

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE MÚSICA
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN MÚSICA



Principios de un sistema armónico para la afinación justa

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN MÚSICA
EN
COMPOSICIÓN MUSICAL

PRESENTADA POR

Sergio Antonio Aguilar Aguirre

Tutor: Dr. Manuel Rocha Iturbide



MÉXICO, D.F. 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A mi padre y a mi hijo.

AGRADECIMIENTOS

A mi tía Ofelia por haberme apoyado durante la maestría.

ÍNDICE.....	i
--------------------	----------

INTRODUCCIÓN.....	iii
--------------------------	------------

Capítulo I

Bases científicas del sistema armónico para la afinación justa

1.1 El espectro armónico.....	1
1.2 Consonancia y disonancia.....	2
1.3 Batimentos y banda crítica.....	3
1.4 Percepción de la altura tonal.....	4
1.5 Principio de la fusión tonal.....	6
1.6 Relación entre el sistema armónico tradicional y los armónicos naturales.....	7

Capítulo II

Afinaciones justas occidentales y compositores contemporáneos

Vinculados.....	8
------------------------	----------

2.1 Afinación pitagórica.....	9
2.2 Afinación justa.....	11
2.2.1 Límite.....	15
2.2.2 Escala diatónica y cromática.....	16
2.2.3 Escala de armónicos naturales.....	18
2.2.4 Escala diatónica y cromática de Ben Johnston.....	18
2.3 Temperamentos.....	20
2.4 Compositores contemporáneos vinculados con la afinación justa.....	23

Capítulo III

Principios de un sistema armónico para la afinación justa.....	27
---	-----------

3.1 Cálculo de las frecuencias de los armónicos naturales.....	28
3.2 Denominación de las alturas.....	34
3.3 Relaciones numéricas entre armónicos.....	35

3.4 Jerarquía de los parciales.....	36
3.5 Relaciones entre las subseries.....	37
3.6 Cifrado.....	37
3.7 Transposición.....	38
3.8 Escala transpositora de 24 alturas justas para clavecín.....	41
3.9 Primer sistematización.....	42
3.10 Regiones armónicas de un futuro sistema armónico.....	46

Capítulo IV

Composiciones.....	55
---------------------------	-----------

4.1 Estudios Electroacústicos.....	55
4.1.1 Estudio Seno nº 1.....	56
4.1.2 Estudio Seno nº 2.....	63
4.1.3 Fantasía.....	68
4.2 Estudios para clavecín.....	71
4.2.1 Capricho.....	71
4.2.2 Arquitectura sonora.....	76
4.2.3 Fuga, Canon y Rock.....	80

Conclusiones.....	90
--------------------------	-----------

Bibliografía.....	93
--------------------------	-----------

Apéndice.....	95
----------------------	-----------

Tabla con algunos intervalos en cents de la serie de armónicos naturales.....	95
Partituras de los Estudios para clavecín.....	97
Partitura del Estudio seno nº1.....	109
Partitura del Estudio seno nº2.....	118

INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de esta tesis es establecer los principios de un sistema armónico para la afinación justa. En este sentido los seis Estudios que aquí se presentan tienen la función de demostrar la aplicación práctica del sistema. Antes de llegar a este punto será necesario abordar primero algunos aspectos de la acústica y la psicoacústica que conciernen a nuestro tema. La Física clasifica los tonos como puros y compuestos¹. Los tonos puros son aquellos que se forman con un solo armónico o parcial (onda senoidal), y los tonos compuestos serían aquellos que se forman con un conjunto de ellos. En términos prácticos podríamos decir que todos los sonidos que escuchamos en la naturaleza son compuestos, ya que un tono puro sólo se puede generar con equipo electrónico especializado. Lo interesante aquí es que las características particulares del timbre son determinadas por las proporciones a las que se encuentran combinados los parciales. Nuestro cerebro² interpreta las diferentes combinaciones de parciales armónicos e in-armónicos atribuyéndole a cada mezcla un timbre en particular. Pero más interesante aún es el hecho de que dependiendo del tipo de combinación, el cerebro determina si el tono tiene una altura tonal clara como el violín o una altura ambigua como el platillo.

La mayoría de los parciales que componen el timbre de los instrumentos melódicos y armónicos, se encuentran en proporciones armónicas. Cuando las frecuencias de los parciales de un tono compuesto son múltiplos de una misma frecuencia fundamental, se dice que están en proporción armónica o simplemente que son parciales armónicos. Se pueden calcular los armónicos naturales de una fundamental al multiplicar su frecuencia por números enteros (1, 2, 3, 4, 5, etc.). Una característica interesante de la serie es que los intervalos resultantes se hacen más pequeños conforme esta crece. La secuencia comienza con los intervalos de consonancia perfecta, a los que le siguen las consonancias imperfectas, disonancias, y finalmente batimentos.

¹ En inglés se utiliza la palabra *complex tone* para referirse al tono compuesto, por lo tanto en algunos textos en español pudiera encontrarse el término de tono complejo para referirse al mismo.

² La cóclea se encarga de analizar las frecuencias que componen los sonidos que escuchamos.

Aunque en la antigüedad no se sabía de la existencia de los armónicos naturales, la afinación pitagórica posee algunos de los intervalos que se producen en esta serie. Ahora bien, ¿Por qué en la actualidad se prefiere de manera generalizada el temperamento, a pesar de que en éste se desafinan los intervalos puros que aparecen en la serie de armónicos naturales?. Para encontrar una respuesta nos remontaremos a la antigüedad de la música occidental. Hasta donde se sabe y se cree, ésta fue en su mayoría de carácter monódico³ y la afinación utilizada era pitagórica. Esta afinación cuenta con varias consonancias perfectas pero no permite hacer transposiciones como en el temperamento igual⁴. Claro que esto no debió de afectar mucho el quehacer musical de la época, dado que esta tradición muy probablemente no utilizaba la transposición como parte de su sistema o discurso musical⁵. A pesar de que los antiguos teóricos griegos ya habían tomado en cuenta las consonancias perfectas para afinar la escala diatónica, la práctica musical occidental terminó por inclinarse a utilizar escalas divididas en intervalos iguales, ya que sólo de este modo es posible hacer una transposición perfecta. Lamentablemente para obtener intervalos iguales hay que desafinar ligera pero notablemente los intervalos puros. Los físicos mexicanos Felipe Orduña y Ricardo Boullosa han abordado esta problemática en su artículo llamado Escalas musicales y sus temperamentos, en el que se explican las razones físicas que impiden construir una escala musical compuesta por intervalos perfectamente consonantes, y que además se divida en intervalos iguales⁶.

Existen varios antecedentes dentro de la historia de la música occidental⁷ que hay que tomar en cuenta para entender mejor el tema. Desde la Grecia

³ Partch, H., 1979, *Genesis of a Music*, A dacapo paperback, New York, p. 361.

⁴ Con la afinación pitagórica el círculo de quintas no se cierra. Esto provoca que una de las quinta posibles en la escala sea disonante, volviéndose por lo tanto imposible la transposición. A este intervalo se le conocía como la quinta del lobo.

⁵ El sistema de escritura musical más antiguo es el griego. Éste permite escribir melodías indicando la altura y su duración. Lamentablemente en la actualidad sólo sobreviven algunos restos de partituras, por lo que es difícil saber cómo era la música en la antigüedad.

⁶ Orduña, F. y Boullosa, R., 1998, "Escalas musicales y sus temperamentos", *Revista mexicana de física*, 44 (2), México D.F., pp. 205-210.

⁷ Esta investigación se limitará a mencionar lo ocurrido en Occidente. Por otro lado hay que mencionar que la gran mayoría de las fuentes que hablan sobre afinación justa o temperamento no mencionan las aportaciones de la cultura China. En *Genesis of a Music* de Harry Partch se habla sobre múltiples aportaciones de este

antigua hasta nuestros días, han existido de manera teórica y práctica abundantes propuestas de afinación para la escala diatónica y cromática. Es importante señalar que los vestigios acerca de cómo se afinaba en la antigüedad resultan ser muy oscuros. Por ejemplo, se le adjudica a Pitágoras (¿600-500? a. c.) a partir de textos medievales el primer sistema de afinación de que se tiene noticia en occidente. Sin embargo existe la creencia de que ya se afinaba de esta manera en babilonia hacia el 3500 a. c.⁸. Al no contar con vestigios como podrían ser una grabación o algún manual de afinación, es imposible saber a ciencia cierta cómo se afinaba en la antigüedad⁹. Existen documentos que hablan sobre los estudios y propuestas de afinaciones hechas por Aristógenes, Arquitas, y Tolomeo, pero se desconoce si estas eran utilizadas en la práctica. En este sentido lo más probable es que la afinación pitagórica fuera la más popular por el hecho de ser la más sencilla de realizar. Esta se logra afinando una serie de quintas puras ascendentes y descendentes a partir de una nota base. Otros sistemas como el temperamento y la afinación justa requieren de métodos y cálculos más elaborados.

En la actualidad se le llama entonación justa a cualquier afinación en donde los intervalos estén en proporciones de números enteros (2/1, 3/2, 4/3, etc.). La serie de armónicos naturales o la afinación pitagórica tienen estas características por lo cual serán consideradas dentro de este grupo. Estas afinaciones dejaron de ser populares con la llegada del temperamento por no permitir la transposición, quedando más en el terreno teórico que en el práctico. Aparentemente en la actualidad la situación ha cambiado, ya que existen en internet sitios donde convergen compositores¹⁰, intérpretes y diseñadores de instrumentos relacionados con la afinación justa. Tal es el caso de *The Just Intonation Network*¹¹, o la

país, e incluso se afirma que varios de los cambios históricos de la afinación fueron realizados en China antes que en Occidente.

⁸ West M., 1994, "The Babylonian Musical Notation and the Hurrian Melodic Texts" en *Music & Letters*, Vol. 75, no. 2., pp. 161-179; También se menciona sobre el tema en la página de internet: http://en.wikipedia.org/wiki/Pythagorean_intonation (última consulta el 6 de Noviembre del 2010).

⁹ El hecho de que ninguna partitura antigua señala en que afinación debe ser tocada, sugiere que la afinación es una cuestión de costumbre, tradición, o probablemente que era algo indeterminado, por lo menos hasta la aparición de los instrumentos de teclado, los cuales se encargaron de fijar las alturas.

¹⁰ Las composiciones que se han realizado con afinación justa no tienen un estilo homogéneo. Esta afinación es aplicable a muchos estilos, incluso dentro del sistema atonal.

¹¹ <http://www.justintonation.net/home.html>

fundación *Huygens-Fokker*¹² dedicada a la música microtonal. En esta última se ofrece de manera gratuita el programa para computadora *Escala* diseñado para utilizar escalas en diferentes temperamentos y afinaciones. Por otro lado existen en el mercado instrumentos como el *Tonal Plexus*¹³ y el teclado Chromatone Japonés, lo cual nos habla del interés que existe por las afinaciones no temperadas. A pesar de ello, la afinación justa es todavía un terreno poco explorado, y son pocos los compositores contemporáneos que han trabajado en este campo. El primero en retomar esta afinación en el siglo XX fue el compositor estadounidense Harry Partch, a quien le siguieron sus compatriotas Ben Johnston, Lou Harrison y La Monte Young. En Europa el único movimiento que se relaciona con la afinación justa es el Espectralismo Francés. Esta vinculación es indirecta ya que este movimiento utiliza todo el espectro armónico de los sonidos acústicos como estructura armónica para componer, y dado que todos los sonidos de la naturaleza contienen en diferentes proporciones e intensidades componentes armónicos e inarmónicos, el resultado final será una mezcla de la afinación justa con la afinación de los inarmónicos. En este sentido considero que el Espectralismo Francés realmente no está interesado ideológicamente hablando, en explorar las posibilidades de la afinación justa, sino más bien utilizar el timbre como estructura armónica. El Rumano Horatiu Radulescu quien fue uno de los fundadores de este movimiento en los años 70, explora el espectro armónico utilizando la “Scordatura spectrale”, nombre que le da a la escritura y utilización de las alturas de los armónicos naturales para hacer música. A pesar de esto él nunca se consideró espectralista, aunque su música tiene cierta vinculación por el hecho de explorar el espectro armónico.

El principal problema que encuentro es el hecho de que el sistema armónico tradicional, así como todos los sistemas derivados del mismo como lo son la armonía por cuartas, quintas, *clusters*, polimodal, politonal, etc., no están basados en ningún principio natural. Jean-Philippe Rameau quien sentó las bases de la armonía tradicional, no conocía la existencia de los armónicos naturales

¹² http://www.huygens-fokker.org/index_en.html

¹³ Toda la información acerca del instrumento puede ser consultada en la página de internet: <http://www.h-pi.com/index.html> (última consulta el 7 de Mayo del 2011).

cuando escribió su tratado de armonía publicado en 1722¹⁴. Fue una coincidencia el hecho de que la triada mayor, a la que él llamó acorde perfecto, estuviera contenida dentro de los primeros 5 armónicos naturales. Este acorde junto con la dominante con séptima son los únicos que aparecen dentro de la serie. Por todo lo anterior queda claro que el problema es que no existe un sistema armónico que aproveche las características acústicas y psicoacústicas de la afinación justa. A partir de esta afirmación surge la siguiente pregunta: ¿Es posible diseñar un sistema armónico basado en principios naturales?. Como segundo problema tenemos el hecho de que la afinación justa no permite la transposición. De tal manera que también nos plantearemos la siguiente pregunta: ¿Es posible diseñar una escala justa que permita la transposición?

Como primer Hipótesis podemos decir que si es posible establecer los principios de un sistema armónico para la afinación justa, a través del: análisis de la serie de armónicos naturales; el estudio del fenómeno de la percepción de la altura tonal; los principios de la fusión tonal; y el estudio de los fenómenos que ocurren dentro de la banda crítica. Como segunda Hipótesis podemos decir que es posible diseñar una escala justa que permita la transposición, a través del análisis de las relaciones de frecuencia de los armónicos naturales.

Con el fin de demostrar de manera práctica la aplicación de los principios del sistema, fueron empleados algunos medios electrónicos y el clavecín. En este sentido aunque la afinación justa puede realizarse sin problemas en el clavecín y con limitaciones en otros instrumentos acústicos¹⁵, los medios electrónicos resultan ser los ideales para ejecutar este tipo de afinación, ya que lo pueden lograr de manera exacta y automática, sin tener que esperar a que el intérprete pase por un proceso de aprendizaje del nuevo sistema. Para la composición de los tres Estudios electroacústicos fue empleado un secuenciador, y sólo en el tercero fue empleado además el programa MAX/MSP. Los tres Estudios tienen como objetivo explorar a partir de ondas senoidales las cualidades de la serie de

¹⁴ Rameau, 1971, *Treatise on Harmony*, Dover, New York , pp. v-xxiv.

¹⁵ Sólo los instrumentos que están físicamente temperados por sus trastes, teclas, tubos, pipas, etc. quedarían excluidos de los recursos instrumentales disponibles para la afinación justa. Todos los demás instrumentos, ya sea a través de las digitaciones en los alientos maderas, con la embocadura en los metales, y con la digitación en las cuerdas, son capaces de afinar de manera justa.

armónicos naturales dentro del timbre. Por otro lado, a manera de estudiar las posibilidades armónicas de la afinación justa, fueron compuestas tres piezas para clavecín. En la tercera de ellas titulada Fuga, Canon y Rock, es empleada una escala justa diseñada por mí que permite la modulación y transposición a tres tonalidades diferentes, así como la ejecución de los primeros 19 armónicos de las tres tonalidades.

Los capítulos de esta tesis están organizados de la siguiente manera. En el primer capítulo son expuestas las bases científicas que sustentarán los principios del sistema armónico para la afinación justa que propongo. Esto será hecho de manera sintética ya que existen muchos otros escritos especializados (consultar bibliografía) que explican a profundidad los temas tratados en este capítulo. El segundo capítulo aborda las afinaciones occidentales que se relacionan con este trabajo, así como a los compositores contemporáneos más importantes que han trabajado con la afinación justa. Debido a que la tesis es de carácter teórico y no histórico, no será analizada ninguna de las numerosas obras compuestas para la afinación justa, y me limitaré a mencionar de manera sintética las aportaciones más importantes de los compositores. En este sentido el objetivo general de los dos primeros capítulos, es el de sentar las bases y los antecedentes necesarios para entender los principios del sistema armónico que aquí se propone, así como la propuesta de escala justa transpositora. En este sentido el tercer capítulo es básicamente un pequeño tratado de armonía, en el que aparecen todas las consideraciones y la metodología seguida para desarrollar los principios del sistema que propongo. Por último en el cuarto capítulo son analizadas las seis composiciones hechas durante el proceso de esta tesis.

Quiero aclarar para concluir esta introducción que la intención de esta tesis no es demeritar el sistema armónico tradicional, sino más bien encontrar una manera de crear una nueva tonalidad con base en el conocimiento científico actual. Esta idea surge de la necesidad de encontrar nuevos caminos para crear música. La realidad es que las posibilidades armónicas del temperamento ya fueron agotadas hace mucho tiempo. Todas las posibles combinaciones de los 12 sonidos de la escala ya fueron exploradas por los grandes compositores. Por otro

lado la actitud de la vanguardia en su afán de encontrar nuevos caminos, ha sido la de destruir la tonalidad más que la de construir en favor de ella¹⁶. Es por esto que me he dado a la tarea de desarrollar una posible alternativa que me permita componer música tonal desde una nueva perspectiva. Esta nueva tonalidad pretende ser más apegada a la naturaleza del sonido y de nuestra percepción, que los sistemas armónicos occidentales existentes. Para esto propongo un sistema que analice la armonía a partir de sus características psicoacústicas, y no a partir un cifrado abstracto que no nos dice nada acerca del fenómeno sonoro que se está estudiando.

¹⁶ Witold Lutoslawski hizo esta observación en el discurso pronunciado en 1993, al recibir el premio Polar de la Real Academia de Música de Estocolmo. Lutoslawski, W., 1994, "La música del pasado, del presente y del futuro", *Pauta* 50-51, México D.F., pp.19-27.

Capítulo I

Bases científicas del sistema armónico para la afinación justa

1.1 El espectro armónico

El teorema del Físico francés Jean Baptiste Joseph Fourier (1769-1830) resulta de gran interés para este trabajo. Este dice que cualquier sonido periódico puede ser analizado de manera exacta como la suma de ondas senoidales¹. De tal manera que los parciales (ondas senoidales)² son el componente básico del espectro armónico o timbre de un sonido. Haciendo una analogía podría decirse que las senoidales son como pequeñas partículas que en conjunto forman un compuesto más grande. En acústica se dice que un tono compuesto está formado por varios parciales. Estos parciales pueden estar en proporción armónica, inarmónica³, o en combinación. De hecho, prácticamente todos los sonidos naturales tienen en alguna proporción y amplitud componentes armónicos e inarmónicos. Generalmente la altura que percibimos tiene una relación directa con la fundamental. Esta relación es aproximadamente logarítmica; un intervalo entre 200 y 300 Hz lo percibimos equivalente a uno entre 2000 y 3000 Hz.⁴ La serie de armónicos naturales es entonces una sucesión de los parciales armónicos que están presentes en un tono compuesto. Estos se obtienen multiplicando la frecuencia fundamental por números enteros. De este modo al multiplicar por 1 da la fundamental, por 2 la octava, por 3 la quinta, por 4 la doble octava, etc. (grafico 1.1 y tabla 3.1). Es preciso recalcar que la cantidad de parciales y su intensidad varían de instrumento a instrumento. Aunque los primeros parciales suelen estar

¹ Pierce, J., 1999, "The Nature of Musical Sound" en *The Psychology of Music*, Academic press, Diana Deutsch (editora), San Diego, p. 7.

² Las ondas senoidales equivalen a los parciales que componen el espectro armónico de los sonidos.

³ Los parciales inarmónicos no son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. El espectro armónico de los sonidos que comúnmente catalogamos como ruido, están compuestos en su mayoría por parciales inarmónicos.

⁴ Orduña, F. y Boullosa, R., 1998, "Escalas musicales y sus temperamentos", *Revista mexicana de física*, 44 (2), México D.F., p. 206.

presentes con mayor frecuencia e intensidad, no constituye una regla ya que dependerá de los materiales y forma del instrumento u objeto sonoro, el espectro armónico resultante. En este sentido Thomas Rossing⁵ es el físico contemporáneo que más ha aportado al estudio de la acústica de los instrumentos musicales.



Grafico 1.1 Armónicos naturales de la fundamental “La” afinada a 55 hz.

Con excepción de la fundamental y sus octavas la afinación de los armónicos varía notablemente con respecto de la afinación temperada. Existen varios detalles interesantes que surgen al representar afinaciones justas en el pentagrama. Primeramente tenemos que considerar el hecho de que el pentagrama fue diseñado para registrar los grados de la escala diatónica, y no para registrar su afinación exacta. Durante siglos la afinación de la escala a variado pero los grados de la escala se han registrado en el mismo lugar del pentagrama. Por esta misma razón no se cuenta con espacio para registrar los armónicos nones del 23 en adelante⁶.

1.2 Consonancia y disonancia

El ser humano a través de su percepción ha juzgado históricamente los intervalos musicales como consonantes cuando le producen una sensación de agrado, y como disonantes cuando le son desagradables. Existen razones físicas por las cuales se produce una consonancia o disonancia, pero a fin de cuentas el

⁵ Rossing, T., 2002, *The science of sound*, Pearson Education, Londres.

⁶ En las secciones 3.2 y 3.3 aparecerá una explicación detallada sobre este tema.

fenómeno físico, al ser interpretado por nuestro cerebro, pasa a convertirse en un fenómeno de nuestra percepción. De este modo la diferenciación entre consonancia y disonancia debido a su naturaleza subjetiva, tiende a ser juzgada con diferente criterio según la cultura o la apreciación personal.

Algo determinante para nuestra percepción de consonancia y disonancia es la cantidad de coincidencias entre los parciales de los tonos compuestos a comparar. Por ejemplo, un tono con parciales armónicos de 55 hz, 165hz, 330hz y 495hz., será consonante con un tono con parciales armónicos de 165hz, 330hz, 495hz. y 660hz. Se puede decir de manera general que dos tonos son consonantes cuando la relación de sus frecuencias fundamentales se da a través de números enteros pequeños. En el ejemplo anterior la relación entre las fundamentales de los dos tonos compuestos es de $3/2$ (una quinta). La consonancia es “mejor” mientras más “simple” sea la relación; por ejemplo, los intervalos más consonantes son el unísono ($1/1$), la octava ($2/1$), la quinta ($3/2$), etc. ⁷

1.3 Batimientos y banda crítica

Las sensaciones que provocan la superposición de dos tonos simples de igual amplitud y con una diferencia de frecuencia pequeña, varían notablemente según el tamaño de esta diferencia. Si tenemos dos tonos a una misma frecuencia y uno de ellos comienza a incrementarla gradualmente, lo primero que percibiremos es el mismo tono pero con una altura ligeramente más alta. Después comenzaremos a percibir una oscilación del tono o batido. La frecuencia del batido se incrementara a medida que la diferencia de frecuencias se haga más grande. Mientras que la diferencia sea aproximadamente menor a 10 Hz los batidos serán percibidos claramente. Cuando la frecuencia de batido exceda los 15 Hz la sensación de batidos desaparecerá, dando lugar a una sensación de rugosidad o sensación desagradable. Poco después llegaremos al límite de discriminación de frecuencia en donde comenzaremos repentinamente a escuchar dos tonos por

⁷ Orduña, F. y Boullosa, R., 1998, “Escalas musicales y sus temperamentos”, *Revista mexicana de física*, 44 (2), México D.F., p. 206.

separado, sin embargo la rugosidad aún persistirá. Conforme se sigan separando las frecuencias llegaremos al límite de la banda crítica. Sólo después de pasar esta banda comenzaremos a percibir los dos tonos puros con claridad. El ancho de la banda crítica es aproximadamente de una tercera menor a lo largo del registro medio y agudo, creciendo progresivamente en el registro grave hasta casi una octava. Es por esta razón que en la práctica musical no es común usar intervalos armónicos pequeños en el bajo⁸.

1.4 Percepción de la altura tonal

Un fenómeno esencial para esta tesis es la capacidad que tenemos para asignarle una altura determinada a un conjunto de ondas senoidales. Esto se debe a que los armónicos son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. Dos parciales contiguos forman par con esta misma frecuencia. Es por esto que todos los armónicos superiores al sonar juntos, producen una sola sensación de altura que corresponde a la fundamental. Se le llama “seguimiento de la fundamental” al mecanismo auditivo que nos permite asignar una sensación de altura única a un tono compuesto de un instrumento musical⁹.

Incluso tenemos la capacidad de asignarle una sola altura a una serie de parciales armónicos que no contenga la propia frecuencia fundamental y algunos de sus múltiplos. Un ejemplo clásico sería el hecho de que al escuchar música a través de bocinas pequeñas, aún somos capaces de percibir correctamente la altura de los sonidos graves, esto a pesar de que las frecuencias fundamentales de esos sonidos no están siendo reproducidas por las bocinas. Esto es porque se necesitan bocinas grandes para reproducir sonidos graves. El primero en observar el fenómeno de la fundamental ausente fue Seebeck en 1841, pero fue hasta 1938 que Schouten formuló la teoría que lo explica (periodicity pitch theory). Varios científicos han intentado averiguar cuál es el mínimo de parciales necesarios para experimentar esta sensación. Smoorenburg comprobó en 1970 que con sólo el

⁸ Roederer, J., 1997, *Acústica y Psicoacústica de la Música*, Ricordi, Buenos Aires, pp. 37-46.

⁹ *Ibid.* pp. 57-58.

sexto y séptimo parcial es posible. Cuando un espectro armónico no tiene ninguno de los primeros 7 parciales será percibido con una altura tonal ambigua. Por ejemplo, la combinación de dos frecuencias sinusoidales, una de 900hz y otra de 1100hz, serán percibidas como una altura ambigua, ya que existen dos posibles fundamentales¹⁰ que corresponden aproximadamente a 180 y 220hz. Esto a pesar de que las frecuencias de 900 y 1100hz podrían ser los armónicos 9 y 11 de una fundamental a 100hz¹¹. Por otro lado, Plomp y Ritsma (1967) descubrieron que existe un rango de frecuencias que es más tomado en cuenta por el oído para definir la altura de un espectro armónico. Este rango mejor conocido como *región dominante* comprende aproximadamente de los 500 hasta los 2000hz¹².

Existe una explicación alternativa en donde el patrón *espacial* producido por el estímulo de los dos tonos a lo largo de la membrana basilar es analizado y equiparado lo más posible a configuraciones “familiares” (por ejemplo a las posiciones de las regiones de resonancia de armónicos vecinos). Cuando se logra una correspondencia, se produce una sensación de altura; cuando más de una correspondencia “aceptable” es posible, pueden resultar alturas ambiguas¹³. Estas dos explicaciones del mecanismo de percepción de altura, nos sugieren de algún modo que existen diferentes estrategias de audición. Por otro lado existen teorías que intentan explicar porque desarrollamos como humanidad la capacidad de percibir como una unidad a todos los componentes armónicos de un tono complejo. Una de ellas se basa en las explicaciones de la Gestalt acerca de la percepción humana, en donde se toman en cuenta hechos como el que los componentes armónicos de un sonido complejo están presentes siempre simultáneamente, así como que desde el principio de la humanidad hemos estado expuestos como especie a estos componentes al hablar o al escuchar hablar a los demás. A esto le podemos sumar la exposición que tienen los niños pequeños a los cantos maternos. Hecho significativo ya que la voz cantada tiene muchos

¹⁰ Esto depende del contexto en el cual el estímulo es presentado.

¹¹ Roederer, J., 1997, *Acústica y Psicoacústica de la Música*, Ricordi, Buenos Aires, pp. 58-60.

¹² Rasch., R y Plomp, R., 1999 “The perception of musical tones” en *The Psychology of Music*, Academic press, San Diego, pp. 93-98.

¹³ Roederer, J., 1997, *Acústica y Psicoacústica de la Música*, Ricordi, Buenos Aires, p. 60.

componentes armónicos, así como la voz hablada principalmente en la pronunciación de las vocales. Todo esto puede ser visto como un proceso de aprendizaje de la percepción.

1.5 Principio de la fusión tonal

El concepto de fusión tonal es manejado por autores como Huron, DeWitt y Crowder. Ellos señalan que la fusión tonal es la tendencia de algunas combinaciones de tonos complejos a entrar en cohesión en una misma imagen sonora. Este fenómeno funciona de manera similar al de la percepción de altura tonal que acabamos de explicar. David Huron¹⁴ menciona que la fusión tonal es más probable cuando las alturas de los tonos compuestos están en una relación interválica más simple, y cuando el contenido espectral combinado de ellas corresponda con una misma serie armónica hipotética. Los intervalos que más favorecen la fusión tonal en orden decreciente son el unísono, la octava y la quinta. A estos intervalos les siguen las consonancias imperfectas y después las disonancias. El autor propone utilizar los resultados experimentales relativos a la fusión tonal para ampliar la terminología de la tradición musical. El clasifica las consonancias perfectas con una fusión tonal aumentada, a las consonancias imperfectas con una fusión tonal comparativamente baja, y a las disonancias con una fusión tonal disminuida. Para él por siglos los teóricos musicales confundieron a la consonancia con la fusión tonal. La confusión se originó de amalgamar el concepto de “sonido suave” con el de “sonar como un solo sonido”. La creación musical medieval tendía a favorecer la idea de “sonar suavemente y sonar como un solo sonido”, mientras que en los siglos subsecuentes la creación musical tendió a favorecer la idea de “sonar suavemente” y “sonar como muchos sonidos”.

¹⁴ Huron, D., 2005, *A derivation of the rules of voice-leading from perceptual principles*, University of Waterloo, Canada, pp. 25-28.

1.6 Relación entre el sistema armónico tradicional y los armónicos naturales

El matemático, filósofo, y teórico musical francés Marin Mersenne (1588-1648), fue el primero en mencionar la existencia de alturas dentro del sonido (parciales armónicos). El señala en su tratado *Harmonie Universelle* publicado en 1636-1637¹⁵, que se pueden apreciar tonos arriba de una nota dada por un instrumentos de cuerda. En “Los sonidos de la música” Pierce menciona que a partir de estos descubrimientos, el compositor y teórico Francés Jean Philipp Rameau (1683-1764) pudo organizar los acordes conforme a la fundamental que los origina, independientemente de la inversión en que se encontraran. Sin embargo Philip Gossett traductor de la primer versión en ingles de su tratado de armonía, asegura que Rameau no conocía la existencia de los armónicos naturales cuando lo escribió. Antes de él los acordes en inversión se consideraban acordes diferentes sin vinculación alguna. Gracias a que él le atribuyó el carácter definido de una triada a un bajo fundamental, fue posible asociar las diferentes inversiones como un mismo acorde o grado. Sin embargo Rameu no había leído a Joseph Sauveur quien en 1700 había publicado las primeras evidencias de la existencia de los armónicos en *Historie de l'Académie Royale des sciences* (Paris, 1700/01)¹⁶. Fue hasta la *Génération harmonique* escrita en 1731 que Rameau discutió por primera vez la relación entre sus reglas y el fenómeno acústico del sonido. Con todo y esto las reglas de su sistema se mantuvieron prácticamente igual¹⁷. Resulto ser una coincidencia que la triada mayor obtenida con una metodología matemática, se encontrara contenida dentro de los primeros 5 armónicos naturales. Esto es claro si tomamos en cuenta que sólo el acorde mayor con séptima menor aparece dibujado en la serie, ya que a partir del octavo armónico se genera un gran *cluster*. De ahí en fuera el resto de los acordes no tienen cabida ni relación con la serie.

¹⁵ Pierce, J., 1999, “The Nature of Musical Sound” en *The Psychology of Music*, Academic press, San Diego, p. 3.

¹⁶ Rameau, J., 1971, *Treatise on Harmony*, Dover, New York, p. xii.

¹⁷ *Ibid.* p. xxi.

Capítulo II

Afinaciones occidentales y compositores contemporáneos vinculados

Los factores que han determinado en gran medida las transformaciones históricas de la afinación occidental han sido el gusto por las consonancias, y la búsqueda por un sistema de afinación que permita la transposición. En las tradiciones monódicas antiguas anteriores al temperamento, eran preferidas las consonancias perfectas en los intervalos de la escala (afinación pitagórica y entonación justa). Estas escalas están afinadas con respecto de una tónica, o dicho de otro modo, están diseñadas para sonar más consonantes en una sola tonalidad. Esto funcionó adecuadamente porque hasta donde se sabe las tradiciones musicales antiguas eran básicamente melódicas, además de que tendían a quedarse en una misma tonalidad o modalidad. A partir del nacimiento de la música polifónica en la edad media, la dificultad se centro en conseguir una afinación que además tuviera intervalos armónicos consonantes. El contrapunto imitativo junto con la creciente tendencia a la modulación terminaron por colapsar el sistema de afinación pitagórico. Y es que sólo al tener la misma proporción todos los intervalos las escalas sonaran iguales en todas las tonalidades, logrando así una transposición idéntica. El único problema es que para afinar los intervalos iguales hay que desafinan ligera pero perceptiblemente las consonancias perfectas. A lo largo de varios siglos fueron propuestos varios tipos de temperamentos aproximados, hasta que finalmente quedo establecido de manera homogénea a finales del siglo XIX el temperamento igual¹⁸. Lamentablemente por razones físicas resulta que es imposible construir una escala temperada perfecta. Esto es porque no es posible construir una escala que contenga sólo intervalos consonantes y que además esté dividida en intervalos iguales; por otro lado no existe ninguna escala que permita

¹⁸ Orduña, F. y Boullosa, R., 1998, "Escalas musicales y sus temperamentos", *Revista mexicana de física*, 44 (2), México D.F., p. 208.

acordes justos y que estos acordes sean posibles en todas las tonalidades¹⁹. Aún en los temperamentos de más de 12 divisiones es imposible obtener con exactitud todas las consonancias. La única forma de obtenerlas es afinando los intervalos de manera justa, como múltiplos enteros de una fundamental o nota raíz. A continuación serán analizadas algunas afinaciones occidentales justas, y será expuesta la problemática del temperamento. Por último se hará una breve mención de las principales escuelas y compositores contemporáneos relacionados con la afinación justa.

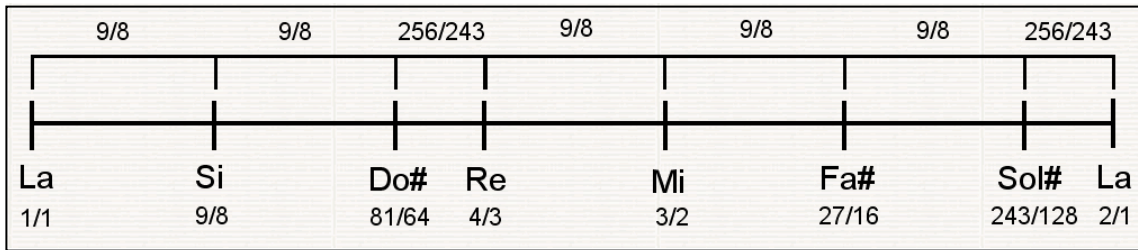
2.1 Afinación pitagórica

Este sistema de afinación se le adjudica a Pitágoras (¿600-500? a. c.) a partir de textos medievales²⁰. Sin embargo se cree que el sistema ya era utilizado en Babilonia hacia el 3500 (a. c.). Sea cual sea la fecha y la procedencia podemos estar seguros de que es el sistema de afinación más antiguo usado en occidente. El sistema obtiene los sonidos de la escala encadenando quintas perfectas (3/2) ascendentes y descendentes a partir de una nota preestablecida (círculo de quintas). Una vez calculadas las alturas se procede a octavarlas hacia arriba o hacia abajo el número de veces que sea necesario, hasta formar una escala dentro del rango de una octava²¹. En la grafica 2.1 aparecen las proporciones de los intervalos que se generan al afinar la escala diatónica y cromática con el sistema de Pitágoras. Para evitar confusiones y crear homogeneidad el “LA” será utilizado como tónica de todas las escalas y como fundamental de la serie de armónicos naturales.

¹⁹ *Ibid.* p. 205.

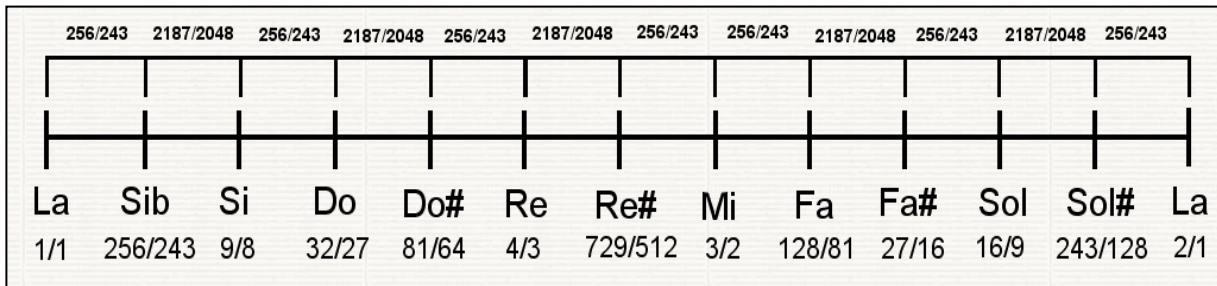
²⁰ Información obtenida en Internet el 7 de Mayo del 2011, en la página:
http://en.wikipedia.org/wiki/Pythagorean_intonation

²¹ Sethares, W., 1999, *Tuning, Timbre, Spectrum, Scale*, Springer, Londres, pp. 50-54; Roederer, J., 1997, *Acústica y Psicoacústica de la Música*, Ricordi, Buenos Aires, pp. 192-193; Tirso, O., 1954, *Acústica musical y organología*, Ricordi, Buenos Aires, pp. 71-72.



Gráfica 2.1 Escala diatónica Pitagórica

La afinación de la escala diatónica solo contiene un tipo de tono y de semitono. Cuenta con una octava, quinta y cuarta perfectas, así como con los armónicos 9 y 27. Su único defecto es la ausencia de la tercera mayor justa, la cual debería de tener la proporción de 5/4 en vez de 81/64.



Gráfica 2.2 Escala cromática pitagórica

La afinación cromática se caracteriza por tener 2 tipos diferentes de semitonos y por su imposibilidad física de cerrar el círculo de quintas. Esto se debe a que el intervalo justo de 3/2 es demasiado grande, y se pasa de largo a la hora de querer empatar la altura que comenzó el ciclo. Si generamos una serie de quintas perfectas ascendentes y descendentes a partir de la nota “La” obtendremos el siguiente orden.

Sib	Fa	Do	Sol	Re	La	Mi	Si	Fa#	Do#	Sol#	Re#	La#
256/243	128/81	32/27	16/9	4/3	1/1	3/2	9/8	27/16	81/64	243/128	729/512	2187/2048

Tabla 2.1

En un sistema temperado La# y Sib tendrían la misma afinación, algo que no pasa en el sistema pitagórico ya que el círculo nunca se cierra. Esta diferencia de afinación es de 23.5 centésimos de semitono (cents), conocida en la antigüedad como “coma Pitagórica”. Para corregir este desajuste natural el La# es suplido por el Sib, lo que ocasiona una quinta disonante conocida como la “quinta del lobo”²². Esta quinta imposibilita que suenen igual todas las tonalidades. Se cree que la afinación pitagórica fue muy popular y tal vez de uso generalizado en Europa desde la antigüedad hasta antes de que el intervalo de tercera comenzara a ser empleado como consonancia en el siglo XV²³. Otro factor que debió de haber ayudado a la popularidad del sistema es que es muy fácil lograrlo, ya que solo utiliza los intervalos de quinta y octava para obtener las alturas de la escala. Hoy en día es rara vez utilizado. A continuación podemos observar una tabla que muestra la desafinación en cents de cada una de las notas de la escala con respecto del temperamento igual.

Altura	Desafinación en cents con respecto del temperamento	Altura	Desafinación en cents con respecto del temperamento
A	0	D#	+12
A#	-10	E	+2
B	+4	F	-8
C	-6	F#	+6
C#	+8	G	-4
D	-2	G#	+10

Tabla 2.2

2.2 Afinación justa

Cualquier afinación que produzca intervalos en proporciones de números enteros (3/2, 4/3, 16/15, etc.) es denominada como afinación justa. La serie de armónicos

²² Stanley, S. (editor), 2001, *The new Grove Dictionary of Music and Musicians*, Grove, Oxford, vol. 27, p. 461; También existe Información al respecto en la página de internet: http://en.wikipedia.org/wiki/Wolf_fifth (última consulta el 14 de Junio del 2011).

²³ Stanley, S. (editor), 2001, *The new Grove Dictionary of Music and Musicians*, Grove, Oxford, vol. 20, pp. 643-645; También existe Información al respecto en la página de internet: http://en.wikipedia.org/wiki/Pythagorean_intonation (última consulta el 28 de Abril del 2011).

naturales posee estas proporciones. De este modo las alturas de cualquier afinación justa pueden ser vistas como parciales de una misma serie armónica. En teoría incluso una proporción lejana de la serie es considerada un intervalo justo (325/285), pero en la práctica se prefieren proporciones más simples que a la postre serán más consonantes. Siendo estrictos la afinación pitagórica entra en esta categoría, volviéndose la afinación justa más antigua que hasta ahora se conoce. Después de Pitágoras existieron otras propuestas de afinación tales como las hechas por Arquitas (400 a. c.) nativo de Tarento hoy Italia. Este filósofo, matemático, general, hombre de estado y amigo de Platón, propuso sustituir el intervalo puro de tercera $5/4$ por la proporción pitagórica de $81/84$, y el intervalo de tono "pequeño" de $9/8$ por el tono "grande" de $8/7$. Dídimo filósofo de la época de Nero (54-68 d. c.) introdujo la combinación de tonos $9/8$ y $10/9$ en la escala diatónica, y sustituyó el semitono de $16/15$ por uno más pequeño de $28/27$. Eratóstenes (276-196 a. c.) quien fuera director de la biblioteca de Alejandría, se le adjudica a través de textos de Tolomeo ser el primero en proponer la proporción aritmética²⁴ para la división de la longitud de cuerda. También es conocido por sustituir el intervalo de tercera menor puro $6/5$ por la tercera menor pitagórica $32/27$. Tolomeo (139 - ? d. c.) nativo de Alejandría, quien era matemático, astrónomo y compilador de teoría musical, no estaba conforme con la afinación de Pitágoras y Aristógenes. El fue el primero en proponer la escala diatónica (secuencia de Tolomeo) en proporciones más simples (gráfica 2.3)²⁵.

También existen vestigios a partir del Medievo acerca de la preocupación por las imperfecciones de la afinación pitagórica. Tal fue el caso de Theinred of Dover y Walter Odington, teóricos británicos que sugirieron que la afinación apropiada para la tercera mayor tenía que ser $5/4$ y no el $81/64$ de la escala pitagórica. Algunos tratados de clavicordio del siglo XV toman en cuenta la afinación exacta del quinto y séptimo armónico. Se sabe que los intervalos que utilizan el quinto armónico fueron introducidos por Ramos de Pareja en la corriente

²⁴ En términos prácticos significa dividir la longitud de la cuerda o de cualquier objeto sonoro en partes iguales. Es importante aclarar que este tipo de división no genera en nuestra percepción la sensación de intervalos musicales iguales, y no tiene nada que ver con los procedimientos usados en el temperamento.

²⁵ Partch, H., 1979, *Genesis of a Music*, A dacapo paperback, New York, pp. 362-397.

principal del renacimiento en 1482, y fue él el primero en sistematizar la afinación de la escala cromática de manera justa, aunque hay que aclarar que él no tenía intenciones de llevar esta afinación al terreno de la práctica²⁶. Se sabe también que el teórico y compositor del siglo XVI Gioseffo Zarlino argumentaba que los buenos cantantes podrían cantar a capela en afinación justa, entonando de manera flexible de modo que pudieran sortear las “quintas del lobo”. A partir de esta época los físicos comenzaron a interesarse por explicar la naturaleza de la consonancia, así como de la entonación justa. Pero fue el físico Marin Mersenne en 1636 quien dio el argumento científico para demostrar la superioridad de los intervalos de entonación justa. Este argumento es el hecho de que las consonancias perfectas no generan batimientos. En el siglo XVIII el científico Leonhard Euler desarrollo una elaborada teoría matemática de la estructura tonal basado en la entonación justa (*Tentamen novae theoriae musicae* 1739). En ella clasifica las graduaciones de consonancia y disonancia de los intervalos, acordes y progresiones armónicas. Al principio Euler rechazó los intervalos con el séptimo armónico, pero reconoció al igual que Mersenne y Huygens que si fueran introducidos en la música, ésta sería llevada a un nivel más elevado²⁷. Otros ejemplos de científicos y músicos que han sido atraídos por la afinación justa reconociendo su potencial musical son: Alexander Ellis, Arnold Schoenberg, Henry Cowell, Wilfrid Perrett y Kathleen Schlesinger.

Por otro lado existen ejemplos de instrumentos musicales de más de 12 sonidos por octava diseñados para la afinación justa. El primer diseño de un teclado fue hecho por Francisco Salinas en el siglo XVI. Este permite 22 alturas por octava pero fue construido hasta el 2001 por Willard Martin y Christopher Stemberidge²⁸. Los primeros ejemplares datan del siglo XIX, tal es el caso del Organo construido por Thomas Perronet Thompson, el cual producía hasta 40 alturas por octava²⁹. Otro instrumento creado en este siglo fue el “Voice

²⁶ Stanley, S. (editor), 2001, *The new Grove Dictionary of Music and Musicians*, Grove, Oxford, Vol.13, p. 291.

²⁷ *Ibid.* pp. 291-292.

²⁸ Información obtenida en Internet el 10 de Septiembre del 2010, en la página: <http://www.h-pi.com/eop-keyboards.html>

²⁹ Partch, H., 1979, *Genesis of a Music*, A dacapo paperback, New York, pp 391-393.

Harmonium” diseñado por el británico Colin Brown³⁰. Este cuenta con cinco octavas de registro y cada una está dividida en más de cuarenta alturas. El instrumento fue diseñado para generar 15 escalas mayores y 15 menores en afinación justa. Brown también se percató de que la escala mayor o secuencia de Tolomeo está implícita en la serie de armónicos naturales. En el siglo XX fueron diseñados varios instrumentos. Una de las personas más prolíficas fue el compositor estadounidense Harry Partch (1901-1974)³¹, quien además fue un arduo promotor de este sistema de afinación. Cabe señalar que sus instrumentos también fueron diseñados como esculturas sonoras, ya que buscaba en ellos un producto estético y funcional. Otros ejemplos de este siglo son: El teclado de Alain Danielou para ejecutar música indu; El Organo de pipa enarmónico de Martin Vogel que permite acceder al límite 7; y el teclado de Ervin Wilson que es una versión modificada del teclado de Bosanquet`s. Ya en nuestro siglo XXI con la ayuda de la tecnología es relativamente fácil acceder a cualquier tipo de afinación. Incluso existen en el mercado teclados electrónicos como el Chromatone Japones diseñado por Von Janko, y el instrumento Estadounidense *Tonal Plexus*³². Este último consiste en una serie de teclados diseñados y fabricada a mano por Aaron Andrew Hunt desde 1996. Estos instrumentos permiten hasta 211 divisiones por octava y cuentan con un banco de datos con afinaciones históricas, además de que permiten personalizar la afinación del instrumento como el operador desee.

Hemos visto que con el paso del tiempo el número de compositores, músicos, y constructores de instrumentos interesados en la afinación justa ha crecido considerablemente, al grado de que llegó a existir una red llamada *The Just Intonation Network* que reunía compositores, músicos y diseñadores de instrumentos. Esta contaba con miembros de 14 países y 36 estados de los Estados Unidos de América. Fue fundada en 1984 pero lamentablemente en el 2008 dejó de ser atendida la página de internet, eliminando cualquier posibilidad de hacer contacto. Huygens-Fokker³³ es otra organización que se relaciona

³⁰ *Ibid.* pp. 440-443.

³¹ Partch, H., 1979, *Genesis of a Music*, A dacapo paperback, New York, pp. 95-108.

³² Información obtenida en Internet el 11 de Junio del 2010, en la página: <http://www.h-pi.com/index.html>

³³ Información obtenida en Internet el 13 de Enero del 2010, en la página: <http://www.huygens-fokker.org>

indirectamente con la afinación justa, ya que su objetivo es promover la música microtonal en general. En su página de internet se puede obtener de manera gratuita el programa *Escala* para computadora, mismo que permite utilizar escalas en diferentes temperamentos y afinaciones. Lamentablemente, aún con todo lo anterior, el interés que existe por el temperamento igual comparado con el de la afinación justa, es evidente y abismal.

2.2.1 Límite

El concepto de límite fue utilizado por primera vez en *Genesis of a Music* de Harry Partch. Hoy en día se sigue utilizado para indicar cuál es el intervalo justo más lejano que se puede ejecutar en una determinada escala, o bien para brindarnos información sobre un determinado intervalo. Existen 2 tipos de límite: el límite non y el límite primo. El intervalo de $9/8$ (tono) por ejemplo, tiene un límite non de 9 por ser este el número non más alto de la fracción; pero su límite primo es 3 porque al factorizar la fracción queda esté como el mayor número primo. Es decir, 9 puede ser factorizado como 3×3 y 8 como $2 \times 2 \times 2$. Este número llamado límite toma relevancia a la hora de analizar los diferentes sistemas de afinación y determinar que tipos de intervalos utiliza. El límite primo es el más útil para esto ya que nos indica que tipo de intervalos pueden ser utilizados dentro de una escala. Por ejemplo, la escala diatónica Justa tiene un límite primo 5, esto quiere decir que los intervalos de la escala no van más allá del intervalo de tercera mayor pura. Para entender mejor esta idea observemos la tabla 2.3³⁴. A partir de que se generó la conciencia del límite de las afinaciones, comenzó una especie de carrera para conquistar el próximo límite. Con el paso del tiempo se han propuesto nuevas divisiones para la octava que permiten alcanzar límites cada vez más lejanos.

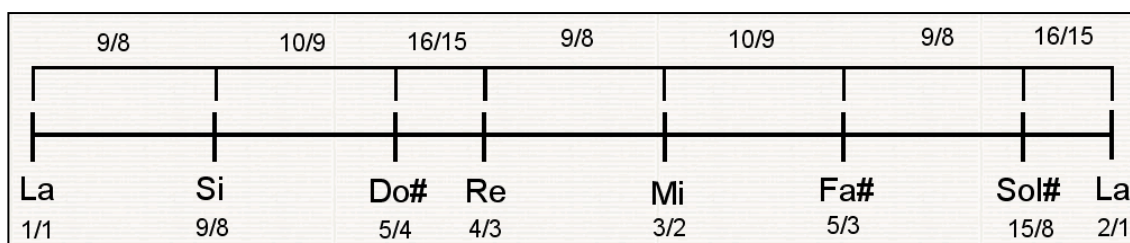
³⁴ Información obtenida en Internet el 7 de Mayo del 2011, en la página: [http://en.wikipedia.org/wiki/Limit_\(music\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Limit_(music))

Notas	La	Si	Do#	Re	Mi	Fa#	Sol#	La
Proporción de las notas con respecto de la tónica	1/1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2/1
Límite	1	3	5	3	3	5	5	1
Tamaño del intervalo	9/8	10/9	16/15	9/8	10/9	9/8	16/15	
Límite	3	5	5	3	5	3	5	

Tabla 2.3

2.2.2 Escala diatónica y cromática

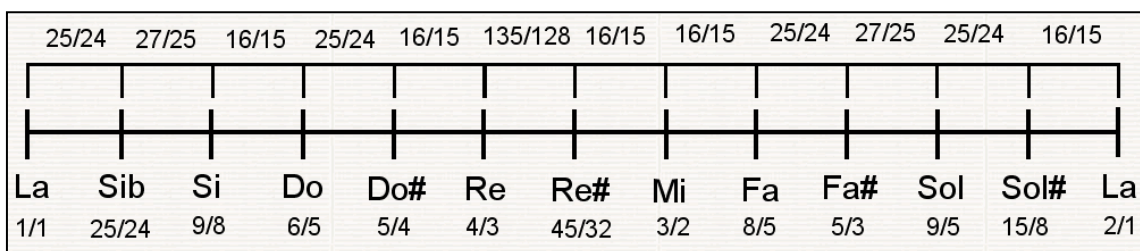
A continuación aparecen las proporciones de la escala diatónica con afinación justa (secuencia de Tolomeo)³⁵.



Gráfica 2.3 Escala diatónica con afinación justa

La escala se compone de 3 tipos diferentes de intervalo: el semitono (16/15), el tono menor (9/8) y el tono mayor (10/9). A diferencia de la afinación pitagórica que solo utiliza la quinta y la octava para encontrar los sonidos de la escala, en la entonación justa además se emplea el quinto armónico o tercera mayor (5/4).

³⁵ En el libro de *Acústica musical y organología* de Tirso de Olazabal, es atribuida esta afinación a Aristógenes. pp. 70-71. Esto parece ser erróneo ya que todas las fuentes reconocen a Tolomeo como autor.



Gráfica 2.4 Escala cromática con afinación justa

Como ya dijimos el primer teórico en proponer la afinación justa de la escala cromática fue Ramos de Pareja. El método es a través de intervalos de quinta y tercera desde la tónica. Comenzando en la tónica "La" se superponen una tercera ascendente (Do#) y una tercera descendente (Fa); a partir de estas notas se superponen quintas descendentes y ascendentes hasta completar las 12 alturas de la escala. En la siguiente tabla aparecen desplegadas las notas de la escala³⁶.

Factor	1/(3*3)	1/3	1	3	3*3
5		5/3 F# 5/3	5 Do# 5/4	15 Sol# 15/8	45 Re# 45/32
1	1/9 Sol 9/5	1/3 Re 4/3	1 La 1	3 Mi 3/2	9 Si 9/8
1/5	1/45 Mib 64/45	1/15 Sib 16/15	1/5 Fa 8/5	3/5 Do 6/5	

Tabla 2.4

Por último en la tabla 2.5 es comparada la afinación temperada con la justa.

Altura	Desafinación en cents con respecto del temperamento	Altura	Desafinación en cents con respecto del temperamento
A	0	D#	-10
A#	-29	E	+2
B	+4	F	+14
C	+16	F#	-16
C#	-14	G	+18
D	-2	G#	-12

Tabla 2.5

³⁶ La información obtenida en Internet el 31 de Julio del 2008 fue transportada de DO a LA. Página: http://en.wikipedia.org/wiki/Just_intonation

2.2.3 Escalas de armónicos naturales

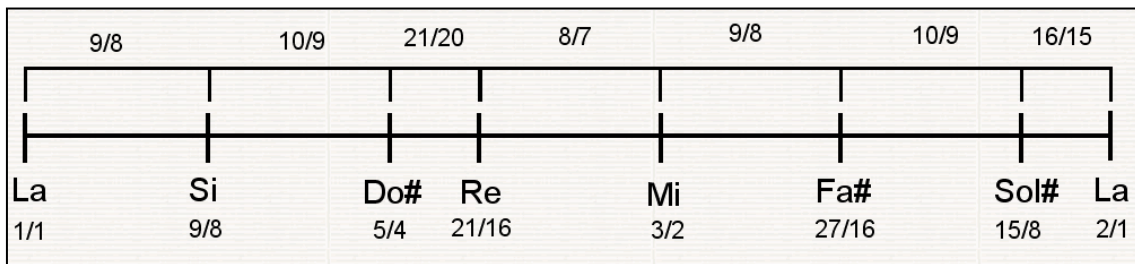
En *Tune, Timbre, Spectrum, Scale*, William Sethares³⁷ propone una alternativa un tanto obvia para explorar la serie de armónicos naturales. Él propone crear escalas basadas directamente en la serie armónica. La serie conforme crece contiene mayor número de notas por octava. Sethares propone usar esta división natural de la octava como una escala. Por ejemplo, si empleamos la octava entre los parciales 8 y 16 obtenemos una escala natural de 8 alturas: (La), 9 (Si), 10 (Do#), 11(Re#), 12 (Mi), 13 (Fa), 14 (Sol) 15 (Sol#) y 16 (La); o si empleamos los armónicos de la octava entre los parciales del 16 al 32 obtendremos una escala natural de 16 alturas, y así sucesivamente. Al mismo tiempo Sethares reconoce que el uso de estas escalas puede ser incluso prehistórico. Menciona las flautas de pan encontradas en Nasca Perú, afinadas bajo este principio, y a los antiguos instrumentos de metal que no poseen pistones, así como a las cornetas que solo pueden producir los armónicos de la fundamental a la que están afinadas.

2.2.4 Escala diatónica y cromática de Ben Johnston

Esta afinación fue diseñada por Ben Johnston³⁸ específicamente para la Suite para piano microtonal compuesta en 1977. A pesar de que es sólo una más de las afinaciones justas que se han propuesto para la escala cromática, a mí en lo particular me parece la mejor, por contener todos los límites primos hasta llegar al 19. De este modo afina cada una de las alturas de la escala como parciales armónicos de una fundamental, sin salirse de la escala diatónica y cromática. Para construir la escala es necesario establecer una tónica o fundamental que en este caso es "La". Después se deben de afinar cada una de las alturas como si fueran sus armónicos naturales, para después ser octavados descendientemente hasta formar una escala dentro de una octava. La escala diatónica se compone por los armónicos: 1 (La), 9 (si), 5 (do#), 21 (re), 3 (mi), 27 (fa#) y 15 (sol#).

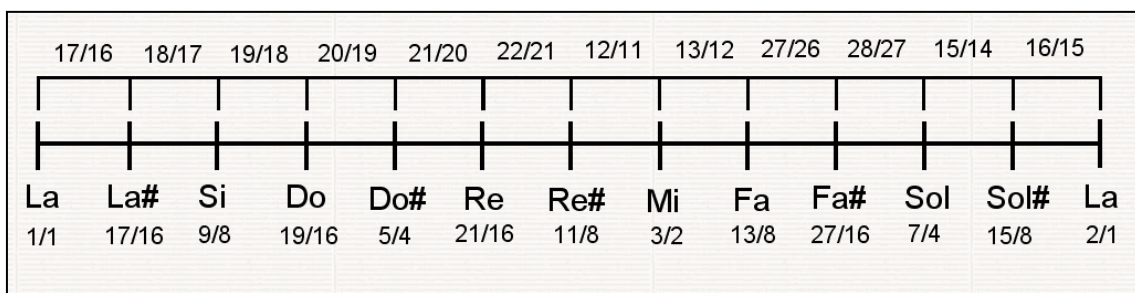
³⁷ Sethares, W., 1999, *Tuning, Timbre, Spectrum, Scale*, Springer, Londres, pp. 65-66.

³⁸ Sin saberlo en el 2010 diseñe una escala con las mismas proporciones que la propuesta por Johnston.



Gráfica 2.5 Escala diatónica de B. Johnston

Haciendo una comparación general podemos decir que esta afinación tiene un límite non 27, que es más alto que el límite 17 de la secuencia de Tolomeo. Pero en cuanto al límite primo este resulta ser de 5 para las dos. La afinación de Johnston sacrifica un poco la consonancia con el fin de contener un límite non y primo más lejano. El intervalo de cuarta La-Re (21/16) por ejemplo, es menos consonante que la cuarta de la escala justa de Tolomeo (4/3). Esto se debe a que en la serie armónica de “La”, el parcial que equivale al “Re” aparece hasta el lugar 21. Otra característica de esta afinación son las proporciones de sus tonos y semitonos que en total son tres diferentes tipos de tono y dos tipos de semitono. A continuación analizaremos la afinación de la escala cromática, la cual tiene un límite primo 19, mientras que la cromática de Ramos de pareja tiene un límite primo 5.



Gráfica 2.6 Escala cromática de B. Johnston

Por último aparece una tabla comparativa en donde podemos observar la desafinación de la escala con respecto del sistema temperado.

Altura	Desafinación en cents con respecto del temperamento	Altura	Desafinación en cents con respecto del temperamento
A	0	D#	-49
A#	+5	E	+2
B	+4	F	+41
C	-2	F#	+6
C#	-14	G	-31
D	-29	G#	-12

Tabla 2.6

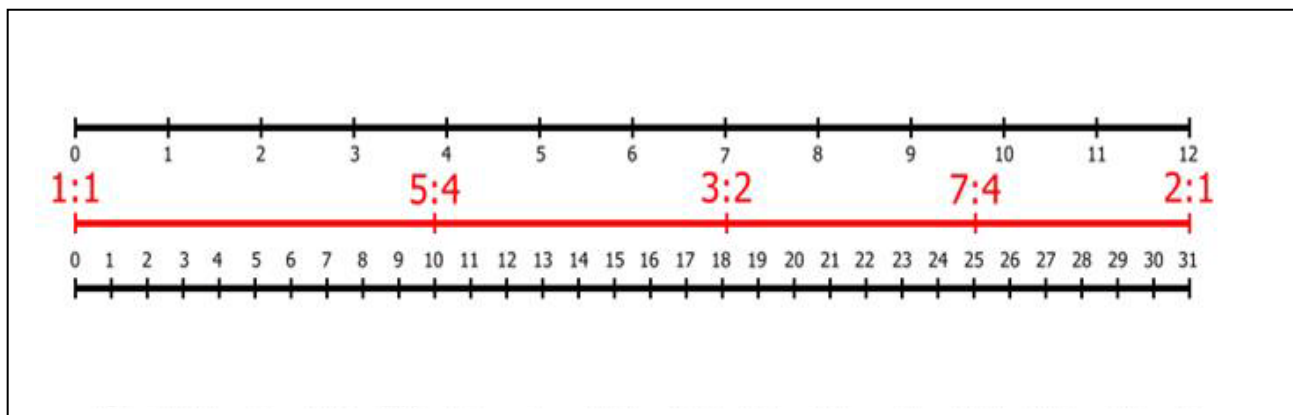
2.3 Temperamentos

Para que hoy en día contemos con una afinación de la escala diatónica y cromática, que nos permita una transposición idéntica en todas las tonalidades, pasaron varios siglos de mejoramiento del sistema. Es a partir del siglo XV que comienza un largo proceso para temperar la afinación pitagórica que reinaba en Europa en la antigüedad³⁹. Esto se hizo para disminuir la disonancia de la quinta del lobo que se genera de manera natural en este sistema. Esta quinta provoca que algunas triadas suenen disonantes condicionando su utilización. No es difícil de imaginar lo prometedor que pudo resultar para los músicos de esta época el poder utilizar acordes igualmente consonantes en todas las tonalidades. Pero no fue sino hasta finales del siglo XIX⁴⁰ que el temperamento igual terminó por imponerse. Esto fue posible gracias a la fórmula matemática ($r = \sqrt[12]{2} \approx 1.0594630943593$) que nos da el tamaño correcto del semitono igualmente temperado. El problema es que para lograr que cierre el círculo de quintas es necesario hacer más pequeño el intervalo de quinta pura. Esto provoca que todos los intervalos sean menos consonantes que los intervalos justos. También existen temperamentos iguales de más de 12 divisiones. Algunos de ellos se acercan más a la afinación de los armónicos naturales. Esto se debe a que ciertos números utilizados como divisores de las escalas obtienen una mayor

³⁹ Stanley, S. (editor), 2001, *The new Grove Dictionary of Music and Musicians*, Grove, Oxford, Vol. 25, pp. 248-264; También existe información al respecto en la página de internet: http://en.wikipedia.org/wiki/Wolf_fifth (última consulta el 7 de Mayo del 2011).

⁴⁰ Orduña, F. y Boullosa, R., 1998, "Escalas musicales y sus temperamentos", *Revista mexicana de física*, 44 (2), México D.F., p. 208.

cercanía. Estos son: 19, 28, 29, 31, 34, 41, 53, 59, etc. Para entender mejor esta idea veamos el siguiente ejemplo en donde se compara la cercanía de los temperamentos iguales de 12 y 31 divisiones. La línea negra superior corresponde al temperamento de 12 divisiones, la línea negra inferior al temperamento de 31 divisiones, y por último la línea roja corresponde a la ubicación de los primeros 7 armónicos naturales.



Grafica 2.7

Se puede observar como el quinto armónico (5:4) coincide con la altura número 10 del temperamento igual de 31 divisiones (31-TET), mientras que en el temperamento igual de 12 divisiones (12-TET) la altura número 4 apenas se acerca. El séptimo armónico (7:4) coincide con la altura 25 del 31-TET, mientras que en el 12-TET la altura 10 está muy retirada. Por el contrario la quinta justa (3:2) es un poco más precisa en el 12-TET que en el 31-TET. Este desajuste natural sucede en todos los temperamentos sin importar el número de divisiones que tengan, claro que mientras más divisiones tenga la octava serán mayores sus posibilidad de coincidir o estar cerca de más armónicos. Lo que es un hecho es que ningún temperamento puede contener todas las afinaciones justas con precisión. A continuación daremos una breve reseña histórica de estos temperamentos, misma que bastara para entender de manera general esta tendencia: En 1558 fue compuesta la primer obra con una escala temperada de más de 12 divisiones. El compositor fue el francés Guillaume Costeley (1530?–1606), y la pieza es una *chanson* titulada *Seigneur Dieu ta pitié* que utiliza el temperamento de 19 divisiones. Este tipo de afinaciones nunca fue de uso popular

a pesar de que se construyeron instrumentos para su ejecución. La mayoría eran derivados del laud o de la guitarra, pero también hubo instrumentos de teclado como el Archicembalo. Este tiene 31 divisiones por octava y fue hecho en 1555 por el italiano Nicola Vicentino (1511-1575). Otro ejemplo es el Harmonio diseñado por el inglés Robert Holford Macdowall Bosanquet (1841–1912) y construido por T. A. Jennings en 1873. Está afinado en temperamento igual a 53 divisiones y cuenta con cuatro octavas y media. En la actualidad el teclado Tonal Plexus nos ofrece un banco de datos con varios tipos de divisiones de la octava, entre ellos el de 19, 31, y 53 divisores. Por otro lado, también se ha desarrollado notación para este tipo de escalas. El primer sistema de escritura fue desarrollado por el matemático y físico Holandés Christiaan Huygens (1629 – 1695). Este fue diseñado para codificar el temperamento de 31 divisiones. Sólo que este no fue utilizado sino hasta el siglo XX por el físico y músico también Holandés Adriaan Fokker (1887-1972).

Algunos de los problemas prácticos de las escalas con muchas divisiones son:

- Es más complicado construir un instrumento con más hoyos, más teclas, o más trastes.
- Los instrumentos con más alturas resultan ser más complejos en su ejecución.
- Al haber más sonidos por octava se requiere de una mayor cantidad de símbolos para describirlos en el papel, y por ende resultara más compleja su interpretación.

A pesar de lo anterior existe en la actualidad el interés de varios compositores, lauderos, programadores, músicos y teóricos por este tipo de afinación. Lamentablemente no abundaremos más en el tema por salirse del tema de nuestra tesis.

2.4 Compositores contemporáneos vinculados con la afinación justa

El número de compositores que han trabajado con el temperamento es mucho mayor que el de los que han trabajado con afinaciones justas en la actualidad. Apenas a principios del siglo XX se dio una especie de renacimiento de la afinación justa, sobre todo en Estados Unidos. Para muchos de los compositores el interés por esta afinación surgió al estudiar la música griega antigua, y generó en ellos entusiasmo para desarrollar nuevas escalas e instrumentos musicales. En la actualidad la afinación justa es empleada por algunos compositores jóvenes, sobre todo estadounidenses. Lamentablemente la practicidad del temperamento ha impedido la popularidad de este tipo de afinación. En general los compositores se han dedicado a explorar de manera intuitiva las posibilidades de los armónicos naturales, improvisando y desarrollando técnicas de composición, pero sin proponer ningún sistema armónico diseñado para esta afinación. Ya que nuestro objetivo es establecer los principios de un sistema armónico, y no el de hacer un recuento histórico sobre el uso de la afinación justa, nos limitaremos a mencionar brevemente a los compositores contemporáneos que han hecho aportaciones de interés.

Harry Partch (1901-1974)

El primero en retomar la afinación justa en la época contemporánea fue el compositor Estadounidense Harry Partch. Además de improvisar y componer se dedicó a diseñar varios instrumentos para ejecutar su música. En 1949 publicó *Genesis of a Music* en donde reflexiona sobre su música exponiendo artículos sobre teoría y diseño de instrumentos. Dentro de éste propuso una escala justa de 43 divisiones que permite el límite 11. En particular al autor le interesa la consonancia de los primeros parciales, razón por la cual no exploró más allá de este límite. Partch consideraba las sonoridades a partir del límite 13 como demasiado disonantes. Su libro es considerado como fundamental para la teoría microtonal.

Ben Johnston (1926)

Este compositor estadounidense es conocido por extender la exploración hecha por Harry Partch. A diferencia de su maestro él emplea instrumentos tradicionales sobretodo las cuerdas y el piano. Su lenguaje es ecléctico, ya que tiene el objetivo de aplicar la afinación justa dentro de varios estilos, inclusive dentro de formas musicales tradicionales como la fuga y la variación. Dentro de las múltiples técnicas de composición que maneja este autor se encuentra la modulación. A diferencia de la modulación temperada los materiales no son transpuestos de manera idéntica, sino más bien desiguales. El mejor ejemplo es la Suite para piano microtonal compuesta en 1977. En ella son afinadas las 12 teclas del piano como los armónicos 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 26, 27, 28, 30 de un Do (ver gráfica 2.6), alcanzando de esta manera el límite 19. Johnston tiene además obras como el cuarteto de cuerdas número 9 en donde obtiene el límite 31. En el 2006 publicó *Maximum Clarity and Other Writings on Music* en donde compila una serie de escritos teóricos acerca de la afinación justa.

La Monte Young (1935)

Este compositor estadounidense es reconocido como el primer minimalista. En algunos de sus trabajos aborda la afinación justa. Tal es el caso del *The Well-Tuned Piano*, pieza que dura 6 horas y en donde es afinada la escala cromática utilizando los múltiplos de 2, 3 y 7, pero omitiendo el 5. Por otro lado la escala no está organizada de manera ascendente, de tal manera que el G# es más grave que el G, y el C# es más grave que el C. También ha incorporado la afinación justa a esculturas sonoras e instalaciones, en donde ha explorado parciales armónicos más lejanos que cualquier otro compositor. En sus últimos trabajos ha explorado por arriba del armónico 5000⁴¹.

⁴¹ Información recabada de internet el 8 de Abril del 2011 del artículo escrito por Kyle Gann, *Between us: A hyperhistory of American Microtonalists*, (2000). Página: <http://www.newmusicbox.org/article.nmbx?id=875>

Lou Harrison (1917 – 2003)

Este compositor estadounidense compuso varias obras en afinación justa. Su trabajo estuvo influenciado por música no occidental, en especial por la música de Gamelán de Java. Junto con William Colvig construyó un instrumento de percusión inspirado en el Gamelán afinado de manera justa. Este se componía de llaves de aluminio, tubos, tanques de oxígeno, así como de otros objetos percusivos. Este instrumento genera una escala pentatónica justa y para él fueron compuestas las obras “La Koro Sutro” y La “Suite para violín y Gamelán Americano”.

Horatiu Radulescu (1942-2008)

Este compositor Rumano es el Europeo más destacado en la exploración de la afinación justa. Su objetivo como es descrito en su libro *sound plasma – Music of the Future Sign* fue eludir las categorías históricas de la monodia, polifonía y heterofonía, para crear texturas con todos los elementos en un flujo constante. Un ejemplo de esta técnica es el cuarteto de cuerdas número 4 Op. 33 (1976-87) para 9 cuartetos de cuerda, en donde 8 cuartetos están dispuestos alrededor del público y uno en el centro, generando de esta manera una sonoridad envolvente. Por otro lado las cuerdas se encuentran afinadas igual que los parciales de la serie armónica, generando un gran espectro sonoro al que el autor llamó la “scordatura spectrale”. En él utiliza una técnica basada en la suma de los parciales, en donde el parcial 21 y 22 al ser sumados forman el parcial 43 dentro de la serie armónica de Do. Para él estos tres parciales son diferentes tipos microtonales de Fa. Dentro de nuestro sistema esto sería considerado un error, ya que si tomamos Do como fundamental el parcial 21 correspondería a un Fa natural, el 22 al Fa # y el 43 a un parcial primo que efectivamente se encuentra entre estas dos alturas, pero que tiene una entidad numérica propia, que no tiene nada que ver con el Fa. Otro ejemplo del uso de la “scordatura spectrale” es la obra para chelo o viola sola *Lux Animae* (1996-2000), en donde las cuerdas son afinadas al igual que los parciales 3, 4, 7 y 11, de una fundamental Mi a 41.2 Hz.

En esta obra el compositor emplea solo los armónicos naturales de las cuerdas al aire. Otra técnica espectral que en ocasiones utiliza el compositor es la de aislar algún parcial del espectro armónico y construir un nuevo espectro sobre de él.

Capítulo III

Principios de un sistema armónico para la afinación justa

El sistema armónico occidental construye sus acordes en base a terceras mayores y menores, dando como resultado una serie de acordes artificialmente contruidos aún cuando se encuentren afinados de manera justa. Esto es porque la gran mayoría de ellos no aparecen en la serie de armónicos naturales⁴². Si observamos los primeros 7 armónicos (ver gráfico 1.1) veremos cómo se forma un acorde mayor con séptima menor⁴³: La (1), La (2), Mi (3), La (4), Do# (5), Mi (6) y Sol (7). Ahora bien, si nos basamos en que son 6 los armónicos más claramente audibles de la serie, podemos decir que la triada mayor es el único acorde implícito. Con base en estos argumentos se podría decir que el resto de los acordes contruidos en la armonía tradicional, incluyendo el menor, aumentado, acordes con séptima mayor, novena, sexta, etc., son el producto de la creatividad humana dentro de un sistema artificialmente contruido. De hecho son las propias reglas del sistema tradicional las encargadas de destruirlo. Esto es porque al superponer demasiadas terceras sobre la fundamental, se generan acordes con funciones tonales ambiguas, es decir, acordes que pueden ser analizados como dos acordes simultáneos, y por lo tanto ya no pueden seguir cumpliendo su función tonal original. De la misma forma todos los sistemas armónicos, ya sean por quintas, cuartas, *clusters*, polimodal, politonal, dodecafónico, etc. son igualmente artificiales, ya que no producen acordes que aparezcan dentro de la serie armónica. Quizás el principal error metodológico de estos sistemas armónicos es pensar que mediante un mismo intervalo se tienen que generar todos los acordes.

Es importante señalar que la intención de este trabajo es establecer los principios de un sistema armónico, basado en aspectos naturales como lo son: los principios de la percepción de la altura tonal, los principios de la fusión tonal, los

⁴² A partir del armónico 8 se produce una sucesión de intervalos de segunda y microtonales, dando como resultado un gran *cluster*.

⁴³ No es coincidencia que en la serie encontremos la dominante con séptima, acorde que es fundamental para la definición de la tonalidad en las cadencias.

fenómenos que ocurren dentro de la banda crítica y la serie de armónicos naturales. Una de las ideas primigenias de esta tesis fue lograr un sistema en donde la armonía y el timbre tengan la mayor vinculación posible. De tal manera que podamos establecer una analogía entre ellos imaginándolos como un mismo elemento. Esta metáfora es posible gracias que ambas partes poseen las mismas proporciones y funcionan bajo los mismos principios acústicos. De este modo podemos esperar que se comporten de manera similar resonando como si fueran un mismo objeto indisoluble. Claro que en la práctica la vinculación es sólo aproximada debido a que los espectros armónicos de los instrumentos son diferentes entre sí, además de que poseen inarmónicos en alguna proporción.

3.1 Cálculo de las frecuencias de los armónicos naturales

Para calcular los armónicos teóricamente posibles de cualquier fundamental simplemente hay que multiplicar su frecuencia por números enteros (1, 2, 3, 4, 5, etc.). A continuación aparece el cálculo de una serie hipotética de 329 parciales armónicos a partir de una fundamental “LA” afinada a 55hz. El parcial 329 fue considerado como el límite de la serie simplemente porque más allá de este armónico me fue imposible percibir sonido alguno⁴⁴. La serie abarca prácticamente todo el rango de frecuencias que un ser humano promedio es capaz de percibir, esto si tomamos en cuenta que el límite grave de nuestra percepción es de aproximadamente 20Hz. La tabla esta ordenada del parcial más agudo (329) al más grave (1).

Armónicos de los armónicos										Armónico	Nombre o múltiplo	Frecuencia Hertz
							47			329	7x47	18095
										328	8x41	18040
									110	327	3x109	17985
										326	2x163	17930
				25				65		325	5(5x13)(Do#)	17875
						36			109	324	12x27(Do#)	17820
	17	19								323	19x17(Do#)	17765
							46			322	14x23	17710
									108	321	3x107	17655

⁴⁴ Conforme envejecemos el aparato auditivo humano va perdiendo la capacidad de percibir frecuencias agudas; en este caso yo no fui capaz a mis 34 años de percibir frecuencias superiores a 18095hz.

							64			320	7Do#	17600
				29						319	11x29	17545
									107	318	6x53	17490
										317		17435
										316	4x79	17380
15			21			35	45	63	106	315	9(5x7)(Do#)	17325
										314	2x157	17270
										313		17215
				24						312	8(3x13)(Do#)	17160
										311		17105
								62		310	10x31	17050
									104	309	3x103	16995
					28		44			308	4(7x11)(Do#)	16940
										307		16885
		18				34				306	2-(9x17)(Si#)	16830
								61		305	5x61	16775
16										304	8 Do	16720
										303	3x101	16665
										302	2x151	16610
							43			301	7x43	16555
			20				60	101		300	12(5x5)(Si#)	16500
				23						299	13x23	16445
										298	2x149	16390
					27	33			100	297	3(9x11)(Si#)	16335
										296	8x37	16280
								59		295	5x59	16225
14						42			99	294	2(7x21)(Do)	16170
										293		16115
										292	4x73	16060
									98	291	3x97	16005
								58		290	10x29	15950
		17								289	17x17	15895
						32			97	288	6 Si	15840
							41			287	7x41	15785
				22	26					286	2(13x11)(Si)	15730
15		19						57	96	285	3(5x19)(Si)	15675
										284	4x71	15620
										283		15565
									95	282	6x47	15510
										281		15455
							40	56		280	8(5x7)(Si)	15400
						31			94	279	9x31	15345
										278	2x139	15290
										277		15235
									93	276	12x23	15180
				25				55		275	5(5x11)(LaX)	15125
										274	2x137	15070
13			21			39			92	273	3(7x13)(Sib)	15015
		16								272	5 La#	14960
										271		14905
			18			30		54	91	270	6(3x15)(La#)	14850
										269		14795
										268	4x67	14740
									90	267	3x89	14685
14							38			266	2(7x19)(Sib)	14630
								53		265	5x53	14575
				24					89	264	8(3x11)(La#)	14520
										263		14465
										262	2x131	14410
						29			88	261	9x29	14355
			20					52		260	4(5x13)(La)	14300
							37			259	7x37	14245
									87	258	9x43	14190
										257		14135
										256	9La	14080

		15	17					51	86	255	3(5x17)(SolX)	14025
										254	2x127	13970
					23					253	11x23	13915
12						28	36		85	252	4(3x21)(La)	13860
										251		13805
								50		250	10(5x5)(SolX)	13750
									84	249	3x83	13695
										248	8x31	13640
	13			19						247	13x19 (Lab)	13585
									83	246	6x41	13530
							35	49		245		13475
										244	4x61	13420
						27			82	243	3(3[3x9])(Sol#)	13365
					22					242	2(11x11)(SolX)	13310
										241		13255
			16					48	81	240	6Sol#	13200
										239		13145
		14					34			238	2(7x17)(Sol#)	13090
									80	237	3x79	13035
										236	4x59	12980
								47		235	5x47	12925
				18		26			79	234	2 (9x13)(Sol)	12870
										233		12815
										232	8x29	12760
11					21		33		78	231	3 (7x11)(Sol#)	12705
									46	230	2(5x23)	12650
										229		12595
	12									228	4(3x19)(Sol)	12540
										227		12485
										226	2x113	12430
			15			25		45	76	225	9(5x5)(FaX)	12375
							32			224	6 Sol	12320
										223		12265
									75	222	6x37	12210
		13		17						221	13x17 (Fa#)	12155
					20				44	220	4(5x11) (FaX)	12100
									73	219	3x73	12045
										218	2x109	11990
							31			217	7x31	11935
						24			72	216	4Fa#	11880
								43		215	5x43	11825
										214	2x107	11770
									71	213	3x71	11715
										212	4x53	11660
										211		11605
10			14				30	42	70	210	6(5x7)(Fa#)	11550
	11				19					209	11x19 (Fa#)	11495
				16						208	5Fa	11440
						23			69	207	9x23	11385
										206	2x103	11330
								41		205	5x41	11275
		12							68	204	4(3x17)(Mi#)	11220
							29			203	7x29	11165
										202	2x101	11110
									67	201	3x67	11055
								40		200	8(5x5)(Mi#)	11000
										199		10945
					18	22			66	198	6(3x11) (Mi#)	10890
										197		10835
							28			196	4 (7x7) (Fa)	10780
			13	15				39	65	195	3 (5x13) (Mi)	10725
										194	2x97	10670
										193		10615
									64	192	7 Mi	10560
										191		10505

	10							38		190	2(5x19)(Mi)	10450
9						21	27		63	189	7x27 (Mi)	10395
										188	4x47	10340
		11			17					187	11x17 (ReX)	10285
									62	186	6x31	10230
									37	185	5x37	10175
										184	8x23	10120
									61	183	3x61	10065
				14			26			182	2(7x13)(Mib)	10010
										181		9955
			12			20		36	60	180	4(3x15)(Re#)	9900
										179		9845
										178	2x89	9790
									59	177	3x59	9735
					16					176	6 Re#	9680
							25	35		175	7 (5x5) (Re#)	9625
									58	174	6x29	9570
										173		9515
										172	4x43	9460
	9					19			57	171	9x19(Re)	9405
		10							34	170	2(5x17)(DoX)	9350
				13						169	13x13 (Db)	9295
8							24		56	168	4 Re	9240
										167		9185
										166	2x83	9130
			11		15				33	165	3(5x11)(DoX)	9075
										164	4x41	9020
										163		8965
							18		54	162	6x27 (Do#)	8910
								23		161	7x23	8855
									32	160	6Do#	8800
									53	159	3x53	8745
										158	2x79	8690
										157		8635
				12					52	156	4(3x13)(Do#)	8580
									31	155	5x31	8525
					14		22			154	2(7x11)(Do#)	8470
	9					17			51	153	9x17(Si#)	8415
8										152	4 Do	8360
										151		8305
			10						30	150	6 (5x5) (Si#)	8250
										149		8195
										148	4x37	8140
7							21		49	147	7x21 (Do)	8085
										146	2x73	8030
									29	145	5x29	7975
							16		48	144	5 Si	7920
				11	13					143	13x11 (B)	7865
										142	2x71	7810
									47	141	3x47	7755
							20	28		140	4 (5x7) (Si)	7700
										139		7645
									46	138	6x23	7590
										137		7535
		8								136	4 La#	7480
			9			15		27	45	135	9x15 (La#)	7425
										134	2x67	7370
	7							19		133	7x19 (Sib)	7315
					12				44	132	4(3x11) (La#)	7260
										131		7205
				10					26	130	2(5x13) (La)	7150
									43	129	3x43	7095
										128	8 La	7040
										127		6985
6						14	18		42	126	6x21 (La)	6930

								25		125	5(5x5) (SolX)	6875
										124	4x31	6820
									41	123	3x41	6765
										122	2x61	6710
					11					121	11x11 (Solx)	6655
			8					24	40	120	5 Sol#	6600
		7						17		119	7x17 (Sol#)	6545
										118	2x 59	6490
				9		13			39	117	9x13 (Sol)	6435
										116	4x29	6380
									23	115	5x23	6325
	6									38	6x19 (Sol)	6270
										113		6215
							16			112	5 Sol	6160
										37	3x37	6105
					10				22	110	2(5x11) (Fax)	6050
										109		5995
						12				36	3 Fa#	5940
										107		5885
										106	2x53	5830
5			7				15	21	35	105	3(5x7) (Fa#)	5775
				8						104	4 Fa	5720
										103		5665
		6								34	6x17 (Mi#)	5610
										101		5555
									20	100	4(5x5) (Mi#)	5500
					9	11				99	9x11 (Mi#)	5445
									14	98	2(7x7) (Fa)	5390
										97		5335
										32	6 MI	5280
	5								19	95	5x19 (Mi)	5225
										94	2x47	5170
										31	3x31	5115
										92	4x23	5060
				7			13			91	7x13 (Mib)	5005
			6			10			18	30	3x15 (Re#)	4950
										89		4895
					8					88	5 Re#	4840
										29	3x29	4785
										86	2x43	4730
		5								17	5x17 (DoX)	4675
4								12	28	84	3 Re	4620
										83		4565
										82	2x41	4510
						9				27	3x27 (Do#)	4455
										16	5 Do#	4400
										79		4345
				6						26	6x13 (Do)	4290
					7			11		77	7x11 (Do#)	4235
	4									76	3 Do	4180
			5						15	25	3(5x5) (Si#)	4125
										74	2x37	4070
										73		4015
						8				24	4 Si	3960
										71		3905
								10	14	70	2 (5x7) (Si)	3850
										23	3x23	3795
		4								68	3 La#	3740
										67		3685
					6					22	6x11 (La#)	3630
				5						13	5x13 (La)	3575
										64	7 La	3520
3						7	9			21	3x21 (La)	3465
										62	2x31	3410

										61		3355
			4					12	20	60	4 Sol#	3300
										59		3245
										58	2x29	3190
	3								19	57	3x19 (Sol)	3135
							8			56	4 Sol	3080
					5			11		55	5x11 (FaX)	3025
						6			18	54	2 Fa#	2970
										53		2915
				4						52	3 Fa	2860
		3							17	51	3x17 (Mi#)	2805
								10		50	2(5x5)(Mi#)	2750
							7			49	7x7 (Fa)	2695
									16	48	5 Mi	2640
										47		2585
										46	2x23	2530
			3		5			9	15	45	3x15 (Re#)	2475
					4					44	4 Re#	2420
										43		2365
2							6		14	42	2 Re	2310
										41		2255
								8		40	4 Do#	2200
				3					13	39	3x13 (Do)	2145
	2									38	2 Do	2090
										37		2035
						4			12	36	3 Si	1980
							5	7		35	5x7 (Si)	1925
		2								34	2 La#	1870
					3				11	33	3x11 (La#)	1815
										32	6 La	1760
										31		1705
			2					6	10	30	2 Sol#	1650
										29		1595
							4			28	3 Sol	1540
						3			9	27	(3x9) Fa#	1485
			2							26	2 Fa	1430
									5	25	5x5 (Mi#)	1375
									8	24	4 Mi	1320
										23		1265
					2					22	2 Re#	1210
1							3		7	21	(3x7) Re	1155
									4	20	3 Do#	1100
	1									19	Do	1045
					2				6	18	2 Si	990
		1								17	La#	935
										16	5 La	880
			1					3	5	15	(3x5) Sol#	825
							2			14	2 Sol	770
				1						13	Fa	715
									4	12	3 Mi	660
					1					11	Re#	605
								2		10	2 Do#	550
						1			3	9	(3x3) Si	495
										8	4 La	440
							1			7	Sol	385
									2	6	2 Mi	330
								1		5	Do#	275
										4	3 La	220
									1	3	Mi	165
										2	2 La	110
										1	La	55hz
Armónicos de los armónicos										Armónico	Nombre o múltiplo	Frecuencia

Tabla 3.1

La tabla esta organizada de derecha a izquierda, y todos los ejemplos tomarán en cuenta esta referencia. En la columna del extremo derecho aparecen las frecuencias en hertz (Hz) de los armónicos; En la siguiente columna aparecen los nombres que la tradición ha asignado a algunos de los parciales; La tercer columna indica el número del armónico tomando como 1 a la fundamental (Los números primos aparecen en negrita); Finalmente de la cuarta columna en adelante aparecen los armónicos de los armónicos que se encuentran implícitos en la serie⁴⁵. Cada columna contiene la serie armónica de un parcial de LA. En total aparecen las series de los 10 primeros parciales nones, ya que las series de los parciales pares fueron omitidas por ser octavas de los nones. Para saber a qué armónico corresponde cada columna hay que localizar el armónico 1 de esa columna y ver con cual armónico de la serie de la fundamental corresponde. Por ejemplo, el armónico 1 de la cuarta columna está en el mismo renglón que el armónico 3, por lo tanto esta columna es la que corresponde a los armónicos del tercer parcial. Una característica importante de la serie es que conforme avanzamos del registro grave al agudo, los intervalos entre armónicos contiguos se percibe gradualmente más pequeño. Es obvio como entre los primeros parciales se generan intervalos grandes, y entre los parciales lejanos intervalos microtonales. La ausencia de uniformidad entre los intervalos de la serie, la vuelve un yacimiento inagotable para la generación de intervalos y acordes distintos.

3.2 Denominación de las alturas

Es obvio como los nombres asignados por la tradición son insuficientes para denominar las alturas de la serie de armónicos. A partir del parcial 23 todos los números primos carecen de un nombre y espacio en el pentagrama. La característica de estos es la de ser divisibles sólo entre ellos mismos y entre uno. Esta característica hace a los armónicos primos que aparecen del 23 en adelante, alturas nuevas que no son octavas de ningún armónico anterior. Por esta razón serán identificados sólo a través de su número. El caso de los números nones es

⁴⁵ En la sección 3.4 será explicada ampliamente esta idea.

más complejo, ya que estos pueden ser primos o múltiplos de ellos. Si el número no es primo, habrá que tomar en cuenta su factorización⁴⁶, por ejemplo, el armónico 9 es no primo, y se factoriza como 3×3 . Esto es importante para saber cómo se relaciona este con los demás números. Por esta razón aparece en la lista la multiplicación que origina el número, así como, el nombre entre paréntesis que hipotéticamente tendría esta altura, si damos por hecho que el parcial es el armónico de otro armónico. Esta idea será explicada ampliamente en la siguiente sección, ya que por el momento basta con saber que la posición numérica dentro de la serie será fundamental para el entendimiento y funcionamiento del sistema. De este modo los nombres tradicionales serán relegados a simples referencias, ya que no nos brindan información relevante para el análisis armónico en nuestro sistema.

3.3 Relaciones numéricas entre armónicos

La idea de tener armónicos de los armónicos implícitos dentro de cualquier serie armónica, surgió al analizar numéricamente la serie. En esta idea se plantea que dentro de una serie hipotética de armónicos naturales, existen implícitas las series armónicas de cada uno de los parciales que la componen. Es como un fractal en donde cada parcial de la serie se transforma en una fundamental que a su vez genera su propia serie. La idea me vino a la mente después de observar tres características de las relaciones entre armónicos pares, nones y primos:

- Todos los armónicos pares son octavas de algún número no.
- Todos los armónicos primos son alturas nuevas en la escala.
- Todos los nones que no son primos son múltiplos de algún número primo, y por lo tanto pueden ser representados como armónicos de éste.

⁴⁶ En álgebra, la factorización es expresar un número como producto de otros números más pequeños o factores.

Con base en lo anterior podemos decir que los armónicos de los armónicos son subsistemas implícitos en la serie de armónicos naturales. Para diferenciarlos de la serie original serán llamados subsistemas o subseries. Del mismo modo los armónicos que generan su propia serie serán denominados como subfundamentales. De esta manera cuando se hable de la fundamental nos estaremos refiriendo sólo a la frecuencia originadora de la serie.

3.4 Jerarquía de los parciales

Todos los parciales son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental y por lo tanto son derivados de ella. Pero dependiendo de su relación con la fundamental o las subfundamentales, los parciales podrán ejercer mayor o menor influencia en el resultado psicoacústico del espectro armónico. Por ejemplo, existen parciales que tienen una relación más cercana con una subfundamental que con la propia fundamental, es decir, son más importantes en una subserie que en la serie. Observemos el caso del armónico no 25. Este es múltiplo del armónico primo cinco ($5 \times 5 = 25$) resultando ser su quinto armónico, y correspondiéndole el nombre de Mi# por ser la tercera de la subfundamental Do#. Al ser el quinto armónico ocupa automáticamente un lugar decisivo en la definición de la altura tonal de esta subfundamental. En contraste, la relación entre la fundamental y armónico 25 es mucho más lejana y su ausencia no implica cambios en la percepción de la altura tonal del conjunto armónico. Para evitar confusiones los parciales que sean más cercanos a una subfundamental que a la fundamental, aparecerán con su nombre encerrado entre paréntesis. Un armónico puede ser compartido por varios subsistemas. Por ejemplo el armónico 9 además funge como armónico 3 de la subfundamental 3, y como la subfundamental de su propia serie. En todos los casos se considerará una posición de más jerarquía del parcial, cuanto exista una relación más cercana con la fundamental o alguna subfundamental. En nuestro ejemplo anterior el 9 sería la posición de menos jerarquía por estar fuera de la zona de definición de la altura tonal. El 3 sería el segundo lugar por ser la tercera

mayor y estar en zona de definición. Pero la posición más importante siempre será la de fundamental o en este caso la de subfundamental.

3.5 Relaciones entre las subseries

Dentro de esta teoría vamos a considerar a los armónicos primos como los generadores de todas las subseries armónicas. De este modo todas las subseries nones estarán contenidas dentro de las subseries de los primos que las originaron. Esto hace que las subseries de nones y primos compartan varios armónicos. Por ejemplo, la subserie non 9 está contenida dentro de la subserie 3 que es el número primo que la generó (3×3). De tal manera que los armónicos 2, 3, 4 y 5 de la subfundamental 9, son respectivamente los armónicos 6 (3×2), 9 (3×3), 12 (3×4) y 15 (3×5) de la subfundamental 3. En contraste, la cantidad de coincidencias entre series de subfundamentales primos es menor. Tal es el caso de las subseries de los armónicos 3 y 5. Ahí podemos observar como los armónicos 3 (3×1), 6 (3×2), 9 (3×3), y 12 (3×4) de la subfundamental 5 son los armónicos 5 (5×1), 10 (5×2), 15 (5×3) y 20 (5×4) de la subfundamental 3.

Cifrado 3.6

El cifrado que aquí se propone puede ser empleado para analizar el espectro armónico de los timbres, o para estudiar la composición de los acordes en afinación justa. Este consiste en una secuencia numérica, organizada de manera vertical para cada acorde. A continuación veremos un ejemplo en donde fue utilizada la escritura tradicional y la afinación de la escala de Ben Johnston.

10

La 55hz. ① ③ ① ⑤ ①

Ejemplo 3.1

Como se puede observar en el ejemplo 3.1, el cifrado está ordenado de manera ascendente de la altura más grave a la más aguda, en donde cada número indica a que armónico equivale cada altura del acorde. El número encerrado en un círculo indica si el cifrado pertenece a la serie de la fundamental o a una subserie. Este número afectará a todos los cifrados subsecuentes. Si no aparece otro número querrá decir que todos los acordes pertenecen a una misma serie o subserie según sea el caso. A manera de simplificar la lectura del cifrado se implementó un número entre paréntesis que indica la subdivisión más pequeña del armónico que estamos leyendo. Por ejemplo en el segundo acorde podemos observar que el cifrado contiene los parciales 14 (7) y 26 (13), los cuales aparecen acompañados con su subdivisión entre paréntesis.

3.7 Transposición

Si utilizamos las frecuencias de la serie de armónicos naturales como alturas para hacer música, podemos transponer cualquier material musical utilizando la serie y las subseries como si fueran diferentes tonalidades. Esto es factible gracias a que todas poseen proporciones armónicas entre sus intervalos. De este modo la serie de la fundamental tendría como única tonalidad vecina la subserie 3, con la cual comparte la mayor cantidad de armónicos comunes. Asimismo, conforme las subseries se alejen de la serie de la fundamental se reducirán el número de

armónicos comunes con esta. Para entender mejor esta idea veamos los primeros parciales de la tabla 3.1. Ahí se pueden observar los subsistemas implícitos en la serie de la fundamental.

Armónicos de los armónicos										Armónico	Nombre o múltiplo	Frecuencia
						3			9	27	(3x9) Fa#	1485
			2							26	2 Fa	1430
								5		25	5x5 (Mi#)	1375
									8	24	4 Mi	1320
										23		1265
				2						22	2 Re#	1210
1						3			7	21	(3x7) Re	1155
								4		20	3 Do#	1100
	1									19	Do	1045
					2				6	18	2 Si	990
		1								17	La#	935
										16	5 La	880
			1					3	5	15	(3x5) Sol#	825
						2				14	2 Sol	770
			1							13	Fa	715
								4		12	3 Mi	660
				1						11	Re#	605
								2		10	2 Do#	550
					1				3	9	(3x3) Si	495
										8	4 La	440
						1				7	Sol	385
								2		6	2 Mi	330
								1		5	Do#	275
										4	3 La	220
									1	3	Mi	165
										2	2 La	110
										1	La	55hz
Armónicos de los armónicos										Armónico	Nombre o múltiplo	Frecuencia

Tabla 3.2

Para realizar la transposición de cualquier material musical sólo es necesario conservar el orden numérico de los parciales involucrados, y repetirlo empleando los parciales de la serie o subserie a donde se desea transponer. En realidad todos los parciales surgen de la serie de la fundametal, pero a través de las equivalencias numéricas es posible hacerlo. Por ejemplo, los parciales 3, 6, y 9 de la fundamental (LA) equivalen a los parciales 1, 2, y 3 de la subfundamental 3 (MI). Del mismo modo los parciales 5, 10, y 15 de la fundamental equivalen a los armónicos 1, 2, y 3 de la subfundamental 5 (Do#). De esta manera es posible en teoría modular a cualquier subfundamental, ya que siempre existen las mismas proporciones.

En la práctica el problema radica en que se necesitan escalas con muchas alturas para poder modular a varias tonalidades. Para entender mejor esta idea analizemos un fragmento de la arquitectura sonora, pieza hecha por mí para estudiar las inflexiones breves a otras subseries. Para este trabajo fue empleada la afinación cromática de Johnston. En ella la mayoría de las alturas pertenecen a la fundamental, y por lo tanto el número de acordes que podemos hacer fuera de la tonalidad de la fundamental es muy reducido. De hecho en el fragmento que vamos a analizar nunca se establece una modulación como tal. Más bien la intención es la de contrastar acordes pertenecientes a diferentes subfundamentales.

9

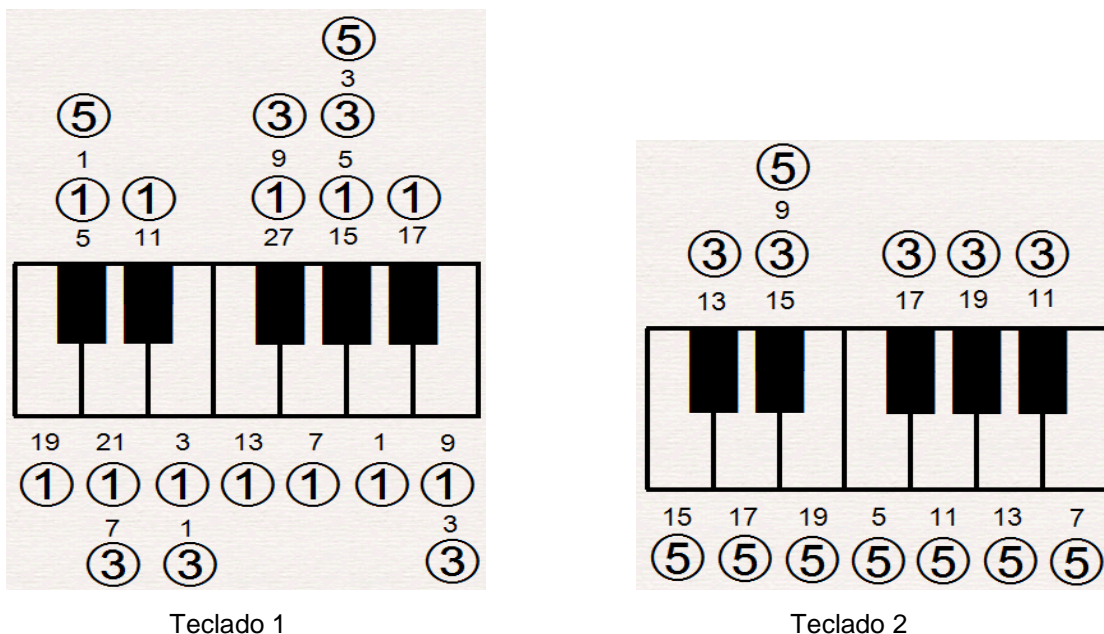
24 (3)	19	10	21	16	22	21	48 (3)
20 (5)	17	9	18	12	19	17	28 (7)
16 (1)	11	5	10	6	15	13	16
13	5	3	7	3	10	11	9
11	2	2	4	2	7	9	6
9	1	1	3	1	4	5	3
①		③	①	⑤	①		③

Ejemplo 3.2

Los primeros dos acordes del ejemplo 3.2 pertenecen a la serie de la fundamental y el tercero es el primero en pertenecer a una subserie. La inflexión a la subserie 3 sólo dura un acorde, ya que al siguiente regresamos a la fundamental. Inmediatamente después se inflexiona durante un acorde dentro de la subserie 5, para retornar nuevamente a La durante dos acordes. Por último el ejemplo termina con un acorde dentro de la subserie 3. En la sección 4.2.2 se analizará la Arquitectura sonora a profundidad, y en la sección 4.2.3 analizaremos ejemplos de modulaciones más elaborados en la Fuga, Canon y Rock. Esta pieza fue compuesta por mí para demostrar la modulación empleando una escala de 24 alturas justas.

3.8 Escala transpositora de 24 alturas justas para clavecín

El clavecín posee dos teclados que pueden ser afinados de manera independiente. Esto posibilita la creación de escalas de hasta 24 alturas diferentes dentro de una octava. Esta particularidad del instrumento me permitió construir una escala que puede transponer materiales musicales utilizando afinación justa. Para llegar a este punto se tuvieron que tomar varias decisiones dentro del diseño de la escala. Tal vez la más importante fue delimitar el número de tonalidades que podían ser ejecutadas con ella. Esto es trascendental ya que el diseño podía inclinarse hacia una escala con pocas tonalidades y varias alturas por tonalidad, o una escala con varias tonalidades y pocas alturas por tonalidad. Esto se puede entender si analizamos algunos de los divisores de 24: $2 \times 12 = 24$; $4 \times 6 = 24$; y $3 \times 8 = 24$. La primer operación nos permite tener 2 tonalidades con un mínimo de 12 alturas cada una; la segunda 4 tonalidades con 6 alturas; y la tercera 3 tonalidades con 8 alturas. Se decidió utilizar esta última operación por ser la más equilibrada de las tres, dando la posibilidad de modular a 3 tonalidades con un número de alturas suficientes para desarrollar material melódico y armónico. Es importante señalar que el número de armónicos por tonalidad será aún más grande dependiendo del número de armónicos comunes que existan entre las tonalidades seleccionadas. En este caso fueron seleccionadas la tonalidad de la fundamental (1), y sus dos subseries más cercanas: Mi (3) y Do# (5). Como resultado se obtuvieron 7 notas comunes, mismas que permitieron emplear 12 alturas de la serie de la fundamental y 10 de cada una de las subseries. En el ejemplo 3.3 aparecen los dos teclados del clavecín con un cifrado similar al empleado en la sección 3.6. Los números encerrados en un círculo indican la serie o subserie a la que pertenece cada una de las teclas, y el número pequeño nos indica el parcial al que está afinada la cuerda. Las teclas que aparecen con más de dos números son las alturas comunes. Con excepción del Sol# del primer teclado, el cual se encuentra presente en todas las tonalidades, el resto de las notas comunes sólo son compartidas por dos tonalidades.



Ejemplo 3.3

Se puede observar que el primer teclado contiene todos los armónicos de la fundamental, y que el segundo contiene las alturas que complementan las subseries 3 y 5. La manera de escribir esta escala es muy sencilla, simplemente hay que utilizar un pentagrama para cada teclado. De este modo no es necesario utilizar escritura en fracciones de tono, lo único que hay que hacer es no perder de vista que el nombre de las teclas del segundo teclado, no corresponde con la afinación del parcial asignado.

3.9 Primer sistematización

Esta fue la primer sistematización de la armonía justa, y como todo primer paso dentro de un proceso fue fundamental para el desarrollo posterior de la teoría. Como todo primer acercamiento hubo aciertos y errores que sirvieron para definir el rumbo de la propuesta teórica final de esta tesis. El prototipo fue concebido para explorar sistemáticamente algunas de las posibilidades armónicas de la serie, y no contempla la modulación. El sistema emplea dos reglas simples: todos los acordes serán a cuatro voces y su construcción será utilizando únicamente armónicos contiguos de la serie. Si utilizamos la afinación cromática

de Ben Johnston podemos emplear los primeros 27 armónicos de la serie con excepción de los armónicos 23 y 25. De este modo serán considerados como armónicos contiguos los parciales 22 y 24, así como el 24 y 26.

8^{va}

4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

11 (8) | 15^{ma}

14	15	16	17	18	19	20	21	22
13	14	15	16	17	18	19	20	21
12	13	14	15	16	17	18	19	20
11	12	13	14	15	16	17	18	19

20 (15)

24	26	27
22	24	26
21	22	24
20	21	22

Ejemplo 3.4

Este ejemplo contiene todos los acordes posibles utilizando las dos reglas anteriores. Estos se encuentran ordenados de manera ascendente quedando al inicio el formado por los parciales 1, 2, 3 y 4, y al final el formado por los armónicos 22, 24, 26 y 27. Resulta significativo que la progresión esté ordenada de manera natural del acorde más consonante y con mayor fusión tonal, al acorde más disonante y con menor fusión tonal. Estas características de la progresión armónica establecen una jerarquización de los acordes en función de cuanta consonancia y fusión tonal poseen. Este aspecto resultará clave para la organización de las regiones armónicas que serán expuestas en la siguiente

sección. El principal problema de este prototipo es que considera la inversión y los cambios de posición como herramientas para variar los acordes. A continuación aparece una posible variación de la secuencia original, en donde fue eliminado el quinto acorde de la secuencia para evitar que éste se duplicara con el cuarto acorde⁴⁷. El Capricho para clavecín que analizaremos en la sección 4.2.1 fue compuesto utilizando esta primer sistematización.

The image shows three systems of musical notation for a keyboard instrument. Each system consists of a grand staff (treble and bass clefs) with chords. Below each chord, the fingering for each note is indicated by a number (1-5) and sometimes a circled number in parentheses, likely representing an alternative fingering or a specific technique. The systems are numbered 4, 11, and 20.

System 4:

4	8	10 (5)	7	18 (9)	20 (5)	22 (11)	22	20	26 (13)
3	5	6	5	12 (3)	14 (7)	10	10	13	14
2	3	3	3	7	9	9	9	11	11
1	2	2	2	4	4	4	6	6	6

System 11:

52 (13)	56 (7)	30 (15)	30	128 (1)	72 (9)	144 (9)	168 (21)	88 (11)
28 (7)	32 (1)	17	17	68 (17)	34 (17)	80 (5)	80 (5)	40 (5)
24 (3)	26 (13)	14	9	36 (9)	19	38 (19)	38 (19)	21
15	15	8	4	19	10	21	22 (11)	12

System 20:

42 (21)	176 (11)
22 (11)	96 (3)
13	52 (13)
6	27

Ejemplo 3.5

El inconveniente radica en que al abrir e invertir los acordes, estamos cambiando de manera abrupta y arbitraria las relaciones interválicas de las alturas del acorde. Esto puede provocar cambios en nuestra percepción de la claridad de la altura tonal del acorde y en su grado de fusión tonal. Un *cluster* cromático por ejemplo, es percibido de manera radicalmente distinta si su posición es cerrada o

⁴⁷ Esta duplicación se produce porque los dos acordes contienen las mismas alturas.

abierta⁴⁸. Esto se debe a que el *cluster* se encuentra fuera del límite de discriminación de frecuencia, percibiéndose como una sola masa de batimentos. Al abrir el acorde se reducen considerablemente estos, además de que las alturas ya pueden ser percibidas por separado.

Acorde abierto	Acorde cerrado (cluster)												
													
<table border="0" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>384 (3)</td></tr> <tr><td>224 (7)</td></tr> <tr><td>121 (11)</td></tr> <tr><td>104 (13)</td></tr> <tr><td>54 (27)</td></tr> <tr><td>21</td></tr> </table>	384 (3)	224 (7)	121 (11)	104 (13)	54 (27)	21	<table border="0" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>28 (7)</td></tr> <tr><td>27</td></tr> <tr><td>26 (13)</td></tr> <tr><td>24 (3)</td></tr> <tr><td>22 (11)</td></tr> <tr><td>21</td></tr> </table>	28 (7)	27	26 (13)	24 (3)	22 (11)	21
384 (3)													
224 (7)													
121 (11)													
104 (13)													
54 (27)													
21													
28 (7)													
27													
26 (13)													
24 (3)													
22 (11)													
21													

Ejemplo 3.6

Si no tomáramos en cuenta que el resultado acústico de estos dos acordes es radicalmente distinto, podríamos caer en el error de clasificarlos como un mismo acorde en posición abierta o cerrada. Esto no sería descabellado dentro de la lógica tradicional, ya que los dos contienen las mismas alturas e incluso comparten el Re como bajo. Otro ejemplo sería cuando la inversión altera la claridad de la altura tonal del acorde. El primer acorde del ejemplo 3.7 se compone por las alturas 5, 6, 7, 8. Si estas fueran senoidales el timbre tendría una altura tonal clara por contar con la mayoría de los armónicos dentro de la zona de definición. Por el contrario los parciales del siguiente acorde se salen todos de la zona, percibiéndose como una altura ambigua. Acabamos de ver como tan sólo una inversión es capaz de transformar por completo las características psicoacústicas de un timbre o acorde. Por estas razones la inversión y el cambio de posición sólo serán empleados en este prototipo, dejando de ser parte del sistema.

⁴⁸ En la siguiente sección veremos cómo estos dos acordes pertenecen a dos regiones armónicas distintas.

Acorde en posición cerrada	Acorde en tercera inversión
---------------------------------------	--

9	14
7	12
6	10
5	9

Ejemplo 3.7

3.10 Regiones armónicas de un futuro sistema armónico

Las bases científicas fundamentales para establecer los principios de nuestro sistema son: la percepción de la altura tonal, los principios de la fusión tonal y los fenómenos que ocurren dentro de la banda crítica. Estas bases sirvieron como inspiración para categorizar de manera general los acordes posibles dentro de la afinación justa, así como para establecer una analogía entre el timbre y la armonía⁴⁹. Con esto se intenta construir un puente entre estos dos aspectos, entendiendo y organizando los acordes a partir del resultado psicoacústico que provocan. Esto representa un punto de partida para la organización general de la armonía justa, con base en la naturaleza subjetiva de nuestra percepción. Esto sin olvidar que la intensidad de la categorización no es la de predecir al 100% el resultado psicoacústico a partir de un cifrado. Esto es difícil porque el cifrado sólo indica las fundamentales de las alturas del acorde. Para intentar hacer una predicción más exacta se necesitaría analizar el espectro armónico de las alturas implicadas. Aún con esto es posible hacer una predicción aceptable, gracias a que todos los instrumentos armónicos y melódicos tradicionales, tienen espectros con proporciones armónicas.

⁴⁹ Helmholtz en *On the sensations of tone as a physiological basis for the theory of music* (1863) fue el primero en observar la similitud entre la composición del timbre y de los acordes; Robert Erickson en *Sound Structure in Music*, pp. 18-57, realizó un estudio general sobre el timbre musical, tratando de encontrar principios para una futura teoría de su organización. En este libro se habla sobre la vinculación existente entre el timbre y la armonía, mencionando varios ejemplos prácticos en donde se establece esta relación.

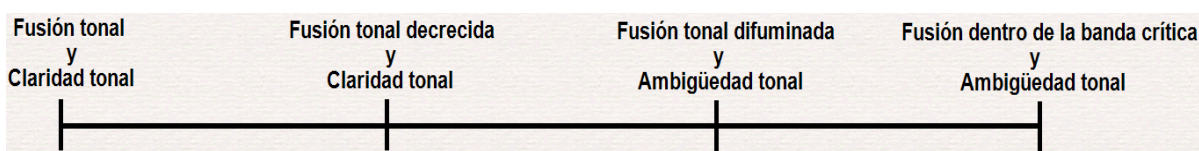
Mi necesidad de encontrar otras alternativas armónicas más allá del temperamento y la microtonalidad temperada⁵⁰, fue la verdadera motivación para desarrollar esta teoría. Hoy en día creo que los principios que propongo podrían servir a otros compositores, e incluso que podrían llegar a ser la base de un futuro sistema armónico (en un futuro muy optimista por supuesto). Esto entendiendo que la consolidación de un sistema no es el trabajo de un solo hombre sino el de muchos, o incluso el de generaciones. De la misma manera en que Rameau no invento la tonalidad, yo no pretendo inventar la armonía justa. Simplemente estoy proponiendo lo que a mi parecer es una manera lógica de organizarla. Una ventaja de esta categorización es que nos brinda información objetiva acerca del evento acústico que se está analizando. Por el contrario, la terminología de la armonía tradicional nos dice muy poco acerca del resultado psicoacústico y no está diseñada para diferenciar sus características. Un ejemplo de esto son las triadas de tónica, dominante y subdominante, las cuales a pesar de componerse por los mismos intervalos, y de producir en esencia la misma sonoridad, son clasificadas en regiones armónicas diferentes. Al inspirarnos en la psicoacústica para clasificar la armonía, estaremos utilizando conceptos menos subjetivos y por lo tanto más comunes para todos, independientemente de la cultura a la que se pertenezca.

Regiones armónicas

A partir de la analogía establecida entre timbre y armonía serán analizados y clasificados los acordes como si fueran timbres. Al comienzo del proyecto se pensó en clasificarlos sólo por la claridad de su altura tonal. Afortunadamente la terminología se amplió al estudiar los principios de la fusión tonal que aparecen resumidos en la sección 1.5. Estos dicen que ciertas alturas pueden fundirse en una sola imagen sonora, tal y como sucede en los órganos cuando son asignadas varias pipas a una misma tecla, o de la misma manera en que los parciales consonantes de un espectro armónico son percibidos como una sola altura. De este modo la mayor parte de la terminología empleada para clasificar los acordes

⁵⁰ Julián Carrillo al dividir el tono en fracciones iguales, logro una especie de microtonalidad temperada.

es un híbrido de los términos empleados en los 2 principios psicoacústicos. Si sólo tomáramos en cuenta la altura tonal del acorde, exclusivamente podríamos hablar de dos grandes grupos: Los que tienen claridad en su altura tonal y los que manifiestan ambigüedad en ella. Esto resultaría muy general y prácticamente no nos diría nada de las características psicoacústicas de los acordes. Es ahí donde el concepto de fusión tonal junto con el de la banda crítica entran para enriquecer el vocabulario. A continuación aparece un diagrama con las cuatro regiones armónicas que conforman nuestro universo de posibilidades, y en seguida la descripción general de cada una de ellas. El nombre de las regiones se compone por dos frases que describen las características psicoacústicas generales de sus acordes: La frase superior describe el grado de fusión y la inferior la claridad de la altura tonal.



Grafica 3.1

Ejemplo 3.8 muestra cuatro acordes en un diagrama de fusión tonal y claridad tonal. Los acordes son:

- Fusión tonal y Claridad tonal: C4, E4, G4, B4
- Fusión tonal decrecida y Claridad tonal: C#4, E4, G4, B4
- Fusión tonal difuminada y Ambigüedad tonal: C#4, E4, G4, B4, C#5
- Fusión dentro de la banda crítica y Ambigüedad tonal: C#4, E4, G4, B4, C#5, D#5

Las frecuencias de los acordes son:

Acorde	Frecuencia
Fusión tonal y Claridad tonal	6, 5, 4, 3, 2, 1
Fusión tonal decrecida y Claridad tonal	9, 7, 6, 5, 4, 3
Fusión tonal difuminada y Ambigüedad tonal	21, 18, 15, 13, 11, 9
Fusión dentro de la banda crítica y Ambigüedad tonal	20, 19, 18, 17, 16, 15

La 55hz. ①

Ejemplo 3.8

Fusión tonal y claridad tonal

Los acordes de esta región se caracterizan por estar compuestos sólo por consonancias perfectas, ya que la disonancia destruye la fusión tonal. Siendo

estrictos no deberían de ser admitidas las consonancias imperfectas, como es el caso de la tercera menor que se produce entre el parcial 5 y 6. Este intervalo fue admitido por ser la tercera menor más grande y consonante de la serie armónica⁵¹, además de que es el intervalo que complementa la triada mayor tan importante dentro de la tonalidad. Si bien las posibilidades de esta región son limitadas, queda muy bien definida su sonoridad. A continuación analizaremos otros ejemplos de esta región.

The image shows a musical score for four chords in G major. The chords are G4, G3, G#4, and G#3. Each chord is shown in a grand staff with its constituent partials listed below. The partials are: G4 (16, 12, 8, 5, 3, 1), G3 (16, 10, 6, 4, 2), G#4 (20, 12, 8, 6, 5, 3), and G#3 (40, 32, 20, 12, 8, 5).

Ejemplo 3.9

La segunda característica de estos acordes es que poseen una altura tonal clara. Esto es gracias a que sus parciales se encuentran dentro de la zona de definición de la altura tonal. En los cuatro ejemplos podemos observar que existe por lo menos un parcial dentro de la zona y el resto son octavas superiores de los primeros parciales de la serie. Estas características hacen de esta región la más consonante de todas, pero al mismo tiempo la más limitada en cuanto a sus posibilidades. Como recomendación es preferible evitar la tercera menor (6/5) para eludir la banda crítica. A cambio se puede implementar su inversión de sexta mayor. Al igual que en la armonía tradicional las duplicaciones tienen que estar en una proporción que favorezca la tonalidad, es decir hay que reforzar preferentemente a la fundamental, luego al tercer armónico y por último al quinto parcial. Del mismo modo es importante estar conscientes de que la banda crítica es más amplia en la región grave del registro auditivo. En este sentido una sexta

⁵¹ Recordemos que el ancho de la banda crítica es de aproximadamente una tercera menor, a lo largo de casi todo el registro auditivo.

como la que se produce entre los parciales 5 y 8 del cuarto acorde⁵², podría quedar dentro de la banda crítica dependiendo de qué tan grave se encuentre. Como segunda recomendación hay que evitar como frecuencias más graves de un acorde los parciales 3 y 4⁵³. Esto debido a las disonancias que pueden producirse entre los espectros armónicos de estas dos alturas. Por último quisiera dejar claro que estas recomendaciones sólo intentan ser una guía para la exploración de esta región, y de ningún modo pretenden ser reglas que la limiten.

Fusión tonal decrecida y claridad tonal

En esta región la fusión es ensuciada debido a la presencia de consonancias imperfectas, y de disonancias que no llegan a rebasar el límite de discriminación de frecuencia⁵⁴.

17
12
10
7
4
2

12
9
8
5
4
3

12
11
8
6
5
4

12
9
8
5
4
3

Ejemplo 3.10

Esta región viene siendo una graduación intermedia entre la fusión tonal con claridad tonal, y la fusión tonal difuminada con ambigüedad tonal. Esta tiene la característica de poseer armónicos dentro de la zona de definición de la altura tonal y fuera de ella. Los timbres que tienen estas características son percibidos como una sola altura. Esta región es rica en posibilidades de combinación de

⁵² Este acorde en particular se ubica en los límites de esta región, por contar sólo con un parcial dentro de la zona de definición de la altura tonal. También hay que considerar que el parcial 8 es tomado por algunos científicos como parte de la zona de definición de la altura tonal.

⁵³ De manera análoga en la armonía tradicional se evitan las cuartas entre las voces más graves de la segunda inversión. Schoenberg, A., 1992, *Tratado de armonía*, Real Musical, Madrid, pp. 81-87.

⁵⁴ Esto quiere decir que las alturas del intervalo disonante son percibidas por separado.

intervalos por utilizar tanto consonancias como disonancias. La única regla es que debe de haber consonancias en la parte grave del acorde para poder establecer la altura tonal. Como recomendación es preferible no utilizar más de una disonancia por acorde, ya que se puede perder por completo la fusión tonal.

Fusión tonal difuminada con ambigüedad tonal

Los acordes de esta región se caracterizan por no generar ningún tipo de fusión y por no poseer una altura tonal clara. De tal manera que todos ellos son disonantes y sus alturas son percibidas por separado. A pesar de ello esta región es rica en posibilidades, ya que existen una gran variedad de intervalos disonantes que pueden ser empleados para construir timbres y acordes. A continuación aparecen cuatro acordes pertenecientes a esta región.

84	84	48	52
64	68	38	38
40	48	30	28
28	32	22	22
19	20	20	16
11	9	13	9

Ejemplo 3.11

Aunque en los ejemplos anteriores se evitaron los intervalos dentro de la banda crítica, es posible hacerlo siempre y cuando no se sobrepase el límite de discriminación de frecuencia.

Fusión dentro de la banda crítica y ambigüedad tonal

Los acordes de esta región son sin duda los más disonantes por estar sus intervalos siempre dentro de la banda crítica, y fuera del límite de discriminación

de frecuencia, generándose de este modo la percepción de una sola masa de batimientos. En la práctica mientras más pequeños y variados sean los intervalos de una escala, mayor será la diversidad en la sonoridad de los *Clusters*. En este sentido nuestra escala de 24 alturas justas permite utilizar una mayor cantidad de disonancias que las afinaciones de 12 alturas. En los siguientes cuatro ejemplos veremos como la escala de 24 permite componer acordes con un mayor número de parciales contiguos.

The image shows a musical score for two staves, labeled II and I. Staff II has a single note at partial 25 in the first measure, and two notes at partials 35 and 33 in the second measure. Staff I has clusters of notes in all four measures. The partial numbers for each cluster are listed below the staff:

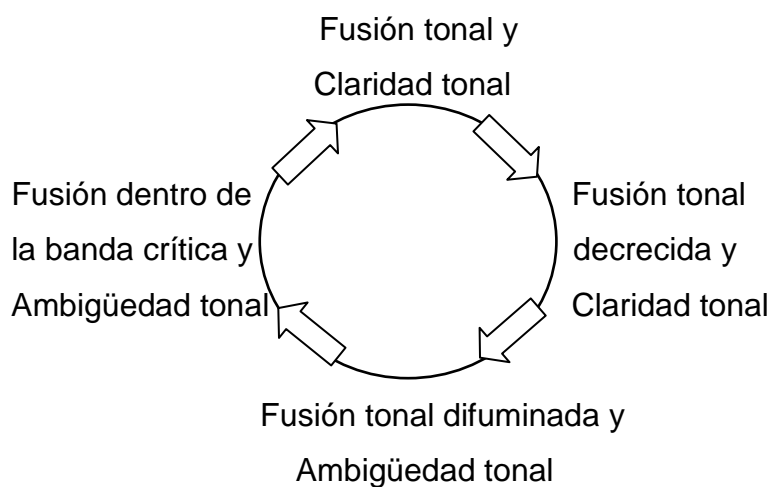
30	38	22	14
28	36	21	13
27	34	20	12
26	32	19	11
24		18	10
		17	9

Ejemplo 3.12

Gracias a las alturas que incorpora el segundo teclado, podemos emplear el parcial 25 o Mi# (Fa del pentagrama superior) para hacer un *cluster* con los parciales contiguos del 24 al 28. De la misma forma en el siguiente ejemplo son completados los parciales del 32 al 36. Por último el tercer y cuarto acordes nos muestran acordes con hasta 6 parciales contiguos. De esta forma la cantidad de batimientos se vuelve mucho más variada generándose una rítmica muy peculiar dentro del acorde. Esto sin duda será uno de los aspectos a desarrollar en un futuro trabajo.

Cuando desarrollé la primer sistematización concebí las regiones armónicas de manera lineal, porque comprendí que al construir acordes o timbres utilizando parciales cada vez más agudos (ejemplo 3.4), podía modular gradualmente de la primer región a la última y viceversa. Este pensamiento evolucionó cuando analicé los intervalos que se generan entre los parciales más lejanos a la fundamental. Como ya sabemos los intervalos de la serie de armónicos naturales se vuelven

progresivamente más pequeños a medida que esta crece, al grado de que el último intervalo en ser percibido como intervalo, es decir, el último par de armónicos en ser escuchados como alturas diferentes es el que existe entre los parciales 1153 y 1154. Este intervalo es de 2 cents y como ya vimos es el intervalo más pequeño que puede ser percibido en condiciones óptimas por un oído entrenado. A partir de los parciales 1154 y 1155 el intervalo que se genera entre armónicos contiguos es de 1 cent, lo que significa que habremos llegado al intervalo con mayor fusión tonal de todos, el unísono. Incluso a partir de los parciales 3462 y 3463 el intervalo llega a ser de 0 cents. Esta característica de la serie fue muy reveladora porque me permitió teóricamente unir los extremos de la línea para formar un círculo. En otras palabras encontré la forma de modular directa y gradualmente, de la fusión dentro de la banda crítica con ambigüedad tonal, a la fusión tonal con claridad tonal. Esto se puede lograr al igual que en la primer sistematización construyendo acordes con parciales contiguos. Si la progresión armónica del ejemplo 3.4 la continuáramos hasta llegar a los parciales que tienen intervalos de 0 cents, obtendríamos un acorde que suena como unísono. De esta manera en vez de establecer una relación lineal entre las regiones armónicas, obtenemos una conexión circular que puede darse en ambos sentidos de las manecillas del reloj.



Gráfica 3.2

Ahora bien, ¿Cómo podemos llevarlo a la práctica si estos parciales son demasiado agudos para ser percibidos?. La solución a esta pregunta es usar una fundamental infrasónica, de tal modo que toda la serie armónica se recorra hacia el registro grave, provocando que los parciales del 3462 en adelante se ubiquen dentro del rango auditivo humano.

Uno de los planteamientos más interesantes de este trabajo es quizá, la posibilidad de modular entre las regiones armónicas. En la sección 4.2.2 será analizada la Arquitectura sonora, pieza que fue compuesta para demostrar esta idea. En ella la armonía se desplaza gradualmente a través zonas acústicas radicalmente diferentes. Esto sin lugar a dudas, este será uno de los aspectos más interesantes a desarrollar en el futuro. Por último quiero enfatizar, que esta propuesta sólo intenta brindar una luz de lo que podría ser un futuro sistema armónico, basado en principios naturales.

Capítulo IV

Composiciones

Las obras que serán analizadas en este capítulo son el producto de un largo proceso de composición, investigación y teorización. Este comenzó con la exploración del timbre a partir de ondas senoidales, y culminó con la exploración armónica en las piezas para clavecín. Cada composición abordó la problemática propia del momento del proceso en que se encontraba. Por lo tanto son las últimas piezas las que muestran un desarrollo armónico más claro y sistemático. Las primeras piezas del proceso fueron los Estudios senoidales 1 y 2. Estas en gran medida fueron una exploración intuitiva de posibles combinatorias de parciales armónicos. En las dos los timbres fueron construidos ordenando los armónicos como si fueran las alturas de un acorde, pero fue hasta las piezas de clavecín que el pensamiento fue aplicado a la inversa, es decir, construir acordes como si se estuvieran construyendo timbres.

4.1 Estudios Electroacústicos

Al comienzo del proyecto, cuando la idea era tan sólo la de componer música utilizando las frecuencias de los armónicos naturales, las únicas herramientas a mi alcance fueron el secuenciador y el generador de tonos. Ya en el año 2000 había compuesto un par de piezas con los mismos recursos, por lo tanto contaba con experiencia previa para este tipo de trabajo. Este comenzó con el cálculo y tabulación de los primeros 329 armónicos de una fundamental afinada en LA a 55hz. Con esta información se generó un banco de ondas senoidales, las cuales fueron importadas en bruto por el secuenciador en donde fueron editadas en su duración y amplitud. Después de esto los sonidos fueron ordenados y escritos en papel milimétrico de una manera casi tradicional. La Fantasía además de utilizar el secuenciador empleó el programado en MAX para generar material musical. En él programé el teclado de la computadora para accionar con cada tecla un parcial

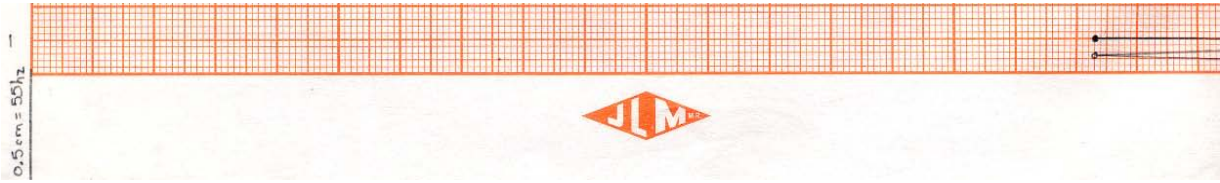
diferente de La. Esta pieza por su complejidad fue la única en no ser registrada en papel milimétrico. En este sentido el único registro gráfico que se tiene es la forma de onda que aparece en el secunciador. Es importante señalar que el análisis de las obras será de carácter general y enfocado en aquellos detalles que tuvieron una repercusión en el desarrollo del proyecto. Esto fue necesario para economizar la información, así como, para no desviar la atención del objetivo principal. Después de todo esta es una tesis teórica que emplea el análisis como herramienta para demostrar la aplicación práctica. Para aquellos estudiosos interesados en hacer el análisis de otros aspectos de las obras, las partituras aparecerán completas en el apéndice de esta tesis.

4.1.1 Estudio Seno nº1

Partitura

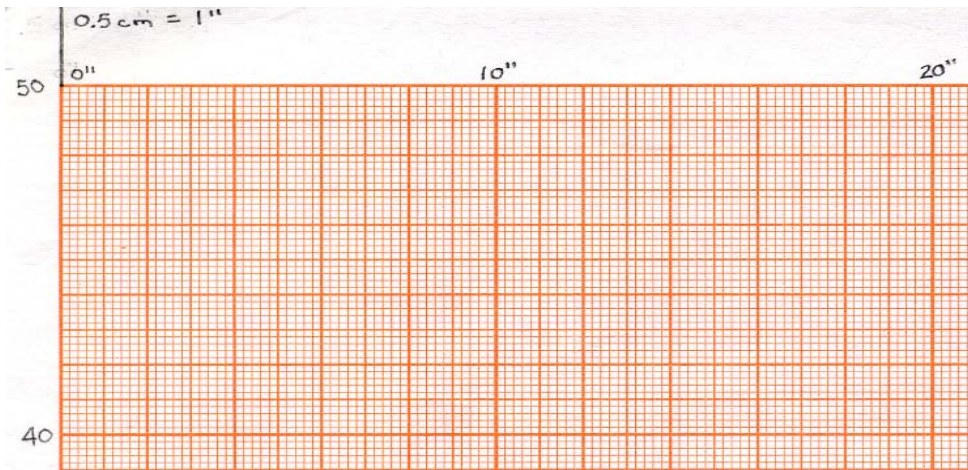
La primera vez que vi utilizar el papel milimétrico como partitura fue en la clase de Julio Estrada⁵⁵. A diferencia de él mis partituras tienen la intención de ser las definitivas. En el caso de Estrada el papel milimétrico es sólo un intermediario aproximado entre la imaginación y la partitura final. En este Estudio cada armónico fue escrito a 5 milímetros de distancia para aprovechar las líneas gruesas del papel como referencia. Al mismo tiempo este espacio resultó suficiente para hacer indicaciones dinámicas para cada parcial. En la esquina inferior izquierda aparece la escala a la que estarán escritas las frecuencias: 0.5cm=55hz. Esto quiere decir que cada 0.5cm la frecuencia aumentará 55hz, o si se prefiere a cada milímetro se aumentará 11hz. A continuación observaremos la parte inferior de la primer hoja, en donde aparece la fundamental ubicada en la primer línea gruesa a los 5 milímetros.

⁵⁵ A esta clase acudí en calidad de oyente aproximadamente en siete ocasiones entre 1995 y el 2002.



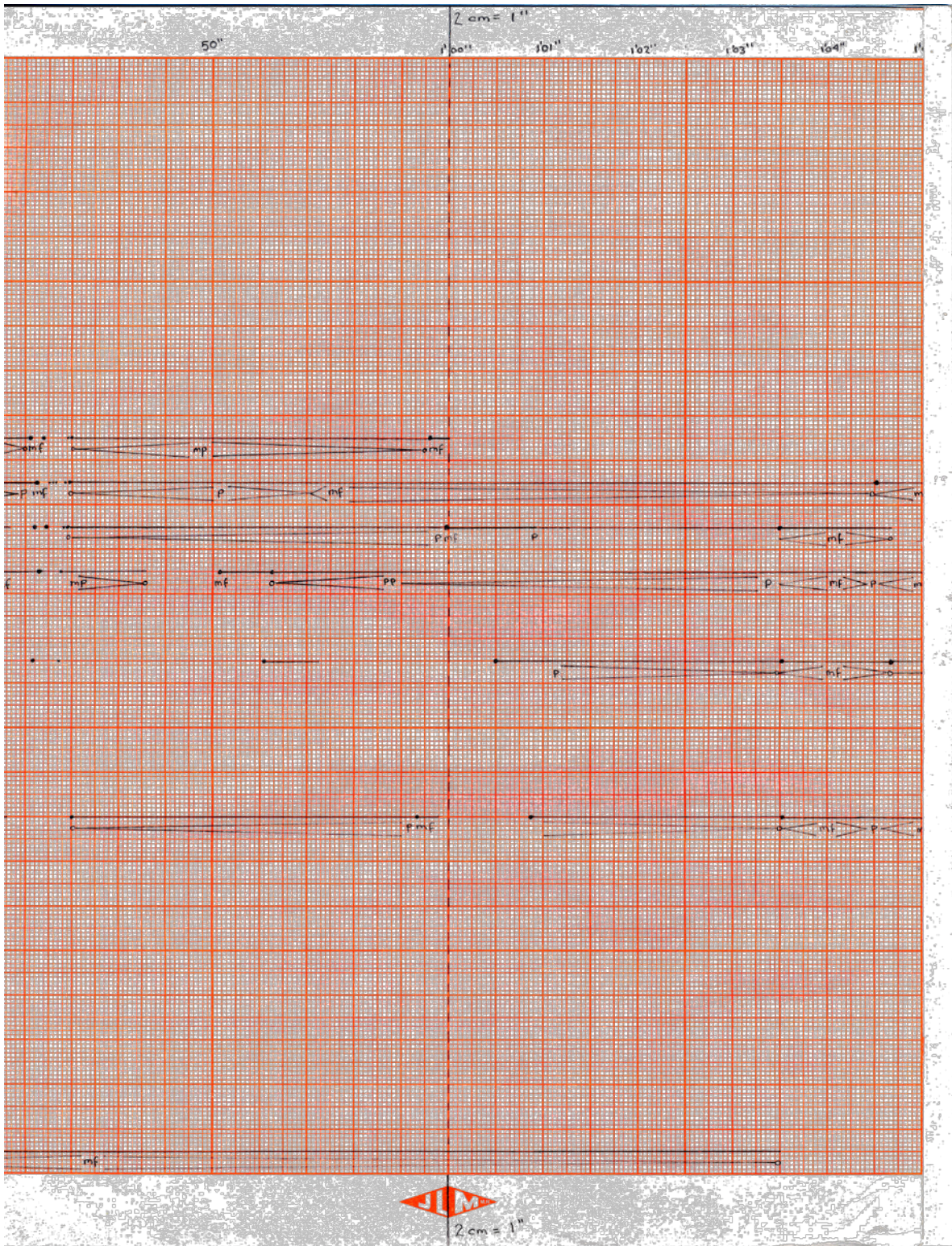
Ejemplo 4.1

El punto negro indica el inicio del parcial y la longitud de la línea su duración, quedando el registro del tiempo indicado en la parte superior del papel. En este caso la escala de medición es de $0.5\text{cm}=1''$. Esto quiere decir que a cada 0.5cm se habrá avanzado un segundo. De esta manera las líneas gruesas horizontales agrupan periodos de 10 segundos, mientras que las verticales grupos de 10 armónicos. Así se aprovecha el diseño del papel milimétrico para ubicar con facilidad los parciales y el tiempo.



Ejemplo 4.2

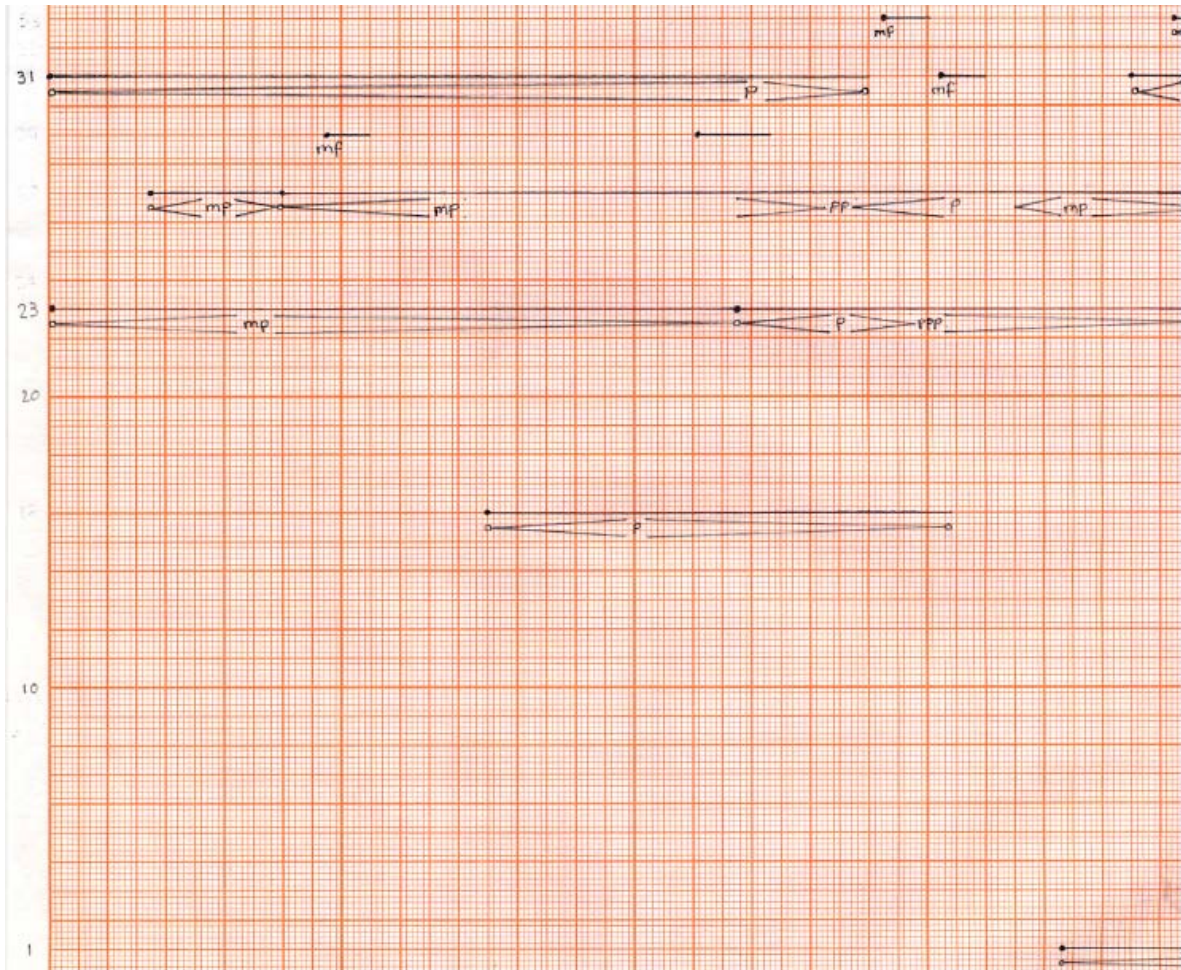
Sin embargo estas referencias visuales pueden cambiar en caso de que la escala del tiempo o de las frecuencias sea modificada. En la segunda hoja del Estudio aparece un cambio de la escala del tiempo. Este aparece indicado por la línea vertical intermitente. Esta señala que a partir de ese momento se necesitarán recorrer dos centímetros para avanzar un segundo. De esta manera la escala queda como: $2\text{cm}=1''$. Esto significa que veremos con más detalle el ritmo pero la partitura se volverá cuatro veces más larga.



Ejemplo 4.3

Composición

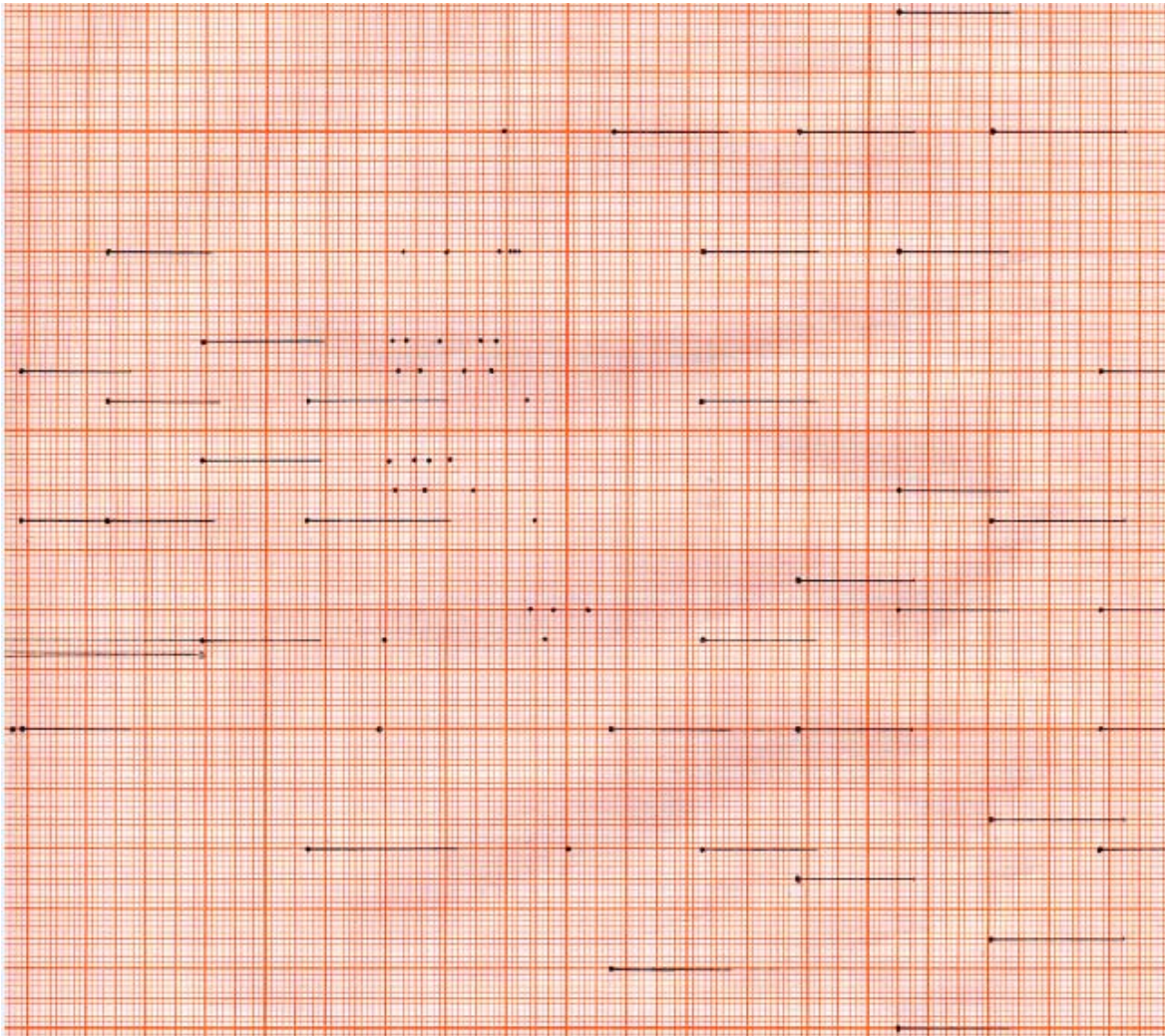
Decidí abordar mi primer exploración de la afinación justa de manera libre e intuitiva, principalmente porque no había tenido ninguna experiencia con esta. Por otro lado no tenía ningún fundamento teórico ya que desconocía toda la teoría referente a la percepción de la altura tonal y la fusión tonal. Por lo tanto no existe ninguna sistematización dentro de la composición. El único objetivo fue explorar diferentes combinaciones interválicas, en especial las que se producen entre los armónicos primos superiores al 23. A partir del resultado de estas exploraciones surgieron dudas que sirvieron como motor para del desarrollo teórico posterior. Una de esas dudas fue precisamente: ¿por que a veces son percibidas varias alturas y en otras sólo una?. En la primer hoja se puede observar como la fundamental está muy alejada de sus armónicos, ocasionando que esta sea percibida por separado de las otras frecuencias. Este pasaje se construye a partir de una textura armónico-tímbrica formada por frecuencias largas que entran y salen lentamente. Poco a poco son superpuestos a esta textura, ataques percusivos breves y aislados que van dibujando una melodía. El inicio está compuesto por los parciales primos 23, 31, así como por el non 27, mismos que generan ambigüedad en la altura del timbre. Los ataques comienzan con el armónico 29 poco antes del segundo diez. Estos fueron intencionalmente escritos sin indicaciones dinámicas para poder ser diferenciados con facilidad.



Ejemplo 4.4

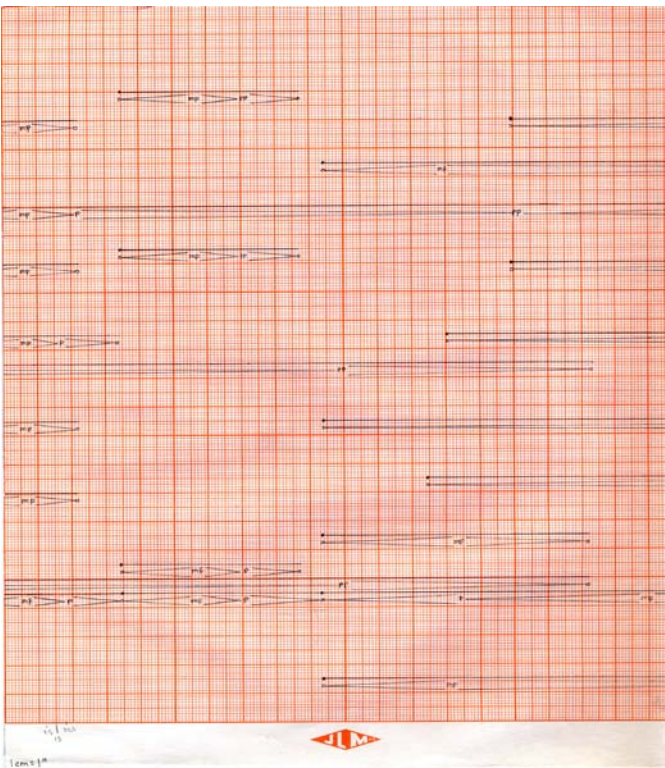
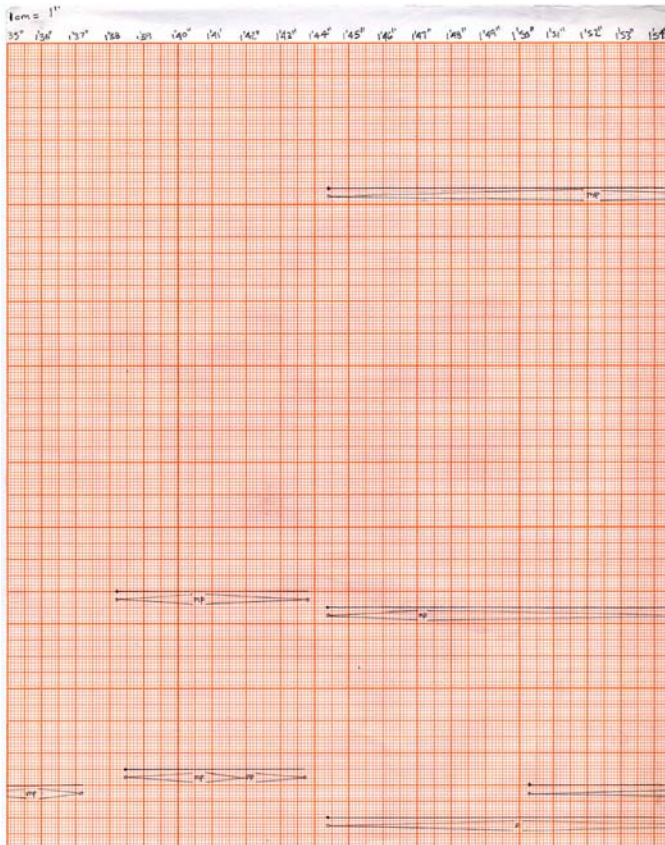
A partir del minuto 1 con 3.5 segundos inicia una especie de coral tímbrico, en donde los armónicos son tratados como las voces de un acorde (ejemplo 4.3). En este sentido el registro de las frecuencias en el papel milimétrico fue de suma importancia, ya que me ayudo a analizar y entender mejor la armonía que estaba realizando. A la larga esta forma de trabajar terminó por transformar la dirección del proyecto que inicialmente sólo contemplaba la composición con ondas senoidales. Pero fue sólo hasta después de la composición de varios estudios y ejercicios que el curso del proyecto mutó de la búsqueda tímbrica a la armónica. Estructuralmente hablando el coral es una sección importante del Estudio. En él se establece un discurso en donde las senoidales se presentan simultáneamente y con la misma intensidad, de la misma manera en que sucede con una progresión armónica. Como resultado se generan timbres con fusión tonal y ambigüedad, los

cuales son intercalados con la melodía percusiva, que ahora es presentada a manera de ráfagas breves de *staccatos*. Del minuto 1' con 11" al minuto 1' con 27" las indicaciones dinámicas de las frecuencias fueron eliminadas. Esto para economizar información en la partitura, ya que las envolventes son siempre las mismas.



Ejemplo 4.5

Una característica de la pieza es que conforme esta avanza, el rango de frecuencias que intervienen en la obra así como la densidad aumentan progresivamente. Este primer estudio explora un número relativamente pequeño de frecuencias, empleando como armónico más agudo el 94. Resulta obvio al ver la partitura como al inicio sólo es utilizada una hoja, y a partir del minuto 1' con 25" es necesario anexar una hoja.



Ejemplo 4.6

Hacia el final la melodía desaparece y el coral se transforma en un gran timbre-acorde que se disuelve lentamente a manera de coda. Este es entonces, el primer paso dentro de un largo proceso que apenas comienza con esta pieza.

4.1.2 Estudio Seno nº2

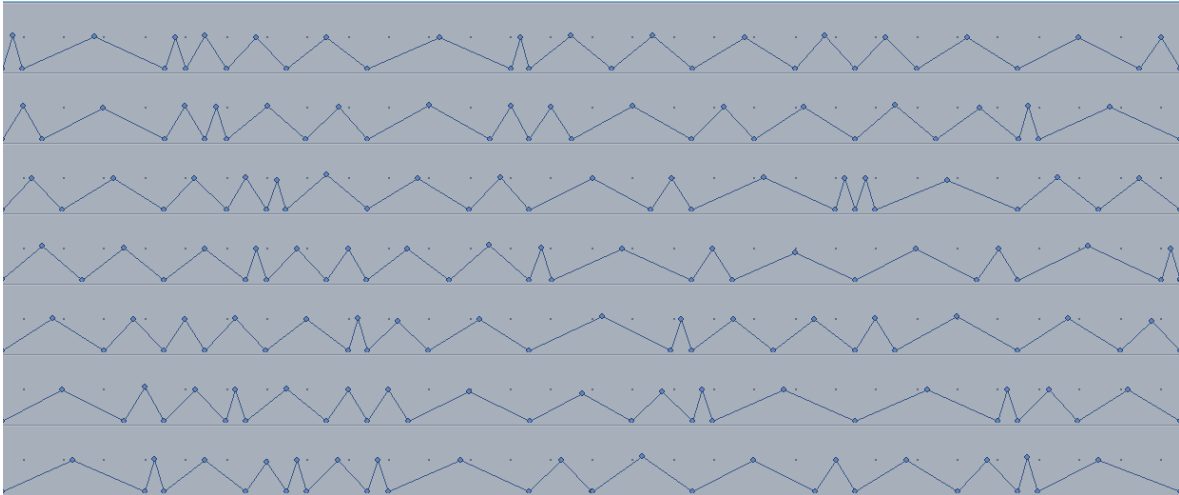
Partitura

Para este trabajo se decidió no escribir la intensidad en el papel milimétrico por dos razones. La primera obedece a la necesidad de emplear todo el registro audible de frecuencias, ya que con el sistema anterior se tiene un parcial cada 0.5cm, y sólo es posible registrar 50 armónicos por hoja. Para representar el rango de 329 armónicos que comprende nuestra tabla se necesitarían 7 hojas unidas de manera vertical. Pero si se omite la escritura de la intensidad y se utiliza cada milímetro para indicar un parcial, cada hoja podría registrar hasta 250 parciales. La segunda razón por la cual me decidí a no registrar la intensidad, fue porque todas las senoidales poseen la misma envolvente de amplitud, la cual consiste en un *crescendo* del *niente* al *mf*, seguido de un *decrescendo* al *niente*. De esta manera la información quedó sintetizada para favorecer la lectura del espectro armónico. En cuanto al tiempo este será de 1 segundo cada 1.5 centímetros durante toda la pieza.

Composición

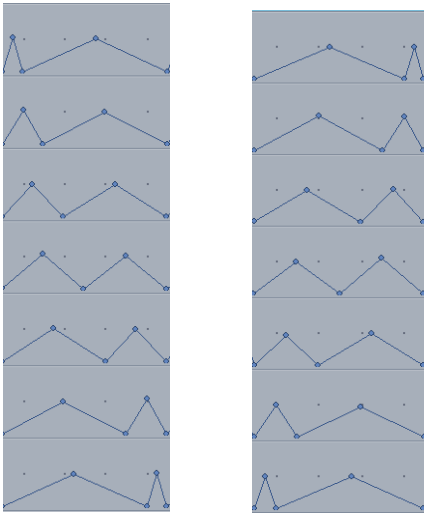
A diferencia del primer Estudio este sí ofrece una metodología para abordar la exploración de la afinación justa. Esta genera materiales musicales a partir de la mezcla de los parciales de tonos preestablecidos, la cual es ordenada en un *obstinato*⁵⁶ polirrítmico a 7 voces de casi 10 segundos de duración. Este se compone de 7 envolventes de amplitud distribuidas en el mismo número de *tracks*.

⁵⁶ Este se repite de manera idéntica excepto en el segundo 25, momento en que es reiniciado antes de culminar su ciclo.



Ejemplo 4.7

El ritmo del patrón genera contrapunto o texturas tímbricas dependiendo de las frecuencias implicadas. Sólo en un par de instantes las envolventes se mueven en sincronía vertical para formar una especie de ola que se desplaza de la envolvente 1 a la 7. Esto sucede al inicio y a los tres segundos de iniciado el patrón, sólo que en la segunda ocasión la ola se produce de manera inversa. A continuación aparecen las dos olas que sirven como puntos de referencia dentro de la estructura del patrón.



Ejemplo 4.8

Estas transforman el timbre aunque no sean variadas las frecuencias de sus parciales. Esto se logra gracias al cambio de amplitud de las senoidales, mismo

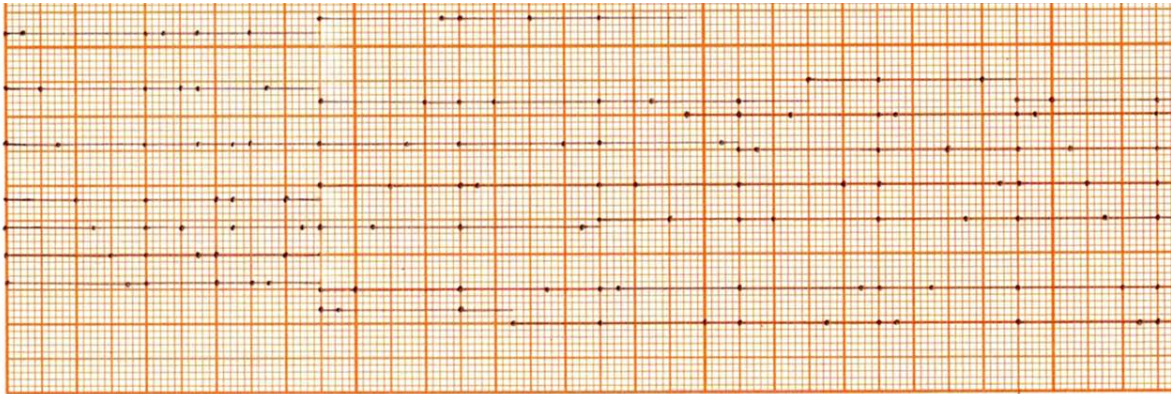
que provoca diferentes combinaciones tímbricas. Es como cuando se cambia la proporción de los ingredientes de una receta de cocina, pero sin omitir ninguno de ellos.

La forma de la pieza está dada por una estructura tímbrico-armónica que se subdivide en 37 pequeñas secciones. Con excepción de la primera, todas fueron construidas con un método que emplea patrones numéricos para mezclar los parciales de un grupo de tonos compuestos. Durante las tres primeras secciones fue empleado un grupo de 4 tonos para generar el material musical. Cada uno de ellos se compone de 7 parciales que fueron tratados como 7 voces. En la primer sección que dura 24 segundos estos fueron combinados de manera libre e intuitiva.

	Tono 1 “LA”	Tono 2 “MI”	Tono 3 “DO#”	Tono 4 “SOL”
Número de	13	18 (54)	9 (45)	7 (49)
los	11	14 (42)	8 (40)	6 (42)
armónicos	9	12 (36)	7 (35)	5 (35)
que	7	10 (30)	6 (30)	4 (28)
componen	6	8 (24)	5 (25)	3 (21)
cada tono	5	5 (20)	3 (15)	2 (14)
	4	4 (12)	2 (10)	1 (7)

Tabla 4.1 El número encerrado entre paréntesis corresponde a la serie de la fundamental (LA).

La sección inicia con las frecuencias del tono de LA, mismas que son rápidamente suplidas por las del tono de MI. Esto genera una introducción con fusión tonal a pesar del contrapunto de las envolventes. Poco antes del quinto segundo las frecuencias del tono de DO# comienzan a mezclarse con las de MI, como si fueran anticipos de un enlace armónico. Esto se puede observar en los primeros 11 segundos que aparecen a continuación.



Ejemplo 4.9

Siguiendo la misma idea los parciales del tono de SOL fueron mezclados con los de DO#, para finalmente quedar los parciales de SOL durante los últimos 4 segundos de la sección.

La segunda sección emplea el patrón: 3, 2, 1, 4, 1, 2, 4, 3, 2, 3, 4, 1, 2, 4, 1, 3; para seleccionar los parciales que formarán la secuencia de cada voz. A través de cada número el patrón indica de que tono deben ser tomados los parciales. Por ejemplo, al aplicarlo a la voz del bajo el orden de los parciales generados es: 10, 12, 4, 7, 4, 12, 7, 10, 12, 10, 7, 4, 12, 7, 4, y 10 (Los números corresponden a los armónicos de LA). Eventualmente esta secuencia es adaptada al patrón de envolventes, generándose de este modo la melodía correspondiente a la voz del bajo. Esta sección inicia en el segundo 25 y termina en el 40, siendo la única que utiliza el mismo patrón para todas las voces.

En la tercer sección que va del segundo 40 al 57 es empleado un nuevo patrón numérico para cada una de las 7 voces:

Voz 7	1, 2, 3, 4, 4, 2, 3, 1, 4, 1, 3, 2, 3, 4, 2, 1, 3, 1, 2, 4, 2, 4, 1, 3, 2, 3, 1, 4
Voz 6	1, 3, 4, 2, 1, 2, 4, 3, 4, 3, 1, 2, 4, 2, 1, 3, 3, 2, 4, 1, 3, 1, 4, 2, 2, 4, 3, 1
Voz 5	2, 1, 3, 4, 1, 4, 2, 3, 1, 3, 2, 4, 4, 3, 2, 1, 4, 1, 2, 3, 3, 4, 1, 2, 3, 2, 1, 4
Voz 4	2, 3, 4, 1, 2, 1, 4, 3, 1, 4, 3, 2, 1, 2, 3, 4, 4, 2, 3, 1, 4, 1, 3, 2, 3, 4, 2, 1
Voz 3	3, 1, 2, 4, 2, 4, 1, 3, 2, 3, 1, 4, 1, 3, 4, 2, 1, 2, 4, 3, 4, 3, 1, 2, 4, 2, 1, 3
Voz 2	3, 2, 4, 1, 3, 1, 4, 2, 2, 4, 3, 1, 2, 1, 3, 4, 1, 4, 2, 3, 1, 3, 2, 4, 4, 3, 2, 1
Voz 1	4, 1, 2, 3, 3, 4, 1, 2, 3, 2, 1, 4, 2, 3, 4, 1, 2, 1, 4, 3, 1, 4, 3, 2, 1, 2, 3, 4

Tabla 4.2

Si bien es un procedimiento azaroso, resulta muy eficaz para explorar diferentes posibilidades tímbricas y armónicas de la afinación justa.

Para la cuarta sección fue ampliado el grupo de tonos generadores a cinco. El nuevo integrante es el tono de SI compuesto por los parciales 1, 2, 3, 4, 5, 6, y 7. A partir de este momento cada que termina una sección es agregado un nuevo tono al grupo hasta llegar a siete. A partir de aquí el patrón se repite hasta el final sin ningún cambio. La única variante sucede en el grupo de tonos generadores, ya que en cada nueva sección es eliminado el tono más viejo del grupo y es sustituido por uno nuevo. De este modo el tono1 o LA será el primero en ser sustituido. Cada uno de los nuevos tonos tiene la característica de contener parciales ligeramente más agudos que los anteriores. Esto provoca que la sonoridad del Estudio se vuelva gradualmente más aguda, al punto de llegar a la frontera de la percepción con los ultrasonidos. Esto sucede en la sección 18 que comienza en el minuto 3 con 28 segundos. Allí las frecuencias de los parciales oscilan entre los 4455hz y los 18000hz. Debido a que los 5000hz son la frontera en donde dejamos de percibir una frecuencia como altura y la comenzamos a percibir como un timbre, se escuchará más una textura tímbrica que un contrapunto de alturas. Lo interesante aquí es que dependiendo de la capacidad del sistema auditivo de la persona que escuche la obra, así como de su percepción particular, será la cantidad de frecuencias y alturas que escuche. Incluso la edad en que sea escuchada la obra por un mismo individuo afectará la percepción del mismo.

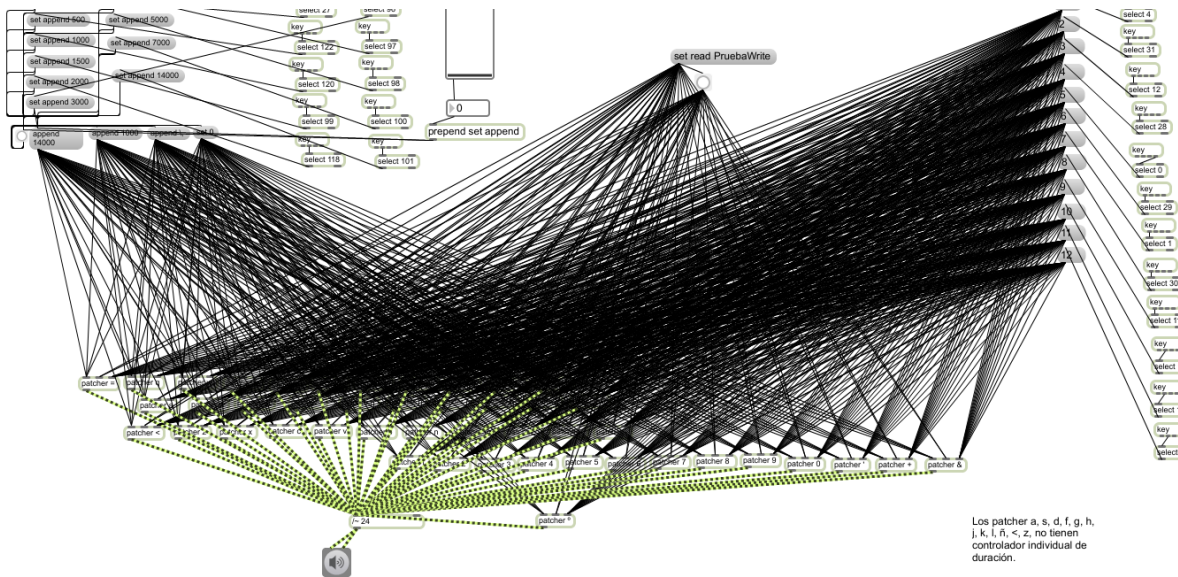
En la sección 19 que comienza al minuto 3 con 50 segundos, es agregado nuevamente al grupo de tonos generadores el tono de LA, compuesto por sus primeros 7 parciales. Esto crea una melodía grave que restablece la sensación de tonalidad y de altura perdida en la sección anterior. En cada nueva sección son agregadas más frecuencias graves dentro del grupo de tonos. Ya para la sección 24 la melodía se ha convertido en un contrapunto que implica los primeros 21 armónicos. En la siguiente sección a partir del minuto 5 con 27 segundos, comienzan a ser substituidos algunos parciales del grupo generador por silencios. Esto se realiza sin alterar el patrón rítmico, simplemente en vez de ser asignadas

frecuencias a las envolventes fueron agregados silencios. De este modo se disuelve progresivamente la densidad tímbrica, quedando hacia el final unas cuantas frecuencias graves. De manera general podemos decir que el objetivo del Estudio se cumplió al explorar una gran cantidad de sonoridades dentro de la afinación justa, a las cuales quizá no hubiéramos llegado a través de otros procedimientos, o por lo menos nos hubiera tomado más tiempo hacerlo.

4.1.3 Fantasía

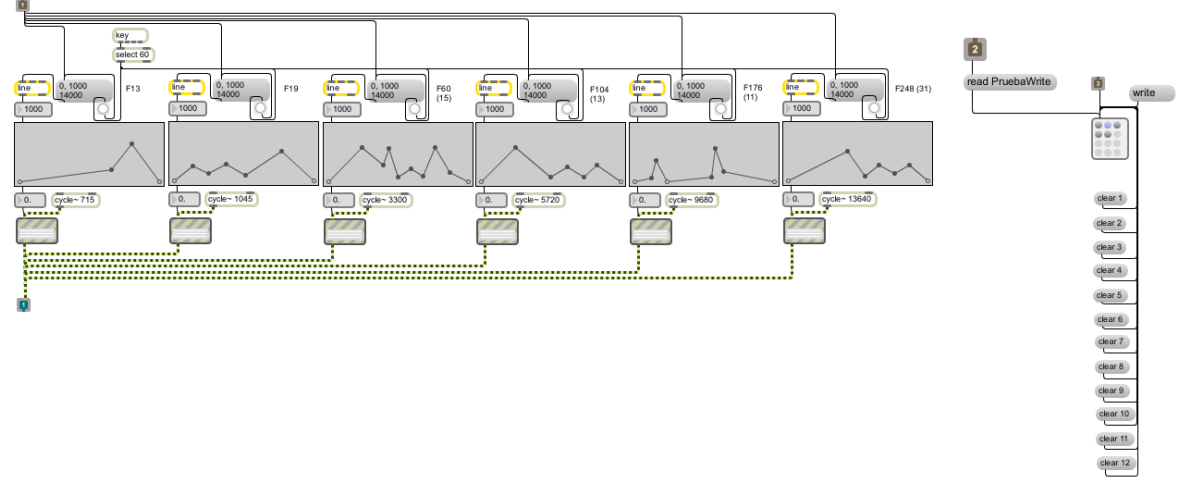
Programación

Uno de los objetivos de este trabajo fue explorar la afinación justa a través de un instrumento musical. Esta idea surge de la necesidad de ejecutar con mis propias manos los sonidos. La solución la encontré al programar en Max el teclado de la computadora para disparar tonos simples o compuestos. En total fueron hechas cuatro programaciones del teclado para accionar tonos simples. Cada una de ellas cubre una parte del registro que abarcan los 329 parciales de nuestra tabla: El teclado 1 cubre del armónico 1 al 85, es decir de los 55 a los 4675Hz; El teclado 2 va del armónico 86 al 169 cubriendo de los 4730 a los 9295Hz; El teclado 3 va del armónico 170 al 254 abarcando de los 9350 a los 13970Hz; Y por último el teclado 4 va del armónico 255 al 329 cubriendo de los 14025 a los 18095Hz. De este modo con cuatro teclados es posible ejecutar manualmente toda la serie de armónicos naturales. Por otro lado, la programación de tonos compuestos dispara seis parciales diferentes por cada tecla, contando con un total de 43 combinaciones diferentes. Todos los instrumentos utilizan una envolvente para cada senoidal, y cuenta con una memoria para guardar varias de ellas. Esto permite el cambio en tiempo real de diferentes patrones de envolventes. Otra función que puede ser manipulada desde el teclado es la duración del sonido. A continuación podemos observar la programación general del instrumento:



Ejemplo 4.10

El grupo de cajas que se encuentran conectadas abajo del centro del grafico son *subpatchers* que representan a cada una de las teclas. Como ya dijimos estas fueron programadas para que al ser accionadas se disparen una o varias frecuencias senoidales. A continuación observaremos el interior de un *subpatchers* que dispara 6 frecuencias simultáneas.



Ejemplo 4.11

Composición

Me pareció interesante estudiar las posibilidades musicales de las frecuencias que se encuentran en el registro más agudo de nuestra percepción. Estas son rara vez organizadas de manera consiente por los compositores, quedando muchas cosas por estudiar en este terreno. La obra explora por registros de altura o anchos de banda las diferentes regiones del rango auditivo. La pieza dura 7 minutos y se divide en dos grandes secciones. La primera emplea como base una atmósfera armónico-tímbrica generada por un conjunto de senoidales que entran y salen lentamente. Estas fueron disparadas por el teclado 1 y eventualmente grabadas en el secuenciador. A esta atmósfera fueron superpuestos tonos compuestos de diferente duración. Los tonos largos se fundieron con la atmósfera volviéndola más compleja e interesante, y los tonos rápidos generaron ataques que sobresalen en la atmósfera. Estos últimos fueron organizados en una melodía fragmentada que se desarrolla a lo largo de esta primer sección. Algunos de los ataques fueron procesados con reverberación, y les fue asignado un diferente nivel a cada uno de ellos para darle una mayor profundidad espacial a la obra. Además de esto no fue utilizado ningún efecto durante la pieza siendo la síntesis aditiva la única técnica empleada.

La segunda sección comienza en el 3'33" con una textura compuesta con frecuencias extremadamente agudas. Estas se mezclan con la atmósfera de la primer sección que se encuentra desvaneciéndose lentamente desde el 3'21" en un *fade out* de casi 1'. Para lograr esta textura fue empleado el cuarto teclado de tonos simples. Poco a poco con la ayuda del teclado 3 y 2 son agregadas frecuencias cada vez menos agudas. A partir del 4'19" aparece en *Pianissimo* otra melodía fragmentada que recuerda el discurso de la primer sección. Esta desaparece en el 4'44" para dejar escuchar el desarrollo tímbrico. En el 5' 21" regresa el material melódico utilizando el teclado 3, y en el 5'32" desarrolla un contrapunto con el teclado 2. En el 5'41" se incorpora el teclado 1 en su registro agudo para formar un contrapunto a 3 voces. Para el 6'01" ya solo quedan el teclado 1 y 3, para finalmente en el 6'42" dejar solo el teclado 4. Basicamente

todos los materiales de la obra fueron producto de la improvisación al teclado. Esta manera de trabajar me pareció la más sensata y natural, ya que tanto la afinación como el teclado son cosas nuevas para mí. Es probable que mi experiencia en el piano me haya ayudado de algún modo a explorar musicalmente el teclado, no obstante es necesario desarrollar a futuro una técnica adecuada para tocarlo.

4.2 Estudios para clavecín

Una pregunta que tuve al comienzo del proyecto fue si era viable utilizar algún instrumento acústico y la escritura tradicional. Esta duda quedó disipada con estas piezas, ya que el clavecín posee características que lo hacen ideal para explorar esta afinación. En principio posee dos teclados que pueden ser afinados de manera fácil e independiente. Esto posibilita el uso de escalas de hasta 24 alturas por octava, sin necesidad de utilizar una escritura de fracciones de tono, ya que tan solo con utilizar un sistema de escritura para cada teclado, le evitará al intérprete leer fracciones de tono. Otro aspecto de este trabajo es que todas las piezas de la tesis, independientemente del nombre que tengan, son en mayor o menor medida estudios con objetivos preestablecidos.

4.2.1 Capricho para clavecín

Esta obra es la única aplicación práctica de la primer sistematización expuesta en la sección 3.9. En los primeros 31 compases es empleada la progresión armónicas que aparece en el ejemplo 3.4⁵⁷, y del compas 32 hasta el final es realizada una variación de algunos acordes de esta. Esto a través de inversiones y cambios de posición de los acordes. Por otro lado, es empleada la afinación cromática de Ben Johnston, de tal manera que sólo será utilizado uno de los dos teclados del clavecín. En cuanto a la ejecución podemos decir que algunas secciones de la

⁵⁷ La única diferencia radica en que las exposiciones breves del material D, interrumpen la secuencia original del ejemplo 3.4, ver ejemplo 4.15.

pieza fueron planeadas para darle al intérprete un margen amplio de libertad, y otras secciones fueron planeadas para ser ejecutadas con exactitud. Esto dio como resultado una partitura que combina escritura tradicional con escritura sin compás.

Forma

La forma es el resultado de un contraste continuo de 5 materiales musicales, que tienen como objetivo explorar la sonoridad de los diferentes acordes de la estructura armónica. Los materiales contrastan en carácter y estilo, volviéndose un reto el relacionarlos dentro de un desarrollo. Algunos se componen de motivos simples y otros apenas forman una semi-frase. La mayor parte del tiempo los materiales son contrapuestos de manera abrupta e incesante, pero en varios episodios son desarrollados de manera continua. Esto genera una sensación de incertidumbre por parte del espectador, el cual no puede predecir lo que sucederá a continuación. Los materiales son:

- **A** es una atmósfera compuesta por arpegios rápidos intercalados con silencios de diferentes duraciones.
- **B** son acordes largos.
- **C** son arpegios lentos que forman motivos melódicos simples.
- **D** es una melodía acompañada por una nota tenida; la armonía de este material se deriva de un *cluster*.
- **E** es una melodía tonal acompañada.
- **F** es una secuencia rítmica construida sobre cuatro alturas que desemboca en un tremolo sobre la fundamental; este material sólo es empleado en el compás 2 y como coda.

Si vemos la forma de manera esquemática resulta ser una especie de rondo, en donde **A** es el material que se encuentra intercalado con el resto de los materiales,

y por lo tanto el más presente a lo largo de la obra. A continuación aparece la secuencia en que van apareciendo los materiales.

A – B – A1 – F – A2 – C – A3 – D – A4 – D1 – A5 – D2 – A6 – B1 – C1 – E – B2 – (A7 + D3) – (D4+A8) – (D5 + A9 + B3 + C2 + E1 + F1)

Tabla 4.3

Las letras numeradas indican que el tema se encuentra variado. De hecho ningún tema se repite de manera idéntica, ya que la idea de la obra es la de establecer desarrollos continuos y discontinuos de los materiales. Es decir, imagino que los 5 materiales están teniendo simultáneamente un desarrollo continuo, pero sólo selecciono algunos fragmentos para construir un discurso basado en su contraposición.

A continuación aparecen los dos sistemas que conforman el primer compás. En él están contenidos los seis primeros acordes de la estructura, y son expuestos por primera vez **A** y **B**. Es observable como se desarrolla de manera independiente la estructura de la forma. Vemos como los primeros 18 arpeggios emplean los primeros tres acordes de la estructura, y los dos acordes largos utilizan el cuarto y quinto acorde.

Rápido, agitado y ansioso (R. a. y a.) Sergio A. Aguilar A.

Tocar siempre los arpeggios lo más rápido posible, sobreligados, y sin sostener ninguna nota más allá del sobreligado.

Ejemplo 4.12

F solo es expuesto en dos ocasiones. La primera es apenas en el segundo compás. Esta anticipación pretende generar un recuerdo lejano al momento de volver a escuchar F como coda.

Ejemplo 4.13

En el compás cuatro se expone por primera vez C con una duración de siete compases.

Ejemplo 4.14

D es expuesto por primera vez en el compás 12 teniendo una duración de cuatro compases.

Ejemplo 4.15

Por último es expuesto E en el compás 42 con una duración de seis compases.

Ejemplo 4.16

B1 es expuesto en el compás 21. A partir de aquí se establece un largo desarrollo continuo de los materiales. A continuación podemos ver los últimos 11 acordes de la primer sección de la estructura. Estos forman un acelerando que desemboca en **C1** (compás 32).

Acelerar de $\text{♩} = 25$ ----- hasta $= 250$

21

32 $\text{♩} = 75$ aprox.

Ejemplo 4.17

A su vez **C1** desemboca en la exposición que ya vimos de **E** del compás 42 al 47. Del compás 48 al 63 se desarrolla **B2** que consiste en una progresión armónica que va del acorde tonal al *cluster*.

48 *Molto rubato*

64 Tocar los arpeggios lo más rápido posible, sobreligados, y sin sostener ninguna nota más allá del sobreligado.

Ejemplo 4.18

Una vez llegado el *cluster* se realiza una conexión directa con **D3** al que es superpuesto **A7** (**A7+D3**). Del compas 80 al 86 se desarrolla una sección

conclusiva en donde predominan **A** y **B**. En esta son re-expuestos el resto de los materiales. A continuación podemos observar a **D5**, en el compás 81 y a un arpeggio que recuerda tanto a **C** como a **E (C2+E1)**.

Ejemplo 4.18

Como final es re-expuesto **F1** el cual remarca la fundamental.

Ejemplo 4.19

4.2.2 Arquitectura sonora

En algún momento del desarrollo de este trabajo vinieron a mí recuerdos de los días en que estudiaba arquitectura⁵⁸. Tal vez el carácter racional de la estructura armónica me hizo recordar cuando diseñaba estructuras arquitectónicas. Lo que si puedo asegurar es que estos recuerdos no influyeron conscientemente en la composición, ya que el objetivo de esta pieza fue poner en práctica la teoría de esta tesis. Este es el primer trabajo en donde los acordes fueron compuestos como si fueran espectros armónicos. En este sentido la obra se vuelve un tanto conceptual, ya que la forma correcta de apreciarla es escuchando a los acordes como timbres. En un principio la idea era que los acordes duraran mucho para evitar la percepción de movimiento melódico entre

⁵⁸ Antes de comenzar mis estudios musicales me encontraba estudiando arquitectura en la Universidad Autónoma Metropolitana. Una vez que fui aceptado en la UNAM para estudiar composición en 1994, abandoné la escuela de arquitectura.

las voces de la progresión. Lamentablemente esto es imposible en el clavecín, de tal manera que se tuvo que aumentar el tiempo de la obra. Esto inconvenientemente produjo por momentos la sensación de movimiento melódico en el bajo. Aún con esto, usando una correcta concentración es posible apreciar la idea de la obra. Esta consiste en una progresión que pasa por las 4 regiones armónicas de nuestro sistema (ver grafico 3.1). El ritmo de la secuencia de acordes es un pulso continuo que nunca es variado para no afectar la apreciación de la armonía, ya que si un acorde corto es contrapuesto con uno largo esto podría afectar su percepción.

Forma

La obra se divide en cuatro secciones **A1- B - C- A**. Cada una de ellas explora diferentes características de las regiones armónicas. **A** es una frase de 29 acordes que modula gradualmente a través de todas las regiones armónicas. Esta progresión comienza en la región de fusión tonal con claridad tonal, y termina en la región de fusión dentro de la banda crítica con ambigüedad tonal, tal y como ocurre en la gráfica 3.1. Por otro lado **A1** se compone de los primeros 9 acordes de **A**, funcionando como un anticipo de lo que sucederá en la última sección. **A1** se construye restándole progresivamente a los acordes los parciales encargados de dar la claridad tonal, de tal manera que las alturas que conforman los acordes son cada vez más altas y cercanas.

19	26 (13)	18 (9)	21	22 (11)	21	19	22	24 (3)
17	19	14 (7)	17	18 (9)	18	17	18	20 (5)
11	14 (7)	10 (5)	13	14 (7)	13	13	14	16 (1)
5	7	6 (3)	7	9	10	11	12	13
2	3	4 (1)	5	6	7	7	10	11
1	2	3	4	5	6	6	7	9

Ejemplo 4.20

B comprende del compás 10 al 34. Esta segunda sección se desarrolla a partir del contraste entre acordes con fusión tonal de varias tonalidades, y acordes con fusión tonal difuminada.

10

19 17 11 5 2 1

10 9 5 3 2 1

21 18 10 7 4 3

16 12 6 3 2 1

22 19 15 10 7 4

21 17 13 11 9 5

48 (3) 28 (7) 16 9 6 3

22 18 14 13 11 7

③ ① ⑤ ① ③ ①

18

21 19 15 13 11 9

32 (1) 24 (3) 12 8 6 3

48 (3) 24 (3) 16 8 6 3

19 17 15 14 13 11

18 16 15 14 13 12

48 36 20 14 8 3

120 (15) 68 44 27 15 9

40 (5) 26 (13) 12 (3) 7 4 2

⑤ ① ③ ①

26

16 15 14 13 12 11

88 (11) 52 (13) 27 14 8 5

336 (21) 106 (27) 60 (15) 36 (9) 19 11

304 (5) 224 (7) 136 (17) 76 (19) 42 (21) 17

336 (21) 272 (17) 176 (11) 120 (9) 54 21

19 18 17 16 15 14

14 8 3 3 2 1

80 (5) 72 (9) 60 (15) 52 (13) 42 (21) 27

36 (9) 30 (15) 27 22 (11) 19 17

③ ①

Ejemplo 4.21

C que se ubica del compás 35 al 48 realiza una segunda progresión que modula de la región de fusión tonal difuminada con ambigüedad tonal, a la fusión dentro de la banda crítica con ambigüedad tonal. Esto se hizo a través del incremento de la densidad de los acordes. De este modo al saturar de frecuencias el registro auditivo, se producen intervalos fuera del límite de discriminación de frecuencia, produciéndose así la fusión dentro de la banda crítica. De este modo los acordes modulan gradualmente de una región a otra. La progresión se construye aumentando una voz cada nuevo acorde, de esta manera la densidad crece de 6 a 19 alturas.

System 1 (Measures 35-41):

352 (11)	768 (3)	336 (21)	320 (5)	336 (21)	320 (5)	336 (11)
272 (17)	512 (1)	272 (17)	256 (1)	272 (17)	288 (9)	304 (19)
144 (9)	336 (21)	176 (11)	192 (3)	216 (27)	240 (15)	256 (1)
76 (19)	152 (19)	112 (7)	144 (9)	152 (19)	192 (3)	216 (27)
40 (5)	88 (11)	72 (9)	120 (15)	120 (15)	160 (5)	176 (11)
17	52 (13)	54 (27)	76 (19)	104 (13)	136 (17)	136 (17)
	27	26 (13)	44 (11)	68 (17)	76 (19)	120 (15)
		13	27	42 (21)	64 (1)	96 (3)
			14 (7)	28 (7)	42 (21)	56 (7)
				15	27	36 (9)
					14 (7)	21
						13

System 2 (Measures 42-48):

336 (21)	176 (11)	768	88 (11)	192 (3)	176 (11)	176 (11)
288 (9)	152 (19)	608	80 (5)	168 (21)	168 (21)	160 (5)
240 (15)	136 (17)	512	72 (9)	144 (9)	144 (9)	144 (9)
216 (27)	120 (15)	448	64 (1)	128 (1)	128 (1)	128 (1)
192 (3)	96 (3)	416	56 (7)	112 (7)	112 (7)	112 (7)
152 (19)	80 (5)	336 (21)	52 (13)	104 (13)	104 (13)	104 (13)
120 (15)	64 (1)	256 (1)	40 (5)	80 (5)	80 (5)	80 (5)
104 (13)	54 (27)	208 (13)	34 (17)	68 (17)	68 (17)	68 (17)
80 (5)	40 (5)	160 (5)	26 (13)	56 (7)	56 (7)	56 (7)
54 (27)	34 (17)	136 (17)	20 (5)	52 (13)	52 (13)	52 (13)
42 (21)	26 (13)	120 (15)	17	44 (11)	44 (11)	44 (11)
27	18 (9)	104 (13)	15	34 (17)	38 (19)	38 (19)
16 (1)	12 (3)	76 (19)	13	30 (15)	34 (17)	34 (17)
	7	52 (13)	10 (5)	26 (13)	30 (15)	30 (15)
		27	7	20 (5)	26 (13)	26 (13)
			4 (1)	13	20 (5)	21
				7	13	13
					7	10
						5

Ejemplo 4.22

Por último se desarrolla **A** creándose una sensación de reexposición al volver a escuchar los primeros 9 acordes tocados en **A1**. Después de esto la armonía se cierra rápidamente adentrándonos en la región de fusión dentro de la banda crítica con ambigüedad tonal. Al *cluster* generado, le son añadidos gradualmente los parciales más graves de la serie, generándose cierta claridad en la altura tonal al completarse la serie de armónicos. A continuación aparecen los últimos 6 acordes.

72

24	24	24	24	24	24	24
22	22	22	22	22	22	22
21	21	21	21	21	21	21
20	20	20	20	20	20	20
19	19	19	19	19	19	19
18	18	18	18	18	18	18
17	17	17	17	17	17	17
16	16	16	16	16	16	16
15	15	15	15	15	15	15
14	14	14	14	14	14	14
13	13	13	13	13	13	13
12	12	12	12	12	12	12
11	11	11	11	11	11	11
10	10	10	10	10	10	10
9	9	9	9	9	9	9
8	8	8	8	8	8	8
7	7	7	7	7	7	7
6	6	6	6	6	6	6
5	5	5	5	5	5	5
		4	4	4	4	4
				3	3	3
					2	2
						1

Ejemplo 4.23

4.2.3 Fuga, Canon y Rock

Objetivos:

- Establecer una modulación y transposición clara.
- Poner en práctica la escala de 24 alturas justas.
- Aplicar los principios del sistema dentro de un discurso contrapuntístico.

Forma

La forma de la pieza es tripartita (A-B-C). La primer sección se compone de un tratamiento fugado a cuatro voces que va del compás 1 al 16. El tema trata de aprovechar las características de la escala de armónicos naturales. En el primer compás se puede observar cómo se dibuja descendentemente parte de la serie con los parciales 9, 7, 6, 5 y 4. Este arpeggio o acorde es suficiente para establecer la tonalidad de “LA”. A partir del segundo compás la melodía sube al registro agudo, continuando su ascenso por la escala de armónicos. La melodía va incorporando nuevas alturas conforme sube, respetando el orden en que van apareciendo los armónicos de la serie. La única excepción aparece en el primer tiempo del tercer compás con el parcial 19. Si se quisiera seguir estrictamente el orden de la secuencia de armónicos naturales, este parcial sólo podría presentarse una octava más arriba. Sin embargo decidí incorporar esta altura en este registro.

The image shows a musical score for guitar, consisting of two staves (treble and bass clefs) and a grand staff. The first measure shows a descending arpeggio of natural harmonics (9, 7, 6, 5, 4). The second measure continues the ascending scale. The third measure includes a partial 19. The fourth measure continues the ascending scale. The score is labeled 'I' at the beginning and end.

Ejemplo 4.24

Debido a que el tema se desarrolla dentro de varios registros se genera de manera natural el cruce de voces en el contrapunto. Por lo tanto seguir la trayectoria de las voces en la partitura resulta un tanto difícil, en especial cuando la melodía modula, ya que para lograr la transposición es necesario utilizar los dos teclados (ejemplo 3.3). Más allá de la dificultad para seguir la trayectoria de cada voz en esta sección, la partitura esta escrita de una forma sencilla y tradicional.

La segunda exposición del tema se da en la tonalidad de la subfundamental 3 en la contralto. Aquí podemos observar cómo tanto el sujeto como el contrasujeto son tocados en ambos teclados. Para un mejor fraseo y análisis las flechas indican la trayectoria de las melodías.

Ejemplo 4.25

La tercera exposición se desarrolla en la tonalidad de la subfundamental 5, y es probablemente la sección más difícil para seguir las voces en la partitura. El tema aparece en el bajo con el segundo clavecinista, mientras que el primero toca el contrasujeto (plicas hacia arriba) además de la tercera voz (plicas para abajo).

Ejemplo 4.26

La lógica de la pieza es contrapuntística pero con conciencia de la armonía. A continuación analizaremos el cifrado de la única parte de la sección en donde se producen acordes a cuatro voces. El tema es tocado por el segundo clavecinista en la voz del tenor (plicas para arriba), mientras que el contrasujeto es tocado por el segundo clavecinista en la contralto (plicas para abajo).

Ejemplo 4.27

En esta sección existen 31 coincidencias verticales, llámense acordes o intervalos, de las cuales sólo tres tienen una fusión tonal decrecida, y el resto manifiestan fusión tonal difuminada con ambigüedad tonal. Esto es producto del movimiento melódico del bajo que emplea varios armónicos superiores al 6. Al igual que en la armonía tradicional el bajo es la voz armónica más importante.

Una vez terminado el tratamiento fugado da inicio un canon a cuatro voces que va del compás 17 al 28. El tema del canon es el mismo que el de la fuga, de tal manera que el cambio de forma no resulta abrupto. Cada una de las voces del canon aparece a un ritmo diferente, creándose de esta manera una textura polirrítmica que desaparece casi por completo las coincidencias verticales. El canon comienza con el tema en aumentación en el bajo, seguido del tema en su ritmo original en la contralto. El tema aparece por tercera ocasión en la voz de la soprano pero con ritmo de tresillos, y por último es presentado en el tenor con ritmo de quintillos. De esta manera se crea la sensación de que las voces van a diferentes tiempos, tratando de imitar el estilo de Conlon Nancarrow desde una escritura sencilla y tradicional⁵⁹.

⁵⁹ Esta técnica fue desarrollada en el Cuarteto Fibonacci para percusión compuesto para mí examen de titulación de licenciatura. El análisis se encuentra en mis notas al programa del concierto, y puede ser consultado en la biblioteca de la ENM o en la biblioteca central en C.U.

2

C.1

C.2

22

C.1

C.2

Ejemplo 4.28

La tercer sección que va del compás 29 al 61 fue titulada como “Rock”. Este nombre fue puesto tiempo después de la culminación de la obra, y no tiene nada que ver con este estilo (al menos conscientemente). La sección contrasta radicalmente con lo que le antecede, ya que los únicos elementos que permanecen son los ritmos expuestos en el canon. De ahí en fuera todo el material melódico y armónico es totalmente nuevo. Incluso la lógica del discurso se vuelve mucho más armónica sin dejar de lado el contrapunto. La mayoría de las partes del Rock fueron desarrolladas bajo el esquema de la melodía acompañada. Este cambio inesperado fue planeado para refrescar la pieza y generar sorpresa en el espectador. Esta sección se subdivide en cuatro partes. La primera es una introducción que va del compás 29 al 36. En ella son expuestos de manera intercalada y abrupta materiales polirrítmicos en 3x2, 2x3x5, y 3x5x7. A continuación analizaremos armónicamente algunas polirritmias.

Ejemplo 4.29

El primer ejemplo es el 3x2 que aparece en el segundo y tercer tiempo del compás 31. Si analizamos las alturas veremos que la armonía implícita es la de un acorde con fusión tonal, con una pizca de disonancia provocada por el séptimo armónico. En realidad el acorde se encuentra en la frontera entre la fusión tonal y la fusión tonal decrecida, ya que el séptimo armónico se encuentra dentro de la zona de fusión tonal, pero a su vez es la primer disonancia de la serie. Otro ejemplo se encuentra en el primer y segundo tiempo del compás 32. En este caso dentro de la trirítmia se desenvuelve un acorde con fusión tonal decrecida. En ambos casos el tresillo del bajo es el encargado de establecer la claridad de la altura tonal y por lo tanto la fusión. Por el contrario las alturas agudas además de decrecer la fusión, le dan al acorde un color particular. En el segundo tiempo del compás 34 se puede observar un tercer ejemplo de esta aplicación. Aquí se puede observar claramente como la serie armónica es desplegada ascendentemente a lo largo de la polirritmia. Este material rítmico será utilizado como motivo en el resto de la pieza, y aparecerá en repetidas ocasiones interrumpiendo su discurso.

Ejemplo 4.30

Terminada la introducción se desarrolla la segunda parte del Rock que va del compás 37 al 43. Esta se compone por un tema melódico con ritmo de quintillo, que es acompañado por un acorde con ritmo de 3x2. Por momentos el acorde se transforma en un contrapunto entre el 3 y el 2, generándose fluctuaciones entre un discurso vertical y otro horizontal.

Ejemplo 4.31

Mientras que la melodía se mueve dentro de los parciales superiores, el bajo se encarga de establecer la tonalidad o de desestablecerla. En este pasaje se puede apreciar como del tercer tiempo del compás 37 al cuarto tiempo del compás 38, el tresillo del bajo establece la claridad tonal del acorde al tocar los parciales 4, 5 y 6. Por el contrario en los dos primeros tiempos del compás 39, el bajo se sale de la zona de definición de la altura tonal provocando la ambigüedad tonal. Esta dinámica de entrar y salir de la fusión tonal es característica del discurso de esta segunda parte del Rock.

La tercera parte va del compás 44 al 54 y es una variación del tema a través de la modulación. Esta se realiza transponiendo partes del tema dentro de las tres tonalidades posibles. La duración de las modulaciones es breve e irregular. Al mismo tiempo el motivo polirrítmico de 3x5x7 interrumpe el discurso con más frecuencia conforme avanza la pieza. A medida que esta interrupción se vuelve más frecuente, desaparece el tema quedándose solo un obstinado generado por este motivo. A continuación analizaremos las modulaciones hechas al tema.

Ejemplo 4.32

El pequeño número encerrado que aparece en la parte inferior del pentagrama, nos indica cual es la fundamental a la cual corresponden las alturas. Del compás 44 al primer tiempo del compás 46, el cifrado nos indica los parciales de la serie de armónicos de la subfundamental 3. De este modo el Mi del bajo en vez de ser cifrado como 3 tiene la categoría de 4. Por otro lado los tiempo dos, tres y cuatro del compás 46 están dentro de la serie de la subfundamental 5. De este modo el Do# del bajo en vez de ser cifrado como 5 aparece también como 4. De este modo tan sólo al comparar los cifrados podemos corroborar si la transposición es idéntica o no. En esta ocasión sólo la melodía fue transpuesta de manera idéntica, ya que el acompañamiento se mantiene con los primeros armónicos de la

fundamental o subfundamental según sea el caso. Esto se hizo así para asentar cada tonalidad.

Ejemplo 4.33

La coda emplea como material el obstinado generado por el motivo polirrítmico-armónico. Este comienza rápidamente a ser difuminado a través de la inserción de silencios en cada una de las tres líneas rítmicas. Para lograr una difuminación gradual del obstinado los silencios fueron insertados en proporciones áureas⁶⁰. Para este fin emplee la serie de Fibonacci (1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, etc.) de la misma manera en que la utilicé en los estudios Fibonacci para percusionista solo en el 2001.

Ejemplo 4.34

⁶⁰ Esta técnica fue desarrollada en las piezas para percusión compuestas para mi titulación de licenciatura. El análisis se encuentra en mis notas al programa, y puede ser consultado en la ENM de la UNAM, o en la biblioteca central en CU.

A partir del compás 55 es que comienza la difuminación. Si observamos sólo la voz del sietillo a partir del silencio del segundo tiempo, podremos encontrar la siguiente secuencia: 1 silencio, 21 alturas, 2 silencios, 13 alturas, 3 silencios, 8 alturas, 5 silencios, 3 alturas, 8 silencios, 2 alturas, 13 silencios, 1 altura, 21 silencios, 1 altura, etc. De este modo tenemos dos series de Fibonacci cruzadas, una de silencios que aumenta y otra de alturas que disminuye. Este mismo tratamiento fue aplicado a cada una de las voces de la triritmia, generando de manera sorpresiva una textura aparentemente caótica.

Conclusiones

Hemos visto a lo largo de esta tesis como la afinación occidental se ha inclinado por escalas divididas en intervalos iguales, ya que sólo así es posible la transposición perfecta. Y que para obtener intervalos iguales hay que desafinar los intervalos puros. Esto nos muestra cómo se ha preferido históricamente sacrificar la consonancia en beneficio del sistema de composición. Por otro lado vimos como el sistema armónico tradicional y todos los sistemas derivados de este, no están basados en ningún principio natural. Esta falta de un sistema que aproveche las características de la serie de armónicos naturales, fue la problemática principal que abordó la tesis. Para esto fue necesario estudiar fundamentos de la acústica y psicoacústica, con la intención de encontrar las bases que me permitieran desarrollar los principios de un sistema armónico para la afinación justa. A lo largo de este proceso fueron compuestos seis Estudios para demostrar la aplicación práctica de la teoría. Los tres primeros fueron electroacústicos y su objetivo fue la exploración de algunas de las posibilidades de la afinación justa dentro del timbre. Por otro lado los tres Estudios para clavecín se encargaron de hacer lo mismo pero dentro del terreno de la armonía. Ahora bien, ¿por qué es necesario un sistema armónico para la afinación justa?. La respuesta a esta pregunta la podemos encontrar en la tendencia que ha manifestado históricamente la musical occidental. Hemos visto como tanto los sistemas de afinación como de armonía han evolucionado de manera progresiva a lo largo del tiempo. La afinación y la armonía nunca se han mantenido completamente estáticos en la historia. En este sentido el sistema que yo propongo pretende ser una alternativa futura.

Un factor que hace difícil de entender la necesidad de un cambio es el arraigo de los sistemas tradicionales en la cultura. Esto hace parecer ilógica la necesidad de evolucionar o transformar lo ya existente. Pero si revisamos la historia nos daremos cuenta que han existido transformaciones radicales no sólo en la afinación y la armonía, sino en todos los demás aspectos de la música como lo es: la creación y mejora de instrumentos, los sistemas de composición, escritura, técnica instrumental, instrumentación, y orquestación. A pesar de que

una nueva afinación siempre es percibida como extraña, es posible en teoría adentrar gradualmente la afinación justa en la cultura. Los músicos occidentales experimentados por ejemplo, suelen desviar por momentos la afinación considerablemente de los estadares, sugiriendo que somos permisivos dentro de determinados contextos⁶¹. Otro caso de cómo podemos ser permisivos y adaptables a nuevas afinaciones es cuando tenemos que estudiar en un instrumento ligero pero perceptiblemente desafinado. Al paso del tiempo comenzaremos a acostumbrarnos a la desafinación percibiéndola cada vez menos, y finalmente acostumbrándonos a ella⁶². Esto al menos en teoría nos permitiría insertar gradualmente la afinación justa en la cultura. Por otro lado hay que tener en cuenta que un sistema armónico consolidado como el tradicional, es el producto de un visionario como Rameau y de generaciones de compositores que continuaron su propuesta. En este sentido la tesis sólo pretende arrojar una luz acerca de cómo debería ser entendida y organizada la armonía justa. Todo esto nos permite pensar que es posible en un futuro ideal, insertar y consolidar los principios que aquí se proponen en la práctica musical. En lo personal el sistema me ha abierto el horizonte, al darme las bases para explorar de manera organizada armonías construidas con una increíble diversidad de intervalos, que serían imposibles de realizar en el temperamento. Por otro lado, la información que nos proporciona el cifrado acerca de las características psicoacústicas de los acordes es de gran utilidad para el análisis. En el caso de la armonía tradicional el cifrado y categorización de los acordes no nos dice nada acerca de sus cualidades acústicas. Un ejemplo serían los acordes de tónica, dominante y subdominante, los cuales efectúan funciones tonales muy diferentes, además de que pertenecen a diferentes regiones armónicas. Sin embargo desde nuestra perspectiva resulta que estas tres triadas producen el mismo tipo de acorde, y por ende la misma sonoridad por estar compuestas por los mismos intervalos. Otra diferencia con la tradición es el hecho de que en nuestro sistema sólo puede existir una triada

⁶¹ Morrison, S. y Fyk, J., 2002, *The science and psychology of music performance*, Oxford university press, New York, p. 183.

⁶² Las investigaciones indican que los esquemas tonales son aprendidos a través de la exposición a la música de una cultura: Huron, D., 2006, *Sweet Anticipation*, The MIT Press, Massachusetts, pp. 150-153.

mayor. Esto es porque dentro de la serie de armónicos naturales sólo existe una. Por lo tanto, cada vez que aparezca una triada mayor sobre una fundamental diferente a la original, se estará cambiando automáticamente de tonalidad. Esto puede parecer extraño ya que dentro de la tradición son consideradas las triadas mayores de tónica, subdominante y dominante como parte de la misma tonalidad. Al basarnos en fenómenos psicoacústicos para clasificar los acordes estaremos unificando criterios, ya que el ser humano de todas las culturas percibe de manera similar, acercándonos de este modo a lo que podría ser un sistema armónico universal.

Por último quedará pendiente una propuesta estética contemporánea para este tipo de armonía, ya que aunque puede ser empleada para tocar algunos estilos de música antigua, esta armonía tiene la necesidad de poseer su propia estética. En este sentido la Arquitectura sonora y los Estudios electroacústicos intentan dar una luz al respecto. En cuanto a los instrumentos hemos visto que los medios electrónicos y el clavecín son los ideales para trabajar este tipo de afinación. Sin embargo los instrumentos que están temperados por sus trastes, teclas, tubos, pipas, etc. quedan excluidos de los recursos instrumentales disponibles para la afinación justa. Todos los demás instrumentos a través de las digitaciones en los aliento madera, con la embocadura en los metales, y con la digitación en las cuerdas, son capaces de afinar de manera justa. Lo único que haría falta en teoría para poder emplear estos instrumentos, es que los intérpretes tengan el interés de aprender un nuevo sistema de afinación. En este sentido mi siguiente objetivo es el de componer un número importante de obras que por un lado avalen el sistema, y por otro interesen a los instrumentistas a tomar riesgos. En cuanto a la creación de nuevos instrumentos, no me interesa por el momento construir más, ya que aún no he explorado todas las posibilidades de la programación que hice en Max (sección 4.1.3), ni del clavecín.

Bibliografía

Aguilar, S., 2004, *Notas al programa*, Tesis de la UNAM, México D.F.

Erickson, R., 1975, *Sound Structure in Music*, University of California Press, Los Angeles.

Helmholtz, H., 1954, *On the sensations of tone as a physiological basis for the theory of music*, Dover, New York.

Huron, D., 2006, *Sweet Anticipation*, The MIT Press, Massachussets.

Huron, D., 2005, *A derivation of the rules of voice-leading from perceptual principles*, University of Waterloo, Canada.

Lutoslawski, W., 1994, "La música del pasado, del presente y del futuro", *Pauta* 50-51, México D.F., pp. 19-27.

Morrison, S. y Fyk, J., 2002, *The science of music and psychology performance*, Oxford university press, New York.

Orduña, F. y Boullosa, R., 1998, "Escalas musicales y sus temperamentos", *Revista mexicana de física*, 44 (2), México D.F., pp. 205-210.

Partch, H., 1979, *Genesis of a Music*, A dacapo paperback, New York.

Pierce, J., 1999, "The Nature of Musical Sound" en *The Psychology of Music*, Academic press, San Diego, pp. 1-23.

Pierce, J., 1985, *Los sonidos de la música*, Prensa científica, editorial Labor, Madrid.

Rameau, J., 1971, *Treatise on Harmony*, Dover, New York.

Rasch., R y Plomp, R., 1999 "The perception of musical tones" en *The Psychology of Music*, Academic press, San Diego, pp. 89-112.

Roederer, J., 1997, *Acústica y Psicoacústica de la Música*, Ricordi, Buenos Aires.

Rossing, T., 2002, *The science of sound*, Pearson Education, Londres.

Schoenberg, A., 1992, *Tratado de armonía*, Real Musical, Madrid.

Sethares, W., 1999, *Tuning, Timbre, Spectrum, Scale*, Springer, Londres.

Stanley, S. (editor), 2001, *The new Grove Dictionary of Music and Musicians*, Grove, Oxford, 29 vols.

Tirso, O., 1954, *Acústica musical y organología*, Ricordi, Buenos Aires.

West, M., 1994, "The Babylonian Musical Notation and the Hurrian Melodic Texts" en *Music & Letters*, Vol. 75, no. 2, pp. 161-179.

Apéndice

Tabla con algunos intervalos en cents de la serie de armónicos naturales

La siguiente tabla muestra los intervalos en cents que se producen entre los armónicos contiguos del 1 al 36, y del 3452 al 3463 la serie. Esta tabla fue generada en un programa diseñado en Java Script por el Dr. Felipe Orduña en el 2009.

Componente	Fracción	Relación	Intervalo (Cents)
1	1 / 1	1	0
2	2 / 1	2	1200
3	3 / 2	1.5	702
4	4 / 3	1.333333	498
5	5 / 4	1.25	386
6	6 / 5	1.2	316
7	7 / 6	1.166667	267
8	8 / 7	1.142857	231
9	9 / 8	1.125	204
10	10 / 9	1.111111	182
11	11 / 10	1.1	165
12	12 / 11	1.090909	151
13	13 / 12	1.083333	139
14	14 / 13	1.076923	128
15	15 / 14	1.071429	119
16	16 / 15	1.066667	112
17	17 / 16	1.0625	105
18	18 / 17	1.058824	99
19	19 / 18	1.055556	94
20	20 / 19	1.052632	89
21	21 / 20	1.05	84
22	22 / 21	1.047619	81

23	23 / 22	1.045455	77
24	24 / 23	1.043478	74
25	25 / 24	1.041667	71
26	26 / 25	1.04	68
27	27 / 26	1.038462	65
28	28 / 27	1.037037	63
29	29 / 28	1.035714	61
30	30 / 29	1.034483	59
31	31 / 30	1.033333	57
32	32 / 31	1.032258	55
33	33 / 32	1.03125	53
34	34 / 33	1.030303	52
35	35 / 34	1.029412	50
36	36 / 35	1.028571	49

3452	3452 / 3451	1.00029	1
3453	3453 / 3452	1.00029	1
3454	3454 / 3453	1.00029	1
3455	3455 / 3454	1.00029	1
3456	3456 / 3455	1.000289	1
3457	3457 / 3456	1.000289	1
3458	3458 / 3457	1.000289	1
3459	3459 / 3458	1.000289	1
3460	3460 / 3459	1.000289	1
3461	3461 / 3460	1.000289	1
3462	3462 / 3461	1.000289	1
3463	3463 / 3462	1.000289	0

Partituras Estudios para clavecín

Capricho para clavecín con afinación justa en LA

Desafinar las notas con respecto del temperamento igual, el número de cents que se indica a continuación:
A=0 A#=+5 B=+4 C=-2 C#=-14 D=-29 D#=-49 E=+2 F+41 F#="+6 G=-31 G#=-12

Rápido, agitado y ansioso (R. a. y a.)

Sergio A. Aguilar A.

1

Tocar siempre los arpeggios lo más rápido posible, sobreligados, y sin sostener ninguna nota más allá del sobreligado.

Tocar de manera mecánica lo más rapido posible

R. a. y a.

2

♩ = 75 aprox.

4

R. a. y a.

11

Cuando no se indique compás las alteraciones sólo durarán una nota.
Cuando si exista compás se utilizarán las reglas tradicionales de escritura.

2

12 $\text{♩} = 75$ aprox. *R. a. y a.* $\text{♩} = 75$ aprox. *R. a. y a.* $\text{♩} = 75$ aprox.

20 *R. a. y a.*

21 Acelerar de $\text{♩} = 25$ hasta $\text{♩} = 250$

32 $\text{♩} = 75$ aprox.

40

48 *Molto rubato*

64 **Tocar los arpeggios lo más rápido posible, sobreligados, y sin sostener ninguna nota más allá del sobreligado.**

69 *R. a. y a.* $\text{♩} = 75$ aprox. *R. a. y a.* 3

73 $\text{♩} = 110$ aprox. *R. a. y a.* $\text{♩} = 110$ aprox. *Sostener todas las notas como en el compás 73 (Sostener todas las notas...)* *R. a. y a.*

77 $\text{♩} = 110$ aprox. *Sostener todas las notas...* *R. a. y a.* $\text{♩} = 110$ aprox. *Sostener todas las notas...*

80 *R. a. y a.*

81 $\text{♩} = 110$ aprox. *Sostener...* *R. a. y a.* $\text{♩} = 75$ aprox. *R. a. y a.*

85 *Tocar de manera mecánica lo más rápido posible*

Arquitectura sonora para clavecín a cuatro manos con afinación justa en LA

Desafinar las notas con respecto del temperamento igual, el número de cents que se indica a continuación:
 A = 0 A# = +5 B = +4 C = -2 C# = -14 D = -29 D# = -49 E = +2 F = +41 F# = +6 G = -31 G# = -12

Sergio A. Aguilar A.

♩ = 120

Clavecín 1

Clavecín 2

11

C. 1

C. 2

22

C. 1

C. 2

33

C. 1

C. 2

This system contains measures 33 through 42. The upper part, labeled C. 1, consists of two staves with treble clefs. The lower part, labeled C. 2, consists of two staves with bass clefs. The music is in a key with three sharps (F#, C#, G#) and a 3/4 time signature. The notation includes various note values, rests, and dynamic markings such as *pp* and *ppp*.

43

C. 1

C. 2

This system contains measures 43 through 51. The upper part, labeled C. 1, consists of two staves with treble clefs. The lower part, labeled C. 2, consists of two staves with bass clefs. The music continues in the same key and time signature. The notation includes various note values, rests, and dynamic markings such as *pp* and *ppp*.

52

C. 1

C. 2

This system contains measures 52 through 60. The upper part, labeled C. 1, consists of two staves with treble clefs. The lower part, labeled C. 2, consists of two staves with bass clefs. The music continues in the same key and time signature. The notation includes various note values, rests, and dynamic markings such as *pp* and *ppp*.

62

C. 1

C. 2

Detailed description: This system contains measures 62 through 68. Part C. 1 consists of two staves with complex, dense chordal textures. Part C. 2 consists of two staves with sparse, mostly whole-note accompaniment. The key signature has three sharps (F#, C#, G#).

69

C. 1

C. 2

Detailed description: This system contains measures 69 through 73. Part C. 1 continues with dense chordal textures. Part C. 2 continues with sparse accompaniment. The key signature has three sharps (F#, C#, G#).

74

C. 1

C. 2

Detailed description: This system contains measures 74 through 77. Part C. 1 continues with dense chordal textures. Part C. 2 continues with sparse accompaniment. The key signature has three sharps (F#, C#, G#). The system ends with a double bar line and repeat dots.

México D.F. Octubre 2010

Fuga, Canon y Rock

Desafinar el teclado nº1 con respecto del temperamento igual, el número de cents que se indica a continuación:
A = 0 A# = +5 B = +4 C = -2 C# = -14 D = -29 D# = -49 E = +2 F = +41 F# = +6 G = -31 G# = -12
 Desafinar el teclado nº2 con respecto del temperamento igual, el número de cents que se indica a continuación:
A = +27 A# = -47 B = -45 C = -25 C# = -58 D = -9 D# = -10 E = -16 F = -27 F# = -93 G = -62 G# = -100

Sergio A. Aguilar A.

Clavecinista 1

C.1

C.1

C.2

C.1

C.2

2

Musical score for two voices, C.1 and C.2, spanning measures 17 to 28. The score is written in treble and bass clefs. It features complex rhythmic patterns, including triplets and quintuplets, and various slurs and accents. The key signature is one sharp (F#).

Measures 17-21: C.1 has a melodic line with triplets and slurs. C.2 provides a bass line with some rests.

Measures 22-23: C.1 continues with triplets and slurs. C.2 has a more active bass line with quintuplets and slurs.

Measures 24-25: C.1 features triplets and slurs. C.2 has quintuplets and slurs.

Measures 26-27: C.1 has quintuplets and slurs. C.2 has triplets and slurs.

Measures 28: C.1 has triplets and slurs. C.2 has quintuplets and slurs.

31

C.1

C.2

34

C.1

C.2

36

C.1

C.2

38

C.1

C.2

41

C.1

C.2

4

43

C.1

C.2

45

C.1

C.2

47

C.1

C.2

49

C.1

C.2

51

C.1

C.2

53

C.1

C.2

55

C.1

C.2

57

C.1

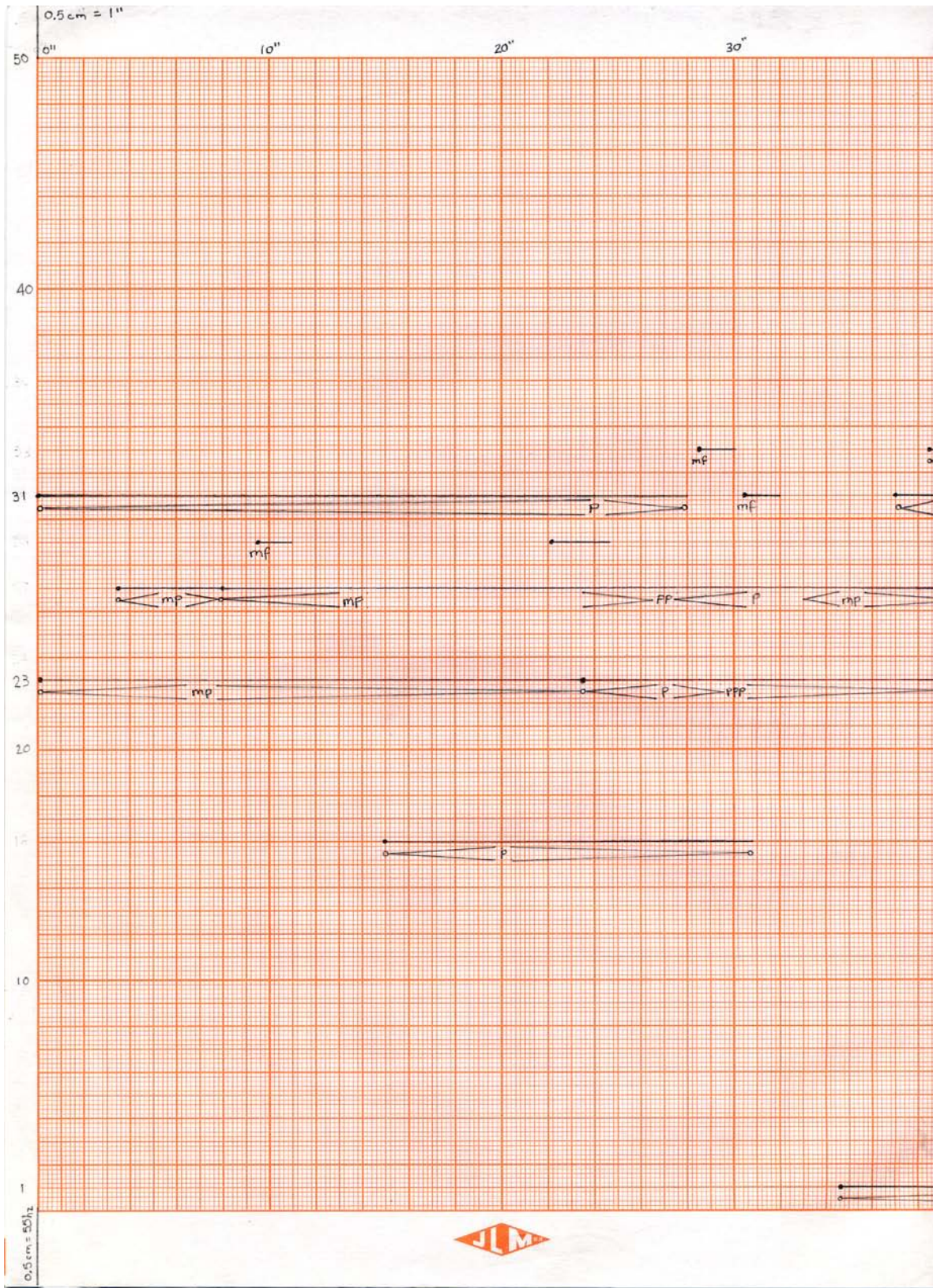
C.2

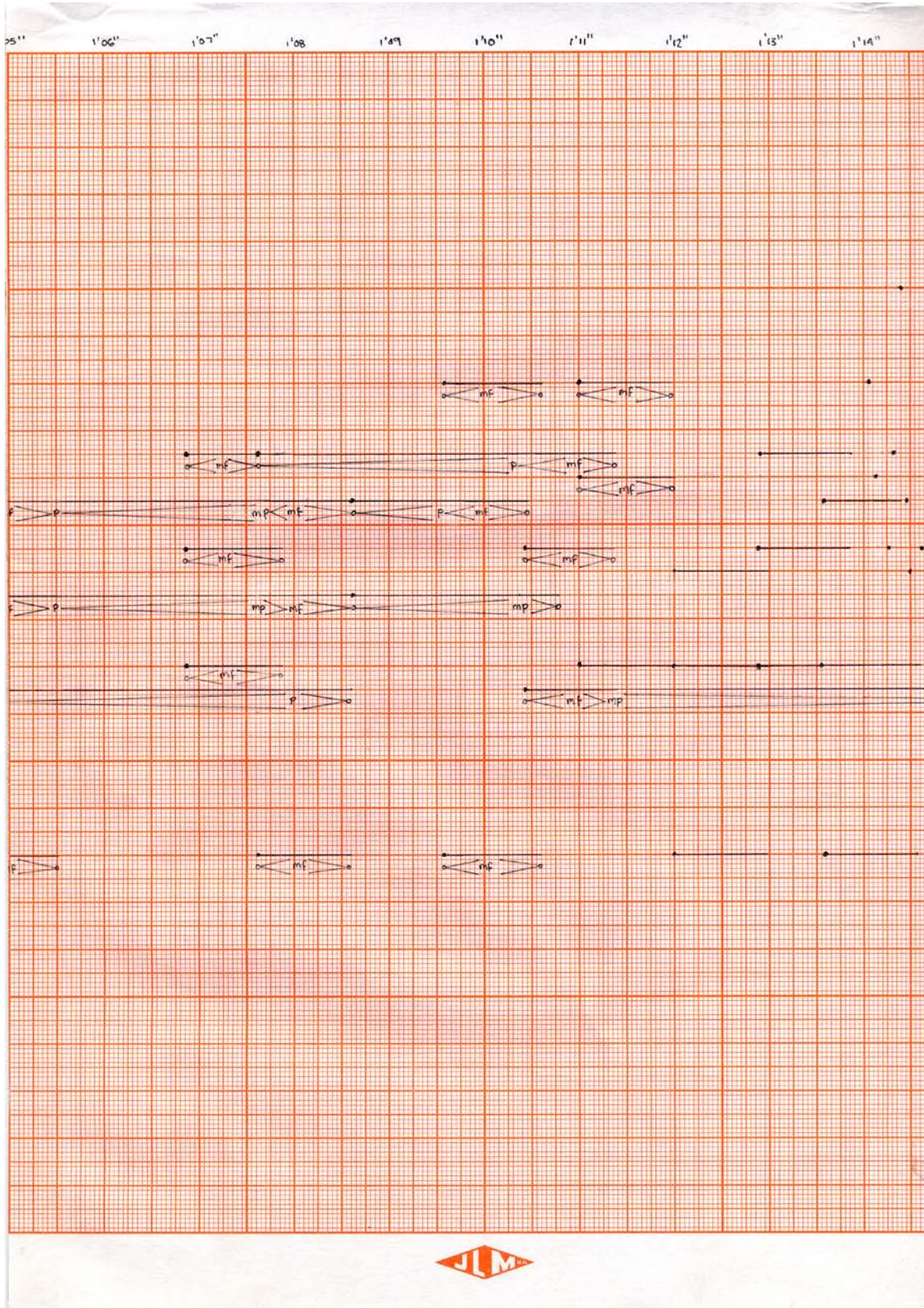
59

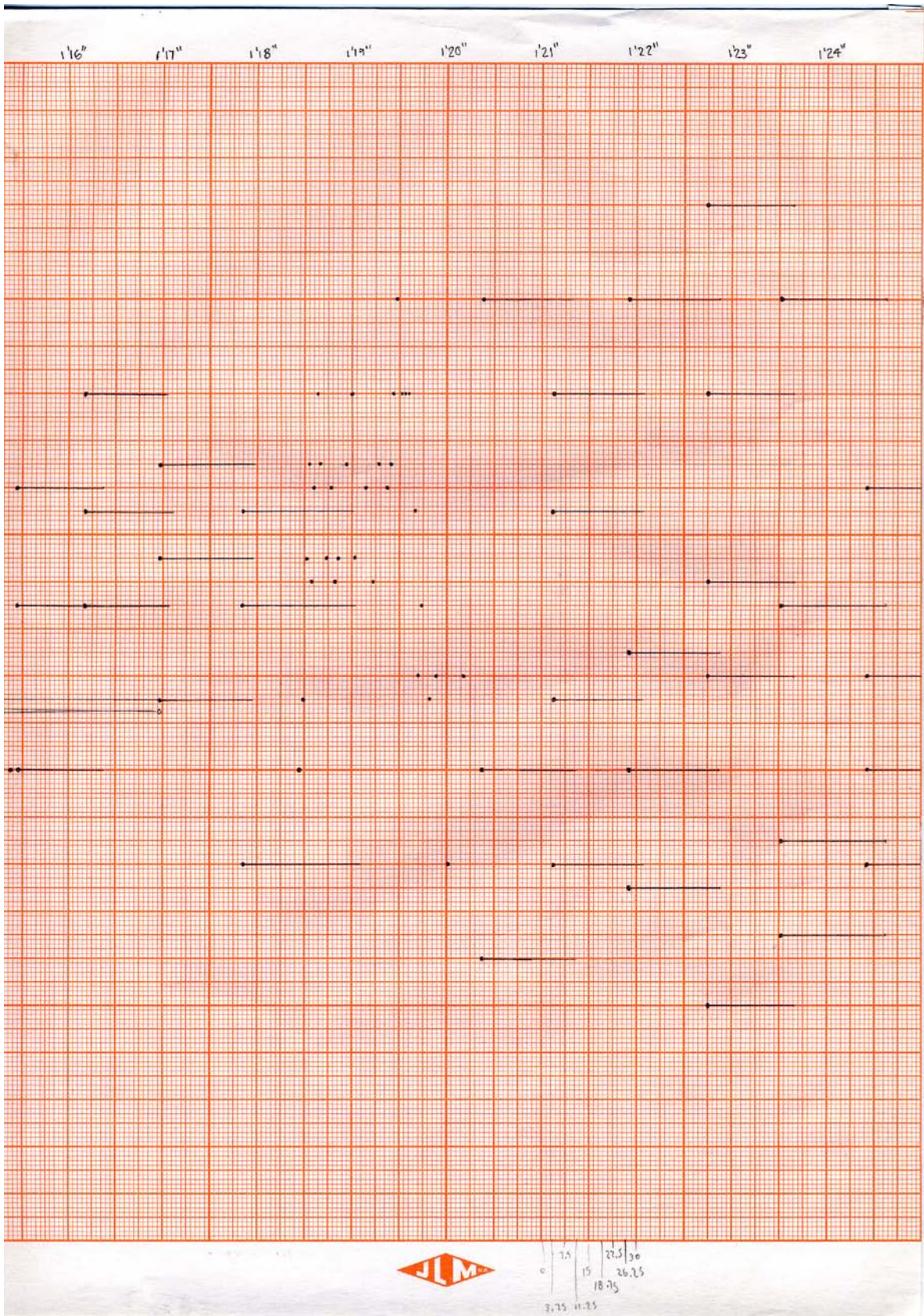
C.1

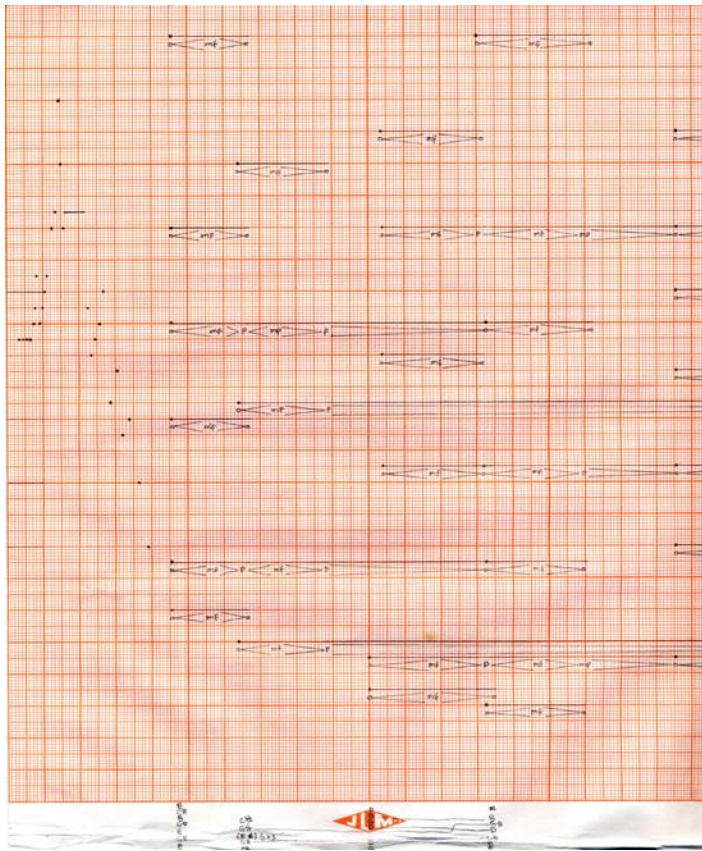
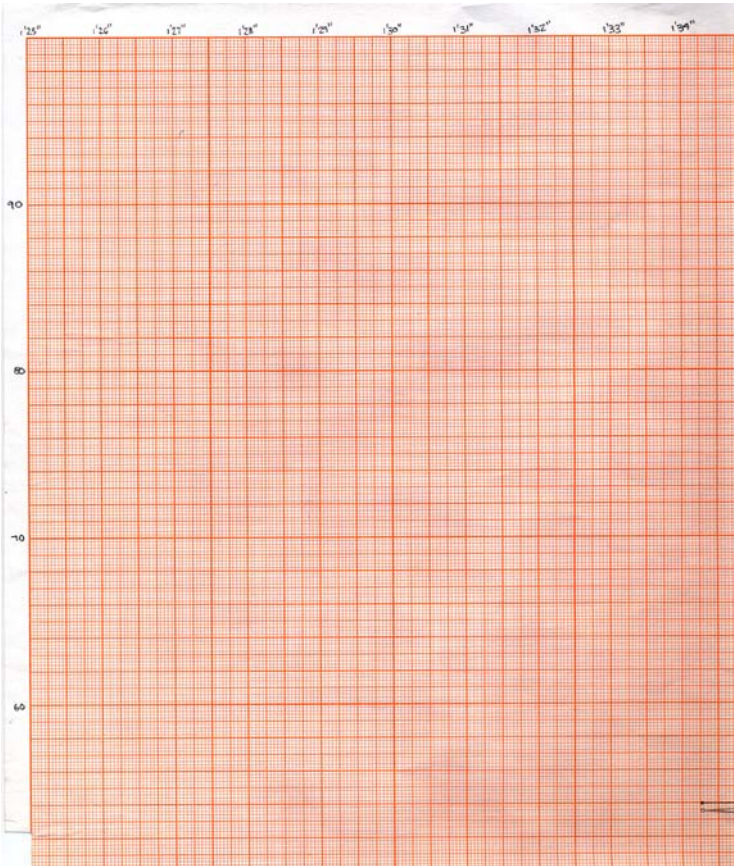
C.2

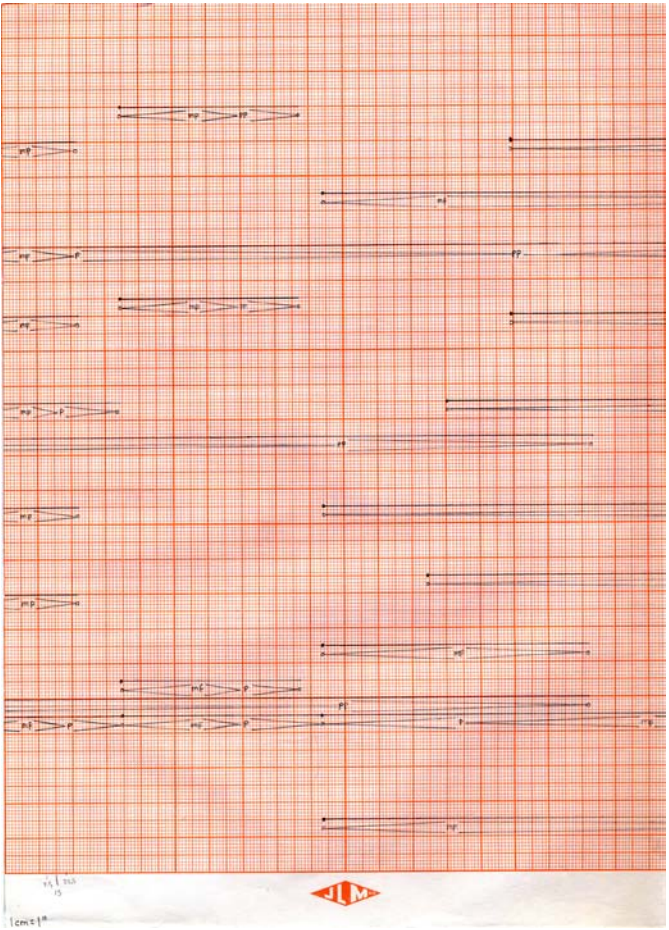
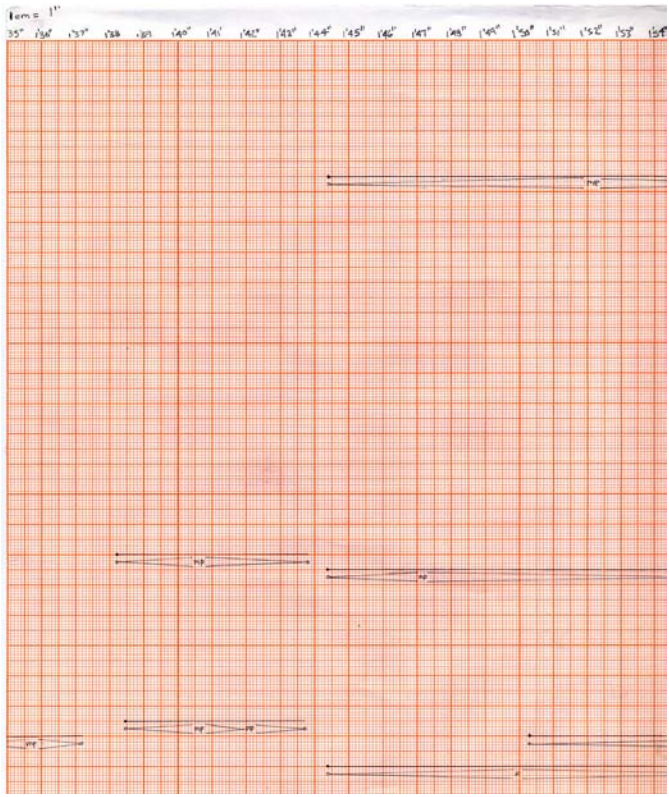
Partitura Estudio seno nº1

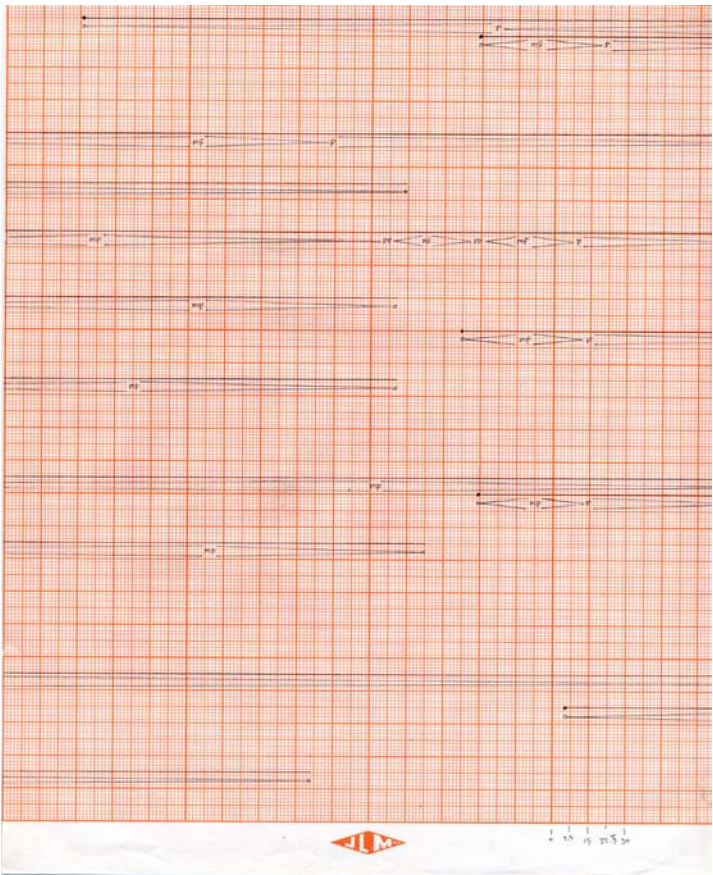
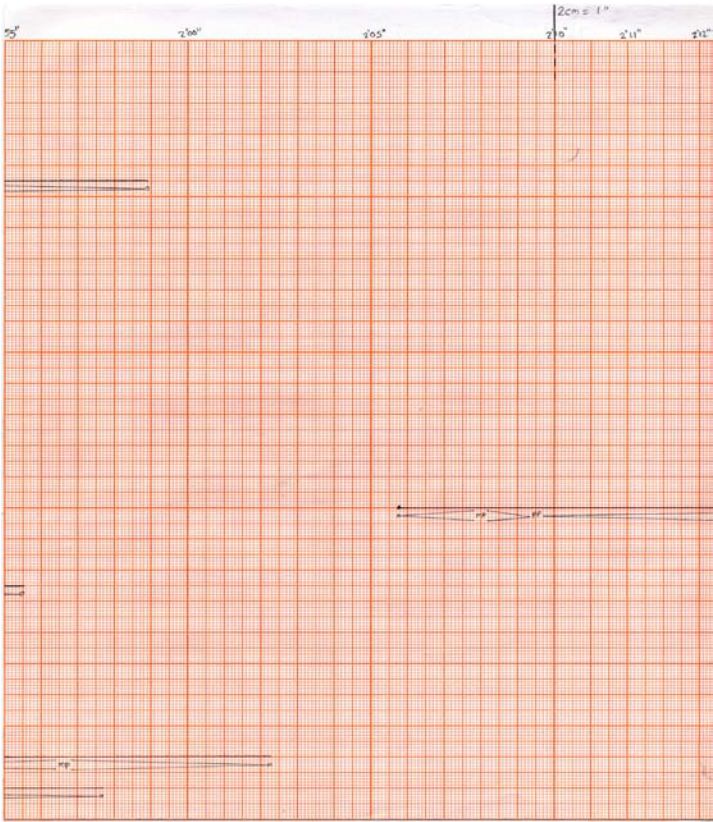


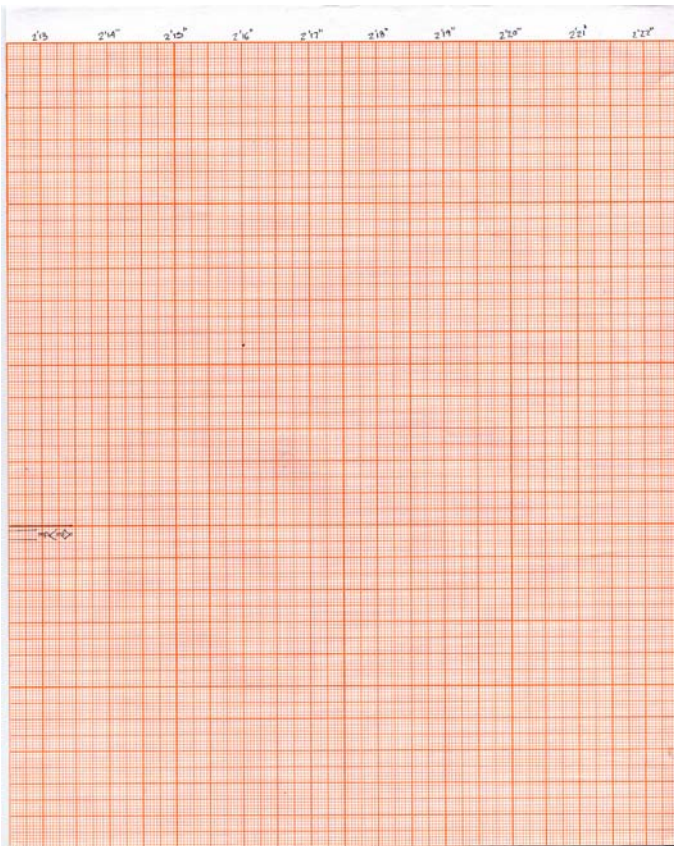
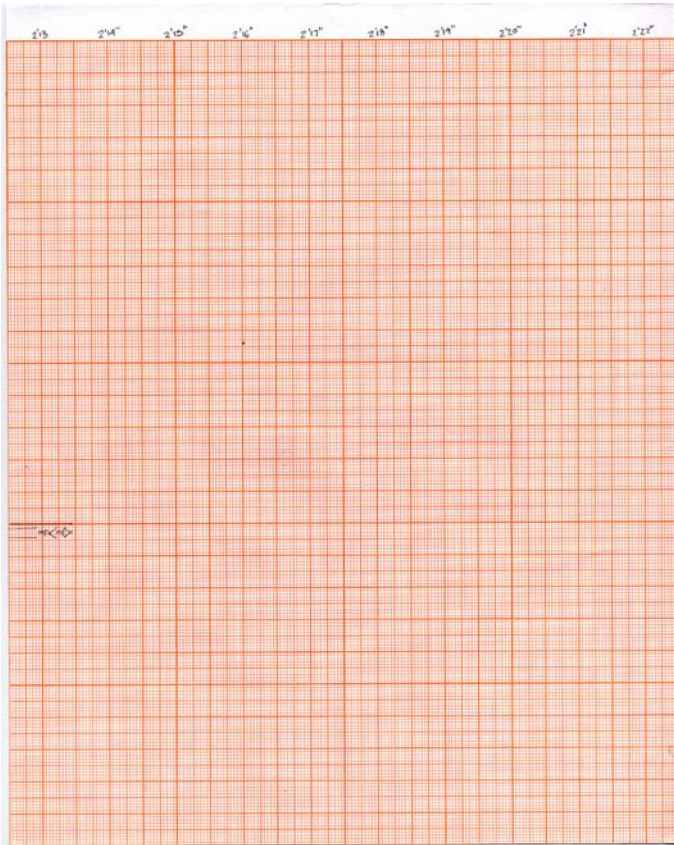






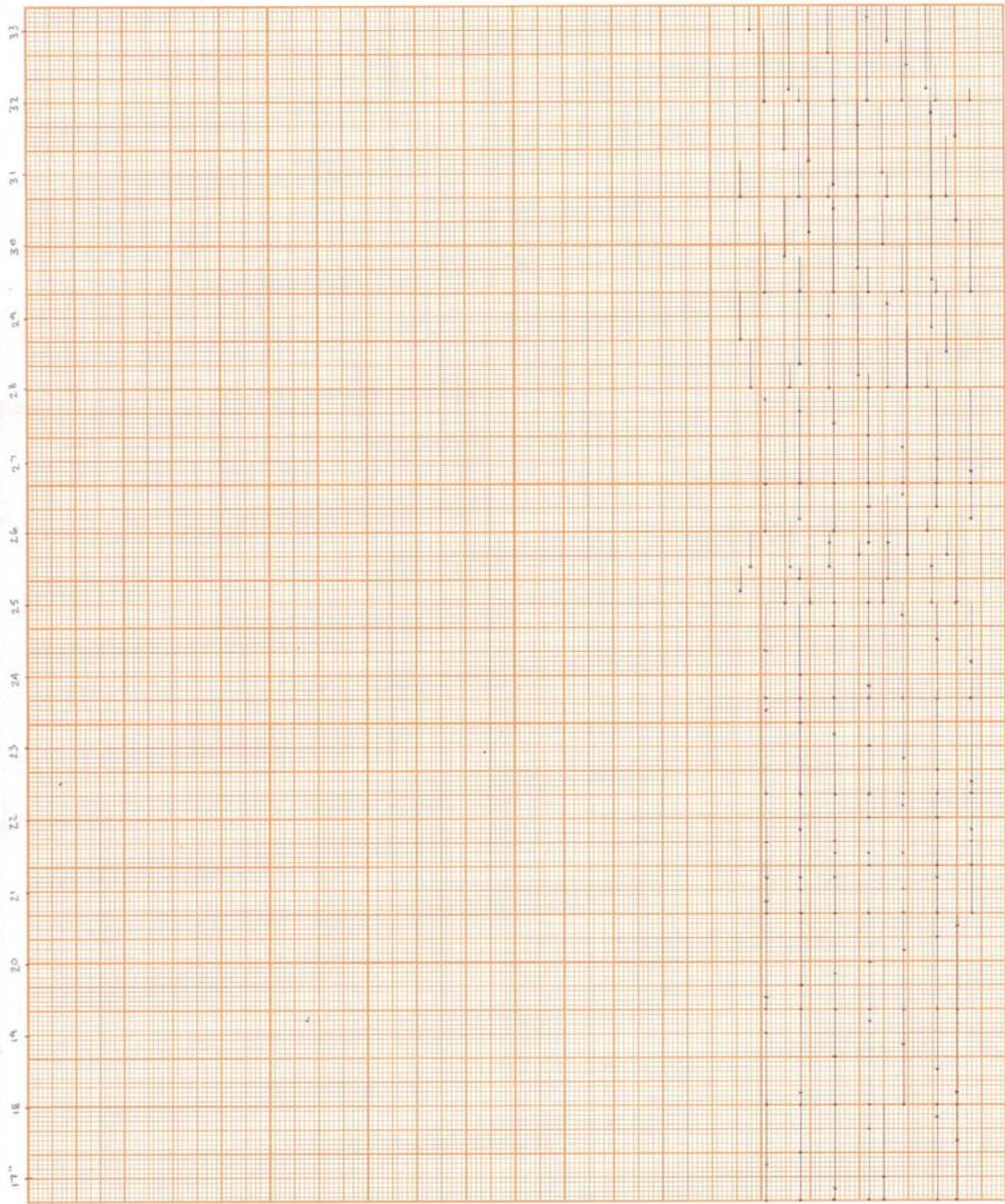




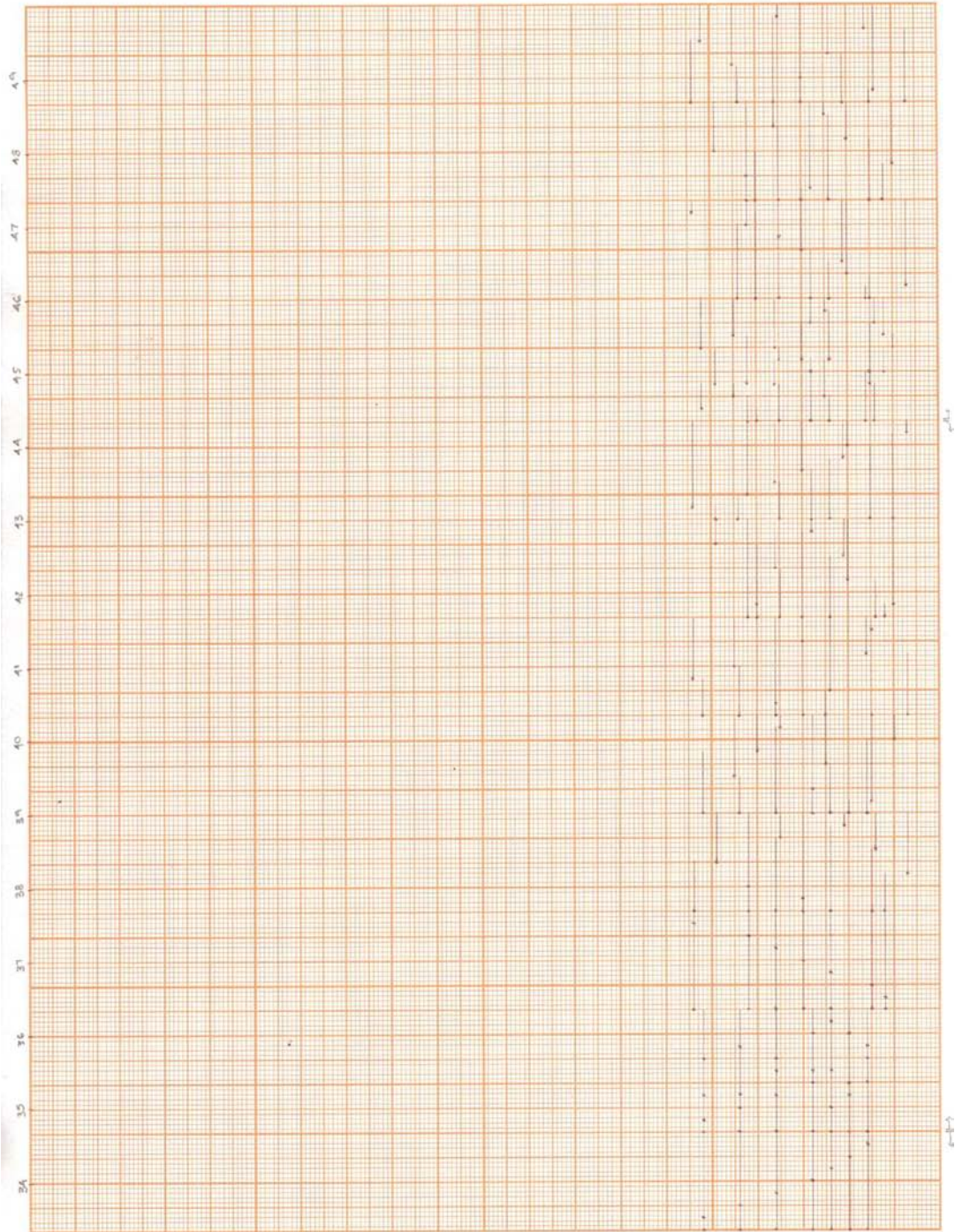


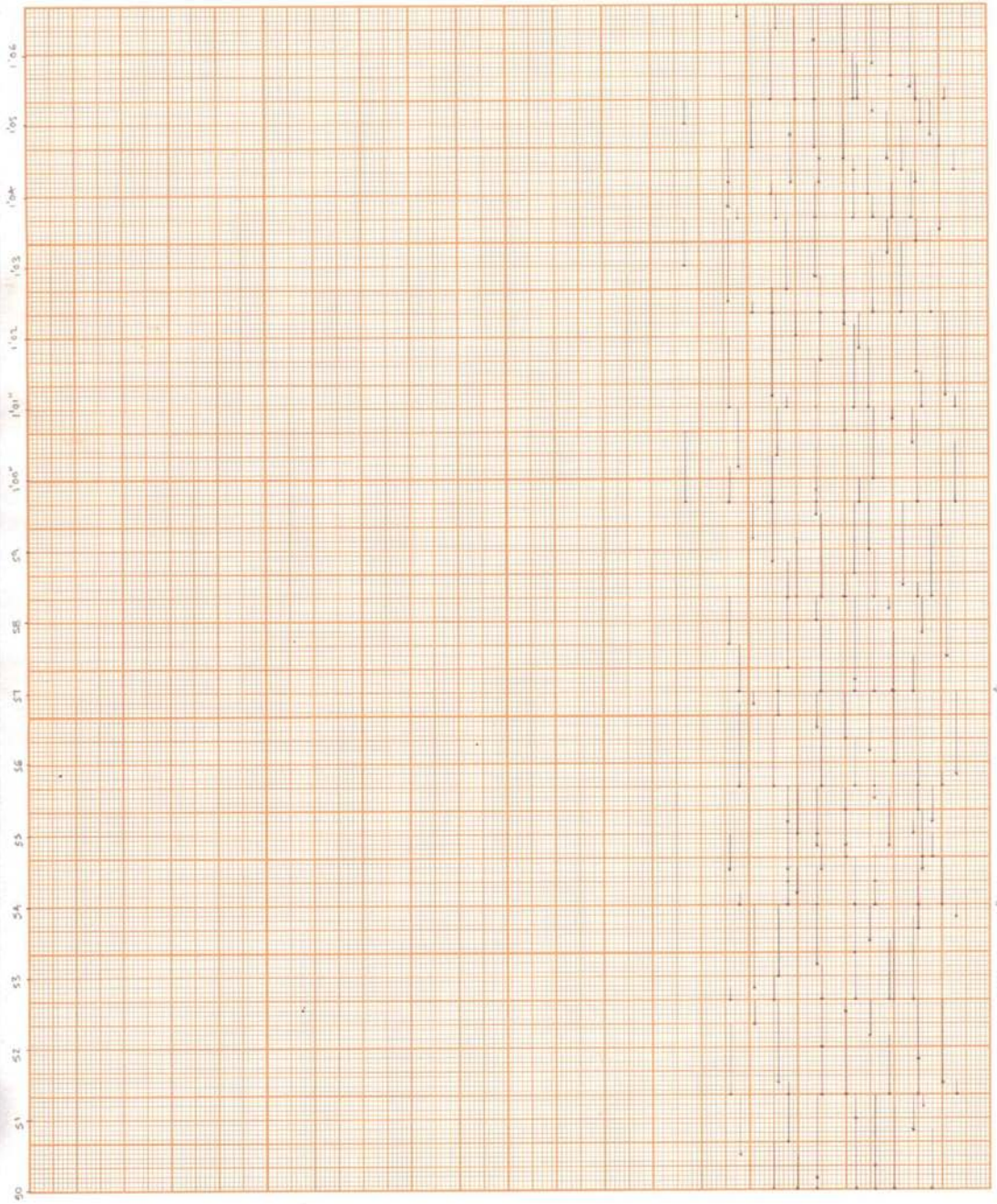
Partitura Estudio seno nº2

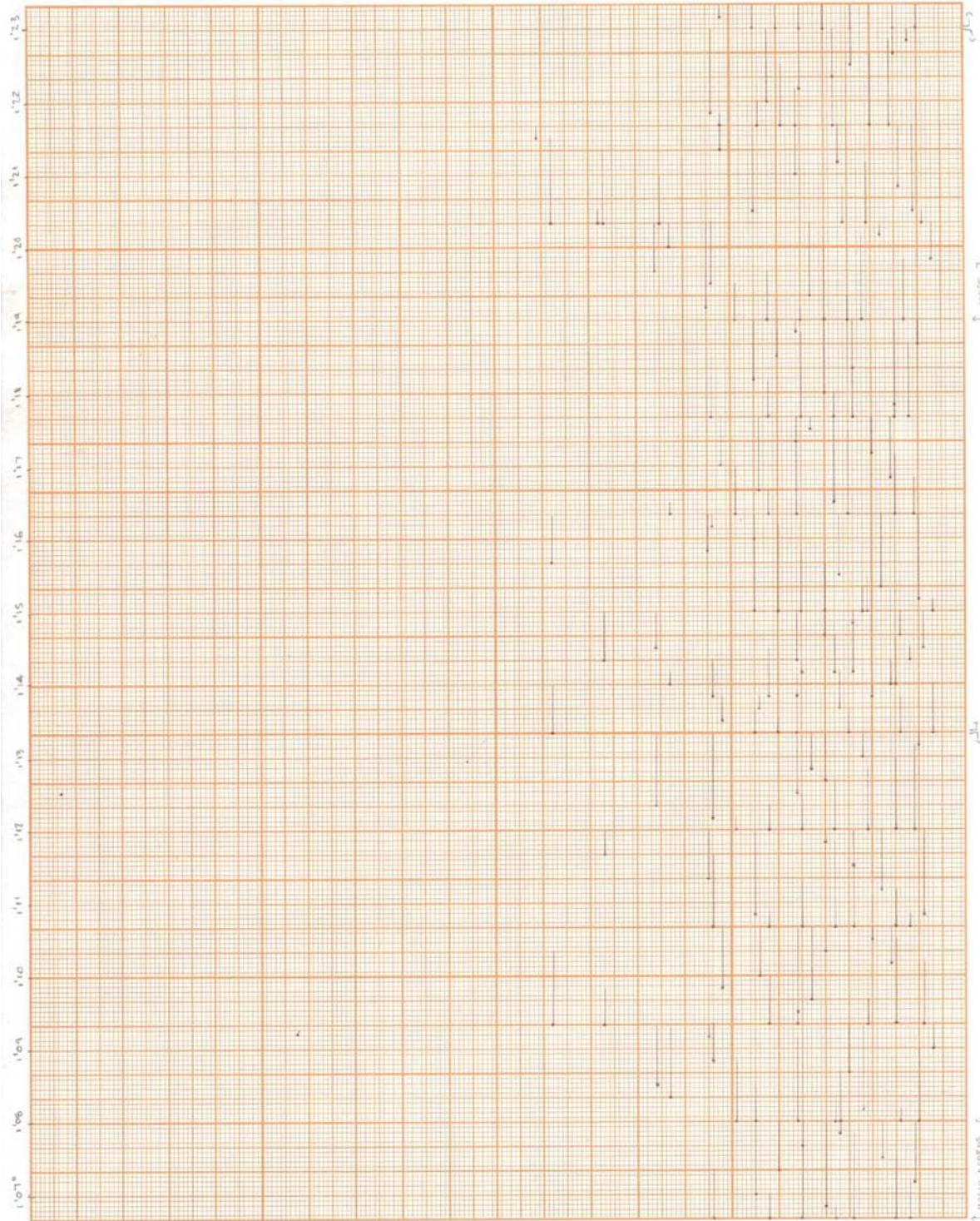


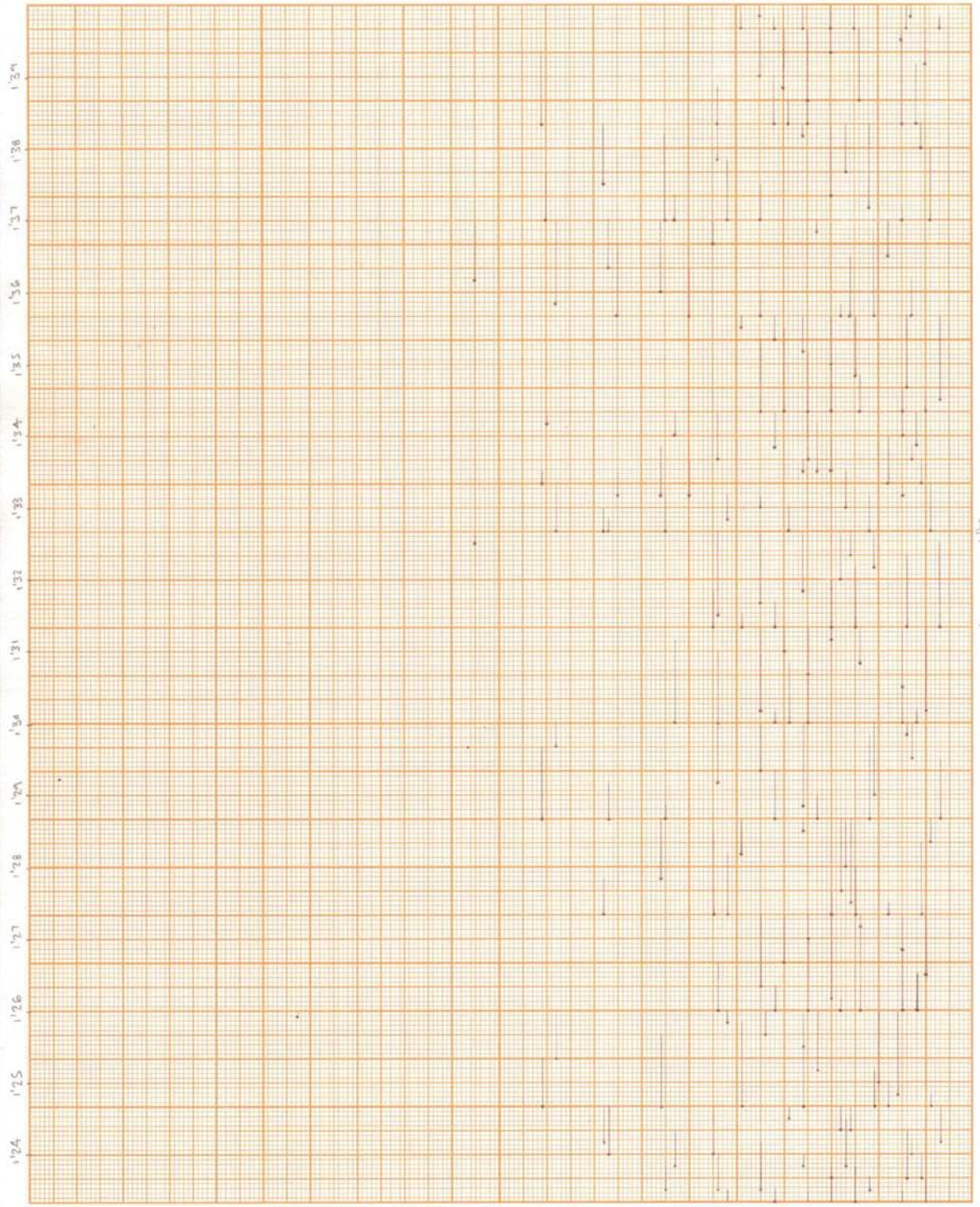


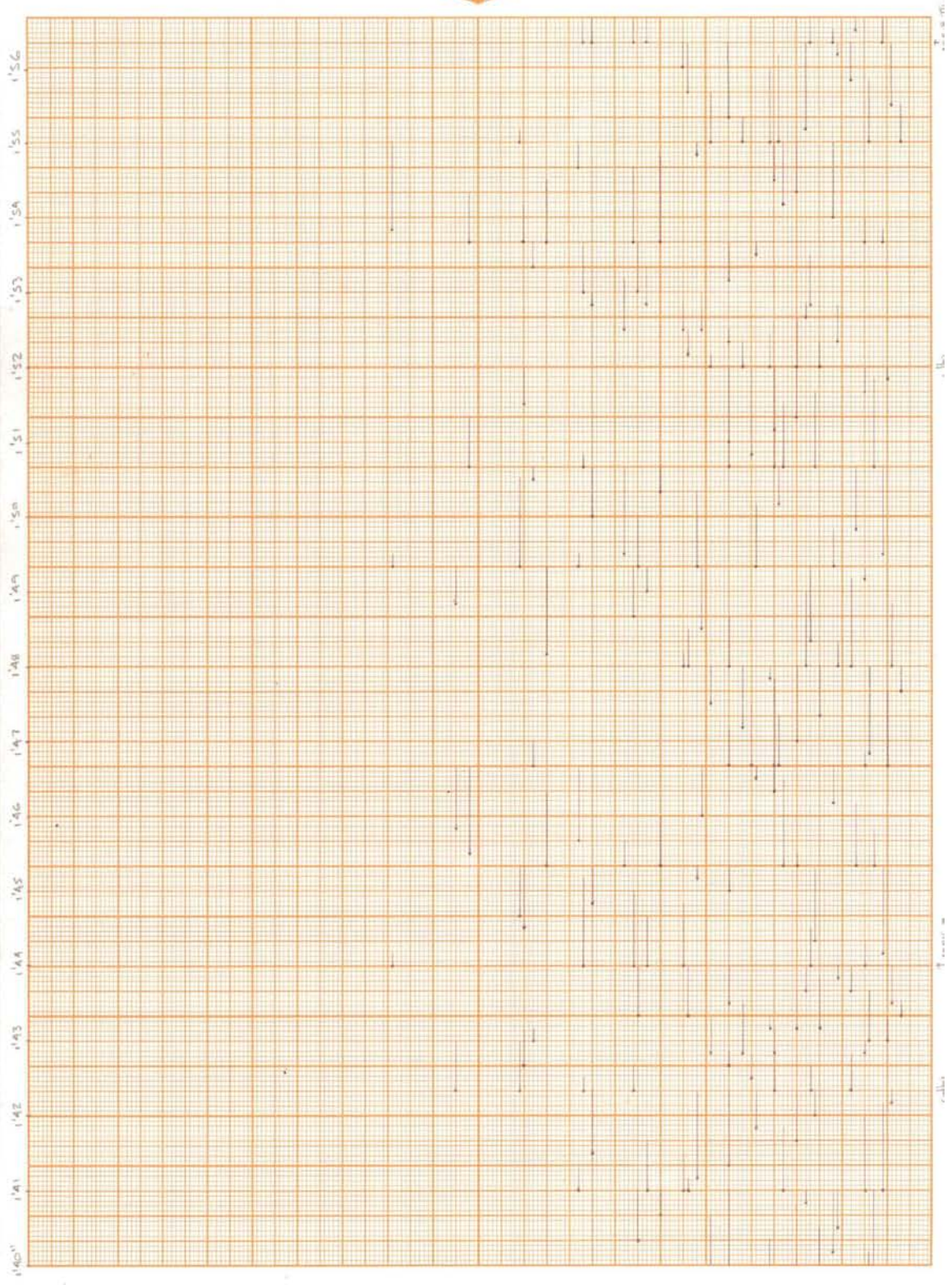
THE GRADE 4 PROGRAM —> MATHS, SCIENCE AND PHYSICS. REVISED

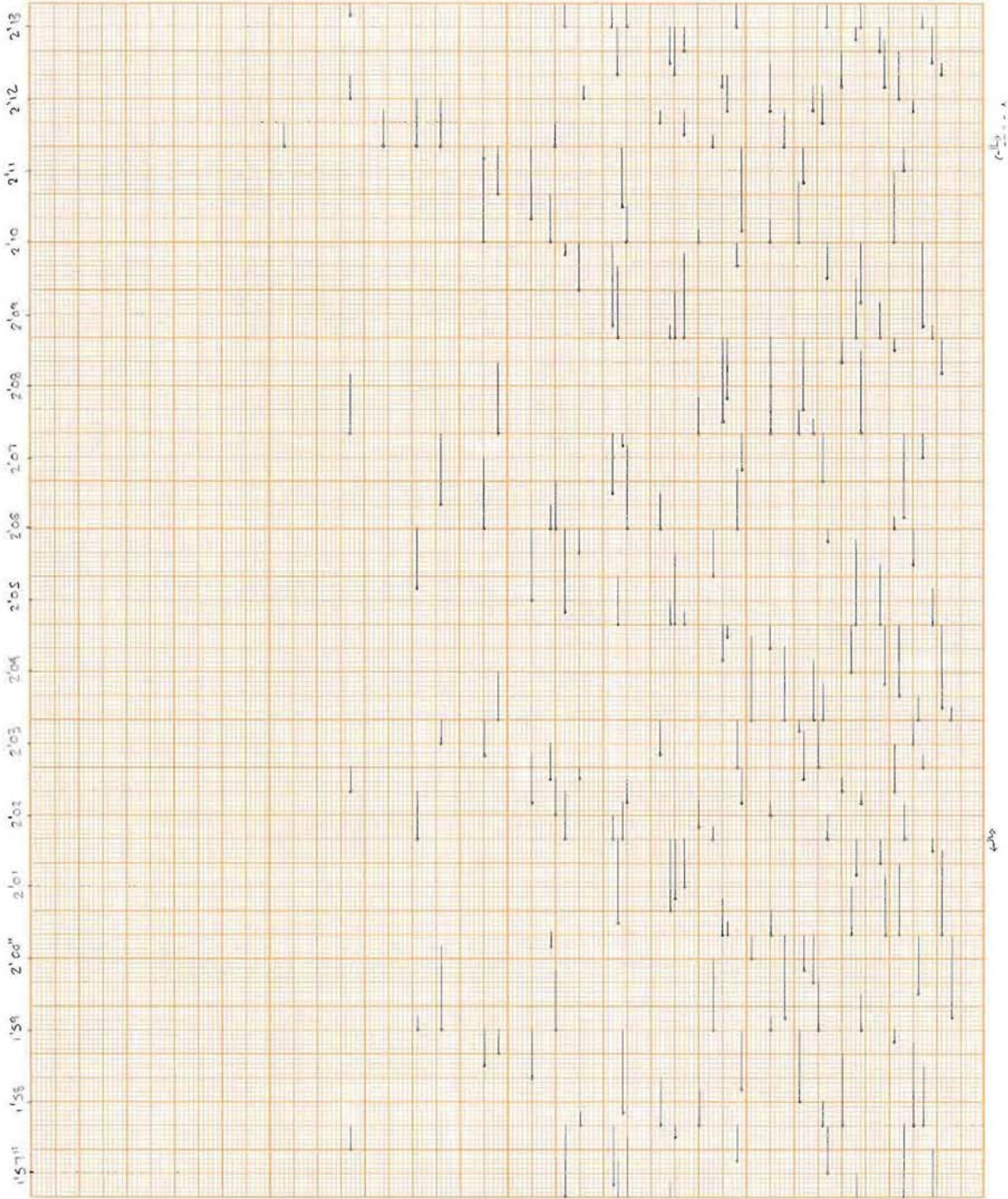


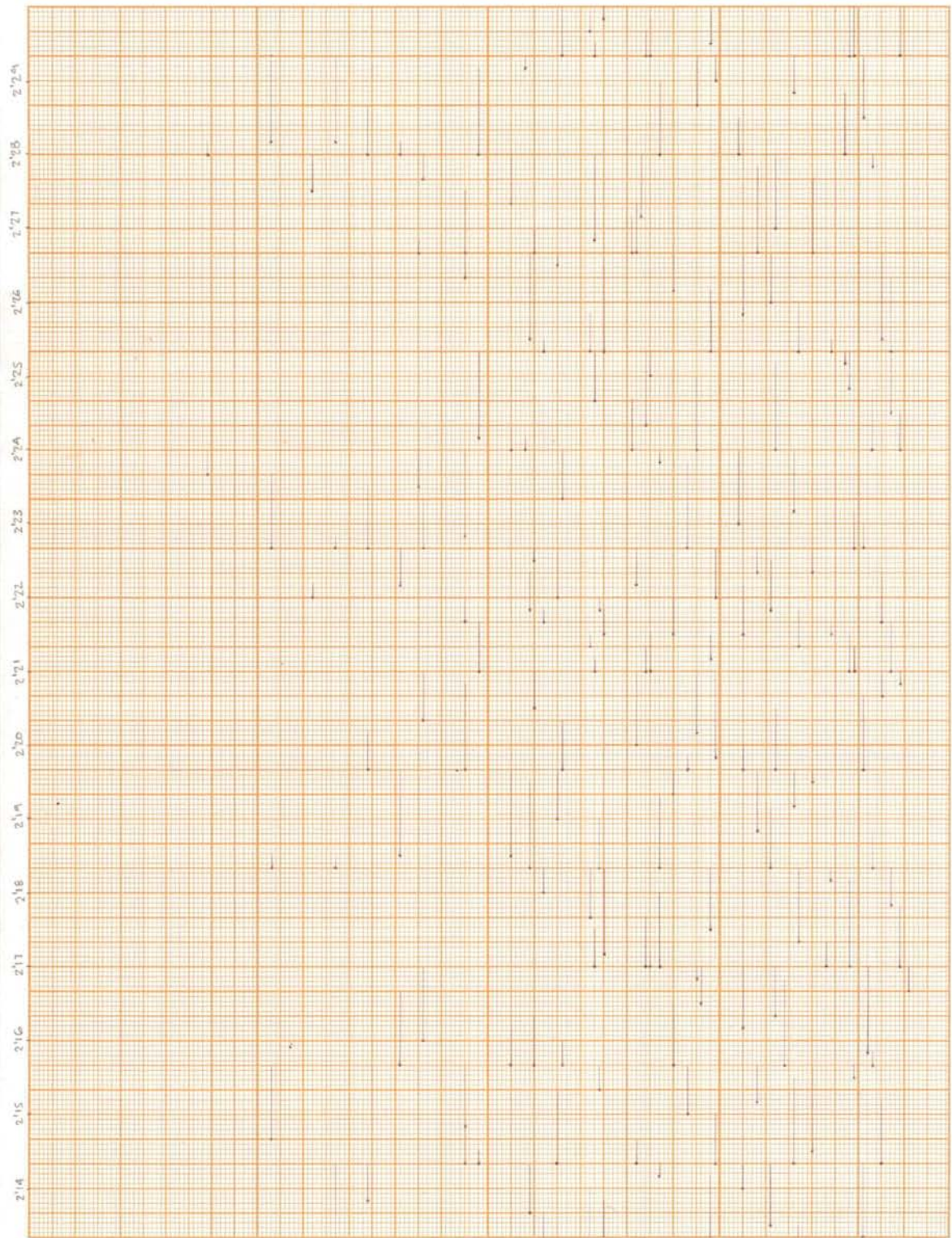




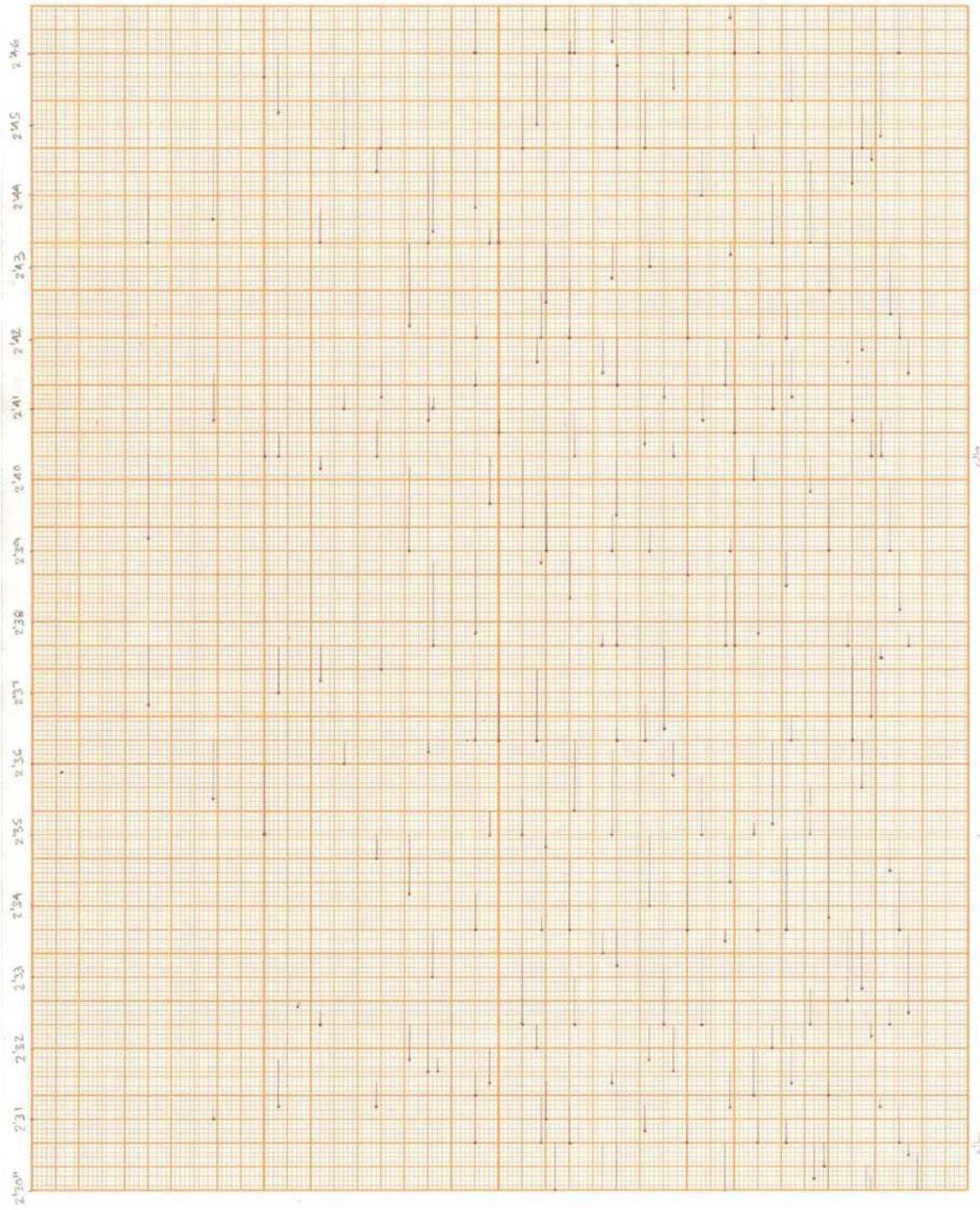


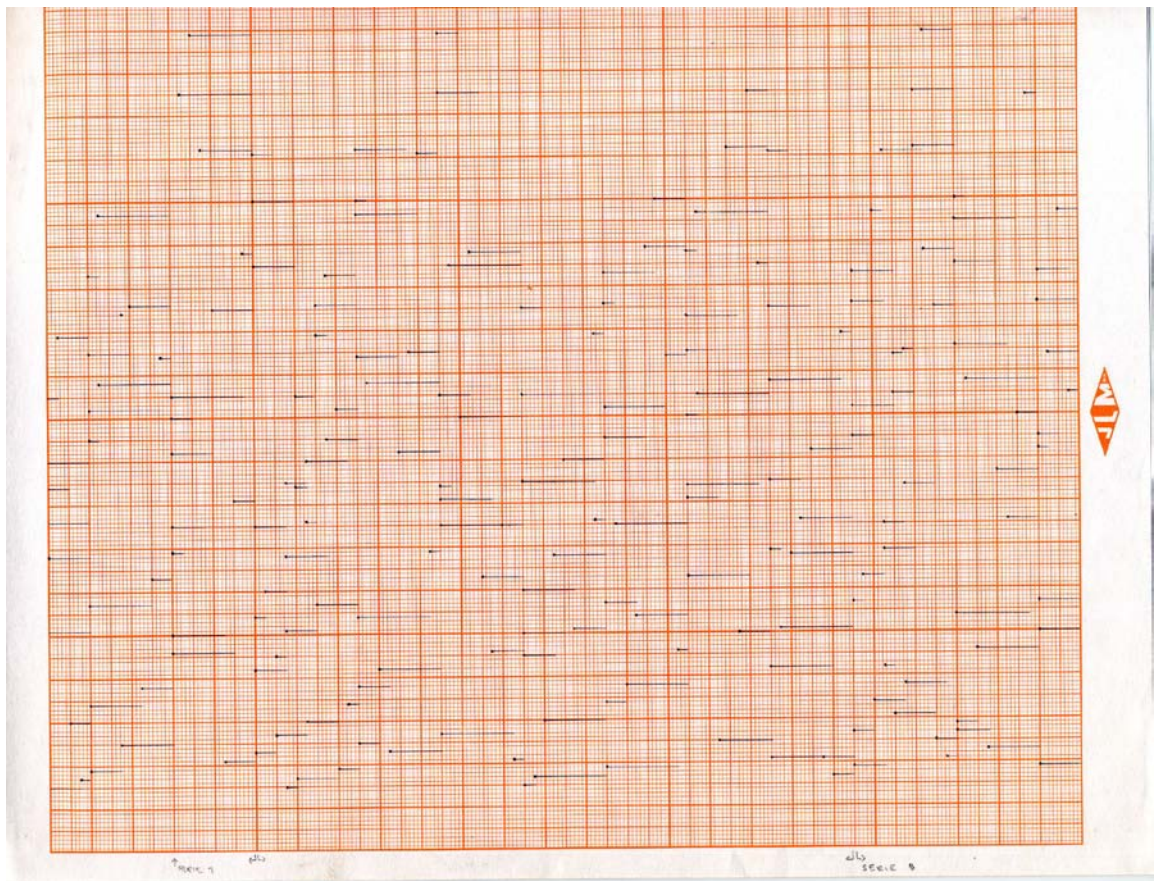
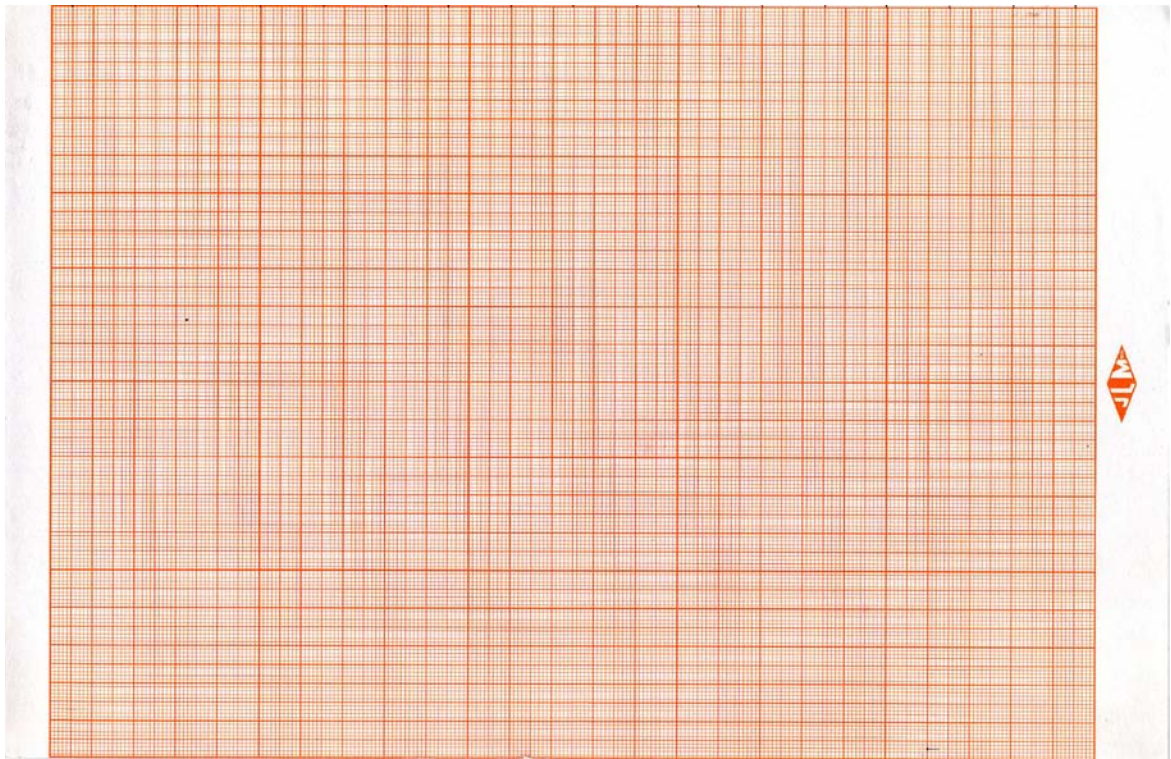


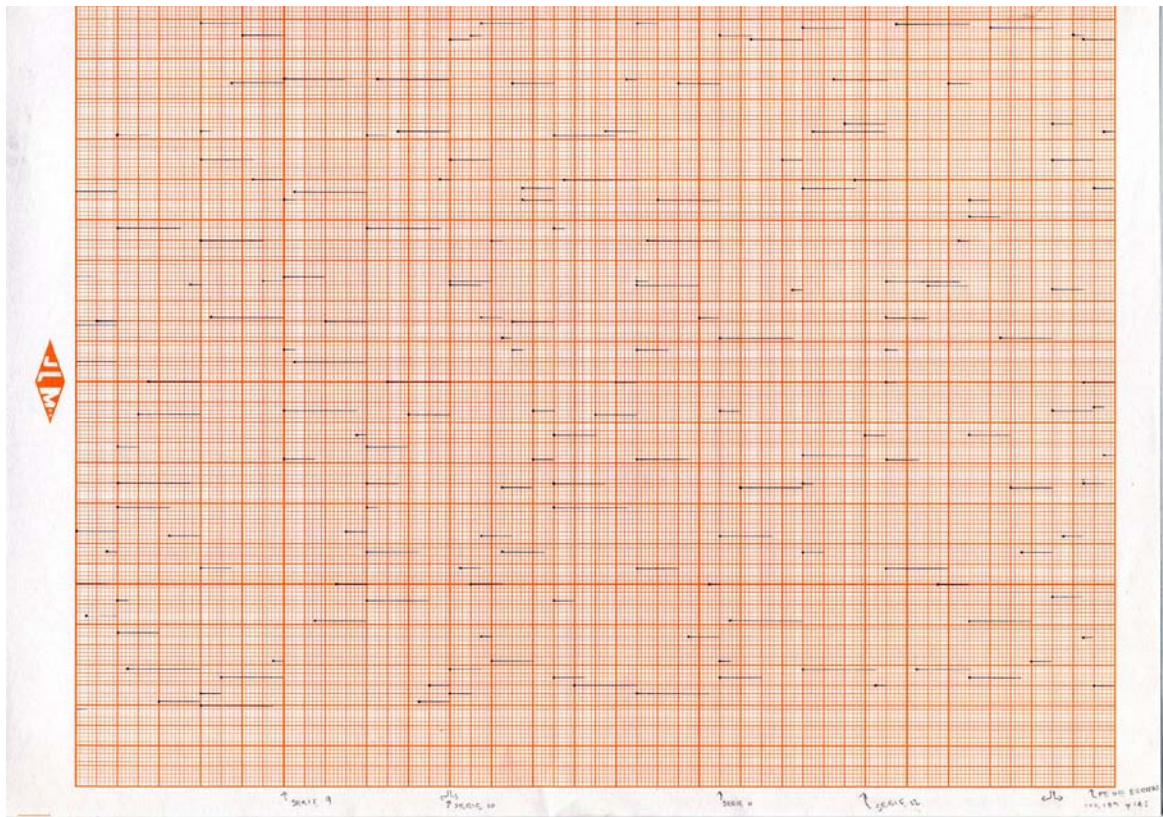
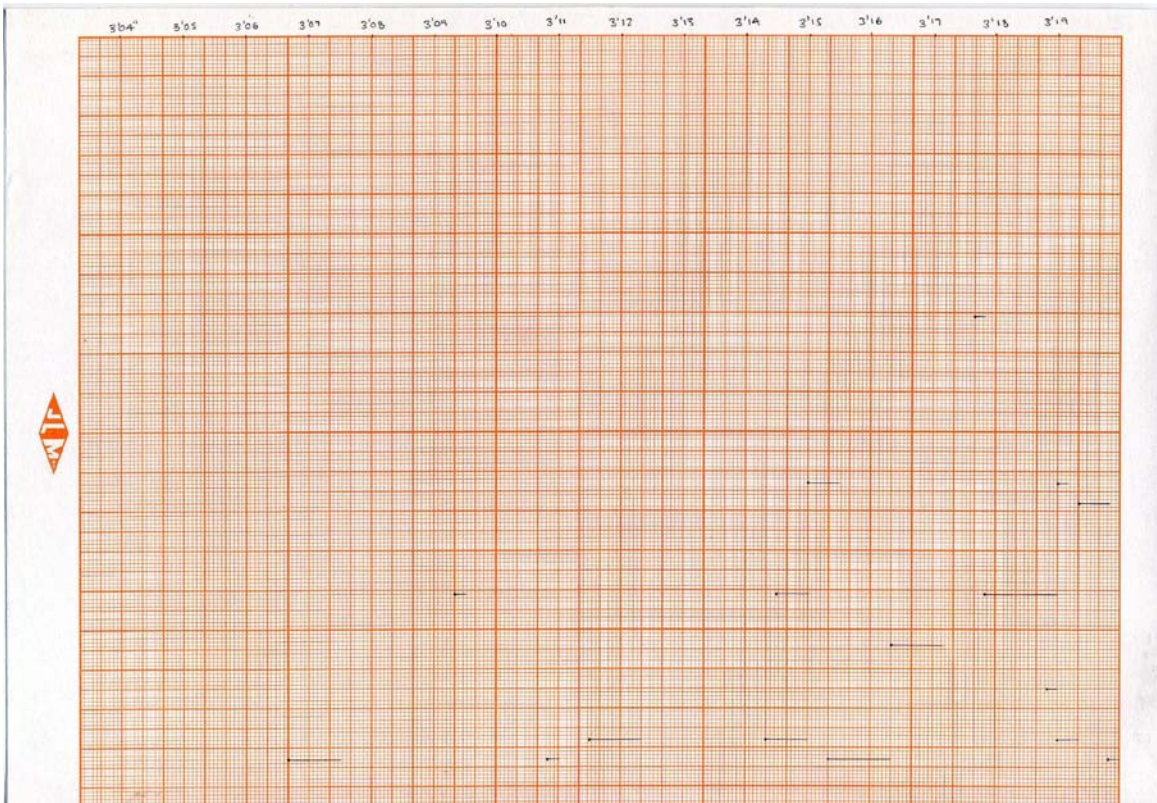


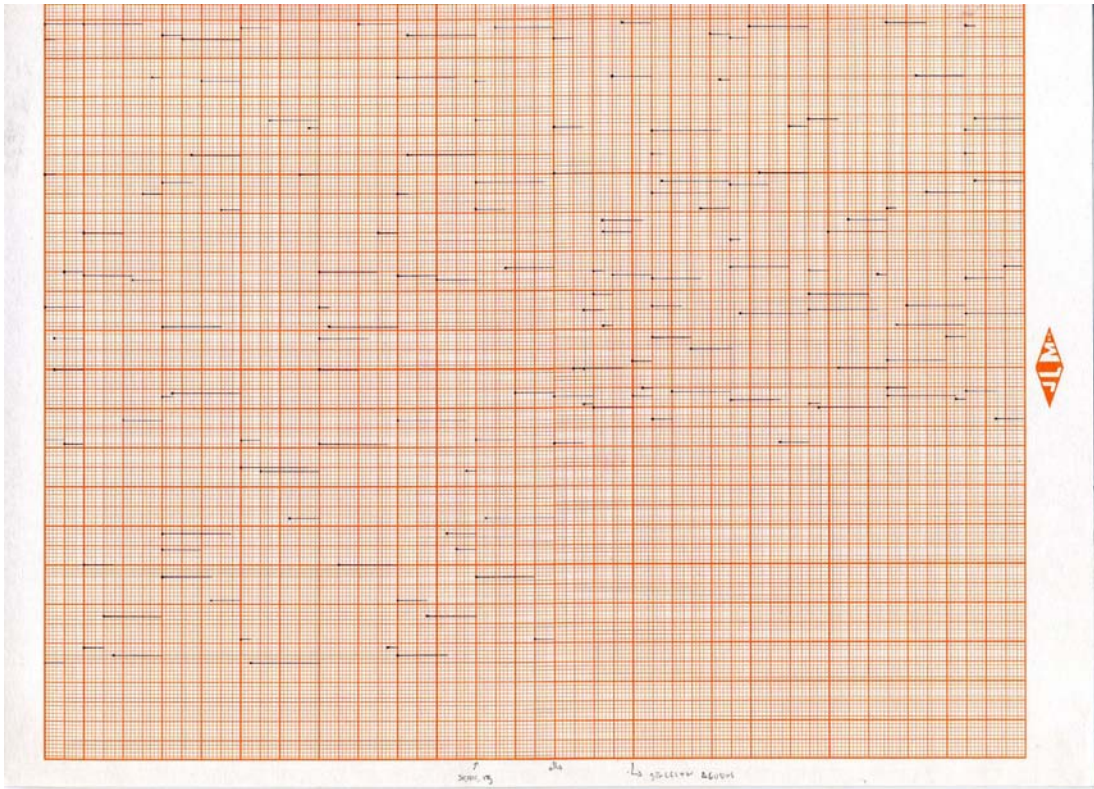
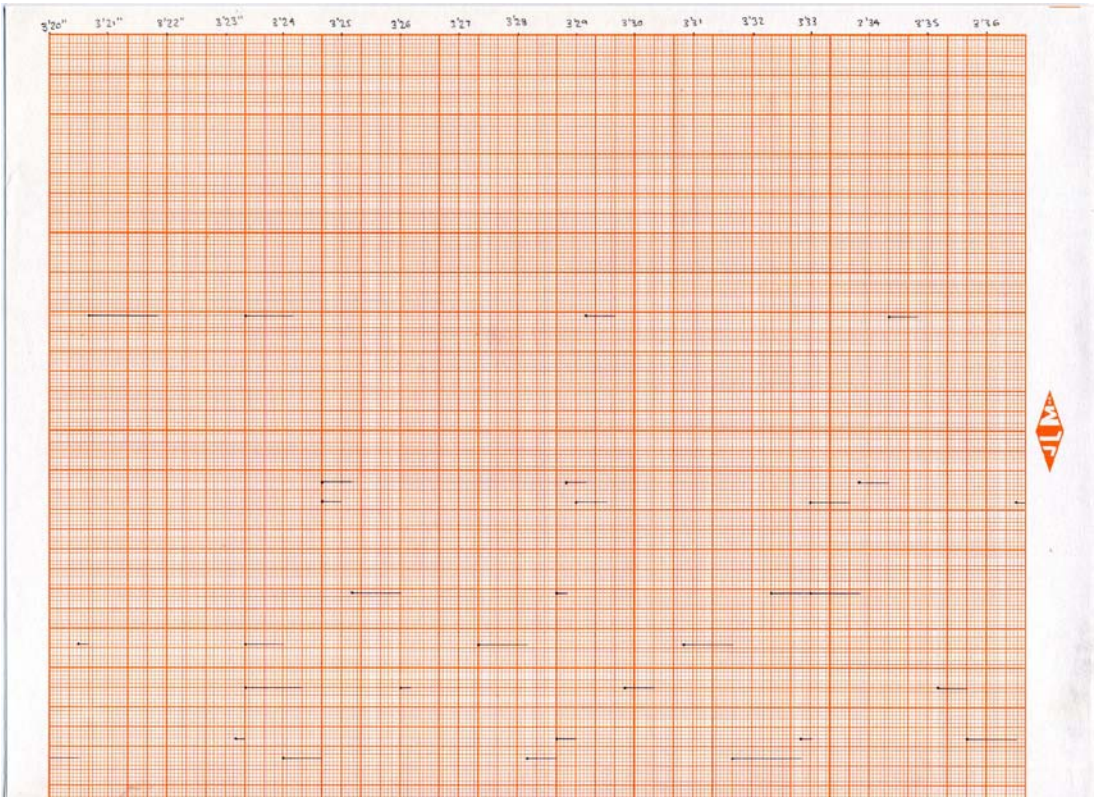


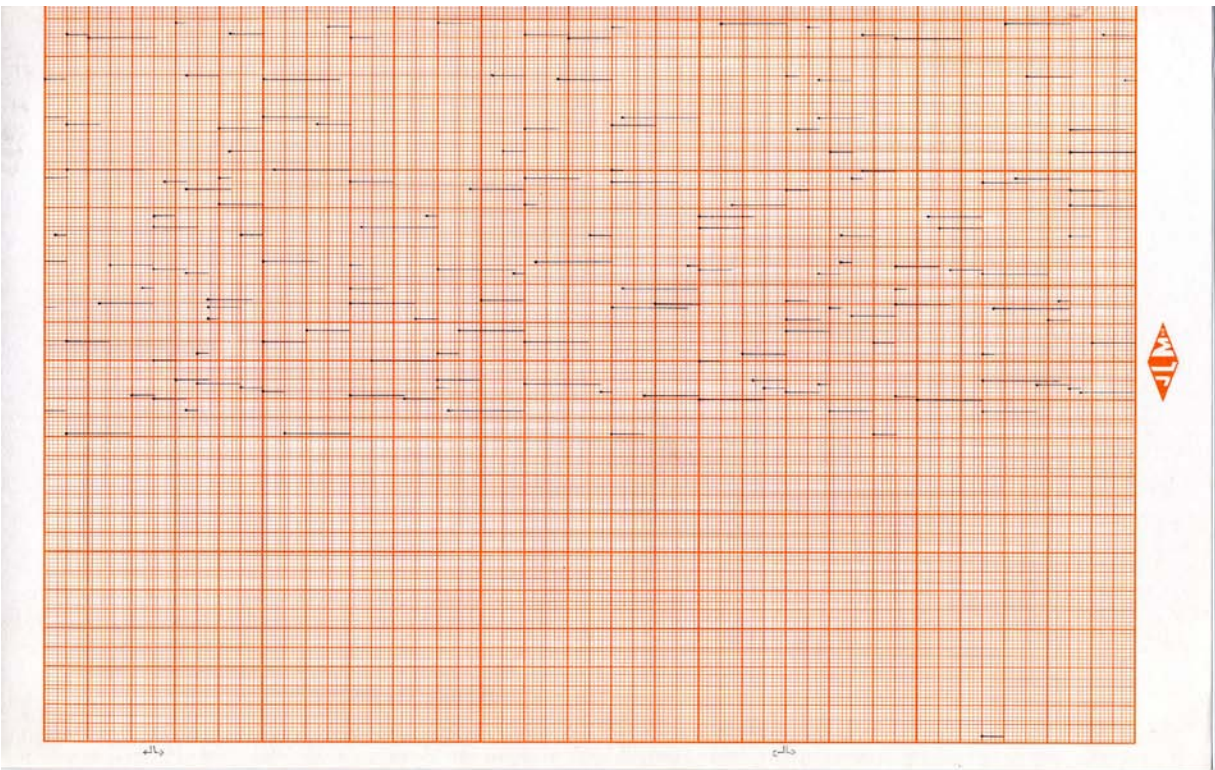
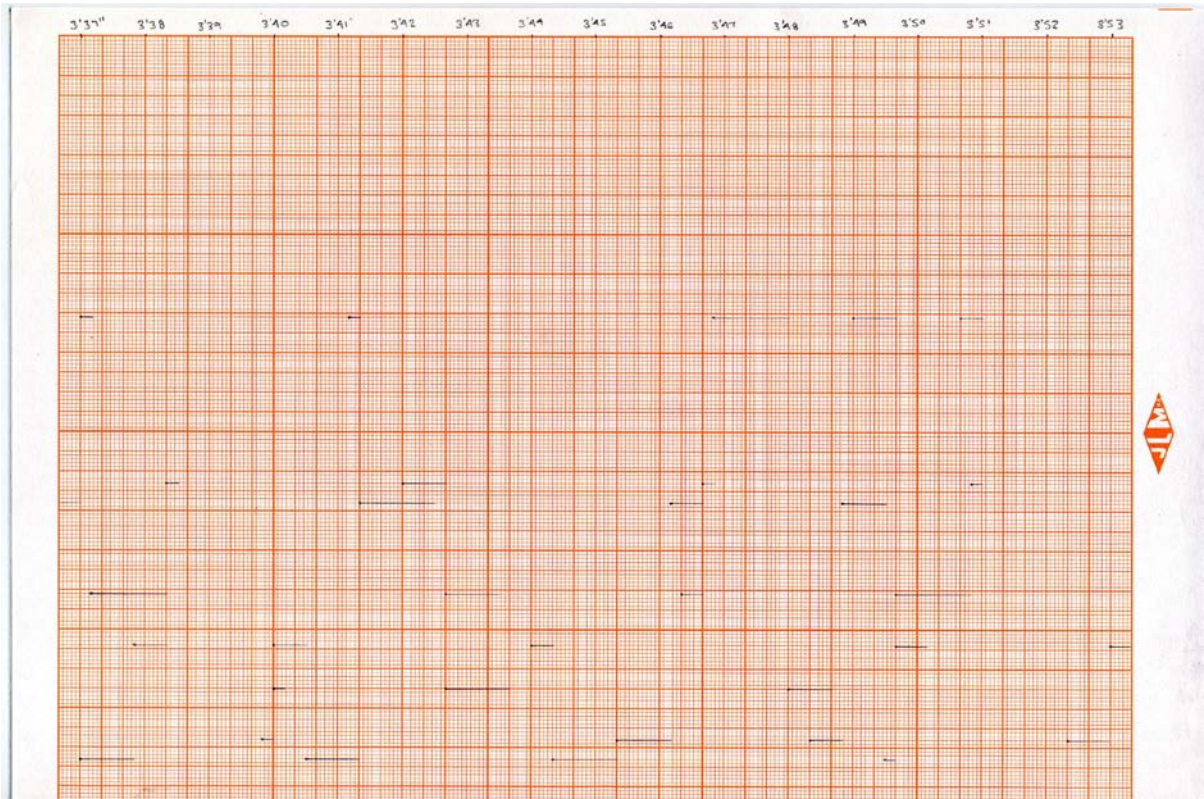
11.

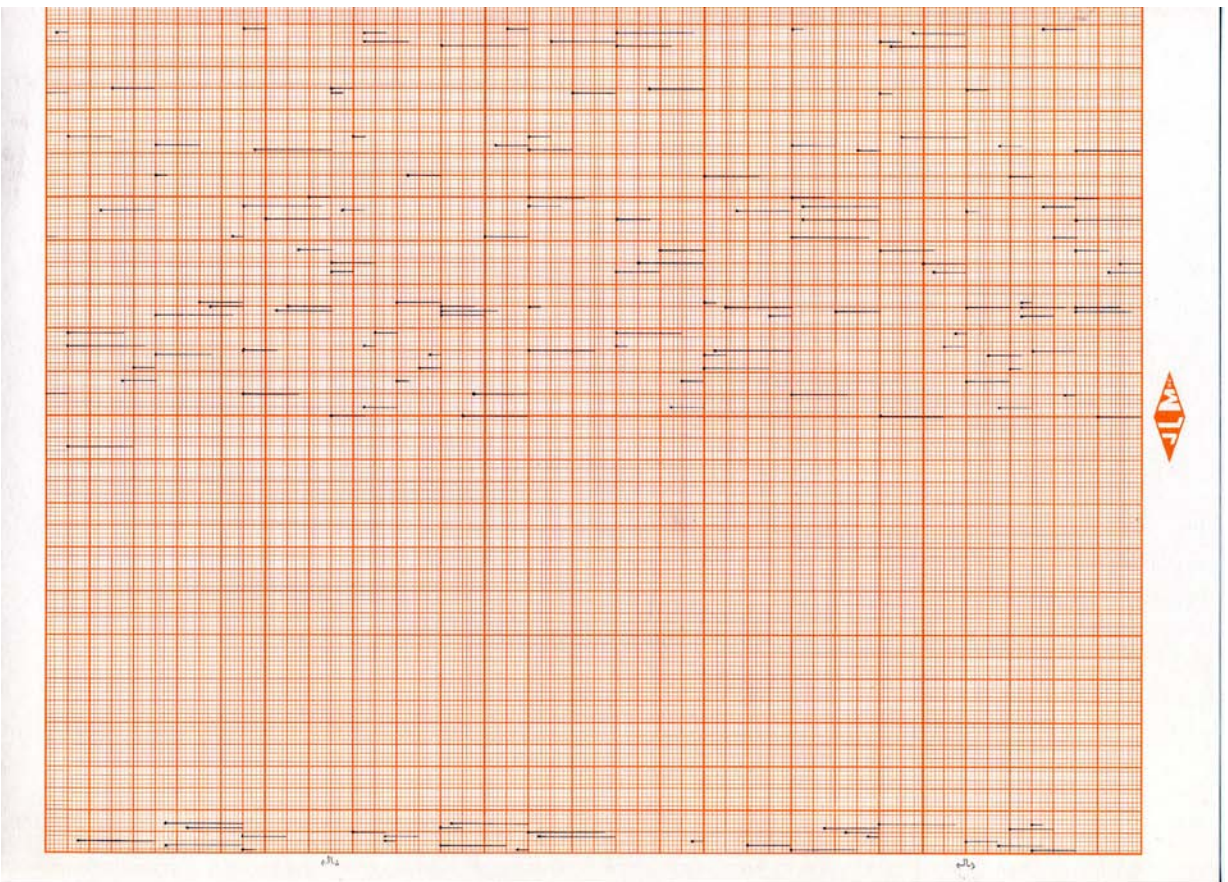
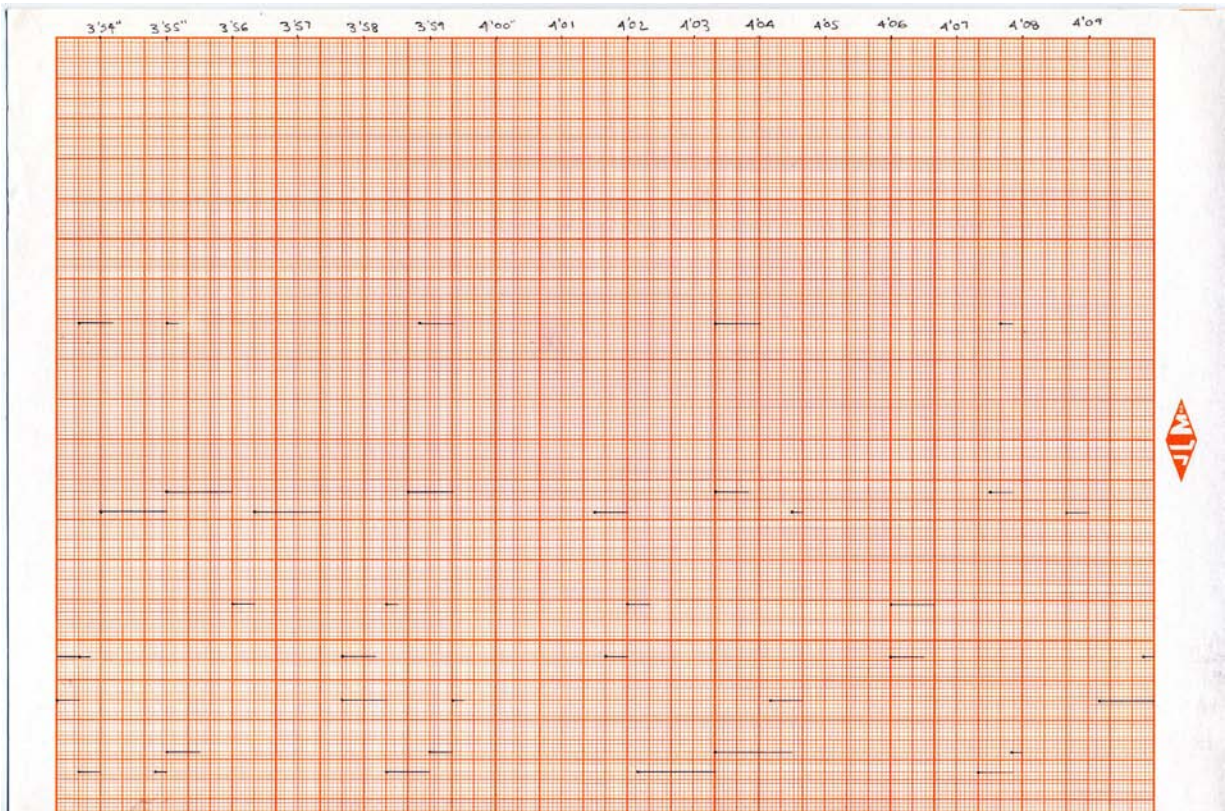


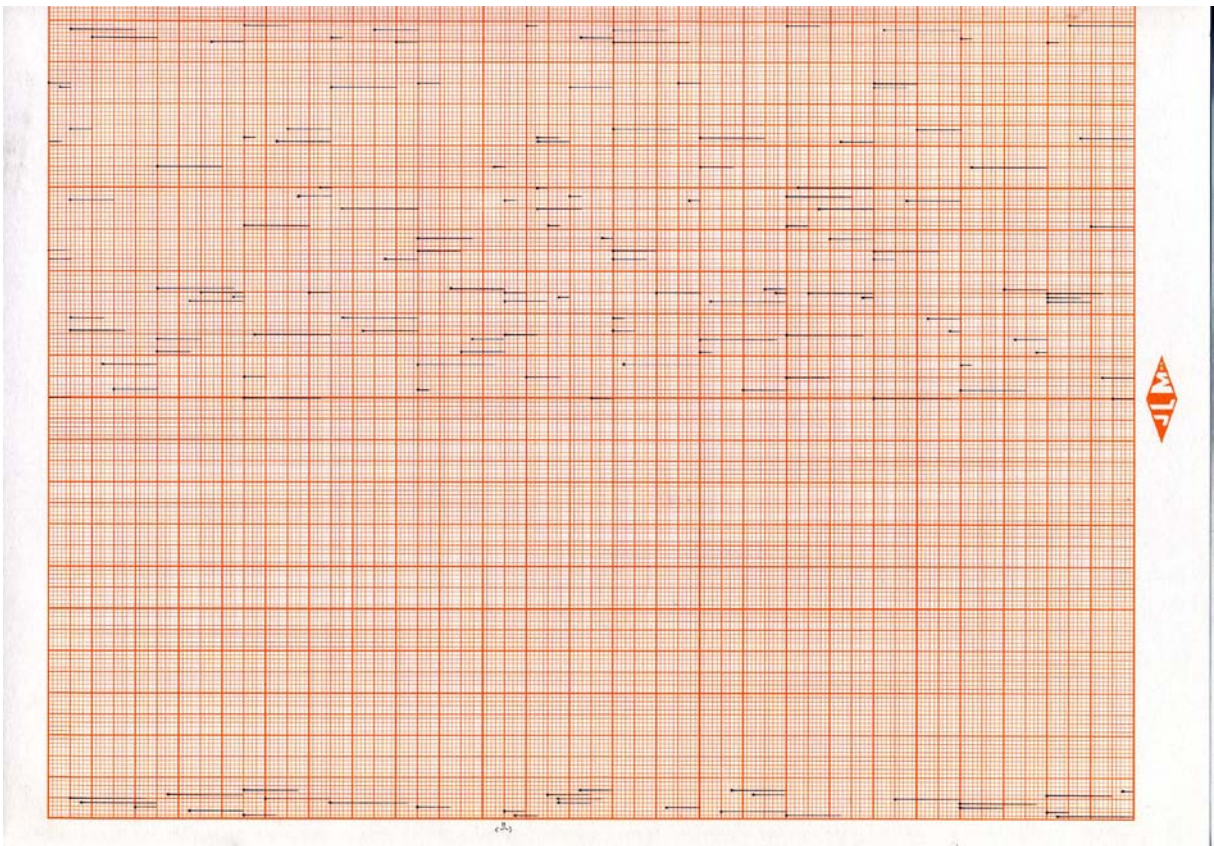
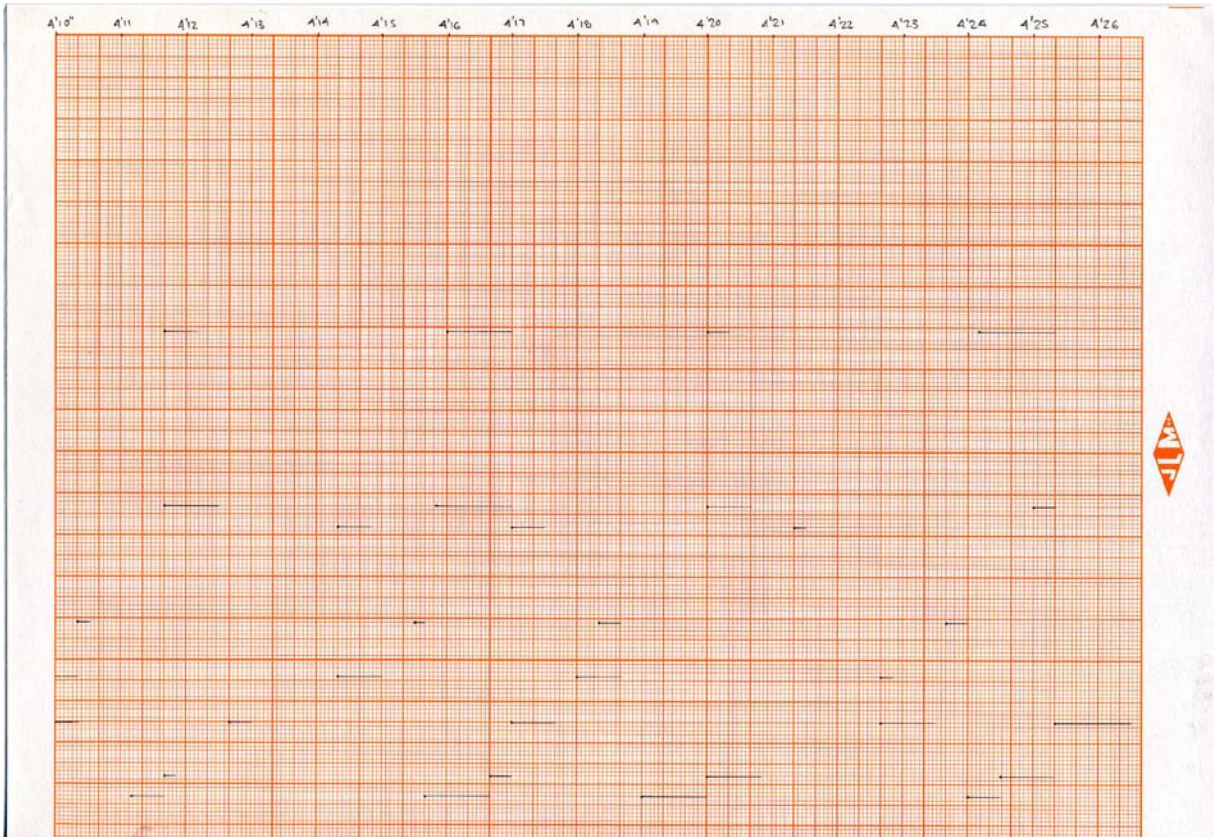


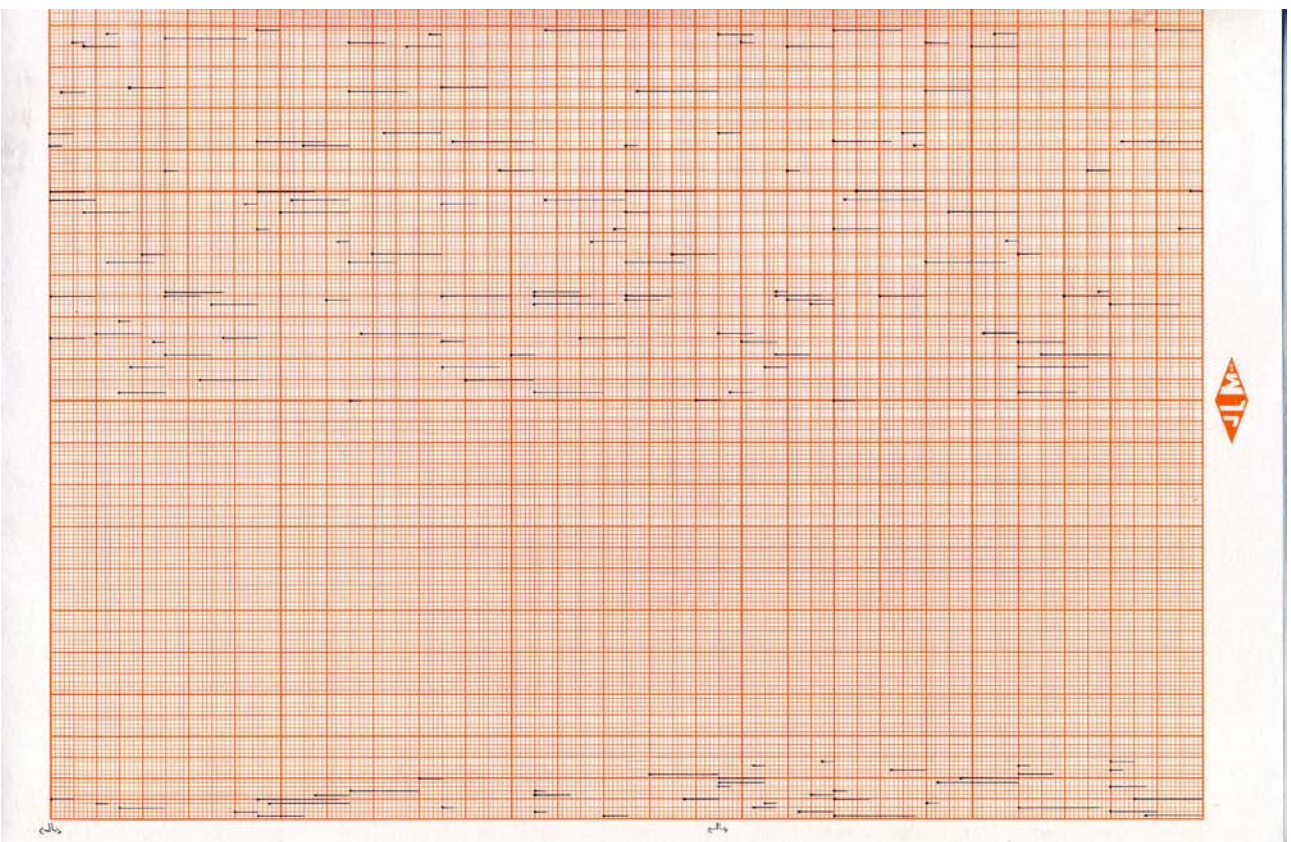
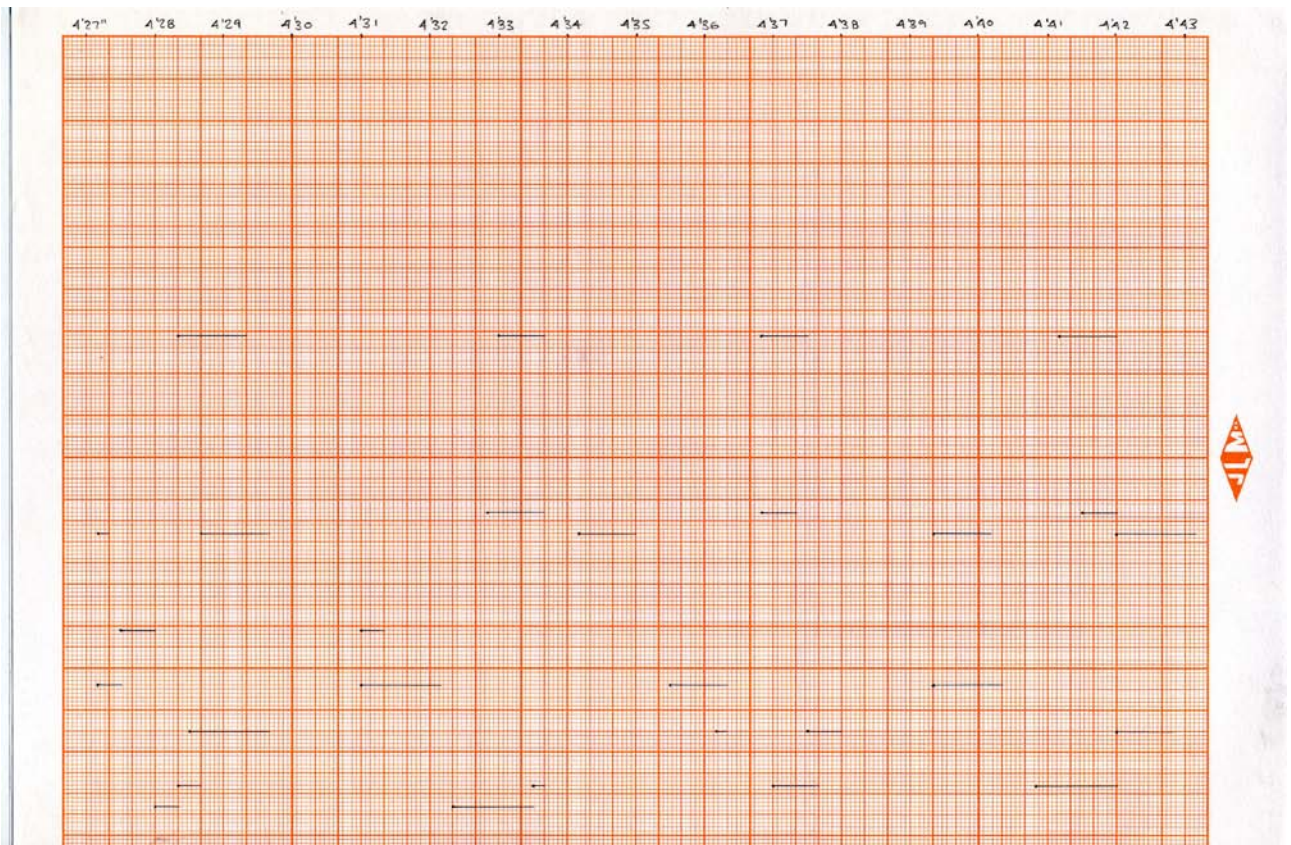


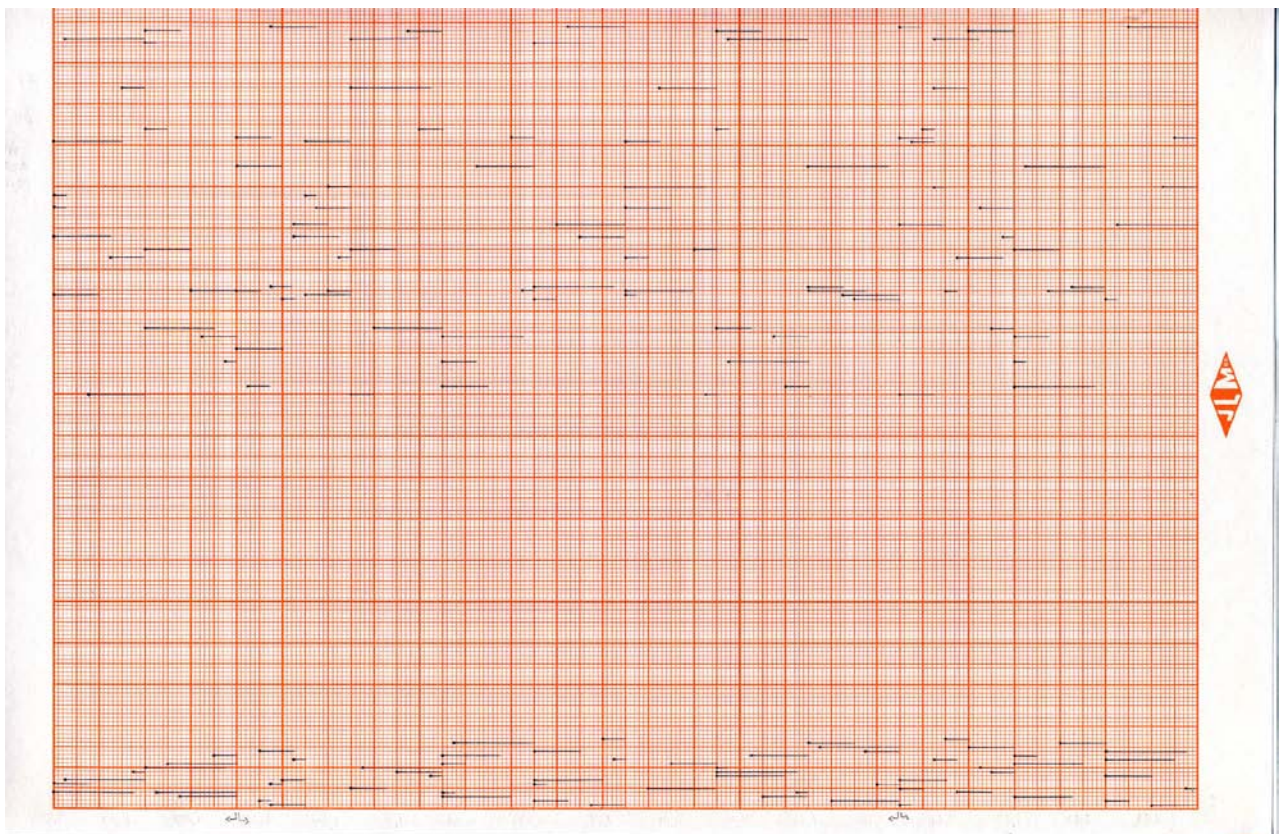
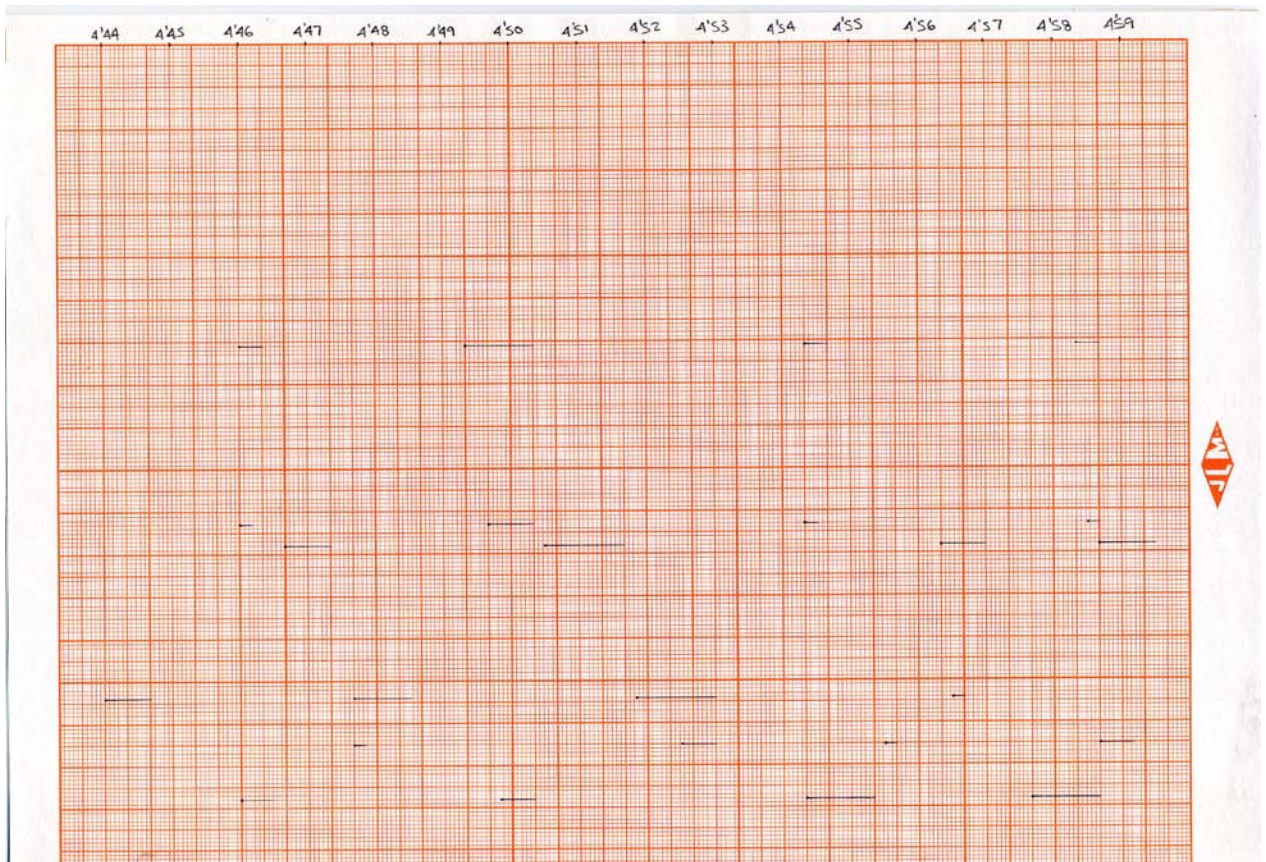


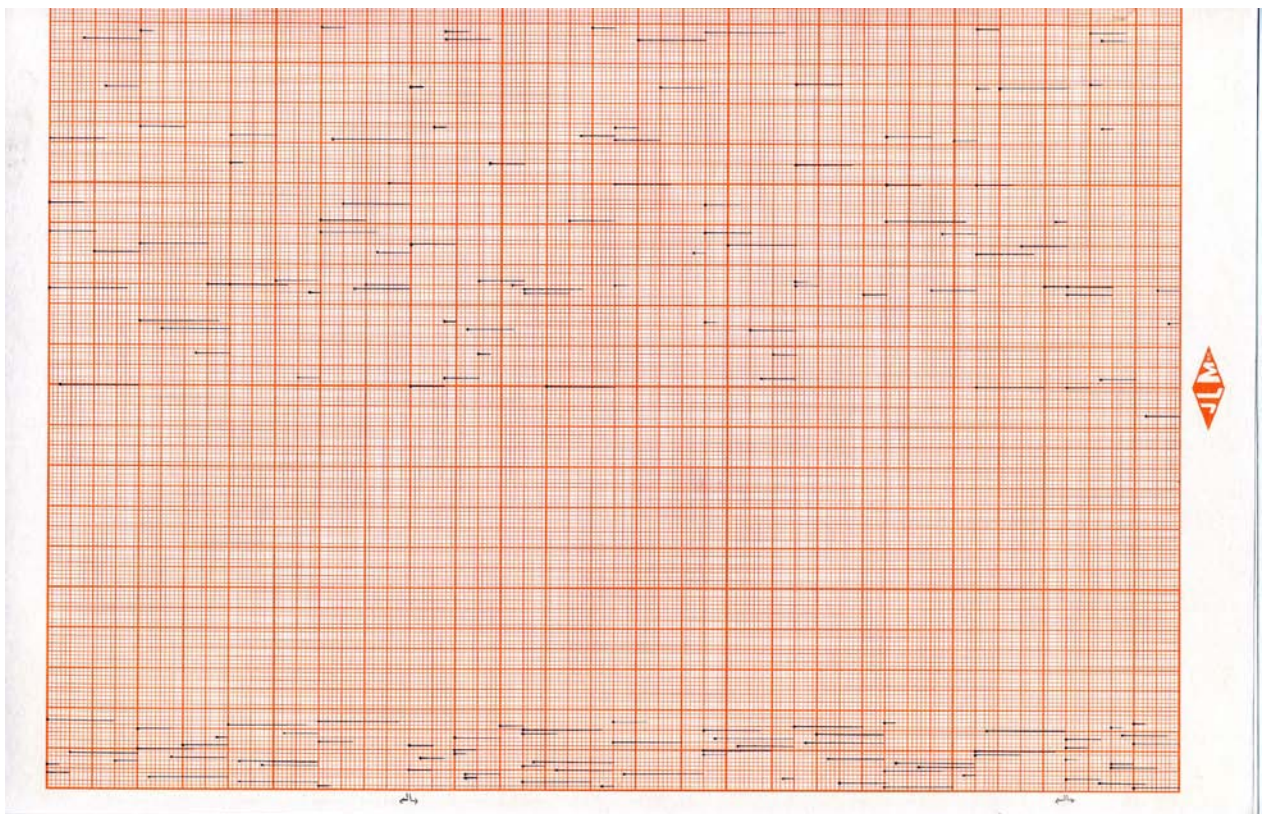
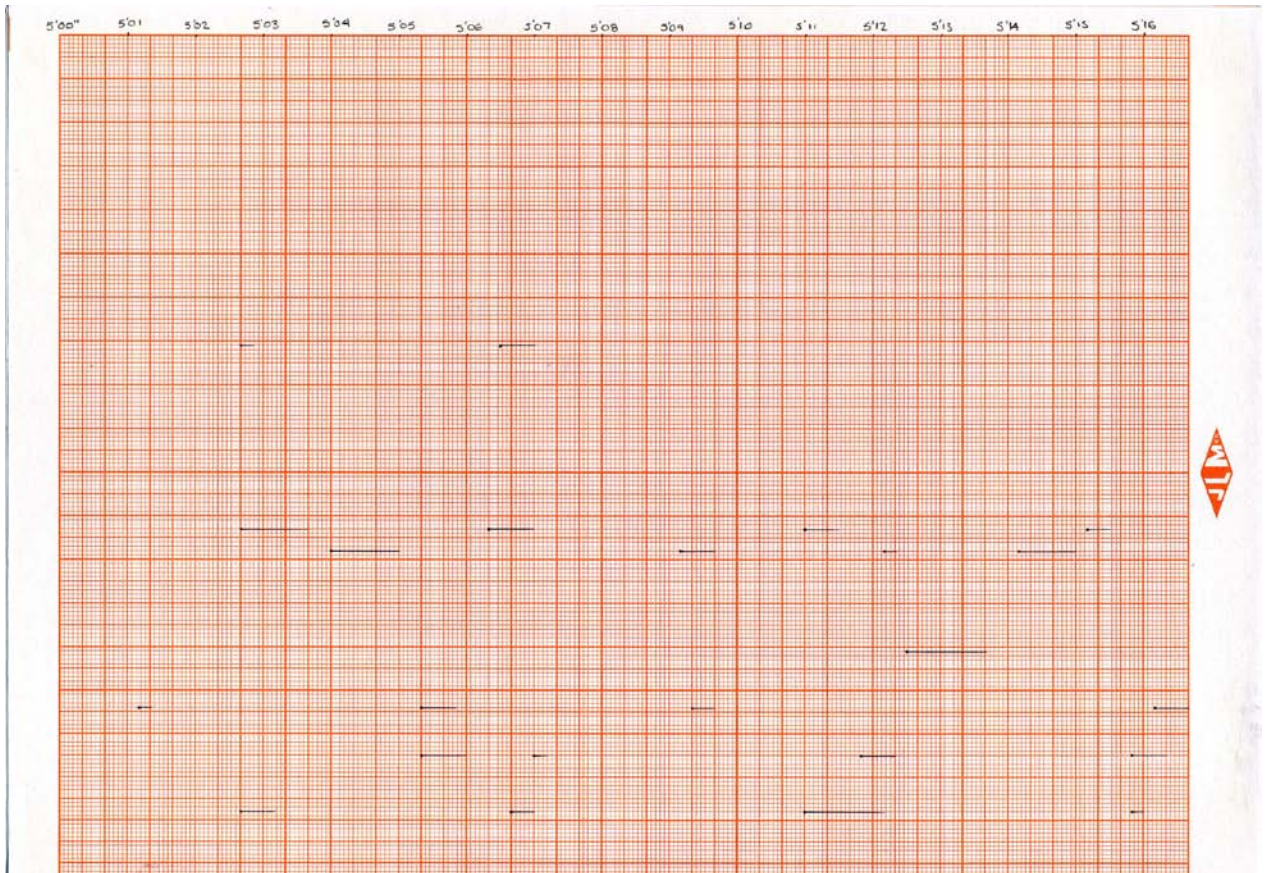


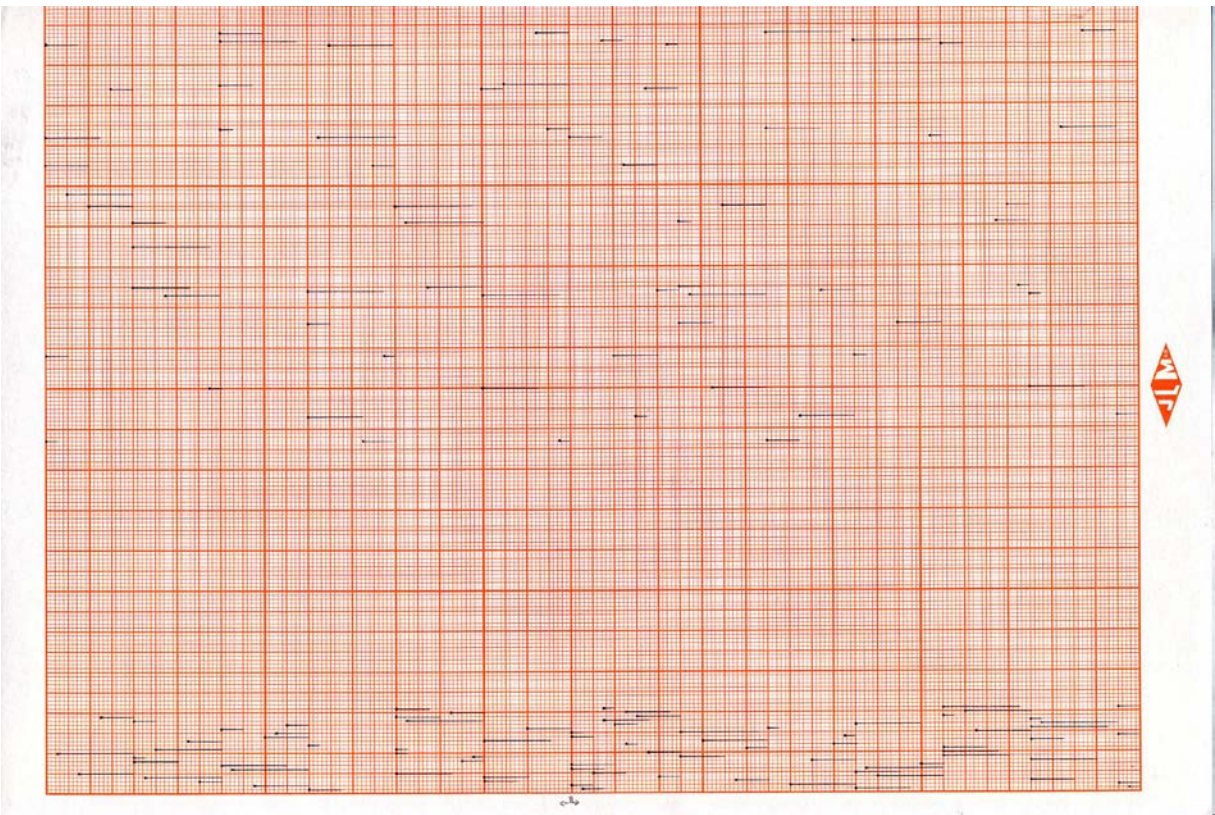
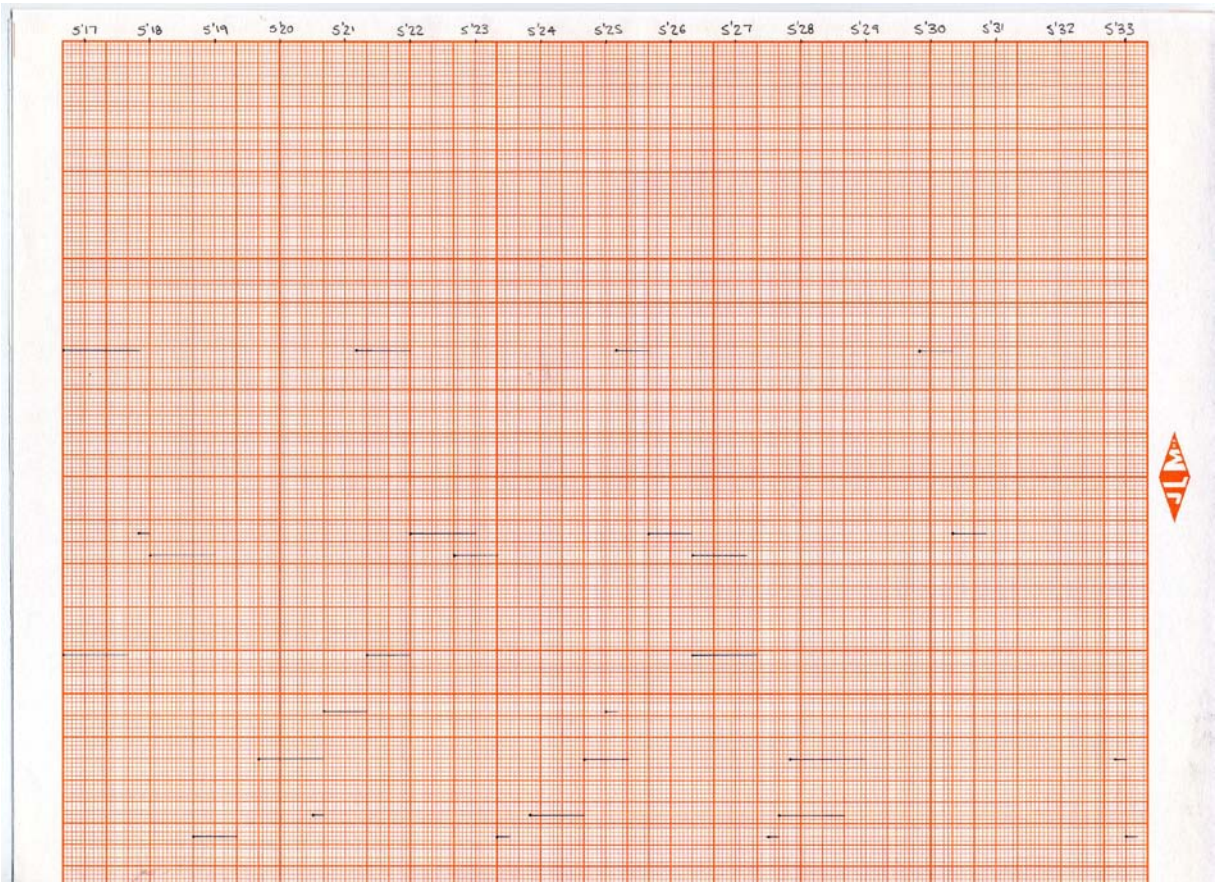


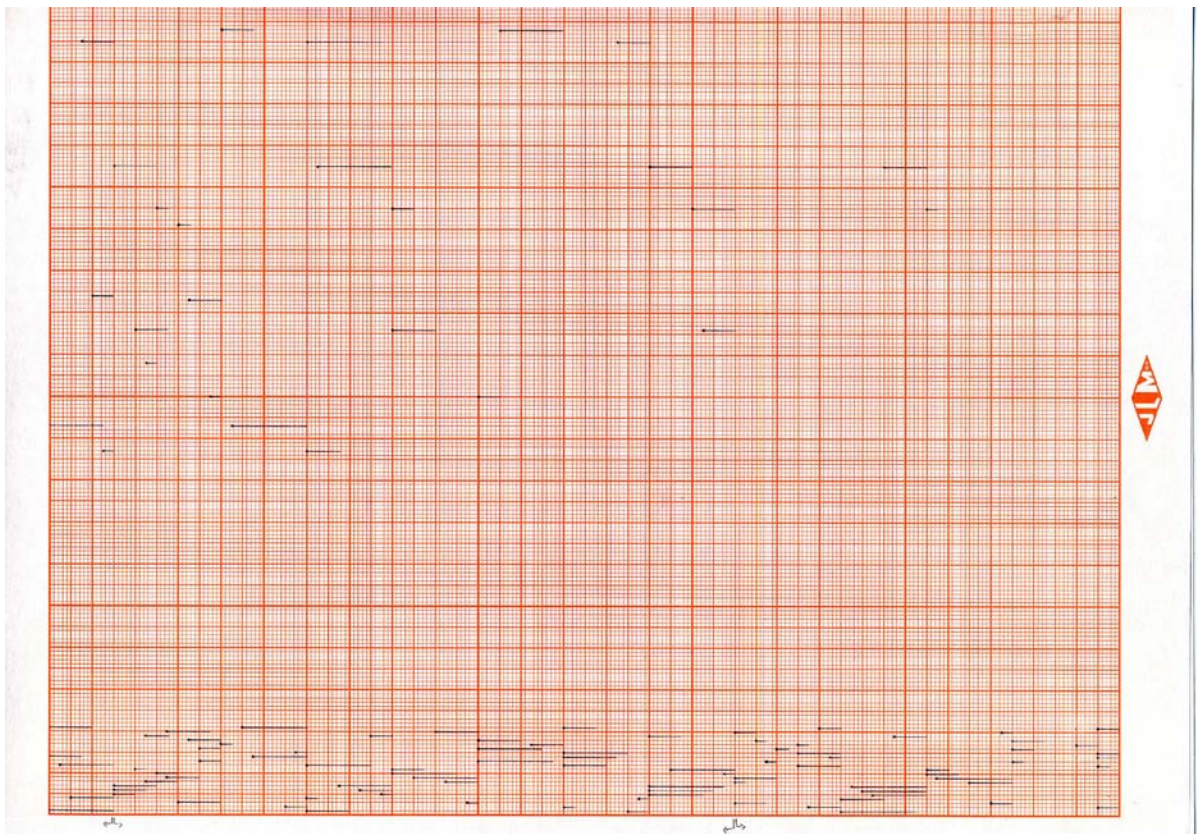
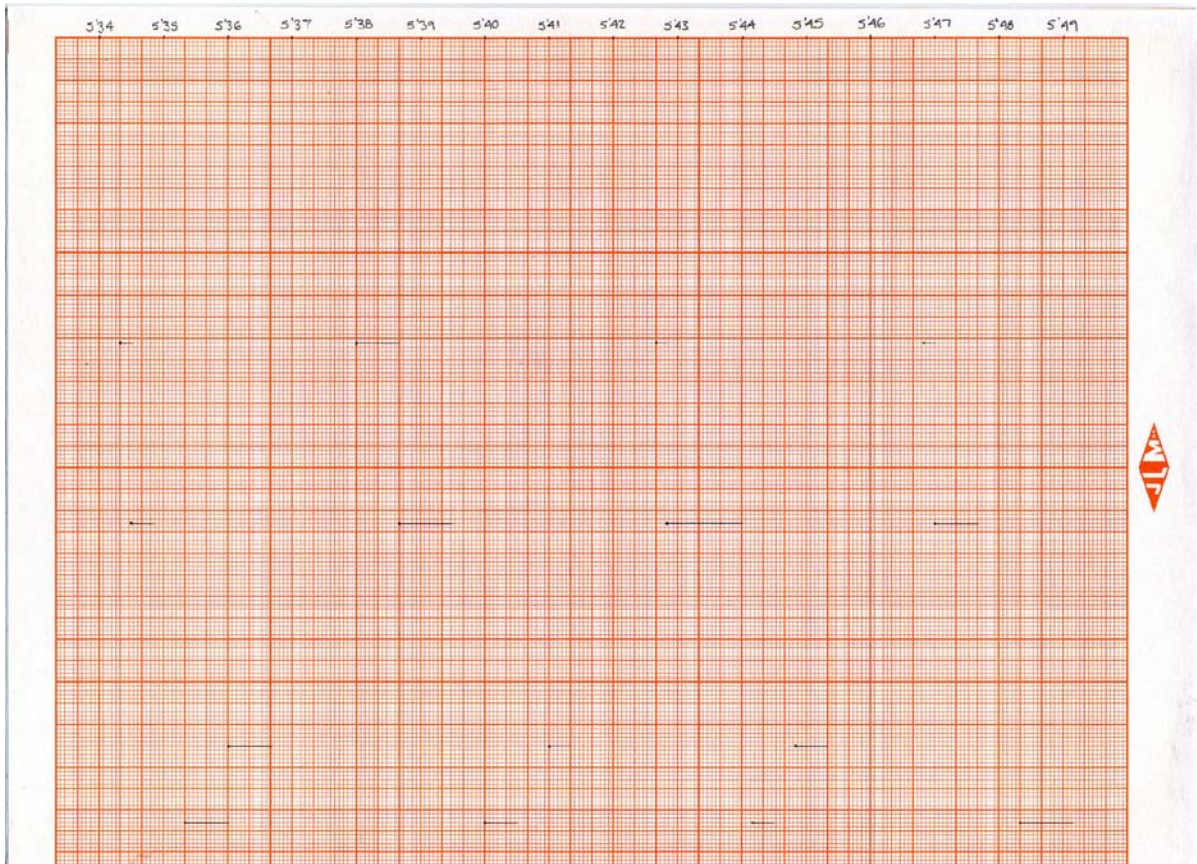


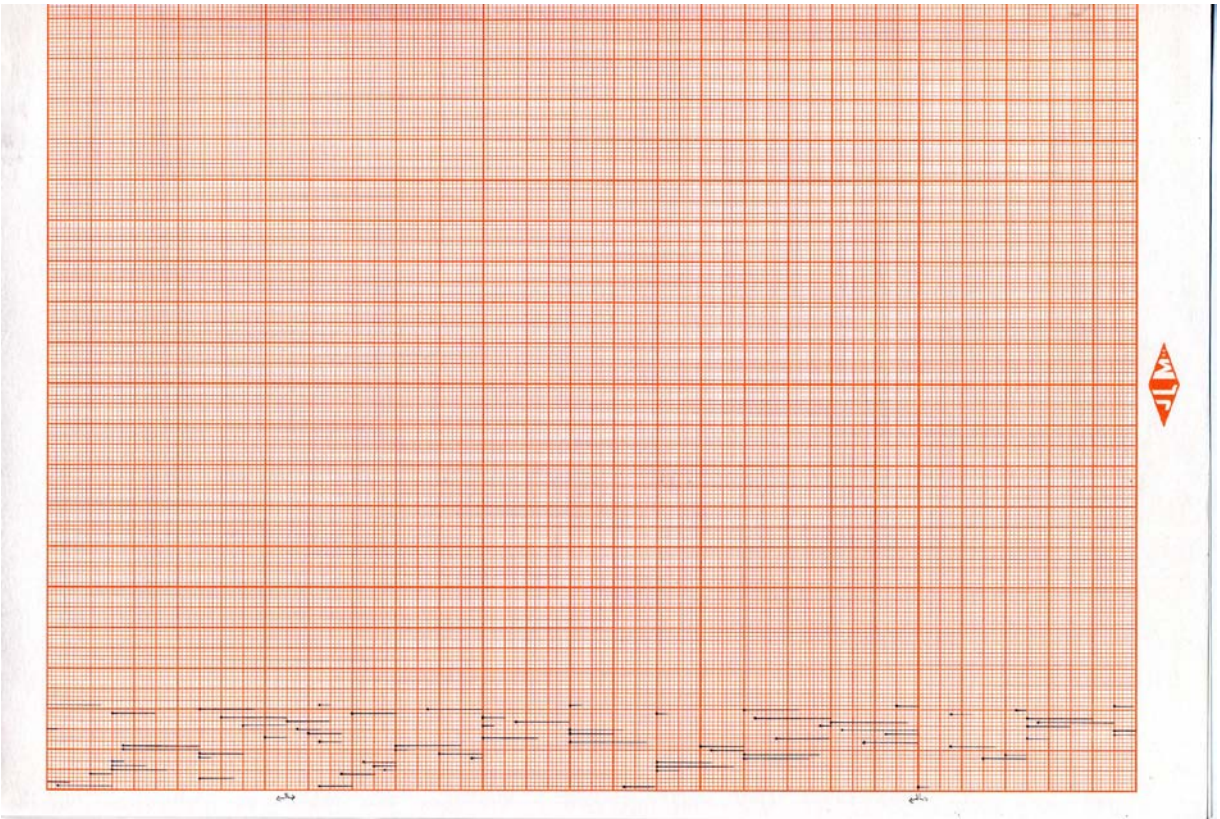
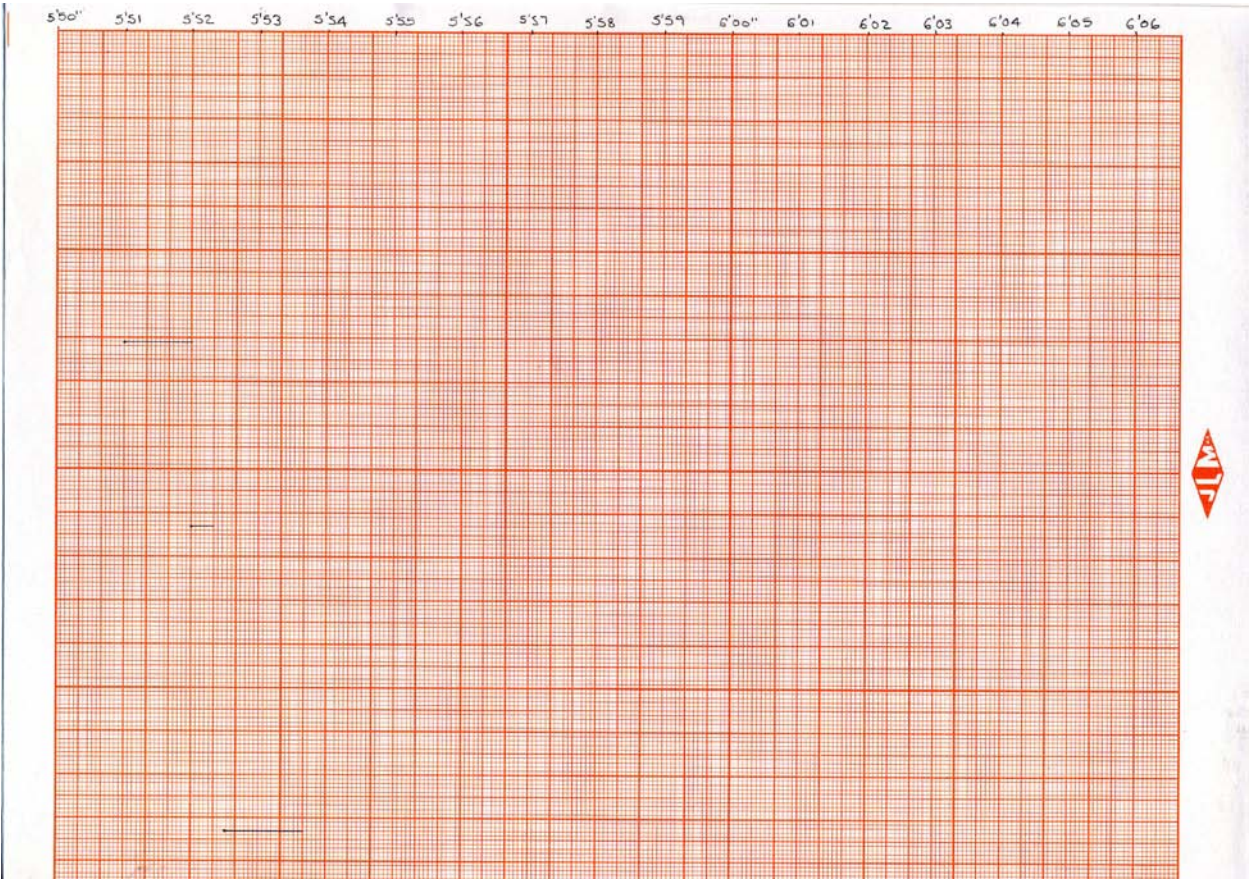


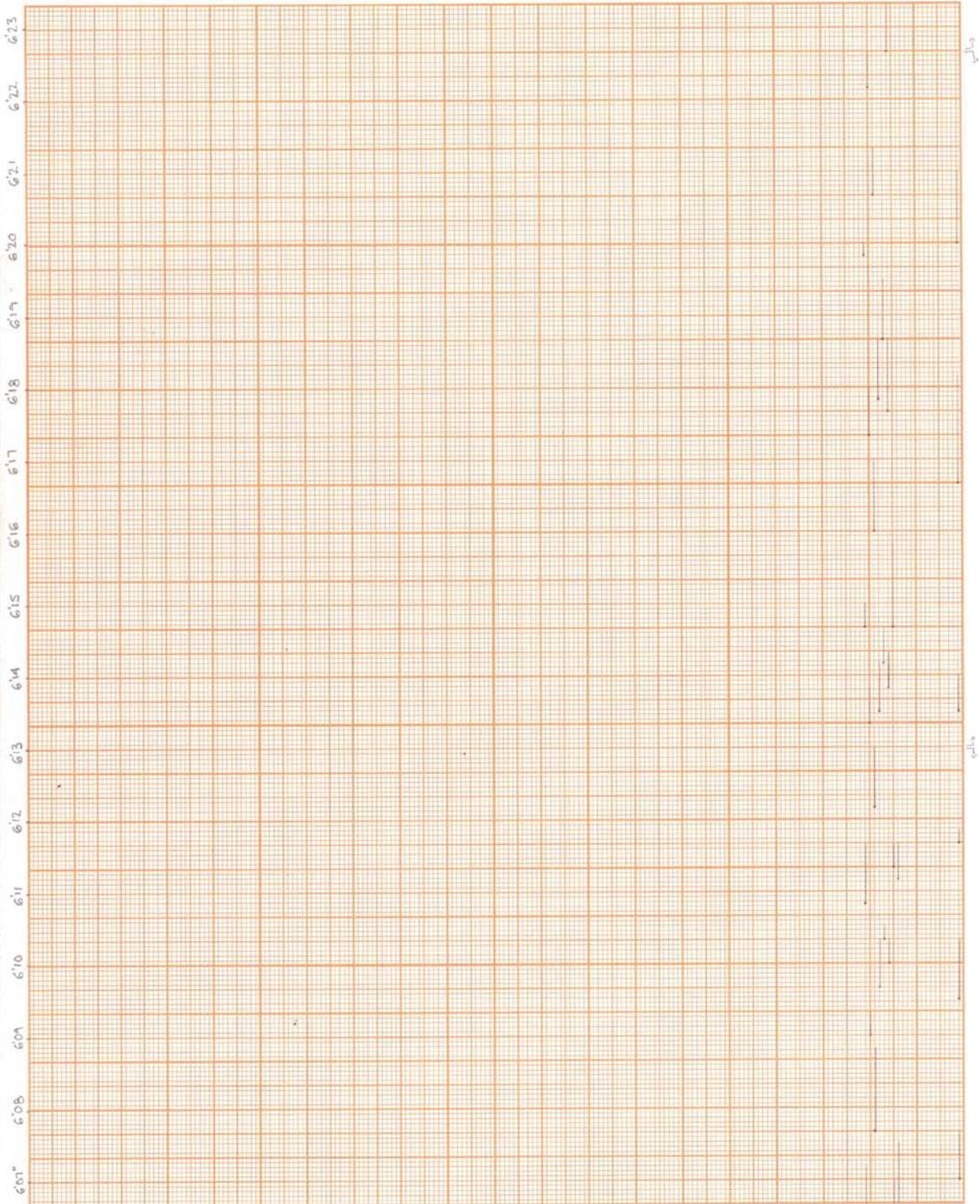


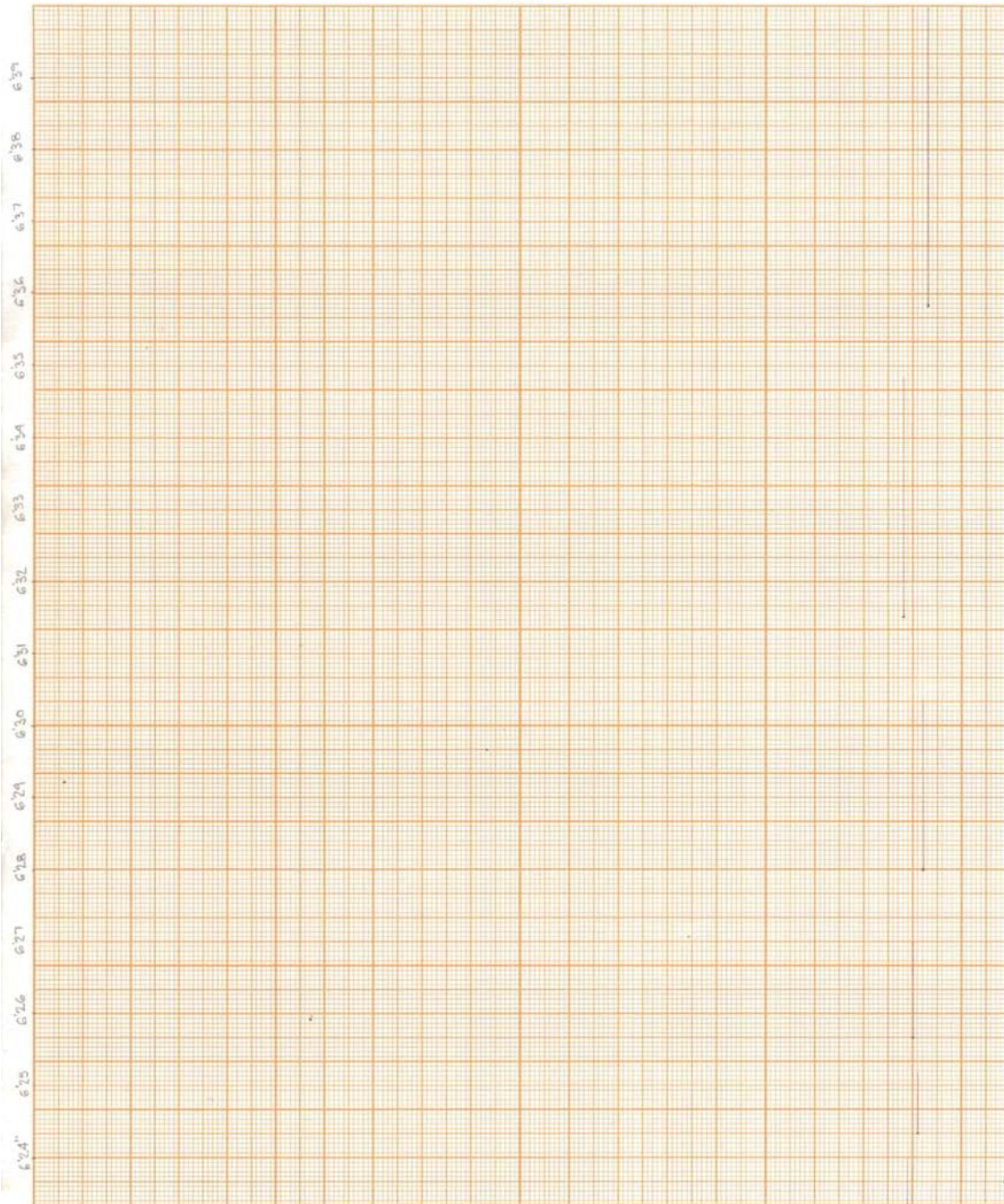


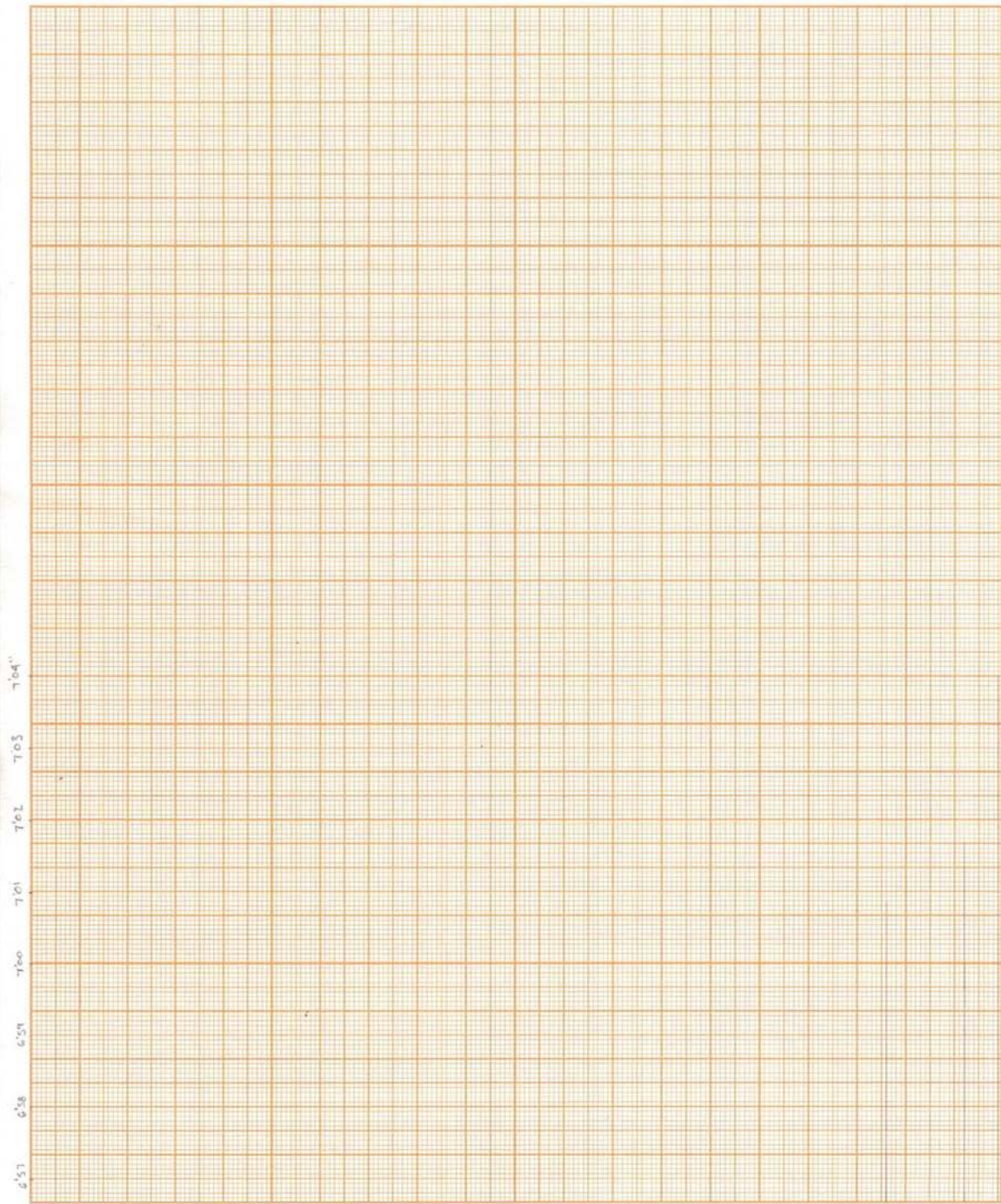












© 1998 - 2000 by W. P. Press, Inc. All rights reserved.