otros colores, poco numerosos por lo demás, por la misma razón que hace que los acordes de los sonidos se encuentran también en pequeño número.” (Citado en Déribéré, 1967, p. 22-3)

Muchas asociaciones se han realizado del color con otras cosas, tales como objetos naturales, minerales, piedras preciosas, entre otras. La introducción del índigo al vocabulario de los colores, condujo a algunos autores a tomar como base la realidad de siete colores en el espectro; otros, abusaron al asociar este número a analogías para los menos osados con las siete notas de la gama musical o con números mágicos (Déribéré, 1967). Si bien es cierto, es difícil concretar una comparación de los colores con cualquier otra cosa. Sin embargo, el hombre con el afán de intentar explicar todas aquellas cosas que no comprende, realiza asociaciones con las cosas cotidianas que los rodean; con la mera intención de un mejor entendimiento. Quizá la osadía a la que Déribéré se refiere en la comparación de los siete colores con las siete notas de la escala mayor, no fuese tan errada ya que ambos aspectos tienen una similitud física impresionante; la cuestión es que el estudio de los espectros del color y la música no es sino una ciencia relativamente nueva. Ya muchas comparaciones se han realizado del sonido y el color.

La frecuencia de las ondas electromagnéticas y mecánicas afecta de manera física al cuerpo humano. El color y el sonido son cualidades causadas por vibraciones de distintas frecuencias y diferente naturaleza (el color es un fenómeno electromagnético, el sonido es un fenómeno de compresión física) en la materia. Estas vibraciones modifican

en cierta medida la masa de los objetos ya que cada una de ellas tiene la capacidad de vibrar a cierta frecuencia. De esta manera, el cuerpo humano, al igual que los objetos, es materia, por lo cual tiende a tener una repercusión física al ser expuesto a la vibración. Las maneras en las que las distintas frecuencias afectan al cuerpo humano son muchas y su estudio ha tenido repercusiones artísticas, sociales y hasta médicas. El ser humano ha aprendido a controlar estas frecuencias para distintos fines como por ejemplo: las resonancias magnéticas, los infra y ultrasonidos, la sonografía, los sonares, la cromatografía, musicoterapia, las artes plásticas, la radioterapia, la música, las artes visuales, la radio y la navegación satelital; todo esto posible por el estudio de las ondas electromagnéticas y mecánicas. En este sentido, la relación psico-física que poseen estos dos fenómenos, proponen una relación mucho más grande que sólo la cuestión estética y artística.

La luz y el sonido comparten similitudes físicas muy relevantes. Aunque son de una naturaleza distinta, ambas viajan por un medio. Su percepción es causada por el desplazamiento de ondas mecánicas y ondas electromagnéticas. Diferentes tipos de ondas, pero al final ambas comparten el hecho de ser un movimiento oscilante.

El movimiento mecánico y electromagnético es considerado un movimiento ondulatorio. Para que el sonido se propague es necesario que se mueva a través de la materia. La alteración mecánica de un cuerpo oscilante distorsiona al aire, esta distorsión causada por el movimiento es transformada en energía mecánica creando así el sonido. El movimiento electromagnético no necesita de un medio por el cual viajar. Esta energía es capaz de desplazarse por el vacío. Aunque existe evidencia que hasta el vacío posee

materia. Quizá los neutrinos¹² sean los responsables del movimiento electromagnético en cualquier parte. Estos dos movimientos de naturaleza distinta, entran en el movimiento ondulatorio. Ambas energías comparten características físicas indiscutibles, sobre todo por el hecho de ser ondas. Este movimiento ondulatorio posee las mismas cualidades, no importa el tipo de oscilación que sea.

Los medios de propagación mecánica y electromagnética poseen las mismas cualidades físicas. La propagación de ambos espectros, sonoros y luminosos, hacen posible que nuestros sentidos los identifiquen. Las características de su movimiento son particularmente especiales. No se pueden ver a simple vista como una onda, pero se pueden percibir a través de su propagación. Este particular movimiento conlleva una gran serie de características. El estudio físico de las ondas ha logrado evidenciar este carácter que hace al movimiento ondulatorio. Amplitud, ciclo, longitud, velocidad, período, frecuencia y el número de ondas, son las cualidades físicas de cualquier oscilación. El estudio físico del movimiento ondulatorio ha propiciado grandes avances tanto en la ciencia como en las artes. La física de este fenómeno es aprovechada para un sinnúmero de cosas.

Aunque el sonido y la luz son naturalmente distintos, su estudio ha señalado un paralelismo sorprendente. Los seres vivos perciben el movimiento mecánico como sonido y el movimiento electromagnético como calor, luz y color. Sin embargo, estos dos espectros oscilan en el ambiente y es esta oscilación la que los ata a coincidir

¹² Un neutrino es una partícula sin carga eléctrica la cual no forma parte de la materia común e interacciona muy débilmente con la materia ordinaria. Una persona es atravesada aproximadamente por 600 billones de estas partículas por segundo (Pastor Carpi, 2013).

físicamente. ¿Será posible transformar el medio de propagación audible a uno visual y viceversa?

La relación física de ambos aspectos es más compleja de lo que se supone. La confrontación del color y la música propone conclusiones muy interesantes; debido a que ambos aspectos son un movimiento ondulatorio comparten similitudes físicas como la amplitud, ciclo, longitud, velocidad, periodo, frecuencia y número de onda. Aunque son de una naturaleza diferente, ambos aspectos pueden ser transformados uno al otro ya que: “La energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma” (Isaac Newton). Estudios e investigaciones realizadas por científicos y artistas, han sugerido que es posible la conversión física de color a sonido. Un ejemplo de esto son trabajos como *Sonidos de ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array)* (2012), que captan la frecuencia de radio de las estrellas y las convierte en música. Este proyecto en particular utilizó en su primera etapa ondas provenientes de la nebulosa de Orión captadas en el 2012 por dieciséis antenas del observatorio astronómico ALMA.

De este registro, creamos una sonorización de datos asociando una tonalidad diferente a cada una de las líneas espectrales emitidas por las moléculas presentes en la fuente astronómica. Así, las frecuencias e intensidades de cada línea molecular son convertidas en un espectro sonoro que mantiene las frecuencias e intensidades relativas del espectro proveniente desde el universo (Hales & Finger, 2012).

Con los resultados obtenidos de esta conversión, los sonidos fueron divididos en tres grupos: altos, medios y bajos, con la finalidad de simplificar el uso de esta información para los artistas encargados de crear la música con los sonidos captados por los

científicos. *Sonidos de ALMA* es un proyecto que busca interpretar las frecuencias del universo transformándolas en sonido con la intención de que cualquiera pueda componer, compartir y hacer una nueva comunidad que comparta la ida de la búsqueda de algo que ha maravillado al hombre desde sus inicios (ALMA, 2012).

Este parangón entre el color y el sonido, posee una capacidad correlativa que ha ido aumentando entre científicos y artistas contemporáneos. La relación que poseen ambos espectros ha sido un tema de discusión a través de los siglos. Hoy en día trabajos de investigación de científicos y artistas intentan crear distintas formas de cómo comprobar la relación del color y sonido.

Hear the Rainbow (2015), asigna sonidos a los colores. Este proyecto realizado por Sophi Kirkham, fue inspirado en los colores del arcoíris, las más recientes teorías de la armonía musical y la relación que ambas tienen con el espectro de la luz. Siguiendo una investigación muy extensa en la percepción y procesamiento cognitivo, Sophi Kirkham logró crear un software en el cual introdujo los valores obtenidos en su investigación, creando así un programa de audio interactivo.

Los sonidos son producidos mediante un lector de luz, el cual capta el cambio de la misma ante los diferentes colores; estas variaciones son decodificados y enviadas al programa antes mencionado, lanzando diferentes sonidos que responden al color. El rango de colores utilizados en el proyecto son los visibles en el arcoíris, más algunos grises, el blanco y el negro, creando una percepción sinestésica que transforma los colores en sonidos, emulando la forma en la que el cuerpo humano y la mente procesan el color.

Hear the Rainbow, [...] mediante la combinación de diversas investigaciones en percepción sensorial auditiva, visual y psicofísica; además de los resultados que ofrecen la teoría de la psicología del color y las asociaciones culturales más comunes encontradas en el mundo occidental y las nueve tonalidades predominantes (rojo, naranja, amarillo, índigo, violeta, rosa) y tres tonos (negro, blanco, gris) han podido ser traducidos como sonidos, cada uno mimetiza las propiedades y afecta ese color. Mediante el uso de sonidos emotivos y simbólicos, el sistema tiene como objetivo crear una plataforma para el reconocimiento de datos intrínsecos [...]. Aunque en la actualidad está en su etapa de prototipo, lo estoy desarrollando en un sistema incrustado independiente para ser utilizado principalmente por personas que son daltónicas, autistas o que tienen trastornos sensoriales, ¡Pero también sólo por diversión! (Kirkham, 2015. Parr. 1. Trad. hecha por mí)

Este proyecto conjuntó los espectros del color y sonido creando un proyecto sumamente significativo, el cual brinda la oportunidad de obtener una sensación sinestésica artificial sustentada en la cognición humana. El estudio cognitivo de estos aspectos ha llevado a que la psicología enfoque su atención en la música y el color, fomentando un nuevo campo de estudio que promete grandes resultados.

A lo largo de la historia, grandes artistas y científicos han sentido curiosidad por la relación oculta que existe entre el color y la música. Sin embargo, ese pensamiento muy adelantado a la época de cada uno de ellos, terminó en tela de juicio y sin nada en concreto. Hoy en día, gracias a los avances en la tecnología y la especialización de las ciencias y las artes, se ha logrado recabar datos, realizar experimentos e investigaciones,

obteniendo información muy significativa de la correlación que poseen ambos espectros entre sí.

Las nuevas tecnologías permiten a los artistas realizar obras muy interesantes entremezclando ambas disciplinas, y a los científicos utilizar las propiedades psicofísicas del color y el sonido con fines en pro de la humanidad. Quizá en un futuro no muy lejano se logre desentrañar todos los secretos de ambos aspectos y se dejen de observar como cuestiones individuales. Posiblemente la multidisciplinariedad sea el camino final de estas dos vertientes. Sin duda alguna, las frecuencias tienen un impacto directo en la vida del hombre. Su estudio y entendimiento llevarán poco a poco a comprender la forma en la que interactúa la vida en general con el entorno que la rodea. Ya sea de una manera psicológica o física, el estudio de estos aspectos seguirá avanzando y abriéndose paso a un nuevo campo de estudio en el cual, quizá en un futuro no muy lejano, se conjunten ambas corrientes artísticas. La música y el color trabajarán en conjunto debido a la relación contemporánea a la que ambas corrientes han sido orilladas. Muy probablemente el hombre comience a comprender algo que va más allá de cuestiones estéticas, para darle su lugar a las artes en cuestiones biológicas. Al final de cuentas, todas las civilizaciones han dependido de las artes de alguna manera.

Algunas de las asociaciones que se han hecho con respecto a estos dos fenómenos y que comparten un significado similar son: tono, brillo, color musical y escala cromática, entre otras. Pero, llegando a un nivel más profundo, la música ha sido comparada espectralmente con los colores, teniendo secuelas físicas y psicológicas.

La relación que guardan ambos espectros, tanto física como psicológicamente, podría ser mucho más grande de lo que se cree. Esta analogía entre el color y la música

ha intrigado a científicos y artistas. La confrontación de estos espectros ha conllevado a conclusiones físicas realmente importantes. El contraste músico-colórico llevó a grandes personajes como Newton a realizar trabajos de gran relevancia en la materia. Físicamente, la principal relación existente entre ambos espectros son las ondas con las cuales se propagan de manera electromagnética y mecánica, haciendo posible su movimiento. Éste movimiento dispara sensaciones físicas y mentales, propiciando así su estudio psicológico. La psicología se ha encargado de estudiar los efectos causados por el color y la música desde hace algunas décadas. Trabajos como el de Eva Haller en su libro *Psicología del color* demuestra que los colores despiertan en el individuo un sinnúmero de cualidades mentales. El movimiento causado por las ondas de ambos espectros influye en los individuos a un nivel psico-físico muy relevante.

Las ondas electromagnéticas (O.E) y las ondas mecánicas (O.M), hoy en día pueden ser convertidas una en la otra en cualquier dirección. En primer lugar, las ondas mecánicas son perceptibles por el oído. El sonido, que es una alteración de la presión atmosférica, se mueve de manera mecánica en el ambiente. Estas ondas viajan por un medio elástico (generalmente por el aire) causando una vibración y produciendo una alteración audible. El movimiento de las ondas electromagnéticas resulta similar al movimiento mecánico. La diferencia que conlleva el movimiento electromagnético es la velocidad; ya que estas ondas son derivadas de la luz su frecuencia es mucho mayor. En este caso, la oscilación de campos eléctricos y magnéticos hace posible el movimiento de dichas ondas. Basándose en la ley de la conservación de la energía, ambas ondas, aunque de diferente naturaleza, pueden ser convertidas unas a otras. Es decir, una O.M puede ser convertida en una O.E y viceversa. Esta transformación de energías se ha llevado a cabo

recientemente en un observatorio astronómico con el proyecto ALMA antes mencionado, en donde la luz de las estrellas (O.E) pudo ser convertida en música (O.M).

Las relaciones psico-físicas entre los colores y cinco acordes de la armonía popular serán el tema a tratar en este trabajo. Estas cuestiones ya resueltas por expertos en cada área, han sentado las bases para una conjunción de ambas disciplinas a un nivel artístico. Utilizando los resultados de ambas ciencias en relación a las materias musical y cromática, se propondrá un proyecto en el cual se intentará inducir en el espectador de una manera física y psicológica sensaciones y estados anímicos. Las sensaciones que despierten los colores y la música determinarán el rumbo del proyecto y lo que el artista desee expresar. Esto con el fin de introducir al espectador en la obra que se realice, para que él sea parte del proyecto de manera presencial y mental.

[El arte] nos presenta sensaciones [...] para que las contemplemos, haciéndolas visibles, audibles o perceptibles de alguna manera mediante un símbolo que no es interferible de un síntoma. [...] Es congruente con las formas dinámicas de nuestra vida [...] sensorial, mental y emocional; [es una proyección] de ‘la vida sentida’. [...] Son imágenes de sensaciones y sentimientos que formulan para nuestra cognición. Suzanne Lander (ctd en Eisner, 2004, p. 29).

Los griegos comprendían la importancia de la inclusión artística en su quehacer diario, pues esta permitía experimentar y conocerse a sí mismos. A través del estudio de la música, es como Pitágoras afirmó que existían frecuencias que influyen en la vida del hombre; a eso le llamó la “teoría de las esferas”. Pitágoras, hace ya más de dos mil años, creía que los cuerpos esféricos celestes poseían un sonido específico. Esto tuvo un impacto negativo pues el sonido nunca fue perceptible por sus contemporáneos, ni

siquiera por él mismo; y su defensa era muy pobre, pues Pitágoras justificaba su teoría diciendo que “al ser un sonido permanente [el del planeta Tierra] desde el mismo instante del nacimiento, no era distinguible del silencio” (Miyara, 2005, p. 2). Muchos contemporáneos de Pitágoras ridiculizaron esta teoría y poco a poco cayó en el olvido. No fue sino hasta veinte siglos después que Johannes Kepler en sus estudios sobre el movimiento de los planetas y sus órbitas con el sol, afirmó que Pitágoras podría haber tenido razón. Hoy en día, la NASA (Philips, 2013) confirmó que los planetas poseen sus propias frecuencias, ya que mediante la construcción de algunos instrumentos especiales les fue posible escuchar las vibraciones electromagnéticas de la sonda espacial Voyager (Cultura inquieta, 2015).

Este descubrimiento con más de veintiún siglos de concepción, tiene un impacto profundo en la forma en la que se desarrollan todas las cuestiones físicas del planeta Tierra, hasta las más simples como el agua. El científico japonés Masaru Emoto (1943-2014) propuso que las palabras, oraciones, sonidos y pensamientos modifican la estructura de los cristales de hielo en base a las frecuencias. Si el planeta Tierra está mayormente cubierto de agua, y tres cuartas partes del cuerpo humano son este líquido vital, entonces la frecuencia de la Tierra afecta la vida de manera biológica, física y psicológica en forma imperante. La visualización pitagórica en la música de las esferas, no aceptada en un principio, predijo que los planetas poseen frecuencias que afectan la vida psicofísicamente, denotando un estudio muy extenso de cómo esto repercute en el hombre.

Lo que encontramos son ciertas ecuaciones matemáticas o geométricas. Hace muchos siglos, Platón y Pitágoras habían hallado ya en el *número* la clave de la

naturaleza del universo y del misterio de la belleza. La ciencia y la filosofía ha sufrido muchas transformaciones desde esa época, pero el resultado final es el mismo y tiende a demostrar que el número, en el sentido de la ley matemática, es la base de todas las formas que adopta la materia, sea de índole orgánica o inorgánica. Más aún, no encontramos un caos matemático, como podría ser el caso si cada forma contase con su propia ecuación matemática: por lo contrario, lo cierto es que las innumerables formas, de la sustancia inerte tanto como de las cosas vivas, obedecen a un número definido de leyes relativamente sencillas. Vale decir, el crecimiento de cosas particulares hasta adquirir formas particulares está determinado por las fuerzas que actúan de acuerdo con ciertas leyes matemáticas o mecánicas inevitables (Read, 1985, p. 41).

Si suponemos, que efectivamente Read tenga razón, no es difícil pensar que el color y el sonido tienen una relación directa, y afectan la conducta de los seres vivos. Así, la frecuencia de las ondas electromagnéticas y mecánicas afecta de manera física al cuerpo humano. El color y el sonido son cualidades causadas por vibración de distintas frecuencias en la materia, estas vibraciones modifican en cierta medida la masa de los objetos ya que cada uno de ellos tienen la capacidad de vibrar a cierta frecuencia; de esta forma el cuerpo humano, al ser expuesto a la vibración, tiende a tener una repercusión física, ya que al igual que los objetos, es materia. Las formas en las que las distintas frecuencias afectan el cuerpo humano son muchas y su estudio ha tenido repercusiones artísticas, sociales y hasta médicas; todo esto posible por el estudio de las ondas sinusoidales del color y el sonido.

El cuerpo humano, al estar construido por materia tiende a vibrar, ya que los átomos del cuerpo mismo tienen una vibración propia. Es así que el cuerpo está en constante movimiento y su interacción con las oscilaciones de su entorno modifican su estructura y comportamiento. Esta es una de las por las que las artes tienen una influencia directa en la conducta humana, ya que las frecuencias son movimientos que alteran sensorial y físicamente al cuerpo. La relación psico-física que poseen estas dos disciplinas, demuestran una relación mucho más grande que sólo la cuestión estética y artística: “El arte nos ofrece las condiciones para que despertemos al mundo que nos rodea. En ese sentido, las artes nos ofrecen una manera de conocer” (Eisner, 2004, p. 27).

Esta cuestión perceptible que Elliot W. Eisner menciona en su capítulo “El papel de las artes en la transformación de la conciencia”, del libro *El arte y la creación de la mente*, liga a las artes los estadios de los sentidos, la imaginación, la representación, la cognición, la cultura y la educación. Todo esto es fundamental en la interacción entre las artes en las sociedades y los individuos. Por un lado, Eisner comenta que el sistema sensorial es en primera instancia, el recurso más próximo para experimentar el entorno, el cual es cualitativo. Es aquí en donde el hombre utiliza la imaginación como un medio de exploración de nuevas posibilidades, y la cognición como una categorización simbólica de las emociones.

En pocas palabras, mediante la representación que Eisner enjuicia como un fundamento primordial de las artes, a través de la educación, el hombre puede categorizar artísticamente sus emociones y sensaciones, mediante lo que le gusta o no. Este gusto puede o no estar muy fomentado en la cultura en la que el individuo se sitúa. Es allí en donde la educación obtiene su papel primordial en la formación de la conciencia en la

persona, y por tanto una influencia directa en sus sentidos y emociones. Éstos, son en primera instancia un camino hacia la conciencia y hacia la representación de su entorno.

En otras palabras, las artes nos invitan a prestar atención a la sociabilidad, el entorno y la espiritualidad. Son una categorización simbólica de las emociones, pues enseñan la expresión misma de lo intangible. Visto de otra manera, y agregándole otra definición a las infinitas significaciones que se le han dado, las artes son la materialización del *Pathos*.

En este sentido, la relación física de aspectos musicales y coloridos es más compleja de lo que se presume, puesto que traspasa las barreras del método científico y se inmiscuye entre lo físico y la *Psique*. La confrontación del color y la música propone conclusiones muy interesantes. Debido a que ambos aspectos son un movimiento ondulatorio, comparten similitudes físicas ineludibles. El color y el sonido poseen una capacidad correlativa cuya aceptación ha ido aumentando entre científicos y artistas contemporáneos. La relación que poseen ambos espectros ha sido un tema de discusión a través de los siglos. Hoy en día, trabajos de investigación de científicos y artistas intentan crear distintas formas de cómo poner a prueba este vínculo teóricamente existente entre ambos espectros.

La psicología del color por su parte, ha propuesto que los colores se relacionan con los estados de ánimo. Estudios realizados en las últimas décadas por psicólogos en el área de las artes, han intentado clasificar la percepción cromática adjudicándole significado a los colores, sabiendo que éstos tienen la capacidad de estimular cuestiones que van más allá de los sentidos, despertando diferentes tipos de actitudes entre los individuos.

La psicóloga alemana Eva Haller en su libro *Psicología del color*, explica: “El color es más que un fenómeno óptico y que un medio técnico. [...] En un sentido psicológico, cada [color] es un color independiente, [...] todos presentan la misma importancia” (Haller, 2015, p. 18). Debido a la subjetividad y la individualidad de las personas, cada color posee un significado y una relación con algo. Esta relación puede ser con cuestiones cognitivas que no son meramente ópticas, pues muchas personas relacionan los colores con alegría o tristeza; con actitudes activas o pasivas; con el orden y el desorden; y hasta con cuestiones térmicas como el frío y el calor.

Es así como la psicología no sólo jerarquiza los colores en un sentido estético, sino también, lo hace con las emociones y los estados de ánimo: “El sistema sensorial [...] exige las herramientas de la cultura: el lenguaje, las artes, la ciencia, los valores, etc. Con ayuda de la cultura aprendemos a crearnos a nosotros mismos. [...] La educación a su vez es el proceso de aprender a conocernos a nosotros mismos” (Eisner, 2004, p. 19). Los colores son asociados psicológicamente y quizá de una manera inconsciente, con cuestiones sensoriales como la alegría, la tristeza, el enojo, el miedo e incluso la ternura.

En el capítulo cinco del libro *El color*, Maurice Dérivé hace mención del poder de los colores y la influencia que éstos tienen en el hombre: el color rojo es cálido por excelencia, es el color de la guerra, pero a la vez del amor, es uno de los colores más populares; el color naranja al igual que el rojo es cálido, evoca sobre todo al calor, es un color fisiológicamente activo; el color amarillo es el color de la riqueza material y espiritual, aunque puede evocar a diferentes sensaciones; el color verde es el que da equilibrio al sistema nervioso; el color azul es el color frío por excelencia, es tranquilo y relajante, evoca a los espacios abiertos; el color violeta actúa de distintas maneras sobre

las sensaciones y es una prueba del poder metafísico de los colores. Pues qué es el arte sino la materialización de sentimientos y sensaciones, el aura auténtica de cada individuo, la oportunidad de conocerse y conocer su entorno. Por otro lado, la psicología de la música refuerza aún más la teoría de la relación.

Los sentimientos y las emociones [...], son demasiado diversos para ser correlacionados con un *estilo* artístico particular; pero es posible agrupar tipos de arte cuyo objetivo no consiste en expresar sensaciones o registrar fenómenos objetivos, sino representar sentimientos de cólera, temor, amor, odio, alegría, pesar, vergüenza, orgullo y todas las gradaciones infinitamente sutiles de la emoción moral e intelectual. (Read, 1985. p. 50).

Es así como muchos musicólogos han estudiado las reacciones en los individuos, al ser expuestos a la música. Al igual que con los colores, la psicología ha realizado incontables estudios de las repercusiones psicológicas de la música en las personas, obteniendo resultados y teorías que podrían parecer ficticias.

En el libro “*The Science and psychology of music performance*”, en el capítulo “Emotional communications”, Patrick N. Juslin (2002), relaciona cinco emociones con aspectos musicales; la felicidad, tristeza, enojo, ternura y miedo son las reacciones que Juslin compara con algunas cuestiones musicales como el metro, la velocidad, la tonalidad, entre otros. Denotando que la música provoca reacciones de conducta en los individuos. Según el tipo de música que se percibe, es el tipo de reacción que se obtiene.

“El arte nos ofrece las condiciones para que despertemos al mundo que nos rodea.

En ese sentido, las artes nos ofrecen una manera de conocer. [...] Otorgan licencia

para explorar, y en realidad para sucumbir a los impulsos que la obra envía a su creador [y que a su vez éste] transmite a su obra” (Eisner, 2004, p. 21, 27).

El estudio de las reacciones humanas ante la música ha despertado la curiosidad de los expertos. Esto ha llevado a una investigación más a fondo sobre cómo afectan las artes de manera fisiológica: “Nuestros sentidos son la principal vía hacia la conciencia” (Eisner, 2004), y estos sentidos son la parte existencial de las artes. Pues, el sistema sensorial que las artes ayudan a desarrollar, es el principal recurso del hombre para experimentar su entorno. “[Este] entorno es cualitativo y se compone de imágenes y sonidos, de sabores y olores que podemos experimentar por medio de nuestro sistema sensorial” (Eisner, 2004). A su vez, fomenta el desarrollo de la mente y la imaginación, “toda sensibilidad lleva el sello de la mentalidad” (Citado en Eisner, 2004, p. 18).

El pensamiento de que las artes deban someterse totalmente al método científico es de cierta manera ilógica, pues gran parte del conocimiento de la humanidad ha surgido de los mitos y estas cuestiones sensibles e inexplicables que el hombre lleva consigo desde su creación. Es incuestionable que la influencia de agentes externos al individuo, siempre están presentes según Herbert Read, ya que la influencia psicológica se supone, comienza desde el trauma de parto, e incluso más atrás. Sin embargo, la mente de los recién nacidos siempre ha sido un misterio, y quizá siempre lo sea debido a esta influencia inminente al momento de nacer. Pero aunque agentes externos modifican la conducta del hombre, éste a su vez, se deja llevar por sus instintos, cuestiones inherentes al hombre de las cuales no se puede deshacer. Es en este punto en donde según Read, en una conjunción entre las influencias naturales y sociales, se crea el concepto consciente de

forma, no sólo en el sentido de materia, sino también socialmente al ver la palabra “forma” como verbo.

He dicho que la obra de arte, ‘toma’ o ‘adopta’ su forma, pero en realidad la forma le es dada por una persona determinada, a la que denominamos ARTISTA; un artista, debemos recordarlo, no es sólo un hombre que pinta cuadros, sino también un hombre que compone música o poesía, o hace muebles—incluso un hombre que hace zapatos y vestidos—. Existe todo tipo y grado de artistas, pero todos son personas que dan forma a algo [incluso a una sociedad]. (Read, 1985, p. 39-40).

Sin embargo, antes de que la forma le sea dada a una sociedad, ésta tiene que pasar por los eslabones del arte pues según Read, no hay sociedad ni espiritualidad sin arte. Es decir, la “forma” no puede tomar su sentido de “verbo” sin el juicio artístico. Y no puede existir un juicio artístico si no existe una influencia natural y social, es un camino en ambos sentidos, uno de la universalidad a la personalidad y otro contrario.

Viéndolo desde esa perspectiva se podría intentar poner un ejemplo dentro del cual la influencia natural ha permitido al hombre entablar una sociedad con base en las artes. Si se pusiera en contexto el papel psicológico que poseen los colores sobre el hombre, no resultaría difícil entender el comportamiento del mismo cuando él es expuesto a este fenómeno; ya que, desde la aparición de los primeros descendientes del ser humano en la tierra, el hombre se ha maravillado con este proceso, aprendiendo con base en los colores a encontrar alimento, peligro y lugares viables en los cuales vivir, denotando así las primeras sociedades basándose en la forma natural de su entorno.

No sería ilógico suponer que la relación que guardan los colores con las emociones humanas, provienen de este proceso de aprendizaje ancestral. Hipotéticamente hablando, se podría asociar que con el paso del tiempo nuestros ancestros aprendieron que el color amarillo es peligro y alegría, y nos heredaron esta asociación psicológica hasta nuestras fechas. Pues en los pastizales amarillos podían encontrar alimento; sin embargo, ellos a su vez también podían convertirse en presas, pues los depredadores se camuflajeaban en el pastizal de ese color, creando un peligro inminente para ellos: “así de contradictorio es el amarillo” (Haller, 2015, p. 85). De la misma forma a resguardarse contra tiempos de tormentas con base en el color del cielo y el sonido de los truenos. Ambos fenómenos sorprendentes e inexplicables para el hombre, despertaban psicológicamente cuestiones descriptibles sólo en emociones, dejando la tarea del color y la música a los dioses. Esto es una mera hipótesis, pero ejemplifica dentro de los objetos de estudio la significante que Read hace de las influencias y los instintos.

En efecto, la gama de colores podría ordenarse en una serie que correspondería a la gama de nuestras emociones; el rojo correspondería entonces a la ira; el amarillo a la alegría; el azul al anhelo, y así siguiendo. Probablemente exista una sencilla explicación fisiológica de esta correspondencia, quedando el placer o el displacer determinados con la frecuencia con que las ondas o los rayos luminosos inciden sobre la retina del ojo. [...] Pero el color tiene también sus aspectos psicológicos. Algunas personas gustan o rechazan los colores porque los asocian con gustos o desagrado generales [...]. Estos gustos y desagrado tienen quizá su fuente en el inconsciente y son, de todos modos, parte de la disposición temperamental de cada individuo. (Read, 1985. p. 45)

Es así, que en la psicología, muchos estudios se han realizado con base en el color. Esta ciencia ha intentado demostrar la relación inequívoca de los colores con aspectos cognitivos y emocionales en el hombre, y su influencia en el comportamiento del mismo en un entorno individual y social. Estos estudios meramente cuantitativos de forma estadística, han demostrado de manera contundente que el fenómeno del color es utilizado en un sinnúmero de aspectos cotidianos, que afectan el estado emocional casi en un tinte subliminal.

Estudios como el de la psicóloga alemana Eva Haller han logrado realizar comparaciones afectivas con los colores, basándose en análisis historiográficos y sociales. Pues dependiendo de la región y de su historia, es el significado de los colores; encontrando un gran número de similitudes en habitantes de distintos países europeos.

Con esto logró ponerle un adjetivo calificativo a cada emoción de las cuales Haller hace mención. Así pues, en el libro *psicología del color*, Haller se atreve a decir, por ejemplo, que la pasión es “roja”. De una manera esto resulta familiar. Quizá por el hecho de que inconscientemente el hombre realiza esta categorización desde el principio de sus tiempos. Sin embargo, no se puede generalizar a todas las sociedades y a todos los tipos de rojo en esta afirmación, ya que toda sociedad es diferente y cambiante. Aun así, es imposible ignorar las frases *I'm blue* (estoy azul), *I'm red* (estoy rojo), entre otras, que hacen fáctica la comparación; quedando plasmado hasta en películas infantiles que el hecho de decir *I'm blue* es estar triste, *I'm red*, furioso. Representando a los personajes principales con un color que demuestra su estado de ánimo, como por ejemplo: amarillo es optimismo, verde es desagrado, púrpura es miedo, azul tristeza y rojo, obviamente, furia o pasión.

Estas cuestiones, que por lo general son tratadas por las ciencias exactas como temas tabúes, guardan secretos de la mente que al ser difíciles de comprobar por su alto grado de subjetividad, se hacen a un lado. Quizá la respuesta no sea tan complicada, pues es algo que acompaña al hombre desde su existencia, sólo se tiene que mirar desde otra perspectiva.

Investigaciones realizadas recientemente señalan que la comparación física del espectro visible con la superposición de ondas sonoras es teóricamente posible. Con este acercamiento se podría intentar comprender de una mejor forma por qué el hombre tiende a realizar constantemente la confrontación de estos dos fenómenos. La intención de este trabajo es demostrar que psicológicamente, el hombre tiende a relacionar los colores con la música de manera inconsciente, porque en realidad, existen una serie de causas físicas y fisiológicas que lo conducen a hacerlo.

Pitágoras afirmaba ya hace más de veinticuatro siglos, que la música contenía secretos del universo que sólo podían ser demostrados mediante la misma. De igual forma, el color siempre intrigó a los grandes pensadores acerca de su razón de ser, llevándolos a intentar demostrar con ambos argumentos la existencia del todo, dándoles a estas dos vertientes un nivel preponderante en su sociedad. El poder de la música es tal que en algunas sociedades el hombre que hacía buena música podía ser considerado sacerdote, y a su vez, es innegable que la música impacta al cuerpo de una forma fisiológica: “la música acompaña los corazones y los movimientos de los hombres, por eso es adecuada para la comunicación entre los hombres y los dioses” (Scwanitz, 2002, p. 303). Las antiguas civilizaciones tenían conocimiento de esto, y es por esta misma razón que englobaban esta virtud de la música en la divinidad.

Por otra parte, el sentido de la visión “[...] dirige la mayor parte de nuestros actos. Está en dependencia de la luz y del color que es su acompañamiento. [...] Es erróneo, en efecto, pensar o creer que el color es una materia o una fracción de la luz. Es una sensación” (Dérivé, 1967, p. 7-8). Pues resulta comprensible que, de una manera u otra, el hombre se deje alcanzar por sensaciones casi tangibles al ser partícipes de fenómenos coloridos como el amanecer, brindándoles a su vez la misma divinidad.

Ambos fenómenos, sorprendentes e inexplicables para el hombre, despertaban psicológicamente cuestiones descriptibles sólo en emociones, dejándoles la tarea del color y la música a los dioses. Hoy en día, los efectos siguen siendo los mismos y se les atribuyen cuestiones un tanto paranormales, ya sea por la ignorancia o la ingenuidad, o sólo por el miedo de aceptar que ambos fenómenos en realidad poseen un control sobre el hombre.

Los fenómenos que han desatado estos espectros, han sido fuertes y muy variados. Su estudio a través del tiempo ha prometido revelar secretos importantes dentro del comportamiento humano, y su relación es psicológicamente más evidente. ¿Será apropiado pensar que aun siendo espectros diferentes puedan guardar una relación psicofísica directa? Es un hecho comprobado que ambas partes podrían poseer esta capacidad. El aprendizaje artístico y la transversalidad de las ciencias con las artes, podrían suponer un avance educativo en la sociedad al fomentar la inteligencia emocional y el autoconocimiento. El develar los secretos tangentes entre la luz y el sonido también podría explicar procesos cognitivos que siguen siendo desconocidos en la actualidad por la ciencia y la psicología.

Capítulo 3

Metodología

Aquí se observarán los distintos métodos utilizados y las diferentes teorías observadas con el fin de comparar físicamente los espectros del color y el sonido, para posteriormente hacer un acercamiento físico a la psicología del color y la música, con la intención de proponer un experimento psicológico con los resultados aquí obtenidos.

Teoría de la frecuencia promedio (Fp).

Este trabajo inició con el estudio de la frecuencia promedio, con la finalidad de relacionar la música con la colorimetría.

La teoría de la frecuencia promedio (fp) intenta explicar la relación que existe en los acordes. Esta teoría aquí propuesta, expone que la suma de las cuatro frecuencias divididas entre sí, arrojan la frecuencia promedio de cada acorde; el rango utilizado para este experimento fue de **Do 261.626** a **Si 493.883**, dentro del cual está **La 440**; siendo esta última, la nota de referencia en la afinación temperada actualmente. La relación espectral muestra a varios de los acordes desde un DO hasta un SI con una aproximación significativa en sus frecuencias promedio, la cual podría generar sensaciones similares, aunque sus tonalidades sean muy lejanas. Los acordes de séptima ya antes mencionados fueron sometidos a la ecuación: $\frac{f1 + f2 + f3 + f4}{4}$ arrojando sesenta frecuencias promedio, una por cada uno de los cinco tipos y para cada una de las notas de la escala temperada. La teoría de la fp muestra una relación directa entre los acordes distantes en intervalos de tercera menor y tercera mayor en la mayoría de los casos. Sin embargo, dependiendo del tipo de acordes, estos resultados varían teniendo una similitud espectral diferente entre

familias de distintos tipos. El objetivo de la teoría es encontrar una frecuencia promedio total (fpt) que englobe cada acorde y simplifique de doce a uno, todas las frecuencias para cada familia.

La frecuencia promedio total (**fpt**) junta todos los acordes de una familia en uno solo. Pues la fpt es el resultado de la suma de las doce frecuencias promedio divididas entre sí ($\frac{f1 + f2 + f3...+f12}{12}$), esto genera un solo resultado que engloba un elemento de cada uno de los acordes analizados, con el fin de encontrar una aproximación a una tonalidad fija que represente a todas. Los acordes promedio totales serán sumados por su mismo valor hasta entrar en el rango de los Tera Hertz (**THz**), con el propósito de empatar los rangos sonoros con los rangos visuales; si esta acción de sumar la frecuencia repetidamente genera octavas de un mismo sonido (por ejemplo, **La = 440 + 440 = La. 880** [una octava más arriba]); entonces, hipotéticamente los colores podrían ser aproximaciones a octavas no audibles. El empatar un acorde fpt, ya sea mayor, menor, dominante, disminuido o semidisminuido, con un espectro visual, podría asignarle un color a un sonido o viceversa de una manera lógica y no tan arbitraria. Las aproximaciones de los acordes fpt de cada familia reducen sesenta acordes a sólo cinco espectros comparables (un acorde por cada grupo), que se contrapondrán con el espectro visible. Al igual que el temperismo se basó en Pitágoras, la teoría de la frecuencia promedio se fundamentó en el temperismo.

Las ecuaciones que dieron nacimiento al temperismo fundamentaron la teoría fp. La construcción de la ecuación de la frecuencia promedio consta de cuatro partes: **3 fpt**, que es la frecuencia promedio total por tres; $\sqrt[12]{2}$, que es el valor del semitono en la escala temperada; **X**, es la cantidad de semitonos a la que se eleva la ecuación

dependiendo el acorde y n , que es la cantidad de notas del acorde en la cual se divide la ecuación $(3fpt \cdot (12\sqrt{2})^{X/n})$. En la escala temperada el valor de las frecuencias está determinado por $12\sqrt{2}$, elevado a la cantidad de semitonos a los cuales se quiere llegar; es decir, si se tiene la frecuencia de Do 261. 626, esta es multiplicada por $(12\sqrt{2})^4$; resultando en el valor de la nota **Mi**, y así sucesivamente hasta encontrar el valor de todas las notas. La teoría fp toma este principio y los junta con la ecuación de la frecuencia promedio, dando como resultado la ecuación antes mencionada; esta ecuación puede ser realizada con cualquier tipo de acordes, y sea que tenga tres o más notas. Como se mencionó anteriormente, esta teoría tiene como objetivo encontrar una frecuencia por cada tipo de acorde que resuma en “pocas palabras” a cada familia y marque un punto de partida para la comparación de color y sonido. La importancia de esto radica principalmente en la manera en que las frecuencias afectan psicológica y físicamente la vida en la Tierra. Pitágoras tenía conocimiento de esto (Miyara, 2005).

Nota: No se pretende cambiar en lo absoluto el sistema temperado. Todos los resultados aquí propuestos fueron arrojados utilizando los valores del temperismo, esto son meras aproximaciones para la comparación teórica de los colores y el sonido, intentando evitar lo más posible la arbitrariedad. Sin embargo, los espectros del sonido son sistemas arbitrarios seleccionados por una mayoría y, por ende, se trabaja con valores arbitrarios aceptados por la sociedad. Los resultados pueden variar debido a la subjetividad de ambos espectros en cada individuo. Lo que se intentará, es visualizarlos de la manera más lógica y menos subjetiva posible. Esto es una mera teoría, no es una ley.

Para este experimento se utilizaron solamente los rangos de **C=261.626 Hz** a **B=493.883 Hz**. Como se muestra en la tabla tres.

Tabla 3
Frecuencia en Hz de la escala cromática

C= 261.626
Db=277.183
D=293.665
Eb=311.127
E=329.628
F=349.228
Gb=369.994
G=391.995
Ab=415.305
A=440
Bb=466.164
B=493.883

La fórmula propuesta para obtener la frecuencia promedio (*fp*) es:

$$fp = \frac{f1 + f2 + f3 + f4}{4}$$

En donde f1, 2, 3,4 son las frecuencias del acorde y 4 es el número de notas que contiene el acorde con séptima.

En la tabla cuatro podemos observar la igualdad de notas enarmónicamente, con el fin de simplificar los resultados teóricos de las frecuencias promedio.

Tabla 4
Tabla de enarmonías¹³

B#					E#						
C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B
C	Db	D	Eb	E	F	Gb	G	Ab	A	Bb	B

¹³ La enarmonía es la igualdad de las notas en la escala cromática pero con diferentes nombres. Un ejemplo, la nota de C# y Db suenan exactamente iguales pero su nombre es diferente, esto con el fin de simplificar la teoría musical y su lectura.



Dbb		Ebb	Fbb	Fb	Gbb		Abb		Bbb	Cbb	Cb
------------	--	------------	------------	-----------	------------	--	------------	--	------------	------------	-----------

La tabla cinco tiene la finalidad de observar la construcción de los acordes antes mencionados tanto por sus grados como por sus intervalos.

Tabla 5
Construcción de los acordes más comunes estudiados en esta investigación

$\Delta 7$	7	m7	$\emptyset 7$	o7
1-3-5-7	1-3-5-b7	1-b3-5-b7	1-b3-b5-b7	1-b3-b5-bb7
3M+3m+3M	3M+3m+3m	3m+3M+3m	3m+3m+3M	3m+3m+3m

Tablas de frecuencias promedio (fp)

De la tabla seis a la tabla diez se muestran las aproximaciones entre los acordes con base en la fórmula de la frecuencia promedio, los colores muestran los acordes con mayor aproximación entre sí.

Tabla 6
 $3M+3m+3M$ (1-3-5-7) = $\Delta 7$

Acorde	Frecuencias del acorde	Frecuencia promedio (fp) Hz
$C^{\Delta 7}$	C=261.626 +E=329.628 +G=391.995 +B=493.883	369.283
$D^{\flat \Delta 7}$	D \flat =277.183 +F=349.228 +A \flat =415.305 +C=261.626	325.835
$D^{\Delta 7}$	D=293.665 +F \sharp =311.127 +A=440 +C \sharp =277.183	345.210
$E^{\flat \Delta 7}$	E \flat =311.127 +G=391.995 +B \flat =466.164 +D=293.665	365.737
$E^{\Delta 7}$	E=329.628 +G \sharp = +B=493.883 +D \sharp =311.127	387.485
$F^{\Delta 7}$	F= +A=440 +C=261.626 +E=329.628	345.120
$G^{\flat \Delta 7}$	G \flat =311.127 + B \flat =466.164 +D \flat = +F=349.228	365.642
$G^{\Delta 7}$	G=391.995 +B=493.883 +D=293.665 +F \sharp =311.127	387.384
$A^{\flat \Delta 7}$	A \flat = +C=261.626 +E \flat =311.127 +G=391.995	345.013
$A^{\Delta 7}$	A=440 +C \sharp =277.183 +E=329.628 +G \sharp =415.305	365.529
$B^{\flat \Delta 7}$	B \flat =466.164 +D=293.665 +F=349.228 +A=440	387.264
$B^{\Delta 7}$	B=493.883 +D \sharp =311.127 +F \sharp =311.127 +A \sharp =466.164	410.292

$(D^{\Delta 7} \cong F^{\Delta 7} \cong A^{\flat \Delta 7}); (E^{\flat \Delta 7} \cong G^{\flat \Delta 7} \cong A^{\Delta 7}); (E^{\Delta 7} \cong G^{\Delta 7} \cong B^{\flat \Delta 7})$

En la tabla seis podemos observar como los acordes señalados en color café claro tienen un promedio aproximado de 345 Hz, así igual con el azul en 387 Hz y el gris en 365 Hz.

Tabla 7

$$3M+3m+3m (1-3-5-b7) = 7$$

Acorde	Frecuencias del acorde	Frecuencia promedio (fp) Hz
C⁷	C=261.626 +E=329.628 +G=391.995 +Bb=466.164	362.353
Db⁷	Db=277.183 +F=349.228 +Ab=415.305 +Cb (B)=493.883	383.899
D⁷	D=293.665 +F#=369.994 +A=440 +C=261.626	341.321
Eb⁷	Eb=311.127 +G=391.995 +Bb=466.164 +Db=277.183	361.617
E⁷	E=329.628 +G#=415.305 +B=493.883 +D=293.665	383.120
F⁷	F=349.228 +A=440 +C=261.626 +Eb=311.127	340.495
Gb⁷	Gb=369.994+Bb=466.164 +Db=277.183 +Fb (E)=329.628	360.742
G⁷	G=391.995 +B=493.883 +D=293.665 +F=349.228	382.192
Ab⁷	Ab=415.305 +C=261.626 +Eb=311.127 +Gb=369.994	339.513
A⁷	A=440 +C#=277.183 +E=329.628 +G=391.995	359.70
Bb⁷	Bb=466.164 +D=293.665 +F=349.228 +Ab=415.305	381.090
B⁷	B=493.883 +D#=311.127 +F#=369.994 +A=440	403.751

$$(C^7 \cong Eb^7 \cong Gb^7); (Db^7 \cong E^7 \cong G^7); (D^7 \cong F^7 \cong Ab^7)$$

Tabla 8

$$3m+3M+3m (1-b3-5-b7) = m7$$

Acorde	Frecuencias del acorde	Frecuencia promedio (fp) Hz
C_{m7}	C=261.626 +Eb=311.127 +G=391.995 +Bb=466.164	357.728
Db_{m7}	Db=277.183+Fb(E)=329.628+Ab=415.305+Cb(B)=493.883	378.999
D_{m7}	D=293.665 +F=349.228 +A=440 +C=261.626	336.129
Eb_{m7}	Eb=311.127 +Gb=369.994 +Bb=466.164 +Db=277.183	356.117
E_{m7}	E=329.628 +G=391.995 +B=493.883 +D=293.665	377.292
F_{m7}	F=349.228 +Ab=415.305 +C=261.626 +Eb=311.127	334.321
Gb_{m7}	Gb=369.994 + Bbb(A)=440+Db=277.183+Fb(E)=329.628	354.201
G_{m7}	G=391.995 +Bb=466.164 +D=293.665 +F=349.228	375.263
Ab_{m7}	Ab=415.305 +Cb (B)=493.883+Eb=311.127+Gb=369.994	397.577
A_{m7}	A=440 +C=261.626 +E=329.628 +G=391.995	355.812
Bb_{m7}	Bb=466.164 +Db=277.183 +F=349.228 +Ab=415.305	376.97
B_{m7}	B=493.883 +D=293.665 +F#369.994 = +A=440	399.385

$$(Eb_{m7} \cong A_{m7}), (E_{m7} \cong Bb_{m7})$$

Tabla 9

$$3m+3m+3M (1-b3-b5-b7) = {}^07$$

Acorde	Frecuencias del acorde	Frecuencia promedio (fp) Hz
C^{07}	$C=261.626 +Eb=311.127 +Gb=369.994 +Bb=466.164$	352.227
Db^{07}	$Db=277.183+Eb(E)=329.628+Abb(G)=391.995+Cb(B)=493.883$	373.172
D^{07}	$D=293.665 +F=349.228 +Ab=415.305 +C=261.626$	329.956
Eb^{07}	$Eb=311.127 +Gb=369.994 +Bbb (A)=440 +Db=277.183$	349.576
E^{07}	$E=329.628 +G=391.995 +Bb=466.164 +D=293.665$	369.613
F^{07}	$F=349.228 +Ab=415.305 +Cb (B)=493.883 +Eb=311.127$	392.385
Gb^{07}	$Gb=369.994+Bbb(A)=440+Dbb(C)=261.626+Fb(E)=329.628$	350.312
G^{07}	$G=391.995 +Bb=466.164 +Db=277.183 +F=349.228$	371.142
Ab^{07}	$Ab=415.305+Cb(B)=493.883+Ebb(D)=293.665+Gb=369.994$	393.211
A^{07}	$A=440 +C=261.626 +Eb=311.127 +G=391.995$	351.187
Bb^{07}	$Bb=466.164 +Db=277.183 +Fb (E)=329.628 +Ab=415.305$	372.07
B^{07}	$B=493.883 +D=293.665 +F=349.228 +A=440$	394.194

$$(C^{07} \cong A^{07}), (Db^{07} \cong Bb^{07}), (Eb^{07} \cong Gb^{07}), (Ab^{07} \cong B^{07})$$

Tabla 10

$$3m+3m+3m (1-b3-b5-bb7) = {}^07$$

Acorde	Frecuencias del acorde	Frecuencia promedio (fp) Hz
C^{07}	$C=261.626 +Eb=311.127 +Gb=369.994 +Bbb (A)= 440$	345.686
Db^{07}	$Db=277.183+Fb(E)=329.628+Abb(G)=391.995+Cbb(Bb)=466.164$	366.242
D^{07}	$D=293.665 +F=349.228 +Ab=415.305 +Cb (B)=493.883$	388.020
Eb^{07}	$Eb=311.127 +Gb=369.994 +Bbb (A)=440 +Dbb (C)=261.626$	345.686
E^{07}	$E=329.628 +G=391.995 +Bb=466.164 +Db=277.183$	366.212
F^{07}	$F=349.228 +Ab=415.305 +Cb (B)=493.883 +Ebb (D)= 293.665$	388.020
Gb^{07}	$Gb=369.994 + Bbb(A)=440+Dbb(C)=261.626+Fbb (Eb)=311.127$	345.686
G^{07}	$G=391.995 +Bb=466.164 +Db=277.183 +Fb (E)=329.628$	366.242
Ab^{07}	$Ab=415.305+Cb(B)=493.883+Ebb(D)=293.665+Gbb(F)=349.228$	388.020
A^{07}	$A=440 +C=261.626 +Eb=311.127 +Gb=369.994$	345.686
Bb^{07}	$Bb=466.164+Db=277.183 +Fb (E)=329.628 +Abb (G)=391.995$	366.242
B^{07}	$B=493.883 +D=293.665 +F=349.228 +Ab=415.305$	388.020

$$(C^{07} \cong Eb^{07} \cong Gb^{07} \cong A^{07}), (Db^{07} \cong E^{07} \cong G^{07} \cong Bb^{07}), (D^{07} \cong F^{07} \cong Ab^{07} \cong B^{07})$$

Tabla 11

Tabla general de frecuencias promedio

$\Delta 7$	7	$m7$	$\emptyset 7$	$o7$
<i>1-3-5-7</i>	<i>1-3-5-b7</i>	<i>1-b3-5-b7</i>	<i>1-b3-b5-b7</i>	<i>1-b3-b5-bb7</i>
<i>3M+3m+3M</i>	<i>3M+3m+3m</i>	<i>3m+3M+3m</i>	<i>3m+3m+3M</i>	<i>3m+3m+3m</i>
$C^{\Delta 7} = 369.283$	$C^7 = 362.353$	$C_{m7} = 357.728$	$C^{\emptyset 7} = 352.227$	$C^{o7} = 345.686$
$Db^{\Delta 7} = 325.835$	$Db^7 = 383.899$	$Db_{m7} = 378.999$	$Db^{\emptyset 7} = 373.172$	$Db^{o7} = 366.242$
$D^{\Delta 7} = 345.210$	$D^7 = 341.321$	$D_{m7} = 336.129$	$D^{\emptyset 7} = 329.956$	$D^{o7} = 388.020$
$Eb^{\Delta 7} = 365.737$	$Eb^7 = 361.617$	$Eb_{m7} = 356.117$	$Eb^{\emptyset 7} = 349.576$	$Eb^{o7} = 345.686$
$E^{\Delta 7} = 387.485$	$E^7 = 383.120$	$E_{m7} = 377.292$	$E^{\emptyset 7} = 369.613$	$E^{o7} = 366.212$
$F^{\Delta 7} = 345.120$	$F^7 = 340.495$	$F_{m7} = 334.321$	$F^{\emptyset 7} = 392.385$	$F^{o7} = 388.020$
$Gb^{\Delta 7} = 365.642$	$Gb^7 = 360.742$	$Gb_{m7} = 354.201$	$Gb^{\emptyset 7} = 350.312$	$Gb^{o7} = 345.686$
$G^{\Delta 7} = 387.384$	$G^7 = 382.192$	$G_{m7} = 375.263$	$G^{\emptyset 7} = 371.142$	$G^{o7} = 366.242$
$Ab^{\Delta 7} = 345.013$	$Ab^7 = 339.513$	$Ab_{m7} = 397.577$	$Ab^{\emptyset 7} = 393.211$	$Ab^{o7} = 388.020$
$A^{\Delta 7} = 365.529$	$A^7 = 359.70$	$A_{m7} = 355.812$	$A^{\emptyset 7} = 351.187$	$A^{o7} = 345.686$
$Bb^{\Delta 7} = 387.264$	$Bb^7 = 381.090$	$Bb_{m7} = 376.97$	$Bb^{\emptyset 7} = 372.07$	$Bb^{o7} = 366.242$
$B^{\Delta 7} = 410.292$	$B^7 = 403.751$	$B_{m7} = 399.385$	$B^{\emptyset 7} = 394.194$	$B^{o7} = 388.020$

Frecuencia promedio total (Fpt).

$$f_{pt} = \frac{f_1 + f_2 + f_3 \dots + f_{12}}{12}$$

Tabla 12

Frecuencia promedio total

$\Delta 7$	7	$m7$	$\emptyset 7$	$o7$
366.648	366.6494	366.6495	366.5870	366.643

Tomando el principio pitagórico que Arquitas nombró como media aritmética en el cual $b = \frac{a+c}{2} \cong G$, $b = 261 + 522/2$ en donde **261** es *Do* grave y **522** *Do* agudo, da como resultado una aproximación significativa a **Sol=395.5**, esto será pues la base del temperismo (Tomasini, 2007) como se muestra en la tabla 13.

$$q^{12} = 2^7, \text{ despejando } q \text{ es: } q = ({}^{12}\sqrt{2})^7 / 3/2$$

Tabla 13
Intervalos

El valor de un semitono:	El Valor de un tono:	Por lo tanto:
$^{12}\sqrt{2} = 1.0594630943593$	$(^{12}\sqrt{2})^2 = 1.12246204830937$	$(^{12}\sqrt{2})^3 =$ el valor de una $3m$
		$(^{12}\sqrt{2})^4 =$ el valor de una $3M$

Un acorde está formado por una suma de terceras mayores y menores respectivamente para cada tipo, entonces obtenemos que:

- **Acorde mayor:**

$$3M+3m+3M (^{12}\sqrt{2})^4 + (^{12}\sqrt{2})^3 + (^{12}\sqrt{2})^4 = \text{sumando términos semejantes obtenemos:}$$

$$2(^{12}\sqrt{2})^4 + (^{12}\sqrt{2})^3$$

- **Acorde dominante:**

$$3M+3m+3m:(^{12}\sqrt{2})^4 + (^{12}\sqrt{2})^3 + (^{12}\sqrt{2})^3 = \text{sumando términos semejantes obtenemos:}$$

$$(^{12}\sqrt{2})^4 + 2(^{12}\sqrt{2})^3$$

- **Acorde menor:**

$$3m+3M+3m:(^{12}\sqrt{2})^3 + (^{12}\sqrt{2})^4 + (^{12}\sqrt{2})^3 = \text{sumando términos semejantes obtenemos:}$$

$$2(^{12}\sqrt{2})^3 + (^{12}\sqrt{2})^4$$

- **Acorde semidisminuido:**

$$3m+3m+3M (^{12}\sqrt{2})^3 + (^{12}\sqrt{2})^3 + (^{12}\sqrt{2})^4 = \text{sumando términos semejantes obtenemos:}$$

$$2(^{12}\sqrt{2})^3 + (^{12}\sqrt{2})^4$$

- **Acorde disminuido:**

$$3m+3m+3m (^{12}\sqrt{2})^3 + (^{12}\sqrt{2})^3 + (^{12}\sqrt{2})^3 = \text{sumando términos semejantes obtenemos:}$$

$$3(^{12}\sqrt{2})^3$$

Observamos en esto que tanto el acorde dominante, menor y semidisminuido, tienen la misma fórmula, los únicos diferentes son el mayor y el disminuido. Esto no puede ser posible ya que el sonido entre cada uno de ellos es diferente. Si fuera de esta manera, el sonido entre los acordes con fórmulas semejantes sería el mismo.

Entonces, si suponemos que una frecuencia **X** es multiplicada por $(^{12}\sqrt{2})^x$ semitonos, esto nos dará como resultado la frecuencia de la nota que queremos encontrar, por ejemplo:

$$C (^{12}\sqrt{2})^4 = E \text{ y } E (^{12}\sqrt{2})^3 = G \dots \text{ sucesivamente}$$

Observando esto último podemos concluir que el orden en el que aparecen las notas, es de suma importancia para evitar que al sumar los términos comunes se obtengan acordes iguales. Entonces:

$$C + C (^{12}\sqrt{2})^4 + E (^{12}\sqrt{2})^3 + G (^{12}\sqrt{2})^4 = C + C (^{12}\sqrt{2})^4 + C (^{12}\sqrt{2})^7 + C (^{12}\sqrt{2})^{11} =$$

$$C-E-G-B = C^{\Delta 7}$$

Sabemos pues que los exponentes en esta ecuación son en realidad la cantidad de semitonos a la que queremos elevar la frecuencia primera, por lo que:

$$C + C (^{12}\sqrt{2})^4 + C (^{12}\sqrt{2})^7 + C (^{12}\sqrt{2})^{11} = C^{\Delta 7}$$

Entonces:

- Acorde mayor $3M+3m+3M$ (**4+7+11**):

$$X + X (^{12}\sqrt{2})^4 + X (^{12}\sqrt{2})^7 + X (^{12}\sqrt{2})^{11} =$$

- Acorde dominante $3M+3m+3m$: (**4+7+10**):

$$X + X ({}^{12}\sqrt{2})^4 + X ({}^{12}\sqrt{2})^7 + X ({}^{12}\sqrt{2})^{10} =$$

- Acorde menor 3m+3M+3m: **(3+7+10):**

$$X + X ({}^{12}\sqrt{2})^3 + X ({}^{12}\sqrt{2})^7 + X ({}^{12}\sqrt{2})^{10} =$$

- Acorde semidisminuido 3m+3m+3M: **(3+6+10):**

$$X + X ({}^{12}\sqrt{2})^3 + X ({}^{12}\sqrt{2})^6 + X ({}^{12}\sqrt{2})^{10} =$$

- Acorde disminuido 3m+3m+3m: **(3+6+9):**

$$X + X ({}^{12}\sqrt{2})^3 + X ({}^{12}\sqrt{2})^6 + X ({}^{12}\sqrt{2})^9 =$$

Simplificaremos estas ecuaciones en donde $a = X ({}^{12}\sqrt{2})$, l , m , $n =$ a la cantidad de semitonos correspondientes, por lo tanto:

$$X(1 + a^l + a^m + a^n)$$

Uniendo esta ecuación con la frecuencia promedio queda:

$$fp = \frac{f1+f2+f3+f4}{4} \text{ En donde } f1+f2+f3+f4 = X(1 + a^l + a^m + a^n), \text{ por lo tanto:}$$

$$fp = \frac{X(1+a^l+a^m+a^n)}{4} \text{ Esto es igual a la frecuencia promedio del acorde a buscar.}$$

Esta fórmula puede ser aplicada para cualquier tipo de acorde, independientemente de la cantidad de notas en el mismo, la variable será el exponencial (que es la cantidad de semitonos de distancia entre la frecuencia conocida y la frecuencia que queremos conocer), y $N =$ la cantidad de notas a la que se divide el acorde, X es la frecuencia de la tónica; por lo que:

$$fp = \frac{X(1 + a^l + a^m + a^n)}{N}$$

Al obtener los resultados de cada uno de los acordes (es decir cinco tipos de acordes por doce sonidos) se obtiene una inconsistencia en la cual se vuelve al principio caminando en círculos, no importando la inversión en la que coloquemos el acorde, “al menos en el rango utilizado”, el promedio final será proporcional entre cada uno de ellos. Por lo cual, esta teoría no es funcional. Sin embargo, no se descarta por completo, pues será la base para otro resultado.

Superposición de ondas.

En esta etapa del trabajo, se pretende aproximarse matemáticamente más al objetivo, relacionar la música con el color, al explicar de una manera visual (mediante la observación de las ondas superpuestas en un acorde) los diferentes sentimientos inducidos por cada tipo de acorde.

Este camino tomado ha indicado que se tiene que cambiar de dirección, por lo cual recurrimos a la superposición de ondas. La cual dice que una onda resultante es igual a la suma de sus componentes, es decir: $Y_r = Y_1 + Y_2$. Siendo los sonidos un movimiento sinusoidal obtenemos:

$$2A \cos\left(K \frac{r_1 - r_2}{2}\right) \cdot \sin\left(\omega t - K \frac{r_1 - r_2}{2}\right)$$

En donde $K=2\pi/\lambda$, $\omega=2\pi f$ é $\lambda=V/f$

También es importante saber que:

$$f = v/\lambda, v = \lambda f, \lambda = v/f$$

Existen dos tipos de interferencia o de superposición de ondas, una es constructiva en la cual la amplitud crece y la otra es destructiva, en donde la amplitud decrece o desaparece.

Constructiva:

En la cual se genera un vientre o antinodo, que es la punta de la cresta de la onda.

Aquí se tiene que tomar en cuenta:

A max. (Amplitud máxima)

$$r_1 - r_2 = n \lambda$$

$$\Delta\phi = k(r_1 - r_2) = \text{diferencia de fase}$$

Aquí cada 180° es igual a π ; por lo que $360^\circ = 2\pi$. Así sucesivamente

Destructiva:

También conocida como nodo, es cuando la cresta cae hasta cero y comienza su descenso a **-1**. La intersección de la amplitud en el eje de las x es un Nodo. Aquí se tiene que tomar en cuenta:

A min. (Amplitud mínima)

$$r_1 - r_2 = (2n+1) \lambda/2$$

$$\Delta\phi = (2n+1) \pi$$

Aquí cada $90^\circ = \pi/2$, por lo que $270^\circ = 3\pi/2$. Aplicando cada $90^\circ 2n+1$ puesto que siempre será impar.

Sin embargo, al hacer esta ecuación, introduciendo las frecuencias necesarias para la superposición, se cae en cuenta de que solo es funcional si todas las características del sonido son iguales, al tener frecuencias distintas se crea un efecto de batido. Por este motivo se optó por observar espectralmente la superposición de ondas con el fin de encontrar una periodicidad como se muestra en las figuras de la dos a la nueve, para posteriormente recurrir con matemáticas a análisis de Fourier. La sorpresa fue muy grande al notar que ninguno de los acordes tenía una periodicidad específica simple, es decir, se encuentra una quasi-periodicidad pero, ésta ocurre a lo largo de muchos ciclos y se le denominará quasi-periodicidad porque se trata de una representación de patrones complejos, como menciona Fourier, pero las alturas no son exactamente iguales para cada pulso correspondiente de cada nota:

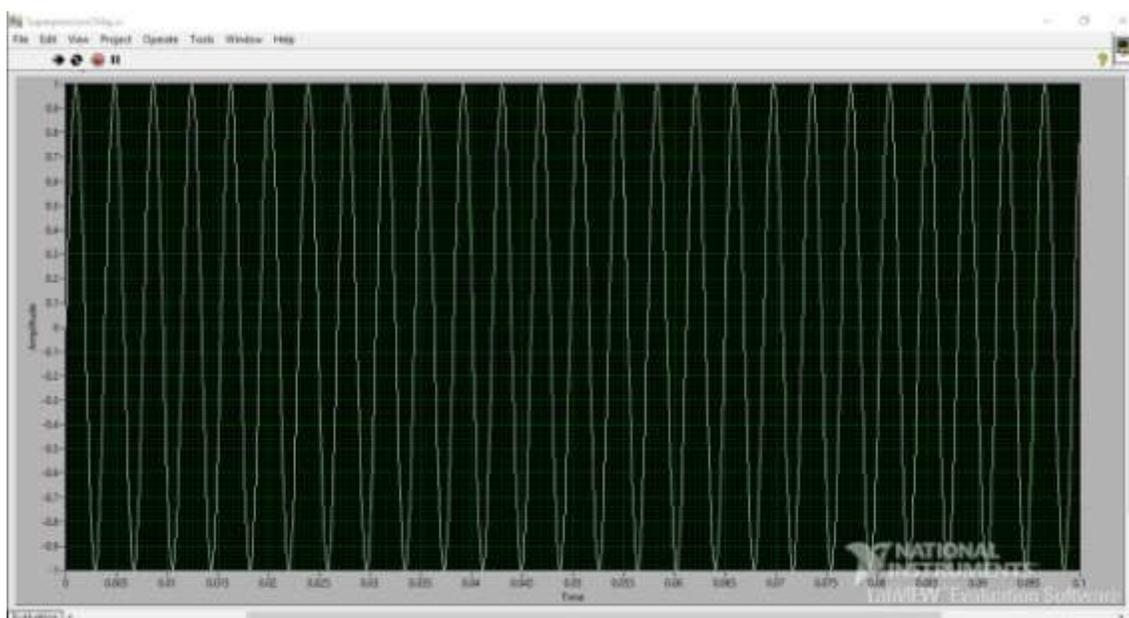


Figura 2. *I nota de C*



Figura 3. I-III notas de C-E

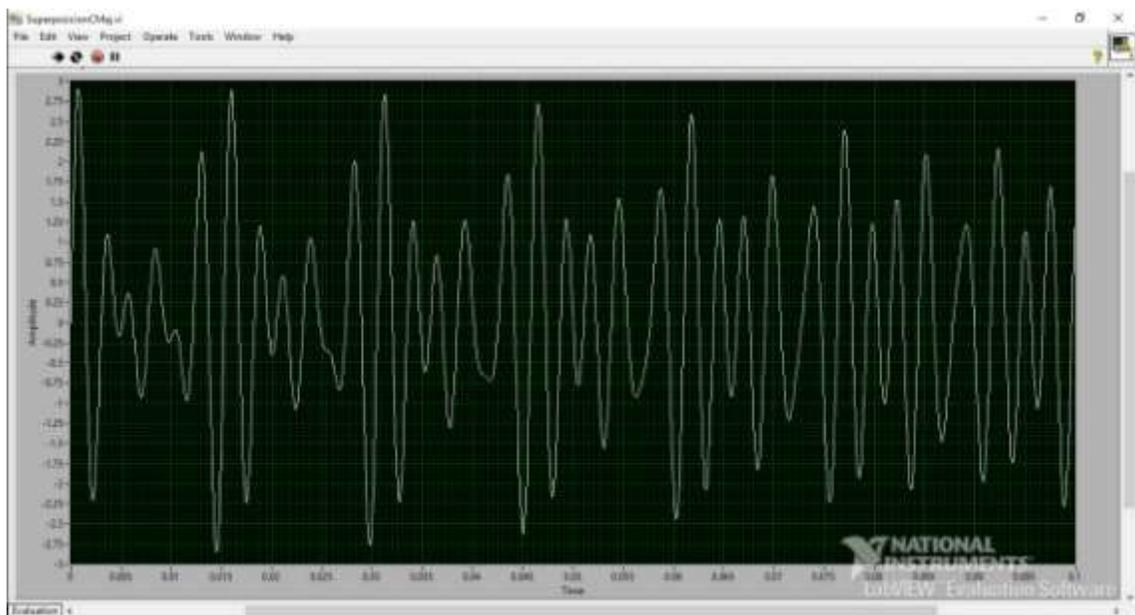


Figura 4. I-III-V notas de C-E-G

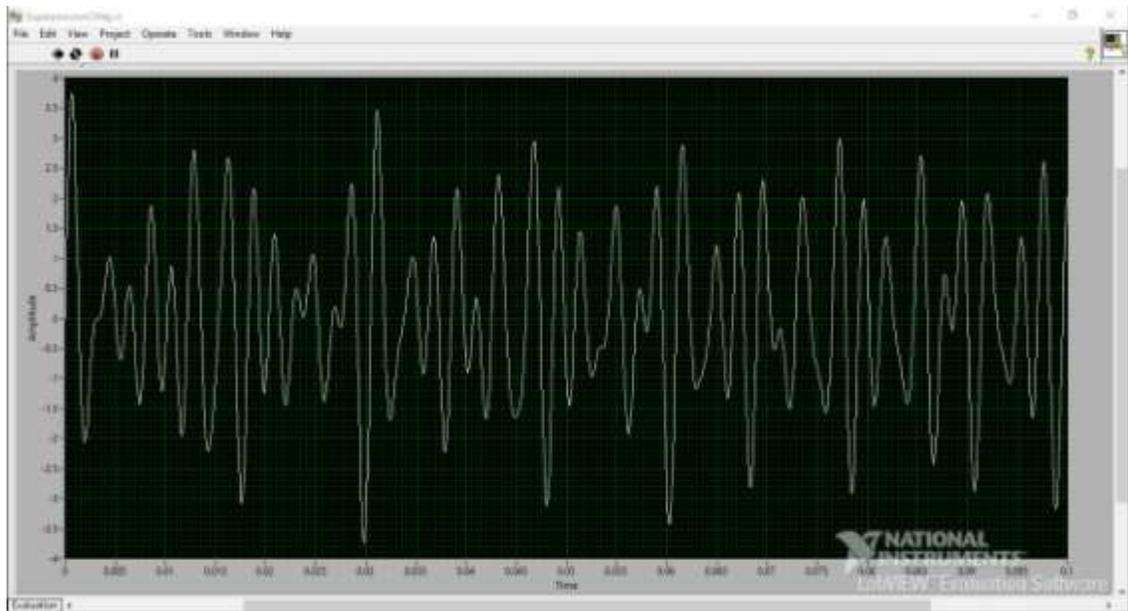


Figura 5. C^7 notas de C-E-G-B

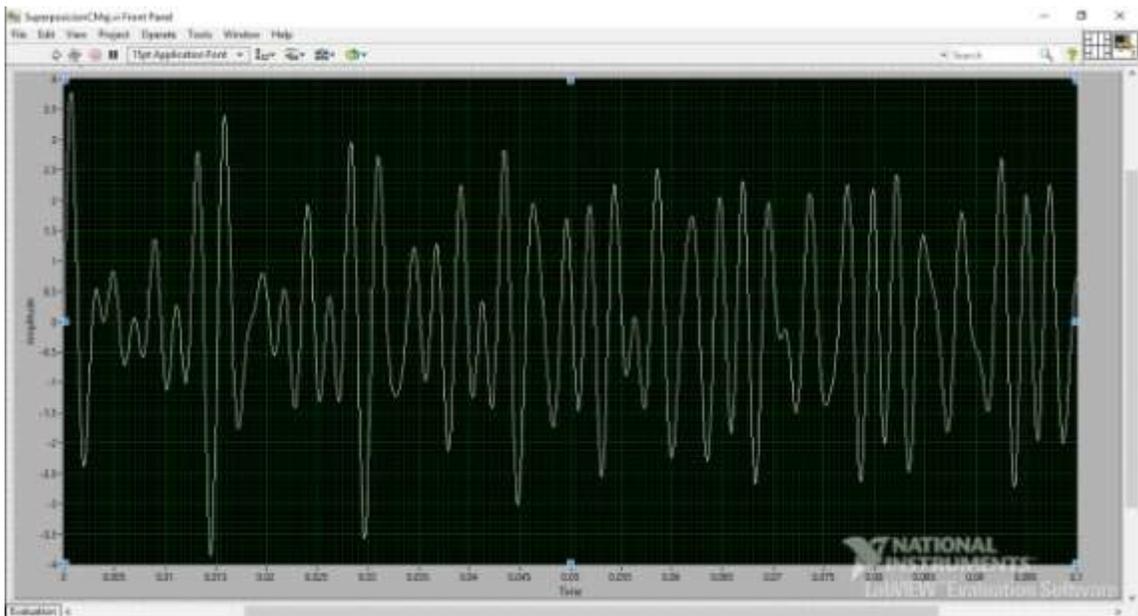


Figura 6. C^7 notas C- E- G- Bb



Figura 7. C_m7 notas C- Eb- G- Bb

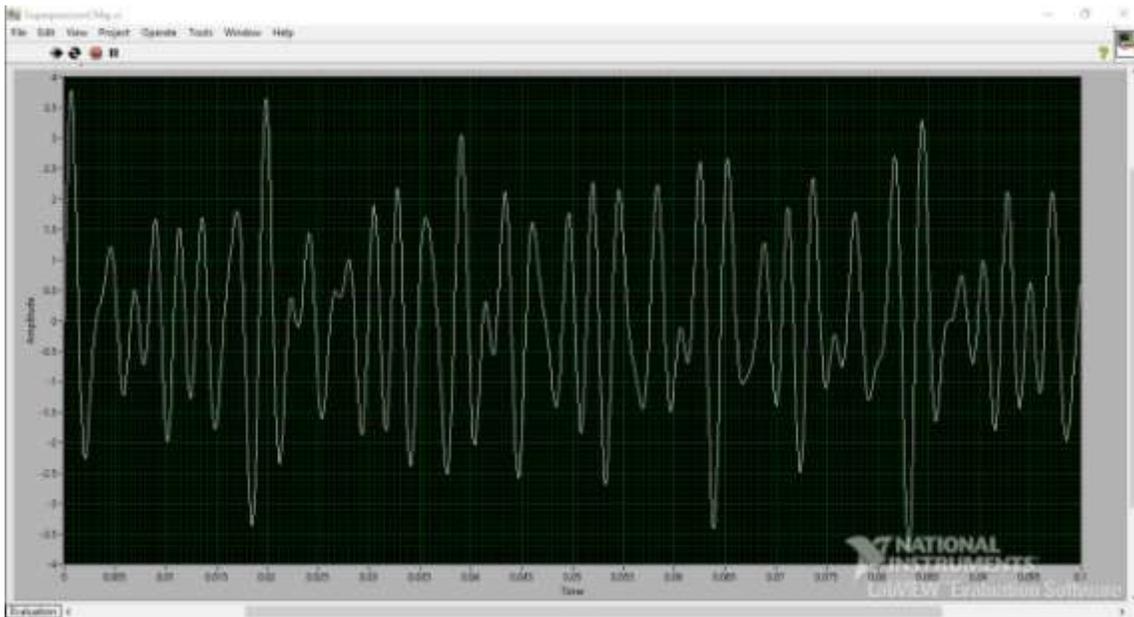


Figura 8. C^07 notas C- Eb- Gb- Bb



Figura 9. C^o7 notas C- Eb- Gb- Bbb.

Análisis del patrón de onda que representa a los acordes.

Al analizar espectralmente los acordes y llevar a cabo la comparación, se pudo observar que el patrón que guardan los acordes, espectralmente no poseían periodicidad alguna como se muestra en las figuras anteriores, por tal motivo, Fourier no podría ser utilizado en esta teoría. Sabiendo que el movimiento ondulatorio de las frecuencias sonoras es sinusoidal se recurrió a una identidad trigonométrica la cual era capaz de utilizar una suma de productos, algo similar a la planteada por Fourier:

$\sin \alpha \pm \sin \beta = 2 \sin \frac{1}{2}(\alpha \pm \beta) \cos \frac{1}{2}(\alpha \mp \beta)$; Por lo anterior se pudo obtener el siguiente resultado:

$\sin A + \sin B + \sin C + \sin D =$ en donde B=I; A=III; D=V; C=VII

$$2[\sin \frac{1}{2}(A+B) \cos \frac{1}{2}(A-B) + \sin \frac{1}{2}(C+D) \cos \frac{1}{2}(C-D)] =$$

$$2\left[\sin \frac{1}{2}(\alpha+\beta) \cos \frac{1}{2}(\alpha-\beta)+\sin \frac{1}{2}(\alpha+\beta) \cos \frac{1}{2}(\alpha-\beta)\right]=$$

Para este experimento se utilizó únicamente el acorde de C en sus diferentes familias y en estado fundamental por cuestiones prácticas de la investigación.

Utilizando los siguientes valores: B=I; A=III; D=V; C=VII; $\sqrt[12]{2}=\sigma$ (semitono); X=tónica; I=(σ) dentro de la ecuación:

$$\sin III + \sin I + \sin VII + \sin V =$$

$$2\left[\sin \frac{1}{2}(III+I) \cos \frac{1}{2}(III-I)+\sin \frac{1}{2}(VII+V) \cos \frac{1}{2}(VII-V)\right]=$$

Obtenemos:

$$\Delta 7= 2\left\{\sin \frac{1}{2}\left[x\left(\sigma^4+I\right)\right] \cos \frac{1}{2}\left[x\left(\sigma^4-I\right)\right]+ \sin \frac{1}{2}\left[x\left(\sigma^{11}+\sigma^7\right)\right] \cos \frac{1}{2}\left[x\left(\sigma^{11}-\sigma^7\right)\right]\right\}$$

$$7= 2\left\{\sin \frac{1}{2}\left[x\left(\sigma^4+I\right)\right] \cos \frac{1}{2}\left[x\left(\sigma^4-I\right)\right]+ \sin \frac{1}{2}\left[x\left(\sigma^{10}+\sigma^7\right)\right] \cos \frac{1}{2}\left[x\left(\sigma^{10}-\sigma^7\right)\right]\right\}$$

$$m7= 2\left\{\sin \frac{1}{2}\left[x\left(\sigma^3+I\right)\right] \cos \frac{1}{2}\left[x\left(\sigma^3-I\right)\right]+ \sin \frac{1}{2}\left[x\left(\sigma^{10}+\sigma^7\right)\right] \cos \frac{1}{2}\left[x\left(\sigma^{10}-\sigma^7\right)\right]\right\}$$

$$o7= 2\left\{\sin \frac{1}{2}\left[x\left(\sigma^3+I\right)\right] \cos \frac{1}{2}\left[x\left(\sigma^3-I\right)\right]+ \sin \frac{1}{2}\left[x\left(\sigma^{10}+\sigma^6\right)\right] \cos \frac{1}{2}\left[x\left(\sigma^{10}-\sigma^6\right)\right]\right\}$$

$$o7= 2\left\{\sin \frac{1}{2}\left[x\left(\sigma^3+I\right)\right] \cos \frac{1}{2}\left[x\left(\sigma^3-I\right)\right]+ \sin \frac{1}{2}\left[x\left(\sigma^9+\sigma^6\right)\right] \cos \frac{1}{2}\left[x\left(\sigma^9-\sigma^6\right)\right]\right\}$$

Simplificando la ecuación obtenemos una fórmula la que puede ser modificada con base en la tónica o inversión que se desee conocer:

$$2A1\left[\sin\left(\frac{1}{2}(fIII+fI)2\pi t\right) \cos\left(\frac{1}{2}(fIII-fI)2\pi t\right) + \sin\left(\frac{1}{2}(fVII+fV)2\pi t\right) \cos\left(\frac{1}{2}(fVII-fV)2\pi t\right)\right]=$$

$$A2\left[\sin((fIII+fI)\pi t) \cos((fIII-fI)\pi t) + \sin((fVII+fV)\pi t) \cos((fVII-fV)\pi t)\right]=$$

$$A2[\sin((2^{4/12} + 1)\pi t)\cos((2^{4/12} - 1)\pi t) + \sin((2^{11/12} + 2^{7/12})\pi t)\cos((2^{11/12} - 2^{7/12})\pi t)]$$

Al introducir los valores concernientes para cada acorde, esto es, observándolos por pares, y realizando la comparación con el espectro lumínico, se llegó a resultados muy prometedores, los cuales permitieron desarrollar las siguientes tablas y gráficas:

Tabla 14
Frecuencia de la luz.

0.00	Rojo	4.54E+14
1.00	Naranja	4.92E+14
2.00	Amarillo	5.17E+14
3.00	Verde	5.56E+14
4.00	Azul	6.38E+14
5.00	Índigo	6.82E+14
6.00	Violeta	7.32E+14

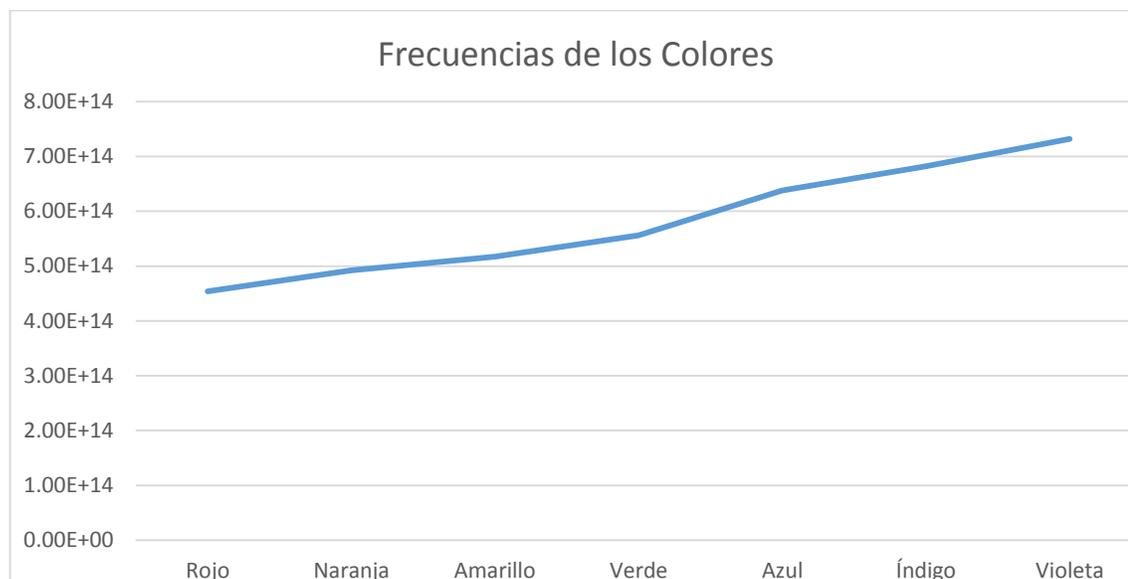


Figura 10. *Curvatura de las frecuencias de luz visible.*

En la figura diez podemos observar la curva del espectro visible de manera gráfica con los valores de la tabla 14, esta curvatura será la que se comparará con la curvatura

exponencial de los acordes los cuales, podemos observar sus frecuencias divididas por grados en la tabla 15.

Tabla 15
Frecuencias de cada grado de los acordes

	fI	fIII	fV	fVII
C Maj 7	261.63	329.63	392	493.88
C 7	261.63	329.63	392	466
C men 7	261.63	311.13	392	466
C semi 7	261.63	311.13	369.99	466
C dim 7	261.63	311.13	369.99	440

Tabla 16
Suma de frecuencias y resultado de batidos

Frecuencias			Batidos				
$(fI+fIII)/2$	$(fV+fVII)/2$	$(fI+fIII+fV+fVII)/4$	$ fI-fIII $	$ fV-fVII $	ftot	1.84E+33	7.248
295.63	442.94	369.285	68	101.88	33.88	1.012	4.54E+14
295.63	429	362.315	68	74	6	1.012	5.21E+14
286.38	429	357.69	49.5	74	24.5	1.012	5.71E+14
286.38	417.995	352.1875	49.5	96.01	46.51	1.012	6.39E+14
286.38	404.995	345.6875	49.5	70.01	20.51	1.012	7.32E+14

Tabla 17
Batidos e igualación a la luz

$ fI-fIII $	Batidos $ fV-fVII $	ftot	2.30E+33	7.29
68	101.88	33.88	1.012	4.42E+14
68	74	6	1.012	5.08E+14
49.5	74	24.5	1.012	5.58E+14
49.5	96.01	46.51	1.012	6.25E+14
49.5	70.01	20.51	1.012	7.16E+14

Con base en los resultados de las tablas 15 y 16 se obtuvo la gráfica de la figura 11:

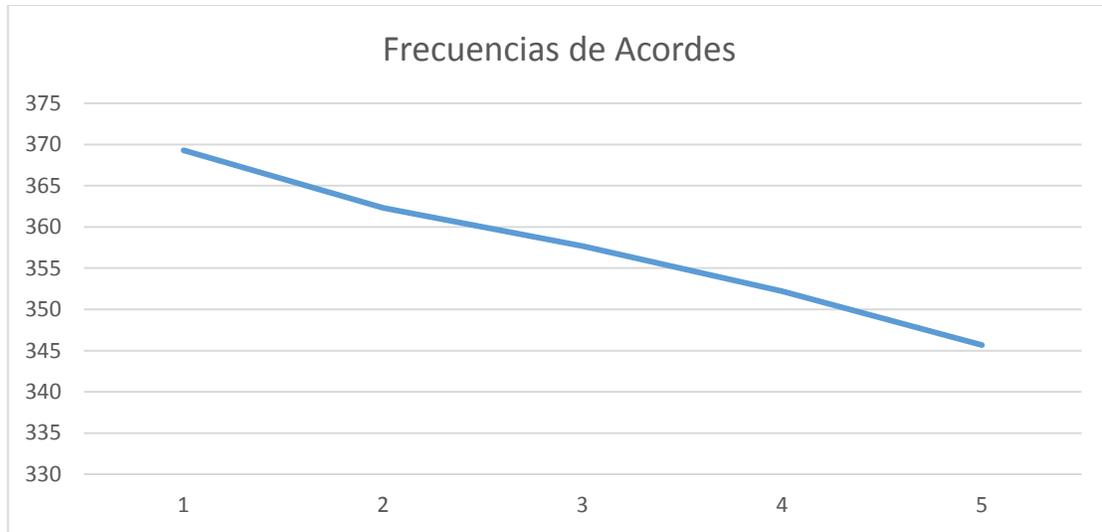


Figura 11. *Frecuencias de los acordes*

La figura número 11 muestra la curvatura del sonido. Se puede observar que a diferencia de la luz, la curvatura del espectro audible de los acordes es descendente. Esto es a causa de la naturaleza descendente de los acordes que se explica en el capítulo dos. Para poder obtener una comparación de dos espectros que van en sentidos contrarios y con una diferencia muy grande en Hz, se recurrió a la inversión matemática de la curvatura del sonido, lo cual es una metodología válida en las matemáticas con fines comparativos, después, se elevó exponencialmente hasta llegar a los THz. Como se muestra en las tablas 16 y 17.

Tabla 18
Longitud de una y frecuencia del espectro visible.

			f=V/L	
	Long. Onda (nm)	Rango	Frec. (Hz)	
Rojo	750		4.00E+14	
Rojo	620	130	4.84E+14	8.39E+13
Naranja	620		4.84E+14	
Naranja	590	30	5.08E+14	27.46E+13
Amarillo	590		5.08E+14	
Amarillo	570	20	5.26E+14	1.78E+13
Verde	570		5.26E+14	
Verde	495	75	6.06E+14	7.97E+13
Cian	495		6.06E+14	
Cian	475	20	6.32E+14	2.55E+13
Azul	475		6.32E+14	
Azul	450	25	6.67E+14	3.51E+13
Violeta	450		6.67E+14	
Violeta	380	70	7.89E+14	1.23E+14

Color	Wavelength (nm)
Violet	380-450
Blue	450-475
Cyan	476-495
Green	495-570
Yellow	570-590
Orange	590-620
Red	620-750

Figura 12. *Los colores en nanómetros*

Una vez realizada la inversión de la curvatura del sonido y la elevación exponencial, se comparó el espectro del sonido con la tabla 18 y la figura 12, arrojando los resultados de las tablas 19 y 20 y las gráficas de las figuras 13 y 14.

Tabla 19
Posición de los acordes en el espectro visible

	Frec. (Hz)		
Rojo	4.00E+14		
Rojo	4.10E+14		
Rojo	4.20E+14		
Rojo	4.30E+14		
Rojo	4.40E+14	4.42E+14	CΔ7
Rojo	4.50E+14		
Rojo	4.60E+14		
Rojo	4.70E+14		
Naranja	4.80E+14		
Naranja	4.90E+14		
Naranja	5.00E+14		
Amarillo	5.10E+14	5.08E+14	C7
Amarillo	5.20E+14		
Verde	5.30E+14		
Verde	5.40E+14		
Verde	5.50E+14		
Verde	5.60E+14	5.58E+14	Cm7
Verde	5.70E+14		
Verde	5.80E+14		
Verde	5.90E+14		
Cian	6.00E+14		
Cian	6.10E+14		
Cian	6.20E+14	6.25E+14	ø7
Azul	6.30E+14		
Azul	6.40E+14		
Azul	6.50E+14		
Azul	6.60E+14		
Azul	6.70E+14		
Violeta	6.80E+14		
Violeta	6.90E+14		
Violeta	7.00E+14		
Violeta	7.10E+14		
Violeta	7.20E+14	7.16E+14	ø7
Violeta	7.30E+14		
Violeta	7.40E+14		
Violeta	7.50E+14		
Violeta	7.60E+14		
Violeta	7.70E+14		
Violeta	7.80E+14		
Violeta	7.90E+14		

Tabla 20
Posición de los acordes en el espectro visible

Rojo	4.50E+14	4.42E+14	CΔ7
Amarillo	5.10E+14	5.08E+14	C7
Verde	5.70E+14	5.58E+14	Cm7
Azul	6.30E+14	6.25E+14	C⁰7
Violeta	7.30E+14	7.16E+14	Co7

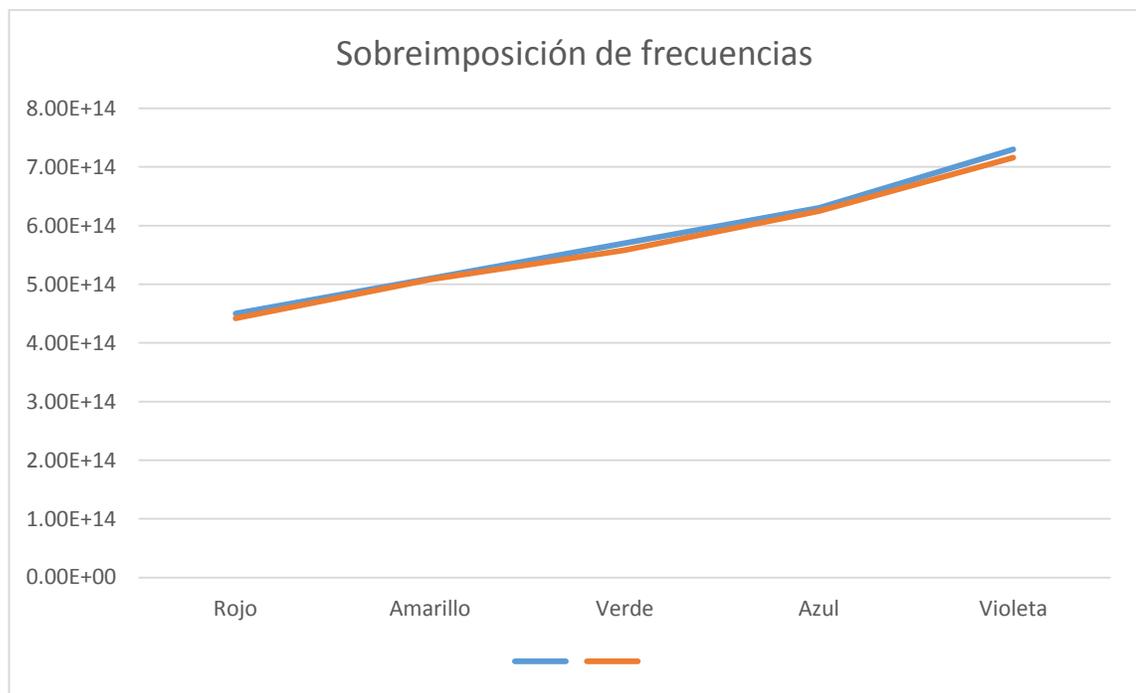


Figura 13. *Sobreimposición de ambos espectros, azul color, naranja sonido*

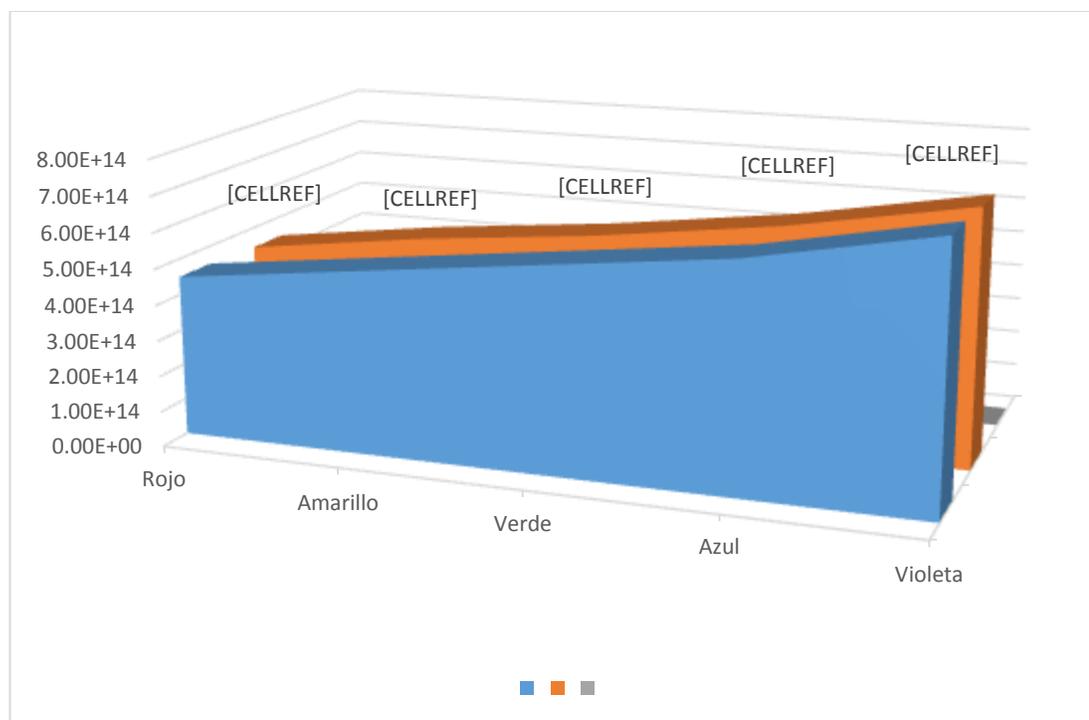


Figura 14. *Sobreimposición de ambos espectros, azul color, naranja sonido*

Como se puede observar en la tabla 19, al realizar la elevación y la inversión de la curvatura, los acordes se posicionan en un lugar específico dentro del espectro lumínico. Cuando se realizó la comparación de manera gráfica el resultado fue sorprendente. La correlación física que poseen ambos aspectos es muy similar, como se muestra en las figuras 13 y 14.

Aun así, no estando satisfechos con este resultado, se introdujo la información obtenida de la ecuación de los acordes en un espectrograma con la intención de tener una referencia visual de cada tipo de acorde. Los resultados fueron favorables para la investigación y para la comparación del sonido con aspectos psicológicos pues se logró demostrar matemáticamente que cada acorde posee una firma distintiva como se muestra en las siguientes figuras:

(Δ7) 3M+3m+3M

$$Y = \cos\left(\left(2 \exp\left(\frac{4}{12}\right) - 1\right)\pi t\right) \sin\left(\left(2 \exp\left(\frac{4}{12}\right) + 1\right)\pi t\right) + \cos\left(\left(2 \exp\left(\frac{11}{12}\right) - 2 \exp\left(\frac{7}{12}\right)\right)\pi t\right) \sin\left(\left(2 \exp\left(\frac{11}{12}\right) + 2 \exp\left(\frac{7}{12}\right)\right)\pi t\right)$$

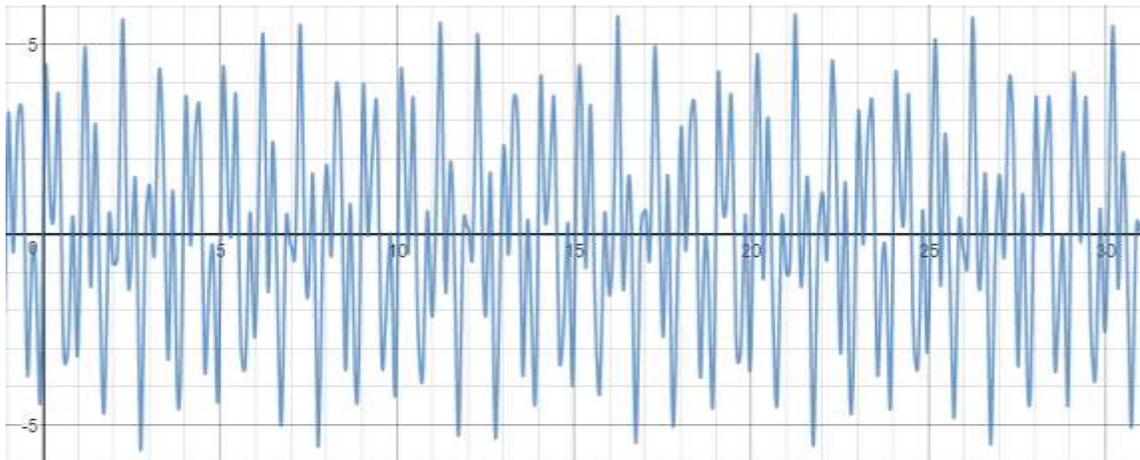


Figura 15. *Espectro del acorde mayor*

(7) 3M+3m+3m

$$Y = 5 \cos\left(\left(2 \exp\left(\frac{4}{12}\right) - 1\right)\pi t\right) \sin\left(\left(2 \exp\left(\frac{4}{12}\right) + 1\right)\pi t\right) + \cos\left(\left(2 \exp\left(\frac{10}{12}\right) - 2 \exp\left(\frac{7}{12}\right)\right)\pi t\right) \sin\left(\left(2 \exp\left(\frac{10}{12}\right) + 2 \exp\left(\frac{7}{12}\right)\right)\pi t\right)$$

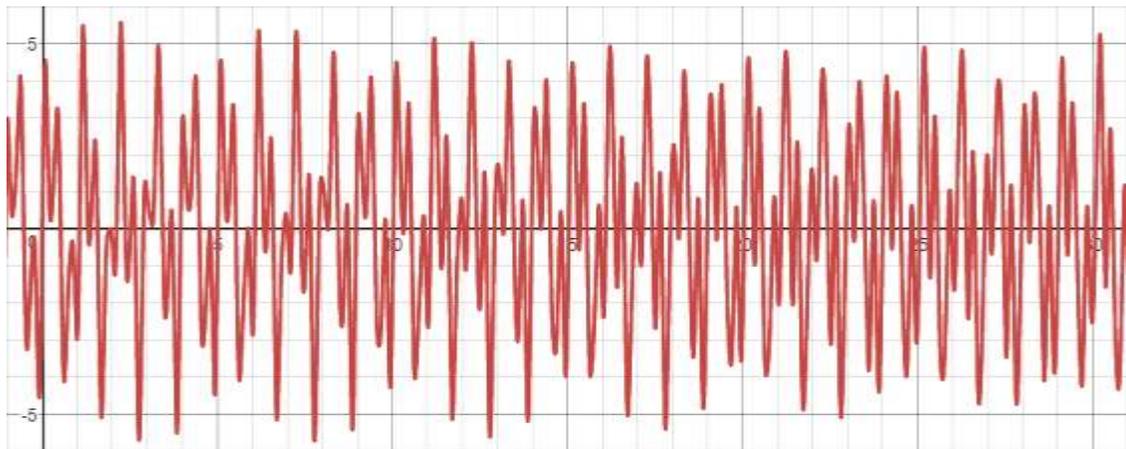


Figura 16. *Espectro del acorde dominante*

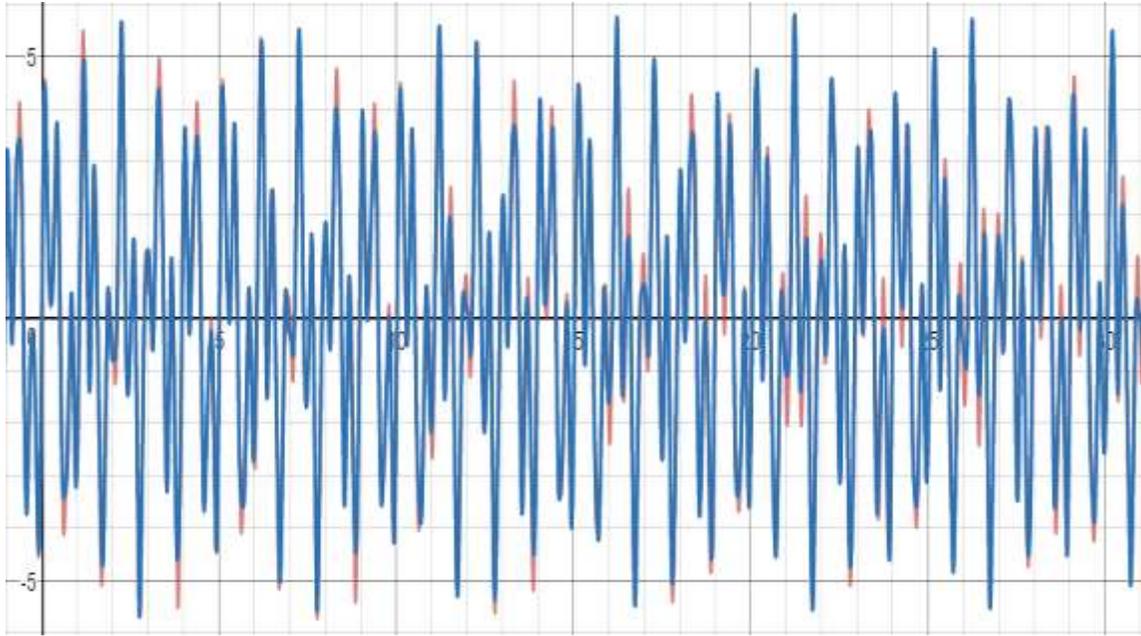


Figura 17. *Espectro del acorde mayor y dominante superpuestos*

En la figura 17 se observa la superposición y la diferencia entre un acorde Mayor siete y un dominante. De igual manera, en la figura 18 se observan las diferencias físicas entre uno mayor y uno menor.

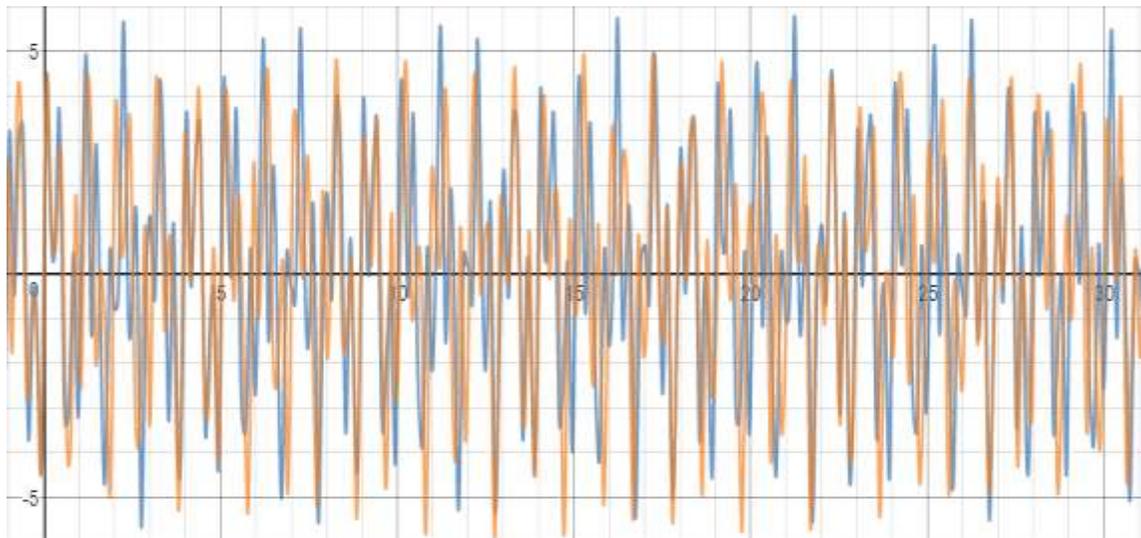


Figura 18. *Espectro del acorde mayor y menor superpuestos*

(m7) 3m+3M+3m

$$Y = 5 \cos\left(\left(2 \exp\left(\frac{3}{12}\right) - 1\right)\pi t\right) \sin\left(\left(2 \exp\left(\frac{3}{12}\right) + 1\right)\pi t\right) + \cos\left(\left(2 \exp\left(\frac{10}{12}\right) - 2 \exp\left(\frac{7}{12}\right)\right)\pi t\right) \sin\left(\left(2 \exp\left(\frac{10}{12}\right) + 2 \exp\left(\frac{7}{12}\right)\right)\pi t\right)$$

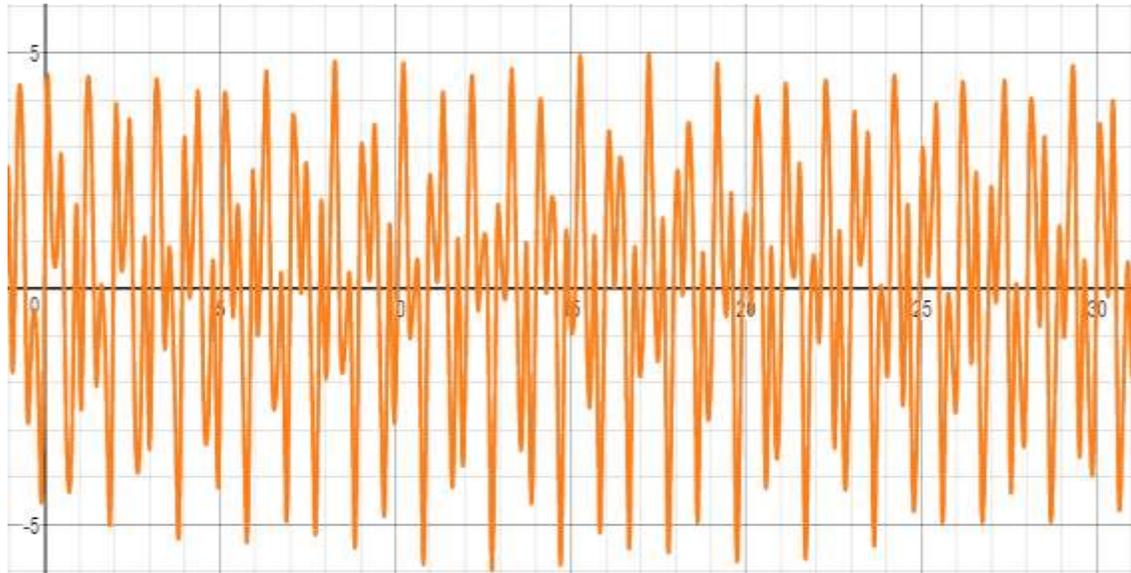


Figura 19. *Espectro del acorde menor*

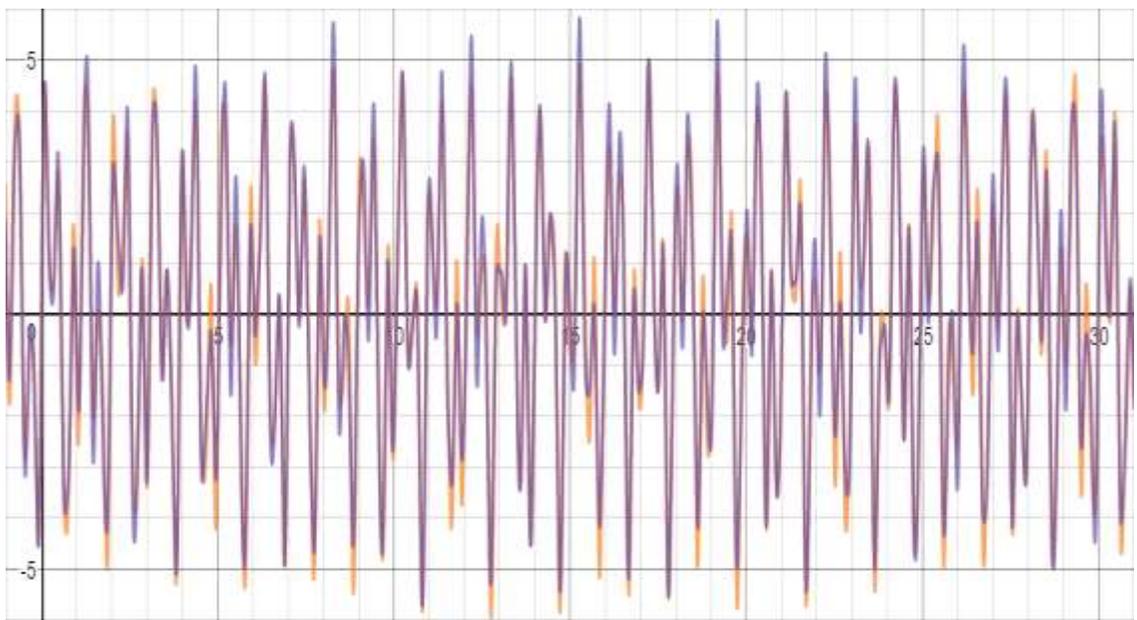


Figura 20. *Diferencias del acorde menor y semidisminuido superpuestos*

(07) 3m+3m+3M

$$Y = 5 \cos\left(2 \exp\left(\frac{3}{12}\right) - 1\right) \pi t \sin\left(2 \exp\left(\frac{3}{12}\right) + 1\right) \pi t + \cos\left(2 \exp\left(\frac{10}{12}\right) - 2 \exp\left(\frac{6}{12}\right)\right) \pi t \sin\left(2 \exp\left(\frac{10}{12}\right) + 2 \exp\left(\frac{6}{12}\right)\right) \pi t$$

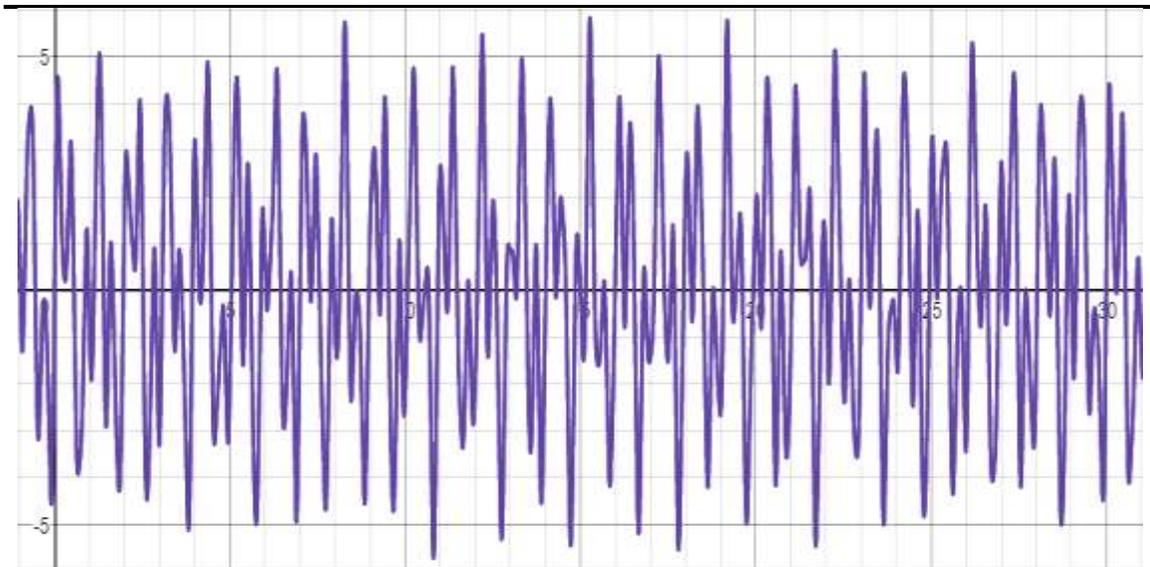


Figura 21. Espectro del acorde semidisminuido

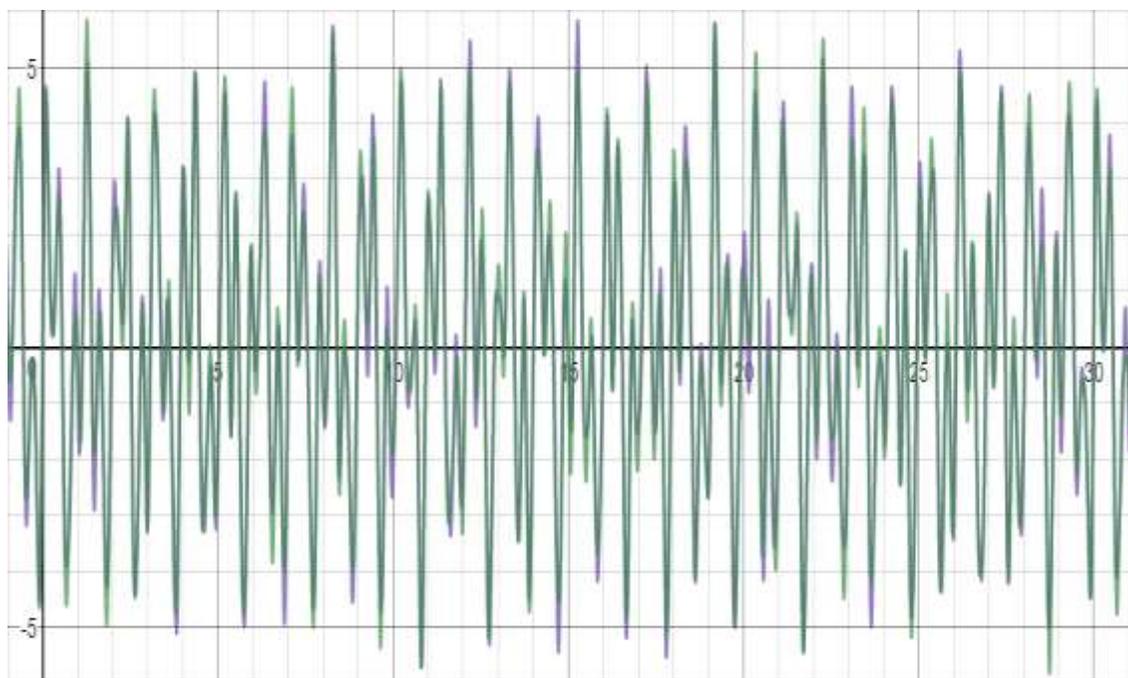


Figura 22. Espectro del acorde disminuido y semidisminuido superpuestos

(o7) $3m+3m+3m$

$$F = 5 \cos\left(2 \exp\left(\frac{3}{12}\right) - 1\right)\pi t \sin\left(2 \exp\left(\frac{3}{12}\right) + 1\right)\pi t + \cos\left(2 \exp\left(\frac{9}{12}\right) - 2 \exp\left(\frac{6}{12}\right)\right)\pi t \sin\left(2 \exp\left(\frac{9}{12}\right) + 2 \exp\left(\frac{6}{12}\right)\right)\pi t$$

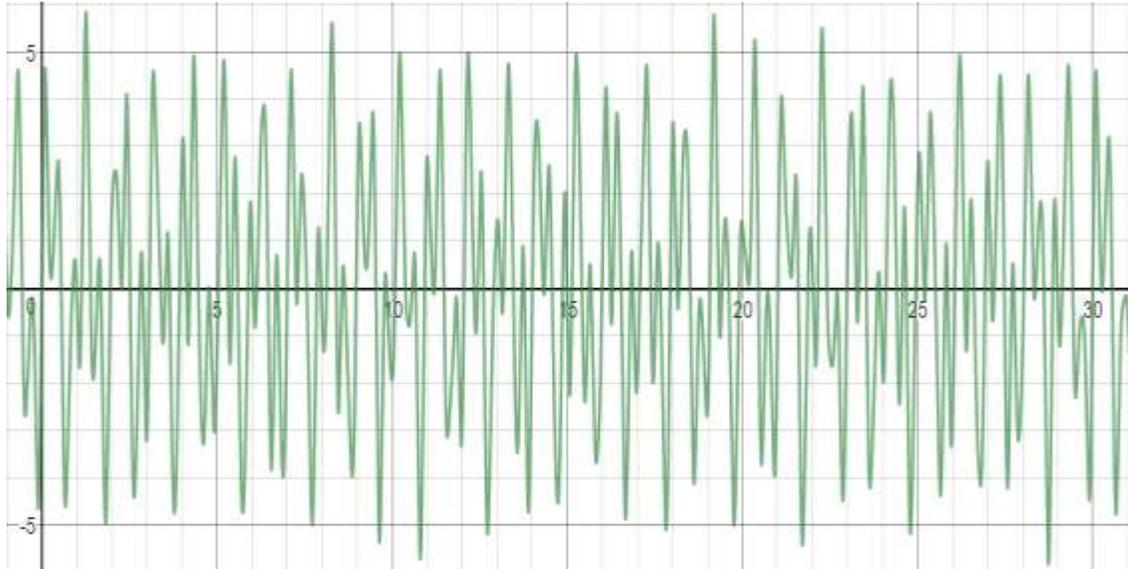


Figura 23. *Espectro del acorde disminuido*

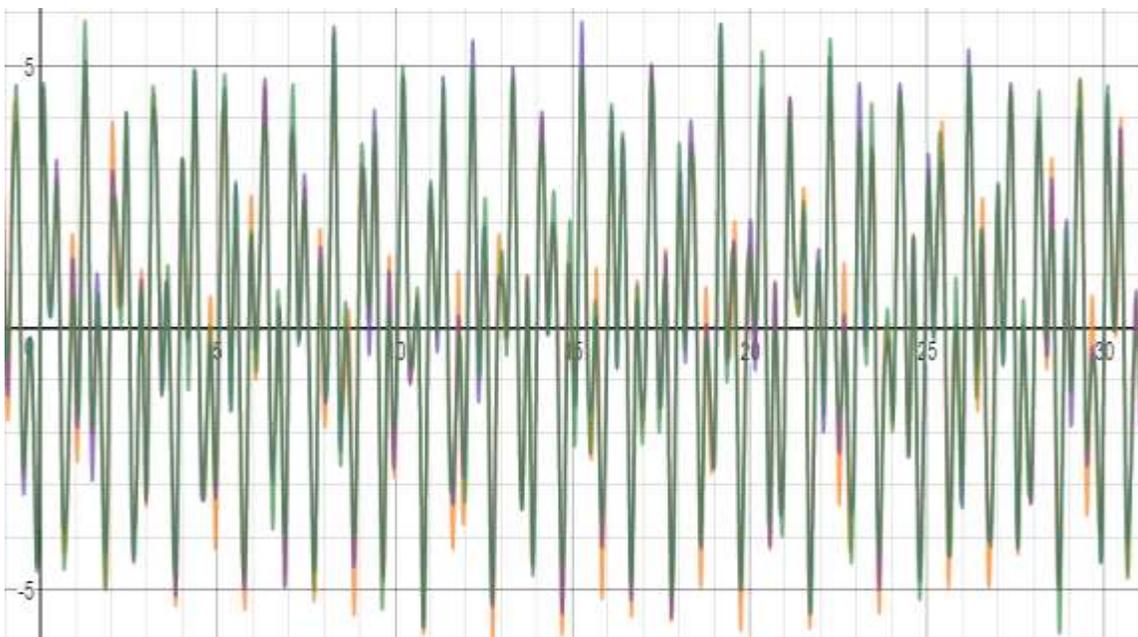


Figura 24. *Diferencias de los acordes menor, disminuido y semidisminuido superpuestos*

De la figura 25 a la 34 se pueden observar ya las diferencias entre cada acorde de una forma menos compleja. En esta parte se propone que efectivamente los acordes se diferencian espectralmente, es decir, tienen una firma particular, lo cual es contrario a lo que se suponía en el apartado dos de la metodología, el problema es que la firma no es perceptible a primera vista. Esto facilita y apoya la teoría de la relación pues cada tipo de acorde tiene una firma particular, no importando la altura a la que el acorde se encuentre.

(Δ7) 3M+3m+3M

$$Y = \cos\left(2 \exp\left(\frac{4}{12}\right) - 1\right) \pi t \sin\left(2 \exp\left(\frac{4}{12}\right) + 1\right) \pi t + \cos\left(2 \exp\left(\frac{11}{12}\right) - 2 \exp\left(\frac{7}{12}\right)\right) \pi t \sin\left(2 \exp\left(\frac{11}{12}\right) + 2 \exp\left(\frac{7}{12}\right)\right) \pi t$$

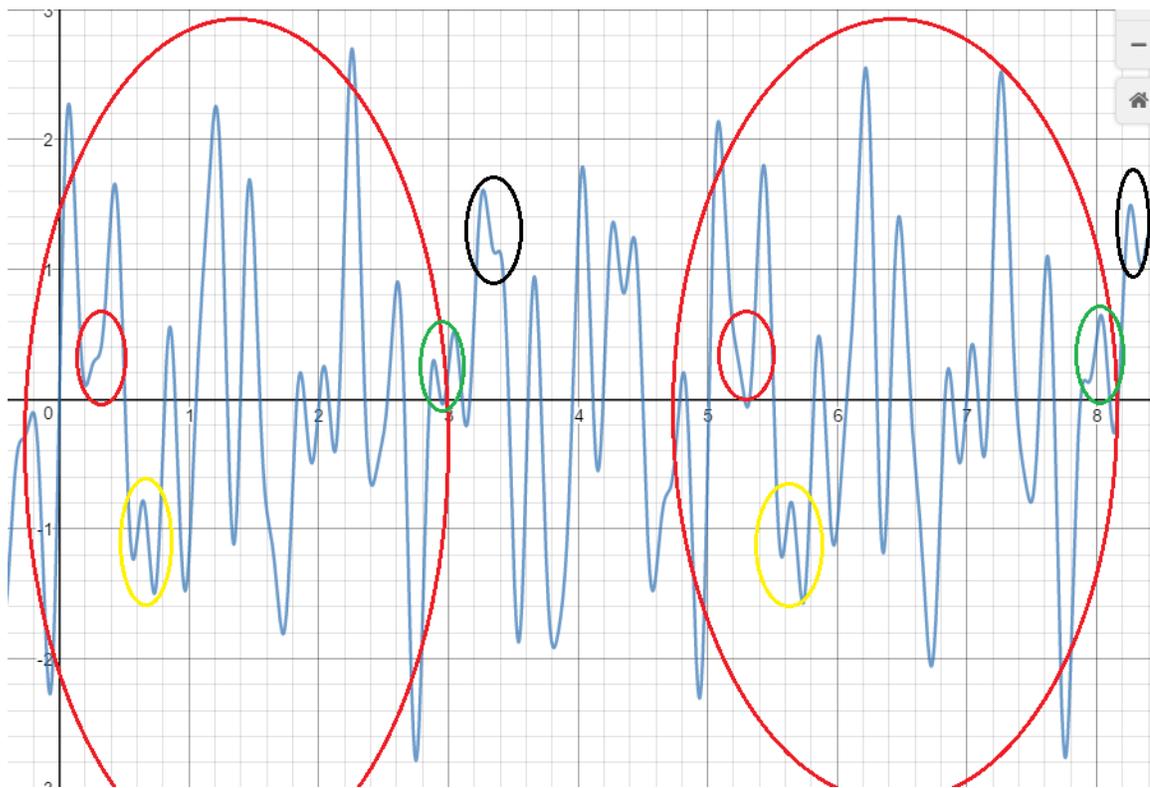


Figura 25. Firma del acorde mayor

(7) $3M+3m+3m$

$$Y = 5 \cos\left(2 \exp\left(\frac{4}{12}\right) - 1\right) \pi t \sin\left(2 \exp\left(\frac{4}{12}\right) + 1\right) \pi t + \cos\left(2 \exp\left(\frac{10}{12}\right) - 2 \exp\left(\frac{7}{12}\right)\right) \pi t \sin\left(2 \exp\left(\frac{10}{12}\right) + 2 \exp\left(\frac{7}{12}\right)\right) \pi t$$

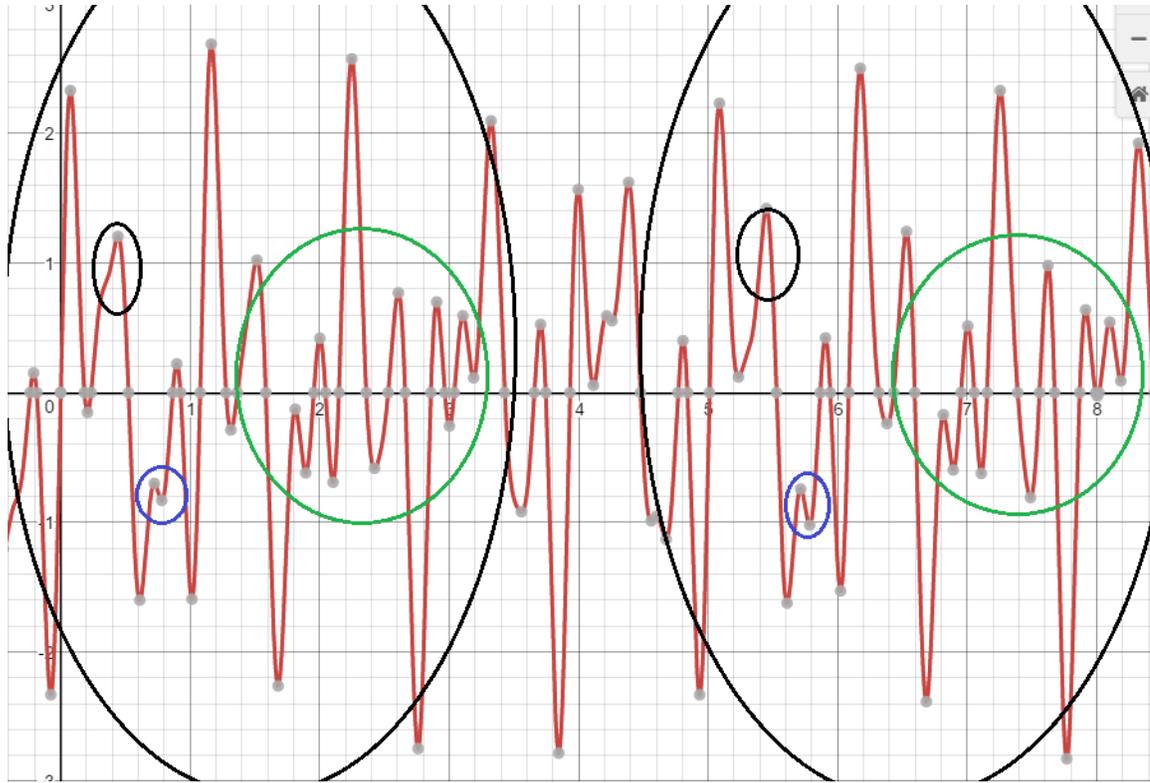


Figura 26. Firma del acorde dominante

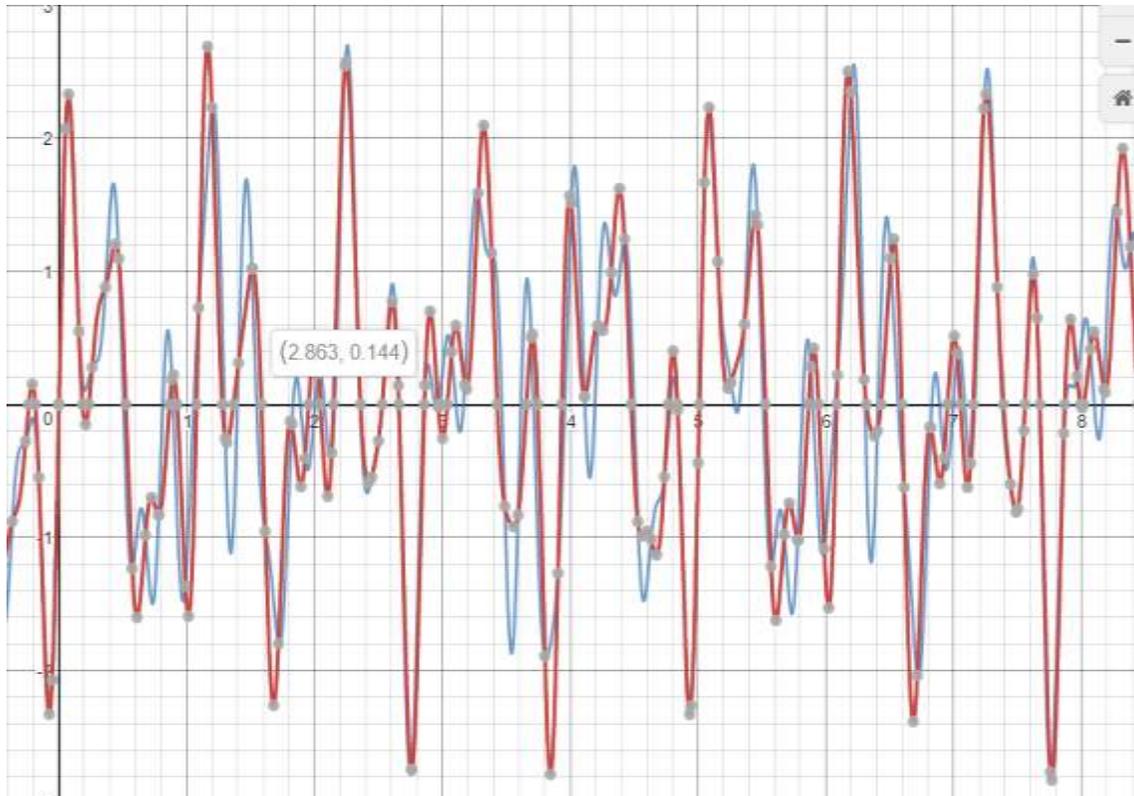


Figura 27. Diferencias entre la firma del acorde mayor y el dominante

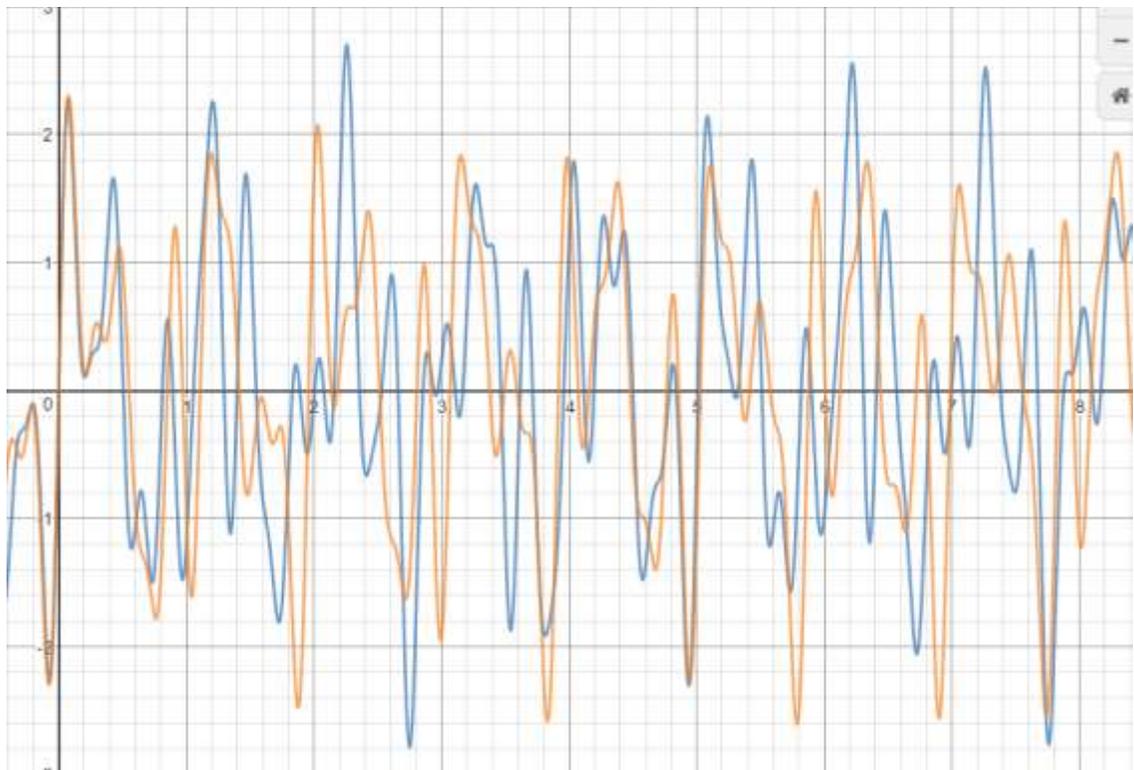


Figura 28. Diferencias entre la firma del acorde mayor y menor

(m7) 3m+3M+3m

$$Y = 5 \cos\left(\left(2 \exp\left(\frac{3}{12}\right) - 1\right)\pi t\right) \sin\left(\left(2 \exp\left(\frac{3}{12}\right) + 1\right)\pi t\right) + \cos\left(\left(2 \exp\left(\frac{10}{12}\right) - 2 \exp\left(\frac{7}{12}\right)\right)\pi t\right) \sin\left(\left(2 \exp\left(\frac{10}{12}\right) + 2 \exp\left(\frac{7}{12}\right)\right)\pi t\right)$$

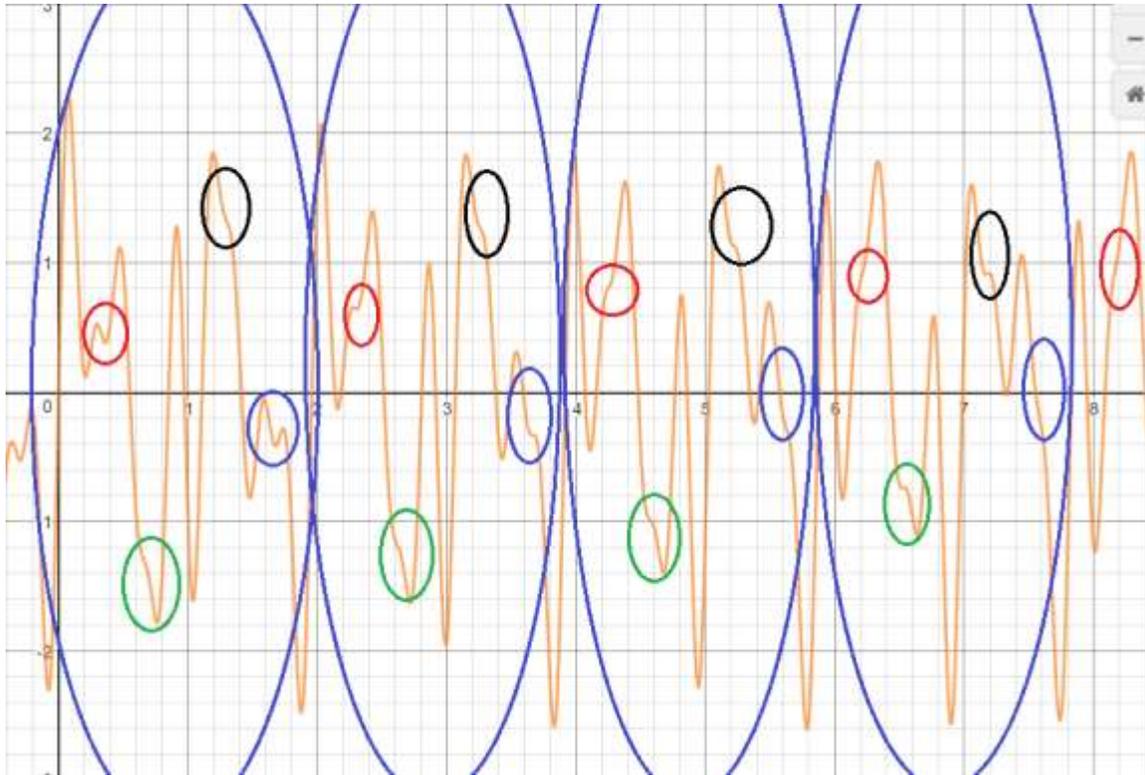


Figura 29. Firma del acorde menor

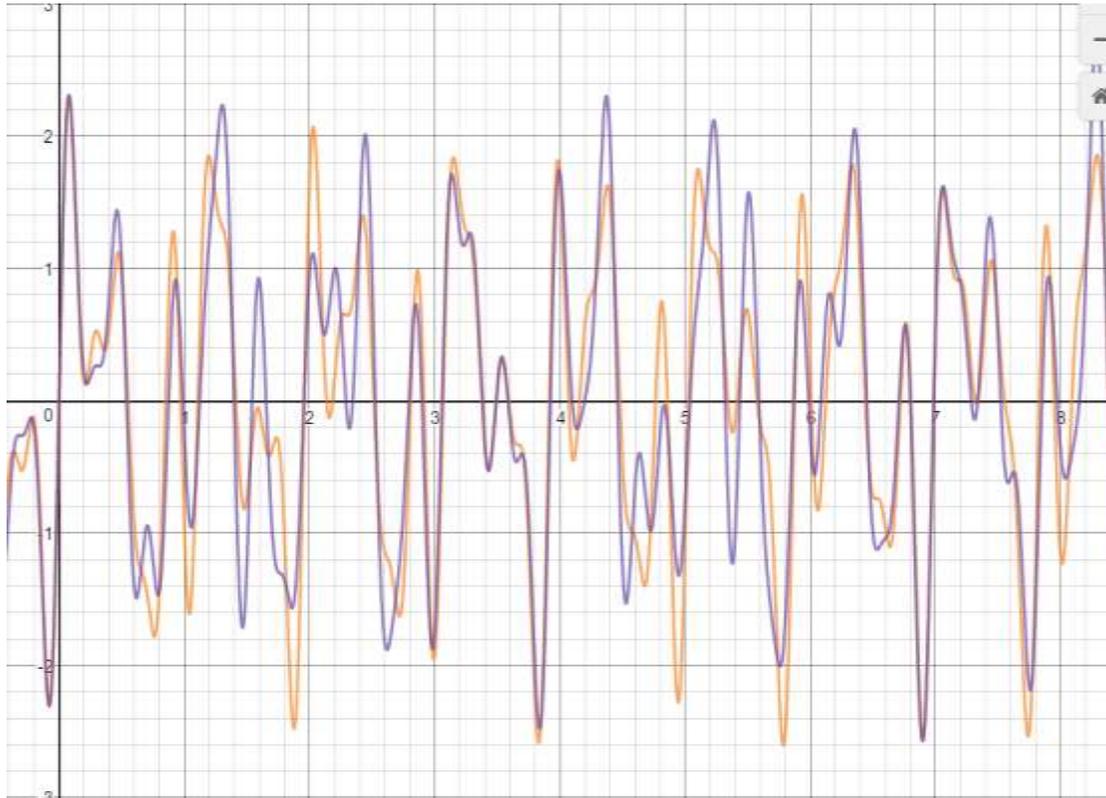


Figura 30. *Diferencias entre la firma del acorde menor y el semidisminuido*

(07) 3m+3m+3M

$$Y = 3 \cos \left(2 \exp \left(\frac{3}{12} \right) - 1 \right) \pi t \sin \left(2 \exp \left(\frac{3}{12} \right) + 1 \right) \pi t + \cos \left(\left(2 \exp \left(\frac{10}{12} \right) - 2 \exp \left(\frac{6}{12} \right) \right) \pi t \right) \sin \left(\left(2 \exp \left(\frac{10}{12} \right) + 2 \exp \left(\frac{6}{12} \right) \right) \pi t \right)$$

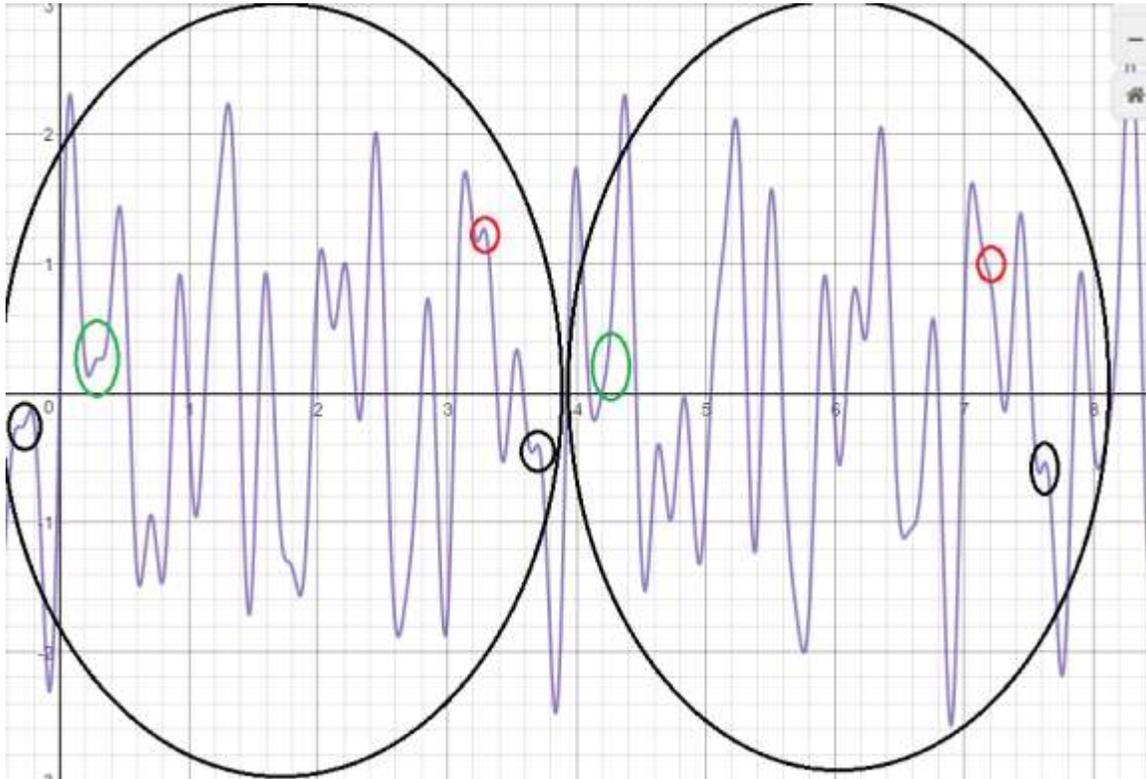


Figura 31. Firma del acorde semidisminuido

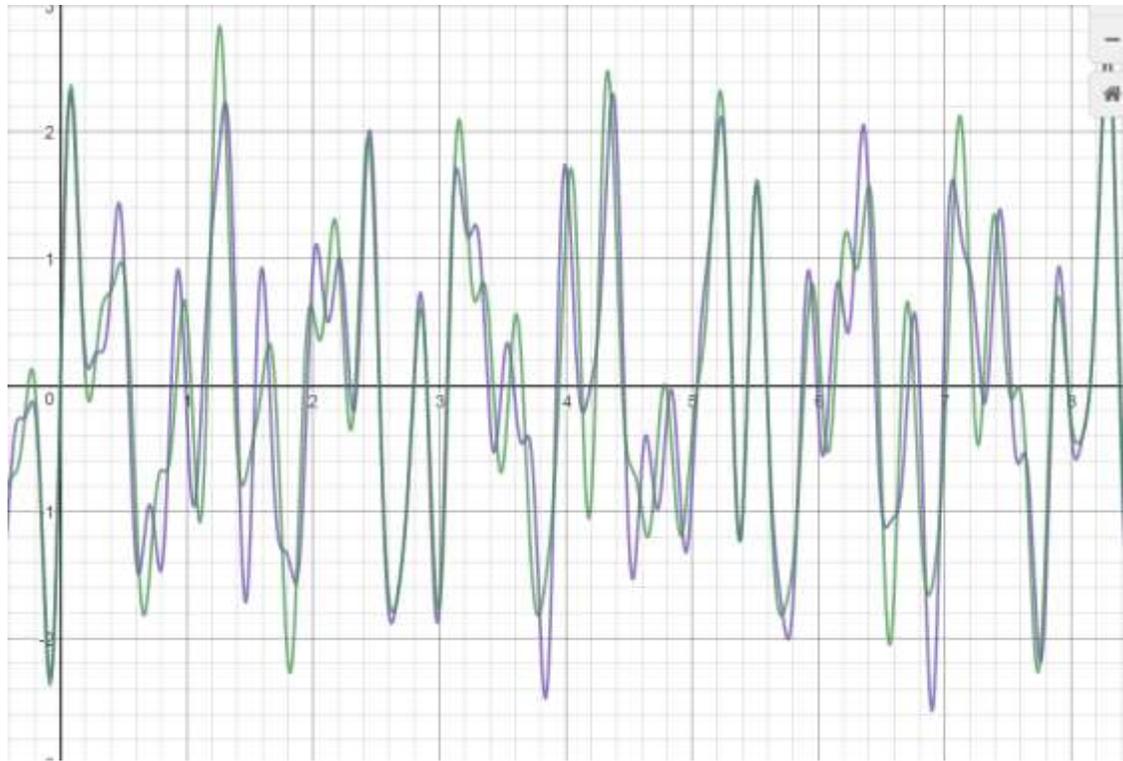


Figura 32. Diferencias entre la firma del acorde semidisminuido y disminuido

o7= 3m+3m+3m

$$F = 5 \cos\left(\left(2 \exp\left(\frac{3}{12}\right) - 1\right)\pi t\right) \sin\left(\left(2 \exp\left(\frac{3}{12}\right) + 1\right)\pi t\right) + \cos\left(\left(2 \exp\left(\frac{9}{12}\right) - 2 \exp\left(\frac{6}{12}\right)\right)\pi t\right) \sin\left(\left(2 \exp\left(\frac{9}{12}\right) + 2 \exp\left(\frac{6}{12}\right)\right)\pi t\right)$$

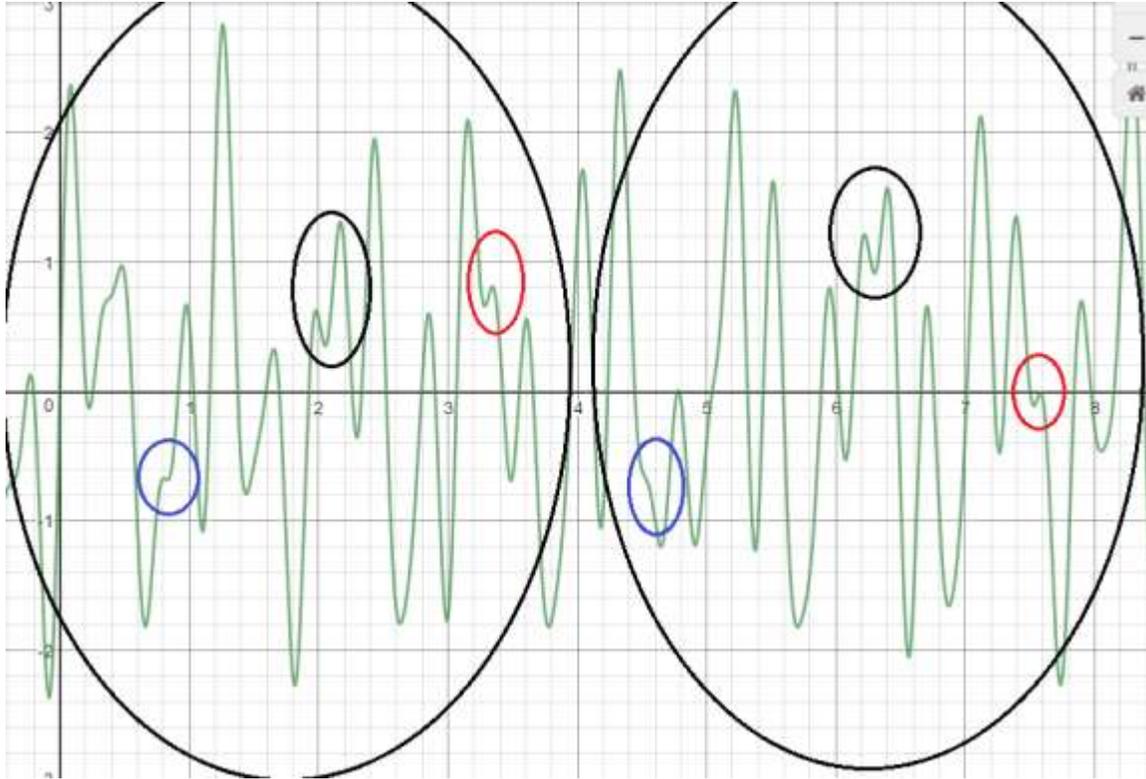


Figura 33. *Firma del acorde disminuido*

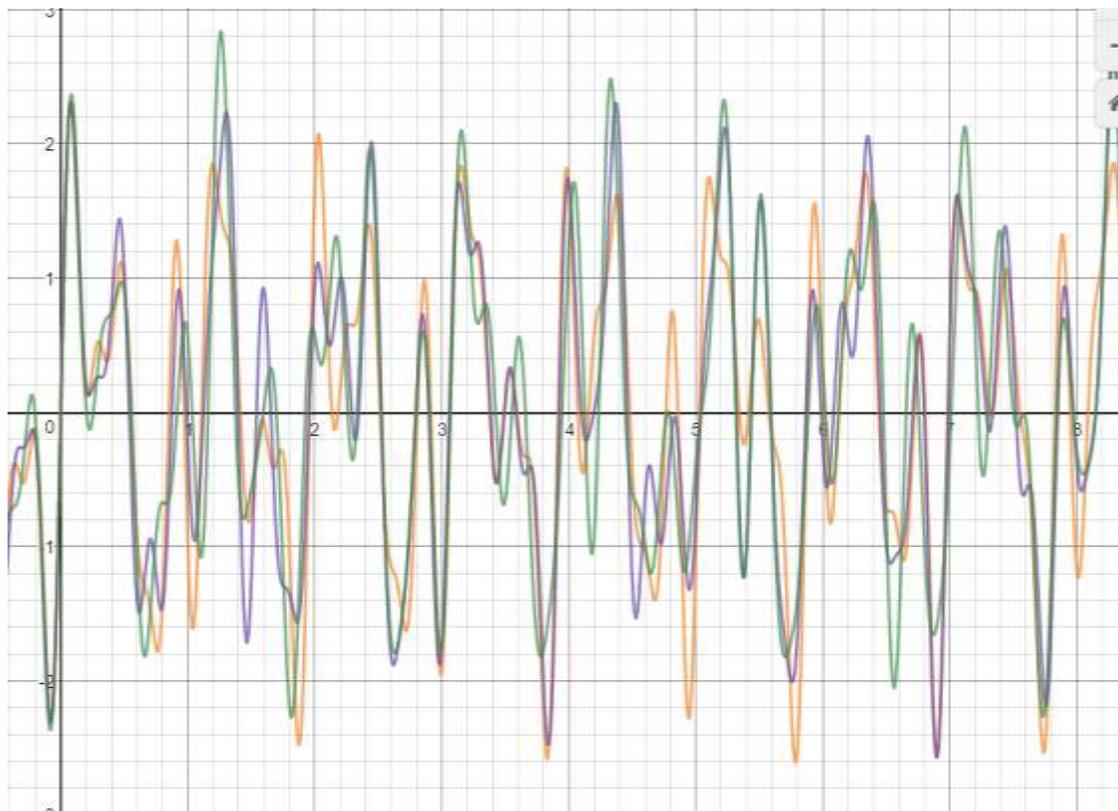


Figura 34. *Diferencias entre la firma del acorde menor, semidisminuido y disminuido*

Una vez realizado el análisis espectral de los acordes en bloque, queda por analizar y verificar que en los acordes invertidos, es decir, que moviendo las notas del acorde a distintas posiciones, sigue sucediendo lo mismo. Para esto se sugirió no hacer las inversiones a manera de bloque sino más bien, en los acordes drop 2 que son acordes que a su vez abarcan un mayor rango y utilizan las mismas cuatro notas. Un drop2, es bajar la segunda nota más aguda una octava para brindar mayor flexibilidad en algunos instrumentos a la hora de realizar una inversión; es decir, si se tiene un **C- E-G-B**, la segunda nota más aguda será **G** por lo que bajará una octava, quedando **G-C-E-B**, el cual será un acorde con su quinta en la nota más grave y su séptima en la más aguda al que se le llamará **drop2- 5,7** en esta investigación.

Análisis espectral de los drop2

En este análisis se tomaron en cuenta dos octavas, es decir de C3 a C5 como se muestra en la tabla 21, para analizar los espectros de las inversiones. Este es el rango en el que se pueden suscitar todas las inversiones de la guitarra cómodamente sin repetir alguna inversión en el drop 2

Tabla 21.
Frecuencias del C3 al C5

C3: 261.626	C4: 523.251	C5: 1046.502
C#3: 277.183	C#4: 554.365	
D3: 293.665	D4: 587.33	
D#3: 311.127	D#4: 622.254	
E3: 329.628	E4: 659.255	
F3: 349.228	F4: 698.456	
F#3: 369.994	F#4: 739.989	
G3: 391.995	G4: 783.991	
G#3: 415.305	G#4: 830.609	
A3: 440	A4: 880	
A#3: 466.164	A#4: 932.328	
B3: 493.883	B4: 987.767	

Para el análisis espectral de los acordes en bloque y en forma de drop 2 que se presentarán a continuación de la figura 38 a la 67, se utilizó el software “*Multisim 12.0*” el cual es un programa que los estudiantes e ingenieros del área de electrónica utilizan para simular el funcionamiento de un circuito previamente a construirlo físicamente y así evitar fallas al momento de realizar una práctica, si funciona en el programa funciona en el circuito real, evitando así gastos innecesarios de material, tiempo y dinero.

Para nuestro estudio, resulta innecesario construir un circuito físico, basta con simular la mezcla de las cuatro notas que componen un acorde y observar en los osciloscopios virtuales el resultado. Este circuito virtual se muestra en la figura 35.

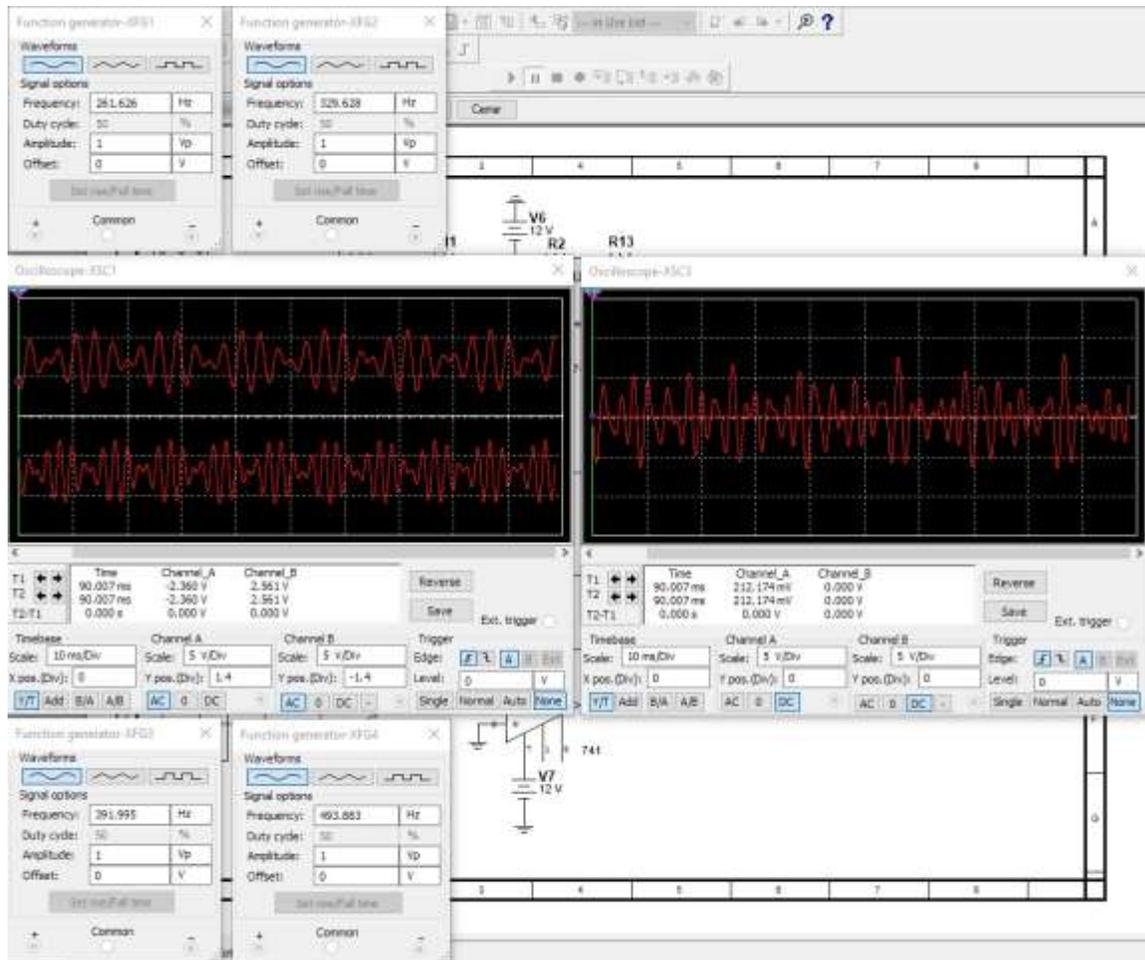


Figura 35. Diagrama del circuito virtual en “Multisim 12.0” con el cual se realizó el análisis espectral.

Suponiendo pues, que se pretende generar las gráficas para CΔ7: Los dos cuadros de la esquina superior izquierda (XFG1 y XFG2) son los ajustes de los generadores de señal, los que generan las señales de las dos primeras notas (C3 y E3), es decir, su primera y su tercera. Los dos cuadros de la esquina inferior izquierda (XFG3 y XFG4) son los ajustes de los generadores de señal, los que generan las señales de las dos últimas notas (G3 y B3), es decir, su quinta y séptima. Como se puede ver, los generadores producen de la nota más grave a la más aguda, de igual forma se hará en los drop2.

Los dos cuadros del centro, son dos osciloscopios: El de la izquierda muestra la mezcla de las dos primeras notas (C3 + E3 para este ejemplo) en la parte superior. En la

parte inferior muestra la mezcla de las dos últimas notas (G3 + B3 para este caso). El osciloscopio de la derecha muestra la mezcla de las dos mezclas anteriores, o sea C3 + E3 + G3 + B3 para nuestro ejemplo.

En el fondo se alcanza a apreciar una parte del circuito que genera las cuatro notas y las mezcla. Si quitamos los generadores y los osciloscopios, se aprecia el circuito, tal como se muestra en la figura 36.

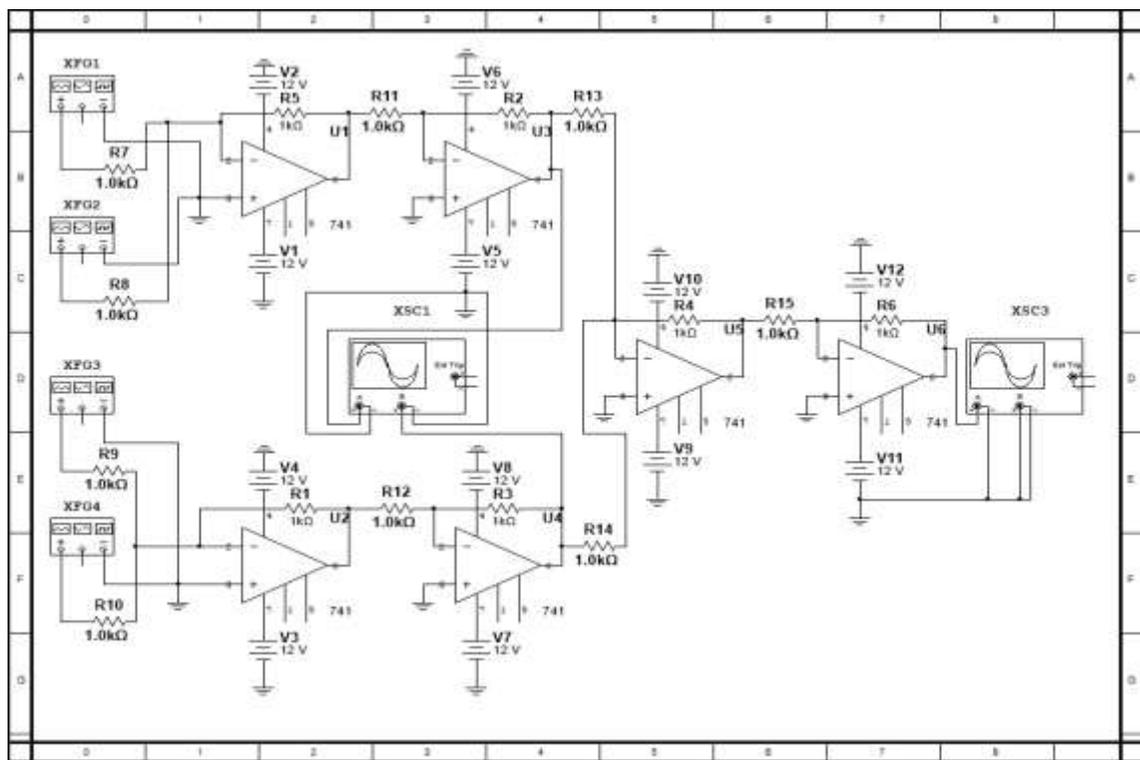


Figura 36. Diagrama eléctrico en "Multisim 12.0" con el cual se realizó el análisis espectral.

En la figura 37, el diagrama es señalado en colores para identificar las funciones de cada parte del mismo. Los verdes, son los cuatro generadores de señal (para las cuatro notas). Esos ya vienen integrados como una "caja negra", es decir un módulo cuyo contenido no se muestra, dado que no tiene importancia para el experimento.

Los amarillentos son los mezcladores de señales. Desafortunadamente la configuración más fácil es con amplificadores operacionales, configuración que nos da la señal negada, por eso se les llama "Mezclador-Inversor". Señal negada significa que en vez de darnos $C3+E3$, por ejemplo, nos da $-(C3+E3)$. Esto no afecta mucho, sólo invierte las ondas, pero para evitar esta inversión y que la onda final no resultará modificada y por tanto, quizá con un resultado diferente, se agregó a cada mezclador-inversor, otro inversor a la salida los cuales están señalados de color azul, de esta forma, en el ejemplo, obtendremos $-[-(C3+E3)]$ lo que es igual a $C3+E3$, invirtiendo la onda a su posición original. Las regiones blancas, son dos osciloscopios en los que se ve la forma de onda, las cuales también son "cajas negras".

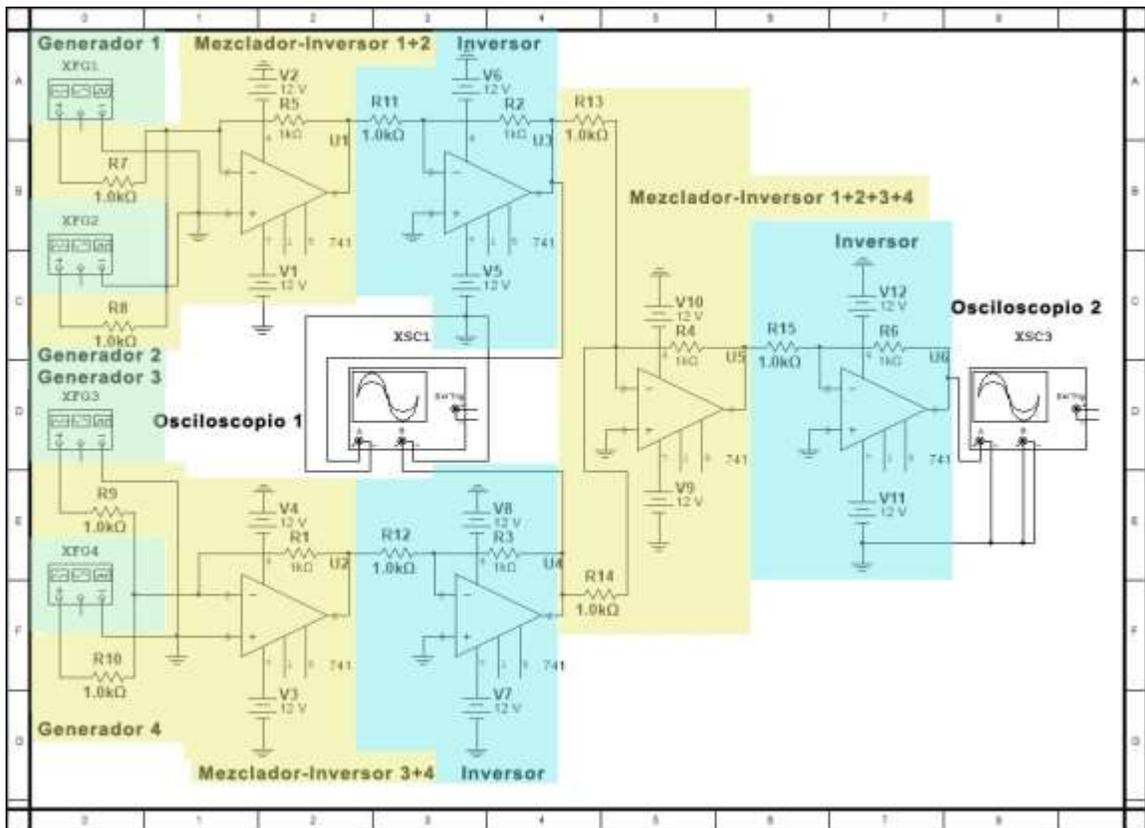


Figura 37. Diagrama eléctrico en "Multisim 12.0" con el cual se realizó el análisis espectral.

$C\Delta 7 = C3 E3 G3 B3: 261.626 \quad 329.628 \quad 391.995 \quad 493.883$

En las siguientes gráficas las de la parte superior son las mismas que las inferiores solo que vistas desde una perspectiva más cercana para ver el detalle de la onda y la segunda más alejada para ver el detalle del grueso de la onda. Estas perspectivas se obtienen simplemente cambiando la escala de tiempo (horizontal). Como se muestra en la figura 38, se observa periodicidad un poco difusa en la gráfica de las cuatro notas del acorde $\Delta 7$ en bloque, comenzando en su fundamental. Esta gráfica no ha sido comparada con ninguna gráfica anterior.

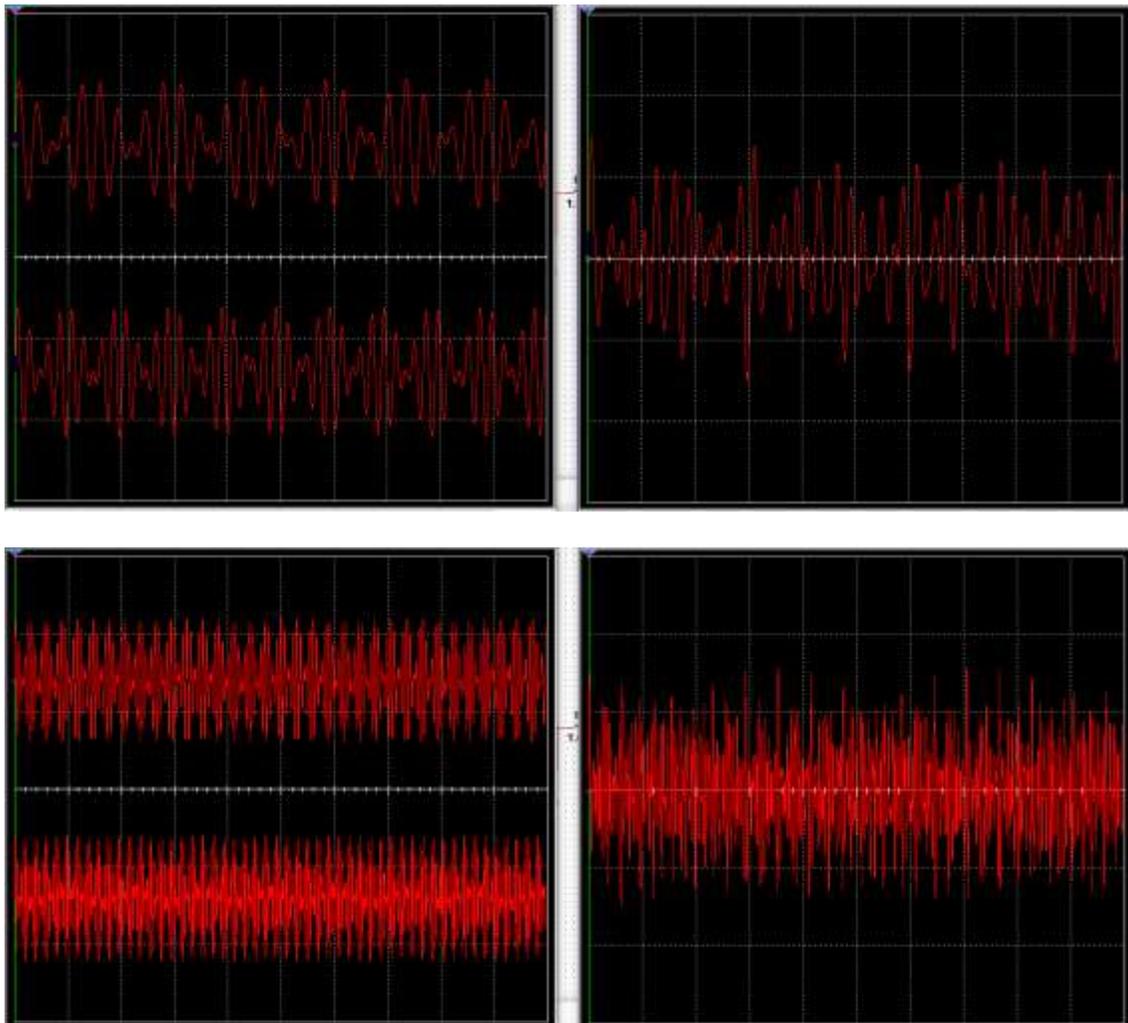
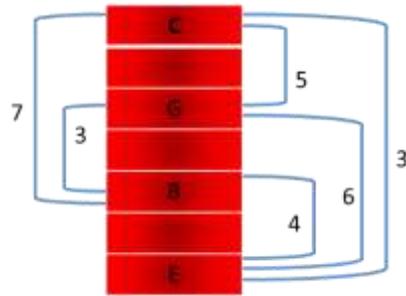


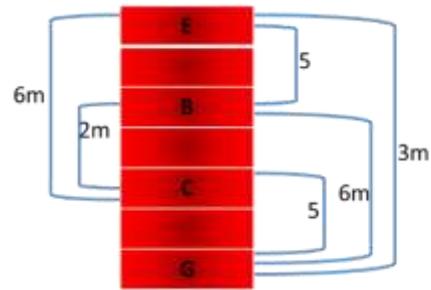
Figura 38. *Espectro del acorde $\Delta 7$ en bloque.*

Drop2 $\Delta 7$

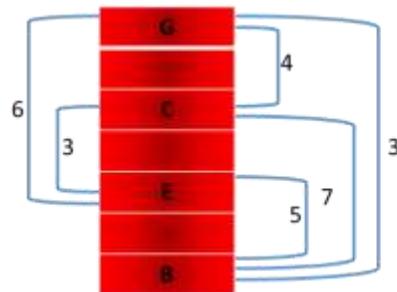
(13)



(35)



(57)



(71)

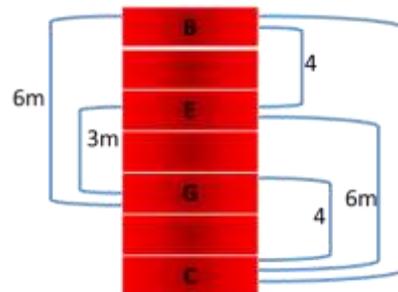


Figura 39. Estructura interválica de las inversiones del drop2 en el acorde Mayor siete.

$C\Delta 7 (1,3) = C3 G3 B3 E4: 261.626 \quad 391.995 \quad 493.883 \quad 659.255$

En la figura 40, sigue existiendo una periodicidad. En el conglomerado de las cuatro notas, el mismo patrón complejo que en el acorde de bloque, surge de forma muy similar, quizá por el hecho de ambos ser fundamentales. Aun así existen diferencias.

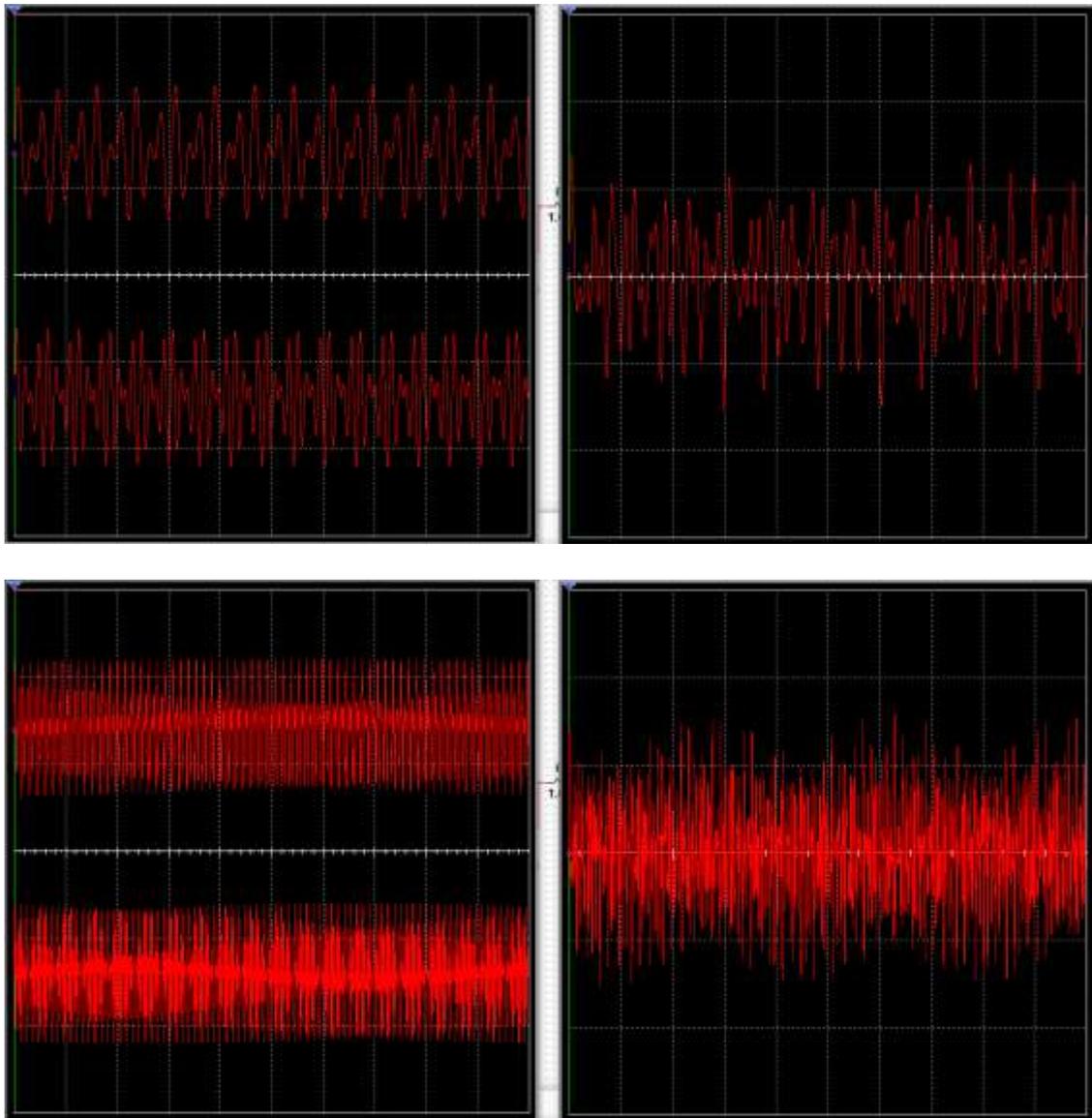


Figura 40. Espectro del drop 2-13 en el acorde $\Delta 7$.

$C\Delta 7 (3,5) = E3 B3 C4 G4: 329.628 \quad 493.883 \quad 523.251 \quad 783.991$

En la figura 41, al contrastar el drop 35 vs 13 y a su vez con el acorde en bloque, mostraron una gran similitud dentro de las primeras gráficas, aunque pareciesen estar invertidas, quizá por motivo de la inversión interválica. Sin embargo, el total de las ondas sugiere una similitud en el grueso del espectro de los acordes comparados.

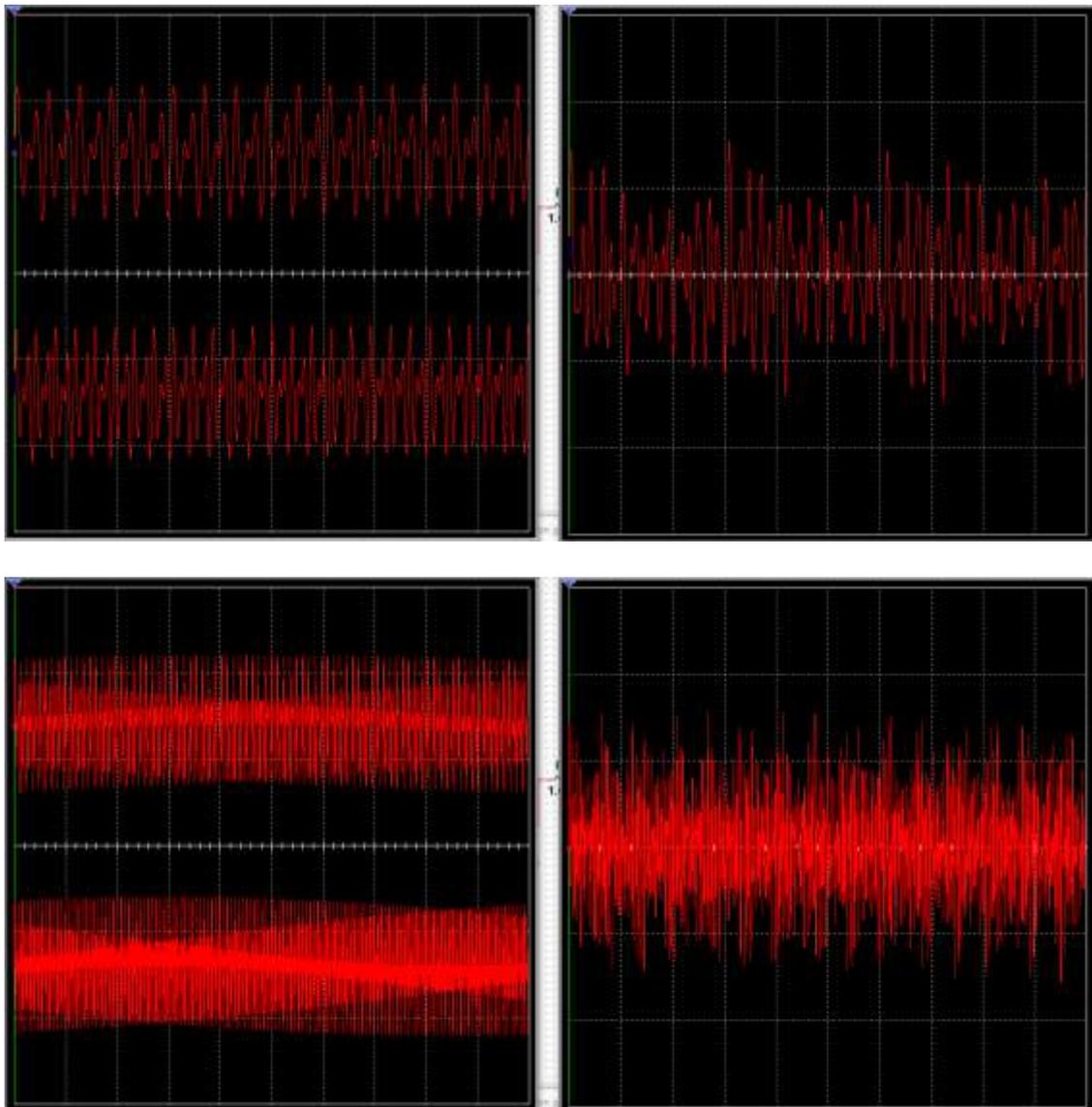


Figura 41. Espectro del drop2-35 en el acorde $\Delta 7$

$C\Delta 7 (5,7) = G3 C4 E4 B4: 391.995 \quad 523.251 \quad 659.255 \quad 987.767$

En este drop comienza a formarse un patrón mucho más notorio ya que el grueso del espectro es más visible, aun así, la dirección y la estructura de la onda es bastante similar a sus inversiones ya tratadas como se muestra en la figura 42.

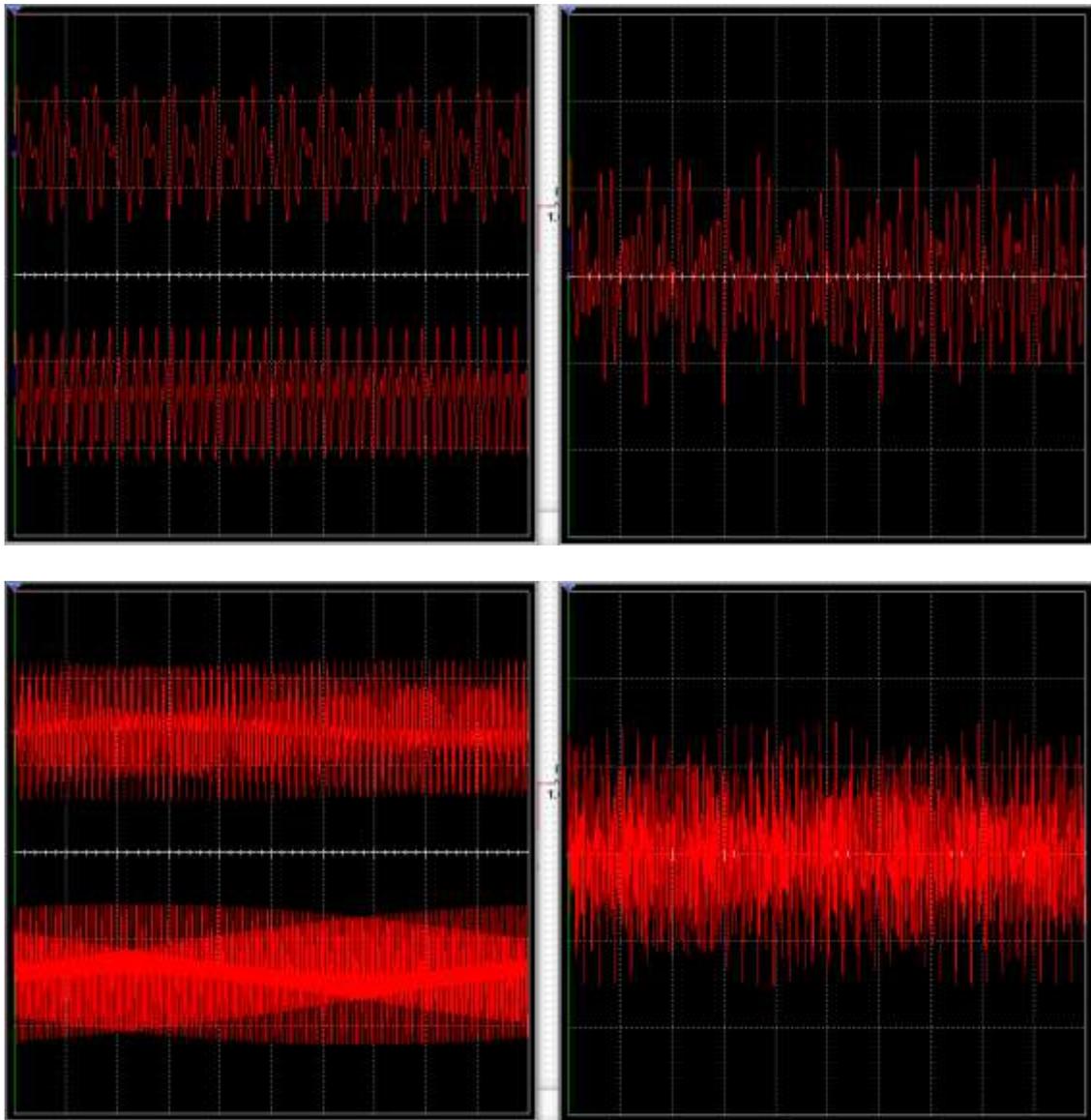


Figura 42. Espectro del drop2-57 en el acorde $\Delta 7$

$C\Delta 7 (7,1)=B3 E4 G4 C5: 493.883 \quad 659.255 \quad 783.991 \quad 1046.502$

En la figura 43 se puede observar un parecido entre los drops anteriores aunque el grueso del espectro esté más saturado, pues su longitud de onda es más corta debido al aumento en la frecuencia de todas las notas.

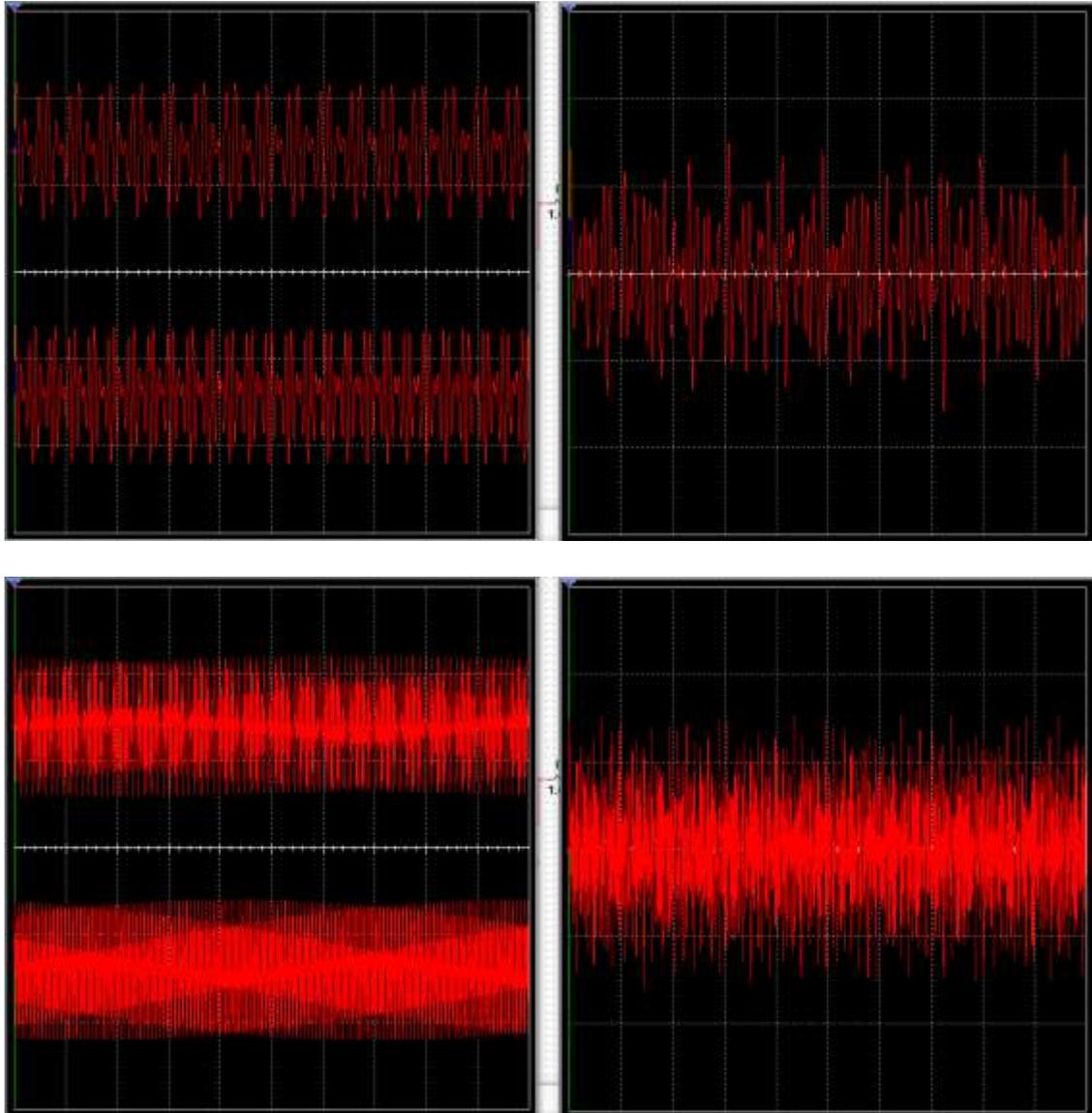


Figura 43. Espectro del drop2-71 en el acorde $\Delta 7$

C7 = C3 E3 G3 Bb3: 261.626 329.628 391.995 466.164

En la figura 44, en el total del espectro del dominante, se puede observar un patrón mejor formado que el acorde mayor. Visualmente es más estético y se pueden observar con mayor claridad las oscilaciones de la superposición de ondas.

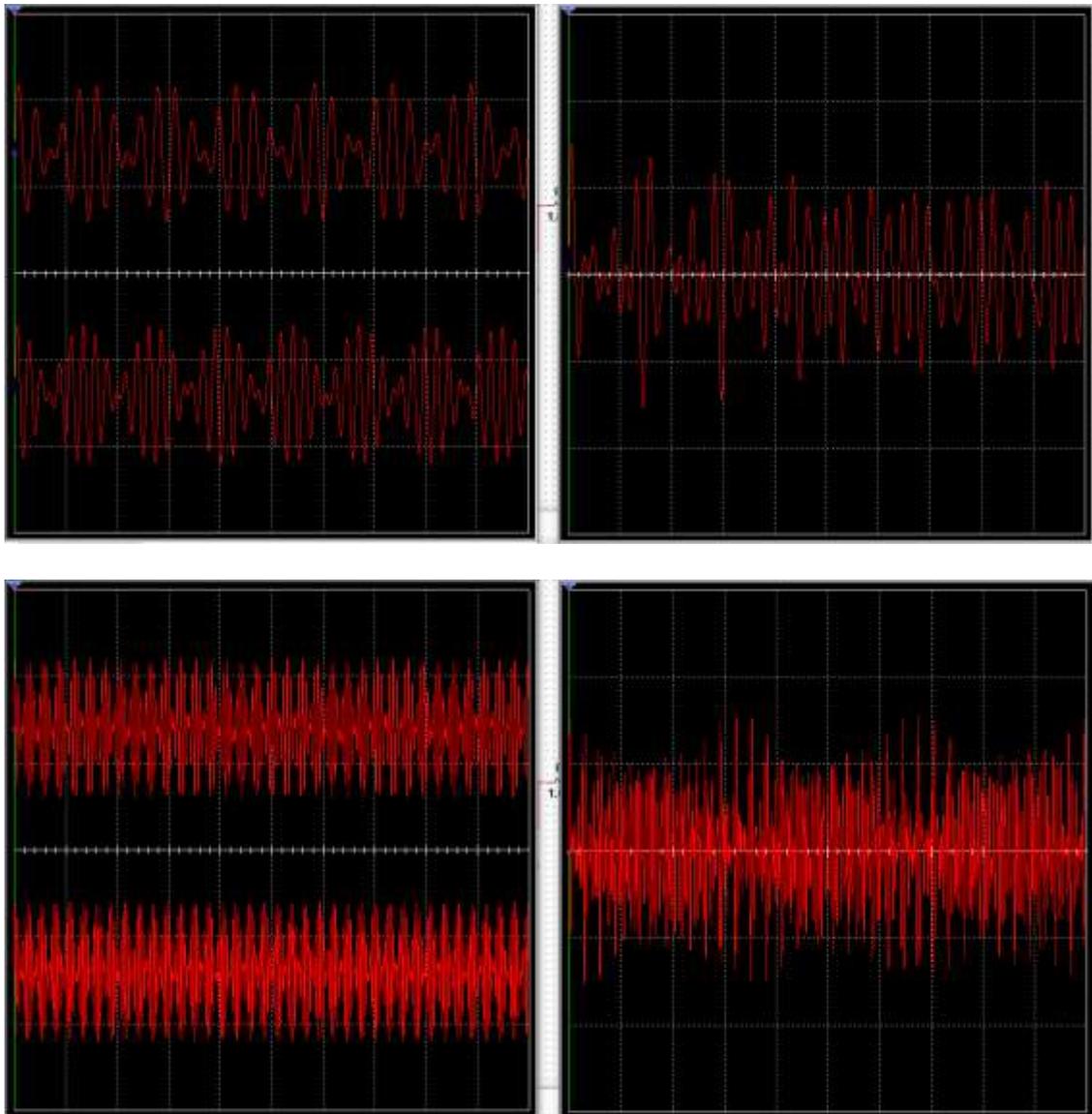
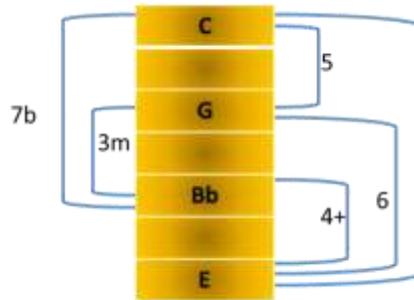


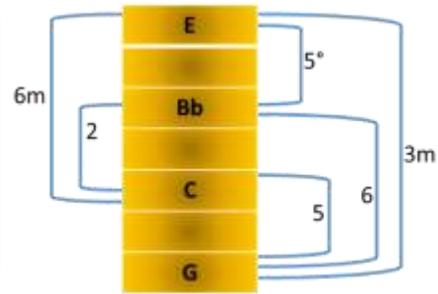
Figura 44. *Espectro del acorde dominante en bloque.*

Drop2 7

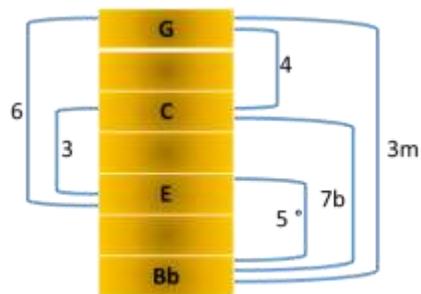
(13)



(35)



(57)



(71)

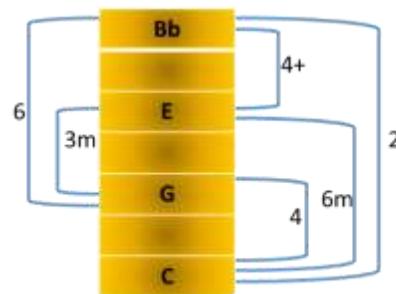


Figura 45. Estructura interválica de las inversiones del drop2 en el acorde dominante.

C7 (1,3) = C3 G3 Bb3 E4: 261.626 391.995 466.164 659.255

En contraste con el acorde en bloque, se pueden observar las variaciones que los intervalos producen al interactuar como un drop. Sin embargo, el patrón es visualmente similar que su acorde en bloque, como se muestra en la figura 46.

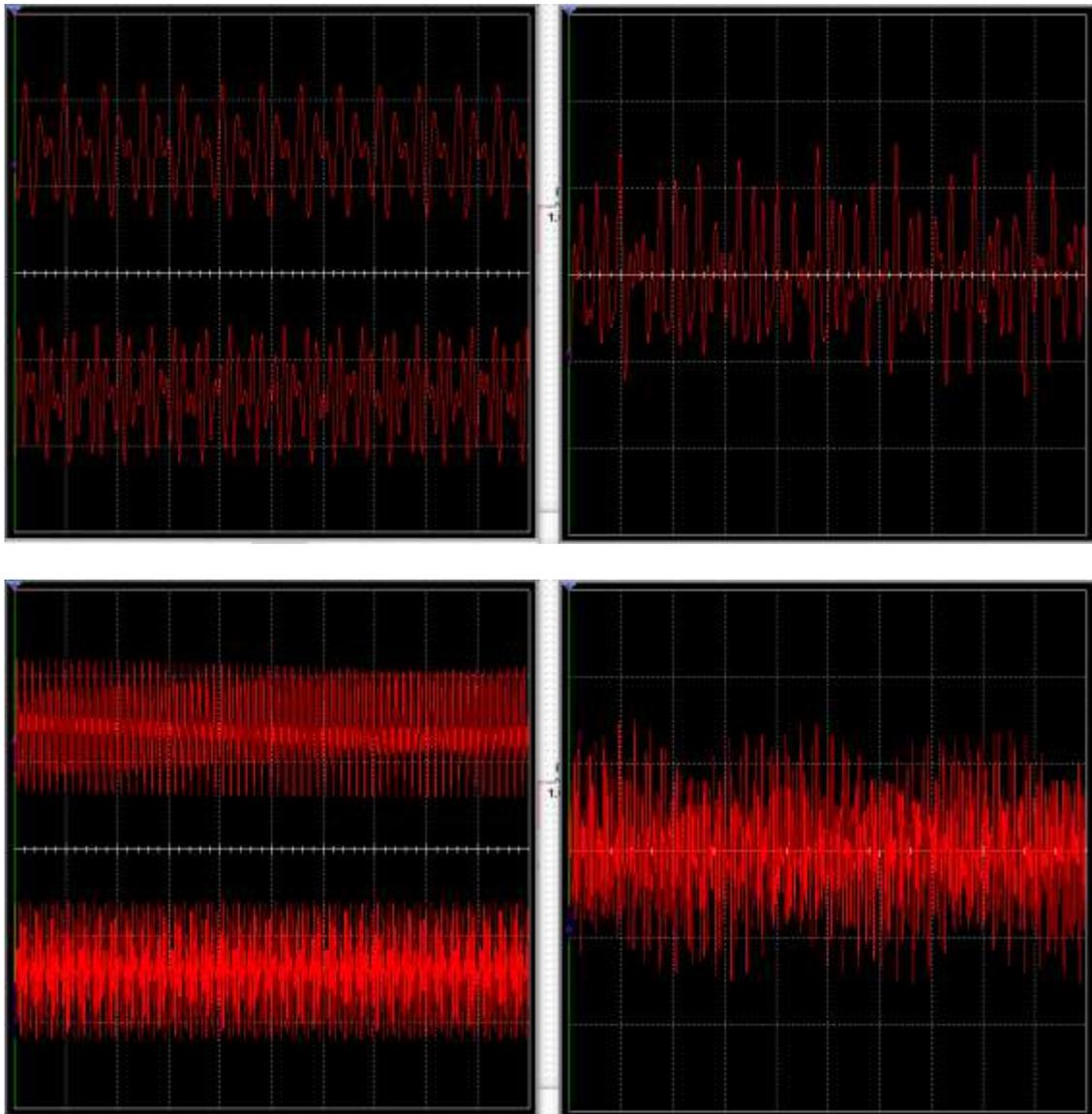


Figura 46. Espectro del drop2-13 en el acorde dominante

C7 (3,5) = E3 Bb3 C4 G4: 329.628 466.164 523.251 783.991

En la figura 47 se puede observar el drop 35. En este drop se muestra más notoria la diferencia que en el acorde en bloque y el drop 13 del dominante. Aunque el movimiento de la onda es similar, es más difícil localizarlo a simple vista.

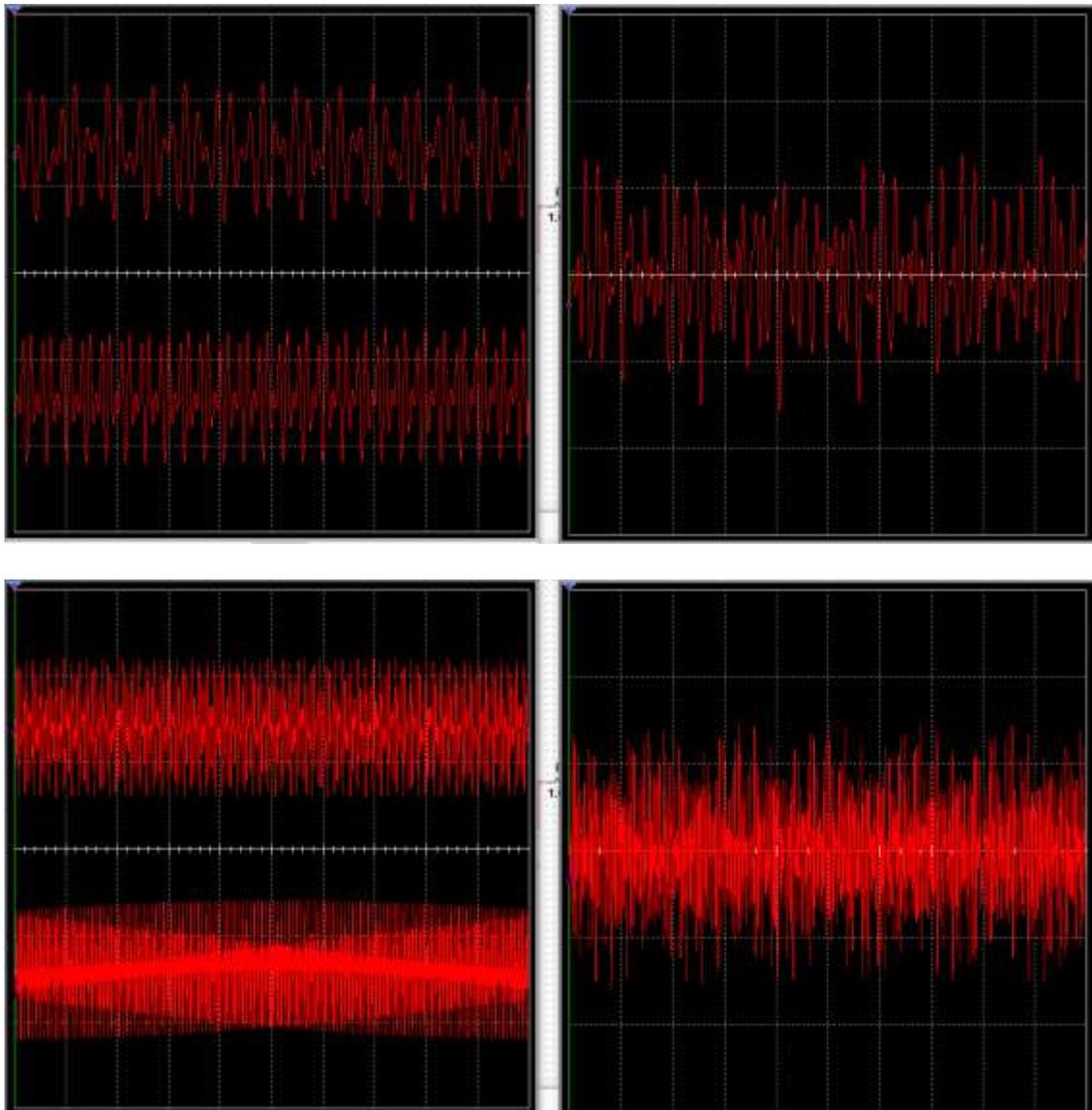


Figura 47. Espectro del drop2-35 en el acorde dominante

C7 (5,7) = G3 C4 E4 Bb4: 391.995 523.251 659.255 932.328

En este drop, el patrón observado en los acordes dominantes anteriores se percibe con mucha mayor claridad. Como muestra la figura 48, el juego entre los intervalos de este acorde destaca el patrón similar en los acordes dominantes ya analizados pero con una mayor claridad.

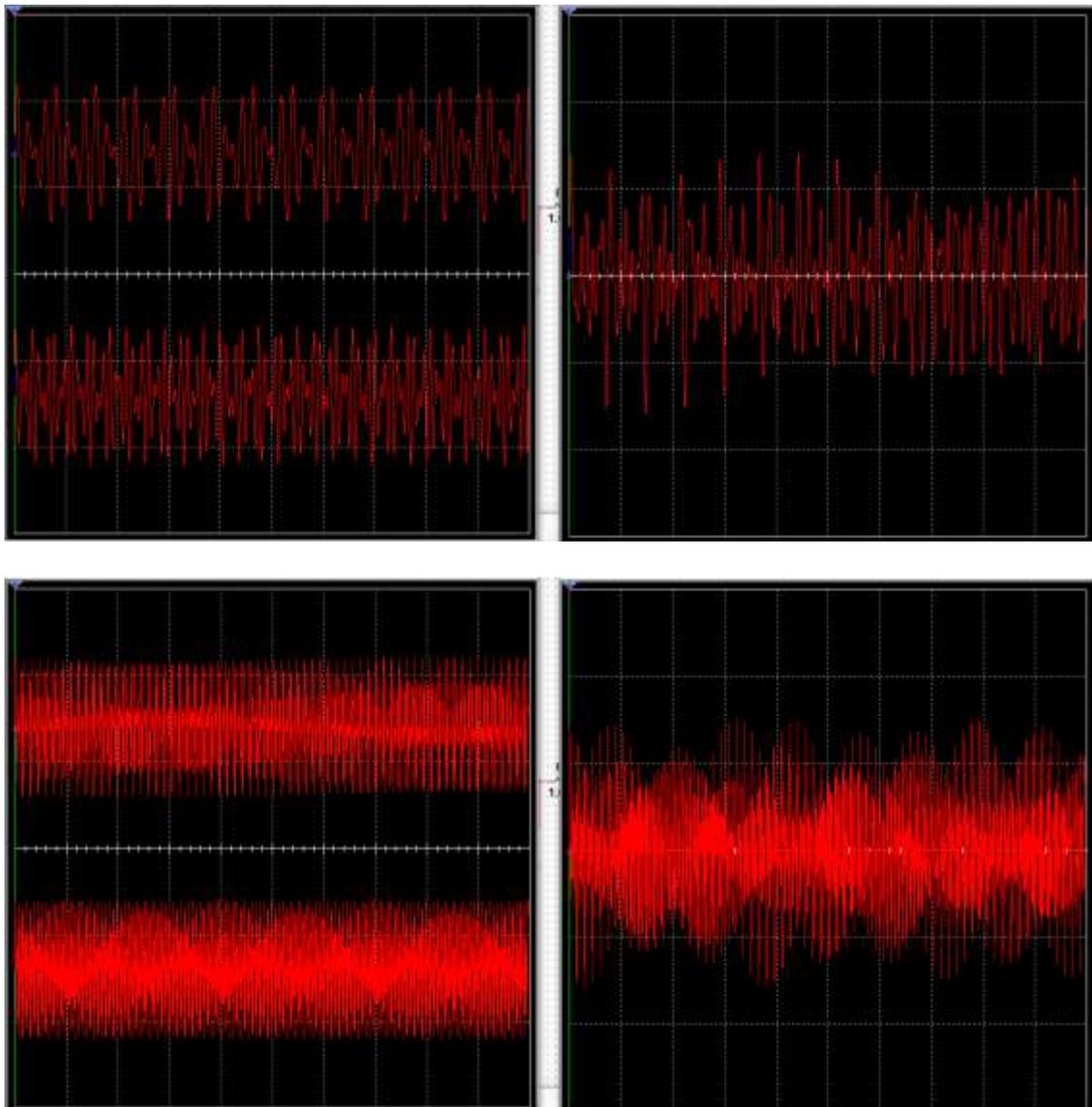


Figura 48. *Espectro del drop2-57 en el acorde dominante*

C7 (7,1) = Bb3 E4 G4 C5: 466.164 659.255 783.991 1046.502

En este drop el patrón se vuelve menos claro, se pueden observar los mismos movimientos aunque no tan notorios como en el drop 57. Aun así se puede percibir el patrón que ha caracterizado a los dominantes. Véase la figura 49.

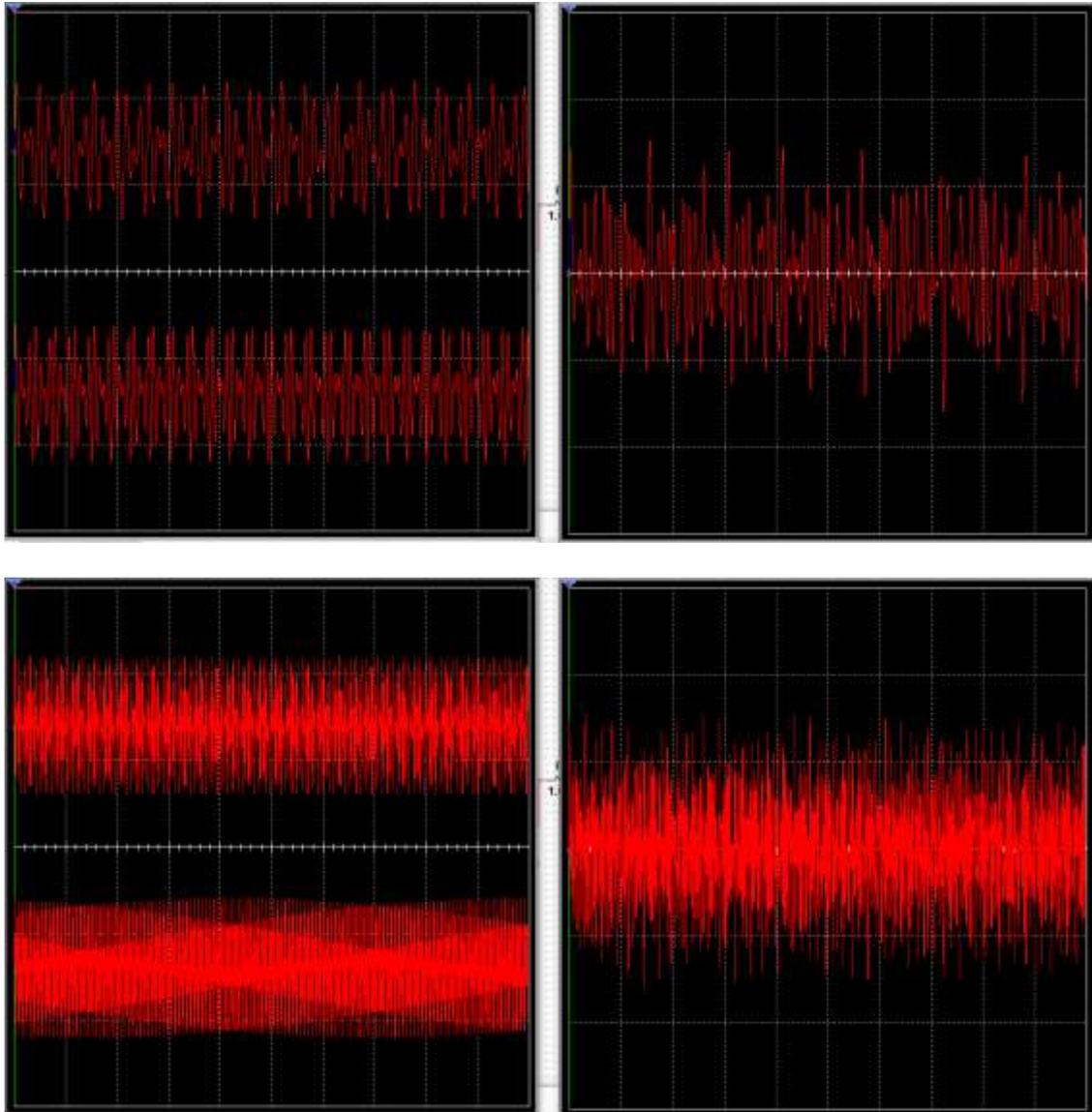


Figura 49. Espectro del drop2-71 en el acorde dominante

Cm7 = C3 Eb3 G3 Bb3: 261.626 311.127 391.995 466.164

El patrón de este acorde es sumamente similar al del acorde mayor. Esto no es malo en lo absoluto pues I, III y VI grado de la escala armonizada son muy similares. Sin embargo, al analizar el espectro de la gráfica a la izquierda podemos notar una clara diferencia, la similitud con el mayor aparece cuando la séptima es añadida al acorde menor como se puede observar en la figura 50.

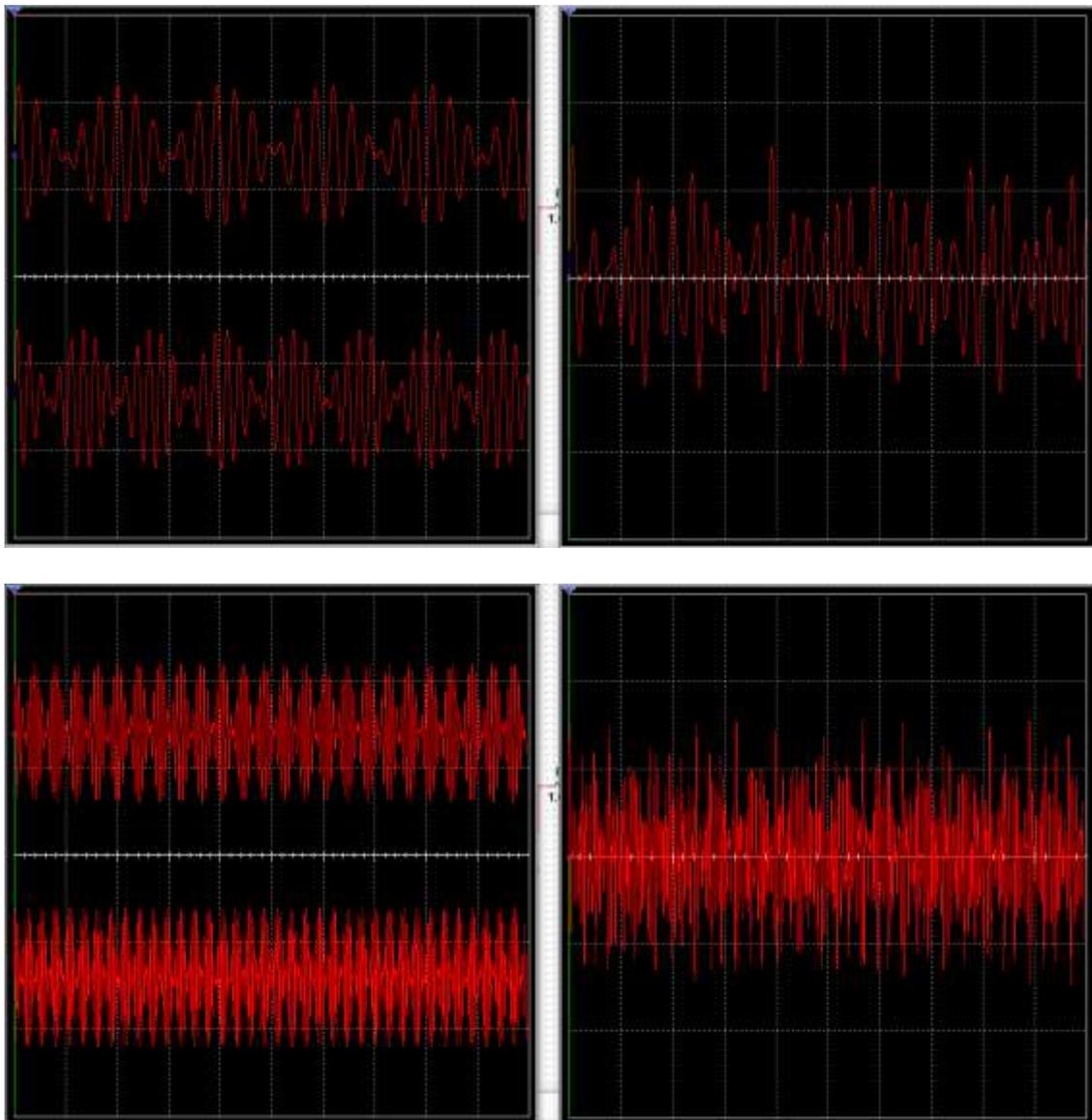
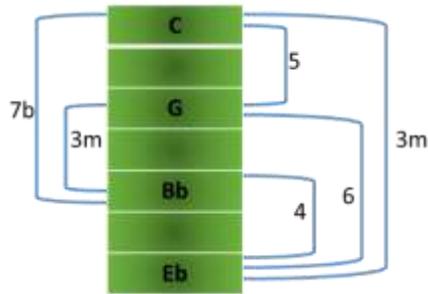


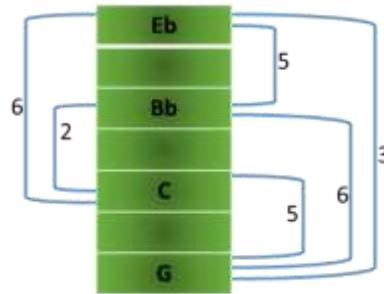
Figura 50. Espectro del acorde m7 en bloque.

Drop2 m7

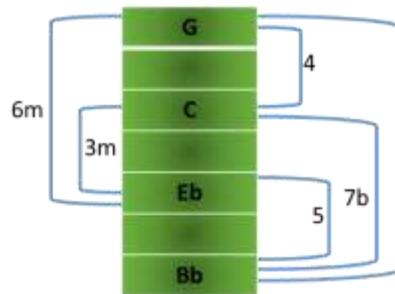
(13)



(35)



(57)



(71)

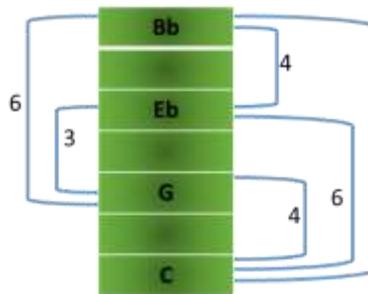


Figura 51. Estructura interválica de las inversiones del drop2 en el acorde menor siete.

Cm7 (1,3) = C3 G3 Bb3 Eb4: 261.626 391.995 466.164 622.254

En la figura 52, al realizar la comparación del drop 13 con su acorde en bloque se puede observar en el grueso del espectro un movimiento similar entre ambos acordes. Aun así es difícil distinguir el patrón; al menos en la suma total de las ondas. Sigue siendo muy parecido al acorde mayor siete.

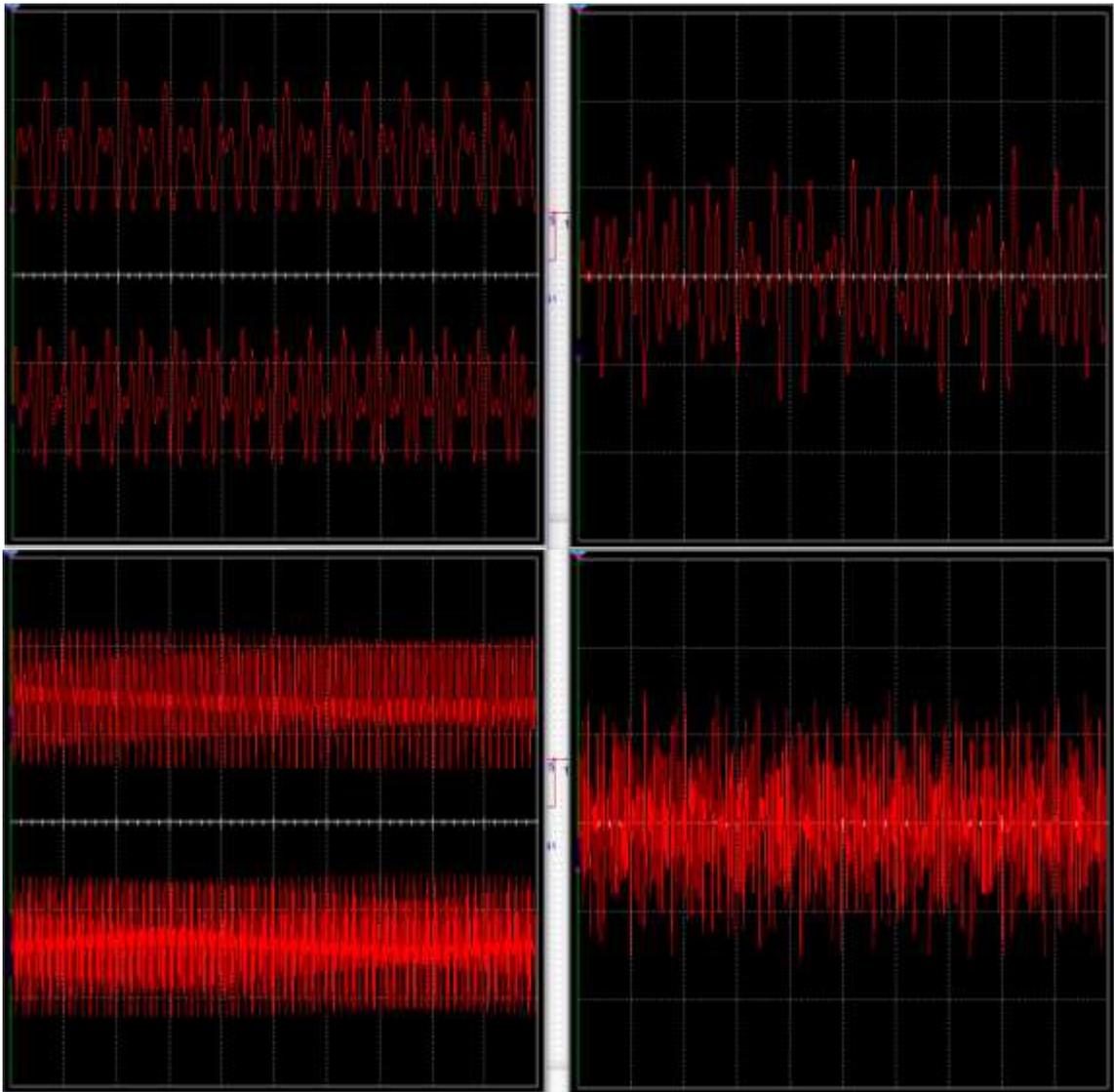


Figura 52. Espectro del drop2-13 en el acorde m7

Cm7 (3,5) = Eb3 Bb3 C4 G4: 311.127 466.164 523.251 783.991

Como se puede observar en la figura 53, es hasta este drop que se puede ver notoriamente un patrón en el acorde m7, poniéndolo en contraste con su acorde en bloque y su drop2-13 se aprecia un poco mejor el patrón del m7 en los tres anteriores. Es hasta aquí que entre el m7 y el maj7 se nota una buena diferencia.

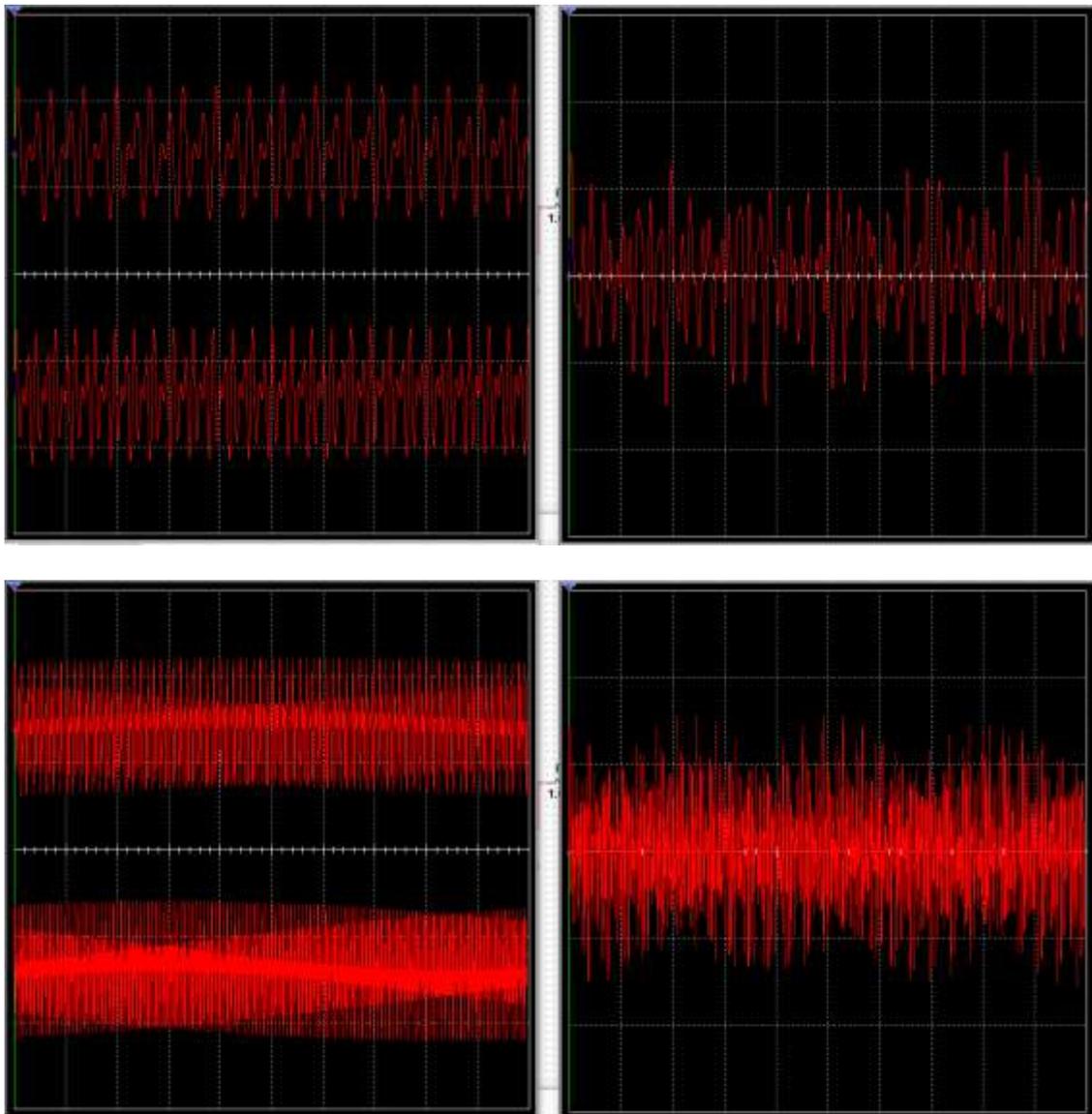


Figura 53. Espectro del drop2-35 en el acorde m7

Cm7 (5,7) = G3 C4 Eb4 Bb4: 391.995 523.251 622.254 932.328

De nueva cuenta en este drop el espectro se vuelve a encarecer. Dentro de la gráfica detallada en la parte superior derecha de la figura 54 el patrón aun es visible pero más compacto debido al aumento en las frecuencias. En este punto vuelve a mostrar una gran similitud con el acorde en bloque.

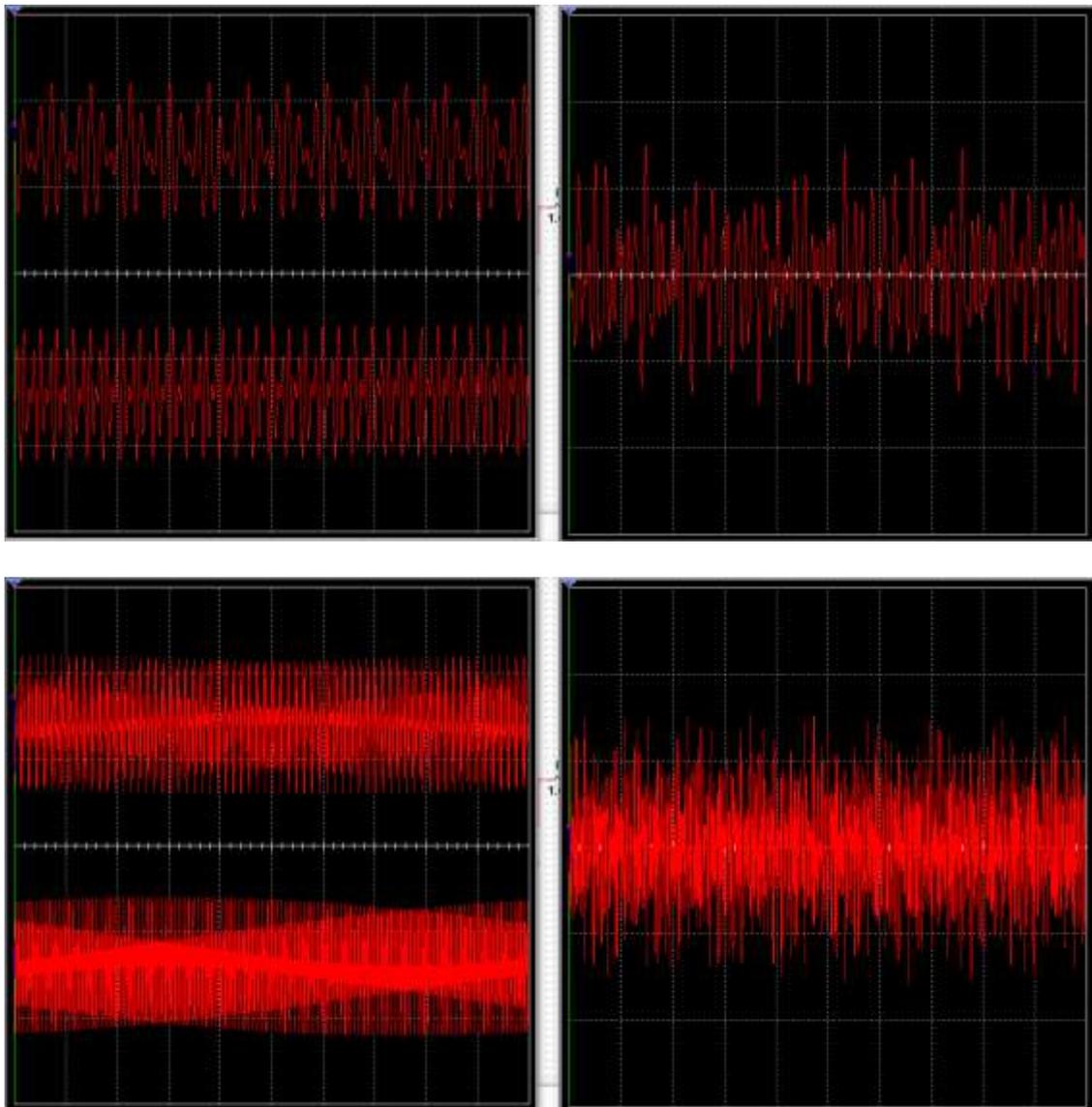


Figura 54. Espectro del drop2- 57 en el acorde m7.

Cm7 (7,1)=Bb3 Eb4 G4 C5; 466.164 622.254 783.991 1046.502

Al igual que con el drop 71 del acorde mayor, en este drop se nota una clara saturación en el grueso de su espectro, siendo ambos muy similares como se puede observar en la figura 55. Aunque el acorde fundamental y el drop 71 son similares, muestran una diferencia en la saturación por el aumento de las frecuencias.

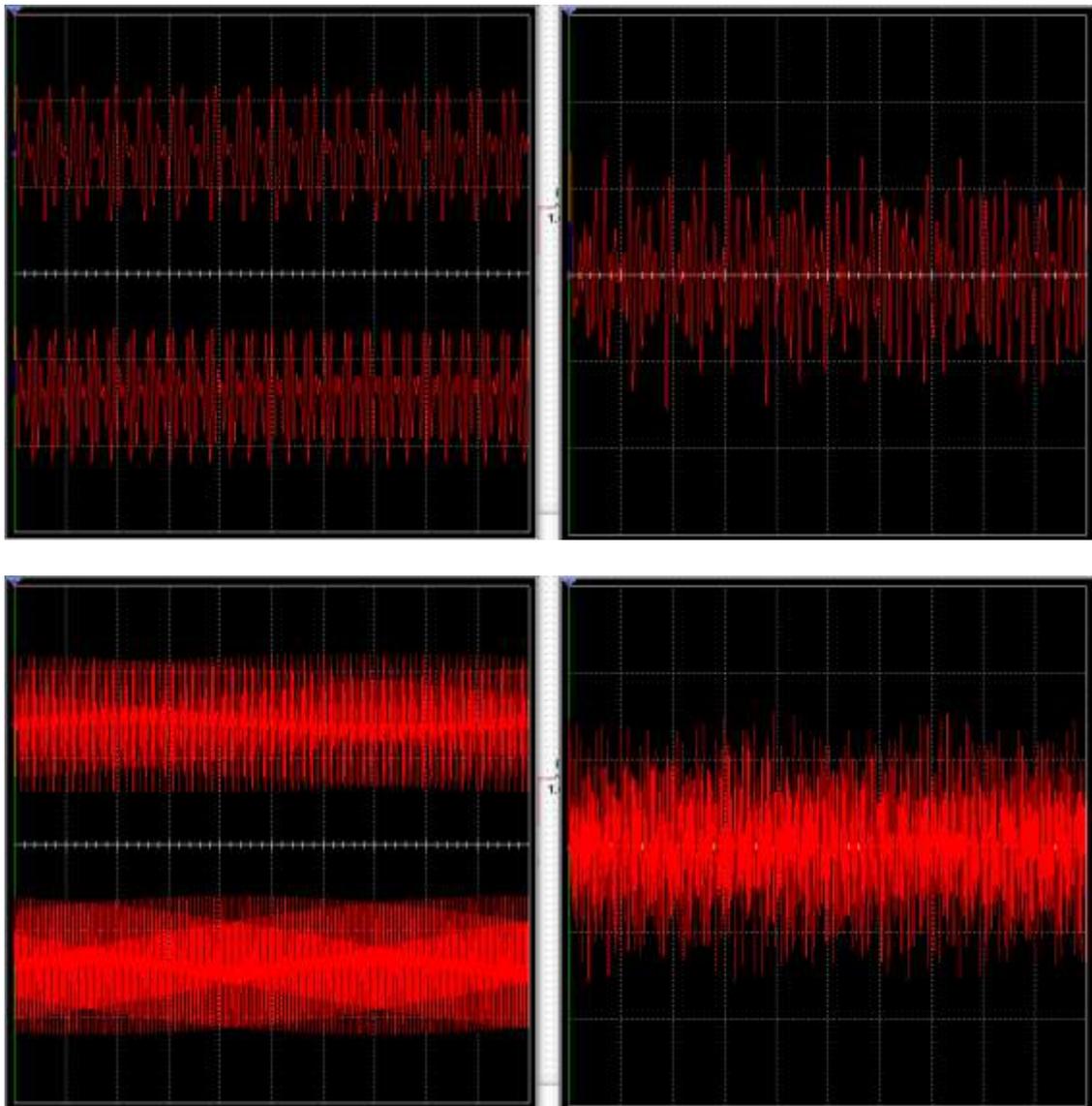


Figura 55. Espectro del drop2- 71 en el acorde m7.

$$C^{\flat 7} = C3 \text{ Eb}3 \text{ Gb}3 \text{ Bb}3: \quad 261.626 \quad 311.127 \quad 369.994 \quad 466.164$$

Como se puede observar en la figura 56, el espectro de este acorde es muy similar al acorde dominante pero no tan marcado como el mismo. En este sentido posee un patrón más definido simétricamente.

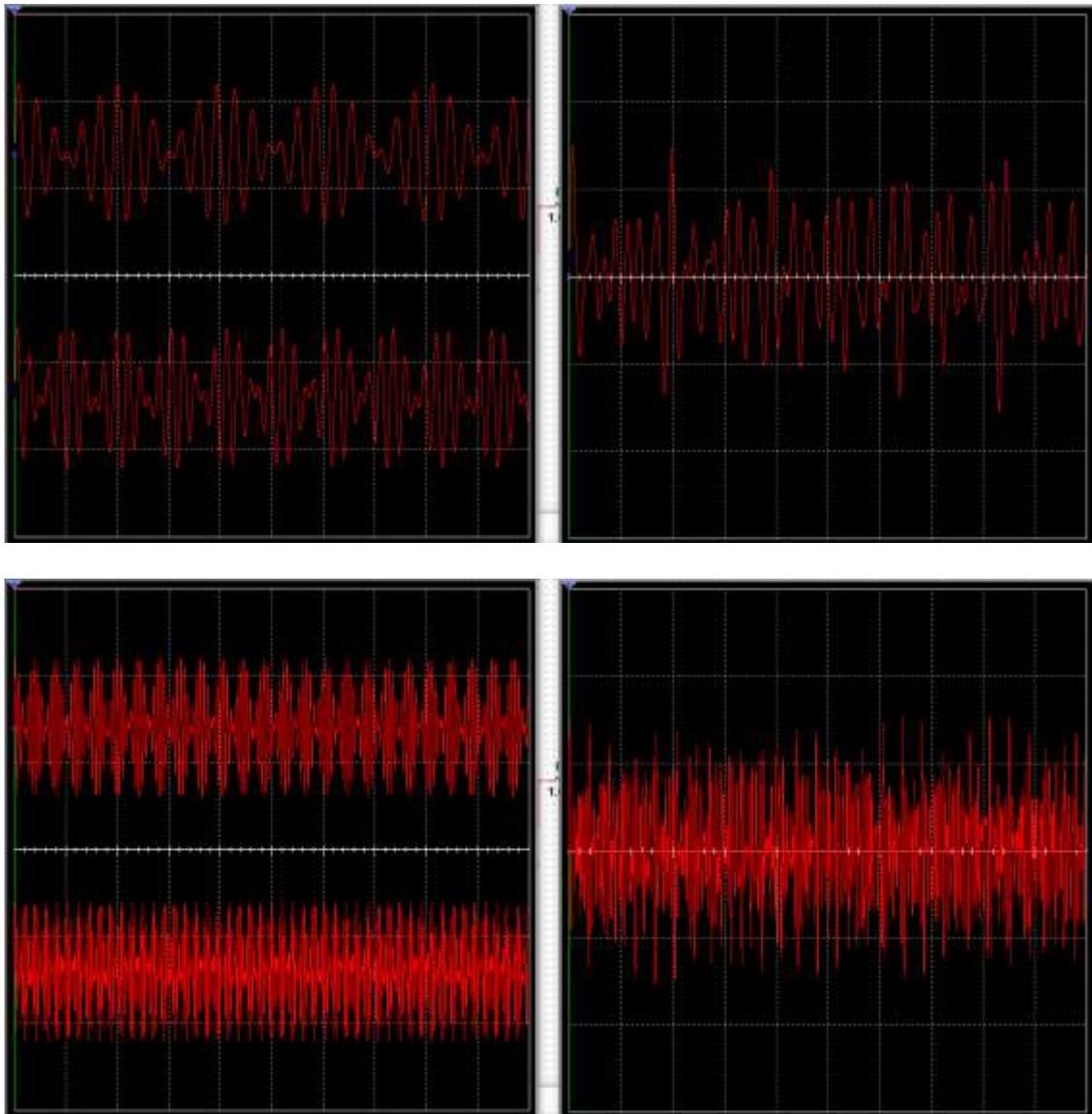
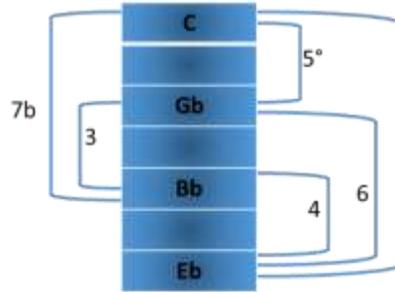


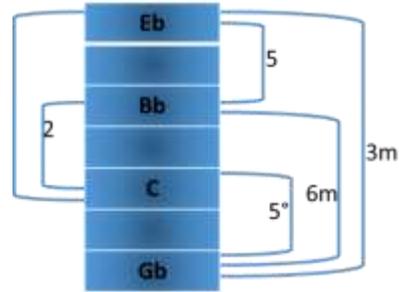
Figura 56. Espectro del acorde $C^{\flat 7}$ en bloque.

Drop2 Ø7

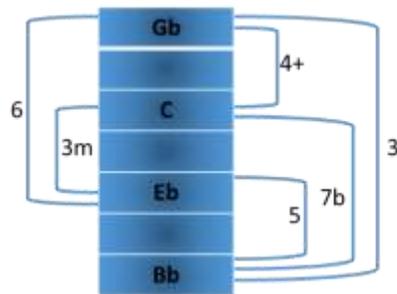
(13)



(35)



(57)



(71)

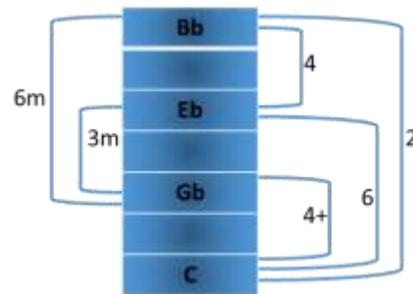


Figura 57. Estructura interváltica de las inversiones del drop2 en el acorde $\phi 7$.

$C^{\circ 7} (1,3) = C3 \text{ Gb3 Bb3 Eb4}: \quad 261.626 \quad 369.994 \quad 466.164 \quad 622.254$

El acorde en bloque y el drop 13 de su acorde se muestran muy similares como se puede observar en la figura 58. De igual manera es muy similar al drop 13 del dominante, la diferencia radica en la longitud de onda (λ), en el semidisminuido es más cerrada que en el dominante pero ambas son muy similares. A su vez, guarda una estrecha relación con su acorde en bloque.

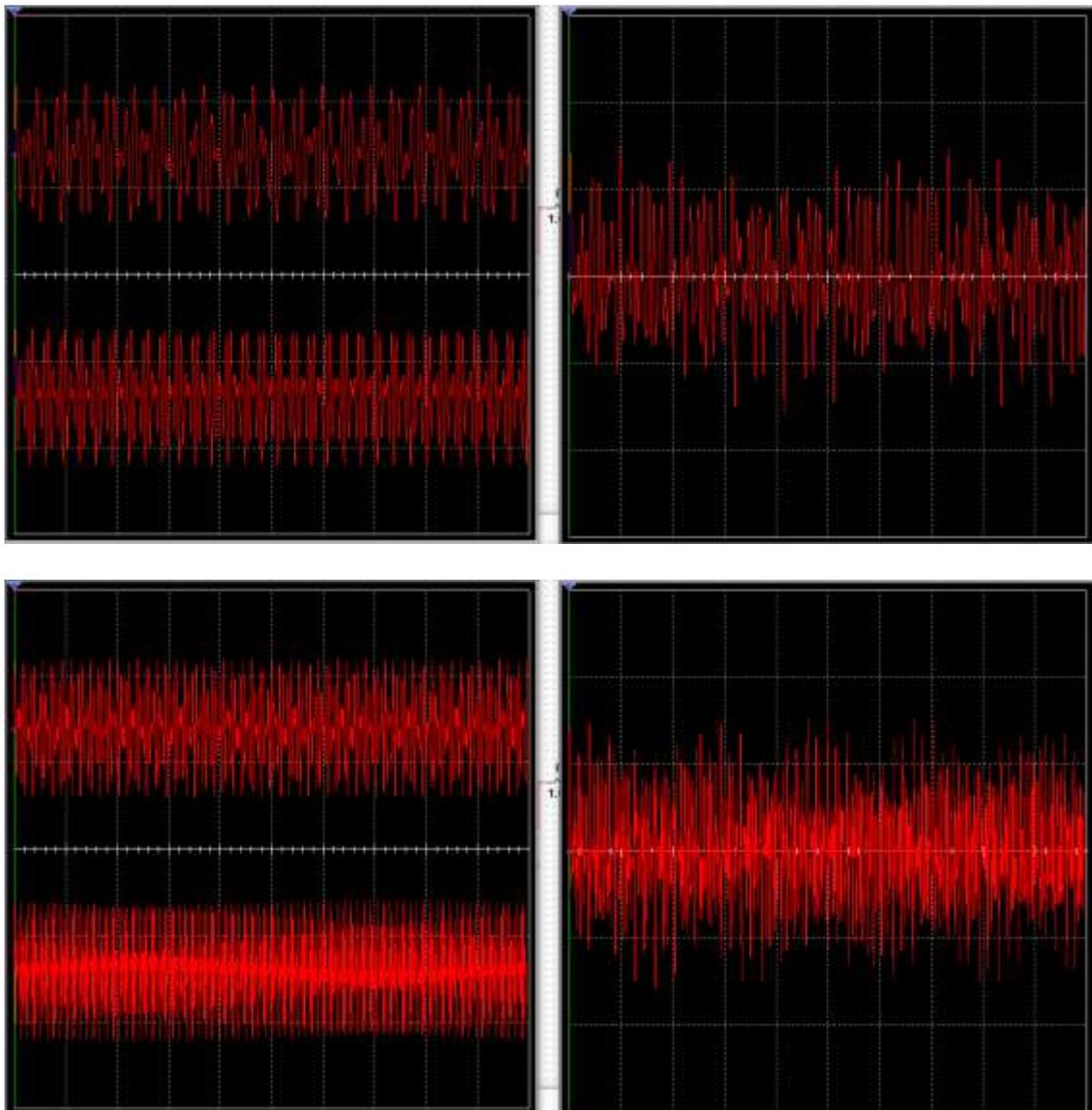


Figura 58. Espectro del drop2- 13 en el acorde $^{\circ}7$

$C^{\flat 7} (3,5) = Eb3 Bb3 C4 Gb4: \quad 311.127 \quad 466.164 \quad 523.251 \quad 739.989$

Como la figura 59 muestra, el patrón del drop 13 es mucho más notorio que el de su homólogo el drop 35, sin embargo, ambos espectros muestran una buena similitud y simetría con su acorde en bloque.

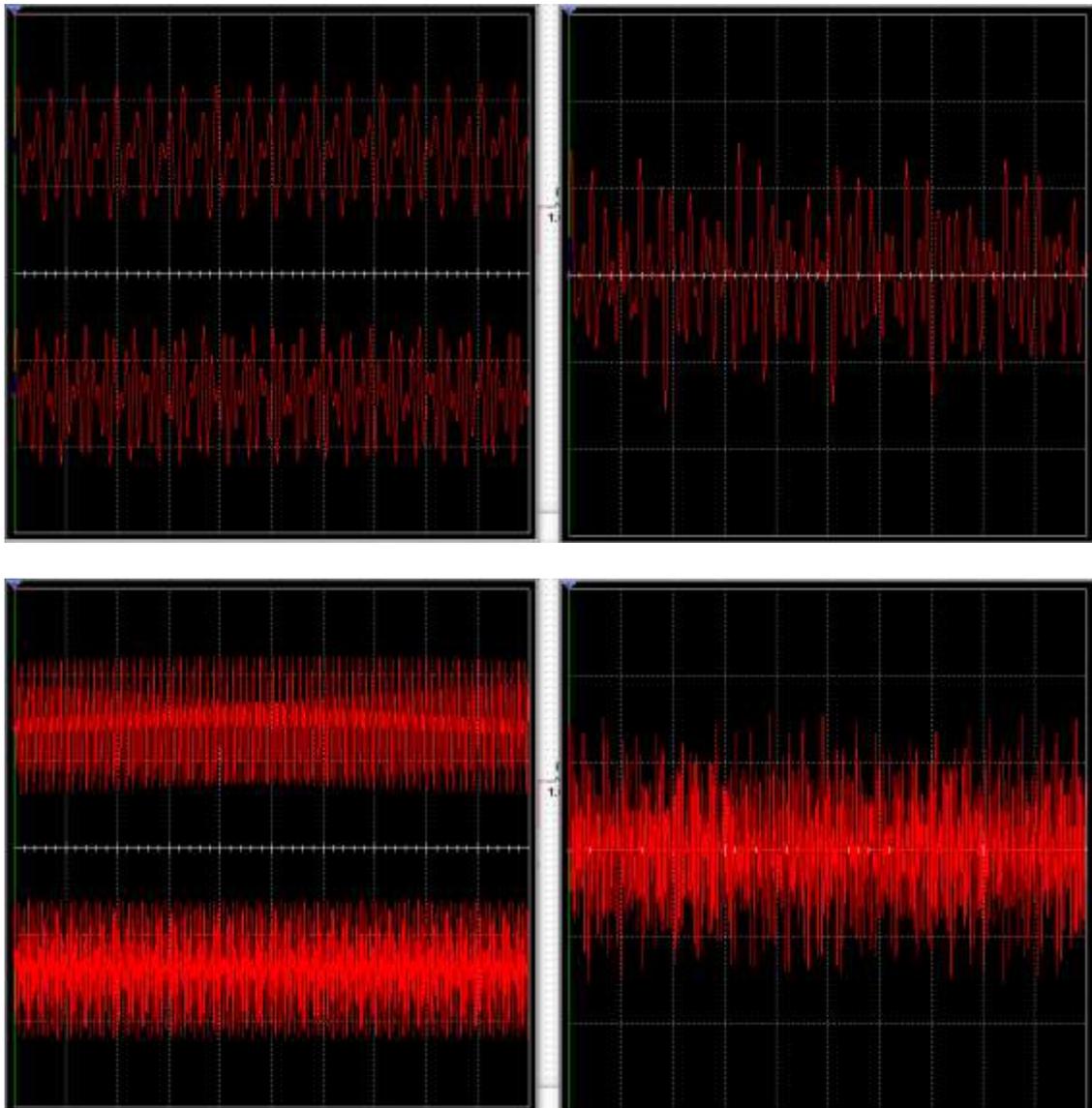


Figura 59. Espectro del drop2- 35 en el acorde $^{\flat 7}$

$C^{\phi 7} (5,7) = Gb3 C4 Eb4 Bb4: \quad 369.994 \quad 523.251 \quad 622.254 \quad 932.328$

El espectro del drop 57 se muestra más irregular que el de los anteriores drops del semidisminuido. Es irregular en el sentido que su longitud de onda (λ) es más pequeña por lo tanto, más saturada debido al cambio de frecuencias. Aun así, el patrón sigue siendo visible pero enrarecido como se muestra en la figura 60.

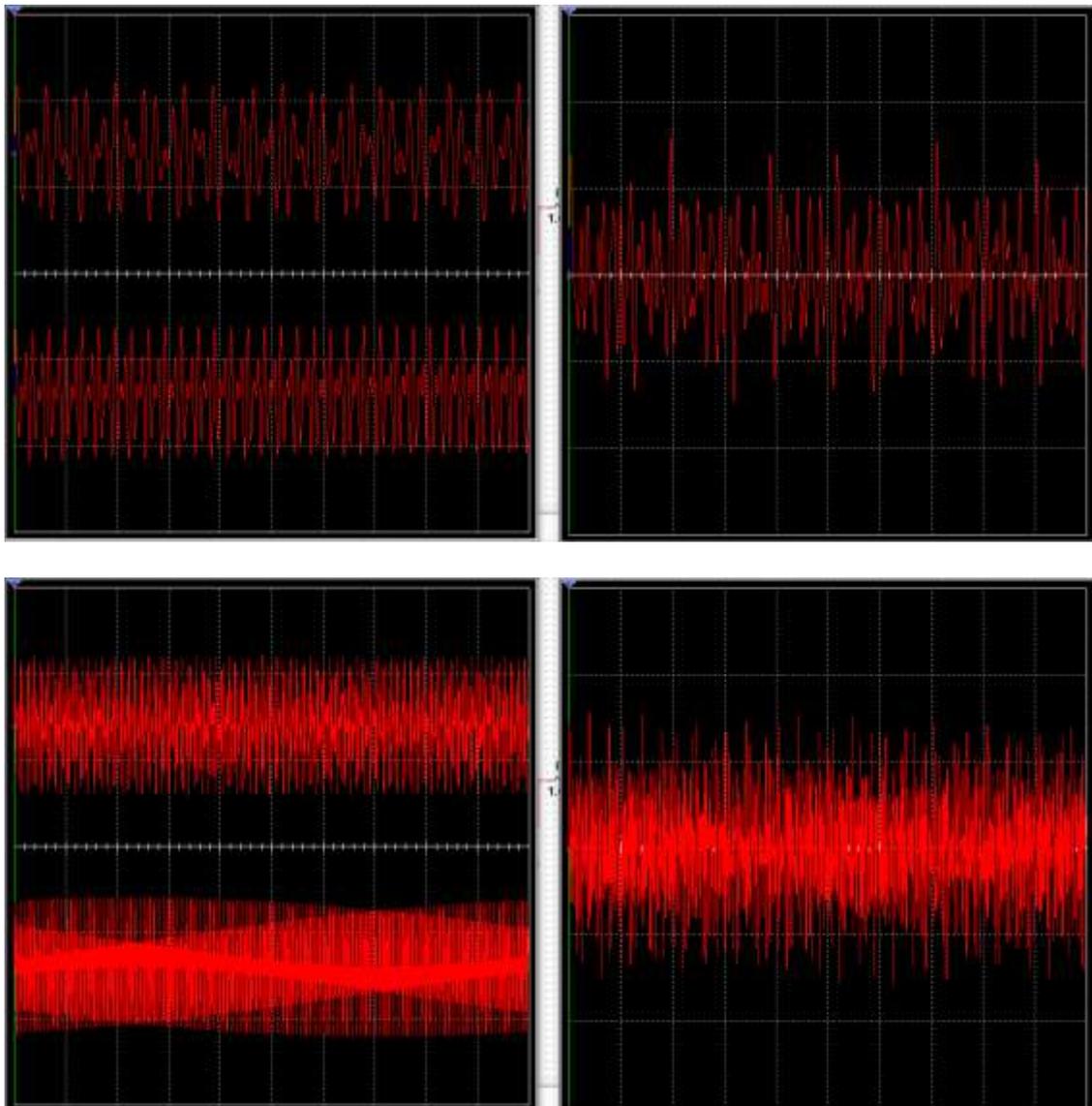


Figura 60. Espectro del drop2- 57 en el acorde $\phi 7$

$C^{\circ 7} (7,1) = Bb3 Eb4 Gb4 C5: 466.164 \quad 622.254 \quad 739.989 \quad 1046.502$

A igual que su homólogo 57, este drop posee características muy similares en su espectro. Su longitud de onda (λ), es más corta por ende, mayormente saturada. Como la figura 61 muestra, el patrón del drop 71 es menos perceptible.

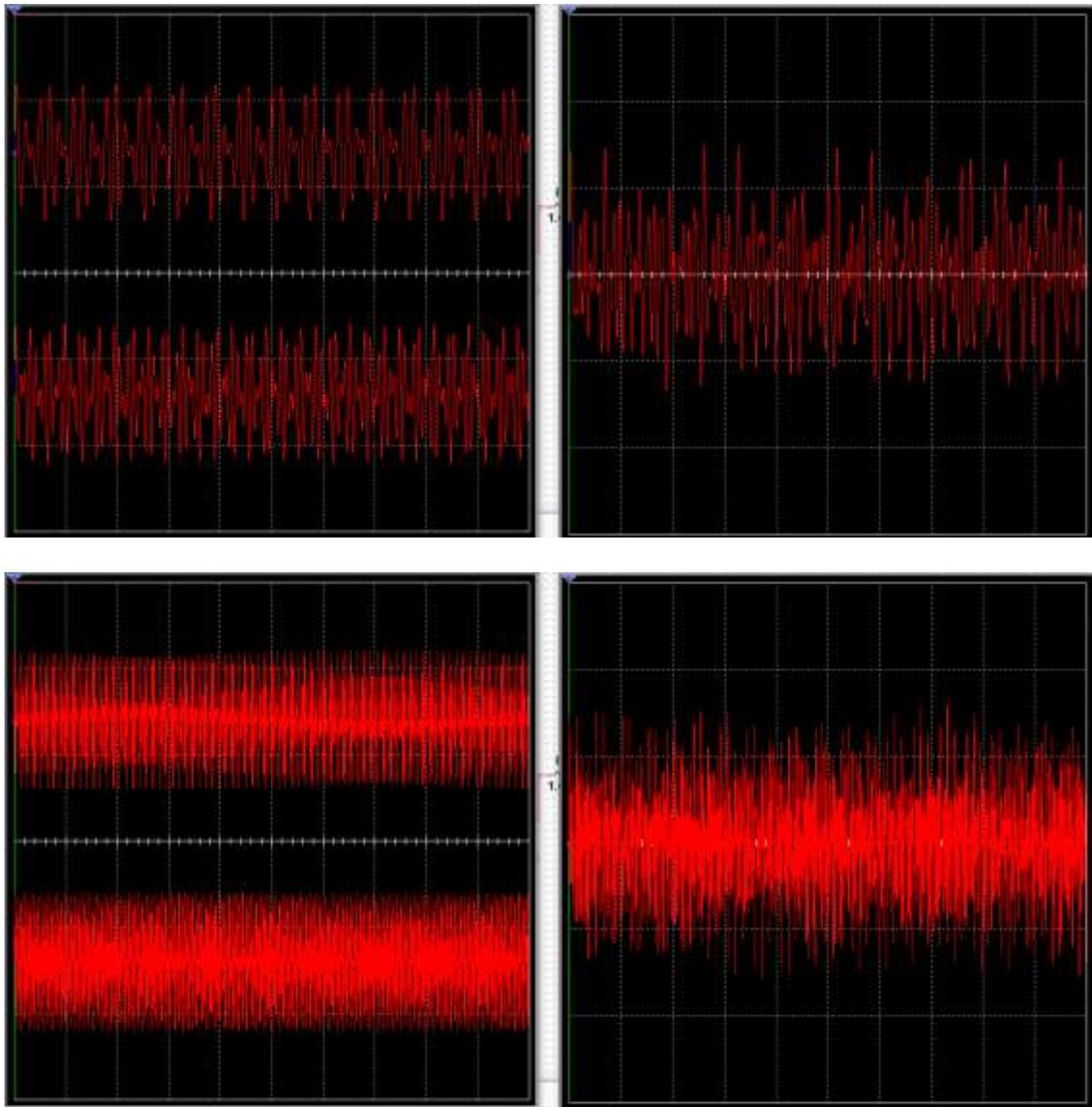


Figura 61. Espectro del drop2- 71 en el acorde $^{\circ}7$

$C^{\circ 7} = C3 \text{ Eb}3 \text{ Gb}3 \text{ Bbb}3: \quad 261.626 \quad 311.127 \quad 369.994 \quad 440$

Lo que se percibe dentro de las gráficas 62, 64, 65,66, 67; de los drop del acorde disminuido es un cambio solo en la saturación por el aumento de las frecuencias al cambiar la inversión. Sin embargo, el patrón es exactamente el mismo en todos los sentidos pues, en este acorde la interválica nunca cambia como podemos observar en la figura 63. Lo que genera el cambio son las frecuencias.

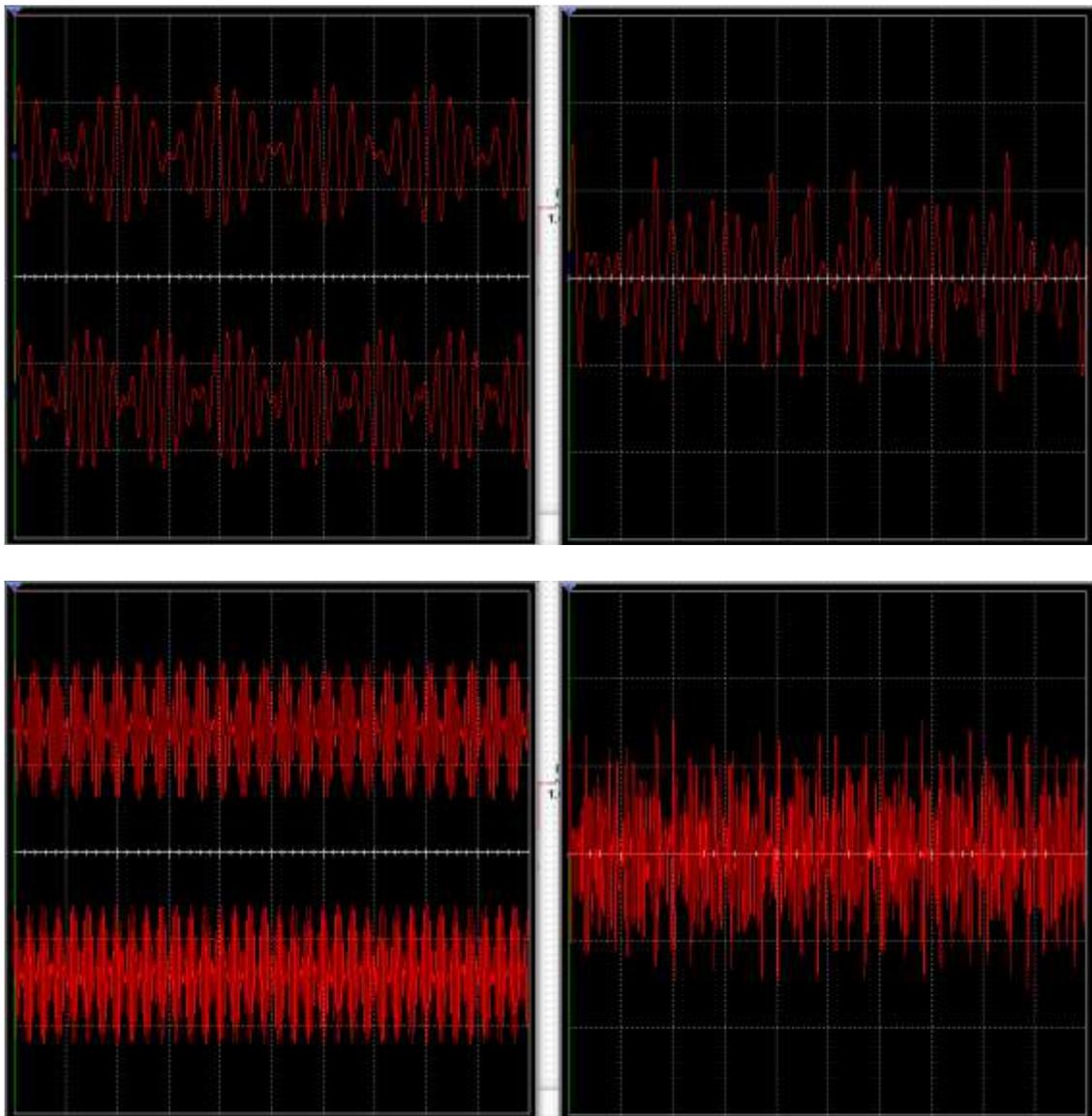


Figura 62. Espectro del acorde $^{\circ}7$ en bloque.

Drop2 °7

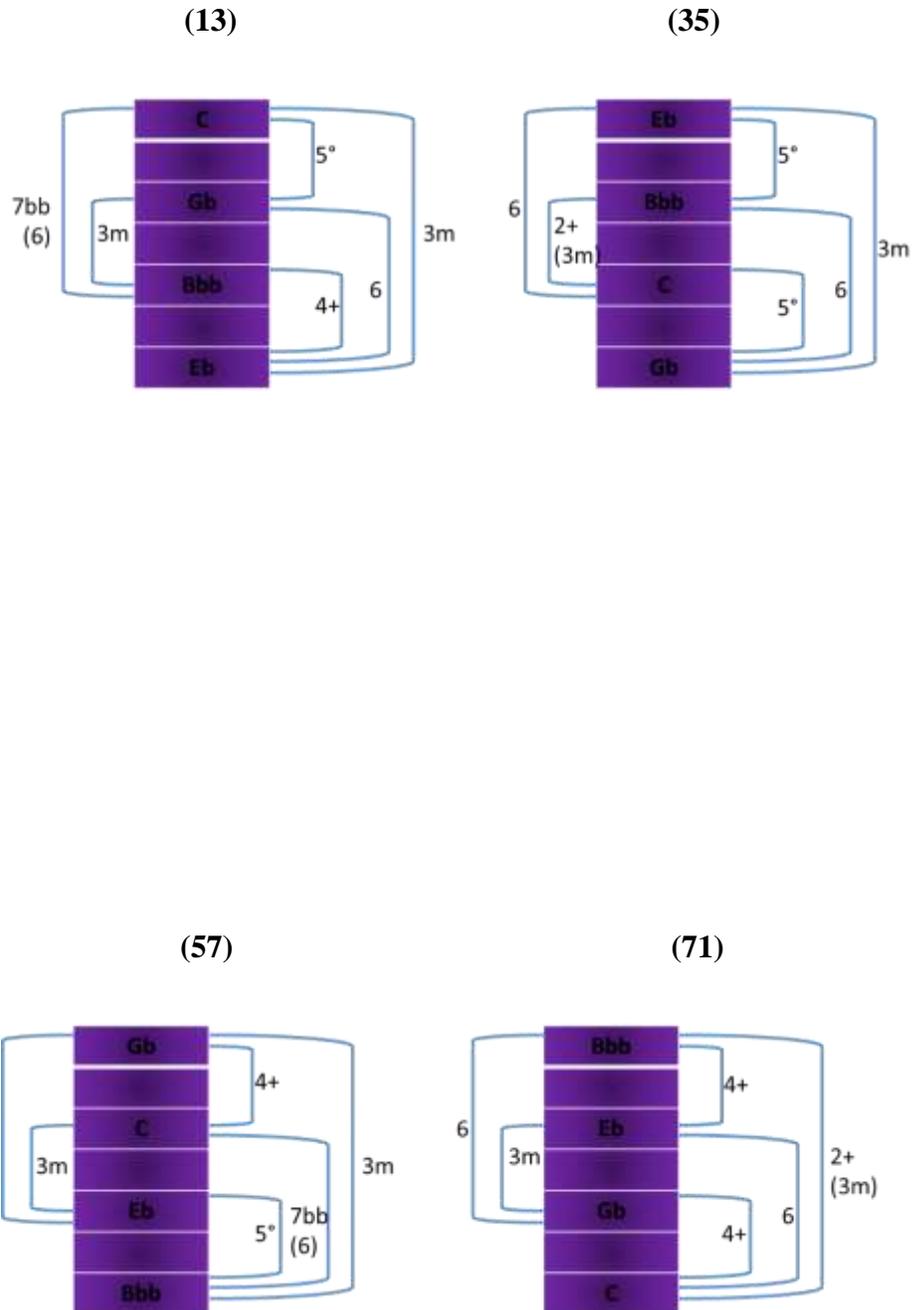


Figura 63. Estructura intervática de las inversiones del drop2 en el acorde °7.

C⁰⁷ (1, 3) = C3 Gb3 Bbb3 Eb4: 261.626 369.994 440 622.254

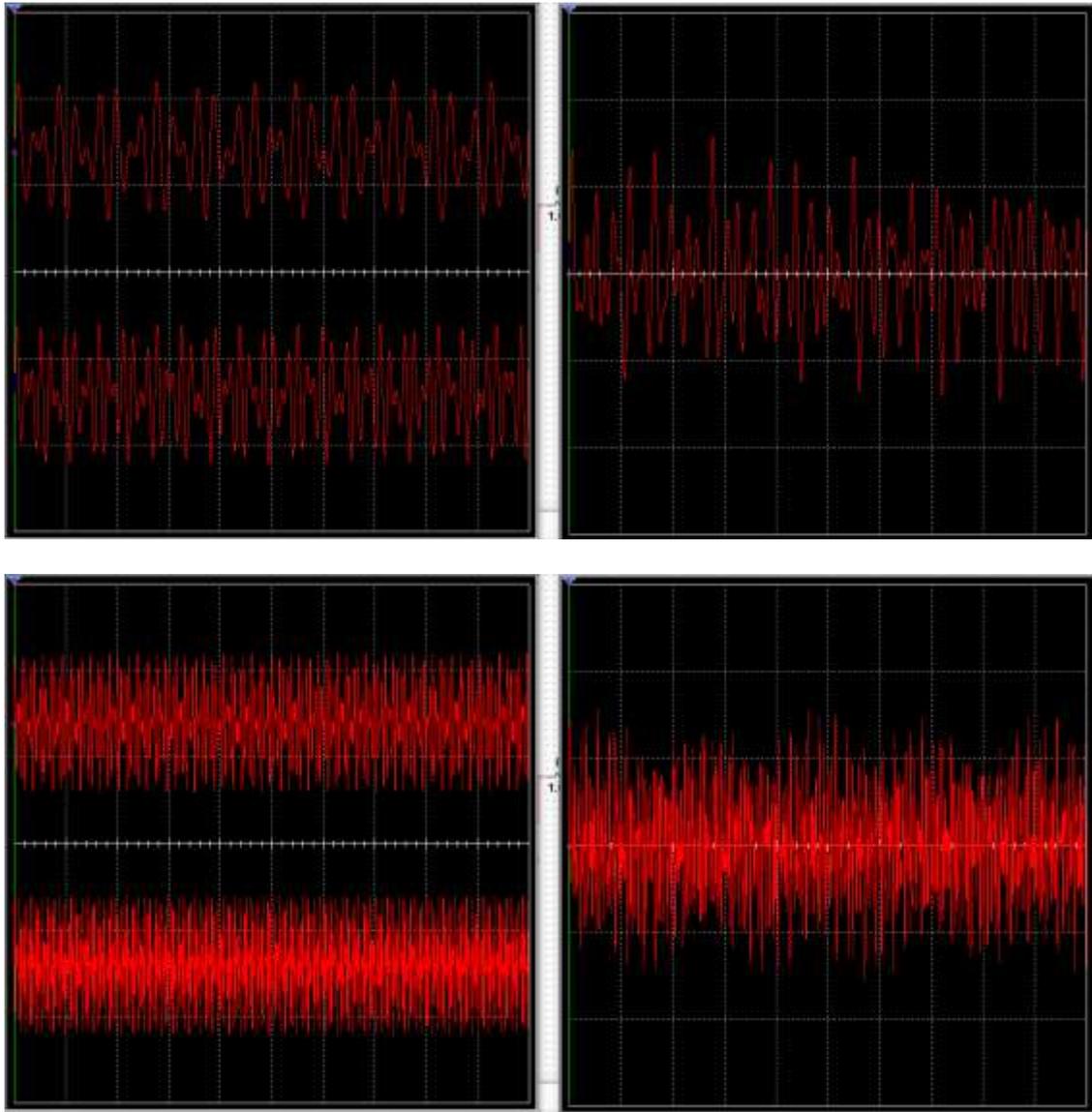


Figura 64. Espectro del drop2- 13 en el acorde °7

$C^07 (3, 5) = Eb3 Bbb3 C4 Gb4:$ 311.127 440 523.251 739.989

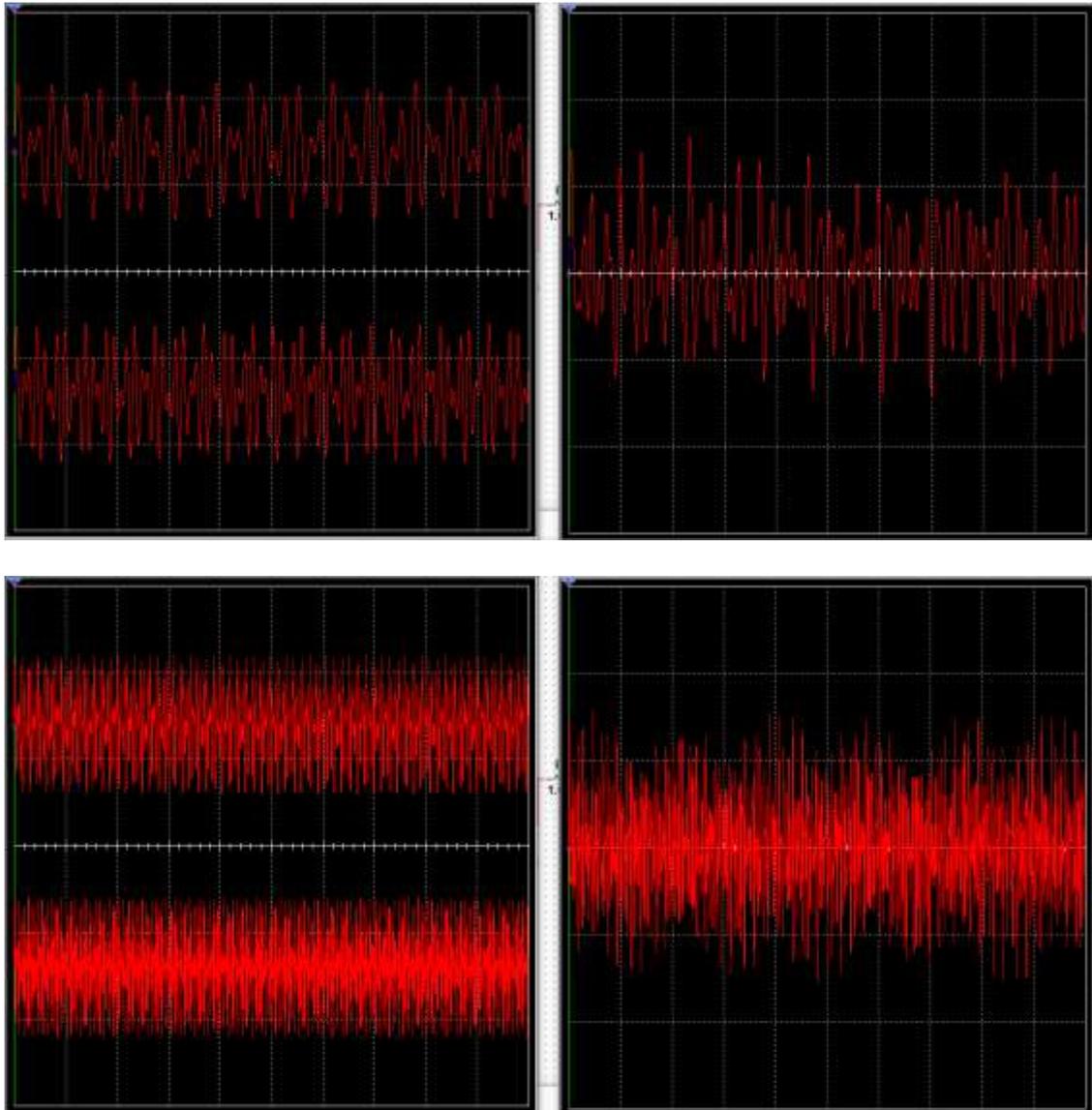


Figura 65. Espectro del drop2- 35 en el acorde 07

$C^{\circ 7} (5, 7) = Gb3 C4 Eb4 Bbb4: \quad 369.994 \quad 523.251 \quad 622.254 \quad 880$

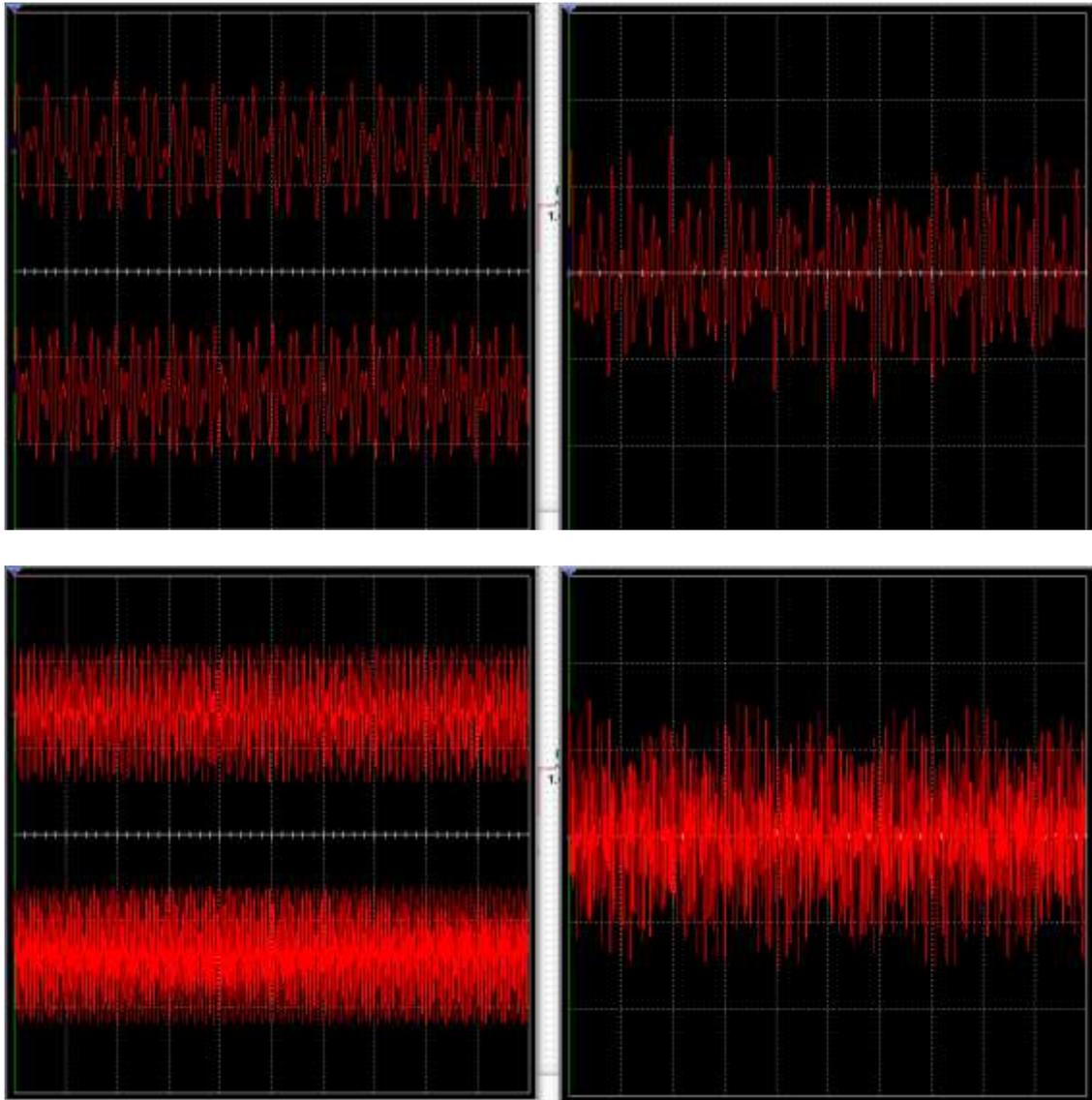


Figura 66. Espectro del drop2- 57 en el acorde °7

C⁰7 (7, 1) =Bbb3 Eb4 Gb4 C5: 440 622.254 739.989
 1046.502

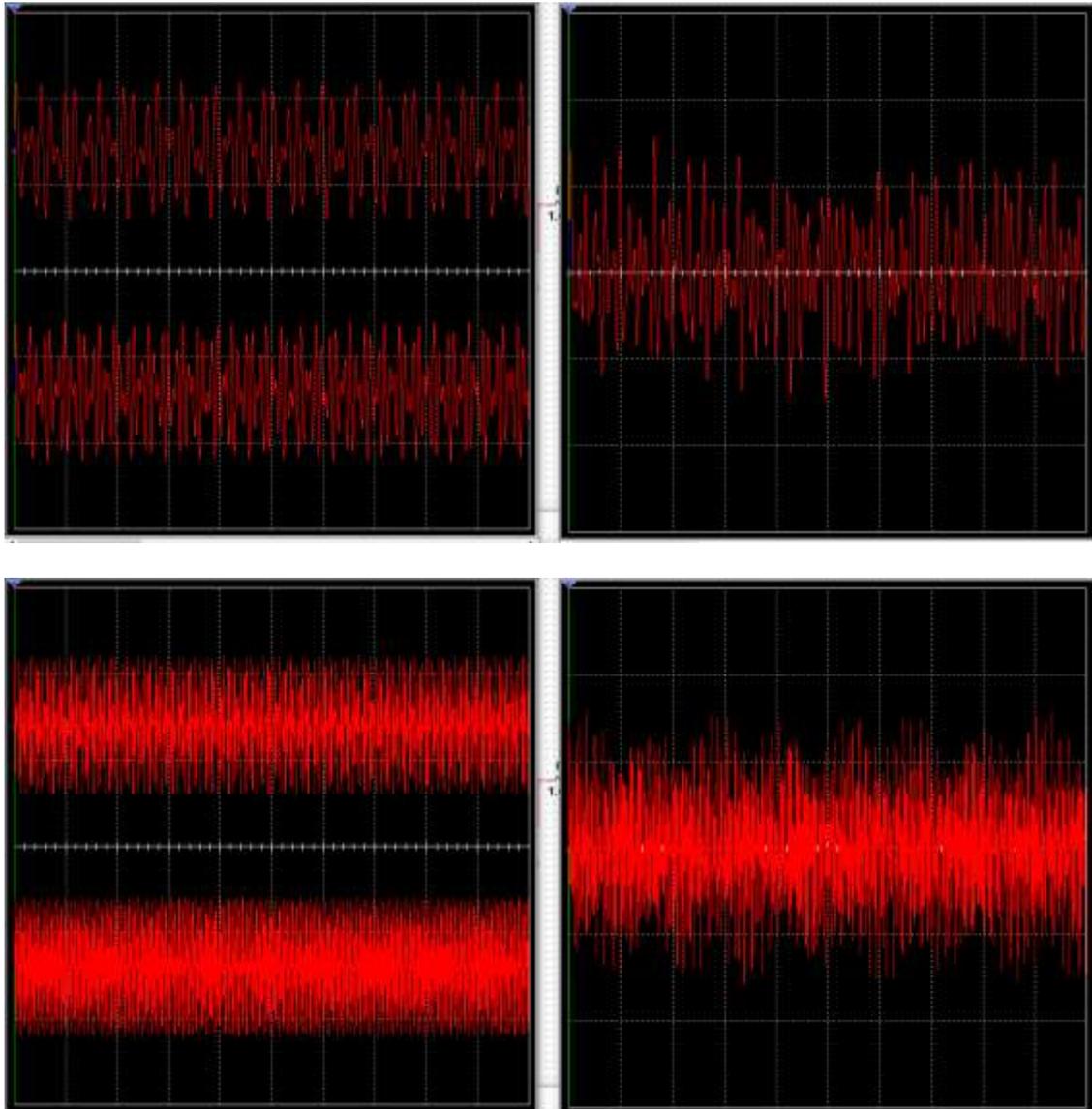


Figura 67. Espectro del drop2- 71 en el acorde °7

Capítulo IV

Resultados

Dentro del análisis espectral en el marco físico ideal, se pudieron obtener distintos resultados, desde la visualización por medio de las frecuencias, hasta por la interválica ocasionada en las inversiones de los acordes. En un sentido ideal, se llegó a la conclusión por medios físicos y matemáticos, además de la valoración visual de los espectros obtenidos, que los acordes estudiados en esta investigación, poseen características físicas que los hace pertenecer a un grupo especial, es decir, a una familia en específico. En este sentido todos los acordes mayores siete serán mayores, no importando la inversión hablando en un sentido práctico.

Al comparar matemáticamente los acordes por medio de la ecuación obtenida en las identidades trigonométricas, ésta sugería una gran similitud física entre acordes de una misma familia no importando la tonalidad. Teóricamente, tenía que ser de esta manera. Por esta razón se comparó espectralmente los acordes por medio de su interválica, ya que la ecuación proponía que los patrones serían los mismos aun y con el cambio en las frecuencias. Pues, la interválica no se vería afectada por el cambio de frecuencias, estas harían el cambio debido a su interacción.

Al realizar esta acción, fue grata la sorpresa al observar que todos y cada uno de los acordes poseían una similitud con su fundamental, no importando la inversión del acorde. En este sentido al poner un acorde en su inversión podían verse diferencias tanto visuales como fónicas debido a la intervención de los intervalos, sin embargo, el patrón era similar en todos los casos. A su vez, los espectros sugieren que algunos acordes son muy compatibles espectralmente, como la teoría en la armonía lo propone, pues, un acorde

mayor es muy parecido al menor y el dominante al semidisminuido; según la inversión es más o menos éste parecido. La teoría de la armonía en la sustitución de acordes sugiere que un acorde mayor por poner un ejemplo: **C** mayor siete, sí es extendido a un **C** mayor nueve, se obtiene como resultado las notas de **C-E-G-B-D**, dando paso a la estructura de un **Em7^(b13)** proponiendo así, espectralmente un parecido, de igual forma con los demás acordes. En el caso del acorde disminuido su estructura espectral es la misma, salvo a su longitud de onda (λ) por el aumento en las frecuencias al realizar las inversiones.

Otro resultado importante de mencionar fue la cualidad visualmente estética que poseen los acordes tanto en bloque como en drop del dominante y semidisminuido. Se aclara que es solo la cualidad estética, puesto que fónicamente son más desagradables al oído pues, lo que ocasiona esta belleza espectral es conocida como batidos, estos dos ejemplares son menos regulares que el menor y el mayor y esta irregularidad es la causada por la interacción del tritono¹⁴ implícita en ambos ejemplos. Lo que lo hace especial, es que naturalmente son más estéticos sus espectros a la vista. Quizá por la relación en la forma de la aparición de los armónicos naturales, ya que la séptima aparece bemol antes que natural y la cuarta sostenida. Por lo que algunos teóricos de la música sugieren que la escala Mayor natural debería ser la escala lidia dominante¹⁵, la cual es el cuarto grado de la escala menor melódica. Probablemente esta relación visualmente estética se deba a este suceso natural de los armónicos, ¿será posible que el acorde dominante y semidisminuido propongan un camino más natural en lo que el hombre

¹⁴ El tritono es un intervalo de tres tonos enteros dentro de un acorde, el cual ocasiona una tensión dentro del mismo que genera una dominancia que exige una resolución para el oído.

¹⁵ $\gamma^{(\#11)}$

propuso con la escala temperada, y que estos teóricos musicales tengan razón? Esta pregunta seguirá en tela de juicio pues el oído dice lo contrario.

En un sentido real, se tienen que tomar en cuenta a una gran cantidad de variables como la ejecución, el ataque, el matiz, entre otros. Es por esta razón que se optó analizar espectralmente los intervalos con los drops 2, para evitar la mayor cantidad de variables posibles; ya que las frecuencias y los intervalos son los verdaderamente importantes en el estudio del espectro. Una vez obtenida la información y observado las posibles similitudes espectrales de los acordes, queda por analizar los parámetros psicológicos que éstos poseen en general con respecto al color y en yuxtaposición con los parámetros ya establecidos por la psicología, lo cual es una propuesta para continuar esta línea de investigación.

En un sentido físico, se propuso una igualación de los espectros o firmas armónicas con el espectro visible y con los resultados que se han obtenido en la investigación, además, de las cualidades físicas de las ondas, ya sean mecánicas o electromagnéticas. Aun así el estudio de las firmas fue mucho más complejo de lo que se pensó en un comienzo. El problema principal radica en el sistema temperado que es el que se utilizó en esta investigación, pues son valores arbitrarios aceptados por la sociedad en contra de valores naturales arrojados por la luz misma. En este sentido, analizar la escala pitagórica, la cual surge de la proporción aurea, podría posiblemente arrojar resultados menos arbitrarios y más naturales.

La comparación e igualación de los espectros de los acordes propuestos en esta investigación, versus el espectro lumínico con base en su $f_p \times 10^{14}$, y su espectro visible

obtenido de las frecuencias y la ecuación del apartado de identidades trigonométricas quedan de la siguiente manera:

Tabla 22.

Comparación de los acordes con el espectro visual propuesto en esta investigación con base en los resultados.

Rojo	$\Delta 7$	Algunos Drop2-m7
Amarillo	7	Algunos Drop2-7
Verde	m7	Algunos Drop2-$\Delta 7$
Azul	$\phi 7$	Algunos Drop2-7
Violeta	o7	Único

Conclusiones

En concreto y con base en los resultados obtenidos en esta investigación, la comparación entre sonido y color es un tema escabroso y difícil de concebir por su alto grado de subjetividad. Sin embargo, al contraponer estos dos fenómenos con la ayuda de la física y las matemáticas, es posible observar, dentro de los estándares permitidos por las leyes que rigen estas dos ciencias, y aún a pesar de los sistemas arbitrarios que son utilizados musicalmente en occidente, una comparación que arroja resultados que físicamente favorecen la idea de este proyecto en su etapa ideal, es decir, basada en funciones, matemáticas y graficación de ondas que si bien, no corresponden exactamente con las reales (un C3 ideal es simplemente una onda senoidal de 262.626 Hz, mientras que uno real presenta la misma frecuencia y una onda senoidal, pero con la adición de armónicos pequeños que constituyen el timbre del instrumento). Es por esta razón que se expone la propuesta para continuar esta línea de investigación a través de una aplicación psicológica de los resultados obtenidos con el fin de corroborar los patrones físicos señalados en la investigación y ver las similitudes que poseen éstos con la cognición de algunas personas e intentar corroborar lo que la psicología del color y la música proponen.

Sin embargo, no hay que descartar el hecho de que se trabajó con un sistema que va en contra de las normas naturales. Es decir, el sistema temperado es una metodología que fracciona en partes exactamente iguales una octava; es algo creado por el hombre con la intención de facilitar la ejecución instrumental. En este sentido, corta pedazos de la escala y los deja fuera creando así, inevitablemente un error casi imperceptible para el oído pero, que físicamente podría significar otra cosa o arrojar otros resultados.

Probablemente el utilizar una escala pura daría mayor simetría a los espectros producidos y por ende una igualación más natural con el espectro visible.

Los resultados que se han encontrado en este trabajo son una propuesta más a la gran cantidad de comparaciones que se han realizado para estos dos fenómenos. Estos resultados no son definitivos y la línea de investigación continuará para intentar con la ayuda de la psicología y las teorías físicas existentes, arrojar resultados mucho más precisos. En este sentido, aunque la tecnología y las teorías físicas y matemáticas han tenido un gran avance, lo aplicado de ellas hasta el momento no ha sido suficiente. Y en cuestión de color y sonido falta mucha investigación para poder dar un resultado concreto y definitivo. Al ser un tema susceptible a la sensibilidad, siempre existirá la duda y el cuestionamiento hacia esta confrontación espectral.

Ahora, pido amablemente realizar un experimento mental, como una mera idea de la siguiente hipótesis surgida de esta investigación, olvidando las reglas físicas y psicológicas que nos atan a la realidad actual. Es imposible que la materia que no es luz viaje a la velocidad de la luz, puesto que se requeriría de una cantidad infinita de energía para que esto sucediera, de acuerdo a la Teoría Especial de la Relatividad. Suprimiendo esta regla física general, si se pudiese elevar poco a poco la energía de una onda sonora, este movimiento podría comenzar a generar a su alrededor campos electromagnéticos, idénticos a la onda sonora, con lo que se conseguiría un “sonido visualmente perceptible”. Es una teoría imposible de realizar, al menos con la tecnología actual, ésta sería quizá, la única solución irrefutable al problema de la comparación entre estos dos fenómenos.

Volviendo a la realidad actual, el modelo expuesto en esta investigación se adapta físicamente a las posibilidades perceptuales de nuestro cuerpo y con base en las reglas que rigen estos dos fenómenos en el occidente y el análisis espectral, físico y matemático de los acordes analizados anteriormente versus el espectro lumínico visible.

En conclusión, la comparación del color y la música es posible física y psicológicamente de una gran variedad de formas y de metodologías. Ésta en particular propone una similitud entre el color y los acordes bastante significativa, y no solo eso, el análisis espectral de los cinco acordes populares analizados; arrojó otro tipo de datos que no se esperaban, sobre todo acerca de lo que es estéticamente bello para nuestros ojos y nuestros oídos. Quizá el análisis espectral de los acordes nos esté mostrando un camino para entender un poco más el funcionamiento psicológico de la percepción humana, especialmente de ese maravilloso mundo psíquico-físico de las artes.

Fuentes de información

- Acha, J. (1992 (reimp.2006)). *Crítica del arte. Teoría y práctica*. D.F, México: Trillas.
- ALMA, S. d. (2012). <http://www.sonidosdealma.org>. Recuperado el 4 de Julio de 2017, de <http://www.sonidosdealma.org>: <http://www.sonidosdealma.org/proyecto/>
- autores, V. (2010). *IX Congreso nacional del color*, (págs. 445-7). Alicante.
- Barrientos García, B., & Martínez Jiménez, L. A. (2011). *2 la luz y los colores*. (E. Lopez Alaniz, Ed.) Guadalajara, México: Santana impresoras. Recuperado el 8 de Mayo de 2017, de http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwiek5i9--DTAhWKSvQKHT1pDJYQFggpMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.geociencias.unam.mx%2Fgeociencias%2Fexperimentos%2Fserie%2Flibro2_%2520luz_color.pdf&usq=AFQjCNHPzwcvlNFC_LxcPZlleGDKB9RodQ
- Caivano, J. L. (2004). Armonías del color. *Grupo Argentino del Color*, (19), 2-21.
- ..., & et al. (Octubre, 1994). *ArgenColor 1992. actas del primer congreso argentino del color*, (págs. 27-40). Buenos Aires.
- Cristiá, C., & et al. (Agosto, 2012). Musicólogos sin fronteras: el estudio de la interrelacion música/plástica y sus posibles aportes a la disciplina. *Resúmenes. XX conferencia de la Asociación de Musicología y XVI Jornadas Argentinas de Musicología del Instituto Nacional de Musicología "Carlos Vives.*, (págs. 16-19). Buenos Aires.
- Cultura inquieta. (25 de Abril de 2015). <http://culturainquieta.com>. Recuperado el 4 de Julio de 2017, de <http://culturainquieta.com>: <http://culturainquieta.com/es/arte/musica/item/6265-la-nasa-publica-grabaciones-de-inquietantes-sonidos-del-espacio-asi-suenan-los-planetas.html>
- De los Santos Y., A. (s.f.). www.anibaldesings.com. Recuperado el 24 de Febrero de 2017, de <https://adelossantos.files.wordpress.com/2010/10/teroria-del-color.pdf>
- Déribéré, M. (1967). *El color*. (A. De Alba, Trad.) DF, México: Diana S.A.
- Eisner, E. W. (2004). El papel de las artes en la transformacion de la conciencia. En E. W. Eisner, *El arte y la creación de la mente* (G. Sánchez Barberán, Trad., págs. 17-43). México: Caídos.
- Hales, A., & Finger, R. (2012). www.sonidosdealma.org. Recuperado el 7 de Junio de 2017, de www.sonidosdealma.org: <http://www.sonidosdealma.org/articulo/creando-los-sonidos-de-alma/>
- Haller, E. (2012). *Psicología del color: cómo actúan los colores sobre los sentimientos y la razón*. México: GGMéxico.
- Kandisky, W. (1979). *De lo espiritual en el arte*. (E. Palma, Trad.) Tlhuapán, Puebla, México: Premia.

- Kirkham, S. (2015). *www.sophiekirksam.com*. Recuperado el 8 de Junio de 2017, de www.sophiekirksam.com: <https://www.sophiekirksam.com/hear-the-rainbow>
- Miyara, F. (2005). La música de las esferas: de Pitágoras a Xenakis... y más acá. *Apuntes para el coloquio del departamento de matemáticas*, (págs. 1-18). Recuperado el 16 de Abril de 2016, de www.sectormatematica.cl/musica/esferas/
- Miyara, F. (s.f.). Apuntes para el coloquio del departamento de matemáticas. *La música de las esferas: de Pitágoras a Xenakis... y más acá*. Recuperado el 21 de Abril de 2016, de www.sectormatematica.cl/musica/esferas/
- N. Juslin, P., & Persson, R. (2002). emotional communication. En R. Parncutt, & G. McPherson, *The science & psychology of music performance: creative strategies for teaching and learning* (págs. 219-36). Oxford: New York.
- Netdisseny. (23 de Marzo de 2017). Teorías del color. Benicartó, Castellón, España.
- Pastor Carpi, S. (2013). *Neutrinos: partículas fantasma*. Instituto de física Corpuscular. València: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Pérez Vega, C. (2003). *www.personales.unica.es*. Recuperado el 20 de Octubre de 2015, de [www.personales.unica.es](http://personales.unica.es): <http://personales.unica.es/perezvr/pdf/Sonido%20y%20Audicion.pdf>
- Philips, T. (1 de Noviembre de 2013). <https://science.nasa.gov>. (T. Philips, Editor, & T. Philips, Productor) Recuperado el 15 de Noviembre de 2017, de <https://science.nasa.gov>: https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2013/01nov_ismsounds
- Read, H. (1985). *La educación por el arte*. (L. Fabrican, Trad.) Barcelona: paidós.
- Rocamora, M. (Abril de 2006). *www.eumus.edu*. Recuperado el 8 de mayo de 2017, de http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwjn_m46uDTAhWCxVQKHS-nBdwQFggwMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.eumus.edu.uy%2Feme%2Fcursos%2Facustica%2Fapuntes%2Ffisica-del-sonido.pdf&usg=AFQjCNE2AKs12HwUV64DQvQkphMa6oWrLw&sig2=pF6P
- Roederer, J. (2014). *Acústica y psicoacústica de la música* (1 a ed ed.). (G. Pozzati, Trad.) Buenos Aires: Melos.
- Ros-Fábreyas, E. (2006). Retos de la musicología en la España del siglo XXI: de la reflexión a la aplicación práctica en el aula. *Revista de musicología*, 12- 44.
- Swanitz, D. (2002). *La cultura: todo lo que hay que saber*. (V. Gonzalez Ibáñez, Trad.) España: Santillana ediciones generales, s.l.
- Segués, F. (2007). *www.magrama.gob*. Recuperado el 20 de Octubre de 2015, de www.magrama.gob: http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/contaminacion_acustica_tcm7-1705.pdf

- Sena, A. (s.f.). . *www.adriansena.galeon.com*. Recuperado el 20 de Octubre de 2015, de .
www.adriansena.galeon.com:
<http://adriansena.galeon.com/aficiones2321141.html>
- Sirlin, E. (2006). *Física de la Luz*. Buenos Aires. Recuperado el 8 de Mayo de 2017, de
www.elisirlin.com.ar/11_fisica%20de%20la%20luz.pdf
- Tomasini, M. C. (2007). *www.palermo.edu*. Recuperado el 24 de Febrero de 2017, de
www.palermo.edu:
www.palermo.edu/ingenieria/downloads/CyT6/6CyT%2003.pdf
- www.emisorcoloresyfrecuencias.blogspot.mx*. (s.f.). Recuperado el 20 de Octubre de 2015, de www.emisorcoloresyfrecuencia.blogspot.mx/p/color-longitud-de-onda-frecuencia.html
- www.gczarrias.com*. (s.f.). *www.gczarrias.com*. Recuperado el 20 de Octubre de 2015, de
www.gczarrias.com/ALUMNOS/archivo/disenio/TEMA%204-%20LA%20LUZ%20Y%20EL20%20COLOR.pdf
- www.lpi.tel.uva.es*. (s.f.). Recuperado el 20 de Octubre de 2015, de
http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_05_06/io2/public_html/escalas.html