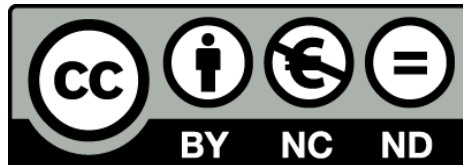


La Cimática como herramienta de expresión artística

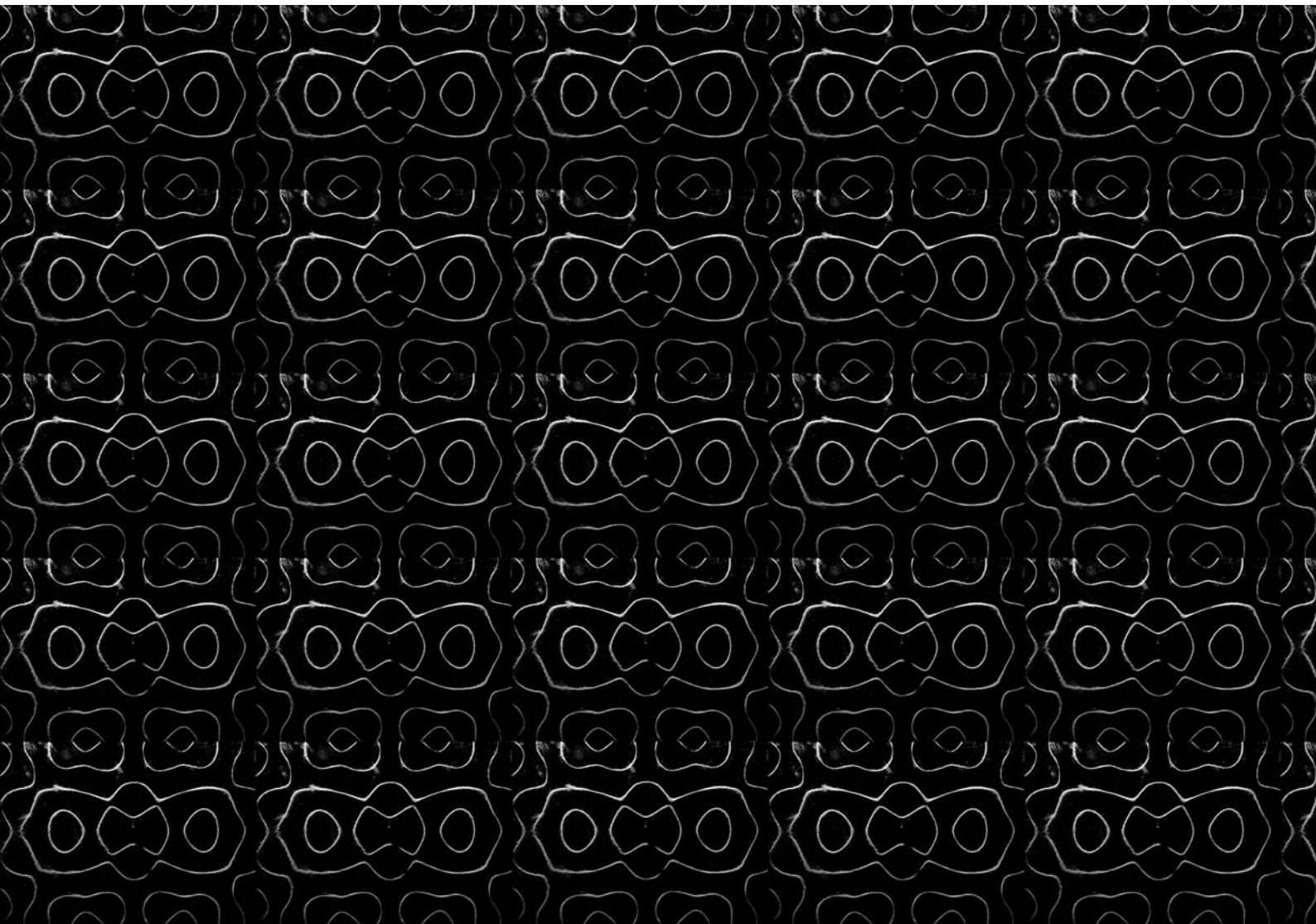
Ferran Lega Lladós



Aquesta tesi doctoral està subjecta a la llicència **Reconeixement- NoComercial – SenseObraDerivada 3.0. Espanya de Creative Commons.**

Esta tesis doctoral está sujeta a la licencia **Reconocimiento - NoComercial – SinObraDerivada 3.0. España de Creative Commons.**

This doctoral thesis is licensed under the **Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0. Spain License.**



La Cimática como herramienta de expresión artística

Ferran Lega Lladós

Director y tutor de la tesis: Dr. Josep Cerdà i Ferré
Programa de doctorado; La Realidad Asediada.

Facultad de Bellas Artes
Universidad de Barcelona

Diciembre 2013.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a mi director de tesis y tutor el Dr. Josep Cerdà i Ferré, toda la confianza que ha depositado en mí para desarrollar esta investigación. Gracias por tu paciencia, dedicación, consejos y ayuda, que han permitido que esta tesis doctoral haya alcanzado un grado tan elevado de excelencia.

A la Dra. Eva Figueres, por su paciencia y ayuda en el taller de grabado. Al profesor de la EHU y artista Mikel Arce, por su colaboración en distintos aspectos de esta tesis y por concederme una entrevista sobre su trabajo.

Gracias a los doctorandos Martí Ruiz y Vicent Matamoros, por la interconexión que ha surgido entre nuestros proyectos y las derivas artísticas resultantes. Gracias a José Antonio Ares, por su desinteresada ayuda y asistencia como maestro de taller de metales.

Quiero agradecer al grupo investigador, Barcelona Recerca Art i Creació (BR::AC), el apoyo brindado, durante el desarrollo de las investigaciones realizadas y la posibilidad de presentar los avances de la misma, en sus jornadas científicas.

Gracias a los responsables e integrantes del programa de doctorado, La Realidad Asediada Posicionamientos Creativos, por desempeñar una tarea de tan alta calidad tanto en el ámbito profesional como en el personal.

Muchas gracias a los distintos festivales de arte, la Galería ATM Contemporary de Gijón, Sala d'Art Jove, la Fundación Antoni Tàpies de Barcelona y las distintas becas recibidas en el ámbito de la creación contemporánea, por confiar en los trabajos artísticos resultantes del proceso de experimentación llevado a cabo durante el desarrollo de la presente tesis.

A Joan Antoni, David y Víctor, por soportar las ruidosas experiencias sonoras desarrolladas durante los años que hemos convivido juntos.

Gracias Carolina, por tu apoyo y compartir parte de este largo viaje conmigo.

A mis padres, Josep Manel y Victòria, mi tía Pepa y mi hermano Albert, por vuestra confianza sin límites y por estar siempre a mi lado.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	15
Objetivos.....	17
Metodología científica experimental.....	18
Contenido de la tesis. Estructura.....	20
Revisión de fuentes documentales.....	21
REFERENCIAS	22

PARTE I

ANÁLISIS Y ESTUDIO DE LOS PROCESOS CIMÁTICOS.

Presentación del trabajo.....	29
1.- El sonido como elemento creador en mitos y culturas de la antigüedad.....	30
1.1.- Origen sonoro en símbolos y obras de arte de la antigüedad.....	38
2.- Referentes Históricos de la cimática.....	51
3.- Descripción metodológica del trabajo.....	63
4.- Definición de Cimática.....	71
5.- Efectos cimáticos sobre cuerpos sólidos.....	72

5.1.- Efectos cismáticos con arena. Creación de las Figuras <i>Chladni</i>	72
5.2.- Efectos cismáticos sobre limaduras de hierro.....	93
6.- Efectos cismáticos sobre el polvo de licopodio.....	103
7.- Efectos cismáticos sobre fluidos.....	125
7.1.- Efectos cismáticos sobre una gota.....	128
7.1.1.- Formaciones poligonales regulares sobre una gota.....	132
7.1.2.- Formaciones irregulares sobre una gota.....	140
7.1.3.- Evolución de estructuras irregulares desde una gota.....	142
7.2.- Efectos cismáticos sobre fluidos newtonianos.....	145
7.3.- Ondas de propagación rítmica sobre fluidos newtonianos.....	159
7.3.1.- Organización de las líneas nodales.....	168
7.4.- Efectos cismáticos sobre fluidos no-newtonianos.....	179
7.4.1.- Formación de estructuras sobre membranas.....	180
7.4.2.- Formación de estructuras sobre placas.....	190
7.5.- Ondas de propagación rítmica sobre fluidos no-newtonianos.....	196

7.6.- Efectos cimáticos sobre un fluido en proyección.....	201
8.- Interacción de sólidos y fluidos bajo la influencia de procesos cimáticos.....	207
9.- Efectos cimáticos sobre ferro fluidos.....	211
10.- Interrelación entre voz, imagen, forma y sonido.....	217
10.1.- El <i>Eidophone</i> y el <i>Tonoscope</i>	218
10.2.- Visualización de la voz mediante métodos modernos.....	222
11.- Interacción de dos frecuencias diferenciadas en los procesos de oscilación. Creación de las figuras de <i>Lissajous</i>	227
12.- CONCLUSIONES, PARTE I	234
REFERENCIAS	237

PARTE II

LA CIMÁTICA COMO HERRAMIENTA DE EXPRESIÓN ARTÍSTICA. ANÁLISIS FUNCIONAL Y CAMPOS DE ACTUACIÓN, DENTRO DEL CONTEXTO ARTÍSTICO CONTEMPORÁNEO.

13.- OBJETO	243
14.- ALCANCE	244
15.- METODOLOGÍA	245
16.- TAREAS	246

17.- Experimentación artística.....	249
17.1.- Desarrollo de dibujos mediante procesos cimáticos.....	250
17.1.1.- Creación de dibujos sobre planchas, mediante la fijación de betún de Judea.....	251
17.1.2.- Creación de dibujos sobre papel, mediante la técnica del grabado.....	259
17.1.2.1.- Impresión de grabados cimáticos con tinta.....	260
17.1.2.2.- Impresión de gofrados cimáticos.....	260
17.1.3.- Creación de dibujos sobre planchas, mediante la técnica del contraste por extracción de material.....	261
17.1.4.- Creación de dibujos y pinturas, mediante la técnica del armonógrafo y el péndulo simple.....	263
17.1.4.1.- El Armonógrafo.....	263
17.1.4.2.- El Péndulo simple.....	264
17.2.- Escultura contemporánea mediante procesos cimáticos.....	266
17.2.1.- Escultura sonora y cimática.....	269
17.3.- La instalación, la fotografía y el vídeo, en los procesos cimáticos.....	274
17.3.1.- La cimática y la instalación.....	274
17.3.2.- La cimática en la fotografía y el vídeo.....	276
17.4.- La pintura y los procesos cimáticos.....	279
18.- La implantación de la cimática, en el contexto artístico contemporáneo.....	285

18.1.- Mikel Arce.....	285
18.1.1.- Entrevista concedida por Mikel Arce.....	287
18.2.- Nicolai Carsten.....	289
18.3.- Otros artistas destacados que trabajan con cimática.....	293
19.- Obras realizadas por el autor, presentadas en galerías y centros de arte contemporáneo.....	297
19.1.- Undermine, Iron filings.....	297
19.2.- Confronted Figures, Confronted Sounds.....	300
19.3.- Sputnik I. Sound and Plates.....	303
19.4.- Pulsar Project*.....	309
19.5.- #Pulsar 2.0#.....	309
19.6.- Campanas Cimáticas.....	316
20.- CONCLUSIONES FINALES DE LA TESIS.....	319
REFERENCIAS.....	323
CATÁLOGOS.....	326
ENTREVISTAS.....	327
ESQUEMAS.....	327
TABLAS.....	327
LISTADO DE FIGURAS.....	328
ANEXOS.....	Libro de Anexos

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

El sonido es un fenómeno físico con el que el ser humano lleva conviviendo desde su origen como homínido. El buen aprovechamiento de sus cualidades y su evolución en forma del lenguaje oral, han permitido al conjunto de la humanidad crecer rápidamente como especie. Con el paso del tiempo, el hombre ha otorgado al sonido un significado creador a través de mitos y leyendas, que podemos encontrar en culturas alrededor de todo el mundo.

En la actualidad, convivimos diariamente con innumerables procesos sonoros que se generan tanto de forma natural como artificial. Estos procesos, se han convertido en múltiples fuentes de aplicación en campos tan diferenciados como la música, el arte, la industria, la medicina, etc. En esta tesis en particular, el estudio se centrará en uno de los aspectos más desconocidos del sonido y la acústica en general: la cimática. Como expondremos más adelante, la ciencia de la cimática, es la encargada del estudio de las representaciones visuales de las ondas de sonido sobre la materia.

Una de las principales preocupaciones por parte de artistas e investigadores de acústica experimental durante el transcurso de la historia, ha sido el intento de plasmar de forma material y tangible, un concepto tan abstracto como es el sonido y las ondas que lo generan. Dentro del contexto de la creación contemporánea en la que se enmarca esta tesis, la relación que se genera mediante el estudio de un fenómeno ligado al conocimiento científico y sus aplicaciones artísticas, establecerá una relación directa entre arte y ciencia que está cada día más presente en la praxis artística contemporánea.

La creación de figuras que se generan mediante procesos cimáticos, ha sido ampliamente estudiada por físicos acústicos y musicólogos desde finales del siglo XVIII, hasta la actualidad. No obstante, los investigadores siempre han desarrollado el fenómeno desde un punto de vista científico, sin profundizar en las connotaciones artísticas que están implícitas en el estudio de un fenómeno, que nace del sonido y que tiene una clara vocación audiovisual. Por lo tanto, definir nuevas herramientas del ámbito científico para la creación contemporánea, debe realizarse bajo el máximo rigor posible, abordando el estudio siempre desde un punto de vista experimental de la creación y el arte.

Es lógico pensar que los estudios realizados sobre cimática, se han enmarcado siempre en un contexto científico hasta finales del siglo XX, debido a que su utilización estaba restringida exclusivamente al entorno de la física del sonido y al uso de laboratorios acústicos. El progreso científico acaecido en la segunda mitad del siglo XX, originará la aparición del ordenador personal e internet, desencadenando una revolución tecnológica de la información y los instrumentos tecnológicos, que permitirá la interconexión entre personas y el conocimiento. Por este motivo, tenemos que esperar hasta el final de la década de los 90, para encontrar a los primeros artistas que se interesan por este fenómeno y comienzan a desarrollar sus creaciones mediante procesos cimáticos.

La posibilidad de trabajar el sonido mediante sencillos equipos informáticos (sin la necesidad de acudir a laboratorios de acústica), ha desencadenado una revolución en la creación artística contemporánea y el arte sonoro en particular. Es por este motivo, que aparecen tanto en escuelas y universidades de arte, estudios reglados sobre diferentes técnicas o herramientas que ofrece el sonido, para generar un discurso plástico. Son muchas las cuestiones y experiencias relacionadas con las formas que originan los procesos sonoros, que son abordadas tanto por estudiantes como por artistas cuyo discurso plástico va ligado al sonido. Por este motivo el estudio y desarrollo de la cimática como herramienta de creación artística, se torna fundamental y uno de los objetivos principales de esta tesis doctoral, es su divulgación como fuente de aplicación en el trabajo artístico contemporáneo.

Para el desarrollo de esta tesis, se ha elegido el método científico experimental debido al riguroso trabajo de observación, análisis, recopilación de datos y experimentación, que se llevará a cabo, tanto en el desarrollo de la investigación de los procesos cimáticos, como en la experimentación y obtención de diferentes técnicas, para su implantación en el contexto artístico.

Hay que destacar que toda la fase de desarrollo del trabajo, se centrará únicamente en los fenómenos visuales producidos a través del sonido y las

vibraciones (fenómenos periódicos de vibración). De esta forma, el estudio queda acotado y no se abordarán los problemas matemáticos subyacentes en el fenómeno físico (de estas actuaciones, ya se encargan otros campos especializados como la física acústica).

Dentro de la filosofía de creación e innovación en la que se enmarca esta tesis, ha sido necesario generar un programa de trabajo específico que permitirá la obtención de técnicas y herramientas para la creación de obras de carácter artístico. La presentación de piezas desarrolladas mediante este fenómeno en galerías de arte y festivales de reconocido prestigio, así como su utilización como herramienta por parte de artistas de nivel nacional e internacional, reforzarán la hipótesis planteada y justificarán una profunda investigación de un fenómeno, que hasta la actualidad nunca ha sido estudiado con fines artísticos.

Objetivos

- Investigación y análisis de obras de arte creadas en la antigüedad, en busca de pruebas de la creación mediante procesos cimáticos.

Se realizará una investigación sobre algunas piezas creadas en la antigüedad, en busca de pruebas que demuestren como el sonido de forma directa o indirecta a través de sus representaciones visuales, ha servido como instrumento en el desarrollo de obras de arte. La aparición de trabajos basados en procedimientos cimáticos en la antigüedad, reforzará su valía como herramienta en el contexto contemporáneo.

- Definir el concepto de cimática y repasar los principales referentes históricos que han desarrollado esta ciencia hasta la actualidad.

Se abordará el concepto de cimática y se establecerán unas pautas que permitan definir los procesos que se engloban dentro de este campo de estudio. Repasar los antecedentes históricos, permitirá comprender como ha evolucionado el fenómeno con el paso del tiempo.

- Análisis y estudio del desarrollo de los diferentes procesos de creación cimática sobre la materia.

Este apartado de la tesis, analizará el comportamiento de los diferentes procesos cimáticos que se generan sobre la materia, bajo la filosofía de la creación artística contemporánea. La reproducción de estos procesos permitirá estudiar individualmente, los efectos que tienen las ondas de sonido y

los fenómenos periódicos de vibración sobre diferentes materiales. Una vez obtenidos los resultados de estos procesos de formación, se evaluarán los resultados y se delimitarán los casos a desarrollar con un fin artístico.

- Experimentación y desarrollo de técnicas, aplicables a distintas especialidades de la creación artística contemporánea y estudio de los artistas más importantes, tanto del panorama nacional como internacional, que han desarrollado sus obras mediante procesos cimáticos.

La experimentación tiene como objetivo desarrollar técnicas que se puedan introducir o aplicar a diferentes campos de la creación contemporánea. La aplicación de estos procesos en campos diferenciados como el dibujo, el grabado, la escultura e instalación contemporáneas, se justificará mediante la creación de obras que se presentarán en distintos festivales y galerías. El estudio de artistas que en la actualidad desarrollan trabajos utilizando la cimática como herramienta para vertebrar su obra, avalará la hipótesis planteada desde el principio, sobre la necesidad de un profundo estudio del fenómeno bajo la filosofía de la creación contemporánea.

- Presentación pública de obras desarrolladas utilizando la cimática como herramienta para la formalización de mi trabajo.

Finalmente se presentará conjuntamente con la investigación, una serie de obras expuestas en festivales de arte y galerías, que pretenden articular la viabilidad de su utilización como forma de expresión, en el panorama del arte contemporáneo actual.

Metodología Científica experimental

En este capítulo se presenta el método científico experimental, como un instrumento para la obtención y evaluación de los datos procedentes de los procesos de experimentación desarrollados mediante cimática. El estudio del comportamiento del sonido y los fenómenos periódicos de vibración sobre la materia, permitirán abordar el fenómeno desde un punto de vista audiovisual.

La finalidad principal del estudio, es obtener unos resultados concretos que permitan revelar las características fundamentales y las relaciones esenciales de estos procesos, a través de los siguientes puntos:

- Aislar los casos de estudio y sus propiedades de la influencia de otros factores.

Se seleccionarán los diferentes campos de actuación cimática y se aislarán en grupos bien diferenciados. De esta forma podremos analizar el estudio de los diferentes procesos de formación sobre sólidos, fluidos, esporas, ferro-fluidos, etc.

- Reproducción de los fenómenos cimáticos en condiciones controladas.

Controlar la reproductibilidad de los procesos de formación sobre diferentes campos de actuación es importantísimo ya que de ello dependen las posibles aplicaciones en los diferentes campos del arte contemporáneo.

- Modificación de las condiciones bajo las que tiene lugar la creación de estructuras cimáticas.

La modificación de las condiciones de trabajo tiene como objetivo garantizar la mayor rigurosidad durante la fase de experimentación y obtener nuevas pautas o estructuras de formación en ámbitos o condiciones de estudio, que no han sido elaboradas hasta la actualidad.

- Análisis de los datos.

El análisis de todos los datos obtenidos en el desarrollo del estudio de los fenómenos cimáticos, permitirá tener el control y el dominio de los procesos de creación, con la vista puesta en las aplicaciones de los diferentes campos del mundo del arte.

- Experimentación y Desarrollo de técnicas, para la implantación de los procesos cimáticos como herramientas para la creación artística.

Una vez estudiados los procesos de formación, se evaluarán los resultados y se abordarán los sistemas necesarios, para la obtención de una metodología de trabajo que permita aplicarlos en distintas disciplinas artísticas. El objetivo es que la cimática se reconozca e implemente como una herramienta más, en el desarrollo de los diferentes campos artísticos.

En el contexto de una tesis doctoral dentro del ámbito de la creación contemporánea, todos los procesos aparecidos en el interior de este trabajo, quedarán registrados detalladamente a través de fotografías y vídeos en alta definición. Para el desarrollo de estos procesos de experimentación, será necesario contar con el equipo científico adecuado. Estas herramientas, permitirán tener un control total sobre los procesos experimentales y adquirir

grandes niveles de precisión y rigor científico. El uso de un generador de funciones y un generador de ondas profesional, permitirán reproducir los experimentos llevados a cabo por anteriores investigadores, aplicando siempre las mismas condiciones de trabajo.

La utilización de los actuales generadores de funciones, permitirá trabajar con intervalos de frecuencias en un rango de $\pm 0.01\text{Hz}$, permitiendo desarrollar experimentos con el mayor nivel de precisión posible. La capacidad de controlar las frecuencias utilizadas mediante indicadores visuales y documentar todo el proceso, permitirá afinar los resultados con el máximo nivel de rigurosidad posible. La aplicación de estos estándares en la totalidad de los procesos de experimentación, garantizará la reproductibilidad de todas las investigaciones, bajo las mismas condiciones de trabajo.

Contenido de la tesis. Estructura

En la actualidad la interrelación entre el arte y la ciencia, da lugar a multitud de procesos creativos en los que la práctica artística no se nutre únicamente de las herramientas tradicionales de trabajo. La incorporación de recursos y nuevos instrumentos procedentes del desarrollo tecnológico, crean una fusión de procedimientos interdisciplinarios, que merecen una especial atención. En este ámbito interdisciplinar, la exhaustiva relación entre arte y ciencia, ha permitido desarrollar una gran cantidad de piezas en las que determinadas técnicas o procedimientos, de exclusiva aplicación en campos científicos, se han establecido como mecanismos para la creación artística contemporánea.

Esta tesis doctoral se divide en dos partes.

- La primera parte de esta tesis doctoral estará centrada en la investigación de los procesos visuales de formación que se generan cuando las ondas de sonido se transmiten sobre la materia. En el interior encontraremos varios capítulos en los que se desarrollará, tanto el concepto del sonido como elemento creador en mitos-culturas y formas de arte de la antigüedad, como el desarrollo de las estructuras de formación que se generan cuando el sonido actúa sobre diferentes medios. La separación en sub-capítulos de los diferentes procesos de creación sobre sólidos, fluidos, etc. Permitirá diferenciar los ámbitos de trabajo y contextualizarlos en un ámbito de la creación. El análisis de los datos y la creación de atlas visuales de los distintos procesos, permitirán comprender el fenómeno de la cimática, desde un punto de vista científico, realizado por la mano de un artista.

- En la segunda parte, se desarrollará el contenido experimental centrado en la creación de diferentes herramientas o técnicas para la contextualización de los procesos cimáticos dentro de las diferentes especialidades del arte contemporáneo. La exposición de las piezas que surgen en mi trabajo creativo, mediante el uso de la cimática y el estudio de artistas de carácter nacional e internacional, serán la antesala para la exposición de las conclusiones finales del trabajo.

Revisión de fuentes documentales

En este apartado, repasaremos las fuentes documentales más importantes que han aportado luz a la creación de los procesos cimáticos y han sido fuente de consulta para la investigación y desarrollo de esta tesis doctoral.

Una obra importante por su contenido experimental en el ámbito acústico, ha sido el *manual de Ingeniería del sonido* (Feo, 2009). Este volumen, me ha permitido comprender las características físicas del sonido y su propagación en forma de ondas, desde un punto de vista teórico/práctico.

Una vez adentrados en el mundo de las ondas de sonido, su estudio desde el punto de vista de los procesos de creación, me ha permitido descubrir trabajos en los que el concepto de “sonido”, es estudiado como un elemento creador (tanto en la antigüedad en forma de mitos y culturas), como en la actualidad. Hay que destacar la aparición de varios autores y sus trabajos, en los que se desarrolla este concepto del sonido como elemento primordial en la creación.

Durante la inmersión en el estudio de los fenómenos sonoros en mitos y leyendas de la antigüedad, encontramos el trabajo *El origen musical de los animales-símbolos en la mitología y la escultura antiguas* (Schneider, 1998). Este libro, destaca como herramienta de información acerca de los procesos de creación sonoros en obras de la antigüedad. En este mismo sentido, no debemos eludir las imprescindibles obras *The Mystic Spiral* (Purce, 1974), *The Sacred Geometry* (Lawlor, 1982), *Mitos y Simbología de la India* (Zimmer, 19985) y *The World is Sound, Nada Brhama* (Berendt, 1991). Todos estos trabajos están repletos de textos, escritos, citas e investigaciones, acerca del fenómeno del sonido como elemento generador de la creación en antiguas culturas. Esta documentación, permitirá comprender el concepto del sonido, como un fenómeno creador desde el punto de vista de la no musicalidad, al que estamos acostumbrados.

Para revisar las fuentes documentales referentes al propio fenómeno de la cimática, debemos realizar un repaso previo a los principales investigadores de la ciencia de la acústica experimental, desde el origen de su estudio.

Los primeros libros en desarrollar dicho fenómeno (aunque sin otorgarle dicha nomenclatura), son *Entdeckungen Uber Die Theorie Des Klanges* y *Traité d'Acoustique* (Chladni, 1787, 1809). Ambas, son obras de investigación acústica de gran relevancia para el contenido de esta tesis doctoral, debido a su riguroso carácter científico a la hora de explorar el desarrollo de figuras o patrones geométricos mediante el sonido. A su autor, se le otorga el mérito de descubrir el fenómeno de formación nodal que se genera sobre la superficie de planchas mediante procesos sonoros. Estas figuras recibirán desde ese instante el nombre de su descubridor, figuras *Chladni*.

Inspirada por el trabajo de Faraday, nació *The Eidophone, The voice figures* (Watts-Hughes, 1904). Esta obra, es la primera compilación que crea vínculos de creación artística con el fenómeno de las vibraciones y el sonido. Margaret Watts, inventó un dispositivo en 1885 llamado Eidophone, con el fin de generar formaciones a través del sonido de su voz. Después de desarrollar una gran cantidad de experimentos y advertir las posibles aplicaciones artísticas de los fenómenos de vibración, publicó su trabajo. El volumen adquiere gran relevancia, debido al contenido experimental de su trabajo y a la capacidad de desarrollar creaciones plásticas mediante procesos cimáticos a través su voz.

A mediados del siglo XX, María Desiree Waller, profesora de Física en Londres, se sintió atraída por el trabajo de Chladni e investigó y recreó este tipo de estructuras. Todos esos experimentos dieron lugar a un libro llamado *Chladni Figures, a study in simetry* (Waller, 1961) que fue publicado póstumamente y en el que desarrolló un trabajo de gran rigor científico sobre la simetría.

La obra *El caos sensible* (Schwenk, 1962), es un trabajo que relaciona los procesos de creación de formas, a través del agua y el aire. Las aportaciones del autor son de gran interés para el desarrollo de esta tesis doctoral, en los capítulos donde los procesos cimáticos son aplicados sobre fluidos.

Más recientemente, el médico y Científico Suizo Hans Jenny, estudió intensamente la cimática desde una perspectiva audio-visual. Es él propio Dr. Jenny, quien acuña el término *Cymatics* para definir los procesos de formación visual mediante las vibraciones del sonido. Sus trabajos, *Cymatics I* y *Cimatics II* (Jenny, 1967, 1974), son el más completo estudio realizado sobre

los procesos de creación sobre cimática hasta la actualidad, conteniendo imágenes de gran belleza documentadas con precisión.

El último gran trabajo que podemos encontrar sobre procesos de creación cimática, es la obra del fotógrafo e investigador alemán *Watter Sound Images* (Lauterwasser, 2002). Interesado en la fenomenología y tipografía de las figuras generadas por los efectos del sonido en el agua, desarrolla una amplia investigación centrada en la creación de los procesos nodales sobre dicho elemento.

Abordando el trabajo artístico, podemos encontrar publicaciones como *Soundings a contemporary Score* (London, 2013), en forma de catálogos editados por importantes instituciones (MoMA), que recogen algunas obras de arte generadas mediante procesos cimáticos (no obstante, no se definen ni engloban bajo esta nomenclatura). La articulación de los procesos cimáticos como herramientas de expresión artística, no está bien documentada y existe una carencia de estudios o publicaciones que relacionen directamente el fenómeno, con una praxis artística (se engloba la creación cimática como procesos de creación sonoros, en general).

En la actualidad, se desarrollan diversos estudios en los que la cimática es utilizada como herramienta en campos tan diversos como la física experimental, el autismo, la medicina, la biología, etc. Estos estudios, tienen objetivos claramente diferenciados a los aquí expuestos y no se contemplarán las publicaciones existentes referentes a ellos, en el desarrollo de esta tesis doctoral.

REFERENCIAS

Berendt, J. (1991). *The world is sound, Nada Brahma*. Rochester, Vermont. Destiny Books.

Chladni, E. (1809). *Traité d'acoustique*. París. Chez Coucier.

Chladni, E. (1787). *Entdeckungen Uber Die Theorie Des Klanges*. Leipzig.

Faraday, M. (2008). *Faraday's Diary*. Riverton, Utah. HR Direct.

Feo, D. (2009). *Ingeniería del sonido, sistemas de sonido en directo*. Madrid. Starbook editorial.

Jenny, H. (2001) *Cymatics*. Newmarket, USA. Macromedia Publishing.

Lauterwasser, A. (2001). *Water Sound Images*. Newmarket, USA. Macromedia Publishing.

Lawlor, R. (1982). *Sacred Geometry*. London. Thames and Hudson.

Purce, J. (1974). *The Mystic Spiral*. New York. Thames and Hudson.

Schenider, M. (1998). *El origen musical de los animales-símbolos en la mitología y la escultura antiguas*. Madrid. Ediciones Siruela.

Schwenck, T. (1988). *El caos Sensible*. Madrid. Editorial Rudolf Steiner.

Watts M. (1904). *The Eidophone voice figures*. London. Christian Herald Company.

Weller, M. (1961). *Chladni figures, A study in simetry*. London. London&Bell.

Zimmer, H. (1995). *Mitos y símbolos de la India*. Madrid. Ediciones Siruela.

PARTE I

ANÁLISIS Y ESTUDIO DE LOS PROCESOS CIMÁTICOS.

PRESENTACIÓN DEL TRABAJO.

La primera parte de este capítulo centrará su estudio en el concepto del sonido¹ como un elemento vertebrador en mitos y textos de diferentes culturas de la antigüedad, en los que adopta el papel del elemento primordial en la creación. La capacidad del sonido y sus ondas para generar estructuras y formaciones en el pasado, mostrará el fenómeno de la cimática como una herramienta que ya ha sido utilizada de forma directa o indirecta para generar obras de arte y facilitará su contextualización como una herramienta para la creación contemporánea.

Una vez mostradas las pruebas de formaciones artísticas relacionadas con el sonido, realizaremos una revisión histórica del fenómeno de la cimática, que permitirá identificar a los principales investigadores que han desarrollado el concepto. Se expondrán los casos de estudio más relevantes para el desarrollo y evolución de esta ciencia y se aportarán pruebas de su trabajo.

La segunda parte de este capítulo, abordará el concepto moderno de cimática y su estudio desde el punto de vista experimental. La exposición de la metodología de trabajo necesaria para desarrollar estructuras de formación nodal y su análisis, permitirán recabar la información necesaria para explorar el fenómeno desde un punto de vista artístico.

Finalmente encontraremos las conclusiones de este capítulo, en las que se expondrán los resultados obtenidos durante esta primera parte de la investigación.

1 Entendemos el sonido en este caso como un elemento creador desde el punto de vista de la no musicalidad. Aquí adopta forma del sonido primordial, del elemento generador del "todo", por lo tanto se le aplica al concepto un carácter, constructor. Posteriormente derivará en la formación, de forma directa o indirecta, de estructuras y obras de arte, que serán presentadas como prueba del conocimiento del fenómeno desde tiempos inmemoriales.

1.- El Sonido como elemento creador en mitos y culturas de la antigüedad.

El sonido como fuente y origen creador, nace en representaciones de las más antiguas culturas alrededor del mundo en forma de mitos y leyendas. Se convierte en el significado central del génesis en muchas culturas y se le otorga la cualidad de líquido primordial. El sonido es concebido como ondas, oscilaciones fluyendo y vibraciones abundantes. Este apartado permitirá presentar las ondas sonoras (base de los procesos cimáticos), como una fuente de creación en diversos ámbitos culturales desde el inicio de los tiempos hasta nuestros días. La evolución temporal de estos mitos, ha permitido a diferentes culturas, desarrollar el concepto del sonido desde una perspectiva artística (otorgándole cualidades de símbolo creador). Finalmente la narración oral de este fenómeno evolucionará en forma de objetos y representaciones artísticas que adoptarán la apariencia de esculturas, símbolos e imágenes.

“...con esta forma de entender el sonido en la historia de la creación, es crucial que las llamadas aguas primigenias no se observen como aguas verdaderas. Más bien hay que explicarlas como un ritmo de olas/ondas en el mundo. El sonido del agua corriendo es mas viejo que la propia agua, así como la actividad volcánica es mas vieja que el fuego”.

(Nicklaus, 1994, 64)

“Nada Brahma es la palabra primordial en la espiritualidad Hindú. La palabra Nada, significa Sonido...La palabra nadi, es utilizada para describir el significado del “fluir de la consciencia”, un significado que encontramos en las milenarias escrituras Hindús del Rig-Veda. Esta relación entre sonido y consciencia, ha sido documentada por el lenguaje como el fluir del sonido. La palabra Brahma, se entiende como la primera palabra creadora. De esta forma se convierte en la idea central de la interpretación Hindú de la palabra. Cuando las dos palabras Nada Brahma están juntas se interpretan como; El sonido es Dios o viceversa, Dios es el Sonido”.

(Berendet, 1987, 15)

2 Según releva Nicklaus, hay que observar la esencia de la formación del universo como un movimiento dinámico de flujos, otorgándole a las <<olas/ondas>> el significado de un ritmo con capacidad para crear, para generar la materia desde la nada.

3 Berendt, expone el significado y el origen creador que se le otorga al sonido en la cultura Hindú. Veremos más adelante (pág. 41), como aparece nuevamente la palabra Brahma o alguna de sus variantes en representaciones pictóricas de forma mándalica.

“Aksara-Brahman, Brahma en el reino sin forma del pensamiento puro, se muestra así mismo por primera vez como un embrión dorado del Sonido. Él, era un tono oscilando dentro y fuera en el vacío, repitiendo el proceso una y otra vez. Cuando las ondas de sonido se cruzaron, emergió el agua y el viento. Mientras jugaban entre sí, comenzó a tejerse una niebla como cuerpo del mundo⁴”.

(Nicklaus, 1994, 22)

“La idea central de un periodo acústico puro aparece en ocasiones bajo la imagen de un huevo, una cueva, una cabeza o una boca abierta, en la que todos los puntos del ilimitado sonido, se embarcan en un inespecífico deseo de vida fuera del cual evoluciona el mundo en creación”.

(Schneider, 1951, 116)

La percepción que tenían los pueblos antiguos sobre el origen del todo y su procedencia de un medio líquido (agua como elemento creador y mantenedor de la vida), propició que le otorgaran al agua un significado cósmico. La relación entre agua, ondas y sonido, se hace evidente en multitud de textos antiguos.

“El ser supremo, en forma de agua, fue reuniendo y almacenando dentro de sí una energía incandescente. Su fuerza sin límites dio a luz una vez más al universo. Él, que es lo universal, hizo visible la forma del universo en sus cinco elementos, Éter, Aire, Fuego, Agua y Tierra. La calma reinó sobre el océano insondable y sutil. Vishnu tras adentrarse en el agua, la agitó de forma cautelosa. Se propagaron las ondas. Al sucederse unas con otras, se formó entre ellas una minúscula depresión. Este vacío es el Éter, invisible e intangible, el más sutil de los cinco elementos y portador de la cualidad sensorial invisible e intangible del sonido. Resonó el espacio y del sonido surgió el segundo elemento, el Aire en forma de viento⁵”.

(Zimmer, 1995, 58)

4 Nicklaus una vez más relaciona la fuerza y el ritmo de las ondas con la capacidad de crear. Podemos observar como el autor mantiene la idea de que mediante el flujo de las ondas de sonido, se generan los demás elementos que conforman el mundo.

5 Autores como Zimmer, Berendt, Nicklaus o Schneider, muestran el mismo patrón (revisado en múltiples culturas), en las que el sonido se torna el eje central como forma creadora para el resto de los elementos del universo. El sonido, se entiende como una vibración, una resonancia cósmica que a través de las ondas, origina estructuras.



Figura 1. El huevo dorado de Brahma aparece de nuevo al comienzo de un nuevo ciclo sonoro. Hay que entender a los ciclos sonoros como las creaciones del universo. Imagen extraída del libro The Mystic Spiral.

(Purce, 1988:96)

Este tipo de pensamiento de carácter oriental, también se repite en otras culturas ancestrales como la del antiguo Egipto. El sonido aparece en sus mitos como el elemento vertebrador de la creación. Observaremos más adelante (pág. 45), como desde este tipo de relatos evolucionan los procesos sonoros hacia la creación de estructuras visuales.

“Al comienzo solo había el vacío y la calma, el infinito, un Océano mundial. Era muy silencioso y sin vida. Todavía no existía arriba y abajo, delante y detrás. No había Este y Oeste, ni Norte ni Sur. Brillo y Oscuridad, no estaban todavía divididas. No había emergido aun la luz y la oscuridad.

Ptah dio un paso hacia el vacío. El adquirió la forma de Un y Naunet, las aguas primigenias. También de Huh y Hauet, la gran infinidad, en ese momento Ptah apareció como si, apareciera en la forma de Kuk y Kauet las oscuridades eternas, y tomó la forma de Niau y Nisut la gran Nación. Ptah entonces apareció como Atum.

Estos Dióses, en sus nueve formas o manifestaciones, tenían labios y boca en su cara, de los que emergió Schu y Tefnut. Tus tuvo a Ptha ideado por él. Los ojos mirando, las orejas escuchando, llevándolo todo al corazón.

Ptha había ideado antes de todo un agujero en el mundo de su corazón. Él creó a los dioses y así consumó los nueve-ness. Todo lo que ideaba, su lengua lo recito como un sonido. Y así fue”.

(Hansen, 1991, 23)

En la zona de Mesopotamia (cuna de la civilización Persa), Hazif el gran poeta Sufí del siglo XIV, explica de esta forma la leyenda de la creación, en la que Dios mediante el sonido (bajo la apariencia de la música), aprisiona al alma humana;

“Dios hizo una estatua de arcilla a su imagen y semejanza y le habló al alma, para que entrara en ella. Pero el alma rehusó ser aprisionada. Por su naturaleza, tiene que volar libremente y no quedar limitada o ligada a ningún tipo de capacidad. El alma no deseaba entrar en esa prisión. Más tarde, Dios habló con los ángeles para que tocaran música. El alma danzó hasta el éxtasi a medida que la música se hacía más clara. Finalmente, el alma extasiada, entró en el cuerpo”.

(Berendt, 1987, 173)

Otro importante texto que muestra la trascendencia del sonido como elemento creador, podemos encontrarlo en los textos de Hazrat Inayat Khan, sobre la vida del emperador mongol Akbar y Tansen, un famoso músico de su corte.

El emperador preguntó “¿dime, Oh gran músico, quien es tu maestro?”

Replicó; “majestad, mi maestro es un gran músico, más yo no puedo llamarlo músico, debo llamarle Música.”

El emperador le preguntó. “¿Puedo oírle yo tocar?”

Tansen respondió; “Quizás es posible que yo pueda, pero tú no puedes pensar en llamarle aquí a la corte.”

El emperador dijo; “¿Puedo ir donde está él?”

Y el músico contestó; “Su orgullo puede revelarse, pensando que está cantando para un rey.”

Akbar dijo; “¿Podría ir como tu siervo?”

Tansen replicó; “Si, él nos espera.”

Ambos regresaron al Himalaya. El músico iba a caballo y Akbar andando. El sabio, vio que el emperador tenía una apariencia humilde y se dispuso a cantar. Cuando cantó fue increíble. El emperador vio que los árboles y plantas del bosque estaban vibrando, era la canción del universo. La profunda impresión hizo que Akbar y Tansen entrasen en un estado de trance, de descanso, de paz. Durante el tiempo que estuvieron en ese estado, el maestro dejó la cueva. Cuando abrieron los ojos, no había nadie allí.

El emperador dijo; “¡Oh, que extraño fenómeno! ¿Pero donde ha ido el maestro?”

Tansen respondió; “Tú, no le volverás a ver nunca más en esta cueva, porque cuando un hombre escucha esto, quiere repetir aunque le cueste la vida.”

Ya en casa, el emperador le preguntó al músico un día; “¿Dime, que raga nos cantó tu maestro?”

Tansen contestó con el nombre del raga y lo cantó para él.

Akbar le dijo; “Si, es la misma música, pero no es el mismo espíritu. ¿Por qué es así?”

El músico sentenció; “La razón es que mientras yo canto ante usted el emperador de este país, mi maestro canta ante Dios, esa es la diferencia”.

(Berendt, 1987, 177)

Observando textos procedentes de diferentes civilizaciones orientales y occidentales que han poblado amplias extensiones de la tierra, podemos visualizar como cada cultura adopta mitos bien diferenciados. No obstante existe un nexo común entre todas estas culturas, que reside en el concepto creador que le otorgan al sonido. En el mito de la creación japonés, (una cultura históricamente aislacionista), sigue apareciendo este patrón.

“Amaterasu el Dios del sol, buscó recluirse en una caverna. No había luz solar, todo estaba oscuro y desolado. Izanagi, el Dios creador cogió seis arcos gigantes y los unió para crear el primer arpa, con la que tocó maravillosos sonidos. Seducida por ellos, la cautivadora ninfa Ame no Uzune apareció. Embelesada por la música del arpa, empezó a bailar y finalmente a cantar. Amaterasu el dios del sol, quería escuchar mejor la melodía. Por esta razón, echó un vistazo fuera de la cueva. En ese mismo instante, el mundo se bañó con su luz. El sol salió para ser visto otra vez. Las flores, las plantas y los arboles brotaron de nuevo. Peces, aves, animales y el ser humano regresaron. Los dioses decidieron cultivar la música para que nunca regresara a la cueva, ya que sabían que era el Sol el que proporcionaba la vida y que sin las arpas que hacían música y los cantos de las ninfas, Amaterasu nunca volvería a ocupar su lugar en el trono del cielo”.

(Berendt, 1987, 176)

En la Antigua Grecia, cuna de nuestra civilización occidental, (Platón, 360a.c.) también habló del sonido y su relación con el universo en uno de sus más famosos diálogos; *el Timeo*⁶. En su interior, narra como el creador construyó el *mundo-alma* acorde con los intervalos musicales y las proporciones. El sonido (en forma de música), aparece en la cultura Griega bajo la batuta del divino cantante Orfeo⁷ y mediante ella, genera la posibilidad de moldear la materia amorfa (no obstante, el dios de la música es Apolo al que suele representarse con una cítara entre sus manos).

6 El Timeo es un dialogo escrito por Platón alrededor del año 360 A.C. Las cuestiones fundamentales a las que hace referencia en su interior, son los problemas cosmológicos y la creación del concepto *Alma-mundo*.

7 El más famoso mito de Orfeo, narra su descenso al inframundo para rescatar a Eurídice, su esposa fallecida. Mediante el uso de su lira de nueve cuerdas, conmueve a dioses y ninfas que le ayudan en su plan de rescate. No obstante, le advierten que en todo el camino de regreso, siempre caminará delante de su esposa y nunca mirará atrás, hasta que los rayos de sol les bañen. Durante todo el trayecto, Orfeo cumple su cometido pero cuando salen del inframundo se vuelve para mirar a su esposa cuando todavía tiene parte del cuerpo dentro. En ese momento Eurídice se desvanece. En el mito Platónico, los dioses solamente entregaron una aparición a Orfeo, como castigo por su cobardía, por no tener el valor de morir por amor y buscar el camino de penetrar en el Hades con su música.

Si nos centramos en los mitos modernos de la creación pertenecientes a religiones como el cristianismo, apreciamos como el sonido aparece en forma de la palabra de Dios (el uso del sonido en forma de la palabra, adquiere gran relevancia. Debemos entender a partir del libro del Génesis, que Dios precisa del sonido para la creación. Racionalmente, si la palabra o el sonido no median en la creación, no tienen ningún otro sentido que las utilice siendo Dios el único ente).

“En el principio creó Dios los cielos y la tierra.

Y la tierra estaba desordenada y vacía, y las tinieblas estaban sobre la faz del abismo, y el Espíritu de Dios se movía sobre la faz de las aguas.

Y dijo Dios: Sea la luz; y fue la luz.

Y vio Dios que la luz era buena; y separó Dios la luz de las tinieblas.

Y llamó Dios a la luz Día, y a las tinieblas llamó Noche. Y fue la tarde y la mañana un día.

Luego dijo Dios: Haya expansión en medio de las aguas, y separe las aguas de las aguas.

E hizo Dios la expansión, y separó las aguas que estaban debajo de la expansión, de las aguas que estaban sobre la expansión. Y fue así.

Y llamó Dios a la expansión. Y fue la tarde y la mañana el día segundo.

Dijo también Dios: Júntense las aguas que están debajo de los cielos en un lugar, y descúbrase lo seco. Y fue así.

Y llamó Dios a lo seco Tierra, y a la reunión de las aguas llamó Mares. Y vio Dios que era bueno.

Libro del Génesis

Los textos y citas expuestos en este capítulo, son una introducción al fabuloso mundo de las ondas sonoras (desde un punto de vista de la capacidad para la creación de estructuras sobre la materia), que pretende mostrar y hacer visible, el concepto que le otorga el ser humano al sonido como un fenómeno ondulante, asociado con los flujos y los periodos. Un conocimiento ancestral, que la humanidad ha ido transmitiendo a través del paso del tiempo y del que no hemos vuelto a tener constancia, hasta la aparición de la ciencia moderna y la acústica en particular. Estas culturas (en las que existe una relación directa entre sonido y creación), con el paso del tiempo han sido capaces de generar procedimientos, en los que el sonido (de forma directa o indirecta), interviene en la creación de estructuras de carácter escultórico, en forma de gravados, relieves, dibujos y pinturas.

1.1.- Origen sonoro en símbolos y obras de arte de la antigüedad.

En este capítulo se presentarán algunas pruebas en forma de obras de arte de la antigüedad (pertenecientes a antiguas culturas de alrededor de todo el mundo), en las que el sonido a través de las vibraciones, se convierte en la fuente de inspiración o el medio directo creador. La revisión de estos trabajos, tiene como fin contextualizar unas piezas en el ámbito de la creación artística y dar comienzo a la justificación⁸ de esta tesis doctoral, aportando pruebas tangibles del uso de procesos cimáticos, que han evolucionado y contribuido en la materialización de obras de arte.

Una de las piezas más antiguas existentes en la que podemos encontrar pruebas de una inspiración sonora, son los grabados con forma de espiral del conjunto megalítico del templo *Hal Tarxien*⁹ en Malta. Estas ruinas que datan aproximadamente del año 3000 antes de cristo, muestran gravados en la piedra en forma de remolinos en espiral que los arqueólogos creen que representan flujos y la energía del universo, en los que se alcanzan estados de oscuridad y de luminosidad. Estos grabados están relacionados con el descubrimiento de construcciones subterráneas realizadas directamente sobre la piedra. Las propiedades acústicas de la sala del oráculo en el interior del *Hipogeo*¹⁰ de *Saflieni*, están revelando datos sobre la importancia de ritos mediante el sonido, en los que se alcanzaban estados de trance para conectar con estados más elevados de la consciencia y la creación.

8 Aportar pruebas del uso de la cimática para generar obras de arte en la antigüedad, ayudará en la justificación de la hipótesis planteada y mostrará la viabilidad del estudio de la cimática como una herramienta de expresión artística en el contexto del arte contemporáneo.

9 Los templos del Tarxien datan del periodo comprendido entre los años 3600 y 2500 a.C. Situados en la isla de Malta están consideradas unas de las estructuras megalíticas más antiguas del mundo. Uno de los aspectos más importantes del complejo es la gran cantidad de grabados y tallas en forma de espiral. La conexión entre la forma espiral y el sonido (que observaremos en diferentes culturas), se muestra aquí tanto en bajos-relieves, como en las pinturas del interior del Hipogeo de Saflieni.

10 El Hipogeo de Saflieni es un conjunto de templos excavados directamente sobre la roca bajo tierra. Una de las Salas principales del Hipogeo (la sala del oráculo), tiene unas propiedades acústicas únicas, que han sido relacionadas con la oración, los estados de meditación y el trance. Esta sala, está decorada con pinturas de carácter espiral que simbolizan los flujos del sonido. La relación entre las espirales del complejo del Hipogeo y Tarxien, muestran la voluntariedad de representar un concepto tan abstracto como los flujos del sonido de una forma relacionada con la geometría.

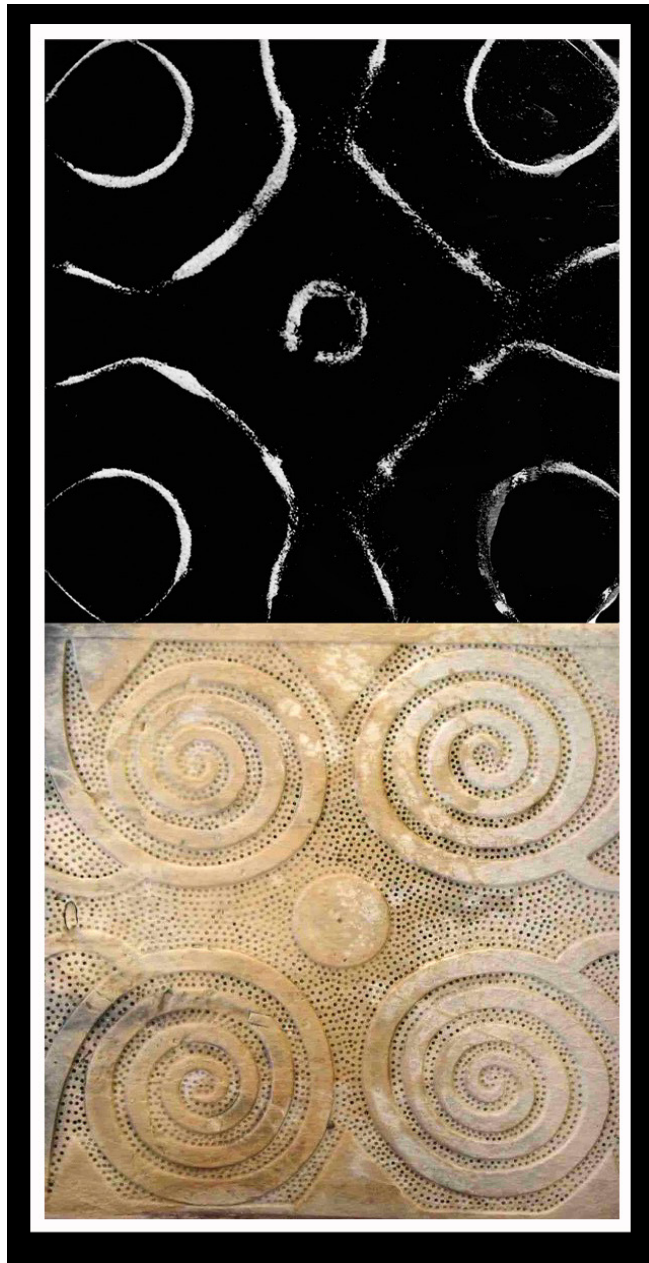


Figura 2. En la primera imagen observamos una figura Chladni, que se ha formado sobre una plancha de cobre cuadrada de 20x20 cm. y 0.5 mm. de grosor, mediante un proceso cimático aplicando una frecuencia de 1470Hz. En la imagen inferior, podemos observar el mismo patrón en un relieve del conjunto megalítico de los templos de Hal Tarxien, asociado con rituales sonoros y las espirales, encontradas en la sala del oráculo del Hipogeo de Saflieni, Malta. Imagen del Autor.

Las pinturas murales del interior de la sala del oráculo (en forma de complejos grupos espirales) y las tallas (en forma de bajos relieves), realizadas sobre la piedra, muestran estructuras de formación geométrica que emulan la creación de figuras que hoy en día podemos generar mediante procedimientos cimáticos. La revisión de una talla en particular encontrada en el complejo, muestra visiblemente el parecido con una formación geométrica obtenida mediante el uso de los patrones Chladni.

Cuando hablamos de representaciones artísticas de la antigüedad realizadas mediante el sonido, debemos sin duda prestar atención a los procesos generados en la cultura Hindú. En la zona del Índi y del Tíbet, aparecen representaciones escultóricas que muestran la creación del cosmos como un baile de la diosa Shiva Nataraja. Estas piezas, exponen la creación del cosmos a partir del sonido de las olas/ritmos, mostrando su eterno movimiento.

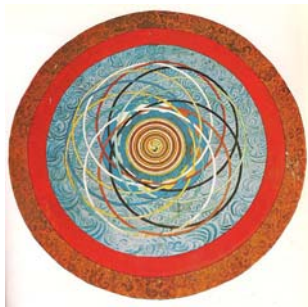


Figura 3. Escultura de Shiva Nataraja, señor de la danza realizando su baile de creación del universo. Siglos X-XII d.C. Imagen del autor.

“Shiva Nataraja recoge la energía eterna a través del sonido de un baile revelador y lo manifiesta al mismo tiempo. Las fuerzas, se atraen y repelen en un furioso e inacabable movimiento oscilante, son los poderes del despliegue, conservación y disolución del mundo; La naturaleza y todas sus creaciones son el efecto de este baile.”.

(Zimmer, 1995, 148)

Otra serie de obras de arte que están relacionadas con la zona del Indi y el Tíbet, son los Mándalas¹¹. En multitud de estas piezas, podemos encontrar representaciones geométricas que tienen su origen en los procesos de meditación mediante el sonido. Según (Terwagne y Bush, 2010¹²), la utilización de cuencos ceremoniales con líquidos en su interior, permitió observar el proceso de resonancia que se origina sobre fluidos contenidos por un recipiente (capítulo 7.3). La multitud de formaciones de carácter geométrico que se generaban, permitió relacionar la meditación, el sonido y la obtención de formas.



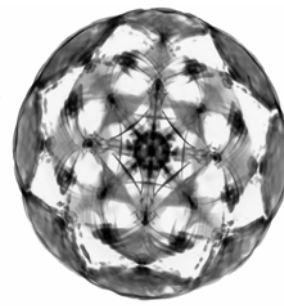
4A



4B



4C



4D

Figura 4. La figura 4A, muestra la imagen de un mándala. Esta obra forma parte de una serie de varias piezas en la pared del templo de Paro Dzong, Buthan y describe la involución espiral de la energía en materia, como el primer movimiento del universo. La figura 4B corresponde a un mándala del siglo XIX de la tradición Naropa. Naropa nació como un Brahman y como hemos visto anteriormente (pág. 30), la relación de la palabra Sanscrita "Brahma" con el sonido esta implícita. Las figuras 4C y 4D, muestran el mándala Sry Yantra y una formación similar generada con la palabra "Om", en un cuenco de meditación con agua. Imágenes del autor.

11 Los mándalas son representaciones esquemáticas, simbólicas y de carácter geométrico del macrocosmos y el microcosmos, utilizados tanto por el Budismo como el Hinduismo. Su raíz etimológica procede del Sánscrito y tiene como significado; *el círculo*. La mayoría de culturas ha desarrollado estructuras mándalicas, siempre relacionadas con la espiritualidad. Ejemplos de ello son el arte cristiano medieval y los rosetones de las iglesias,

12 Artículo conjunto del departamento de física de la Universidad de Liège y del departamento de matemáticas del Instituto Tecnológico de Massachusetts, de Boston.



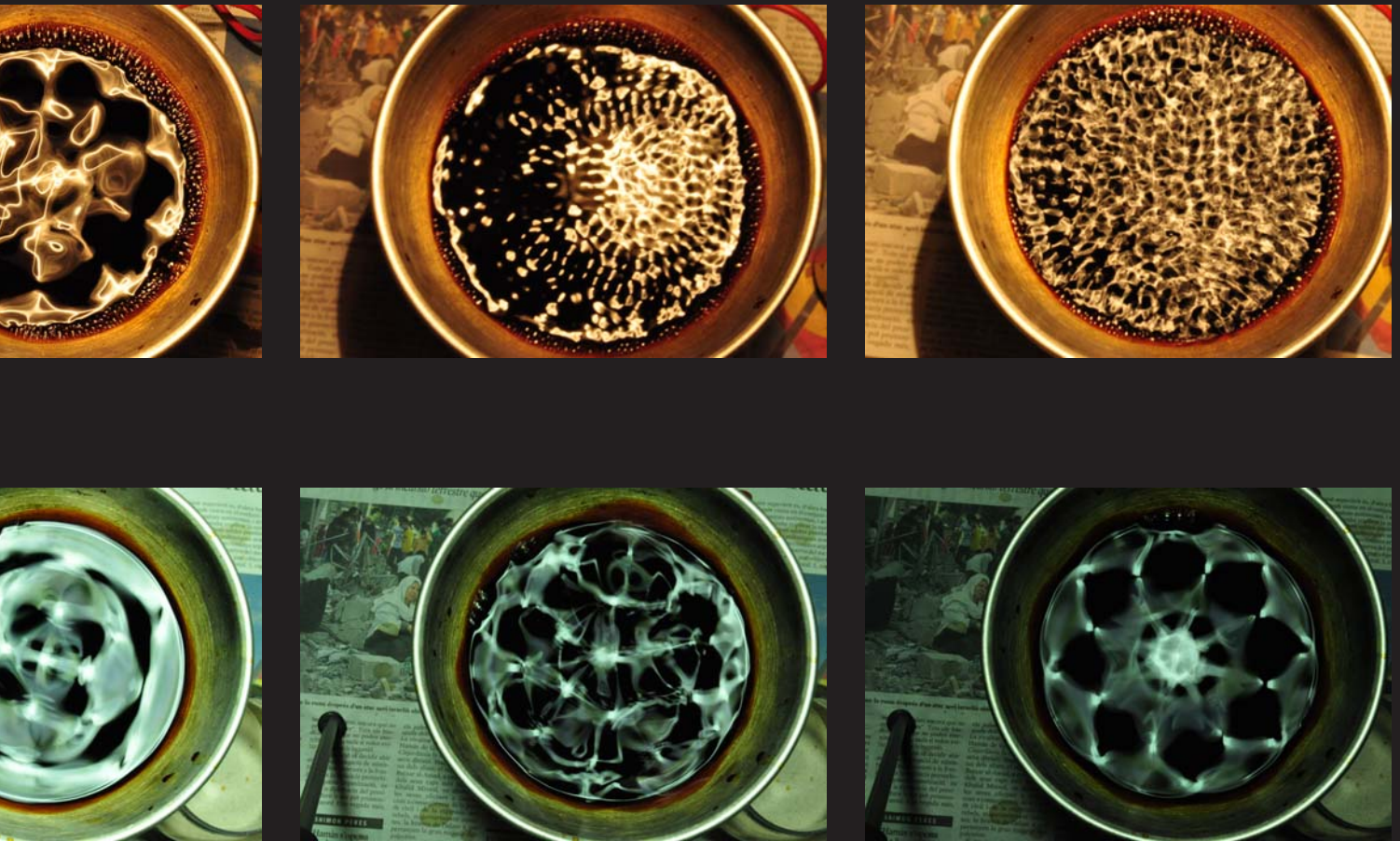
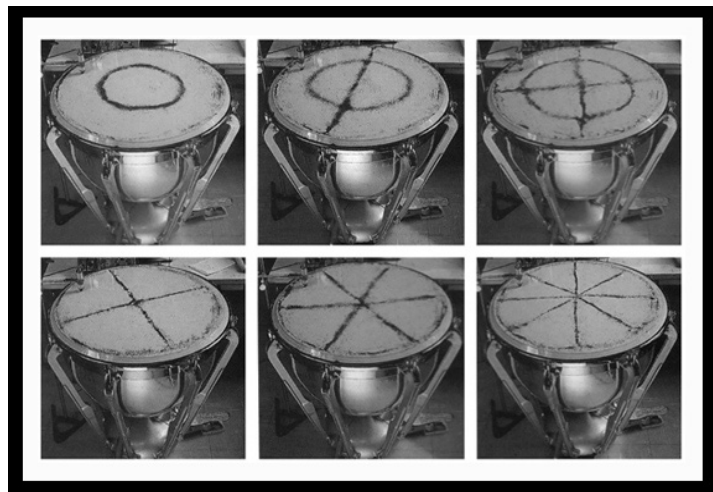


Figura 6. Las imágenes muestran dos secuencias de resonancia sobre un cuenco tibetano de meditación, en cuyo interior hay depositada tintura de yodo. Si frotamos mediante un mazo los bordes repetidamente, el sonido se transmite en forma de vibración y hace entrar el fluido en resonancia. Con menor resonancia, se generan estructuras mándalas reconocibles. Mientas que cuando la resonancia es muy alta, se generan estructuras de entramados de onda. Parece lógico pensar, que si hoy en día podemos desarrollar este tipo de figuras de una forma sencilla (excitando el cuenco con un mazo), en el pasado la aparición de estas estructuras debió cautivar la mente y la creatividad de muchos artistas. Imagen del autor.

A medida que aparecen pruebas visuales, comenzamos a comprender que el sonido ha sido utilizado como herramienta para la creación de estructuras de forma directa o indirecta, hasta la actualidad. Mientras que en los ejemplos (*figuras 2 y 3*), el sonido es el origen desde un punto de vista indirecto¹³, apreciamos como en otros casos (*figuras 5 y 6*), el sonido también ha incidido para generar estructuras de forma directa.

En otro tipo de culturas primitivas como las del continente africano, el proceso de creación de estructuras geométricas mediante el sonido se ha desarrollado en ceremonias rituales desde hace milenios. Según (Eliade, 1993), mediante el uso de semillas y la percusión de instrumentos realizados con barro y pieles (cajas de resonancia tipo tambor o pandereta), los hechiceros de las tribus podían predecir aspectos importantes de la vida durante eventos ceremoniales, visualizando las estructuras de carácter geométrico que se generaban sobre las membranas de los tambores e interpretándolas¹⁴. Estas formaciones de carácter poligonal, originaron y propiciaron cierto grado de mimetismo entre la población con la introducción en forma de pinturas corporales, (tratando de imitar las estructuras geométricas generadas).

Figura 6. Imágenes de diferentes estructuras cimáticas generadas sobre la membrana de un tambor. >



13 Hablamos de procedimientos indirectos de creación, cuando el sonido no genera directamente una pieza con fines artísticos o de carácter ornamental. Los casos estudiados de los relieves de los templos de Tarxien de Malta, son estructuras que se han generado mediante procesos sonoros pero en los que el sonido no ha intervenido físicamente. Es decir, a partir de unas imágenes obtenidas a través de procesos sonoros, han realizado recreaciones o reinterpretaciones de las estructuras generadas. En cambio en los procedimientos directos como el de formación sobre membranas de tambores, los procesos de creación si son de forma directa.



< *Figura 7. La imagen muestra una escultura ritual en forma de cuenco de bronce, perteneciente a la etnia Igbo-Ukwu, Nigeria, del año 800-100 d.C. Podemos observar una formación de carácter geométrico de forma radial, que recuerda a las estructuras que se generan mediante procesos cimáticos realizados mediante arena (figura 31). Imagen extraída del libro Visual Encyclopedia of Art. Arte africano.*

(Bargna, 2010, 154)

En Europa, también hallamos pruebas de representaciones artísticas originadas de forma directa o indirecta a través de los procesos sonoros. El manuscrito de Durrow (*figura 8*), es una imagen realizada por monjes Irlandeses del siglo VII. En su interior aparecen ilustraciones de carácter geométrico, que muestran un flujo continuo o movimiento de vórtices. Estos dibujos de carácter ornamental del libro de Durrow¹⁵, pertenecen a una página preparada para la meditación mediante cánticos. La aparición de la denominada espiral celta, data de varios milenios atrás y su más antigua representación, se halla sobre un disco de bronce hallado en Loughan Island. La relación entre un material altamente resonante como el bronce y la formación de estructuras, hace pensar en una conexión entre figura y sonido. Existe además un vínculo de tipo formal, entre las figuras espirales que aparecen en esta página y las pintadas en las paredes del interior del Hipogeo de Saflieni y el complejo megalítico de Hal Tarxien en Malta.

Si echamos un vistazo a las representaciones que se originaron en el continente Americano, también aparecen obras en las que podemos encontrar muestras de este fenómeno. Según (Schwenk 1962, 134), la representación del mito Tolteca de las siete cavernas, muestra en un dibujo remolinos en forma espiral que simbolizan el sonido en forma de la palabra. En la imagen (*figura 9*), se aprecian los guardianes que hay en la puerta de las cavernas esperando al candidato para el rito de iniciación. Tanto los guardianes cuando hablan, como los que deben iniciarse en los rituales, expulsan espirales. El acceso a los secretos de las cavernas reside en el sonido, en forma del lenguaje oral. Una vez más, aparecen las representaciones en forma de espiral para representar la estructura del sonido.

¹⁵ El libro de Durrow, es un libro evangeliario, perteneciente al siglo VII d.C. Esta imagen celta, representa la creación/disolución del mundo. El manuscrito se conserva en la Trinity College de Dublín y es considerado el libro evangélico más antiguo de la Gran Bretaña.

Figura 8. Ilustración del libro de Durrrow, en la que aparecen las denominadas espirales celtas. Irlanda siglo VII d.C. La relación entre vórtices y el sonido se torna más patente a medida que descubrimos piezas de la antigüedad. Imagen extraída del libro *The Mystic Spiral*. >

(Purce, 1988, 84)



Figura 9. Representación pictórica del mito tolteca de las 7 cavernas. Historia tolteca-chichimeca. >

(Schwenk, 1988, 135).



El investigador y musicólogo Stuart Mitchel, aportó una de las pruebas más representativas en forma de obra de arte generada a partir de procesos cimáticos. Mitchel, descubrió el origen musical en una serie de esculturas ornamentales del siglo XV, en la capilla Rosslyn. Estas esculturas denominadas *Cubos de la capilla Rosslyn*, son un claro ejemplo de un proceso de formación indirecto a través del sonido. Este conjunto de piezas que decoran el techo, tienen la finalidad concreta de representar visualmente ciertos sonidos. La aparición de estas esculturas ornamentales, (en cuyas caras aparecen imágenes de patrones Chladni), demuestra abiertamente el conocimiento avanzado que se tenía ya en la antigüedad, de la formación de estructuras geométricas mediante del sonido.

Mitchell desarrolló un proceso de trabajo inverso, para identificar las estructuras que aparecían en el interior de estos cubos y el resto de ornamentación de la capilla. Otorgando a cada imagen un tono, obtuvo la cantidad suficiente, para generar una representación musical.



< *Figura 10. Asignación de patrones Chladni a las caras de los cubos de la capilla Roslyn (Escocia) según (Mitchell, 2006, 10).*

Más cerca de casa, descubrimos gracias al musicólogo Alemán Marius Schneider, las propiedades sonoras/musicales de los capiteles de los conventos de Sant Cugat, de la Catedral de Girona y otras esculturas de la antigüedad. En su trabajo Schneider, (uno de los musicólogos y estudiosos de las culturas ancestrales más reputados), asocia las diferentes cabezas de animales¹⁶ que aparecen en los capiteles, con las escalas tonales de la India.

Figura 11. Capiteles del convento de Sant Cugat, en los que se aprecian las cabezas de animales, asignadas a tonos concretos. Imagen del autor.



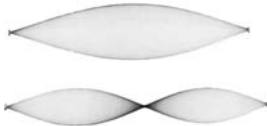
¹⁶ En este caso las formaciones creadas son una asignación que no se ajusta con las figuras que se generan realmente mediante dichos tonos. No obstante, son un buen ejemplo para comprender la asociación de imágenes/figuras con el sonido.

“En los claustros medievales de Sant Cugat y de la catedral de Girona, ambos contruidos a finales del siglo XII podemos encontrar una multitud de capiteles que tienen esculpidos una serie de animales, que por su selección sugieren una relación con los sistemas musicales de la India. La semejanza estilística representada en estos capiteles, acusa además una semejanza entre los dos claustros (Sant Cugat y Girona), lo que haría pensar que están realizados por la misma persona. Dadas las fechas de ambos monumentos (los claustros españoles del siglo XII y el tratado de Sârngadeva del siglo XIII), los capiteles románicos no pueden estar influidos los unos con los otros. Tenemos que suponer que hay una tradición más antigua que fue la norma para ambos monumentos”.

(Schenieder, 1998, 73)

La aparición de multitud de obras o piezas de la antigüedad que tienen una relación directa o indirecta con su formación a partir de procesos sonoros, queda reflejada en las obras presentadas en este capítulo, en las que existe un claro vínculo o relación entre forma y sonido. Aunque no existe documentación detallando los procesos de creación de estas obras, son tales las evidencias en forma de lo representado, que hoy en día únicamente podemos atribuirlos al conocimiento de procesos de creación *cimática*.

No es casualidad la asociación de la forma espiral con los procesos sonoros. Cuando se generan resonancias sobre fluidos que están contenidos en el interior de cuencos de meditación o vasijas, la formación de estas estructuras es muy común. La aparición de elementos espirales en lugares dedicados a la meditación o en los que el sonido guarda un papel relevante, refuerza los lazos entre creación de imágenes y procesos sonoros.



< *Figura 12. Las imágenes muestran la forma que genera una cuerda en resonancia y la misma estructura para el jeroglífico de la boca, asociado a procesos de creación sonora y que se asocia con el dios de la creación Aton-Ra.*

(Lawlor, 1982, 22)¹⁷

¹⁷ Véase la obra de Lamie, L. (1996), *Misterios Egipcios*, en la que se desarrollan estas explicaciones sobre la utilización del sonido en los mitos de la creación Egipcios y la relación entre figuras y jeroglíficos, que responden a procesos de formación relacionados con el sonido. En el mismo aspecto, el libro de (Reid, J. 1998) *Egyptian Sonics*, también trata las formaciones cimáticas que se generaban sobre el sarcófago de granito de la gran pirámide de Giza, a partir de procesos sonoros y las similitudes con ciertos jeroglíficos.

Según (Lamy, 1981), en la escritura del antiguo Egipto aparece un trabajo de mimetización sonido, forma y figura representada (un proceso que hoy en día denominaríamos *cimático*. *Figura 12*). La creación de uno de los jeroglíficos más comunes de la escritura Egipcia, (comúnmente llamado *la boca*), es utilizado para describir el nombre de la creación suprema Rê (Ra). Por lo tanto, existe una estrecha relación entre un proceso de creación sonoro (Mito de la creación egipcio, con el dios Nut) y la representación de una cuerda oscilante.

La utilización de materiales altamente resonantes como las pieles de tambores en los casos más primitivistas del continente africano, o el uso de cuencos ceremoniales y piezas de bronce altamente resonantes por parte de culturas más avanzadas en la India, China, Tíbet, Europa, Mesopotamia y Meso-américa, permiten identificar los procesos sonoros que originaron los diferentes tipos de piezas artísticas y ornamentales de la antigüedad, en las que aparecen representaciones de patrones. El propio Pitágoras estableció hacia el 580 A.C. una relación entre las frecuencias del sonido y las formaciones que se generan en vasos con fluidos en su interior, que hacía resonar y a los que asignaba relaciones entre ratios y frecuencias.



< *Figura 13. Miniatura datada en el año 1250 d.C. en la que podemos observar el proceso de creación de estructuras mediante el sonido, en el interior de vasos de resonancia, asociado a la creación Pitagórica.*

(Lawlor, 1982, 7)

Hoy en día sin la necesidad de utilizar procesos tecnológicos (cuencos de meditación tibetanos, planchas de metal y arquetas de violín, etc.), podemos crear procesos de resonancia y generar estructuras cimáticas en su interior. Parece obvio pensar, que si hoy en día existen artistas que basan su trabajo en la creación de las estructuras que se generan mediante estos procesos (*Nicolai Carsten, Mikel Arce*), en la antigüedad la aparición de estas formaciones también generó una influencia directa sobre artistas que generaron un trabajo de mimetización.

2.- Referentes Históricos de la cimática.

Cuando observamos desde un punto de vista histórico la *cimática*, es difícil atribuir el descubrimiento de este fenómeno físico a un autor en particular. La antigüedad del fenómeno como hemos mencionado anteriormente, se remonta a un origen ancestral del ser humano y a su evolución. Su aparición es una incógnita, pero se sabe que su primera utilización debió darse en vasijas y tambores, en el continente Africano. La falta de registros escritos y su identificación (por falta de nomenclatura concisa y definición), hacen más compleja la búsqueda de un origen concreto.

No obstante, para situar a la cimática en un contexto más próximo, debemos avanzar hasta el renacimiento. Leonardo Da Vinci, es uno de los primeros personajes relevantes en dejar constancia escrita del fenómeno, describiendo sus propiedades desde un punto de vista científico.

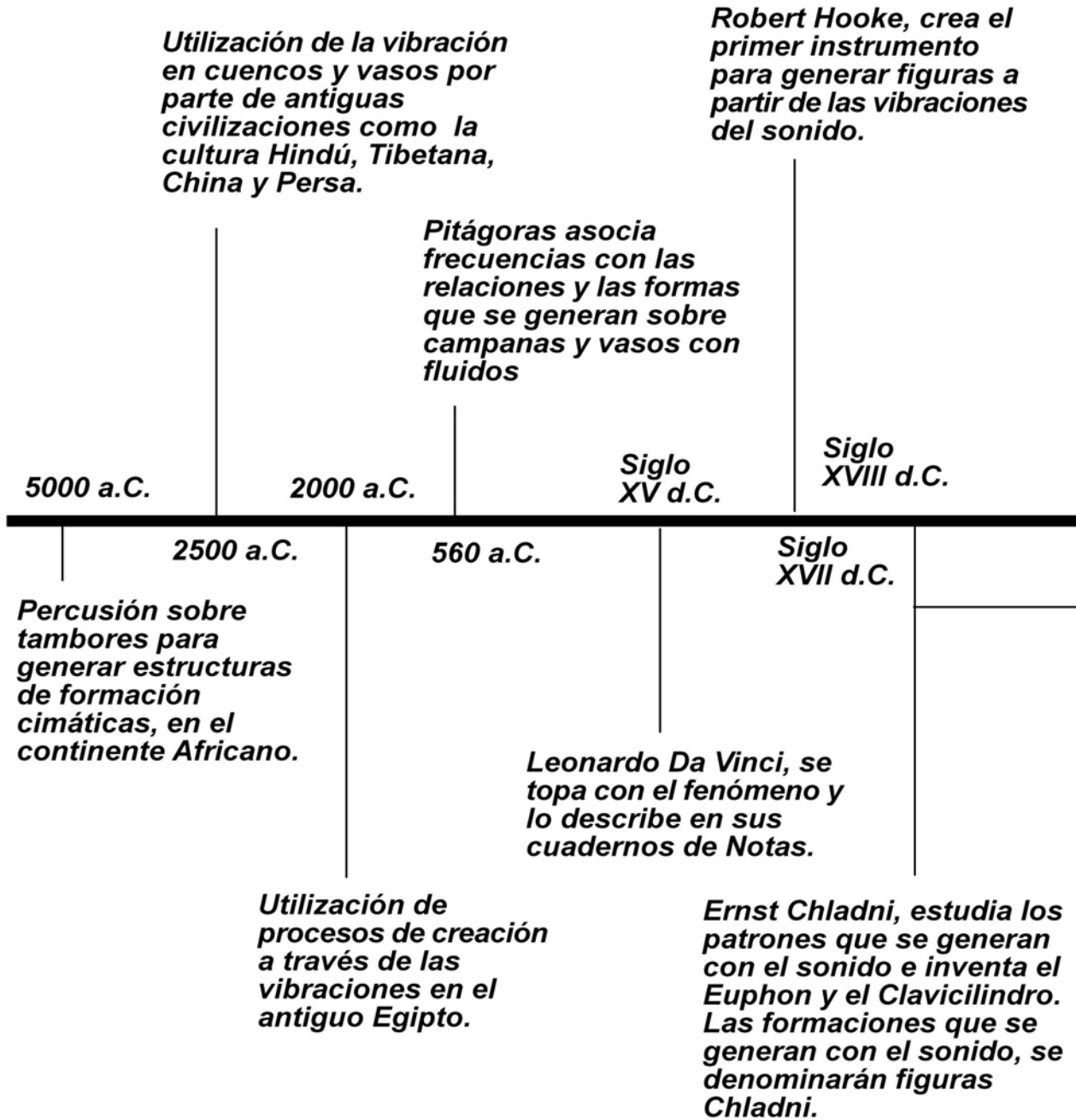
“Digo pues que cuando una tabla es golpeada en diferentes lugares, el polvo que está sobre ella, se reduce a diversas formas de lomas y montículos pequeños. El polvo desciende de la hipotenusa de estos montículos, entra por debajo de su base y se eleva otra vez alrededor del eje de la punta de la loma.”

(Curdy, 1938)

Años más tarde, *Robert Hooke*¹⁸, científico Inglés de la Universidad de Oxford, también descubrió de forma casual el fenómeno. Su papel alcanza mucha trascendencia en la historia del desarrollo de la ciencia de la cimática, debido a que es el primer hombre en desarrollar en 1680 un sencillo instrumento, consistente en una pieza de cristal cubierta con harina, (que tocaba mediante un arco de violín). La materialización de su instrumento, permitió la creación de estudios sobre las figuras que se generaban con el sonido. De esta forma se convierte en el impulsor de la creación de estructuras sonoras en tiempos modernos. Su invento desencadenará una revolución científica posterior, que permitirá estudiar el fenómeno como un fenómeno acústico.

¹⁸ Robert Hooke. (1635-1703). Científico Inglés que formuló la ley de la elasticidad (*Ley de Hooke*), propuso una teoría ondulante para la luz, introdujo el término “célula” en biología, postuló las orbitas elípticas de los planetas, invento varios aparejos mecánicos e instrumentos científicos. Wikipedia. (2011, Diciembre 7). *Robert Hooke*. Extraído el 7 de Diciembre de 2011 desde http://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Hooke.

Referentes Históricos



Dr. Hans Jenny, acuña el término (CYMATICS) cimática y desarrolla una profunda investigación del fenómeno desde el mundo de lo audio-visual. Es considerado el padre de la cimática moderna.

Michael Faraday realiza experimentos con el sonido sobre diferentes medios elásticos.

Lord Rayleigh, realiza una profunda investigación sobre las figuras Chladni.

Alexander Lauterwasser presenta su libro, Watter sound images. Un amplio estudio de las formaciones nodales sobre fluidos.

Primera mitad Siglo XX d.C.

1980 d.C.

2006 d.C.

Siglo XIX d.C.

1960 d.C.

2002d.C.

Sophie Germain desarrolla una explicación matemática para la creación de las figuras Chladni

Jonh Stuart Reid estudia las relaciones entre jeroglíficos y estructuras cimáticas en la gran pirámide de Guiza.

Margaret Watts Hugues investiga las figuras Chladni e inventa el Eidophone, un instrumento para generar formaciones mediante la voz. Es la primera Mujer y primera persona de la época moderna que trabaja el fenómeno con inquietudes artísticas

La matemática Marie Desirée Weller investiga los patrones Chladni desde un punto de vista científico.

Thomas J. Mitchell descubre y realiza una investigación sobre los cubos de la Capilla Roslyn y las formaciones cimáticas que aparecen

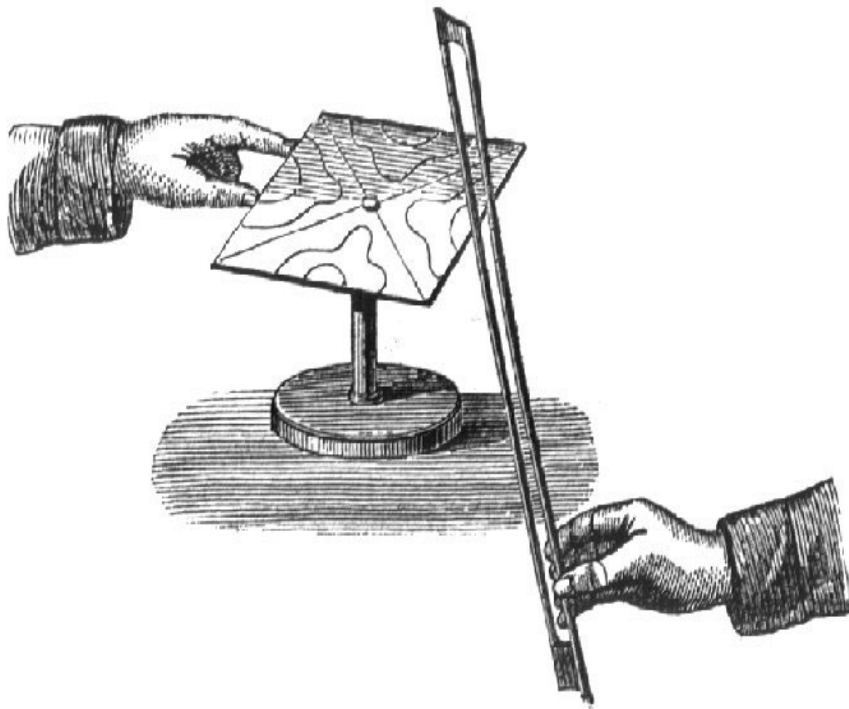


Figura 14. Originalmente este invento para visualizar el sonido mediante un arqueta de violín, harina y una placa de cristal, es atribuible a Robert Hooke. No obstante, quien popularizó entre las masas y perfeccionó su diseño, fue Ernst Chladni. En los ámbitos acústicos, es conocido como el padre de este invento debido a sus tratados sobre acústica y el descubrimiento de la formación de figuras que se originan mediante el sonido sobre placas y que son conocidas como figuras Chladni.

Ernst Florens Friederich Chladni, fue un musicólogo y científico alemán que estudió el trabajo acústico desarrollado por Robert Hook. Mediante su investigación, descubrió numerosas variaciones para hacer visible el sonido en placas de metal, que hacia vibrar para comprender el movimiento ondulatorio que producían al entrar en resonancia (*figura 14*). En el contexto histórico, Chladni es una referencia no tan solo por su tratado acústico, sino por ser el primero en investigar los fenómenos visuales producidos por el sonido de una forma científica (creando un impresionante catálogo de dibujos sobre las diferentes formaciones nodales).

La magnífica labor de divulgación de su trabajo, le llevó a recorrer Europa y es recordado como uno de los más grandes investigadores de acústica experimental de todos los tiempos. Sus aportaciones tuvieron una influencia tan importante en la sociedad, que Napoleón Bonaparte patrocinó un concurso con la Academia Francesa de las Ciencias, para adquirir una explicación matemática sobre la formación de patrones. Sophie Germain (una excepcio-

nal matemática francesa), ganó dicho premio y estableció una explicación en forma de funciones de onda, para describir cómo el sonido crea las formaciones geométricas.

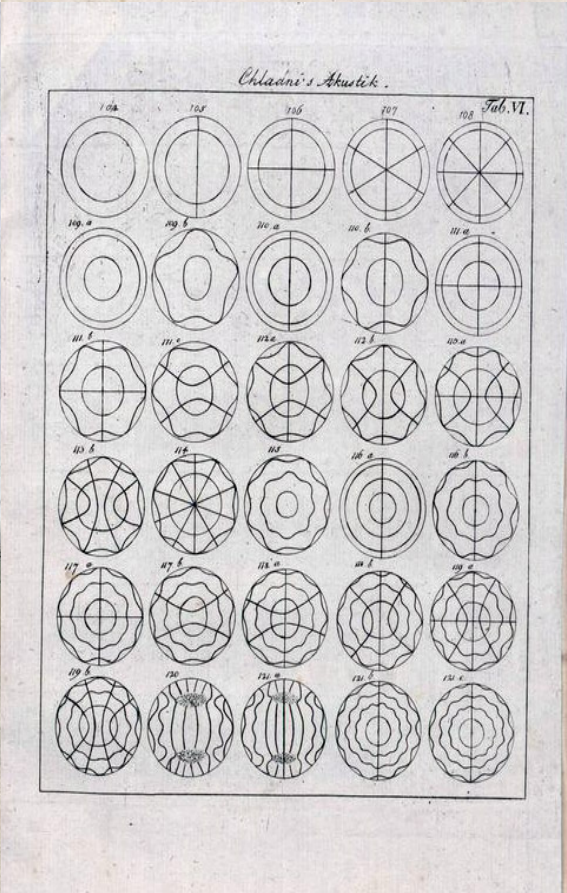
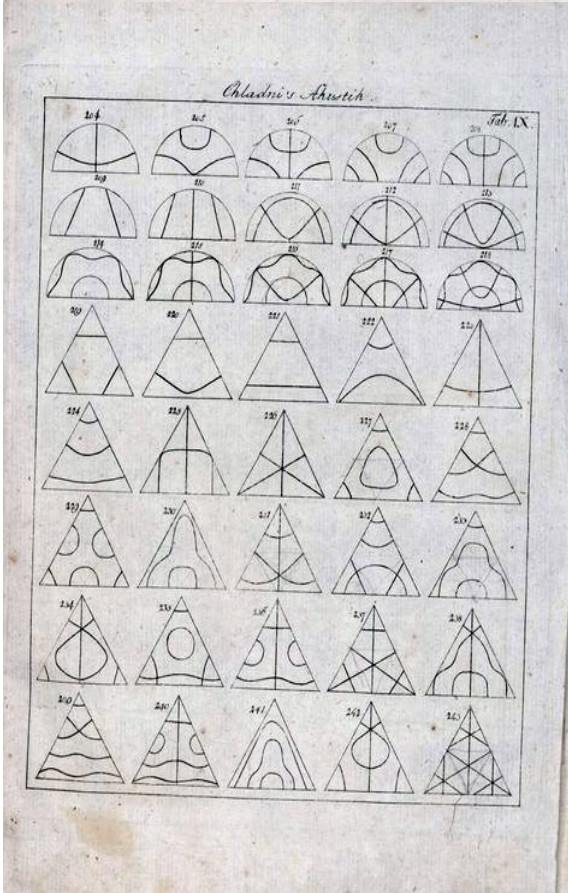
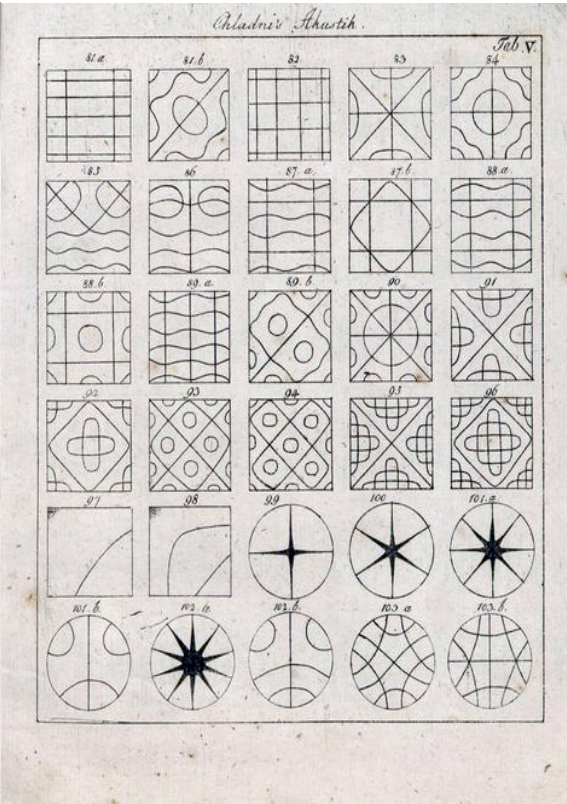
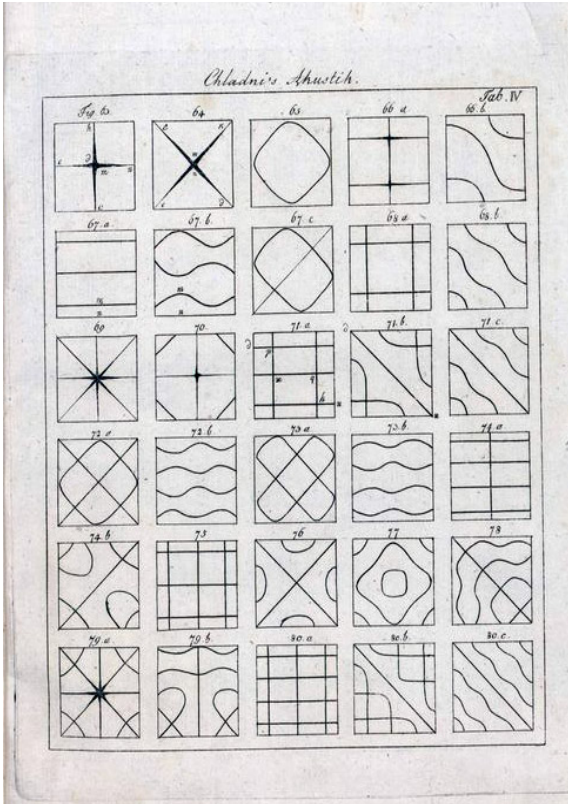
Chladni es un pionero en el desarrollo de la acústica y publicó dos importantes trabajos que siguen siendo hoy en día libros de gran reputación mundial en círculos acústicos. Su primer trabajo pionero, *Entdeckungen Theorie des Klanges* fue publicado en 1787 y que todavía hoy es considerado un hito. En 1808, publicó *Traité d'acoustique*, donde da explicación científica a todos los procesos de formación nodal sobre diferentes materiales (el impacto del trabajo de Chladni fue tan importante, que los patrones de formación que se generan mediante el sonido, acuñaron su nombre). Durante sus investigaciones, desarrolló un instrumento musical llamado Euphono¹⁹. Este instrumento es el precursor de las modernas esculturas sonoras o instrumentos Baschet²⁰. Más adelante también generó otro instrumento musical basado en el trabajo de Hooke, llamado clavi-cilindro²¹.

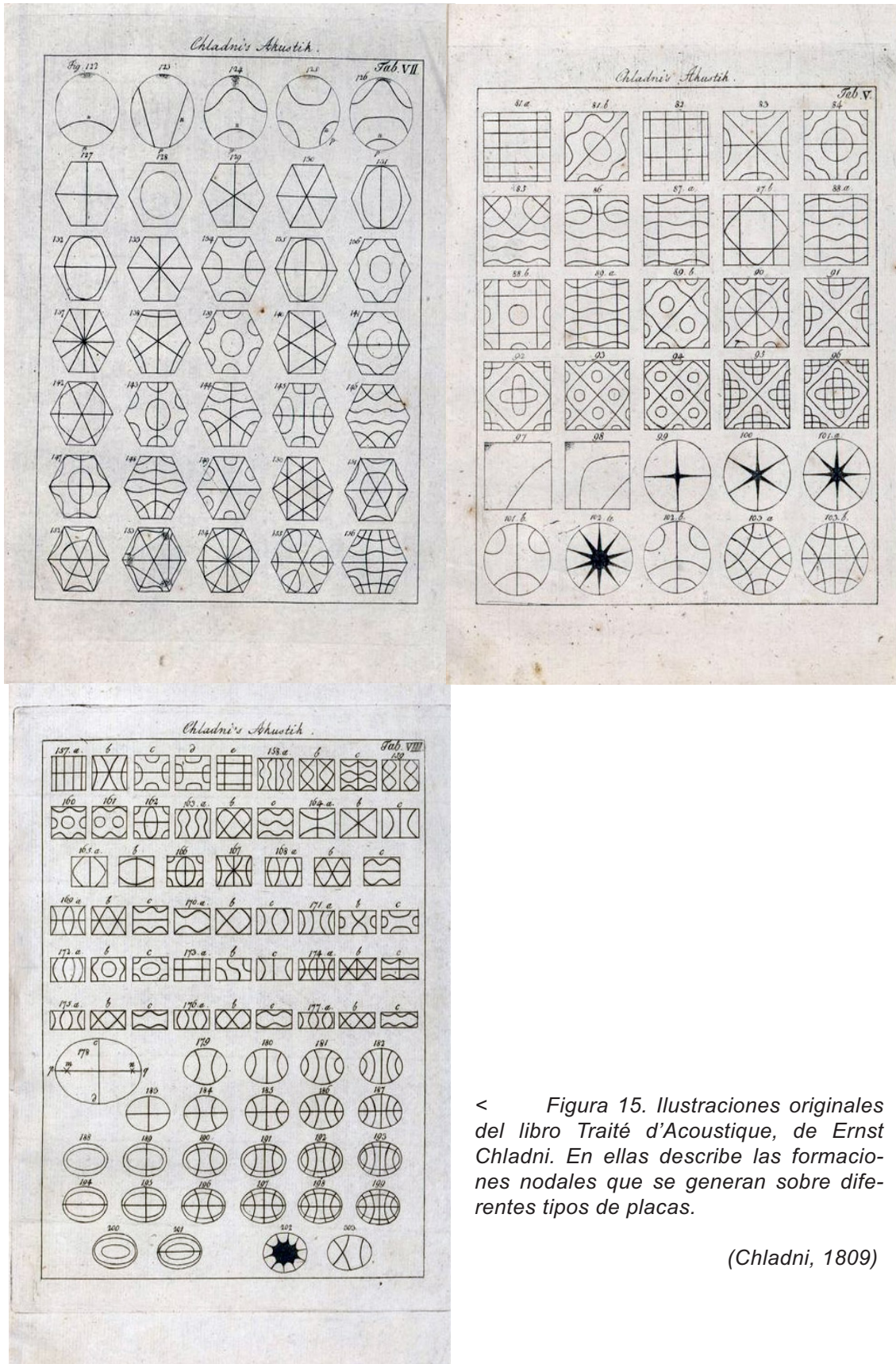
El trabajo de Chladni, llamará la atención del prestigioso científico Inglés, Michael Faraday, que investigará el fenómeno de la creación nodal. En su *diario personal* (entre febrero y julio de 1831), plasmó los registros y anotaciones de los muchos experimentos en los que estudió los efectos de las vibraciones y el sonido con gotas de agua, aceite y limaduras de metales. La gran aportación del trabajo de Faraday en el campo del desarrollo de la cimática, se debe a la experimentación mediante distintos materiales y medios elásticos. Aunque su interés por el desarrollo de estructuras visuales mediante el sonido ocupa unos meses de su trabajo, pronto deja de lado estas investigaciones y centra sus estudios en otros ámbitos.

19 Según (Pedrell, 1897:165), el Euphono, consistía en una caja cuadrada de aproximadamente un metro de altura, en la que había 42 pequeños cilindros de cristal que vibraban por rozamiento.

20 François y Bernard Baschet, han desarrollado una línea de trabajo sonoro y toda una nueva familia instrumental, que puede considerarse la aportación más genuina del siglo XX en el campo de la acústica musical. Podemos observar algunas de sus piezas donadas al Laboratorio de Arte Sonoro de la facultad de Bellas artes de la Universidad de Barcelona. Baschet. (2012, Noviembre 28). <http://www.baschet.org/>,

21 Según (Pedrell, 1987: 99), el clavi-cilindro, era una variedad de harmónica con vasos de vidrio que tenía su teclado correspondiente como el de un Clave. El sonido se generaba mediante el rozamiento de las cuerdas, con los vasos de vidrio. Véase también la Harmónica de Cristal de Benjamin Franklin, para comprender el funcionamiento de los instrumentos que utilizaban vasos de cristal con líquidos en su interior para generar armonías. Hoyo, C. (2013, Marzo 22). *La Harmónica de Vidre*. <http://www-ma4.upc.edu/~xgracia/musmat/treballs/Hoyo.harmonicavidre.pdf>





< Figura 15. Ilustraciones originales del libro *Traité d'Acoustique*, de Ernst Chladni. En ellas describe las formaciones nodales que se generan sobre diferentes tipos de placas.

(Chladni, 1809)

A las puertas del siglo XX, Lord Rayleigh, profesor de la cátedra Cavendish de Física de la Universidad de Cambridge (ganó el Premio Nobel²² de física en 1904, por el descubrimiento del Argón y descubrió las ondas de superficie en sismología conocidas como ondas de Rayleigh), centró su interés por las ondas del sonido, que le llevaron a desarrollar su gran tratado sobre la teoría del Sonido, en el que incluye un capítulo sobre las vibraciones de placas, explorando los fenómenos nodales en profundidad.

A finales del siglo XIX, el trabajo realizado por la galesa, Margaret Watts Hughes se torna de gran relevancia histórica. Su investigación influenciada por la obra del celebre científico Michael Faraday, se centró en la creación de patrones mediante la voz. En 1885, desarrolló una gran cantidad de experimentos y advirtió de las posibles aplicaciones artísticas de los fenómenos de vibración, publicando su libro; *The Eidophone*²³, *the voice figures*, en 1904. Este volumen es de gran importancia para el desarrollo de esta tesis doctoral, debido al contenido experimental y la voluntad de desarrollar creaciones artísticas mediante procesos cimáticos a través su voz. Su trabajo, se centra en la belleza de carácter orgánico que originan las formaciones realizadas con la voz. Podemos ver algunos ejemplos de sus trabajos en fotografías realizadas por la autora, en las que genera cuadros, donde aparecen formaciones florales, realizadas mediante la interacción sobre membranas del polvo de licopodio y su voz. La relevancia de su obra, radica en que ella le otorga al proceso la función creativa. No obstante la sociedad Victoriana en la que se desarrolla su trabajo, ignora sus creaciones, destacando como meros experimentos que solo gozaban de reputación, dentro del campo de la acústica experimental.

“Canté y surgieron estas formas peculiares. He visto como se parecen a las flores, los helechos y los árboles que me rodean. He visto pequeños montones en formación, generando estructuras de flores que se pliegan y que luego dispersan sus pétalos, como cuando una flor brota. Estos experimentos pueden ofrecer algunas sugerencias en cuanto a la producción de las formas que se dan en la naturaleza”.

(Watts, 1904, 28)

22 Nobel Prizes.(2012, Marzo 3). *Lord Raileigh*. Extraído el 3 de Marzo de 2012 desde http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1904/strutt.html.

23. Este volumen se convierte en el primer libro publicado en el que aparecen creaciones artísticas, Por este motivo es una de las piezas más significativas para esta tesis doctoral, ya que aporta pruebas ineludibles de la voluntad de generar obras de carácter artístico en el siglo XIX, utilizando las ondas de sonido y sus representaciones sobre la materia.

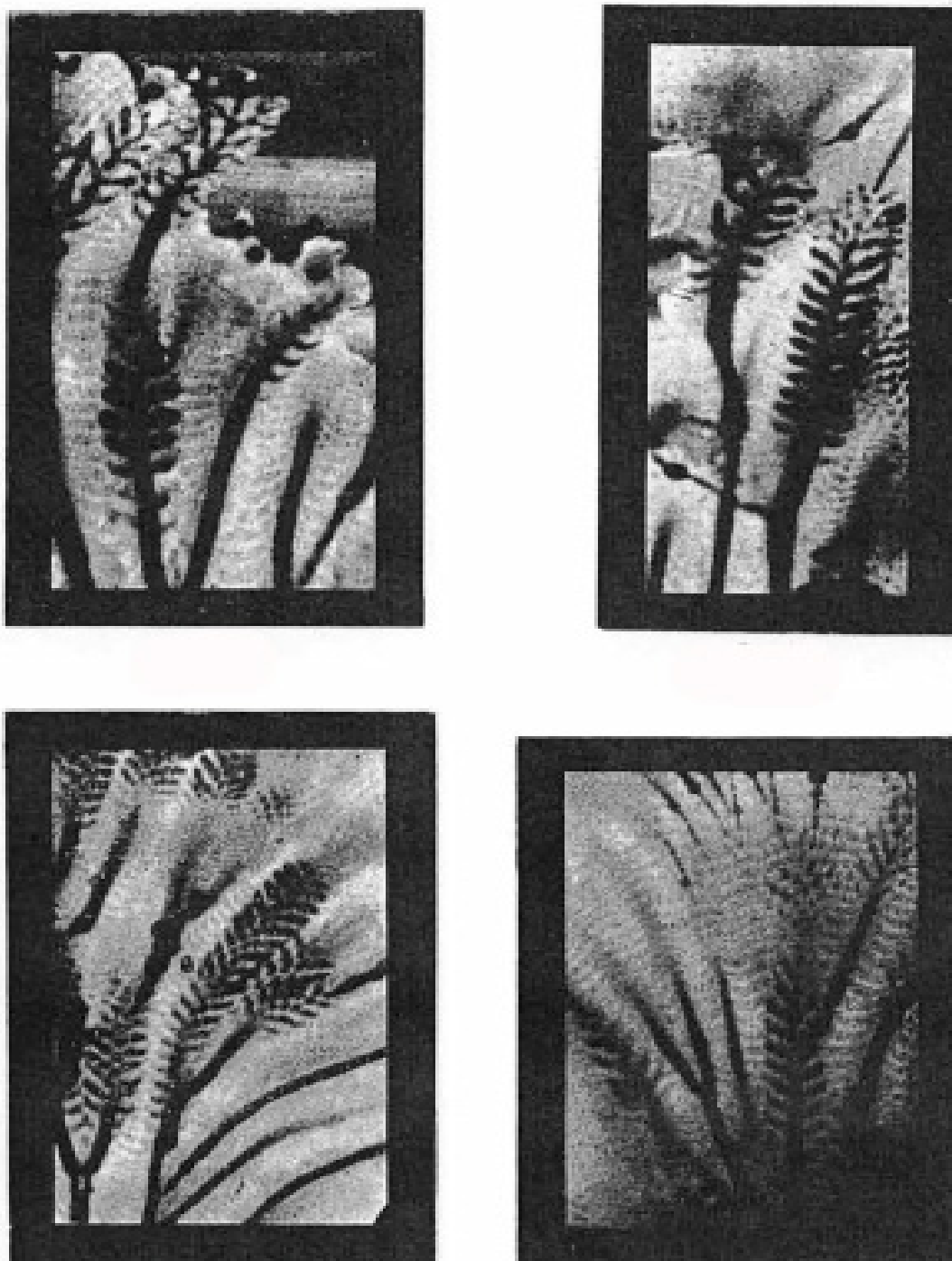


Figura 16. Imágenes correspondientes a trabajos realizados con la voz, realizados por Margaret Watts.

(Watts, 1904, 42)

A principios del siglo XX, hay que destacar el trabajo de Marie Desirée Welleer, quien estudió la creación de los patrones Chlandi desde un punto de vista de la simetría y las matemáticas, realizando un extenso trabajo científico sobre dicha materia.

En la década de 1960, aparece la figura del Dr. Hans Jenny, quien bautiza el fenómeno de formación nodal, como Cymatics. Este término englobará todos los procesos de estudio de las ondas de sonido y los efectos de las vibraciones sobre la materia. Sus investigaciones, siguen siendo los textos más extensos sobre dicho fenómeno, por lo que está considerado el padre de la cimática moderna. La gran cantidad de estudios en el campo de lo audio-visual, hacen que tanto sus libros como el rodaje de una película documental (sobre los procesos de creación nodal mediante el sonido), sean referentes ineludibles para el desarrollo de esta tesis doctoral. Su aportación a este campo, se desarrolla con una profunda experimentación sobre fluidos, patrones Chladni y formación de estructuras mediante esporas. Todos estos procesos quedan registrados a través de pruebas fotográficas, que publicó en sus libros *Cymatics* vol. I y vol. II²⁴. Jenny, desarrolló muchos de sus trabajos en el Center of Advanced Visual Studies del MIT,²⁵ conjuntamente con György Kepes.

A finales de la década de 1990, aparece otro de los grandes escritos en el siglo XX, dedicados a los estudios de los fenómenos cimáticos. Alexander Lauterwasser, investigador y fotógrafo alemán, explora los fenómenos periódicos sobre el agua y desarrolla todo su trabajo centrándose en las formaciones orgánicas, producidas por las vibraciones en dicho medio. Su interés se centra en la tipografía de las figuras formadas por los efectos del sonido en el agua y la comparación con las formas que se originan en la naturaleza. Publicó su trabajo fotográfico en el libro *Watter Sound Images* en el año 2002. En su interior, podemos encontrar un gran catálogo de imágenes creadas por composiciones musicales sobre bañeras de vibración que contienen agua.

A finales de los años noventa, aparece la figura de Jonh Stuart Reid, quien publicó sus investigaciones llevadas a cabo sobre la formación de estructuras cimáticas en el antiguo Egipto en su libro *Egyptian Sonics*. Su trabajo de campo, está basado en las experiencias realizadas sobre el sarcófago de granito de la sala del Rey, de la gran pirámide de Guiza.

24. Hoy en día podemos encontrar una única compilación llamada *Cymatics* que engloba ambos libros en un solo tomo y que incorpora más imágenes en color que sus predecesores.

25. György Kepes creó el Center of Advances Visual Studies, en el MIT (Instituto Tecnológico de Masachussets) en el año 1974. Nacido en Hungría y perteneciente a la corriente de la Bauhaus, emigró a EEUU donde desarrolló multitud de trabajos relacionando el arte y la ciencia, siendo uno de los precursores de este modelo.

Stuart, además ha desarrollado una máquina llamada *Cymascope*²⁶, con la que hace visibles procesos de formación nodal sobre fluidos y colabora con distintas asociaciones científicas para desarrollar utilidades prácticas para los procesos cimáticos. Mediante el *Cymascope*, también genera posters y láminas basadas en procesos sonoros determinados que vende a través de su empresa.

Todos los investigadores citados en este capítulo, son los más sobresalientes en el estudio del fenómeno (desde un ámbito tanto científico como audio-visual). Hoy en día se publican muchos trabajos, donde la cimática es aplicada en campos muy dispares como la medicina, la biología, la física experimental, el autismo, el desarrollo del lenguaje en personas con problemas de audición, etc. No obstante, estos trabajos y sus investigadores quedarán al margen de la presente tesis, debido a que no centran sus intereses e investigaciones en el desarrollo de proyectos encaminados hacia la expresión artística contemporánea y el mundo audio-visual en general.

26 El *Cimascope* es un invento realizado mediante la creación de un vibrador mecánico o generador mecánico de ondas, que cuenta con unas bañeras de vibración intercambiables y un complejo sistema de sujeciones para cámaras de HD y alta velocidad. Está equipado con un foco centrado sobre la perpendicular de la bañera que no interfiere con el montaje de los equipos de filmación. Mediante este invento logra generar imágenes cimáticas sobre fluidos de alta calidad.

3.- Descripción metodológica del trabajo.

La metodología que se va a seguir para el desarrollo del trabajo de investigación, es una metodología científica experimental. Dicho proceso supone la creación de unos procesos de trabajo, en los que todos los experimentos deben realizarse de forma controlada.

La primera fase de la investigación de la tesis, centrará sus esfuerzos en un trabajo documental de gran importancia. (La poca bibliografía existente sobre los procesos de creación cimática está escrita en alemán e inglés). El análisis de datos ya publicados, la traducción de libros y documentos recopilados, permitirá conocer el fenómeno de la mano de los principales investigadores que lo han desarrollado el fenómeno.

- Investigación del fenómeno de la cimática y referencias históricas.

- Traducción de fuentes documentales y revisión de su contenido.

La segunda fase de actuación, se centrará en el ámbito experimental del un taller de acústica²⁷.

- Creación de los métodos y herramientas de trabajo.

- Investigación y recreación de experimentos llevados a cabo por anteriores investigadores, con el fin de conocer y controlar los sistemas de creación nodal en diferentes medios.

- Experimentación y análisis de los datos obtenidos.

- Creación de fichas y catálogos con los resultados obtenidos.

- Explicación del fenómeno.

²⁷ Debido a que la Universidad de Barcelona no dispone de ningún laboratorio de acústica, he tenido que ir generando mi propio espacio de trabajo. Para la realización de los procesos de experimentación, se adjuntan en este apartado diversos esquemas para poder observar que pasos hay que seguir para poder obtener los resultados presentados. Cabe destacar que el material citado, es el que yo he utilizado. No obstante, se especificará el nombre genérico de cada instrumento.

Los equipos utilizados son de carácter profesional, garantizando actuaciones bajo unos estándares de precisión/calidad bien definidos y su reproducción. Es importante saber que algunos de los utensilios para la creación cimática, pueden ser desarrollados o producidos de forma casera (para la realización de ciertos experimentos en ocasiones es necesario recurrir al bricolaje), no obstante no es recomendado su uso ya que puede ocasionar diferencias substanciales con los resultados presentados en este documento.

El proceso de trabajo consistirá en la ejecución de pruebas sobre todo tipo de materiales para observar como responden los marcadores, a los diferentes procesos de vibración producidos por las ondas de sonido. Este trabajo quedará documentado a través de fotografías y videos en alta definición. Cada prueba constará de su ficha y se presentarán los resultados de todos los experimentos llevados a cabo. El mismo proceso se ejecutará sobre fluidos y otros materiales, creando capítulos de estudio para cada uno de ellos. De esta forma, obtendremos los conocimientos suficientes para evaluar y poder generar sistemas de creación, para su introducción en el ámbito artístico.

En la siguiente lista, presentaré todo el listado de material necesario para el desarrollo de este trabajo. Es importante conocer los instrumentos utilizados, con el fin de poder reproducir los experimentos bajo las mismas condiciones por parte de cualquier lector de la tesis.

- Equipamiento de laboratorio:

- Generador de funciones; Sweep Function Generator. Model 9205C. Protek.
- Oscilador; Variable Frequency Mechanical Wave Driver. Model SF-9324. Pasco.
- Amplificador de señal; 5 Band Acoustic Control Amplifier. Model TA-AX230.
- Mesa de mezclas; Akiyama. Model AK3k
- Ordenador Portátil/PC, con software de edición de sonido.
- Foco estroboscópico de intensidad de luz variable. 230V AC 50Hz.
- Foco fluorescente/ Foco luz normal.
- Cámara de fotos y vídeo en HD, Nikon D5000 con trípode.

- Altavoces, Low & Mid Frequency y Cables de sonido.
- Cables, Banana Jag/Banana Plug.
- Software; Sony Soundforge Pro 10.0 y Generadores digitales de Onda. Freq-generator.

- Bañeras de vibración:

- Circular. 16 cm. de diámetro. Acero Inox. de 1 mm. De grosor.
- Cuadrada. 10 cm. de lado. Hierro de 1mm de grosor.

- Planchas de vibración.

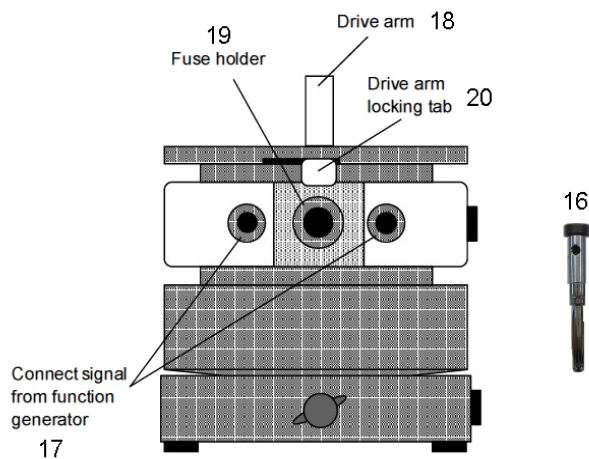
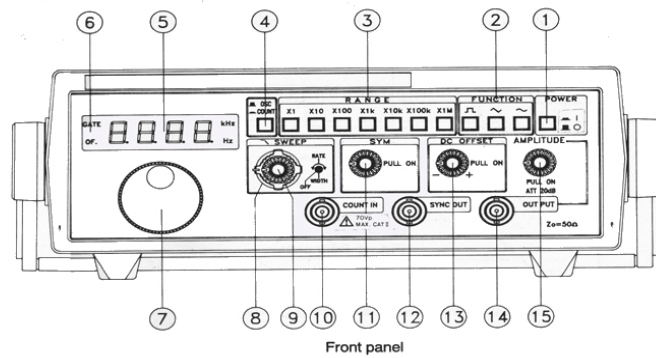
- Marcadores:

- Arena de cuarzo.
- Limaduras de Hierro y ferro-fluidos.
- Pigmentos.
- Betún de Judea en polvo.
- Agua destilada.
- Tintura de Yodo con base de alcohol.
- Mezcla de Caolín y agua para formar una densidad de fluido no-newtoniano.
- Mezcla de Maicena y agua, para formar una densidad de fluido no-newtoniano.
- Parafina/Glicerina.
- Polvo de Licopodio. Esporas de licopodio.
- Pintura.
- Haz de luz laser.

Existen varias formas de trabajo para realizar estos experimentos. La más sencilla, es la unión de un generador de funciones y el oscilador (*figura 17*). Este sistema permite de una manera muy simple comenzar a trabajar mediante placas de metal o bañeras de vibración, con unos estándares de trabajo de $\pm 1\text{Hz}$ en un rango comprendido entre 1Hz y 20.000Hz . Dependiendo de la calidad del generador de funciones este rango será más preciso, permitiendo trabajar con mayores estándares de aproximadamente $\pm 0.01\text{Hz}$. No obstante, este método de trabajo tiene algunos puntos débiles. Los generadores de funciones tradicionales, tienen un nivel de amplitud de señal bastante reducido (imposibilitando la creación de estructuras, en muchas frecuencias superiores a los 13.000Hz). Otro de los aspectos negativos del uso de este sistema, es que el nivel de ganancia de señal, que controla las frecuencias, se muestra preciso únicamente a bajas frecuencias. Cuando el rango es más alto, la señal en ocasiones fluctúa dificultando el control en el proceso de trabajo.

La segunda forma de trabajo utilizada y que nos permitirá mejorar los niveles de amplitud ofrecidos por los generadores de funciones tradicionales, es una técnica combinada (*figura 18*). En ella utilizaremos software de creación de frecuencias con un rango de $\pm 0.01\text{Hz}$. De esta forma además de mejorar el rango de precisión de la señal generada, también aumentaremos el nivel de amplitud. Mediante software, se envía una señal por la tarjeta de sonido del ordenador hacia una mesa de mezclas, que a la vez está conectada a un amplificador. La señal amplificada por la mesa de mezclas y el amplificador, es dirigida por el canal de salida auxiliar hacia el oscilador. El proceso es similar al utilizado mediante el generador de funciones, con la ventaja de contar con unos niveles de amplitud aumentados hasta cuatro veces. Este echo, permite crear estructuras con alta frecuencias superiores a los 13.000Hz . No obstante, también tiene sus riesgos.

El aspecto más nocivo de este sistema, es la posible sobrecarga de la señal acústica. Cuando esto aparece, el fusible que está en el interior del oscilador se quema, salvaguardando la integridad del aparato. Este problema se puede evitar, visualizando la cantidad de señal acústica que es enviada en los leds de lectura, que tienen las mesas de mezclas (si la señal amplificada no supera la línea visual de color naranja, no existe peligro de sobrealimentación que ocasione la rotura del fusible. Si por accidente ocurre la rotura del fusible, el cambio es un proceso sencillo). No existe un problema para la seguridad personal, pero si para la integridad de los equipos, por lo que se recomienda tener precaución a la hora de utilizar este método.



< Figura 17. Generador de Funciones y Generador de ondas (oscilador mecánico). Imágenes del autor.

- 01- Power On/Off
- 02- Selector de función de onda.
- 03- Rango de Frecuencias
- 04- Contador.
- 05- Display para visualizar el rango de frecuencias.
- 06- Led de corrección de frecuencia.
- 07- Dial de frecuencias.
- 08- Sweep Rate Control. Ajusta el ratio interno.
- 09- Sweep Width Control. Ajusta la magnitud.
- 10- Count-In. Clavija para conectar un medidor externo.
- 11- Control de Simetría. Ajusta la simetría de la onda. 1:1.
- 12- Sync Output.
- 13- DC Offset control. Aumenta +/- el DC de la señal externa.
- 14- Output. Salida de la señal del generador de funciones.
- 15- Control de Amplitud. Aumenta el nivel entre +/- 20 dB.
- 16- Fijador de placas al eje de vibración.
- 17- Conectores de entrada de señal.
- 18- Brazo de vibración.
- 19- Fusible.
- 20- Brazo de protección para la vibración.

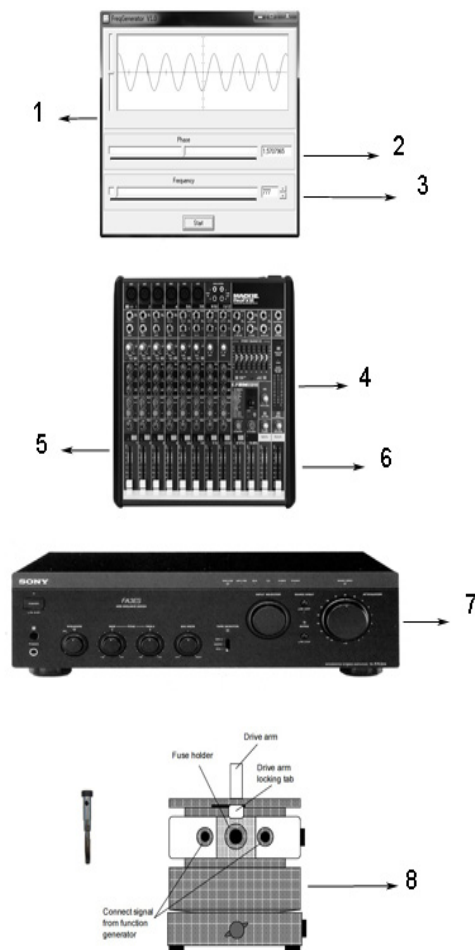


Figura 18. Esquema de montaje para la utilización de software informático, más un generador de ondas.²⁸

- 1- Software para la creación de frecuencias.
- 2- Indicador de la fase de la onda.
- 3- Indicador de la frecuencia.
- 4- Mesa de mezclas.
- 5- Canales de salida y entrada desde el pc.
- 6- Indicador visual mediante Leds de señal de salida.
- 7- Amplificador.
- 8- Generador mecánico de ondas.

²⁸ Ambos esquemas, pretenden ser indicadores visuales de los métodos que se pueden utilizar para la creación de estructuras cimáticas. Con los esquemas, se facilitará al lector las herramientas necesarias para la reproducción de los experimentos llevados a cabo en el interior de este documento.



Figura 19. Esta fotografía muestra mi estudio y los equipos utilizados para llevar a cabo el desarrollo de esta tesis doctoral. Sin la necesidad de un complejo laboratorio de acústica, podemos reproducir y desarrollar los experimentos que han llevado a cabo anteriores investigadores cimáticos como el Dr. Hans Jenny. Imagen del autor.

“

4.- Definición de cimática

El término cimática, es una adaptación al Español de la palabra de origen inglés; *Cymatics*. Este vocablo tiene su raíz etimológica en la forma griega: *κύμα*, que significa onda y nace en el año 1967, acuñado por el Dr. Jenny cuando presentó su primer libro *Cymatics Vol. I*. Hay que destacar que tanto la palabra en español como en inglés, no aparecen en ningún diccionario oficial, debido a que no están aceptadas. Esto afecta en gran medida, a la estandarización y aceptación de una definición. Hoy en día, según la fuente o el manual de consulta, podemos encontrar diferencias semánticas, que dan lugar a interpretaciones personales del término.

La denominación genérica para este campo de estudio (anterior a su definición como procesos cimáticos), ha tenido varios nombres a lo largo de la historia. El primero surge a finales del siglo XVIII, cuando se define el fenómeno, como *figuras Chladni*. Tanto Michael Faraday como Margaret Watts, llamaron al proceso de formación de estructuras "*crispations*"¹. Finalmente el nombre por el que se conoce el fenómeno durante el siglo XX (hasta la aparición del término *cymatics*), es: El estudio de los fenómenos nodales originados por procesos sonoros o de vibración.

"La cimática es la ciencia que se encarga del estudio de las representaciones visuales de las ondas de sonido y los fenómenos periódicos de vibración, sobre la materia."

(Jenny, 2001)

Es importante exponer que el Dr. Jenny, publicó (en varios capítulos de su libro *Cymatics I y II*), fenómenos periódicos con ausencia de vibración, como fenómenos cimáticos (formaciones de anillos de Liesegang y fenómenos periódicos de precipitación, relacionados con la formación de patrones mediante productos químicos). Estos procesos son el resultado de reacciones químicas, lo que conlleva un estudio totalmente diferenciado al aquí desarrollado y obligaría a entrar en discusiones propias de otros campos como la química. Además, hoy en día se pueden generar patrones y figuras cimáticas mediante simulaciones de software informático. No obstante, estos fenómenos no se estudiarán en el interior de este trabajo, atendiendo al sentido estricto de la definición plasmada. La investigación se centrará únicamente en las ondas de sonido y los fenómenos periódicos de vibración sobre la materia.

¹ El término *Crispations*, podemos encontrarlo tanto en (Faraday, 1828, 332) como en (Watts. 1904, 15), para definir formaciones estructurales sobre diferentes materiales.

5.- Efectos cimáticos sobre cuerpos sólidos.

En esta fase de la investigación, nos centraremos en las experiencias que producen los fenómenos de vibración sobre todo tipo de cuerpos sólidos²⁹ y desarrollaremos las principales características de cada uno de los distintos materiales, que serán utilizados como marcadores³⁰. Como en muchos otros campos de trabajo, es importante conocer los materiales y sus características, con el fin de adquirir el mayor grado de control posible sobre los procesos experimentales y poder exponer los resultados obtenidos de una forma clara y concisa.

“Por grande que sea el poder del oído para generar emociones, nunca alcanzará el nivel suficiente para transmitir la misma información que la vista. A través del lenguaje, el sentido del oído no puede alcanzar una claridad de la conciencia, que es innata en el sentido de la vista. ¿Quién puede reproducir una sinfonía después de una sola audición? ¿incluso recuperar alguno de sus temas? Pero, ¿Cuántos hay que después de mirar una imagen, pueden desde el principio, describir sus principales elementos”.

(Jenny, 2001, 21)

El estudio sobre cuerpos sólidos estará delimitado a un reducido número de materiales como el hierro, el cobre, el aluminio, el acero, el metacrilato, el vidrio, el plástico y la madera. Hay que tener presente que cada uno de estos materiales, tiene una velocidad de propagación del sonido diferente que afectará a los resultados obtenidos bajo las mismas variables de trabajo. Es igualmente importante delimitar la forma del sólido (una pieza circular o una cuadrada, proporcionaran bajo la influencia de la misma frecuencia unos resultados totalmente distintos, en cuanto a formación de patrones).

El mejor diseño para la obtención de figuras sobre cuerpos sólidos, es en formato de planchas³¹ (Chladni, 1804, 120). Por esta razón durante la rea-

29 Entenderemos por cuerpos sólidos en el transcurso de este trabajo, cualquier material que oponga resistencia a cambios en su forma o volumen, en reposo.

30 Denominamos marcadores, a los diferentes materiales que serán utilizados para visualizar las estructuras de formación de las ondas, tanto sobre sólidos como fluidos.

31 Se utilizará el formato de plancha, debido a que es la forma idónea para la resolución de estos experimentos. La característica principal para su utilización es su fino grosor, que permite la óptima transferencia de las vibraciones. La gran superficie que otorgan las caras en este diseño, permite depositar los diferentes marcadores para que se generen las estructuras nodales. Chladni en su tratado de acústica de 1804, ya deja patente que para la creación de estructuras visuales, la forma de placa es la idónea.

lización de la tesis, se aplicarán unas medidas estándar sobre los distintos sólidos. De esta forma, garantizaremos las mismas variables de trabajo en la obtención de resultados y permitirá realizar comparaciones entre estructuras generadas. En la siguiente tabla, aparecerán los diferentes tipos de planchas que se utilizarán para el desarrollo de las investigaciones a lo largo de la presente tesis doctoral. Todos los experimentos e investigaciones que consten en el interior de este trabajo, irán acompañados de una breve anotación que indicará el tipo de plancha y la frecuencia que se ha utilizado.

Tipos de planchas.

Plancha	Material	Dimensiones en cm.	Grosor en mm.
Cuadrada	Hierro/Cobre/Zinc	20x20	0.5
Rectangular	Cobre	25x16.5	0.5
Circular	Hierro/Madera	16/radio	0.5
Circular	Aluminio	16/radio	0.1
Hexagonal	Hierro	8/lado	0.5
Triangular	Hierro	10/Equilátero	0.5
Irregular	Madera/Hierro/Papel	-	-
Membrana	Plástico/Papel	-	-

Tabla I.

Es importante tener en cuenta que cuando aplicamos una frecuencia de “x” hercios sobre un cuerpo sólido (plancha), este se mueve hacia arriba y hacia abajo “x” veces por segundo. Como resultado de la flexibilidad limitada de los materiales y la inercia adquirida, las planchas no pueden seguir el movimiento provocado por la oscilación, de forma uniforme. En su lugar, adopta forma de onda.³²De este modo, mediante la utilización de diferentes tipos de marcadores, podremos visualizar las estructuras de onda que se forman sobre los sólidos.

“En la mayoría de los movimientos de una placa, los cambios de forma no se pueden expresar como curvas lineales, como en las vibraciones transversales de otros cuerpos sonoros. Los nodos no aparecen en forma de puntos inmóviles, sino en forma de líneas inmóviles a las que podemos llamar, líneas nodales”.

(Chladni, 1804, 120)

32 Este mismo proceso sucede con las varillas de resonancia o con los extremos de un diapasón. Podemos ver ejemplos de ello en cualquier manual de acústica. Véanse, las ilustraciones del libro; *Traité d’acoustique*, de Ernst Chladni mencionadas en las pág. 56-57.

5.1.- Efectos cimáticos con arena. Creación de las figuras Chladni.

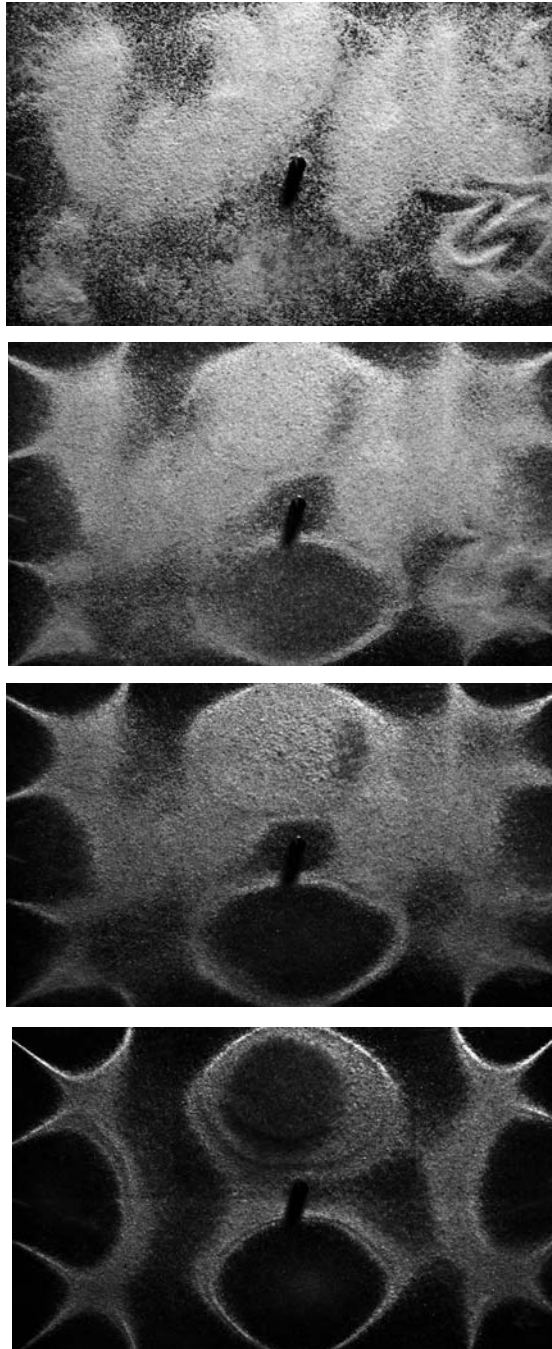
La arena de cuarzo es uno de los mejores materiales para el estudio de las propiedades del sonido y los fenómenos periódicos de vibración³³. La elección de este elemento como material “estándar”, se debe principalmente a su composición en forma de diminutos cristales, la coloración de sus partículas y la baja concentración de impurezas, que permiten realizar experimentos con altos niveles visuales de contraste. No obstante, existen materiales de características similares, como los cristales de sal, el betún de Judea en polvo y pigmentos, que actúan del mismo modo que la arena bajo la influencia de las vibraciones. De esta forma, los resultados obtenidos mediante la arena, serán extrapolables a los otros materiales anteriormente citados.

La amplitud y el tono son las características esenciales que determinan la estructura de las formas y figuras que se generarán mediante los procesos sonoros. No obstante, es importante tener en cuenta que existen factores externos a los procesos de vibración, que dictaminan el patrón final. Tanto la forma, tamaño de la plancha y su grosor, influirán en la creación final de la estructura que se genera. Una plancha cuadrada, rectangular, o de forma irregular, generarán patrones bien diferenciados bajo la influencia de un mismo tono. Otro factor que tiene una incidencia directa sobre las formaciones nodales, es el tipo de material del que está compuesto el sólido que se hace oscilar. Cada material generará un patrón diferente, debido a que la composición molecular de los materiales, afecta a la velocidad de propagación del sonido. La homogeneidad y el pulimento de la superficie, también son variantes a tener en cuenta ya que facilitarán en mayor grado la dispersión de las partículas. Otro factor importante que afectará a los procesos de creación, son las variaciones en la temperatura de una plancha. Esto permitirá que cambie la velocidad de propagación de las ondas, afectando a la claridad de las estructuras generadas. De estas características, se establece una clara conclusión; una frecuencia, solamente generará las mismas estructuras, si todos los factores anteriormente mencionados, son idénticos.

“Si la forma de una plancha no es regular, o si no está fijada sobre el centro de la misma, se generaran distorsiones sobre las figuras generadas”.

(Chladni, 1804, 129)

33 Cuando hablamos de procesos de *vibración* o *procesos sonoros* en esta tesis doctoral, hay que tener en cuenta que estamos hablando del mismo fenómeno. Todos los procesos desarrollados como fenómenos periódicos de vibración en el interior de este trabajo, están ligados a fenómenos sonoros y viceversa.



< *Figura 20. Figuras sonoras que van tomando forma a medida que la oscilación actúa sobre los cristales de arena de cuarzo. Este proceso mediante la modulación de la amplitud puede acelerarse o frenarse. Frecuencia aplicada; 890Hz. Plancha de Cobre de 25 x 16.5 cm. y 0.05 mm. de grosor. Imagen del Autor.*

“Podemos crear patrones idénticos con un tono concreto. Esto significa que todas las figuras sonoras que son creadas por oscilación son el resultado de un argumento y un consentimiento entre la oscilación simulada y el medio agitado. Son la expresión del dialogo entre la vibración del tono y la respuesta de la materia.”

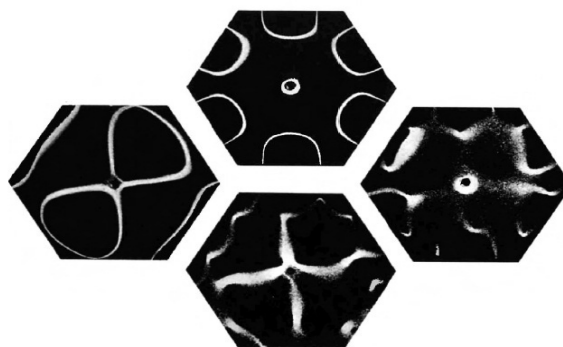
(Lauterwasser, 2002, 42)

Cuando iniciamos un proceso de vibración, la tecnología de la que disponemos en la actualidad permite mantener una frecuencia determinada y prolongarla en el tiempo (podemos variar los patrones o mantenerlos sobre una plancha a nuestra voluntad). No es solo posible generar y reproducir patrones de vibración en cualquier momento e investigar las leyes que los crean, sino que también abarcamos el estudio de las transiciones de una figura a otra y podemos optar por detener los experimentos en cualquier momento, con el fin de observar cada una de las fases.

En la página anterior podemos observar una transición, en el que la figura se forma lentamente sobre una plancha de cobre sobre la que se ha depositado arena de forma uniforme (*figura 20*). La imagen muestra la situación antes de la excitación y como comienza el impulso, dando lugar al movimiento de las partículas hasta alcanzar finalmente la figura geométrica bien definida. Este proceso tan simple en el que la frecuencia permanece inmutable en el tiempo, es imposible de realizar mediante procesos manuales como el desarrollado con la arqueta de violín.³⁴

Uno de los procesos de transición de fases más relevantes que podemos observar, sucede cuando conectamos más de un generador de ondas sobre la misma plancha y observamos los efectos que se producen. Como se aprecia en la *figura 21*, si a una plancha se le aplica una única frecuencia, esta forma un patrón determinado. Cuando en la misma plancha actúa una segunda fuente de vibración y se aplican dos frecuencias al unísono, la forma del patrón cambia radicalmente y se desvanece. Mediante el uso combinado de osciladores se pueden efectuar una gran variedad de condiciones de interferencia.

Figura 21. Procesos de interferencia generados por la aplicación de varias frecuencias sobre una misma placa. Podemos observar como las placas superiores tienen el patrón bien definido y como cuando se les aplica un segundo punto de oscilación, se rompe la estructura. >



(Jenny, 2001, 23) >

34 Los tonos que se generan mediante la arqueta de violín sobre una plancha, no se pueden mantener en el tiempo de una forma constante, debido al proceso manual que requiere acariciar una plancha con el arco. Mediante los sistemas manuales, una vez aplicada la excitación del tono, el sonido y la vibración generados se diluyen a los pocos segundos.

Al iniciar una investigación de estas características, es preciso desarrollar el trabajo comenzando por experimentar con las frecuencias más bajas e ir aumentando poco a poco el espectro, con el fin de descubrir todos los efectos y propiedades. Pronto encontraremos que son especialmente interesantes, las etapas intermedias en las que el efecto de la vibración al cambiar de un patrón a otro, genera un efecto de movimiento en la arena similar al que realiza el agua en los meandros de los ríos. La arena, se comporta como un flujo y origina movimientos rotatorios, en los que puede girar en el sentido opuesto al de formación de las líneas nodales. Todo este conjunto de procesos (Interferencias, flujos y rotaciones), son efectos de carácter dinámico que adquieren mayor nivel de comprensión, si son visualizados en directo o mediante vídeo. Por este motivo, durante toda la fase de experimentación se realizarán instantáneas y filmaciones, que mostrarán más detalladamente todos los procesos de formación.

Cuando aplicamos un tono sobre una plancha que contiene arena, este elemento funciona como un material de dispersión. Es decir, se mueve desde su ubicación en todas direcciones, creando sobre la superficie un conjunto de líneas nodales que dan lugar finalmente al desarrollo de los denominados patrones o figuras Chladni. En la *figura 22*, se puede observar una disposición uniforme de arena sobre la superficie de una plancha cuadrada. Cuando comienza a aplicarse vibración, la arena se desplaza hacia el exterior, generando las oquedades producidas por las ondas sonoras que conformaran el dibujo final.

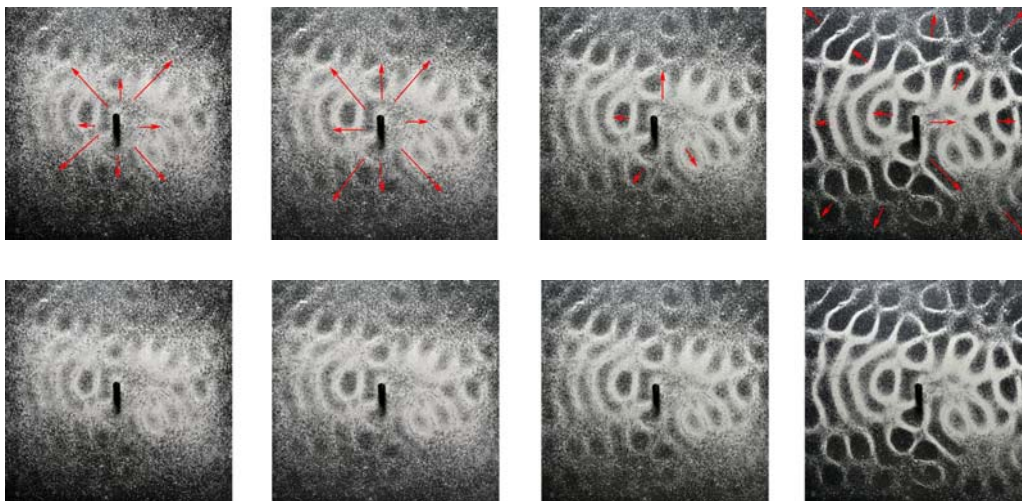


Figura 22. En estas dos secuencias, podemos observar una placa de cobre de 20 x 20 cm. de longitud y 0.5mm. de grosor, sometida a 4900Hz. Las flechas rojas muestran el proceso en el que la arena comienza a moverse desde el epicentro de la placa hacia el exterior. Imagen del autor.

Los cristales de arena pueden permanecer en dos estados bien diferenciados, mientras se ven afectados por la influencia de las vibraciones. El primero de ellos enmarcado en el interior de las circunferencias de color rojo (*figura 23*), es un estado de fluidez constante. Se observa como las partículas de arena están en continuo movimiento sobre la plancha, originando pequeñas concentraciones en forma de nebulosa. Este efecto, se refleja en la fotografía con formaciones difuminadas y de dispersión. El segundo estado es el reposo absoluto como se puede apreciar en el interior de las circunferencias amarillas. Las partículas están bien definidas sobre puntos nodales, debido a la falta de oscilación. Encontraremos un rango muy estrecho de frecuencias entre los 50Hz y los 300Hz, capaces de crear una situación en la que ambos estados se muestren presentes a la vez.

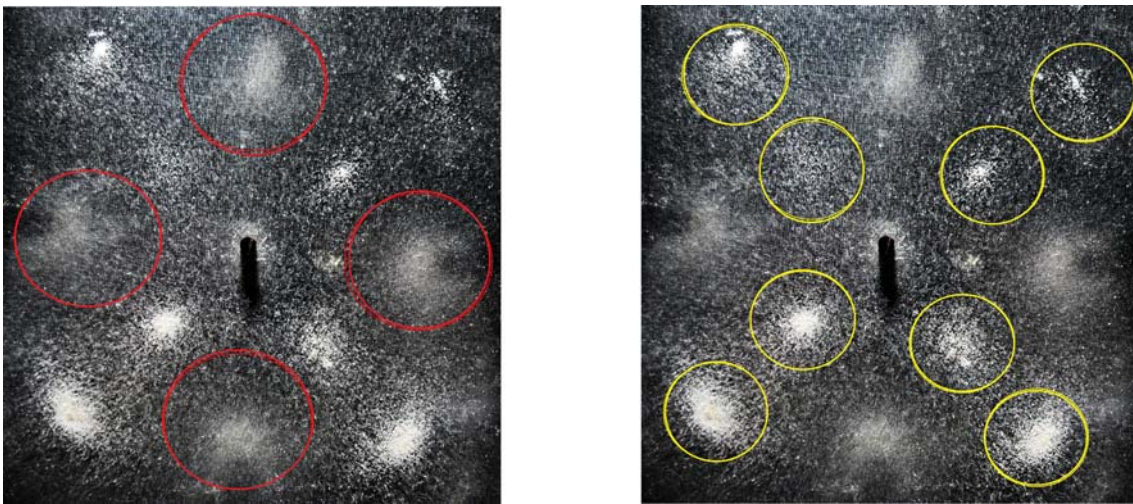


Figura 23. La imagen muestra dos instantáneas de la misma plancha de hierro de 20 x 20 cm. y 0.5 mm. de grosor, a la que se ha aplicado una frecuencia de 110Hz. En el interior de los círculos de color rojo aparece el marcador en un estado de flujo constante. En cambio la imagen con círculos de color amarillo, muestra puntos en los que se deposita la arena y queda en reposo. Imagen del autor.

Uno de los aspectos fundamentales que hay que tener en cuenta en todos los procesos de formación sobre cuerpos sólidos, es que la arena (o cualquier otro tipo de material que se utilice como marcador), será la encargada de dibujar las líneas nodales cuando actúe la vibración. Esto significa que por las líneas donde queda depositada la arena, no fluyen las ondas de sonido. Las vibraciones crean una imagen en negativo sobre la superficie de la plancha. Es decir, la superficie que queda libre de arena, muestra realmente la zona donde han actuado las ondas (*figura 21*).



< *Figura 24. Estas dos imágenes muestran patrones distintos generados por las líneas nodales de formación. Las líneas formadas por arena, marcan las zonas donde no aparecen las estructuras de onda. Ambas planchas son de hierro de 20 x 20 cm. y 0.5 mm. de grosor. Frecuencias utilizadas 960Hz y 9430Hz. Imagen del autor.*

“Las masas afectadas por un tono, por supuesto, son forzadas naturalmente hacia el sentido correspondiente de la vibración”.

(Jenny, 2001, 27)

“En general, las figuras más simples donde el sonido es más grave, aparecen con mayor facilidad. Para facilitar los movimientos complejos mediante la arqueta del violín, en la que aparecen los sonidos son más agudos, será necesario emplear más velocidad y presión sobre la placa”.

(Chladni, 1809, 124)

Cuando las vibraciones actúan sobre un cuerpo sólido con cierto grado de angulación, la arena entra en estado de resonancia y adopta características anti-gravitatorias. Como se puede observar (*figura 25*, realizada sobre una superficie cóncava), la arena se desplaza hacia uno de los laterales escalando la pared de un cuenco. Mientras el tono perdura en el tiempo, la arena se aglutina sobre si misma creando elongaciones y crestas. Adopta características similares a las observadas en fluidos. Cuando los tonos se interrumpen, las masas se deslizan hacia abajo por la fuerza de la gravedad. Si se reanuda la vibración del tono, rápidamente la masa tiende a regresar a su posición. Si utilizamos una gran cantidad de arena en un recipiente cerrado (en el que la dispersión del material no puede producirse), esta actúa como una única masa y su comportamiento de nuevo se asemeja al de un flujo. La arena se agrupa en cúmulos, formando pequeñas ondas que se desplazan por la superficie. A este efecto, en el que el material se comporta de manera diferente al que le corresponde su estado, le llamaremos cambio de fase en la materia. Este efecto, lo podremos observar en la mayoría de materiales que son sometidos a la influencia de la vibración. No obstante, la arena es el material en el que menos cambios de este tipo se producen.

Hay que tener en cuenta que cuando realizamos experimentos con planchas de metal y aplicamos una señal de menos de 35Hz, no se generan estructuras regulares sobre su superficie. En cambio los fenómenos de cambio de fase, si son muy habituales y podemos observar como la arena genera nubes de polvo, que se desplazan sobre la superficie de la plancha sin rumbo aparente (*figura 23*). Como observaremos más adelante, entre 1Hz y 14Hz, el proceso de oscilación no causa ningún efecto sobre la arena. A medida que aumentamos el rango de frecuencias, la arena se comienza a desplazar de forma suave por la superficie. A medida que aumentamos el rango de frecuencias entre los 55Hz y 20.000Hz, la arena en la superficie de los sólidos comienza a formar figuras definidas y es bajo estas circunstancias, cuando surgen algunos de los efectos más impresionantes como la rotación horaria/anti-horaria en un mismo plano (*figura 26*) y la creación de espirales que rotan sobre su propio eje (*figura 27*).

El efecto de contra-direccionalidad en la arena, es muy difícil de detectar ya que surge en pequeñas formaciones nodales que dificultan su registro mediante la fotografía. En cambio las rotaciones espirales, aunque también son diminutas, son apreciables a simple vista y es uno de los fenómenos de mayor complejidad que aparecen sobre planchas.

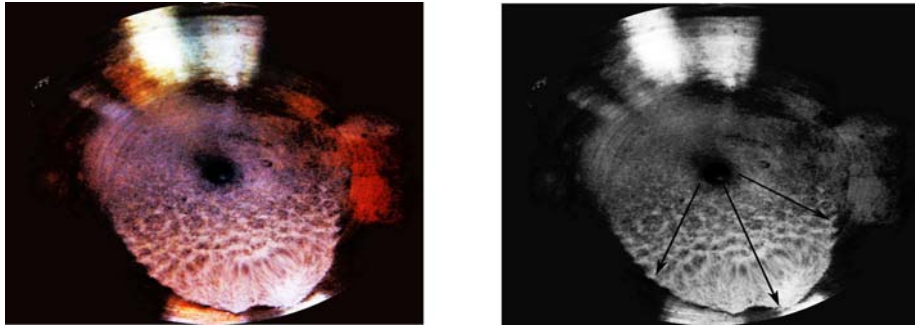


Figura 25. Cuenco de vibración cóncavo en el que se ha depositado arena. La resonancia hace que la arena se acumule formando aglomeraciones y adquiera propiedades anti-gravitatorias. Podemos observar como el material se concentra en un lateral e intenta escalar la pendiente. Imagen del autor.

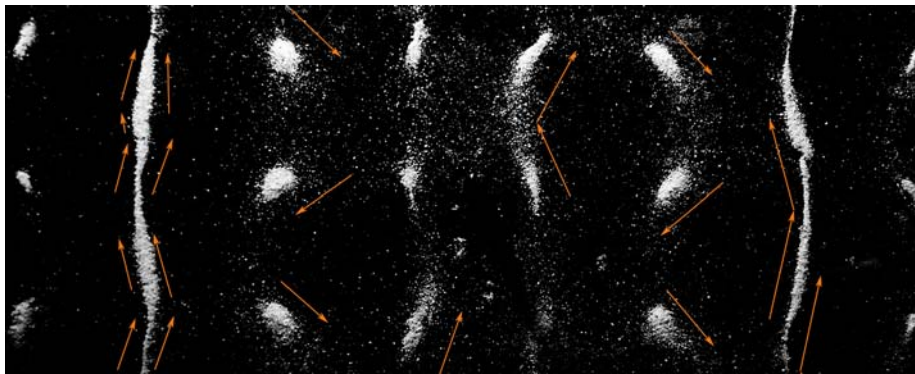


Figura 26. Efecto anti-rotación que se genera sobre una plancha rectangular de 25 x 16.5 cm. Oscilando a 8500Hz. Las líneas verdes y azules muestran la direccionalidad que adopta la arena en la creación de líneas nodales. Este efecto recuerda a la formación de meandros en ríos. Imagen del autor.

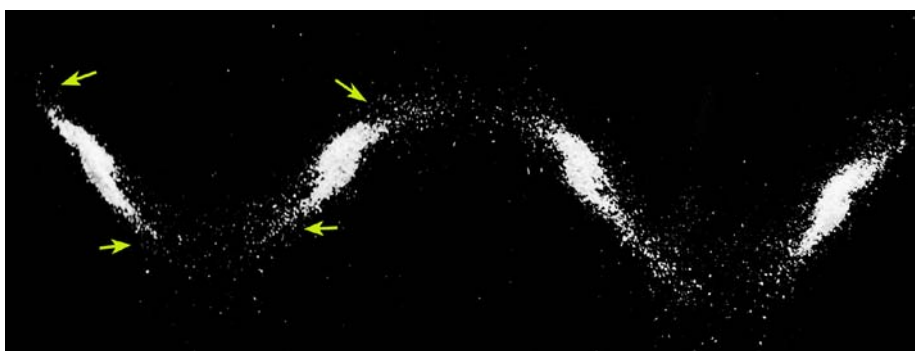


Figura 27. Podemos observar en esta imagen el efecto de rotación anti-horario que se genera en las formaciones de carácter espiral que se forman sobre una plancha. Frecuencia de 535Hz, sobre una plancha rectangular de 25 x 16.5 cm. Imagen del autor.

Si iniciamos un ciclo de vibración creciente, en el que empezamos desde uno de los primeros tonos que crea una figura geométrica reconocible 100Hz, y aumentamos el rango de frecuencias en 10 hercios constantemente, podremos analizar la mayoría de estructuras de formación que se generan como resultado de los procesos sonoros. Analizando las estructuras, observaremos en el video número 1³⁵, como las formaciones siguen un orden aparente. Este vídeo, permitirá comprender como se estructuran las ondas y como siguen un patrón creciente. Es importante remarcar que el patrón de las figuras Chladni, se repite cuando aumentamos las frecuencias. No obstante no es una repetición lineal, sino que aumenta el número de elementos que lo forman (*figura 28*). Dicho de otra forma, a medida que aumenta el tono, es como si hiciéramos un *zoom atrás*, para descubrir la complejidad de los patrones latentes.

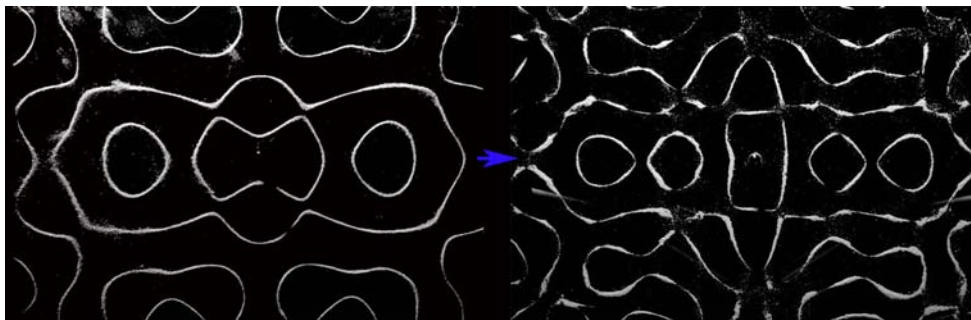


Figura 28. Podemos observar 2 planchas de cobre de 25 x 16,5 cm. y 0.5 mm. de grosor. Se ha aplicado un tono de 3930 Hz y 6310 Hz, respectivamente. Ambas imágenes muestran como base el mismo patrón de formación. Imagen del autor.

Mediante el uso de la técnica de revisión secuencial de las imágenes, hemos podido comprobar como en ocasiones se generan estructuras de formación que no responden al orden establecido dentro de la secuencia aparente. Estos patrones, se generan como estructuras anti-nodales en las que la arena, en lugar de depositarse en forma de líneas, genera puntos ordenados sobre la superficie (*figura 29*). A medida que aumentamos el tono, se hace patente que la complejidad estructural aumenta. Cuando las frecuencias son bajas, las líneas crean estructuras sencillas (*figura 30*), mientras que cuando las frecuencias son muy altas, las estructuras que se forman generan patrones más complejos (*figura 31*).

“Las placas rectangulares son las primeras que expongo en mi trabajo, porque pueden servir como modelo de trabajo para cualquier otro tipo de forma.”

(Chladni, 1804, 135)

³⁵ Mediante la técnica del stop-motion, analizaremos los primeros 7160Hz en un rango de 10Hz entre imágenes, en el DVD adjuntado en el Anexo I.

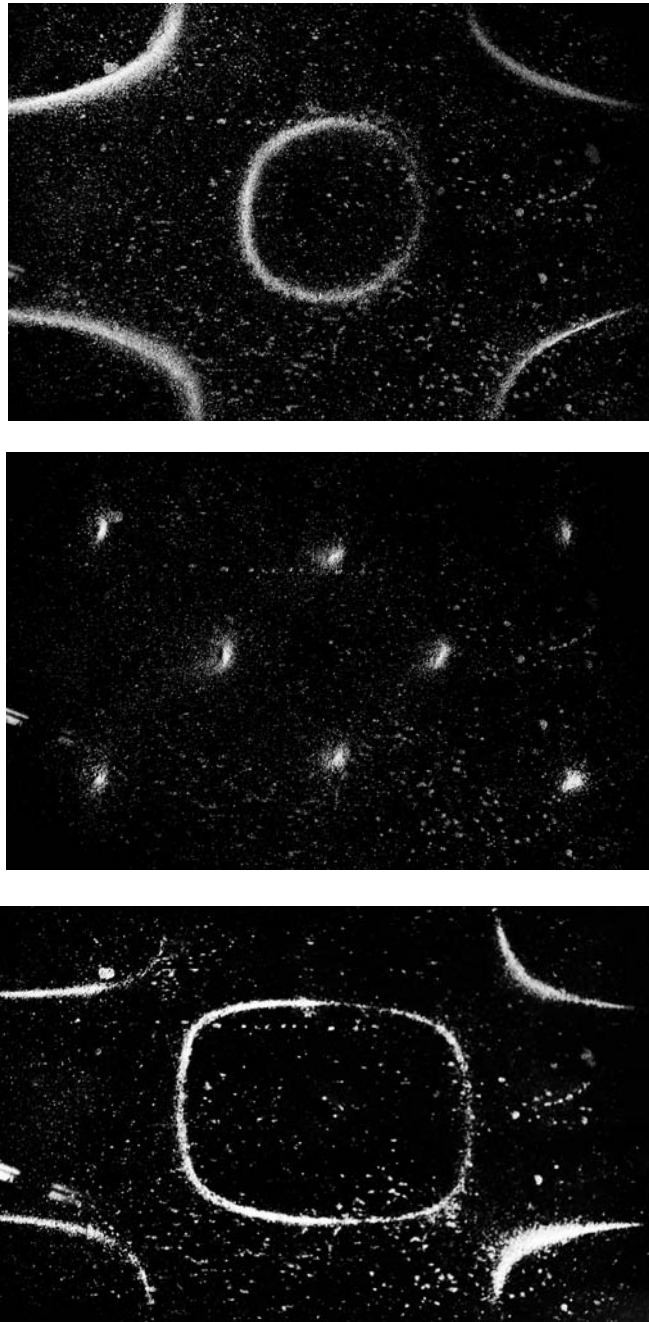


Figura 29. Podemos observar como la plancha del medio no sigue el patrón pre-establecido que debería. La secuencia corresponde a las frecuencias 240Hz, 250Hz, 260Hz. Observamos como queda una fase intermedia que genera estructuras anti-nodales en forma de puntos ordenados sobre la superficie que rotan sobre su eje. Imagen del autor.

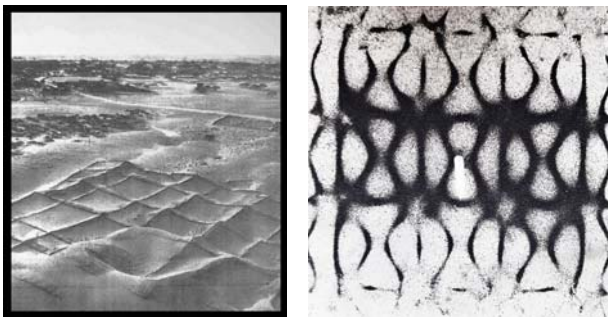


Figura 30. Plancha de hierro circular de 32 cm. de diámetro y 0.5 mm. de grosor sobre la que se ha aplicado un tono de 1850Hz. Las frecuencias dentro de la gama comprendida entre 100Hz y 2000Hz son relativamente bajas y forman una figura bien definida. Imagen del autor.



Figura 31. Plancha de aluminio circular de 32 cm. de diámetro y 0.1 mm. de grosor sobre la que se ha aplicado un tono de 15.080Hz. La utilización de altas frecuencias genera una figura a la que le cuesta definirse con claridad. Imagen del autor.

Cuando actúan sobre la arena altas frecuencias cercanas o superiores a los 6000Hz, se produce en ocasiones un proceso de formación escalonado. Este proceso muy común en las zonas desérticas, consiste en la aglomeración de muchas partículas en puntos concretos de las planchas, formando dunas sobre la superficie de las líneas. Podemos observar las formaciones en las que la arena (*figura 32*), se deposita creando pequeñas crestas y depósitos sobresalientes de la superficie, dando lugar a la asociación con los procesos de generación de dunas.



< *Figura 32. Formación de estructuras complejas sobre una plancha de hierro cuadrada de 20x20 cm. y 0.5 mm. de grosor. Se observa en el contraste, las acumulaciones de arena que generan estructuras de duna. Imagen del autor.*

La temperatura como hemos mencionado anteriormente es otro de los aspectos que afectará al material en al proceso de vibración. La variación de unos grados sobre la superficie de cualquier plancha, producirá que con la misma frecuencia vibratoria se obtenga un patrón diferenciado. Si aplicamos en medio de un proceso de oscilación una fuente de calor, variará la forma progresiva del patrón. La zona donde se aplica el calor, se distorsiona en primer lugar y poco a poco afecta al resto de la superficie (*figura 33*).

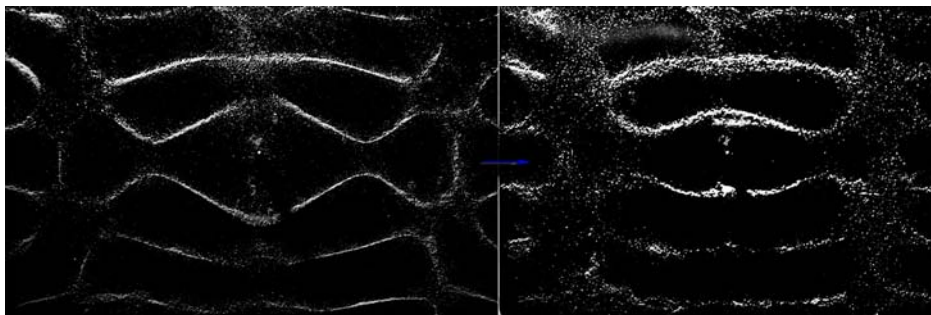


Figura 33. En estas planchas podemos observar un proceso de oscilación de 2280Hz, al que se le ha aplicado una fuente de calor. La imagen se transforma y se desvirtúa, tornándose borrosa debido a que las partículas de arena no logran establecerse debidamente por el cambio de temperatura. Plancha de cobre de 25 x 16.5 cm. y 0.5 mm. de grosor. Imagen del autor.

La arena responde de igual forma a la hora de generar figuras sobre distintos materiales como el cristal, el plástico, el papel, los metales y la madera. La única diferencia que encontraremos en este proceso es la velocidad de propagación del sonido sobre los materiales (*figura 34*), que provocará distintas formaciones de patrones bajo la influencia de la misma frecuencia.

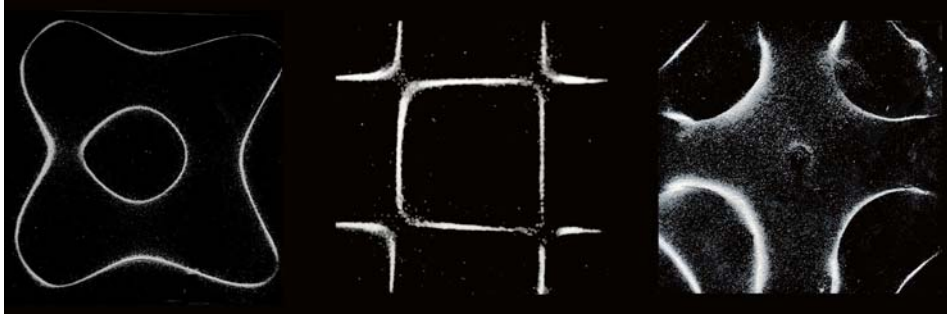


Figura 34. En esta imagen podemos observar el proceso de formación de estructuras con una misma frecuencia de 470Hz, sobre planchas de 20x20 cm. La primera plancha es de cobre de 0.5 mm. de grosor. la segunda de Zinc de 1 mm. de grosor y la tercera es de hierro de 0.5 mm. de grosor. Observamos como en cada una se genera un patrón diferenciado. Imagen del autor.

Las estructuras cuyo modelo de vibración no se pueden calcular mediante cálculos matemáticos (debido a su tamaño, forma o composición), únicamente pueden mostrarse mediante la experiencia visual. La siguiente imagen (*figura 35*), representa una figura sonora, en un modelo de forma arbitraria que contiene una serie de curvas irregulares. Las condiciones revelan varios lóbulos que pueden ser estudiados solo de forma visual. Se pueden observar los fenómenos de flujo y como la arena fluye por la superficie de madera.

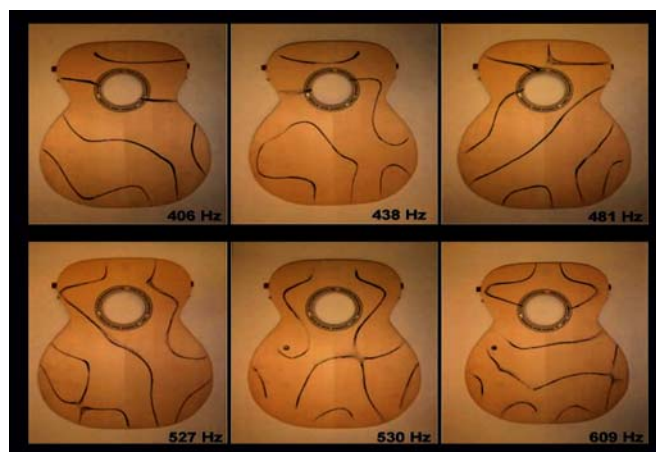


Figura 35. Figuras sonoras sobre la superficie de la tapa de una guitarra. Estas figuras son un modelo únicamente calculable mediante un proceso visual. Imagen del autor.

Uno de los factores más influyentes a la hora de realizar trabajos sobre planchas, es el manejo de los niveles de amplitud. Cuando iniciamos procesos de oscilación (para generar figuras Chladni), con frecuencias comprendidas entre los 30-100Hz, si utilizamos de forma suave el nivel de amplitud, permitirá visualizar los procesos de creación de estructuras nodales muy simples como la aparición de líneas paralelas (*figura 36*) o semi-figuras. Si por el contrario queremos visualizar procesos de flujo, en los que la arena genere estructuras con cierto grado de movimiento y flujo, los niveles de amplitud deben de ser más elevados (*figura 37*). Finalmente si nuestro objetivo es estudiar los fenómenos asociados a la reverberación (como son los cambios de fase en los que la arena se comporta como un flujo o un gas desplazándose por toda la superficie de la plancha de forma aleatoria), deberemos utilizar niveles de amplitud muy elevados (*figura 38*).



< *Figura 36. Imagen de un proceso de oscilación con niveles de amplitud muy bajos generado con una frecuencia de 100Hz sobre una plancha circular de madera de 11.5 cm. de radio y 0.5 mm. de grosor. Podemos apreciar la formación de dos líneas paralelas que se forman lentamente. Imagen del autor.*

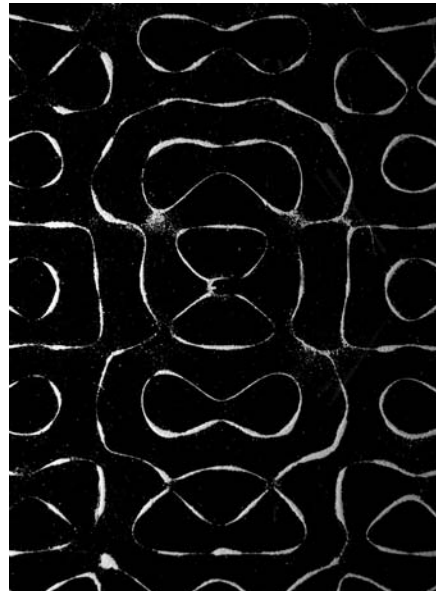
Figura 37. La imagen muestra un proceso de media amplitud, con una frecuencia de 100Hz. Las líneas paralelas entran en un flujo dinámico, alternando un movimiento de vaivén hacia el interior y el exterior de la plancha. Imagen del autor. >



< *Figura 38. Imagen de un proceso de alta resonancia generado por niveles muy elevados de amplitud. Observamos como sobre la plancha se generan formaciones nodales en forma de puntos y como a su alrededor y por la superficie de la plancha aparece mucha arena en un cambio de fase, comportándose como un flujo o un gas. 100Hz. Imagen del autor.*

Este proceso de regulación de la amplitud, es de vital importancia a la hora de generar figuras Chladni. Cuanto más alta es la frecuencia utilizada, habitualmente necesitaremos niveles más altos de amplitud para generar estructuras. Incluso en algunos momentos, la falta de amplitud en frecuencias superiores a los 15.000Hz, ocasionará que no se puedan generar figuras. Cuando las frecuencias que actúan están comprendidas en un rango entre 100-5000hz, las figuras se generan al instante de aplicar el tono. Si aumentamos el rango entre los 5000-20.000Hz, se necesitará mantener el tono prolongado en el tiempo durante unos segundos, hasta que por fin se alcance la estructura (figura 39). En muchas ocasiones, dentro de este rango, las estructuras por falta de potencia en la amplitud quedan inacabadas o menos detalladas que las que se generan con frecuencias más bajas (figura 40).

Figura 39. Esta plancha de cobre de 25 x 16.5 cm. y 0.5 mm. de grosor, muestra como el tono genera de inmediato la figura, y esta queda bien definida. 7080Hz. Imagen del autor >



< Figura 40. La misma plancha de cobre que en la imagen anterior, muestra un proceso de 12.300Hz. El tono tienen que permanecer en el tiempo más tiempo para generar la estructura y aun así, esta queda parcialmente indefinida. Imagen del autor.

Otra característica importante que está enfocada hacia el contexto creativo, es el tamaño de las planchas. El formato debe ajustarse al tamaño del generador de ondas que se utiliza para crear las estructuras. Si bien en el marco de esta tesis doctoral se ha trabajado con planchas de formato menor, debido a que facilitan el manejo para el desarrollo del proceso experimental, el tamaño únicamente esta acotado por la capacidad estructural y de soporte del generador de ondas utilizado. Es imprescindible saber que las planchas por muy grandes que sean, siguen generando los mismos patrones. Únicamente cambia la escala de las figuras que se generan en su superficie.

Como parte de la investigación y a través de las miles de fotografías realizadas sobre la formación de figuras Chladni, se ha realizado un catálogo de las formaciones generadas a intervalos de 10hz. Este catálogo se podrá encontrar en los anexos y será una de los mayores átlas de figuras Chladni, realizado sobre planchas de distintos formatos.

Catálogo de planchas realizado mediante fotografías para el Anexo I.

Tipo de plancha	Rango de frecuencias	Material	Tamaño en cm.	Grosor en mm.
Cuadrada	100 - 590Hz	Hierro/Cobre	20 x 20	0.5
Rectangular	100-7680Hz	Cobre	25 x 16.5	0.5
Redonda	100-1800Hz	Hierro/Madera	16 radio	0.5

Tabla II.

Los catálogos que estarán adjuntos como anexos, están desarrollados mediante la utilización de frecuencias exactas. Es decir, toda la gama de frecuencias utilizada ha partido de números enteros (sin decimales). Desarrollar un catálogo de las frecuencias en intervalos de diez hercios, permitirá conocer de forma controlada la mayoría de estructuras y la evolución de las formas que se generan, dentro del rango audible por el ser humano. Durante la tarea experimental, nos encontraremos en muchas ocasiones con amplios rangos de frecuencia que no producen alteraciones en los patrones, o que no crean estructuras. Cuando estos rangos aparecen, saltaremos directamente hasta la próxima frecuencia capaz de generar un patrón diferenciado.

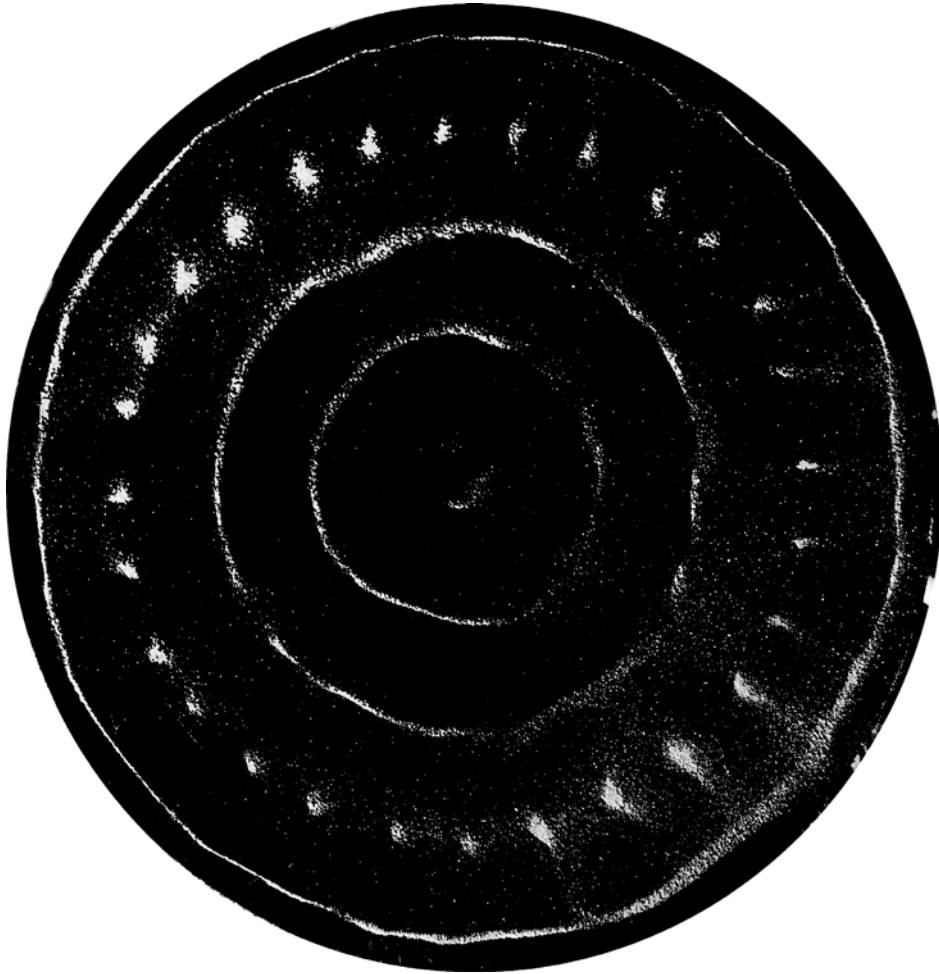


Figura 41. Plancha redonda de hierro de 16cm. de radio y 0.5 mm. de grosor. Frecuencia de 2770Hz. Imagen del autor.

“En todos los tipos diferentes de vibraciones sobre una placa circular, las líneas nodales de formación que obtendremos son o diametrales o circulares, pudiendo ser regulares e irregulares, dependiendo de la alteración del sonido”.

(Chladni, 1804, 173)

5.2.- Efectos cismáticos sobre limaduras de Hierro.

Las limaduras de hierro son otro de los materiales que se utilizarán como marcadores para el estudio de los procedimientos cismáticos sobre cuerpos sólidos. Este material está compuesto por una masa homogénea de diminutas partículas de un gramaje muy fino, que forman una masa al igual que la arena. No obstante las propiedades magnéticas del hierro, otorgarán unas características propias a este material.

Cuando se inicia un proceso de oscilación con bajas frecuencias (de entre 15Hz y 30Hz), aparecen los primeros fenómenos destacables de este material. El movimiento oscilante hacia arriba y hacia abajo producido, provoca un efecto de conjunción en el que las limaduras se acumulan y se apilan formando masas que se mueven al unísono (*figura 42*). Si realizamos una exhaustiva observación durante el proceso de oscilación, visualizaremos el cambio constante en el campo magnético de las partículas que en lugar de generar patrones y figuras (como con la arena), crean concentraciones en forma de picos y depresiones (*figura 42 y 45*).

La fricción que se genera entre las partículas por el movimiento oscilatorio, crea niveles de carga eléctrica sobre las partículas de hierro. Este proceso reduce la cohesión y adhesión de las mismas en forma de líneas y evita la formación de patrones a bajas frecuencias. En su lugar se originan pequeñas agrupaciones que conforman alineamientos magnéticos (*figura 44*). A medida que aumentamos el rango de frecuencias por encima de los 200Hz, las finas partículas de metal se distribuyen desde el interior de la plancha hacia el exterior de forma uniforme y radial. El proceso de formación, es similar al que podemos observar con las figuras realizadas mediante arena. No obstante, las partículas de hierro, tardan más en organizarse para formar las estructuras en forma de patrón.

Las limaduras por norma general, no generarán figuras o patrones bien definidos bajo la influencia de los procesos sonoros. No obstante, bajo la acción de algunos tonos, si aparecerán formaciones de carácter similar a las figuras Chladni, que difieren en aspectos estructurales y de simetría, respecto a las generadas mediante materiales como la arena.

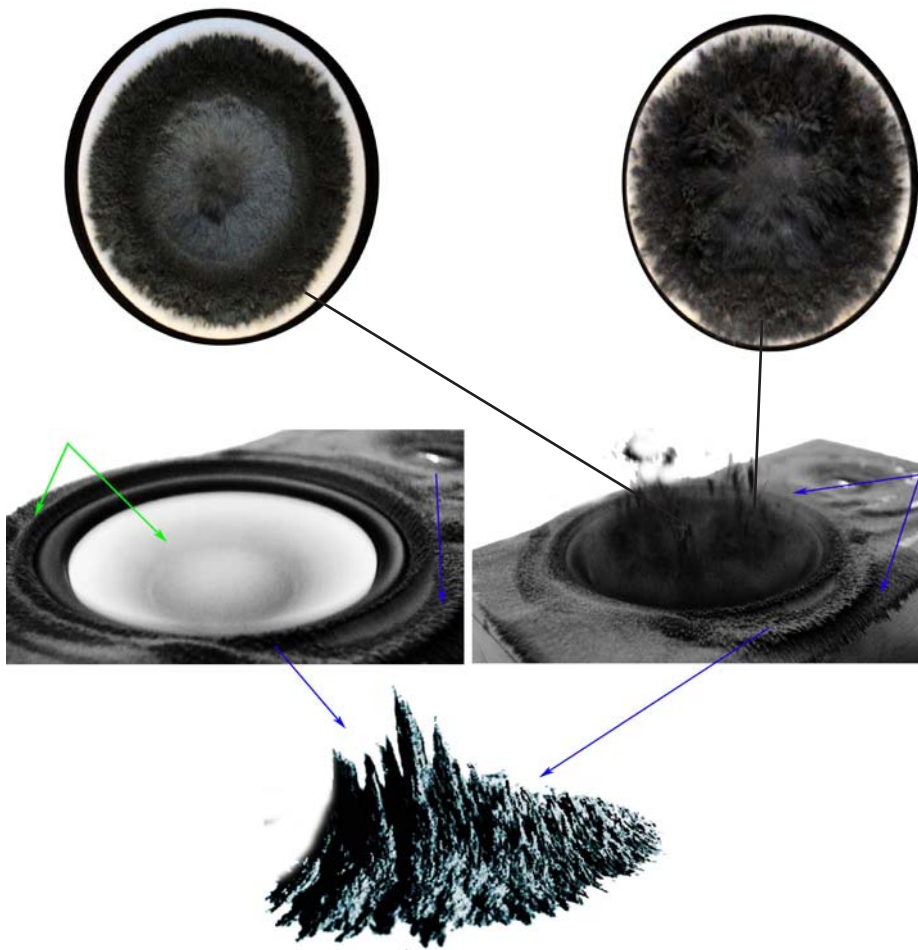


Figura 42. En estas imágenes podemos observar un fenómeno de vibración sobre una membrana de cartón con forma circular, en la que aparecen aglomeraciones de materia producidas por el movimiento oscilante. Ratio de muestreo 30-95Hz. Imágenes del autor.

“La arena que se extiende sobre la superficie de las planchas, puede ser arena ordinaria. Cualquier otro tipo de material semejante como las limaduras de hierro o de cualquier otro metal, servirán para producir efectos nodales sobre las placas. No obstante, las figuras se experimentan mejor mediante arena porque es menos fina y de esta manera, no se pegan a la superficie de la placa”.

(Chladni, 1804, 124)

Las limaduras de hierro tienen una velocidad de dispersión diferente a la arena de cuarzo. Esto provocará que se generen estructuras o formaciones de patrones diferentes bajo las mismas frecuencias. Podemos observar un ejemplo de este proceso (*figura 43*), en el que las limaduras formalizan una estructura menos definida de una figura Chladni. Las acumulaciones de material son mucho más propensas en las partículas de hierro, en contraposición con los cristales de cuarzo, debido al efecto electromagnético. Este efecto hará que las limaduras se agrupen en masas de difícil disolución.

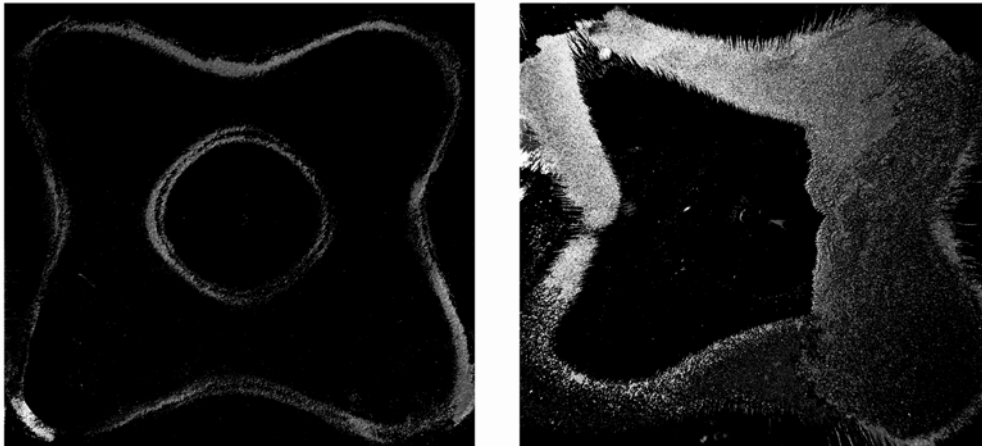


Figura 43. En las fotografías, observamos dos planchas de cobre de idénticas dimensiones (20x20 cm. y 0.5 mm. de grosor), con un dibujo de características similares. La primera realizada con arena esta sometida a un tono de 480Hz. En la segunda de las dos imágenes, el marcador utilizado son limaduras de hierro oscilando a 610Hz. Podemos observar que el contorno de formación de estas partículas, no está bien definido como en la figura de arena. Mientras que las limaduras distorsionan la figura y se mantienen formando grandes masas, la arena forma siempre una figura bien delimitada. Imágenes del autor.

Una vez actúan las vibraciones sobre las partículas de hierro, estas tienden siempre a juntarse formando una fina hilera que marca la direccionalidad magnética que adoptan sobre la superficie. Estas líneas no desaparecen cuando la influencia vibratoria deja de actuar sobre ellas, facilitando la visualización del fenómeno durante los instantes en los que no existe vibración. Este efecto visto desde la horizontal del plano (*figura 42*), revela como en ocasiones cuando las partículas permanecen en el aire, ya se alinean para conseguir estas líneas magnéticas. Observando un proceso de oscilación sobre una plancha de cobre, podremos apreciar como la fuerza producida por las vibraciones, dispersa el material unos milímetros entre si, generando líneas magnéticas que nos indican la direccionalidad que adquieren las agrupaciones de partículas (*figura 48*).



Figura 44. Ampliación de un proceso de oscilación sobre una plancha de cobre en el que se aprecian una gran cantidad de líneas que adoptan una estructura magnética indicando una direccionalidad radial desde el epicentro de la oscilación. 600Hz. Imagen del autor.

Un fenómeno excepcional, que únicamente producen las limaduras de hierro (o partículas metálicas), sucede cuando bajo la influencia de determinadas frecuencias, estas partículas entran en resonancia y actúan conjuntamente amplificando notablemente el tono. El oído, aprecia un ligero silbido metálico causado por el efecto de miles de partículas que actúan como diminutas cajas de resonancia. Otra característica que aparece en el comportamiento de las limaduras de hierro, es la capacidad del cambio de fases en el estado de la materia. Este fenómeno que ya hemos visualizado en el capítulo anterior en la arena, se produce cuando la oscilación actúa sobre grandes cantidades de material. La capacidad de modular el rango de frecuencia y la amplitud, permiten controlar estos cambios.

Estos cambios de fase en las partículas metálicas, originan dos estados de la materia bien diferenciados, que pueden aparecer conjuntamente o de forma separada, según la frecuencia y amplitud utilizadas.

-En el primer estado denominado de asociación, las partículas de hierro cuando entran en resonancia se aglutinan para generar líneas nodales magnéticas o formaciones que emulan las cordilleras montañosas, formando crestas, picos y valles (figura 45).



Figura 45. Esta imagen muestra la eyección de masa de limaduras, por parte de una membrana. Imagen del autor.

-El segundo estado denominado de condensación, se genera cuando las partículas que entran en resonancia bajo la influencia de frecuencias entre los 20Hz y los 300 Hz, adquieren volatilidad y se agrupan en nebulosas de distintas densidades. Este efecto suele generarse sobre medios con un grado mayor de elasticidad como papel o membranas (figura 46).



Figura 46. Podemos observar como el hierro puede comportarse como un sólido o permanecer en una especie de estado gaseoso, en el que las partículas forman densas nebulosas. Estas cesan cuando deja de actuar la oscilación. En la zona exterior del cono, se deposita parte del material expulsado y se hacen visibles las estructuras magnéticas originadas debido a la carga que adquieren las partículas por fricción. Imagen del autor.

Quando hablamos de la formación o creación de tipos de estructuras mediante limaduras, descubriremos que cuando la amplitud del tono es muy elevada, bajo determinadas frecuencias se producen agrupaciones en forma de montículos circulares (figura 47). Dependiendo de la frecuencia aplicada, estas agrupaciones giran en sentido horario a gran velocidad o en sentido anti-horario. Este efecto solo se percibe sobre superficies sólidas de menor rigidez como membranas de plástico o de papel, utilizadas en los altavoces. Sobre la superficie de planchas metálicas no podremos observar estos procesos debido a su baja elasticidad.

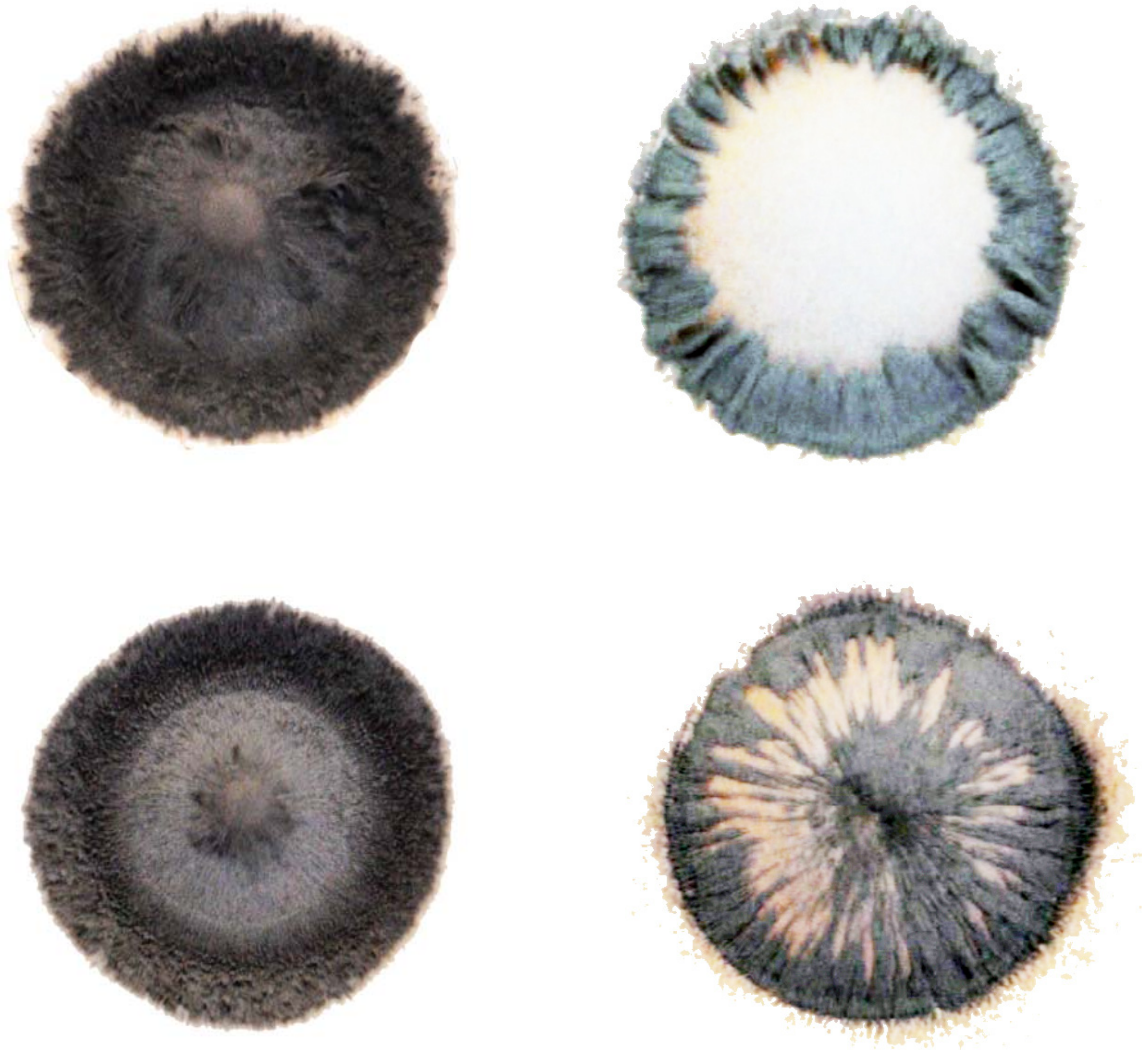


Figura 47. En estas imágenes podemos apreciar la creación de estructuras sobre membranas, en las que aparecen formaciones de tipo monticular. Estas formaciones giran en sentido horario o anti-horario, según la frecuencia y el tono aplicados. Son procesos en los que no podemos controlar la frecuencia exacta que genera estas formaciones, debido a que inciden múltiples variables como la cantidad de material, el tono y la amplitud. Imágenes del autor.

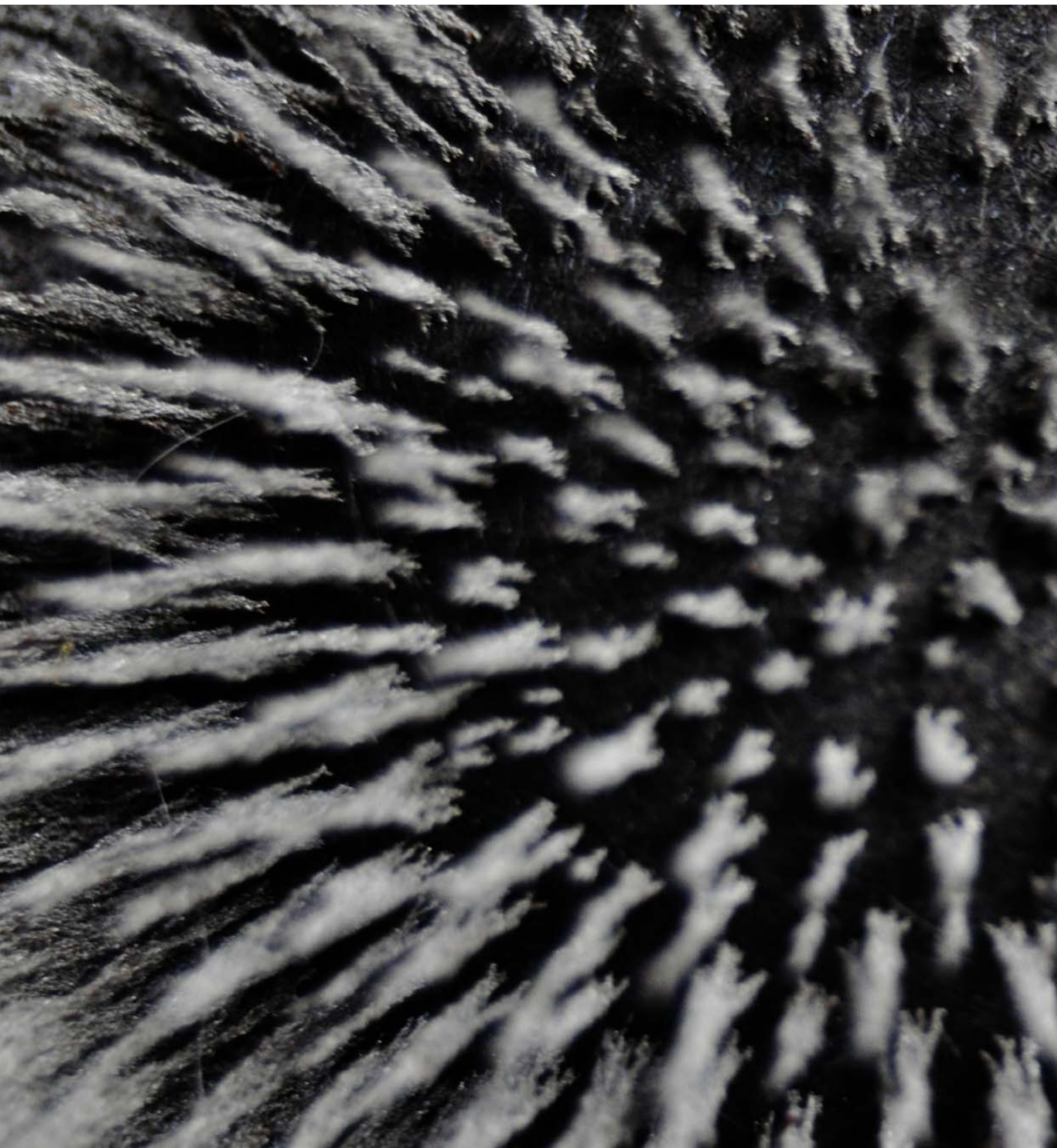




Figura 48. En la imagen, podemos observar las estructuras en forma de picos que se generan debido al efecto del magnetismo y la oscilación. Imagen del autor.

6.- Efectos cimáticos sobre el polvo de licopodio.

El polvo de licopodio es un material compuesto por diminutas esporas del musgo de licopodio, un arbusto de la familia de los musgos que podemos encontrar en Europa y Asia. La textura de sus partículas (de un gramaje extremadamente fino) y su color, convierten a este material en un excelente marcador para la observación de los efectos cimáticos y cambios de fase en el estado de la materia, que se originan.

Según (Jenny, 2001, 74), podemos agrupar en dos ámbitos los efectos que se producirán durante el análisis y estudio de los efectos del polvo de licopodio. El primero de ellos atañe a los tipos de formación y a los efectos globales que surgen durante los procesos de oscilación. El segundo, se centrará en los efectos producidos por la consistencia y composición del material en sí.

- Efectos globales de formación, bajo la influencia de los procesos cimáticos:

- *Formación de estructuras.*
- *Formación de figuras Chladni.*
- *Fluidez del material.*
- *Interacción con otros materiales.*

- Efectos producidos por la consistencia y la composición:

- *Efectos de eyección de masa (figuras 50, 51 y 71).*
- *Efectos de rotación horaria y anti-horaria (figuras 50, 66 y 71).*
- *Efectos de interferencia (figura 53, 59 y 65).*
- *Efectos de onda (figura 61, 62, 63 y 64).*
- *Efectos de integración entre materiales (figura 62).*
- *Efecto de conjunción y disolución (figura 55, 56 y 65).*
- *Efectos dinámicos (todas las figuras).*
- *Efectos de volatilidad (figura 55, 56, 61 y 65).*
- *Efectos anti-gravitatorios (figura 50, 55, 65, 66 y 68).*

Antes de comenzar a desarrollar el proceso experimental, es importante tener en cuenta el soporte con el que trabajaremos (utilizaremos una bañera de aluminio cuadrada de 20 x 20 cm. con una profundidad de 5 cm. y un grosor del 0.5 mm. La utilización de una bañera se debe a que el Licopodio, es un material extremadamente volátil y dispersivo. Las paredes del recipiente, facilitarán la contención del material y evitarán que se expida hacia el exterior durante los procesos de oscilación).

Cuando depositamos una capa homogénea de polvo de licopodio en el fondo de una bañera y le aplicamos un tono o una frecuencia determinada (30Hz-70Hz), el polvo reacciona de inmediato formando pequeñas agrupaciones que adquieren un volumen semejante al de colinas y valles (*figura 49*). Si aumentamos la amplitud, estas formaciones tienden a moverse hacia las zonas donde los procesos de oscilación son más intensos.

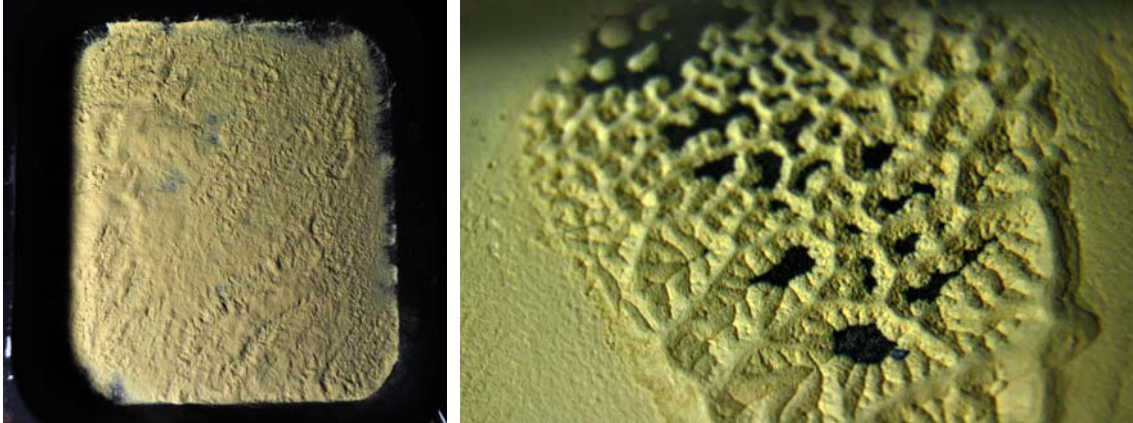


Figura 49. Imagen de una bañera de vibración que contiene una capa homogénea de polvo de licopodio. Cuando se aplica un tono, se generan pequeñas agrupaciones en forma de montículos. Imágenes del autor.

Si aplicamos frecuencias muy bajas de entre 10Hz-30Hz, el efecto de la oscilación producido sobre el polvo hace que este se agrupe en formaciones de carácter irregular, debido al efecto de la polaridad de fases. Cuando la bañera oscila hacia arriba, lanza las partículas en esa dirección, creando un vacío entre la superficie y el polvo que actúa como una cámara de aire. En la fase descendiente de la bañera, las partículas caen volviendo a unirse en cúmulos que aumentan de tamaño y volumen, mientras la vibración persiste.

A medida que vamos aumentando el rango de oscilación entre los 30Hz y los 90Hz, los efectos sobre el material son imperceptibles con un nivel de amplitud normal. (Si el nivel de amplitud se aumenta mediante un amplificador, estos valores variarían proporcionalmente y no se ajustarán a los aquí presentados). Una vez que alcanzamos los 90Hz, el material comienza a entrar en resonancia y se acumula en la zona donde la oscilación es más intensa (normalmente este punto coincide con el punto de unión de las planchas o la bañera de vibración, al eje del oscilador). Con el paso del tiempo el material se aglutina, formando un único lóbulo de gran tamaño que adopta forma lenticular (*figura 50*).





Figura 50. Proceso de rotación del polvo de lycopodio. Imágenes del autor.

Mientras el tono actúa, parte del material es expulsado hacia el exterior en pequeñas eyecciones de masa. Este material proyectado, se fusiona formando diminutas agrupaciones en forma de gotas, que retornan hacia el nodo principal. Estas explosiones, producidas por la resonancia, se pueden originar en varias localizaciones diferenciadas de un mismo lóbulo. Las eyecciones menos comunes, surgen de forma irregular sobre la cresta del lóbulo y tienden a desaparecer con el paso del tiempo. En segundo lugar, están las eyecciones que surgen de forma regular en la loma del lóbulo. Estas aparecen continuamente y no se diluyen con el paso del tiempo. Son mucho más importantes que las anteriores, debido al efecto rotatorio que adquieren (*figura 51*). Estas eyecciones rotatorias no se limitan a expulsar material hacia el exterior, sino que lo hacen mientras giran por la base del lóbulo en sentido horario y anti-horario. Ambos tipos de rotación (horario/anti-horario), pueden suceder de forma conjunta o por separado, en el interior de un mismo lóbulo. Cuando aparece en solitario, la rotación adquiere un carácter aún más complejo, realizando cambios de dirección bruscos sin previo aviso.

“Cuando un tono esta actuando y se aplica una gran amplitud, el polvo fluye en eyecciones similares a surtidores que proyectan materia. En ocasiones debido al movimiento rotatorio, estas proyecciones adquieren formas de columna en espiral.”

(Jenny, 2001: 71)

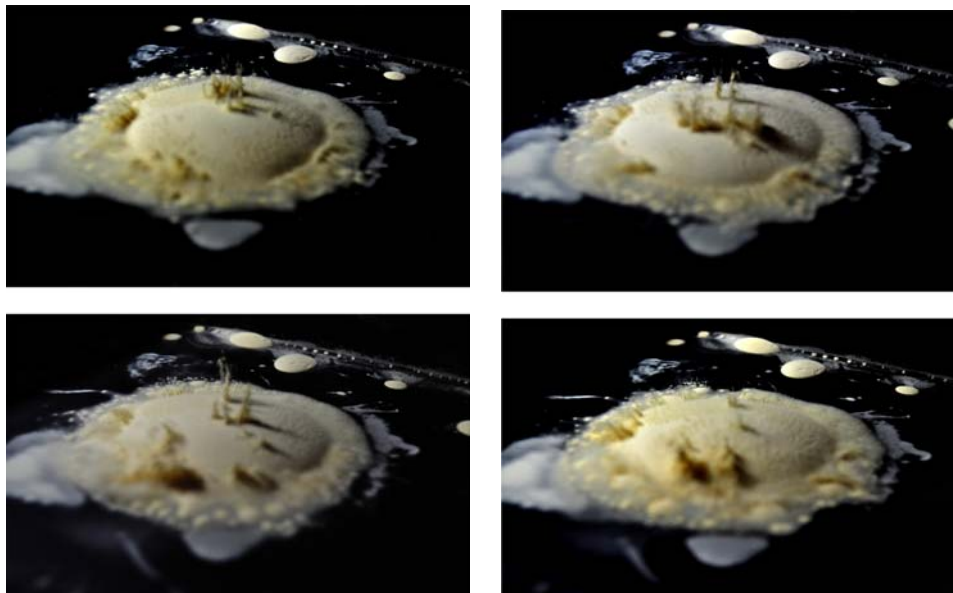


Figura 51. Proceso de rotación desde un ángulo oblicuo, que permite ver tanto las eyecciones de material de la zona superior, como las rotaciones que se originan en las lomas del lóbulo. Imágenes del autor.

En las zonas de la plancha en las que la oscilación es menor, el polvo de licopodio crea otras estructuras diferenciadas, dando lugar a montículos irregulares, sobre los que se dibujan formaciones de deriva, semejantes a las que podemos observar en valles y montañas de regiones desérticas, en las que los efectos del agua, moldea acanaladuras (*figura 52*).



Figura 52. Comparativa entre formaciones generadas mediante polvo de licopodio y estructuras montañosas que se generan en la naturaleza por la acción de los flujos de erosión del agua. Imagen del autor.

Cuando aplicamos un rango de oscilación entre los 90Hz-120Hz, los procesos de vibración agrupan todo el material en la zona centro de la bañera. Variando los niveles de amplitud, podemos observar tres estados bien diferenciados que adquiere este material.

- El polvo de licopodio se aglutina en una masa homogénea formando un lóbulo de gran formato, que se comporta como una única masa sólida debido a la tensión ejercida por las vibraciones sobre el material. En cuanto la vibración desaparece, la masa pierde la fuerza y aunque no se desvanece, deja de tener la consistencia original (*figura 53*).

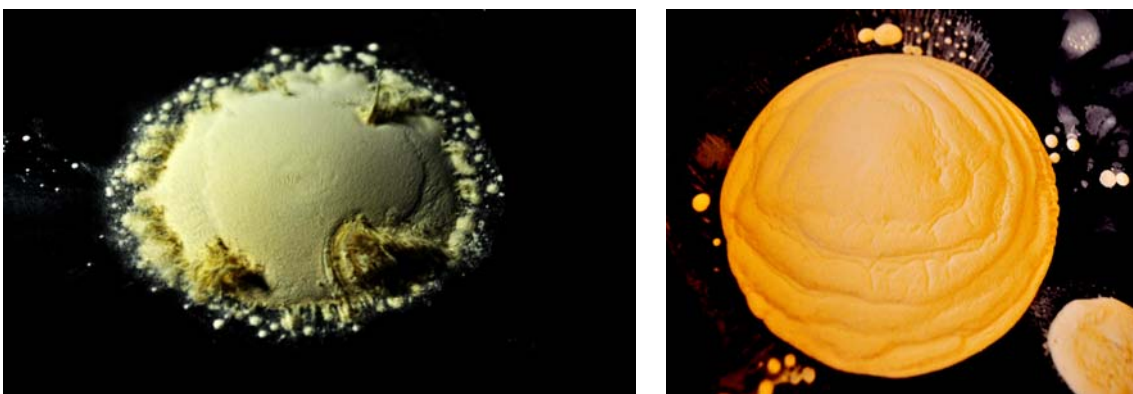
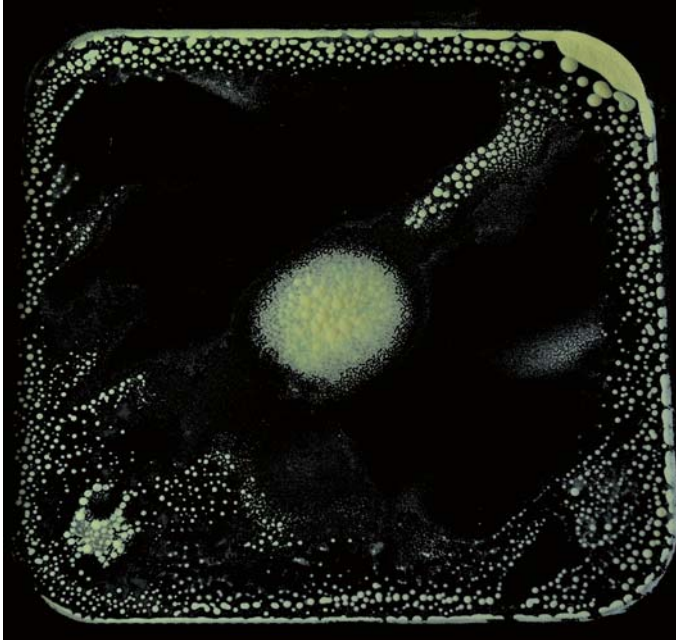


Figura 53. Las imágenes muestran dos masas de licopodio. La primera de ellas bajo los efectos de la oscilación, mientras que en la segunda, esta no actúa. Imágenes del autor.

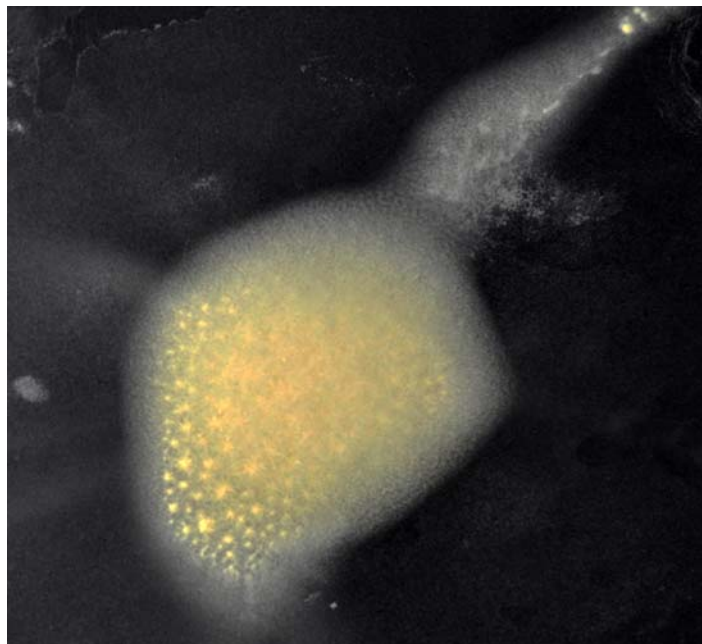
- La resonancia provoca que el polvo de Licopodio se comporte como lo haría un fluido. Durante este proceso, el material se condensa en pequeñas formaciones globulares del tamaño de una gota, que se deslizan y fluyen por la superficie, sin abandonar la consistencia y la simetría (*figura 54*).



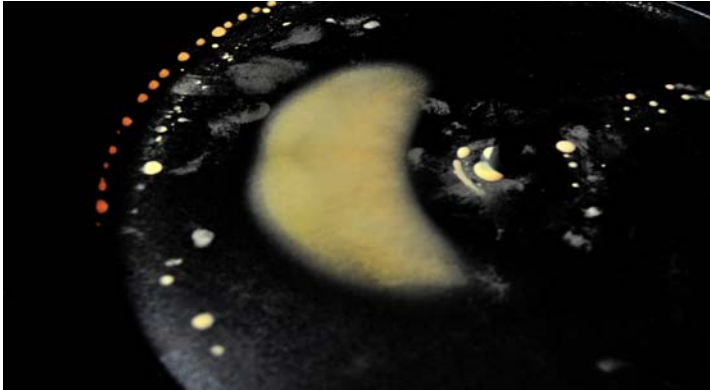
< *Figura 54. Bañera de vibración que muestra la conversión del polvo en diminutas gotas, que se desplazan por la superficie. Bañera de vibración de 20 x 20 cm. y 0.5 mm. de grosor de aluminio. 140Hz, amplitud muy elevada. Imagen del autor.*

- El polvo de licopodio se comporta como un elemento volátil. La vibración produce una dispersión del material sobre la plancha en forma de nebulosa. El polvo se levanta formando agrupaciones de diferentes densidades, según la frecuencia y la amplitud aplicadas (*figura 55*).

Figura 55. Nebulosa originada por el efecto de la resonancia. Esta nube se dispersa y se mueve por toda la superficie hasta que deja de actuar el tono de 215Hz. Amplitud máxima. Bañera de vibración de aluminio, de forma circular de 24 cm. de diámetro y 0.5 mm. de grosor. Imagen del autor. >



La aglomeración de partículas en nubes de polvo es muy común en este material, por lo que debe ser estudiado minuciosamente. Cuando generamos este tipo de nubes, observaremos como se deslizan y fluyen por la superficie. Este efecto puede estar causado por efectos pulsantes, que derivan en formaciones de carácter gaseoso o simplemente por la propia excitación del medio sin necesidad de pulsaciones. Habitualmente las formaciones en forma de nebulosa, cuando se crean sobre una superficie sólida, son el origen de procesos de altas resonancias (*figura 56*).



< *Figura 56. Estado del licopodio en forma de nube de polvo que se desplaza por las zonas de alta resonancia. Bañera de aluminio de forma circular de 24 cm. de diámetro y 0.5mm. de grosor. 270Hz, amplitud máxima. Imagen del autor.*

El polvo de licopodio, además de realizar cambios de fase en su estado, adquiere propiedades de formación muy interesantes cuando se agrupa en lóbulos, generando patrones en el interior de estos. Existen cuatro tipos distintos de formaciones que analizaremos.

-Creación de patrones irregulares en formaciones esféricas de lenta dispersión. Estos patrones generalmente se dan cuando los niveles de amplitud son bajos, en lóbulos de medio y gran tamaño (*figura 57*).

-Creación de patrones irregulares en formaciones irregulares de lenta dispersión. Este tipo de patrones al igual que los anteriores se crean bajo la influencia de amplitudes bajas (*figura 58*).

-Creación de patrones de malla o rejilla, en estructuras lobulares. Estos patrones recuerdan a los nodos de formación que se originaban tanto en las gotas de agua como en los fluidos y muestran el carácter dinámico del proceso. Son visibles en lóbulos de todos los tamaños, dependiendo de la frecuencia y la amplitud utilizadas (*figura 59*).

-Creación de patrones de formación regular en estructuras lobulares. Estos patrones se generan cuando frecuencia y amplitud se aplican a bajos niveles. Su creación viene dada por el flujo constante de materia desde el interior hacia el exterior, en un movimiento continuo que genera estructuras regulares de gran tamaño (*figura 60*).

Figura 57. Patrón irregular que se genera en el interior de una formación lobular. 110Hz. Nivel muy bajo de amplitud. Imagen del autor. >



Figura 58. Patrones irregulares de lenta dispersión. Generación de estructuras de carácter orgánico. 130Hz, amplitud baja. Imagen del autor. >



Figura 59. Patrón regular de malla o rejilla, que se genera en el interior de una formación lobular. 320Hz. Nivel muy alto de amplitud. Imagen del autor. >

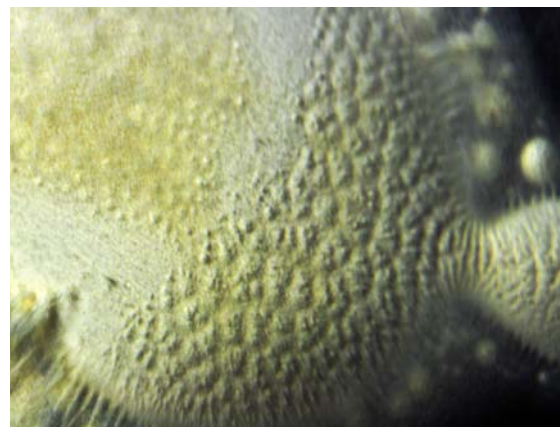


Figura 60. Patrones regulares de lenta formación. Aparecen en el interior estructuras geométricas que se desvanecen por el flujo constante y varían de forma. 95Hz, amplitud baja. Imagen del autor. >



Uno de los efectos más importantes del polvo de licopodio bajo resonancia, es el efecto anti-gravitatorio. Este efecto puede ser observado en el interior de las bañeras de vibración, cuando el polvo se aglutina en pequeños nodos de forma circular y escala las paredes de hasta 90° del recipiente. Este proceso es difícil de mostrar mediante fotografías (debido a su carácter dinámico), por ello se adjuntará, en el interior del DVD que aparece en los anexos, un vídeo donde se expondrá dicho proceso.

Cuando en lugar de hacer oscilar el polvo de licopodio en un recipiente, lo hacemos sobre una plancha, aparecerán los mismos fenómenos expuestos hasta la actualidad. No obstante, es preciso exponer que para el desarrollo de figuras de formación y fenómenos dinámicos, es más adecuado el uso de planchas que el de bañeras de vibración. El motivo de ello, se debe a que las paredes que permiten contener el material en las bañeras de vibración, crean ángulos en la superficie del recipiente, lo que imposibilita generar de una forma correcta figuras o patrones.

Si utilizamos planchas y aplicamos altas frecuencias (rango comprendido entre los 600Hz-9000Hz), podemos obtener la creación de figuras Chladni, muy similares a las que se generaban mediante arena. No obstante, así como mediante la utilización de arena de cuarzo, la mayoría de frecuencias producía un patrón definido, con el polvo de licopodio esto no sucede y son pocos los tonos que crearán patrones reconocibles. Cuando intentemos crear figuras Chladni mediante el polvo de licopodio, obtendremos como resultado formaciones de lóbulos que se depositan en los antinodos. En la siguiente imagen (*figura 61*), observaremos como el polvo en suspensión permite visualizar la forma donde deberían aparecer las líneas nodales habituales.

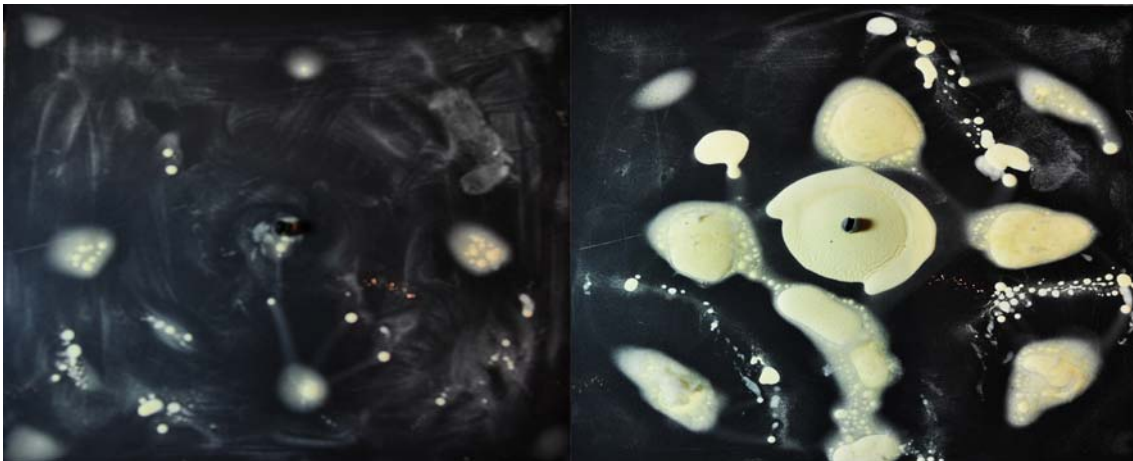
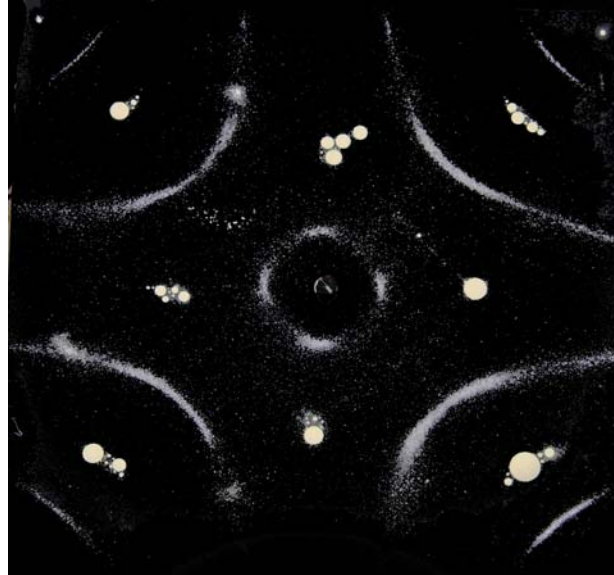


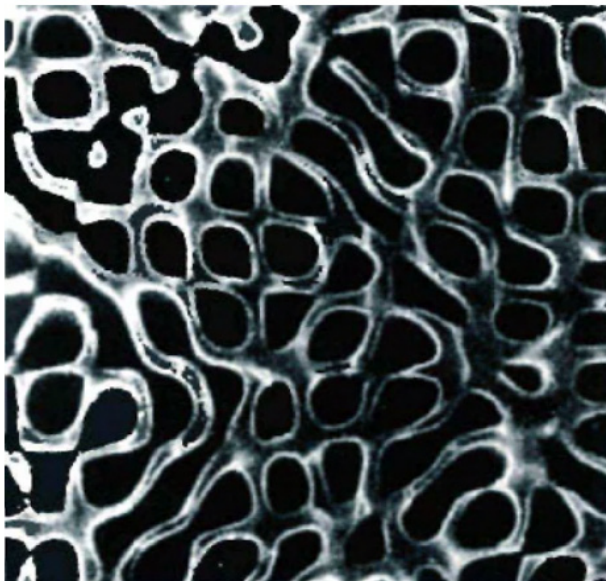
Figura 61. El polvo de licopodio se deposita en forma de nubes que fluyen o puntos, sobre las zonas anti-nodales y de esta forma genera figuras reconocibles. Plancha cuadrada de 20 x 20 cm. y 0.5 mm. de grosor de hierro. 640Hz y 960Hz. Imagen del autor.

Podemos visualizar mejor estos procesos de formación nodal/anti-nodal, realizando un sencillo experimento en el que sobre una plancha de metal, haremos oscilar al unísono arena de cuarzo y polvo de licopodio. Observaremos como rápidamente la arena de cuarzo se deposita en las zonas ausentes de vibración, mientras que el polvo de licopodio se desplaza hasta los antinodos, puntos de máximos niveles de oscilación (*figura 62*).

Figura 62. En la imagen podemos observar un proceso mixto en el que se hace oscilar arena de cuarzo y polvo de licopodio al unísono, sobre la misma plancha con un tono de 640Hz. Mientras que la arena se deposita en las líneas nodales, el polvo se mantiene en un estado de flujo sobre los antinodos. Imagen del autor. >



Bajo ciertas circunstancias, podemos encontrar frecuencias que permiten la obtención de figuras o patrones bien definidos mediante la deposición de partículas de polvo de licopodio en el contorno de las líneas nodales (*figura 63*).



< *Figura 63. Figura generada mediante polvo de licopodio sobre una plancha de hierro de 31x31 cm. bajo la influencia de una frecuencia de 12.900Hz.*

(Jenny, 2001, 73)

Cuando el polvo de licopodio consigue generar este tipo de figuras o formaciones, aparecen de nuevo los efectos rotatorios o de direccionalidad del flujo (*figura 64*).

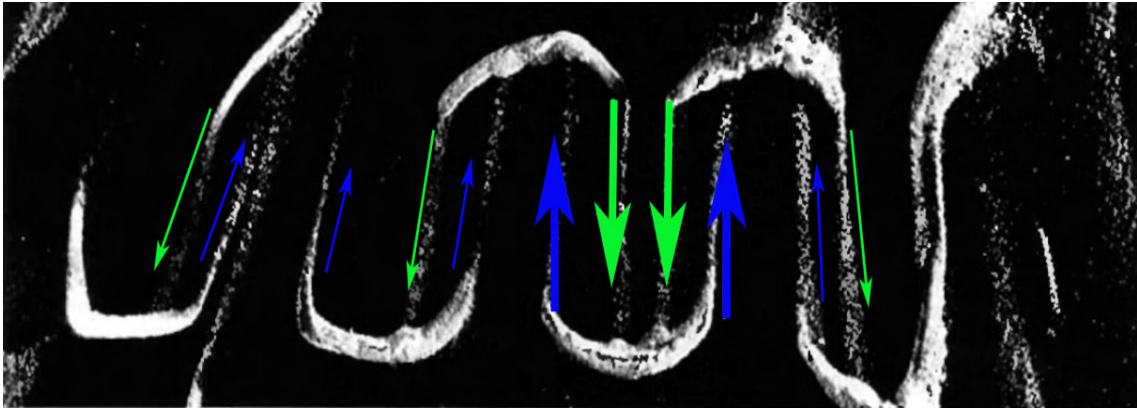


Figura 64. La imagen muestra un proceso dinámico en el que las partículas de licopodio fluyen en direcciones opuestas constantemente, mientras generan una figura. Plancha de hierro de 25x33 cm. y un grosor de 0.5 mm. con un tono de 8500Hz. Imagen del autor.

En el instante en que decidimos hacer oscilar el polvo de licopodio encima de una membrana, los efectos generados serán similares a los expuestos hasta la actualidad. No obstante, la mayor flexibilidad de las membranas generarán unos efectos de mayor tamaño. La utilización de membranas de tambores y conos de altavoz, permitirá desarrollar nuevos procesos experimentales que difícilmente son perceptibles sobre planchas o bañeras de vibración.

Uno de estos nuevos efectos que se pueden observar mediante el uso de membranas, es lo que el Dr. Jenny denomina “*crescendos*”. Estas acciones que son el resultado de una subida de la amplitud de forma creciente, permiten apreciar los cambios de fase en la materia bajo la actuación de una misma frecuencia. Este tipo de *crescendos* pueden realizarse de dos formas bien diferenciadas generando resultados igualmente distintos.

El denominado *crescendo* lento, se desarrolla de forma progresiva, aumentando el nivel de amplitud constantemente en un espacio de unos pocos segundos. Al realizar este proceso observaremos como el polvo de licopodio, genera primero un lóbulo de rotación y a medida que aumentamos la amplitud comienza a concentrarse en una nebulosa de polvo que discurre por la superficie de la membrana e incluso puede generar dependiendo del tono, formaciones dinámicas similares a los fluidos (agrupación del polvo en forma de diminutas gotas que se desplazan por la superficie), que se comportan de forma anti-gravitatoria (*figura 65*).

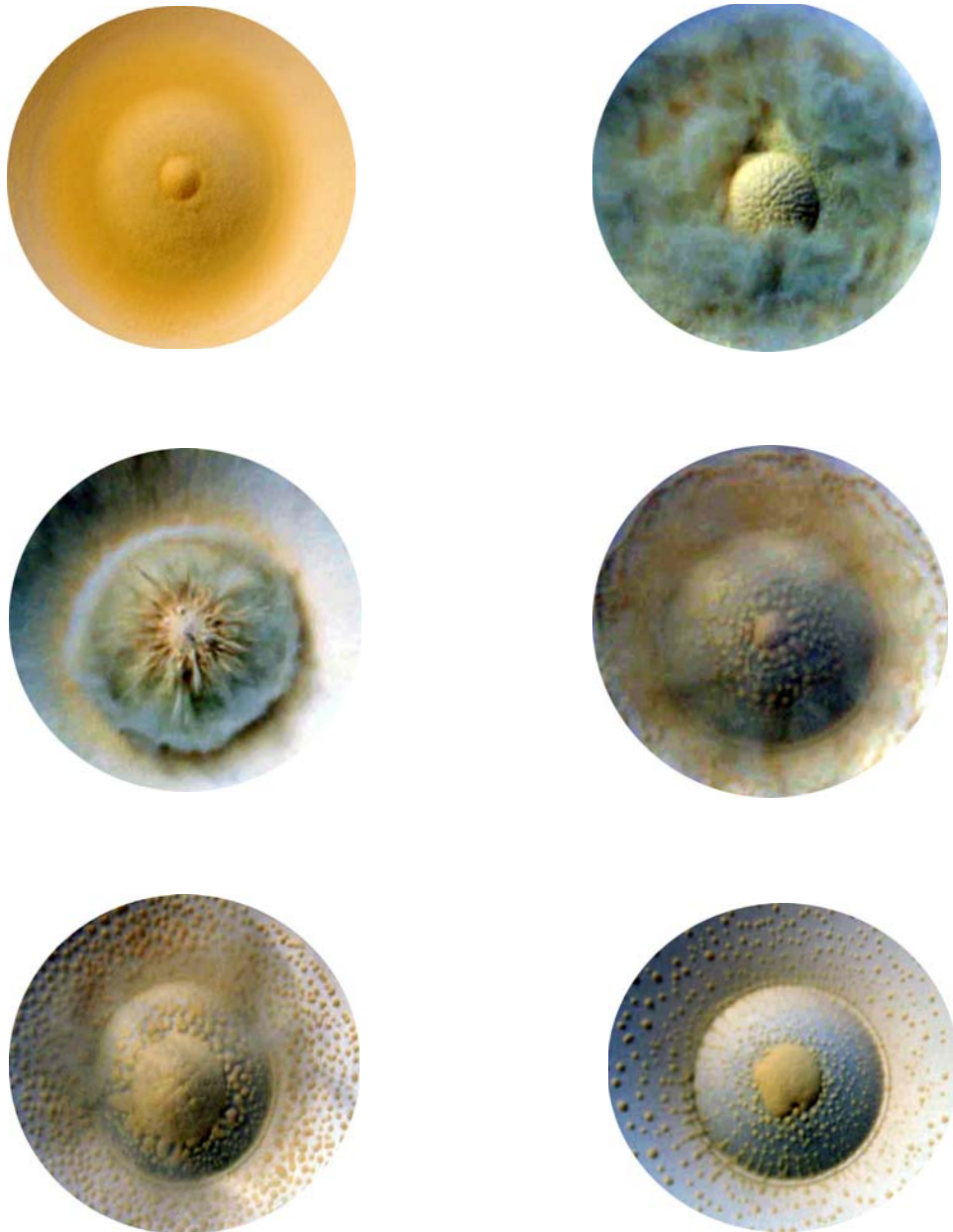
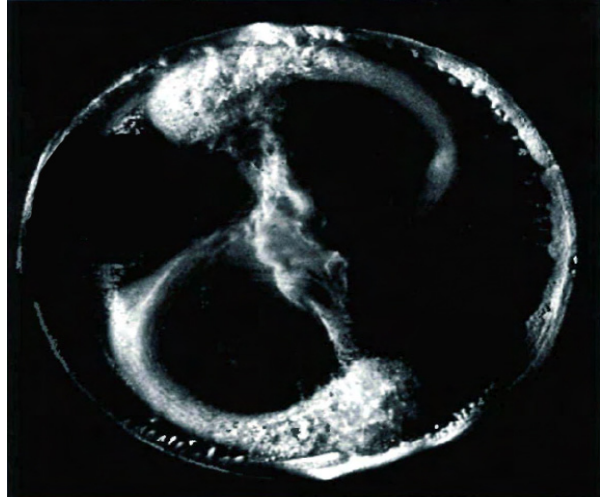


Figura 65. En esta secuencia fotográfica, se muestra un proceso de crescendo de forma gradual en el que el polvo de licopodio pasa por todos los diferentes estados de la materia. Podemos observar como actúa el tono en las dos primeras imágenes en las que se comienza a formar un lóbulo central. A medida que aumentamos la amplitud, en las imágenes del medio observamos la aparición de las nebulosas de material y finalmente aparecen los estados dinámicos en los que el polvo se aglutina en gotas que escalan las paredes del cono del altavoz de 30° de inclinación. Imágenes del autor.

El crescendo explosivo se diferencia del anterior, en que el aumento de la amplitud se hace de forma brusca desde el nivel más bajo, hasta el más elevado. Este efecto permitirá observar los efectos de formación rotacional de una forma sencilla (figura 66).

Figura 66. Esta imagen muestra un proceso de crescendo en el que se desarrolla un proceso rotatorio. (Jenny, 2001, 78) >



< Figura 67. La imagen muestra una campana de resonancia, realizada en acero con multitud de pliegues, perteneciente a una escultura sonora Baschet. Podemos observar como el licopodio escala las paredes verticales y genera flujos en forma de vórtice. La figura esta generada por una nota musical. Imagen del autor.

Figura 68. Las imágenes muestran un proceso de oscilación que es detenido de golpe. Las estructuras en forma de gota, se desvanecen formando hileras que se deslizan por la superficie inclinada del cono del altavoz. 260Hz. Imágenes del autor. >



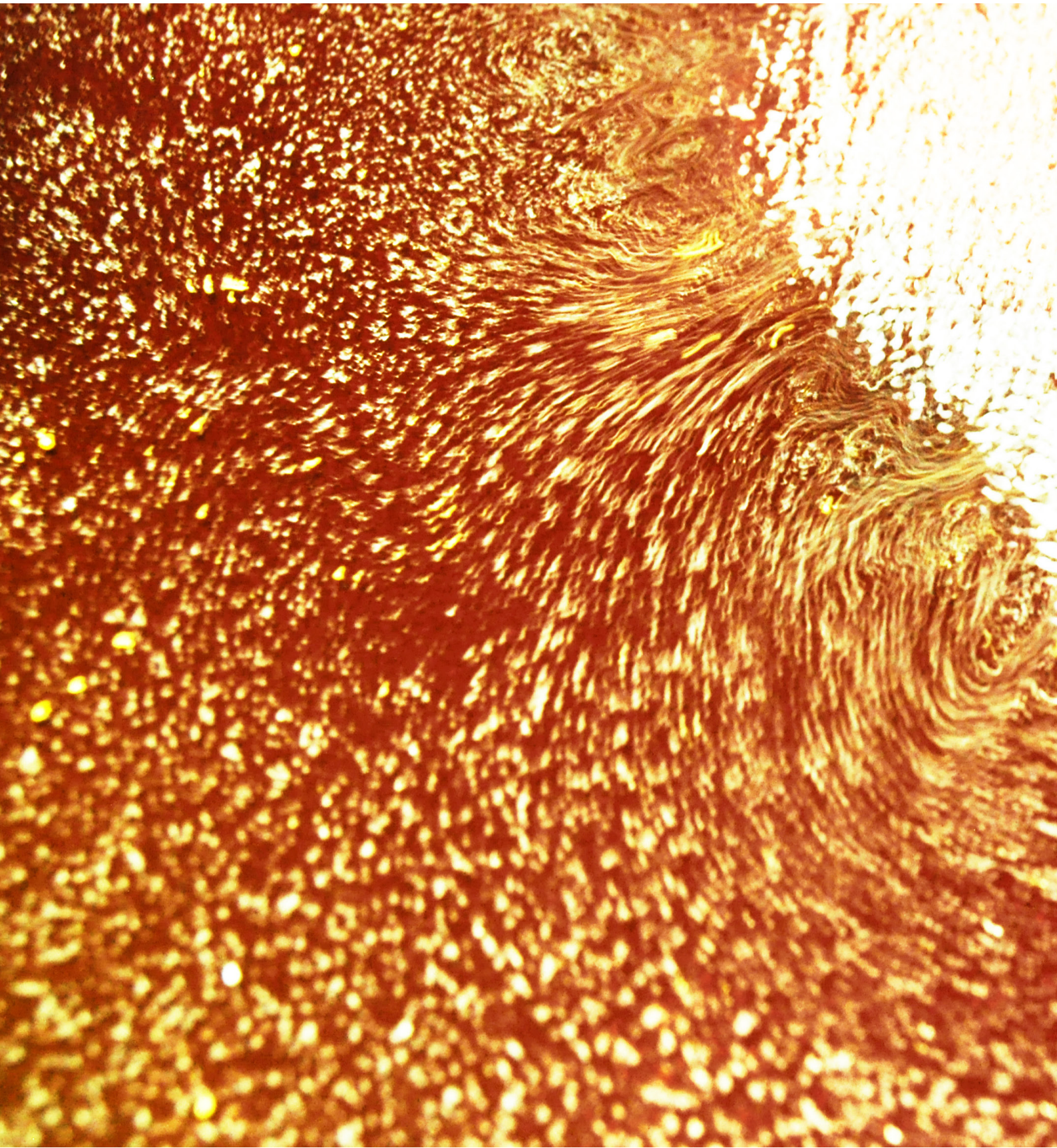
Una buena muestra de los procesos anti-gravedad del polvo de licopodio, la podemos observar en el siguiente experimento realizado sobre una placa de resonancia de un instrumento Baschet³⁶ (*figura 67*).

Además del efecto rotatorio, que esta muy presente en la mayoría de fenómenos asociados al polvo de licopodio, hemos podido observar los efectos anti-gravedad de forma sencilla (*figura 63*, las gotas formadas por polvo, escalan paredes con angulación). No obstante, es preciso mencionar el efecto acontecido cuando se interrumpe un proceso de oscilación, mostrando el desvanecimiento de las gotas en hileras de material descendiente (*figura 68*).

Si vertemos un fluido (en este caso en particular, tintura de yodo con base de alcohol diluida en agua), sobre una bañera de vibración que contiene esporas de licopodio, observaremos como, rápidamente, las esporas no se diluyen en el fluido, sino que forman una fina película sobre la superficie del mismo. En el instante en el que se inician los procesos de oscilación, estas pequeñas partículas se desplazan por la superficie siguiendo los movimientos ondulatorios producidos por la vibración y se convierten en marcadores para la observación de vórtices y remolinos (*figura 67*). El proceso adquiere más complejidad si lanzamos diminutas gotas de agua con un gotero, sobre la superficie de una bañera de vibración que contiene una capa de polvo de licopodio oscilando. Cuando la gota de agua toca la superficie, en lugar de disolverse se reboza de esporas y se desliza por la superficie protegida por la fina capa de polvo que la envuelve. Mientras dura el proceso de oscilación, la gota sigue desplazándose en forma de perla sin perder consistencia. En cuanto la oscilación se desvanece, la gota es absorbida por las esporas y se diluye con el resto de material en la superficie.

El polvo de licopodio, como hemos ido observando hasta el momento, adquiere multitud de características que lo convierten en un material que ofrece muchas posibilidades para la creación contemporánea, (cuando está sujeto a la influencia del sonido y los fenómenos periódicos de vibración).

36 Este instrumento esta donado por los hermanos Baschet, al laboratorio de arte sonoro de la facultad de Bellas Artes de la Universidad de Barcelona. Véanse las esculturas sonoras Baschet. Baschet, F y Baschet B. (2012, Noviembre 28). *Sculpture Baschet*. Extraído el 28 de Noviembre de 2012 desde <http://www.baschet.org/>



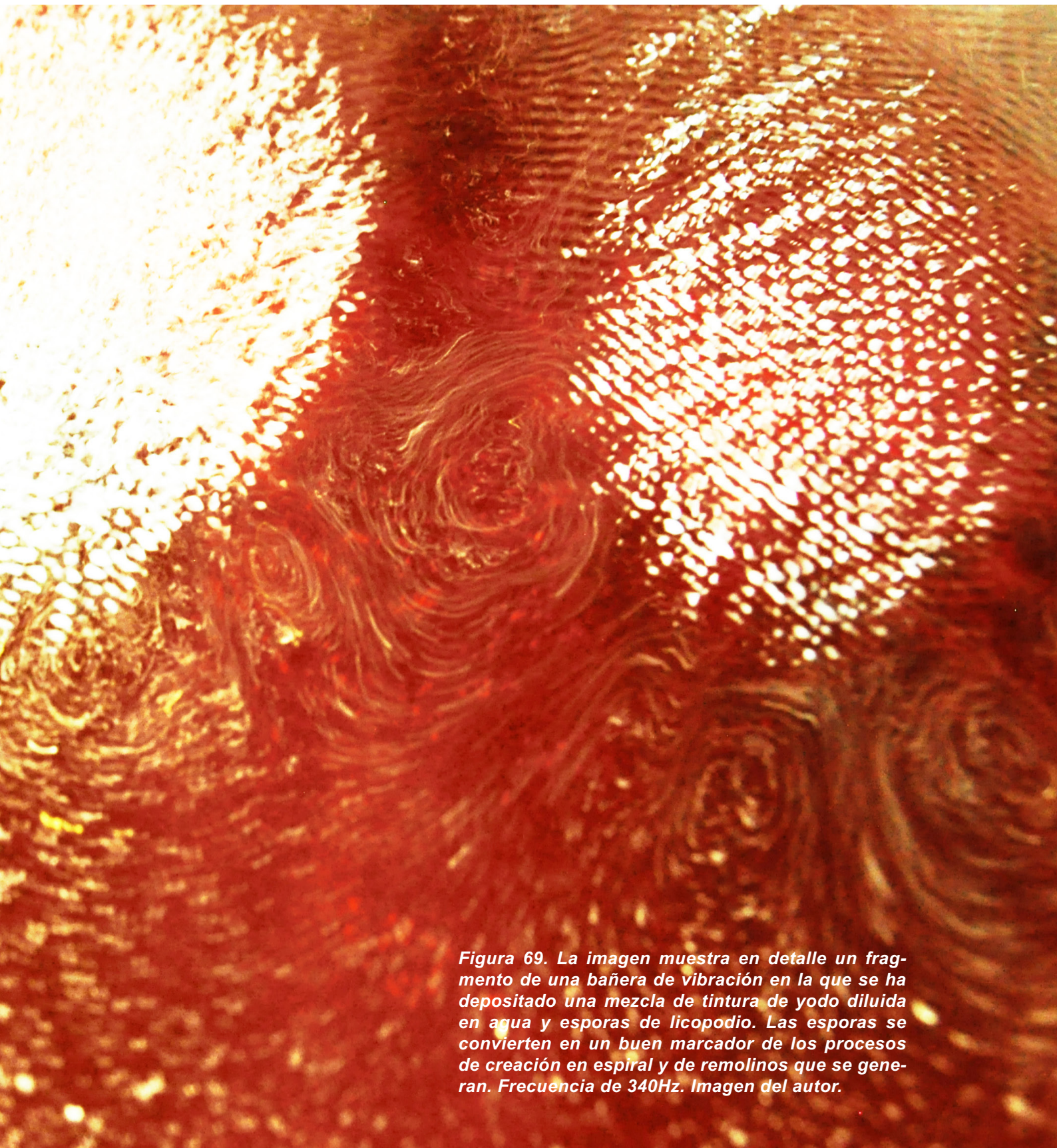
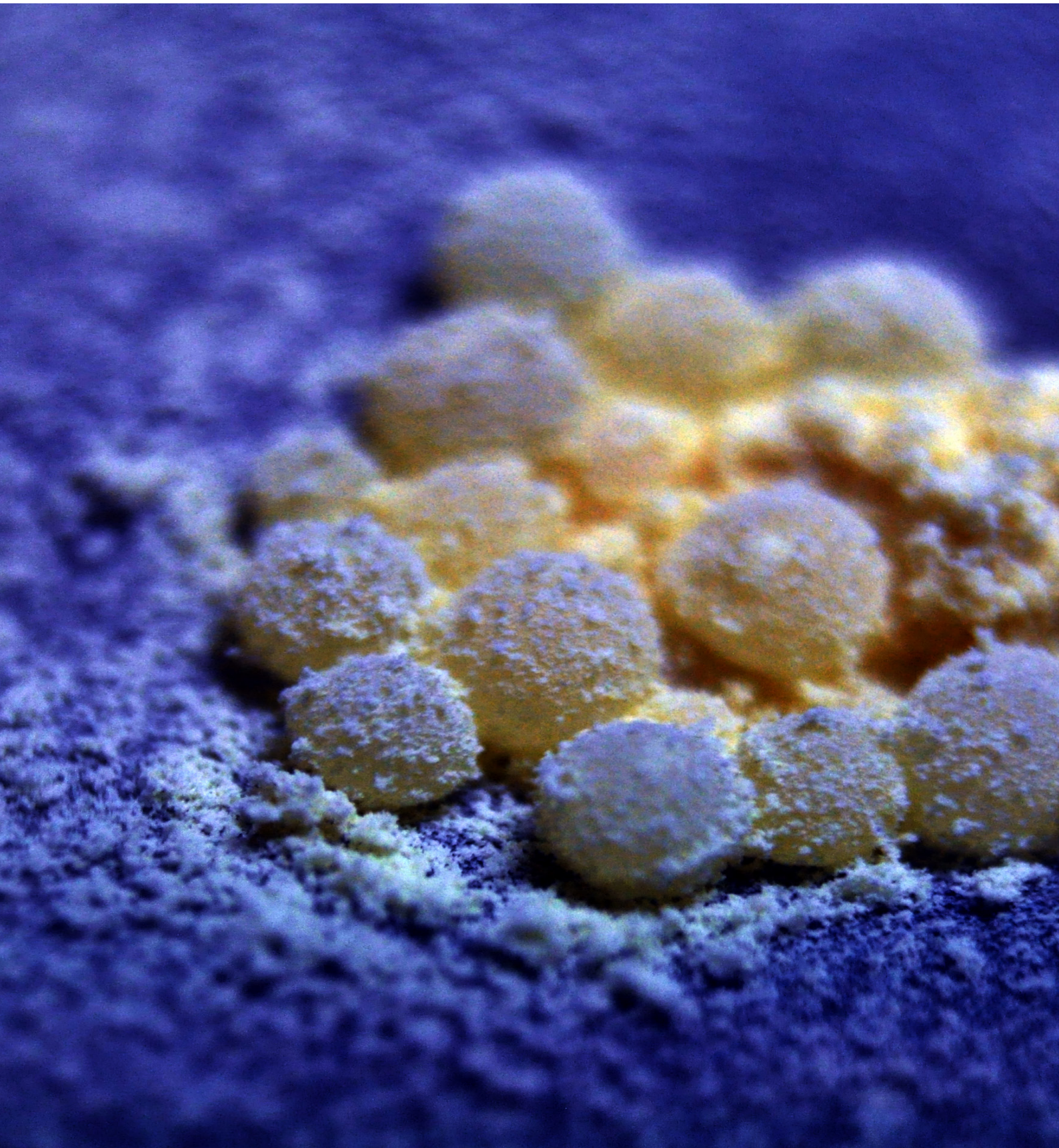


Figura 69. La imagen muestra en detalle un fragmento de una bañera de vibración en la que se ha depositado una mezcla de tintura de yodo diluida en agua y esporas de licopodio. Las esporas se convierten en un buen marcador de los procesos de creación en espiral y de remolinos que se generan. Frecuencia de 340Hz. Imagen del autor.



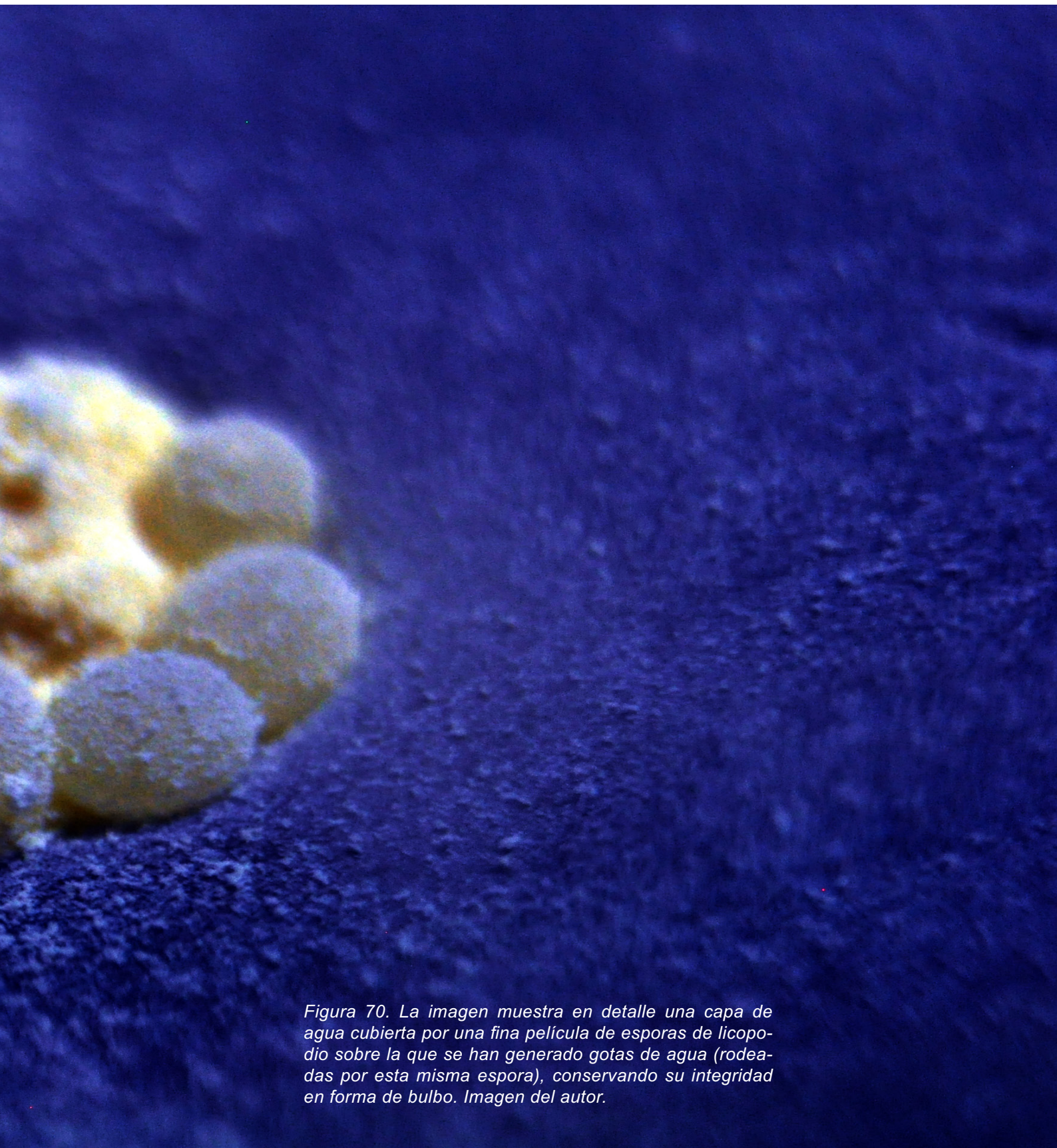


Figura 70. La imagen muestra en detalle una capa de agua cubierta por una fina película de esporas de licopodio sobre la que se han generado gotas de agua (rodeadas por esta misma espora), conservando su integridad en forma de bulbo. Imagen del autor.




The image shows a circular cluster of lycopodium powder. The powder is arranged in a ring, and the individual particles are oriented in a way that creates a clockwise rotation effect. The background is dark, making the white powder stand out. The overall appearance is that of a small, circular, rotating structure.

Figura 71. Agrupación de polvo de licopodio en forma de lóbulo circular, en el que aparece el efecto de rotación/eyección en sentido de las agujas del reloj. Imagen del autor.

7.- Efectos cismáticos sobre fluidos.

Continuando con los procesos de oscilación, en este capítulo desarrollaremos de una forma experimental los diferentes procesos de creación nodal sobre fluidos. El desarrollo de esta investigación, estará dividido en varios sub-capítulos en los que estudiaremos y analizaremos, los efectos de distintos tipos de líquidos que clasificaremos en dos grupos;

1- Fluidos newtonianos³⁷.

Para mantener unos estándares de trabajo durante el periodo de investigación, se utilizarán como marcadores de este tipo de fluidos el agua, la glicerina (+ densidad y peso específico que el agua) y la tintura de Yodo (- densidad y peso específico que el agua).

Tabla de densidad de los fluidos newtonianos utilizados.

Material	Densidad	Peso específico relativo
Agua	1,00	1,00
Glicerina	1,26	1,26
Tintura de Yodo	0,80	0,80

Tabla III.

³⁷ Los fluidos newtonianos son aquellos cuya viscosidad puede considerarse constante en el tiempo. Son sencillos de describir debido a que la curva que muestra la relación entre el esfuerzo, contra su velocidad de deformación, es lineal.

2- Fluidos no-newtonianos³⁸.

Los fluidos no-newtonianos debido a su composición molecular, son aquellos en los que el esfuerzo no es proporcional al gradiente de velocidad o velocidad de corte. Estos fluidos, pueden comportarse como sólidos o líquidos, según la presión que se ejerce sobre ellos. El efecto de la vibración sobre estos cuerpos causa una tensión sobre el fluido que afecta al estado de sus moléculas, reordenándolas constantemente para generar múltiples formas.

Tabla de densidad de los fluidos no-newtonianos utilizados.

Material	Densidad
Compuesto de Caolín y agua	Densidad no calculable*
Compuesto de harina de maíz y agua	Densidad no calculable*

Tabla IV.³⁹

Ambos fluidos no-newtoniano utilizados para el desarrollo de esta tesis doctoral, se comportarán de igual forma bajo las mismas condiciones de experimentación. Se especificará el uso de cada uno de ellos, debido a que el compuesto de Caolín tiene como propiedad específica, una gran rapidez de secado. Este proceso brindará la posibilidad de múltiples actuaciones en el desarrollo de procesos artísticos en capítulos venideros, posibilitando que las formaciones obtenidas, puedan permanecer inalteradas en el tiempo sin necesidad de que actúen sobre ellas las ondas de sonido.

Todos estos procesos se llevarán a cabo mediante un generador de ondas unido a planchas y bañeras de vibración, que contendrán los fluidos sometidos a los procesos de oscilación (*figura 72*). Para poder observar las formaciones nodales que se generan con estos procesos de vibración sobre fluidos, es preciso que un haz de luz incida de la forma más perpendicular posible sobre el líquido.

38 Los fluidos no-newtonianos son aquellos cuya viscosidad varía con la temperatura y la tensión constante que se les aplica. Como resultado no tienen un valor de viscosidad bien definido y constante.

39 Los valores de esta tabla no se pueden calcular, debido a que este tipo de fluidos son una mezcla casera de componentes sobre los que intervienen múltiples variables.

De esta forma se tornarán visibles mediante el reflejo de la luz, las líneas de creación nodal y podrán ser capturadas a través de fotografías y el vídeo. La consistencia del haz de luz que incide sobre los fluidos, es muy importante. Observaremos, realizando una comparativa, como mediante el haz de luz de una bombilla normal y una fluorescente (estroboscópica), obtendremos imágenes completamente diferenciadas de los mismos procesos.

Es recomendable para la mejor claridad y calidad de visualización de los nodos, el uso de un foco fluorescente (ya que este tipo de luz no genera un haz continuo, sino que muestra un parpadeo estroboscópico imperceptible al ojo humano). Este hecho sobre superficies en movimiento, generará un efecto visual que permitirá la observación de los elementos de una forma estática.

Es muy importante tener presente el efecto estroboscópico producido por las lámparas fluorescentes a la hora de capturar imágenes, ya que la luz que generan, afectará de manera directa al uso de las cámaras digitales de vídeo. La frecuencia de lectura de imágenes del sensor por parte de estos aparatos, puede coincidir con las fluctuaciones de intensidad de la lámpara fluorescente. De esta forma aparecerán tanto en las pantallas LCD como en los vídeos realizados, extraños efectos en forma de barras de luz oscuras que bajan por la pantalla continuamente, producidos por la coincidencia en la frecuencia de lectura. Este proceso no aparecerá en las fotografías debido al corto periodo de exposición que necesita una instantánea para retratar las formaciones.

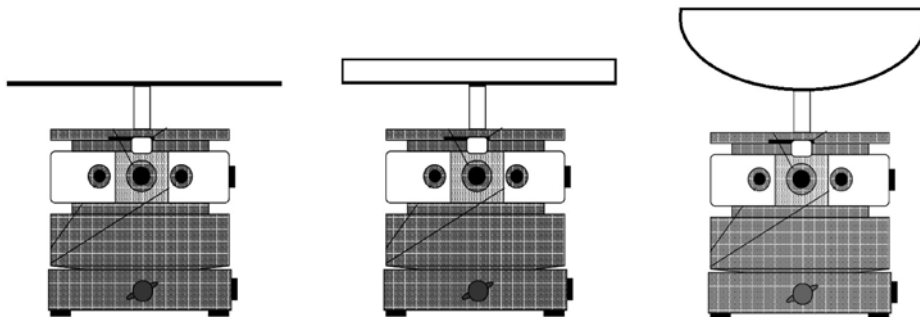


Figura 72. Este esquema muestra los diferentes tipos de bañeras de vibración y planchas, que se adaptarán al generador de ondas y se utilizarán para desarrollar los procesos de creación nodal sobre fluidos. Imagen del autor.

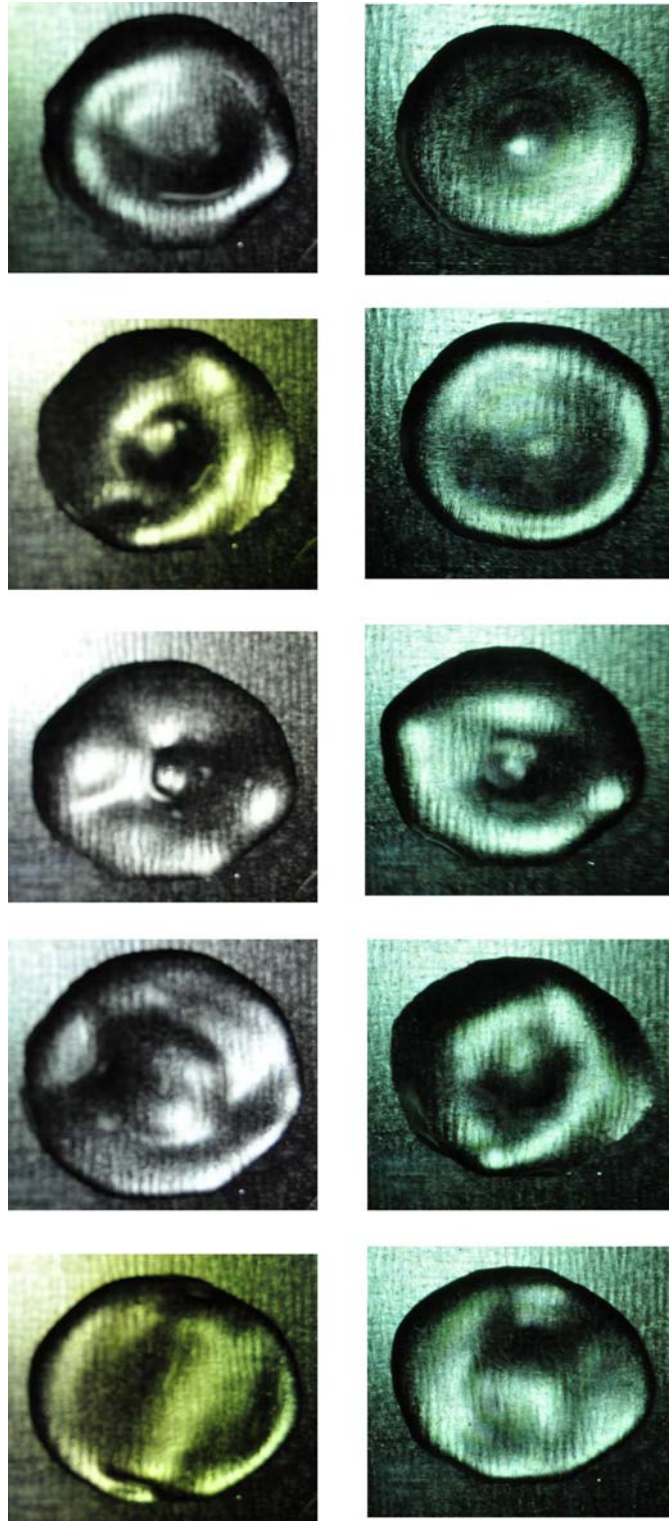


Figura 73. Estructura de una gota durante un proceso de oscilación de 12Hz, donde se muestra las formaciones en fase de cúpula/copa y las fases intermedias. Imagen del autor.

7.1.- Efectos cimáticos sobre una gota.

Cuando empezamos a estudiar los procesos de vibración sobre fluidos es conveniente comenzar a investigar el fenómeno oscilatorio de menor tamaño posible e ir aumentando la cantidad de líquido sobre el que aplicaremos procesos cimáticos.

Para comenzar a visualizar los procesos sobre gotas de agua, trabajaremos con una plancha de hierro galvanizado de 20 x 20 cm. y un grosor de 0.5 mm. fijada a un generador de ondas. Es muy importante que la placa metálica permanezca totalmente horizontal, ya que el menor grado de inclinación, influirá en la dispersión de la gota sobre la superficie.

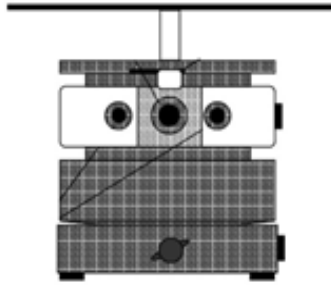


Figura 74. Esquema visual del generador de ondas y la plancha donde se desarrollaran los procesos experimentales sobre gotas de agua. Imagen del autor.

La primera diferencia que encontramos a la hora de trabajar con gotas de un fluido newtoniano respecto al trabajo con arena, es la gama de frecuencias que utilizaremos para hacer visibles los procesos sonoros. Mientras que cuando desarrollábamos patrones sobre planchas, la gama de frecuencias que generaban estructuras reconocibles oscilaba entre los 50Hz-20.000Hz, cuando desarrollamos el trabajo sobre gotas de agua este rango es mucho más acotado, abarcando el espectro entre los 10Hz-300Hz.

Cuando hacemos oscilar sobre una placa una gota de agua a una frecuencia de entre 10Hz y 12Hz, observaremos un proceso de vaivén que se genera con el movimiento de la plancha hacia arriba y hacia abajo. La gota adopta este movimiento y comienza a entrar en resonancia, creando dos fases bien diferenciadas. En la primera fase, se genera el efecto cúpula sobre la gota, cuando la plancha sube hacia arriba. La segunda fase denominada de copa, se origina durante el descenso de la placa hacia abajo, comprimiendo el líquido y formando una oquedad (*figura 73*).

El efecto de vaivén no romperá la simetría de la circunferencia natural de la gota, pero el aumento de la amplitud sobre un proceso oscilatorio, causará una mayor deformación de la gota, debido a que el líquido eyectado hacia arriba será mayor. Por lo tanto si aumenta la masa en la cúpula, en este proceso dual, la base tiene que menguar. Este proceso relativo a la inercia, ejerce un efecto de péndulo que no cesa mientras sigue actuando la vibración.

El efecto pendular, en ocasiones crea diminutas burbujas de aire en el interior de las gotas, mostrando el flujo de movimiento interior y las corrientes originadas por los vórtices. Si por su gran celeridad, no observamos bien estos procesos, podemos recurrir al uso de algún tinte o diminutas partículas como marcadores, para hacer visibles los vórtices originados con la oscilación (*figura 75*). El efecto visual más destacado de este vaivén son las llamadas zonas anulares que se originarán siempre a muy bajas frecuencias y que son el origen de cualquier proceso oscilatorio sobre una gota.

Figura 75. Esta imagen muestra una gota de agua a la que se le ha aplicado un tinte que permita visualizar el efecto pendular y los vórtices que se originan por el movimiento de flujos. Imagen extraída del libro Cymatics. >



(Jenny, 2001, 56)

Cuando en un proceso de oscilación sobre una gota se rompe la simetría y se originan dos lóbulos en una misma masa, uno de los lóbulos entrará en fase de cúpula mientras que el otro adoptará la fase de copa. Este sistema dual, es la respuesta natural del fluido para tratar de ocupar el espacio vacío que deja el otro lóbulo.

Cuando aumentamos la frecuencia y la amplitud sobre una gota de agua, esta comienza a modificar la forma de su volumen y se transforma en estructuras poligonales de múltiples aristas, que crean formaciones geométricas reconocibles (*figura 76*).

“Cada una de las fotografías de figuras primordiales que aparecen en las diminutas gotas de agua oscilando, revelan las más fascinantes estructuras y formas, pero solo cuando uno las observa como procesos dinámicos”.

(Lauterwasser, 2002, 69)

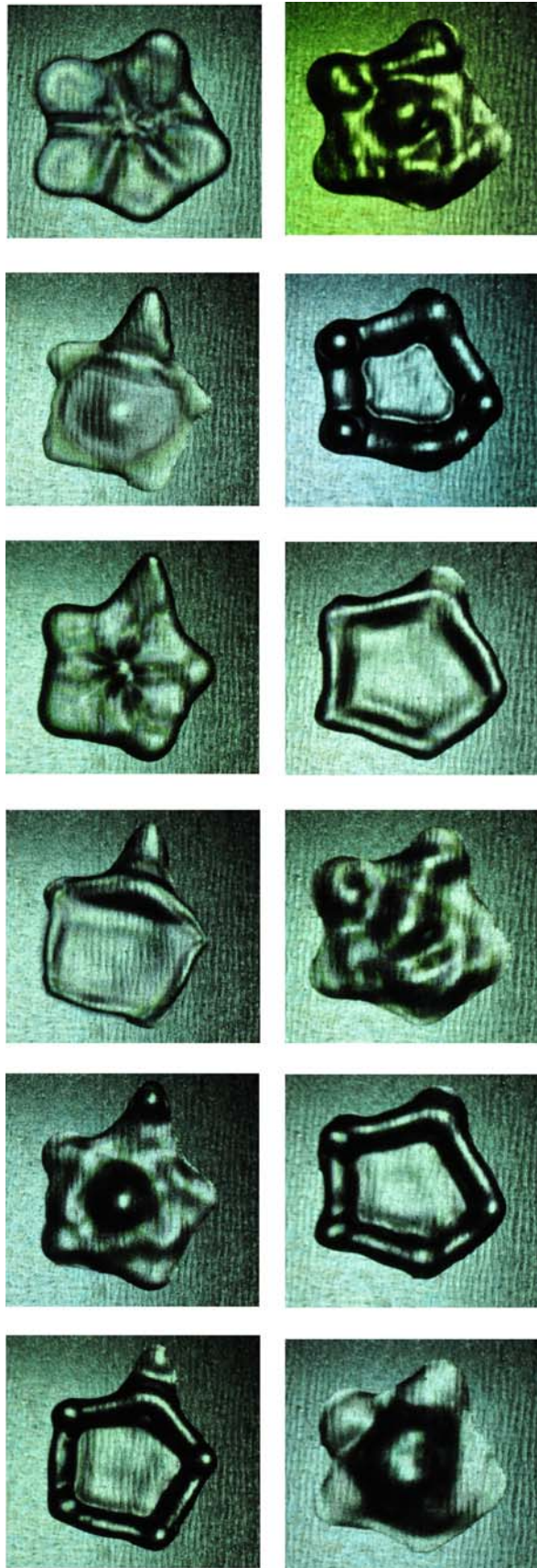


Figura 76. Serie fotográfica en la que se pueden observar las fases de una gota de agua, en la que se forma una estructura pentagonal. Tono de 20Hz. Imagen del autor. >

7.1.1.- Formaciones poligonales regulares sobre una gota.

Cuando observamos los procesos de formación desde arriba o en ángulo oblicuo lateral, podemos ver como en la primera fase de la oscilación, se originan las cúpulas en el centro de las gotas y aumentan las crestas en las zonas laterales. En la segunda fase sucede lo contrario. La siguiente secuencia de imágenes (*figura 77*), muestra claramente como el agua se mueve desde el medio hacia los bordes condensándose dentro de las cúpulas y luego retrocediendo y acumulándose en el centro otra vez. Cuando aumentamos mucho la amplitud, la cúpula central puede crear una forma muy cónica que eventualmente genera pequeñas gotas que se separan y salen despedidas.

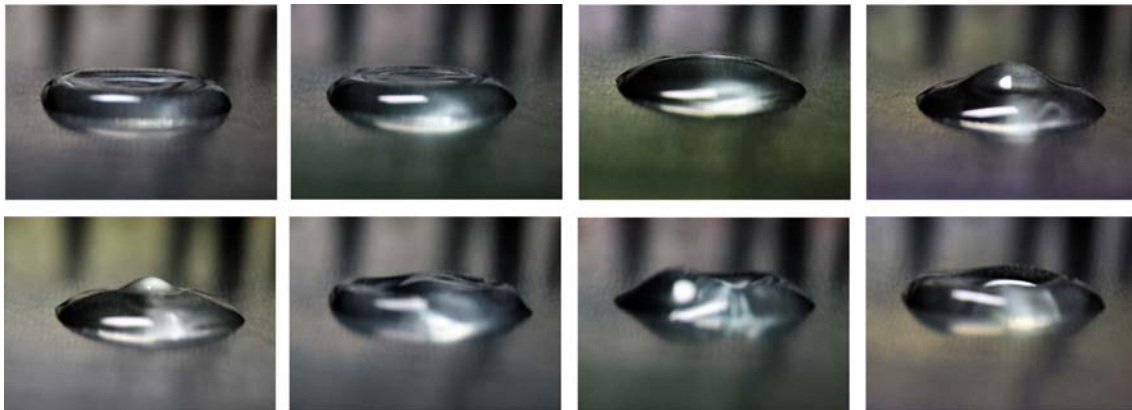


Figura 77. Esta secuencia muestra desde una vista lateral el proceso de formación de cúpulas y copas mediante un tono de 12Hz. Imagen del autor.

Si realizamos el mismo proceso sobre una gota que ha generado una forma pentagonal (capturando el proceso completo de oscilación), observaremos que la cúpula se separa en cinco nodos que forman lóbulos independientes hasta generar el pentágono (*figura 78*). Durante la fase de creación sobre gotas de agua, se ha observado como se mantienen intactas sus estructuras durante un determinado periodo de tiempo antes de autodestruirse por el propio efecto de la oscilación, convirtiéndose en masas amorfas que generan estructuras irregulares de carácter orgánico.

Si aplicamos una frecuencia (X) sobre una gota, debemos tener en cuenta que hay factores que pueden variar el resultado final del proceso de formación. Tal y como vimos en las figuras Chladni anteriormente, el tipo de material sobre el que se hace vibrar la gota, la temperatura y el tipo de fluido, influirán en el resultado final del proceso de creación. De esta forma, podemos obtener un pentágono de las mismas características sobre una plancha de hierro galvanizado con una frecuencia de 20Hz, que en una plancha de cobre con una frecuencia de 18Hz.

Es importante exponer que no todas las frecuencias generarán figuras poligonales regulares. El rango comprendido entre los 10Hz y los 30Hz, proporcionará la mayoría de las estructuras geométricas regulares de forma circular o con tres, cuatro, cinco, seis, siete o más caras. En la siguiente imagen, podemos observar este tipo de estructuras de formación nodal sobre una gota, creando formas circulares, triangulares, tetragonales, pentagonales y hexagonales (*figura 78*). De esta forma observaremos las estructuras que se crean sobre los diferentes polígonos regulares.

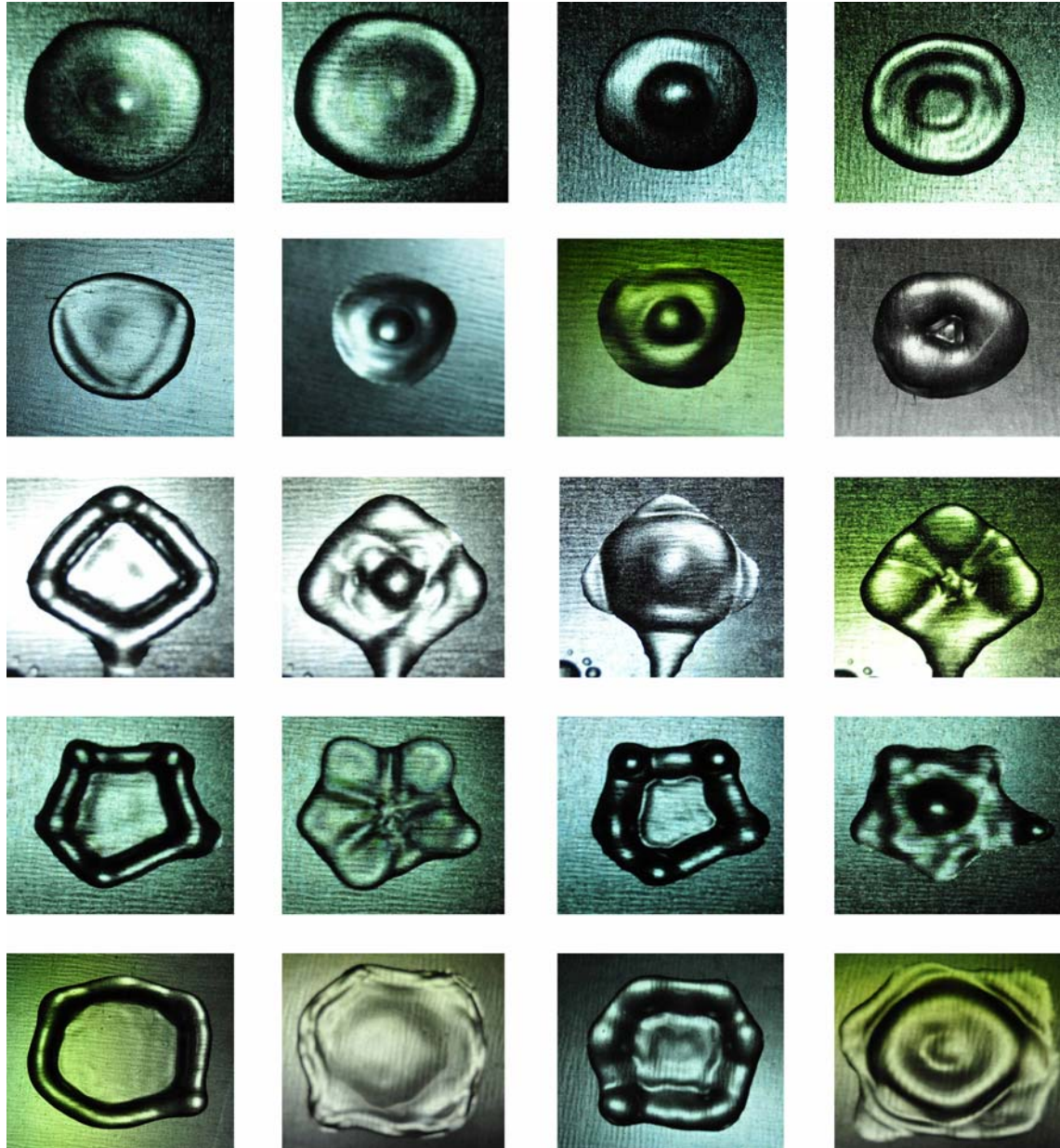
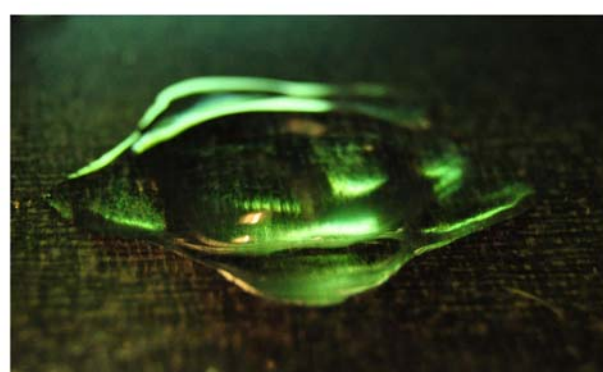
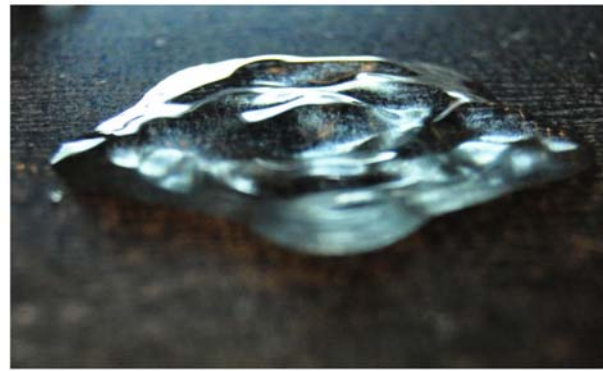
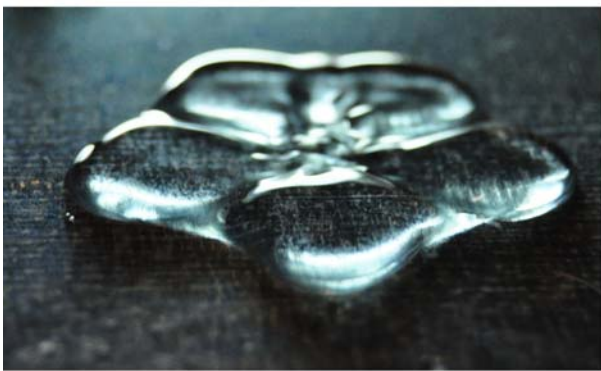
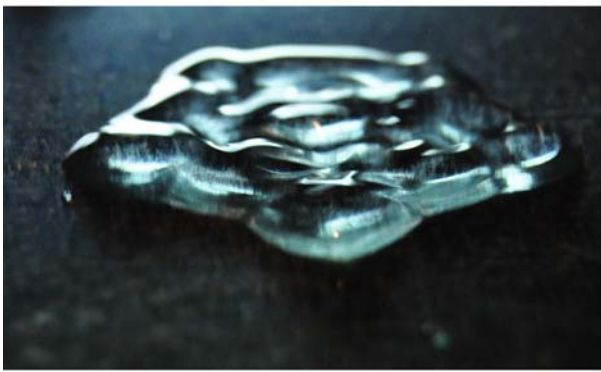
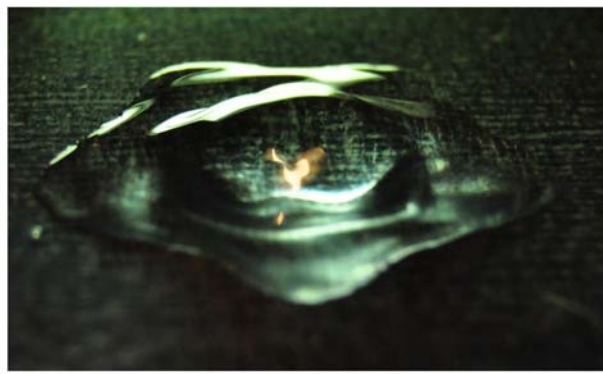
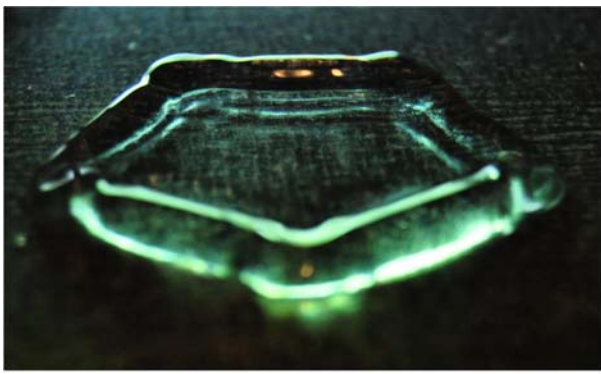


Figura 78. Secuencias de formación sobre una gota en una plancha de hierro. Estructura circular, triangular, cuadrada, pentagonal y hexagonal. Imágenes del autor.



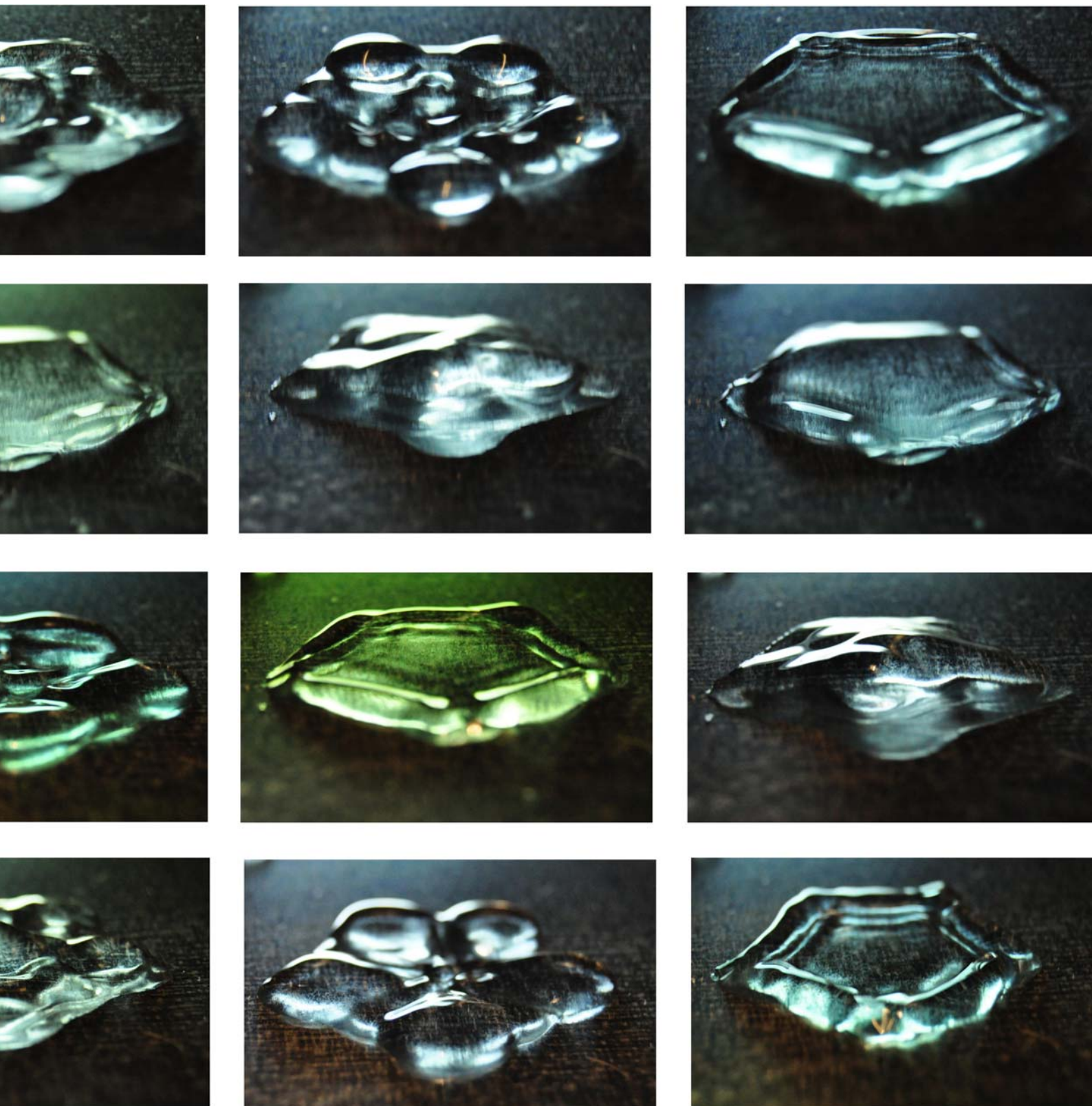
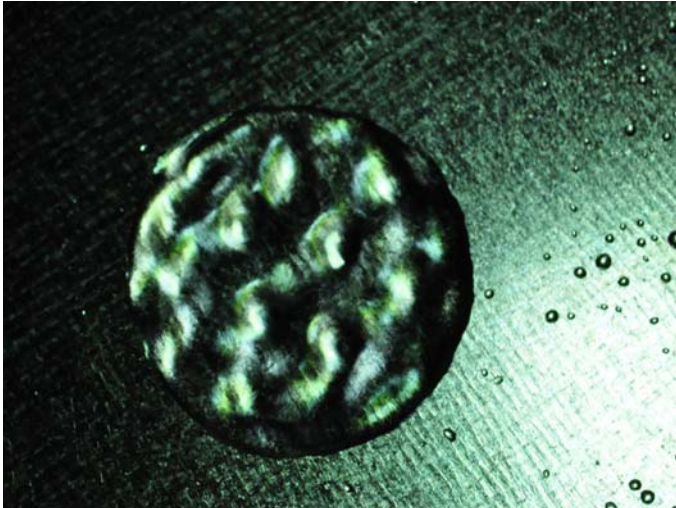


Figura 79. Secuencia de generación de una gota en forma pentagonal, desde una vista oblicua lateral. 20Hz. Imágenes del autor.

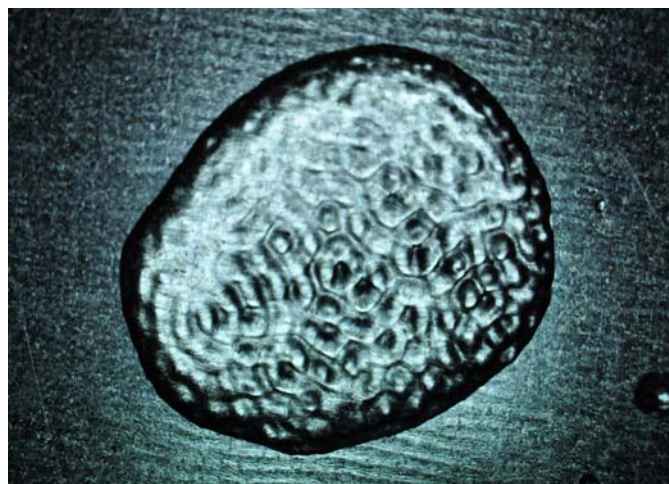
Si sobrepasamos los 30Hz, aparecen otro tipo de formaciones sobre la superficie de las gotas, conocidas como estructuras de malla, de rejilla o de retícula⁴⁰ (figura 80). Estas estructuras son el resultado del gran aumento de nodos que se generan sobre la superficie oscilante, debido a la tensión que ejerce la vibración sobre el fluido.



< Figura 80. La imagen muestra una gota, en cuyo interior se generan estructuras de malla. Estas formaciones aparecen cuando se sobrepasan los 30hz. En este caso se aplica un tono de 47Hz. Imagen del autor.

A medida que aumentamos el rango de frecuencias sobre este tipo de estructuras, se rompe la simetría de la gota y van apareciendo muchos más nodos, que decrecen de tamaño pero que rellenan más visiblemente el interior de la gota (figura 81). Los nodos que se generan en estos complejos entramados de malla o de rejilla, también adquieren un carácter poligonal.

Figura 81. Formaciones de malla en el interior de una gota que esta rompiendo la estructura simétrica. Podemos observar como los nodos interiores, adquieren también entramados geométricos. Tono de 80Hz. Imagen del autor. >

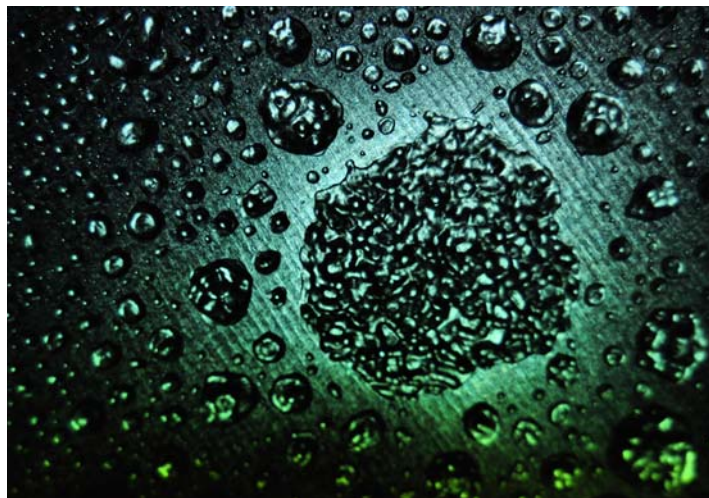


40 La denominación "estructuras de malla, de rejilla o de retícula", es una adaptación de la palabra inglesa "lattices", con la que el Dr. Hans Jenny bautizó este tipo de estructuras.

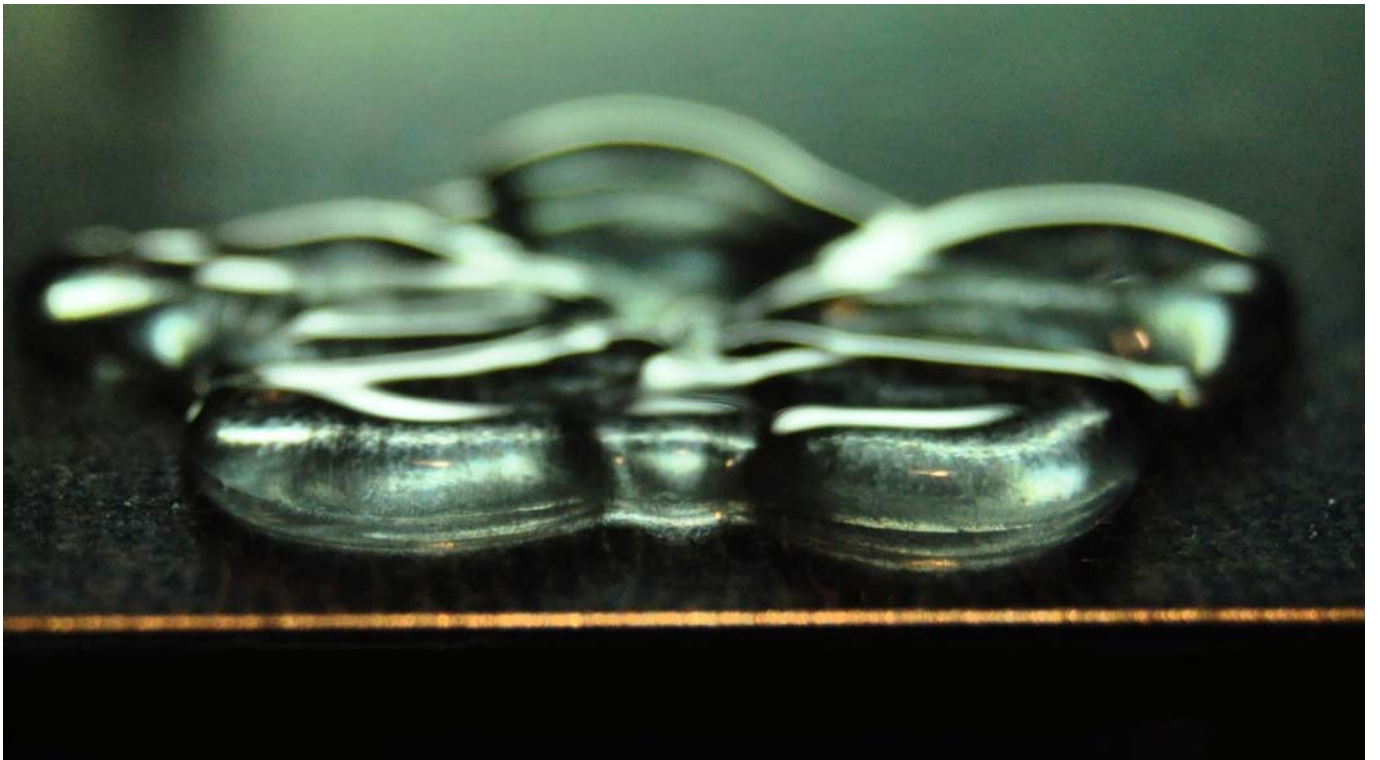
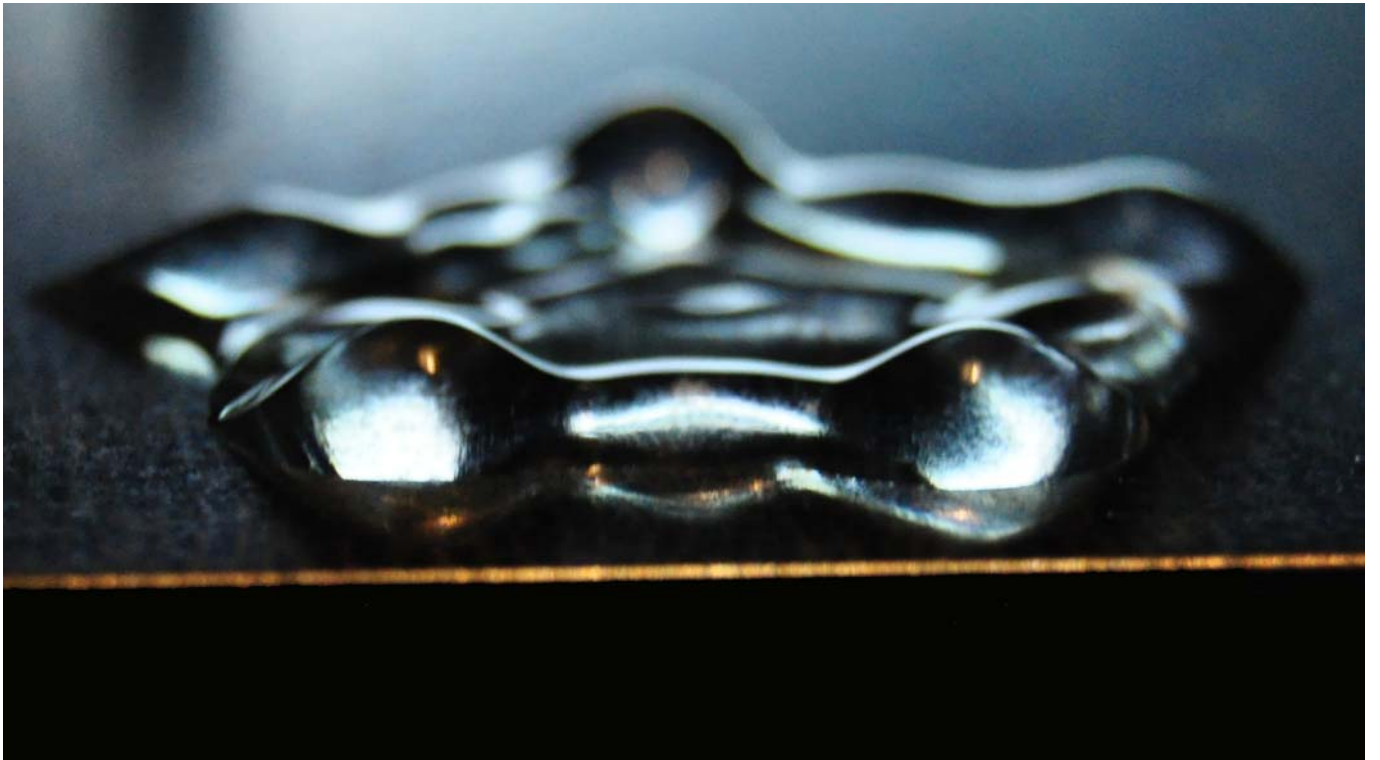
Según el tono aplicado, podremos encontrar múltiples construcciones en el interior de estas mallas, que van desde la forma de diminutos pentágonos en estructuras de panal de abeja, a diminutos triángulos que forman estructuras similares a las escamas de los réptiles. Variando los niveles de amplitud, podemos hacer que las estructuras de rejilla se mantengan estáticas o en movimiento. La masa global del líquido, también se ve afectada por los cambios en la amplitud, moviendo las gotas de un lugar a otro de la superficie sin perder en gran medida su estructura circular. Muchas de las frecuencias intermedias (con decimales), no crearán formaciones de malla distintas entre sí, simplemente observaremos como la escala de estas estructuras aumenta o mengua, según incrementamos o hacemos decrecer el tono.

Al aumentar el rango de frecuencia entre los 190Hz y los 210Hz, aumentando el nivel de amplitud, surge uno de los efectos más extraños que podemos observar. La tensión ejercida por el efecto de la vibración hace que la gota se achate y aplaste contra la superficie. Durante este proceso la masa principal de líquido se divide en diminutas micro-partículas que salen eyectadas en todas las direcciones como en la erupción de un geiser (*figura 82*). El volumen total de agua que forma la gota no se desvanece instantáneamente, pero si el proceso perdura en el tiempo, la disolución en micro-partículas es total.

Figura 82. Imagen de una gota a la que se ha aplicado una frecuencia de 200Hz y una amplitud máxima. El proceso genera la disolución por medio de eyecciones de micro-gotas. Imagen del autor. >



A medida que aumentemos más el rango de frecuencias, los patrones en forma de malla seguirán presentes. No obstante, observaremos como los nodos y las formas que estos generan, cada vez adquieren una escala menor hasta llegar a un punto cercano entre los 300Hz-350Hz, en el que visualmente son tan diminutos que desaparecen. La potencia generada por la amplitud en un equipo normal, en el instante de sobrepasar los 350Hz, no generara ningún tipo de estructuras sobre la superficie de una gota.



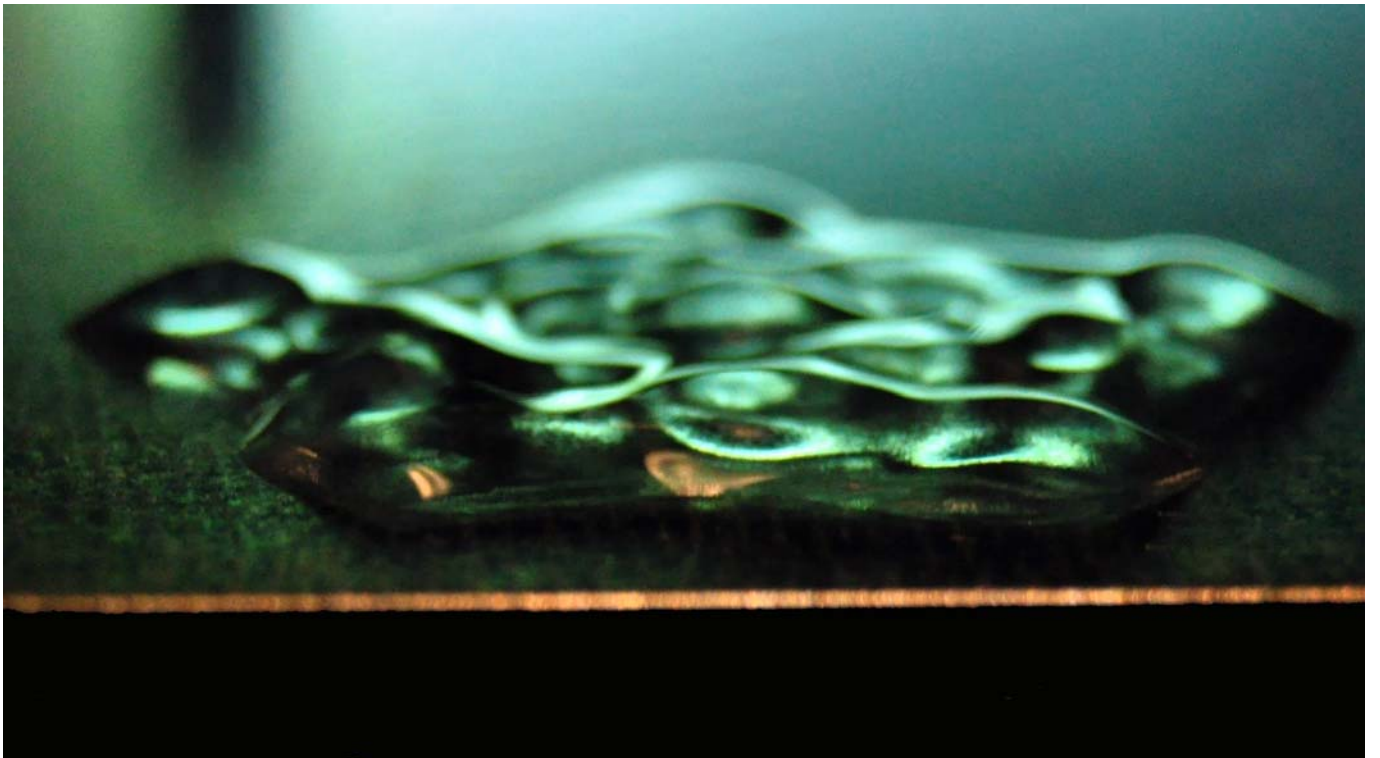


Figura 83. Estructura Poligonal de forma pentagonal o de estrella de 5 puntas, sobre una gota de agua. Tono de 20Hz. Imagen del autor.

7.1.2.- Formaciones irregulares sobre una gota de agua.

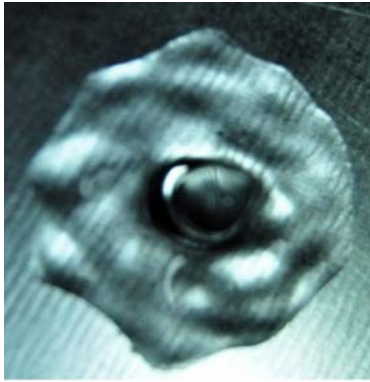
Un aspecto importante del trabajo sobre gotas de agua, son los fenómenos de formación irregular. Estos procesos se generan con múltiples frecuencias que no consiguen desarrollar sistemas geométricos y acaban originando un compendio de estructuras de formas orgánicas complejas de gran belleza. Para estudiar el desarrollo de estas formaciones, dividiremos el trabajo en dos apartados. En el primero de ellos, analizaremos las formas irregulares producidas por la rotura de la simetría durante la oscilación de una estructura poligonal regular. El segundo campo, abordará los procesos que evolucionan directamente desde una forma irregular en el inicio del periodo de vibración.

1-Formaciones irregulares producidas por Rotura de simetría.

Cuando un proceso de oscilación genera estructuras poligonales regulares y se prolongan durante un largo periodo de tiempo, estas acaban deformándose por las siguientes razones;

- El efecto más común, es el propio movimiento ejercido por el fluido sobre la superficie en la que se asienta (*figura 84*). El efecto pendular, mueve constantemente la masa propiciando la destrucción de la simetría.
- El movimiento oscilatorio que ejerce la placa sobre el fluido, hace que las fases originen pequeñas diferencias en el desarrollo formal, obteniendo una deformación con el paso del tiempo (*figura 85*).
- La pérdida de fluido por dispersión provoca pequeñas alteraciones que dan como fruto la rotura de simetría. Esta destrucción por dispersión de las gotas sobre la plancha, no es apreciable si los procesos son de corta duración. No obstante, si el proceso perdura en el tiempo más de un minuto, este efecto se muestra de forma muy clara.
- La alteración en la inclinación respecto a la horizontal y las impurezas sobre la superficie de las planchas o bañeras de vibración, también causarán gradualmente un proceso de rotura.

Esta destrucción no es instantánea, sino que sigue un proceso evolutivo en el que podemos observar durante un prolongado periodo de tiempo, la evolución producida y la aparición de remanentes de la estructura regular anteriormente adquirida (*figura 86*).



< *Figura 84. Esta secuencia muestra la deformación en el proceso de formación debido al efecto pendular (producido por la oscilación de la plancha). Las flechas rojas muestran los lugares donde el fluido se desplaza. Cuando se rompe la simetría radial, dejan de formarse estructuras poligonales. Imagen del autor.*

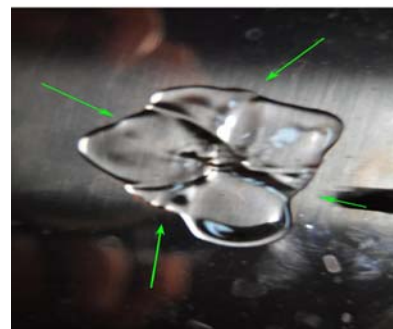
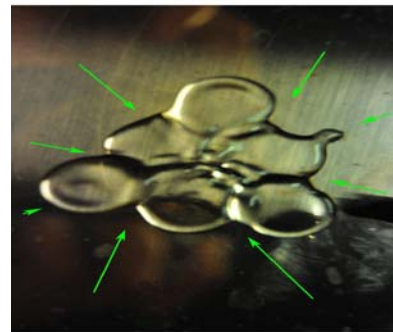
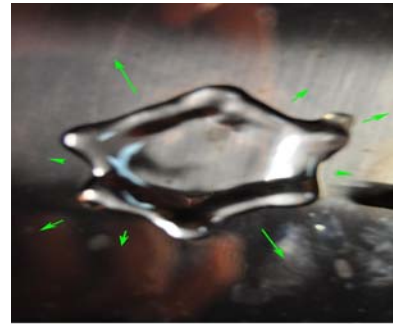
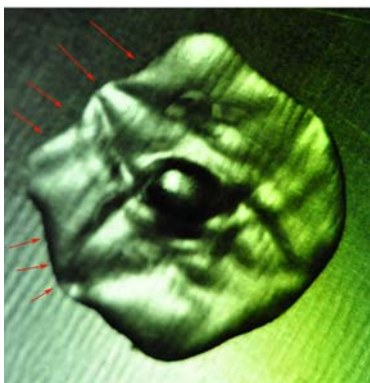
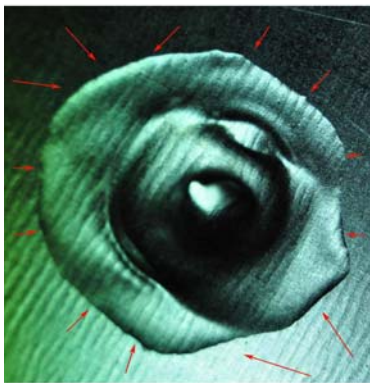


Figura 85. Esta secuencia muestra, la deformación por el paso del tiempo durante el transcurso de un proceso de oscilación. Las flechas verdes muestran la direccionalidad que ejerce la fuerza de tensión en el fluido. Esto provoca ínfimas deformaciones en cada ciclo, que con el paso del tiempo acaban por destruir la simetría. Imágenes del autor.

>

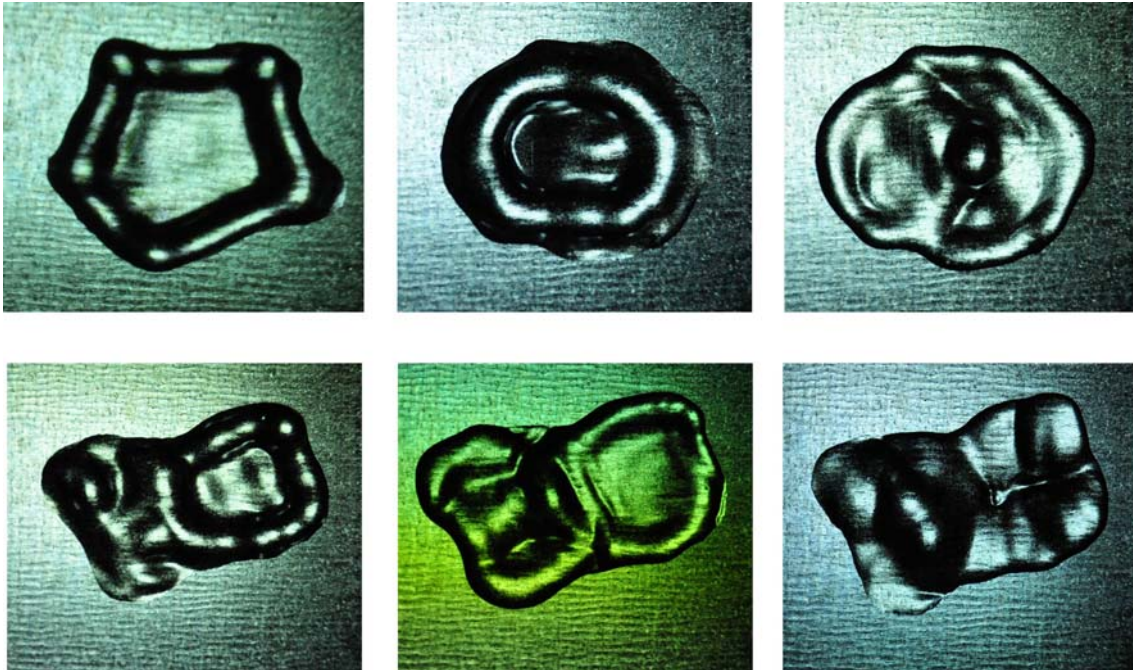


Figura 86. Secuencia del proceso de autodestrucción de una gota con forma pentagonal que evoluciona hasta adquirir una estructura irregular de carácter orgánico. Frecuencia de vibración de 20Hz sobre una plancha de hierro galvanizado. Imágenes del autor.

7.1.3.- Evolución de estructuras irregulares desde una gota.

Cuando analizamos la formación irregular sobre estructuras no poligonales, observamos que es un proceso sencillo en el que la oscilación no consigue formar ninguna estructura (deformando la masa del líquido). Las construcciones irregulares se originan por el desplazamiento del fluido debido al proceso oscilatorio. Cuando la asimetría penetra en la gota, divide el espacio en picos y oquedades, con apariencia orgánica.

Aun siendo formaciones irregulares, no tenemos que olvidar que el movimiento polarizado de dos fases sobre un material elástico como es el agua, siempre originará cierto tipo de estructuras reconocibles. La acumulación de más cantidad de líquido en puntos concretos de la formación irregular, permitirá un mayor grado de oscilación en dichos puntos. Esto se traducirá en la aparición de semi-estructuras geométricas en dichas zonas. La siguiente secuencia (*figura 87*), muestra como durante la primera fase el fluido se desplaza sobre la superficie y deja de ser una estructura ordenada. El efecto de la vibración va dispersando el líquido en varias direcciones en las que surgen oquedades y reagrupamientos de materia. Cuando un fluido se reagrupa creando un nodo que contiene suficiente material, aparecerán estas estructuras híbridas entre lo regular y lo amorfo.

La mayor parte de estructuras que se originan en los procesos irregulares, siguen apareciendo como formas sinuosas, en las que las curvas creadas mas el reflejo de la luz y las sombras, causan una apariencia orgánica.

Es inusual la aparición de estructuras en forma de gusano (*figura 88*). No obstante pueden llegar a originarse bajo ciertas condiciones en las que una gota se estira por ambos extremos, generando una figura irregular que acaba por volver a reorganizarse. Estas formaciones se crean como una secuencia seguida de ondas que fluye por el interior de la masa del fluido y las denominaremos “estructuras de tren de onda⁴¹”.

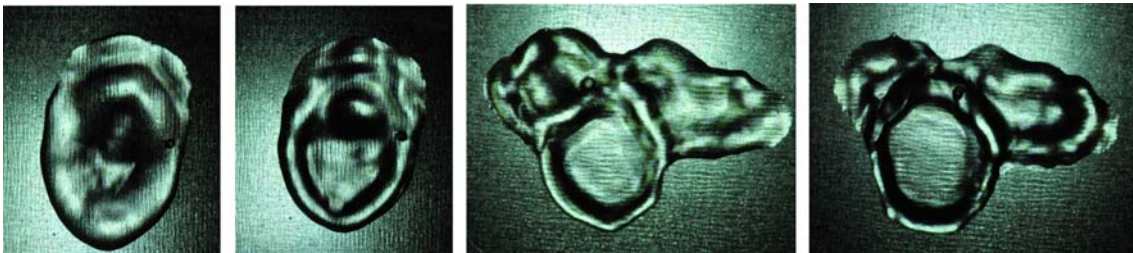


Figura 87. Secuencia de un proceso irregular de formación en el que se ha aplicado un tono de 17Hz. Imagen del autor.

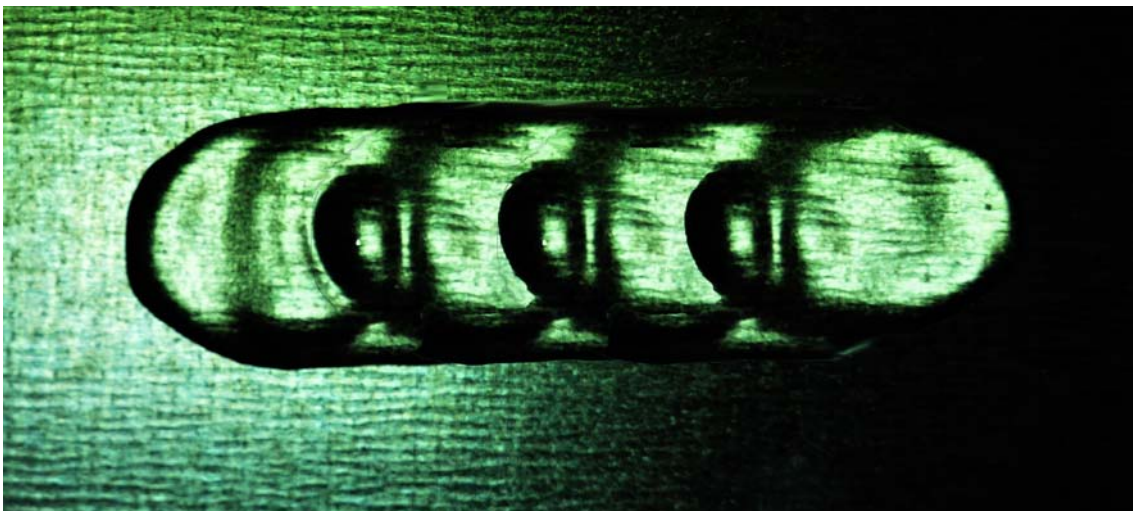


Figura 88. Este tipo de estructuras denominadas trenes de onda, son poco comunes en formaciones de gotas de agua. No obstante más adelante veremos como si son frecuentes cuando se generan procesos de oscilación sobre cantidades más grandes de fluidos. Imagen del autor.

41 La denominación “tren de ondas”, es la traducción de la forma inglesa “Wave trains” adoptada por el Dr. Hans Jenny en su libro *Cymatics*. (Jenny, 2001:135).

7.2.- Efectos cimáticos sobre Fluidos Newtonianos.

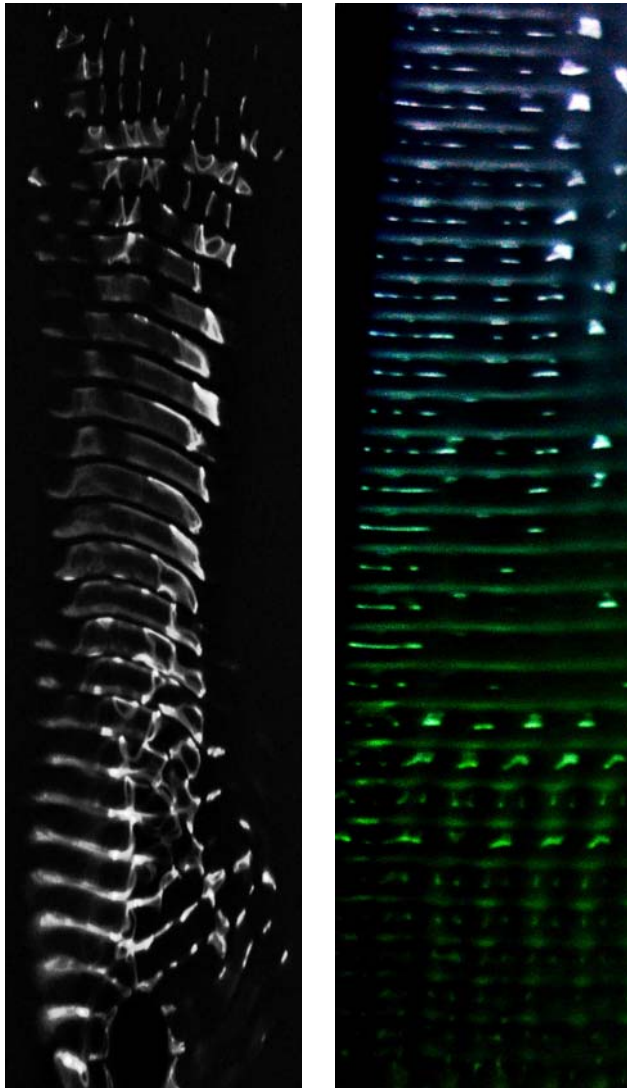
Si aplicamos un tono sobre una plancha en la que se ha depositado un líquido, esta entra en estado de resonancia y generará una serie de efectos que transformarán el estado del fluido. En el transcurso de este capítulo, utilizaremos para el desarrollo de la investigación una serie de materiales como el agua, la glicerina y la tintura de yodo con base de alcohol, para observar los fenómenos que se producen (estos tres elementos, representan perfectamente las distintas densidades de los líquidos newtonianos más comunes). El agua es un material de densidad neutra que la convierte en el perfecto marcador debido a su textura y transparencia. Hay que tener en cuenta que el uso de fluidos de mayor o menor densidad (como la glicerina o la tintura de yodo a base de alcohol), proporcionará sobre los procesos resultados similares. No obstante, únicamente serán utilizados estos materiales bajo condiciones en las que el agua no puede ser utilizada.

Los procesos de oscilación sobre fluidos son más complejos que los realizados sobre sólidos. Esto se debe a que a partir de ciertas frecuencias, existe un cierto caos sobre la formación nodal, dificultando la obtención de patrones bien definidos a través de la geometría. Cuando trabajábamos con arena, el rango de frecuencias aplicable para la obtención de figuras estaba comprendido entre los 50Hz y los 20.000Hz. En cambio a la hora de trabajar sobre fluidos, este rango es muy inferior y abarca solamente desde los 10Hz hasta los 3000Hz. Cuando se sobrepasa este rango de frecuencia, la superficie de los fluidos no presenta alteraciones perceptibles en el ojo humano. Hay que destacar que dentro de este rango, existen dos espectros bien diferenciados. Por un lado encontramos el intervalo entre los 9Hz y los 35Hz, donde se generarán estructuras poligonales geométricas reconocibles. En segundo lugar está el intervalo comprendido entre los 30Hz hasta los 3000Hz, donde solamente aparecerán estructuras de malla de diferentes ámbitos.

Uno de los grandes factores a tener en cuenta, es la superficie sobre la que se aplicarán estos fluidos. Cuando trabajamos sobre planchas y apliquemos una frecuencia (X), obtendremos resultados diferenciados respecto al mismo proceso realizado en un fluido contenido en el interior de bañeras de vibración de las mismas características. Cuando el fluido está encerrado entre paredes, el efecto de la oscilación se retroalimenta y el líquido no puede escapar al espacio que lo contiene. En ese momento, el fluido genera la estructura nodal con la forma del contorno que lo encierra. A este proceso se le conoce como formación de ondas rítmicas de propagación sobre un fluido y será estudiado en el siguiente capítulo.

Utilizando como base, los trabajos desarrollados por el Dr. Jenny y Alexander Lauterwasser, he realizado un amplio estudio sobre los procesos sonoros en fluidos, con el fin de comprender las estructuras de formación nodal (para futuras aplicaciones en el contexto artístico contemporáneo).

Al iniciar un proceso de oscilación mediante un tono de 20Hz sobre una masa de agua contenida en la superficie de una plancha, esta entra en resonancia creando las primeras líneas nodales de formación (*figura 89*). Estas primeras líneas aparecerán bajo la forma de los denominados *trenes de onda según* (*Jenny, 2001, 137*), llamados así por la creación de nodos en cadena que se entrelazan. En la siguiente composición, aparecen diferentes formaciones de *trenes de onda* que se originan sobre una lámina de agua sometida a vibración. La irregularidad del patrón que se genera en estos trenes, es fruto de la irregularidad de la masa de agua que se deposita en la superficie de la placa de hierro.



< *Figura 89. En las imágenes podemos observar estas dos estructuras en forma de tren de onda, generadas sobre una fina película de agua en una plancha de hierro de 20 x 20 cm. y un grosor de 0.5 mm. Frecuencia de 20Hz. Imágenes del autor.*

Cuando aumentamos la amplitud sobre la superficie de un gran volumen de fluido esparcido sobre la superficie de una plancha, las formaciones evolucionan hacia la creación de estructuras mucho más complejas, llamadas estructuras de malla según (Jenny, 2001, 49). Estas pueden desarrollar nodos de formación geométricos de diversas escalas y podemos observarlas como ondas estacionarias, (en las que las formaciones nodales pueden desplazarse sobre la superficie) o mantenerse fijas en un mismo emplazamiento. La característica común en todos los procesos de creación en forma de malla, es la propagación radial de los nodos desde el epicentro de la vibración hacia el exterior (*figura 90*).

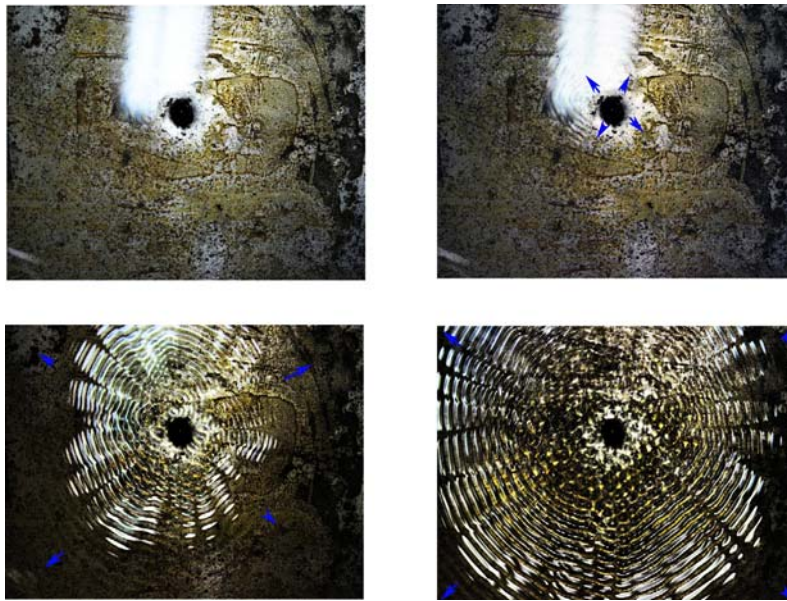


Figura 90. Proceso radial de formación desde el epicentro de la vibración, sobre una plancha en la que se ha depositado una lámina de glicerina. Se utiliza glicerina en lugar de agua por motivos de dispersión del material. 22Hz, máxima amplitud. Imagen del autor.

Las estructuras de malla generan varios tipos de nodos (*figura 91,93 y 96*). Podemos encontrar estructuras fijas y las que se mueven sobre la superficie cambiando de forma constantemente. Cuando realizamos una instantánea sobre los nodos que aparecen en forma de malla, apreciaremos las estructuras que generan estos entramados que recuerdan, desde procesos de formación celular hasta las estructuras de panal de abeja. Mediante la correcta utilización de un foco de luz, podemos hacer visibles los detalles más precisos de la formación de diferentes microestructuras que sirven para generar estos entramados. Cuando ampliamos los detalles, desvelamos la aparición de figuras geométricas de menos de 0.01 mm. de longitud en forma de polígonos regulares.

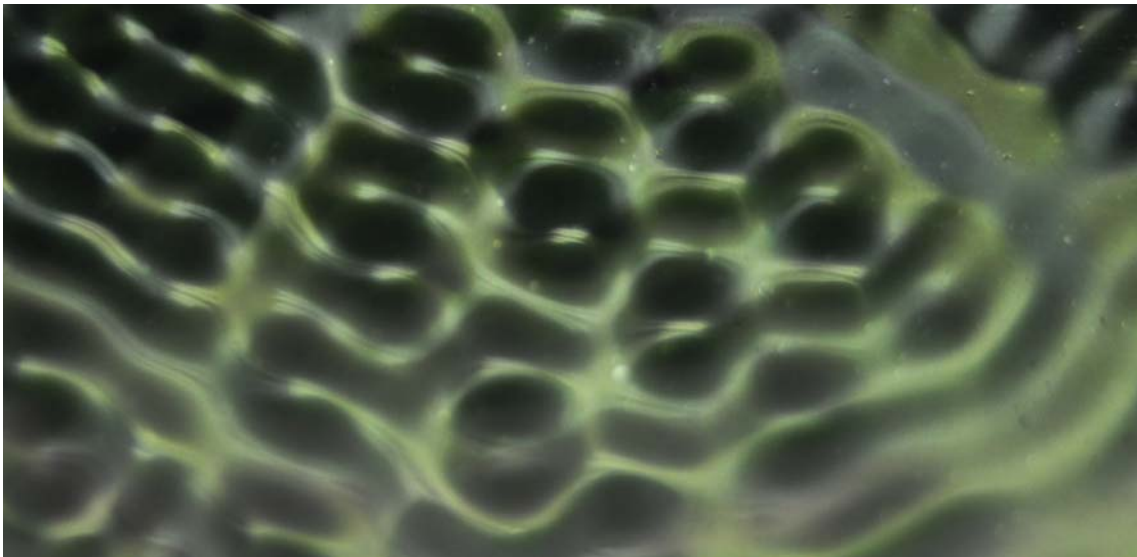
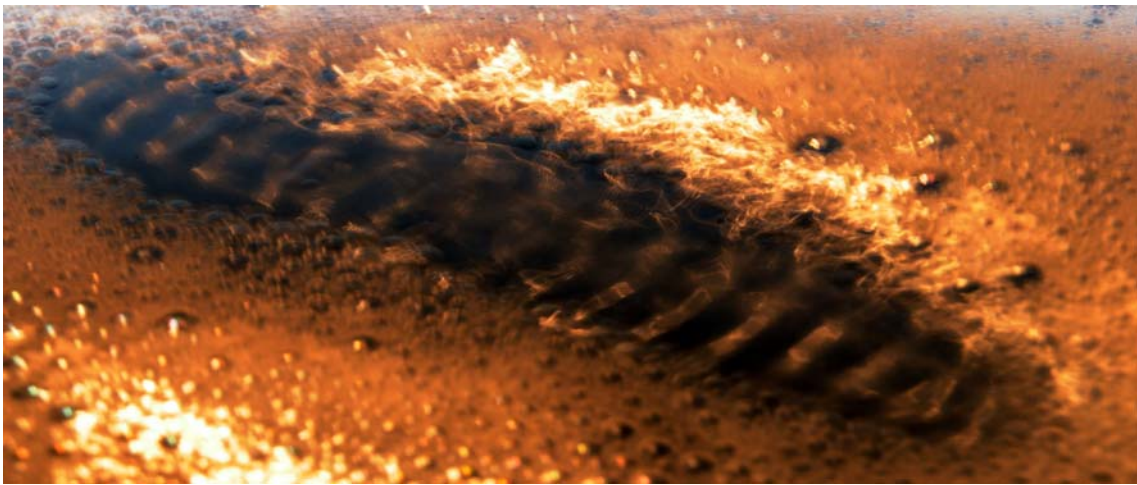
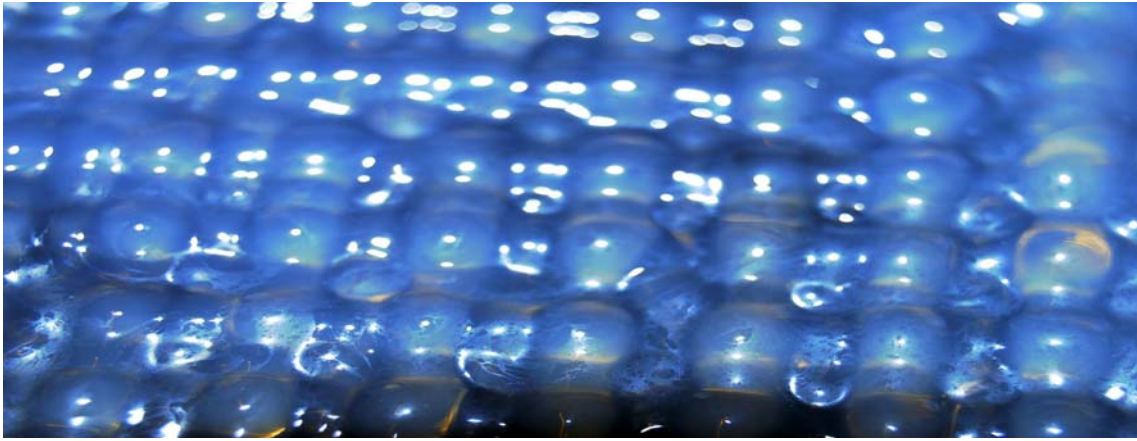


Figura 91. Las imágenes muestran detalles de diferentes estructuras nodales que aparecen en el interior de los procesos de formación de malla. Imágenes del autor.

Cuando se varía la amplitud o la frecuencia sobre estas retículas, aparecen estructuras piramidales en las que los nodos se convierten en una maya que se mueve al unísono (*figura 96*), dotando al fluido de una apariencia de textura. Estos procesos de creación de estructuras nodales, pueden verse afectados si encerramos el fluido bajo las paredes de un recipiente. En este caso muchos de los nodos adoptarán la direccionalidad característica del recipiente que las contenga.

Cuando aumentamos el rango de frecuencias entre los 50Hz y los 300Hz, los nodos de formación se tornan cada vez más pequeños y complejos hasta que llega un punto en el que solo podemos apreciar pequeños entramados que convierten la superficie del fluido en una maya densa de tejido. Este tipo de mallas parecen generar una textura uniforme sobre la superficie. Finalmente si seguimos aumentando el valor de la frecuencia aplicada, la tensión sobre el fluido es mínima y no se generan estructuras visibles a partir de 350Hz. Si aumentamos la frecuencia hasta los 950Hz y los 2500Hz, aparecerán tonos altamente resonantes que generarán, en determinadas zonas de la plancha, pequeñas formaciones de estructura de malla que se ubicarán en lugares determinados, formando un patrón de puntos resonantes (*figura 92*).

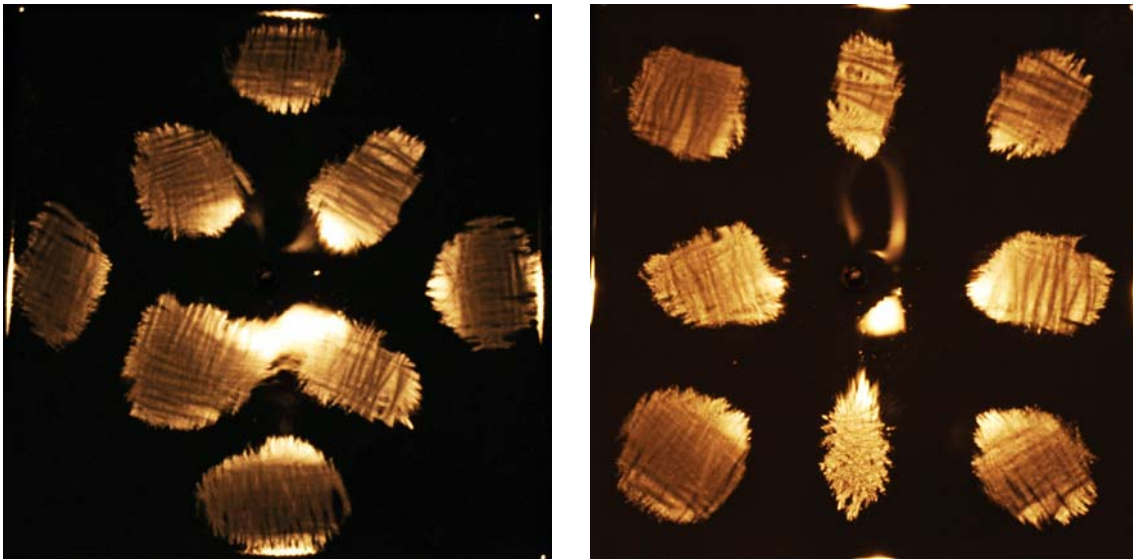


Figura 92. Imágenes de unos patrones que aparecen sobre una plancha que contiene una fina película de tintura de yodo. Al utilizar frecuencias cercanas a los 950Hz y 2500Hz, aparecen estas estructuras de malla, en determinados puntos de la superficie formando figuras. Se utiliza tintura de yodo por su color de contraste y su baja densidad. Imágenes del autor.

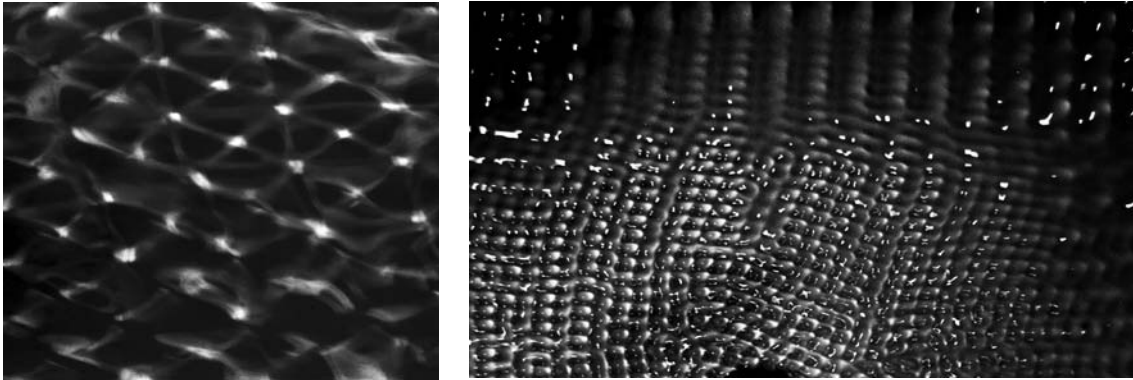


Figura 93. Estructuras de malla piramidal y entramados creando una textura, sobre la superficie de una película de agua depositada en una plancha rectangular de cobre de 25 x 16.5 cm. y 0.5 mm. de grosor. Imagen del autor.

Mientras que en la utilización de cristales de arena, el aumento de la amplitud no tenía incidencia en la creación de figuras sobre la superficie de las planchas, cuando la amplitud actúa sobre fluidos, las estructuras adoptan características especiales. Si aplicamos un gran nivel de amplitud sobre un fluido vibrando a bajas frecuencias (10Hz-20Hz), se produce un efecto en el que la resonancia expulsa pequeñas cantidades de fluido en forma de diminutas gotas hacia el exterior (motivado por el movimiento oscilatorio generado y la acumulación de masas). Este fenómeno, surge de nuevo en el rango comprendido entre 180Hz-210Hz y aparece como un fenómeno de anti-gravitación, producido por la tensión del fluido (*figura 93*). Se eyectan hacia el exterior multitud de gotas, que alcanzan una altura de medio metro y una longitud de expansión de hasta varios metros. Si el fenómeno se prolonga en él tiempo, puede provocar la repulsión de la totalidad del fluido, depositándolo en pequeñas partículas alrededor del nodo principal de vibración (*figura 94*).

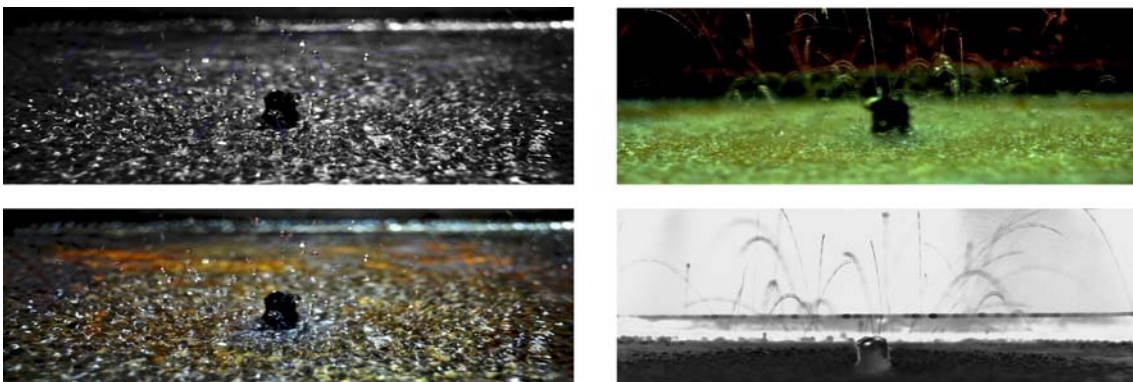


Figura 94. Proceso de eyección de gotas de agua. Plancha de hierro de 20 x 20 cm. y 0.5 mm. de grosor oscilando a 207HZ y una amplitud máxima. Imágenes del autor.

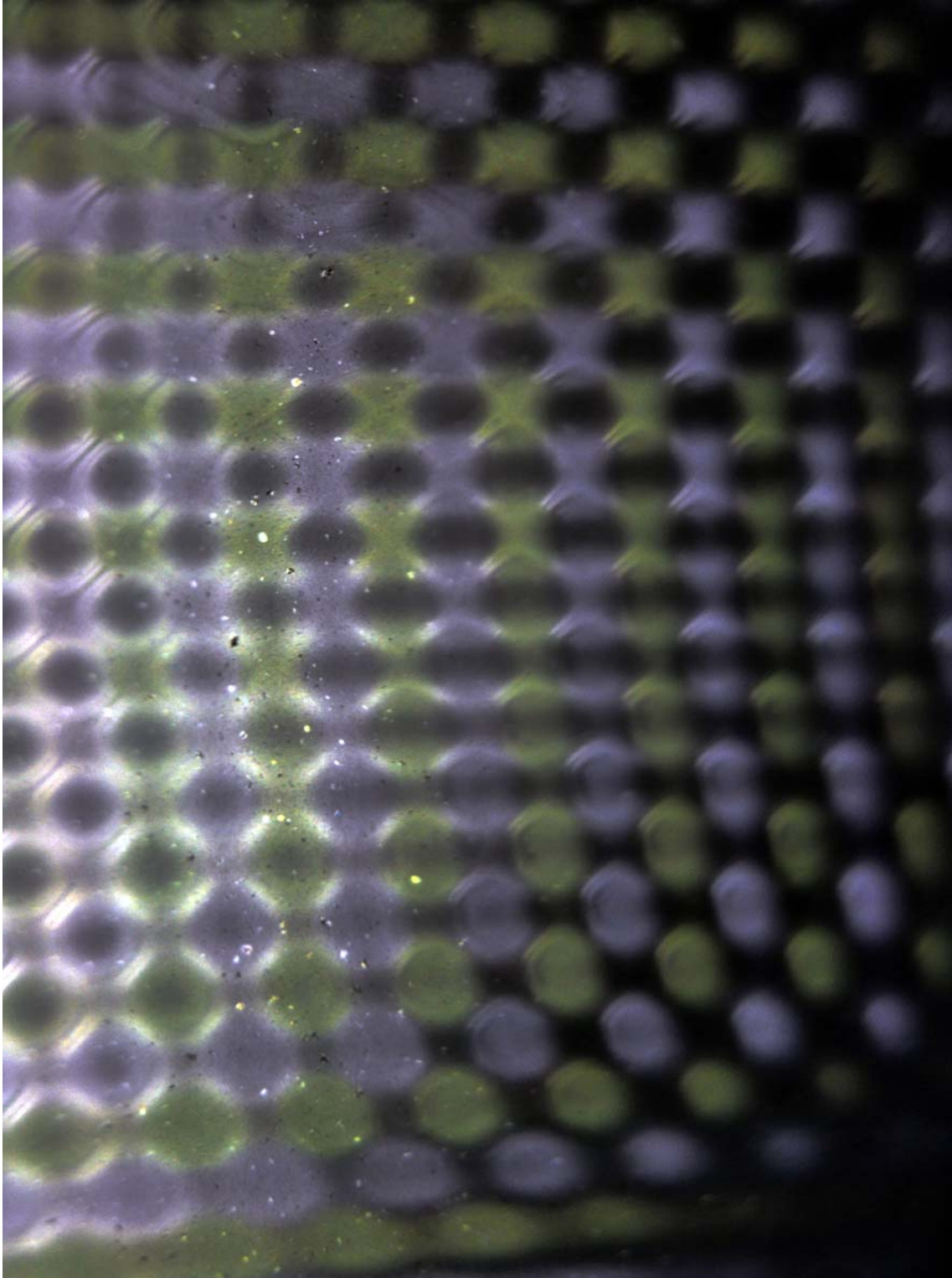
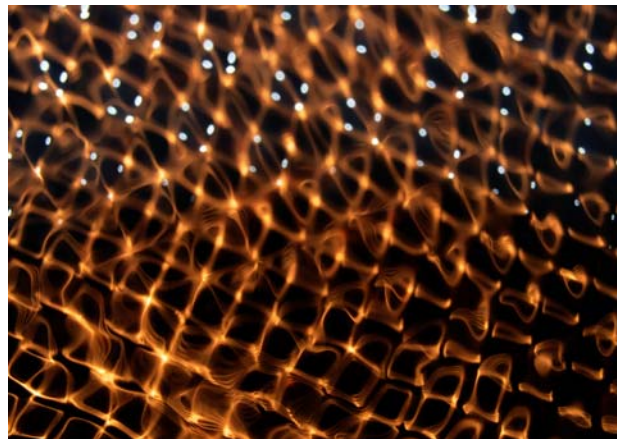
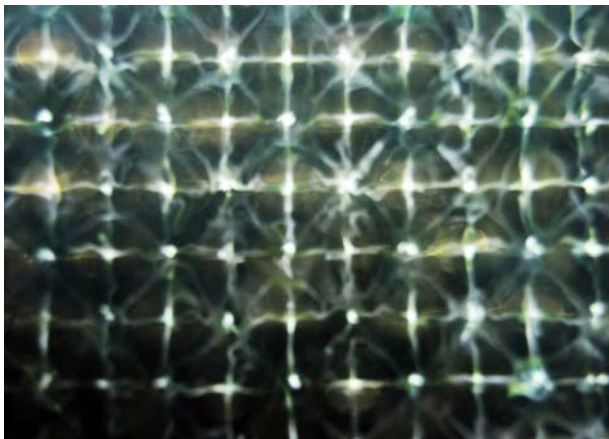
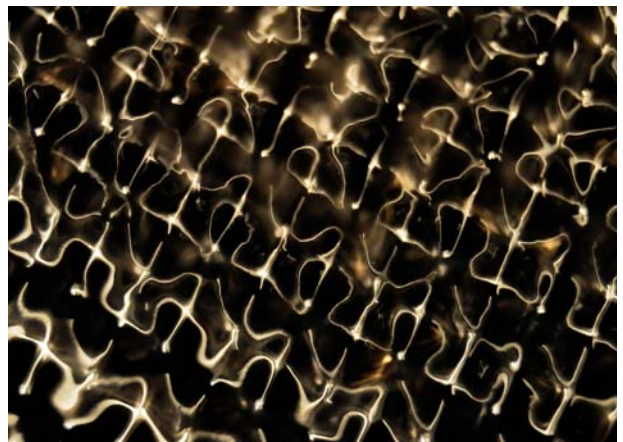
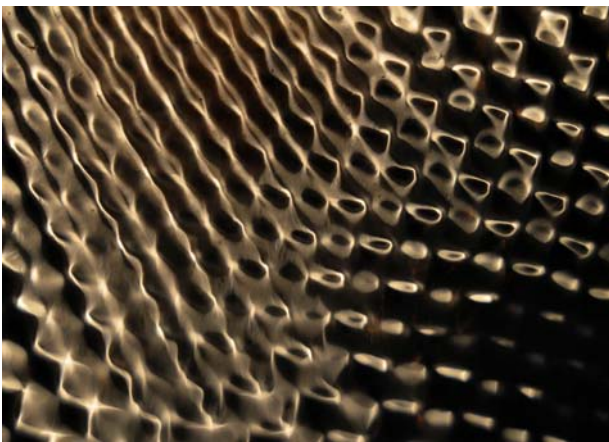
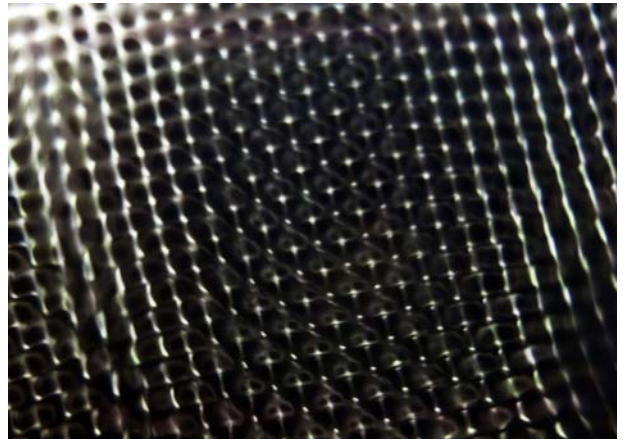
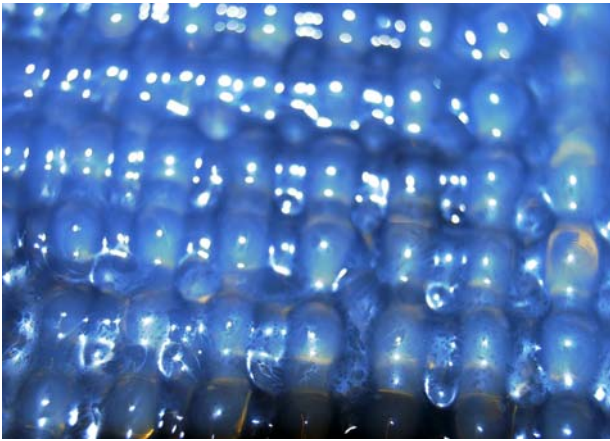


Figura 95, Las imágenes muestran diversas estructuras nodales diferentes que se generan en el interior de las formaciones de malla. Imágenes del autor.



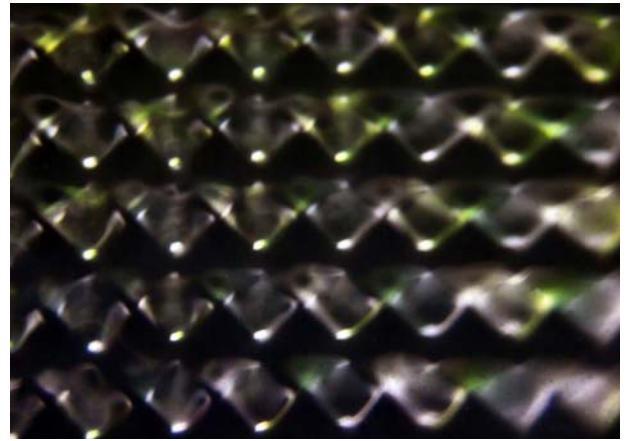
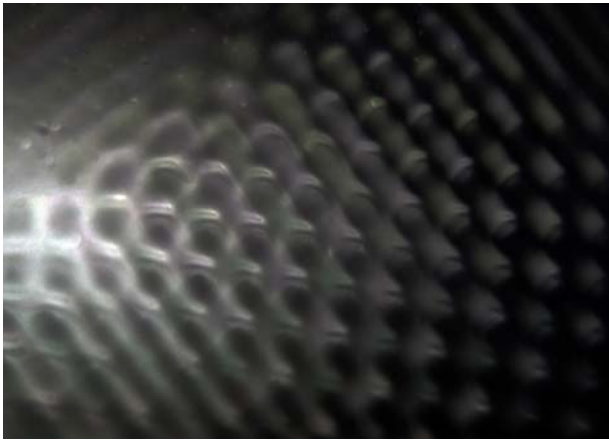
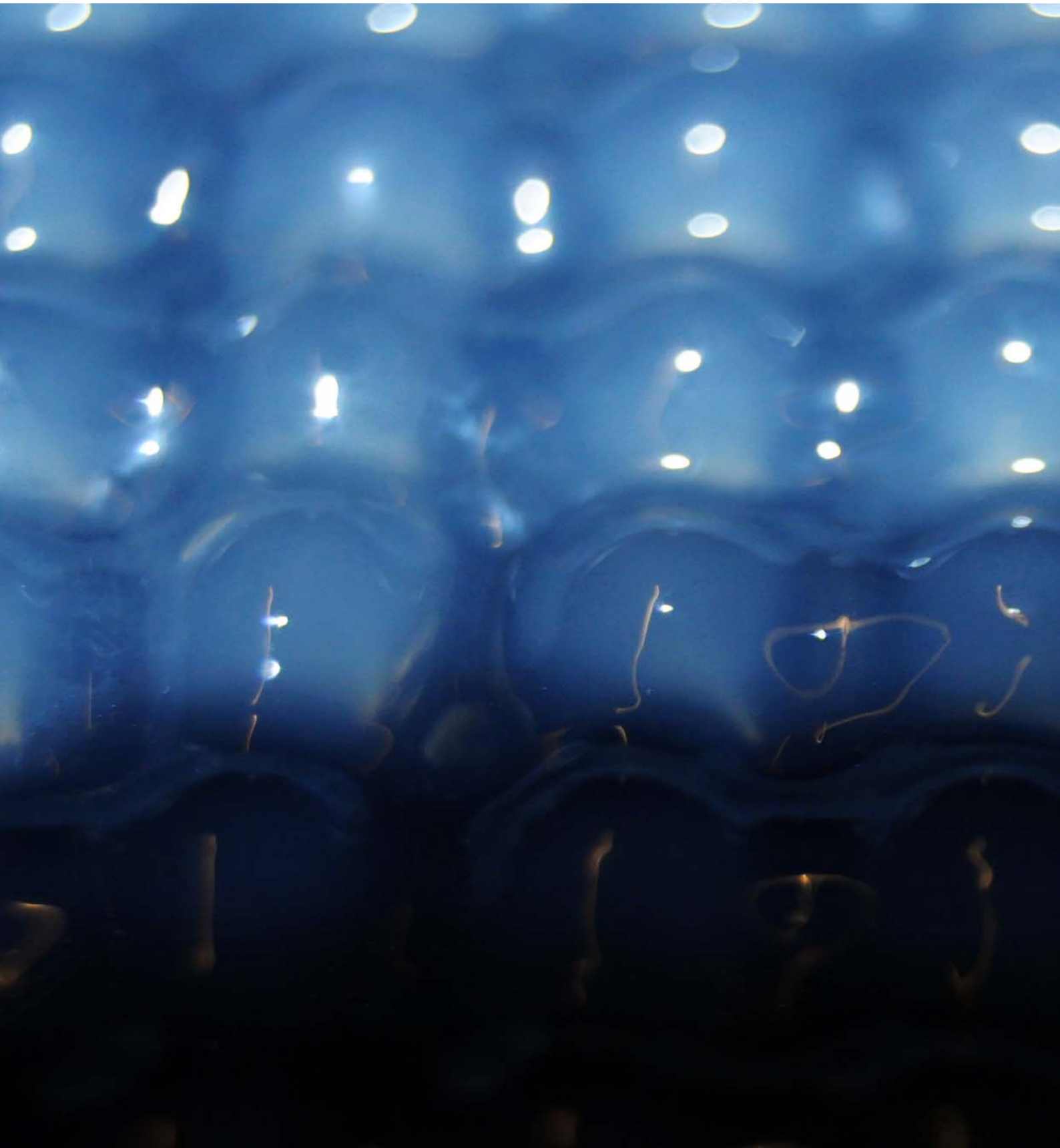


Figura.96. Estas fotografías muestran diferentes formaciones de malla generadas por tonos diferentes. Imágenes del autor.



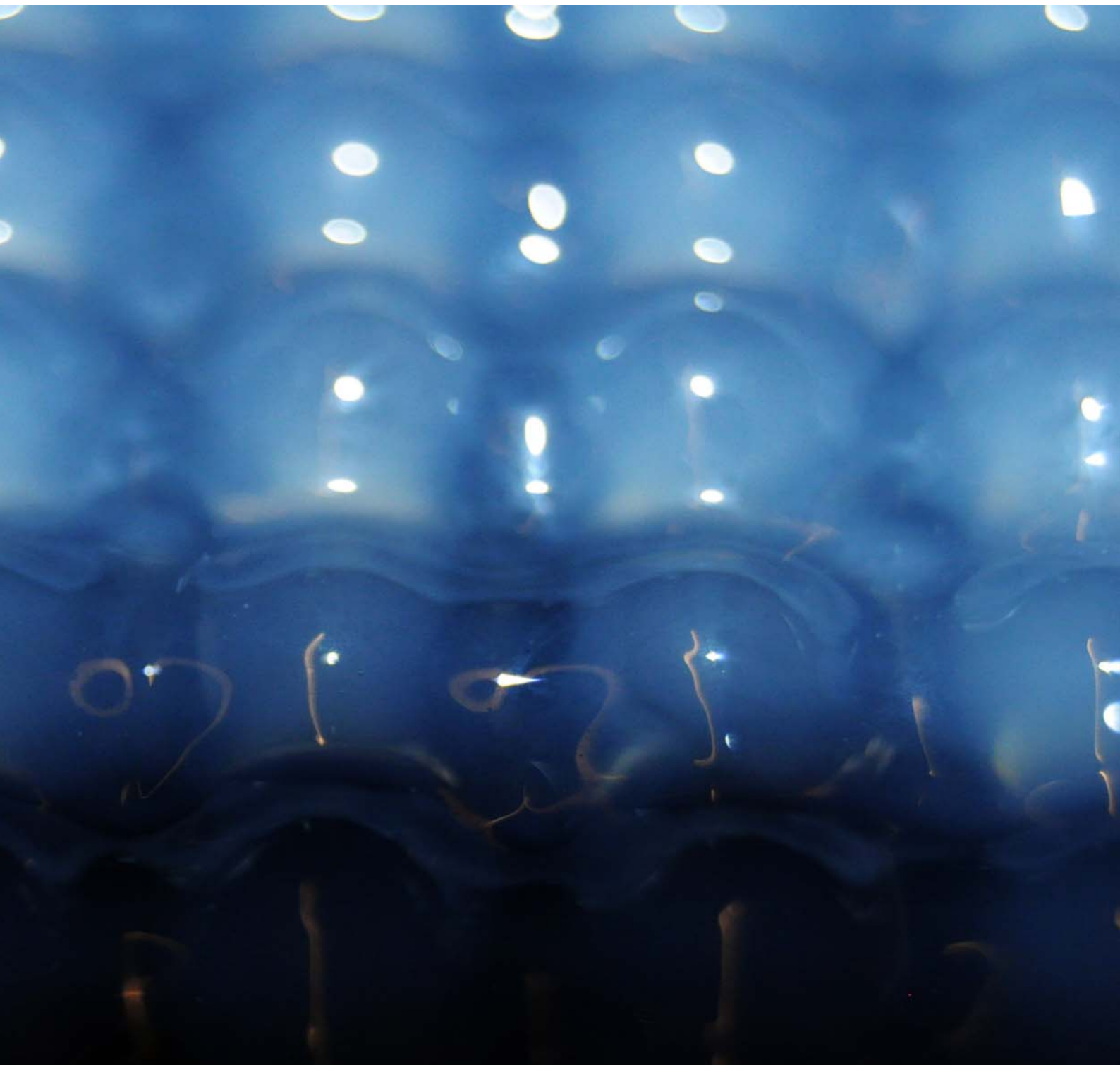


Figura 97. Fotografía Macro que muestra un proceso de malla y como se ordena el fluido en patrones, en forma de diminutas celdas poligonales. Imágenes del Autor.

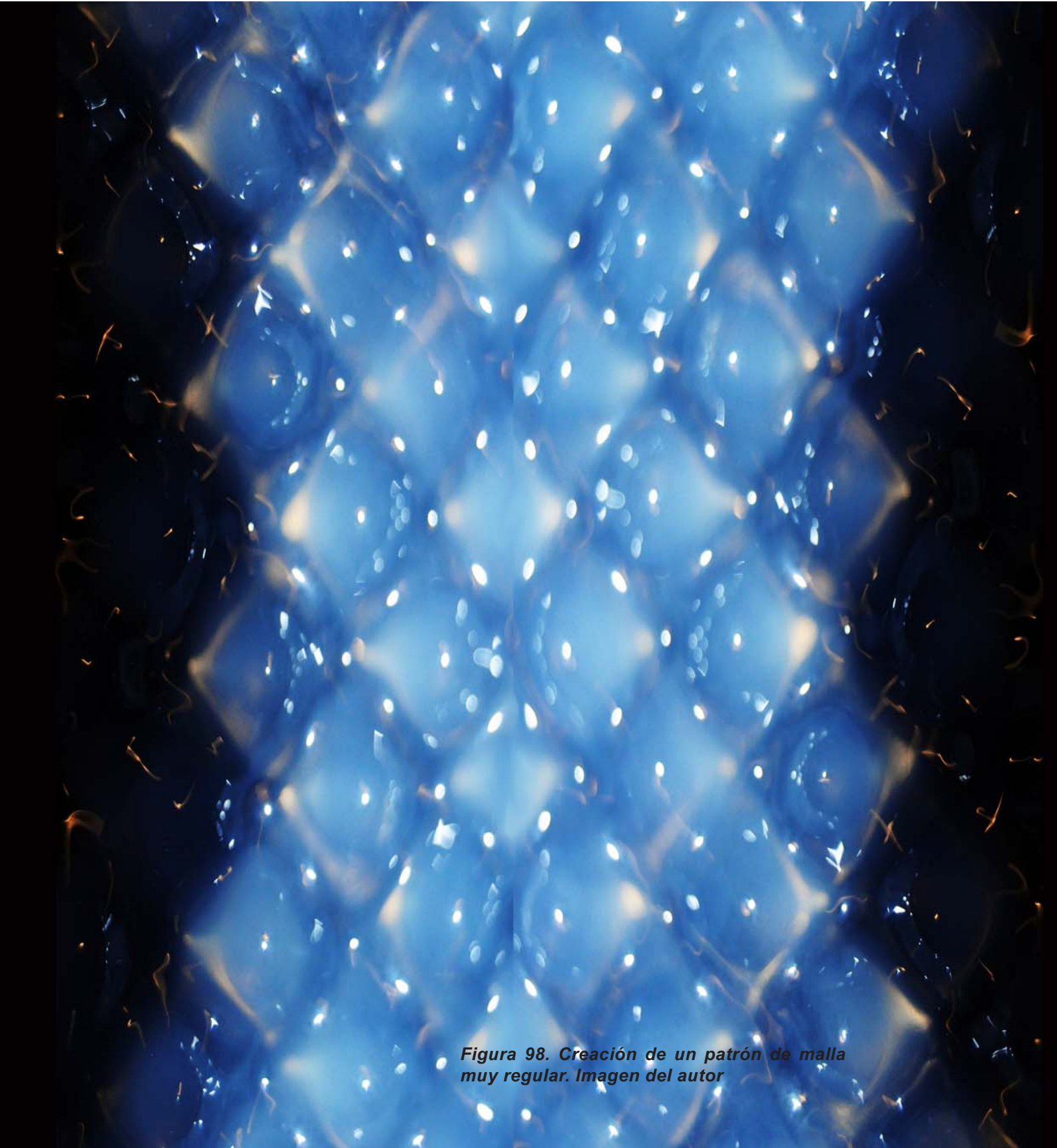


Figura 98. Creación de un patrón de malla muy regular. Imagen del autor



Figura 99. Creación de un patrón de malla muy regular ampliado mediante un objetivo macro.

(Jenny, 2001, 166)

7.3.- Ondas de propagación rítmica sobre fluidos newtonianos.

Los fenómenos de creación sobre fluidos se deben a procesos rítmicos. Su velocidad de propagación e intensidad dependerán de las fuerzas que actúen sobre ellos. A consecuencia de las interferencias generadas por la oscilación y el movimiento rítmico sobre olas de distintos tamaños, aparecerán estructuras y modelos procedentes del movimiento oscilatorio puro. En cada punto en el que las olas se cruzan, se originaran formas en el espacio, mostrándose bajo la luz como líneas de creación nodal. Por lo tanto, los fluidos tienen la capacidad de generar estructuras de formación geométrica y figuras, a partir de ritmos y movimientos (como sucedía mediante la arena y las figuras Chladni).

“Teniendo en cuenta que las olas grandes se propagan más deprisa que las olas pequeñas, nos permitirá realizar una clasificación según su longitud de onda...A casusa de la interferencia de las olas de diferentes tamaños, veremos aparecer modelos, motivos y formas que proceden del movimiento puro. En cada punto de cruce en el que coincidan las olas, se crearán formas en el espacio, ya sean formas piramidales o planos curvos de apariencia orgánica.”

(Schwenk, 1988, 33)

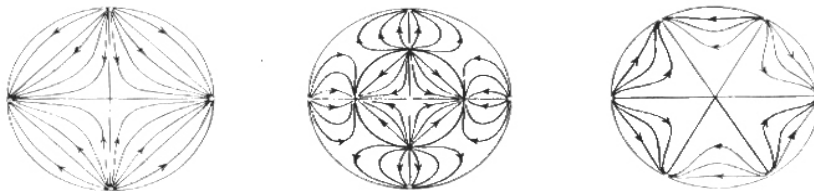
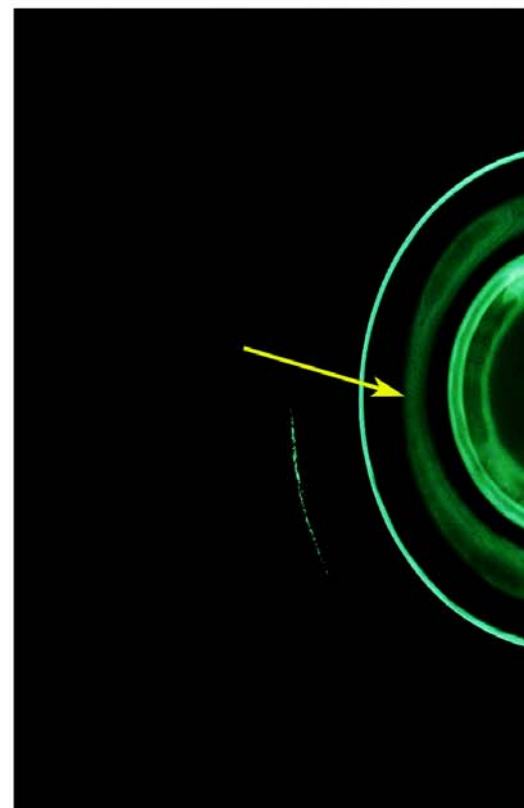
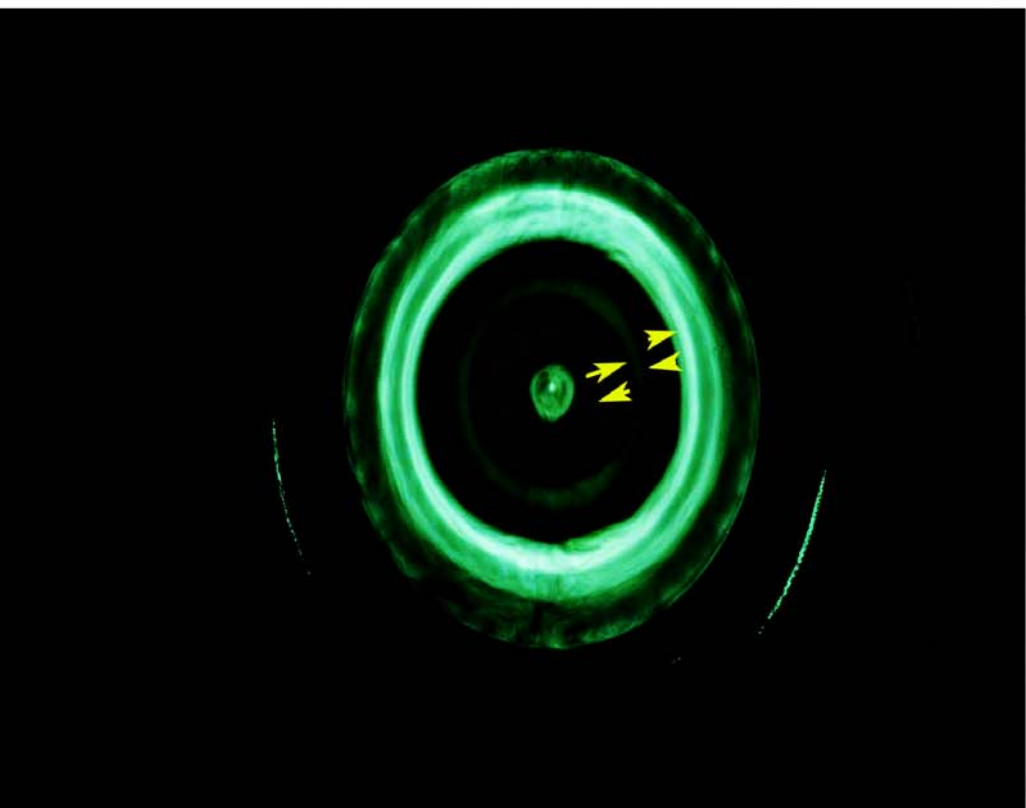
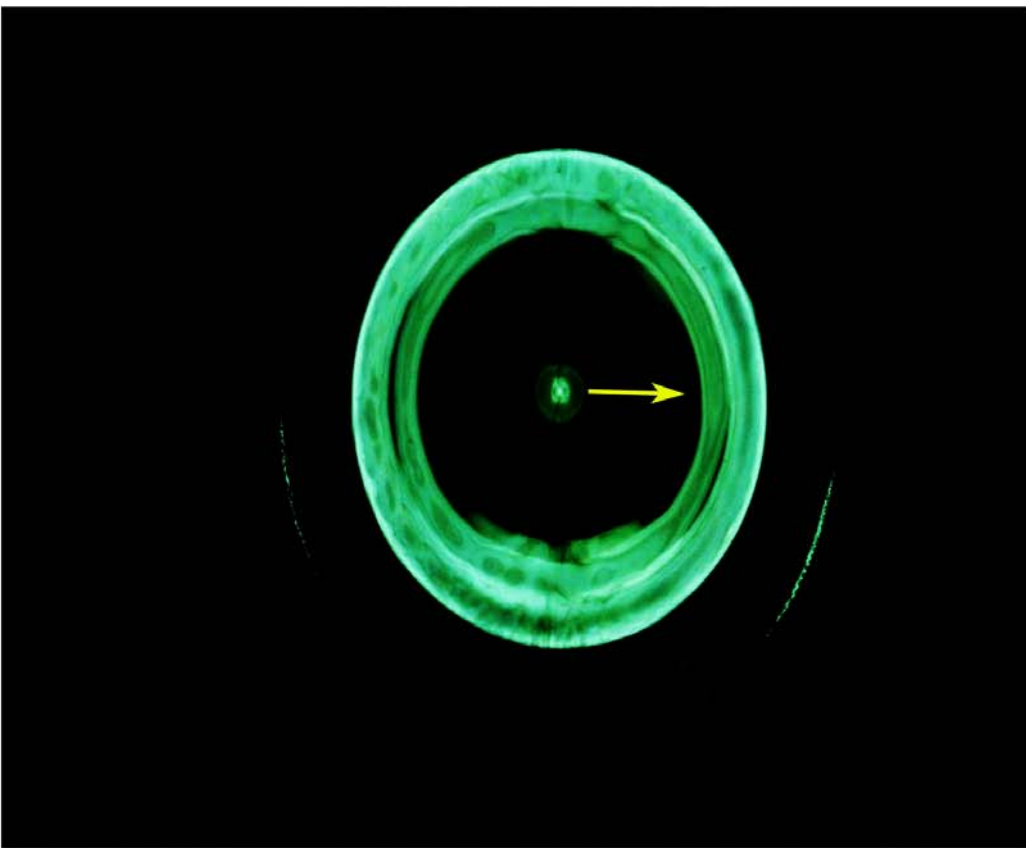
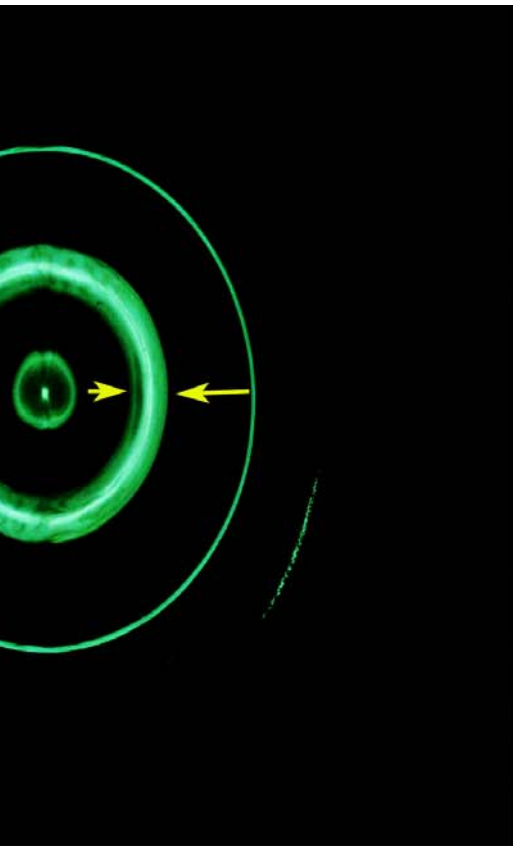


Figura 100. Ondas estacionarias. (Schwenk, 1988, 33)

Si establecemos bañeras de distintos formatos como recipientes para los procesos de oscilación a través de impulsos regulares (como el ejercido por una onda sinusoidal de una frecuencia constante), el movimiento debe desarrollarse con una constante longitud de onda. Cuando la onda coincide con el diámetro del recipiente, estas se mueven hacia los bordes superponiéndose encima de las que llegan del movimiento reflejo (figura 100). Esto sucede de forma tan armónica que los nodos de ambas ondas repetidamente se concentran en la misma localización. En el lugar en el que los impulsos del movimiento no se molestan entre si, pueden desarrollarse estructuras estables que podemos observar como figuras.





pectros.

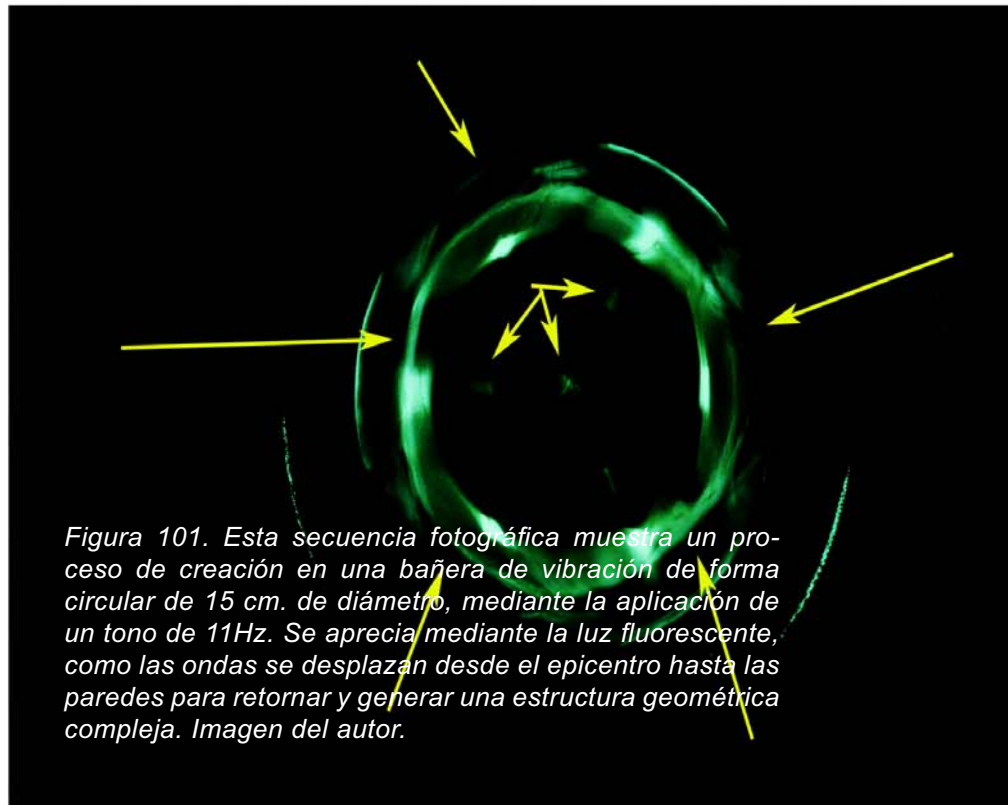
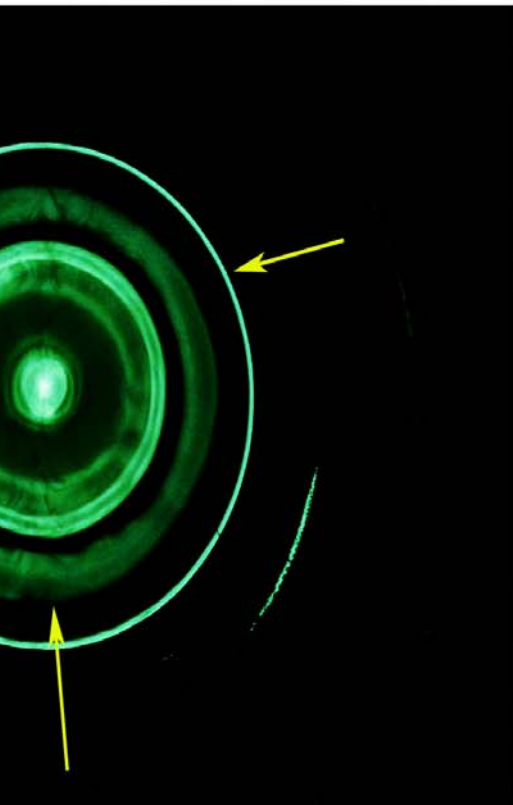
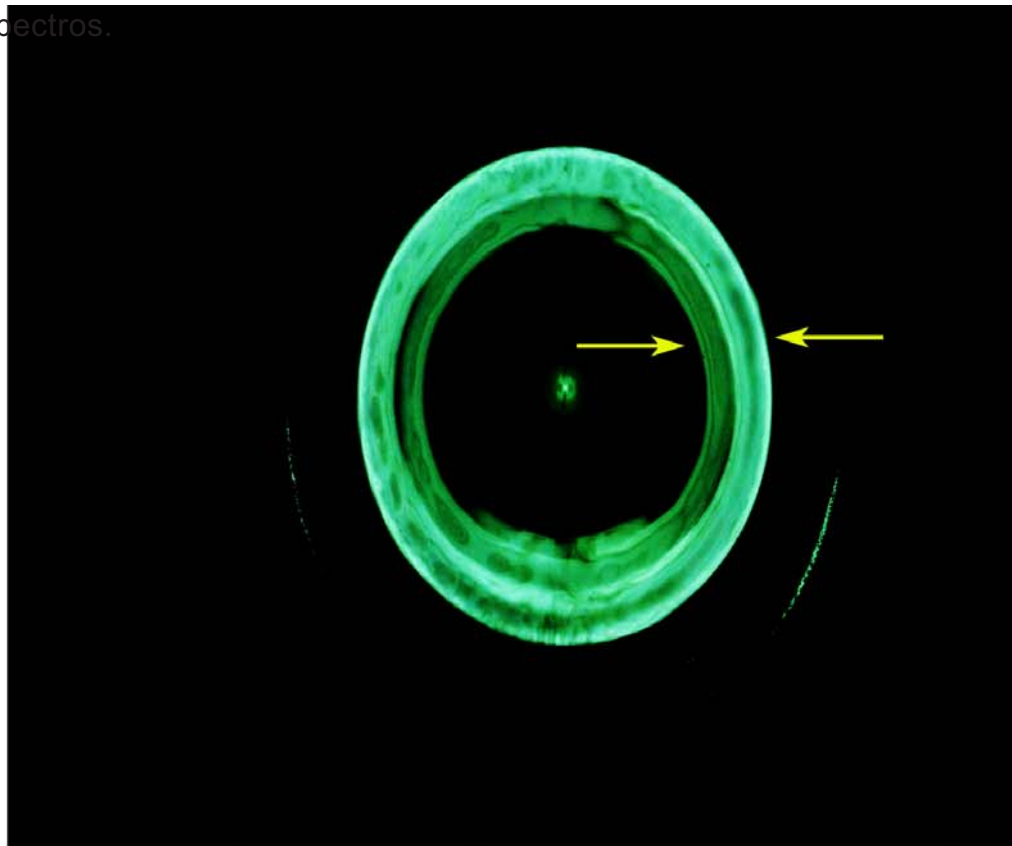


Figura 101. Esta secuencia fotográfica muestra un proceso de creación en una bañera de vibración de forma circular de 15 cm. de diámetro, mediante la aplicación de un tono de 11Hz. Se aprecia mediante la luz fluorescente, como las ondas se desplazan desde el epicentro hasta las paredes para retornar y generar una estructura geométrica compleja. Imagen del autor.

“El observador tiene la impresión que los patrones generados no se mueven y mantienen un equilibrio constante, cuando en realidad están inmersos en un complejo e intenso proceso de vibración y movimiento.”

(Lauterwasser, 2002, 72)

Este proceso, es más sencillo si se describe de forma visual. En la imagen realizada sobre una bañera de vibración circular, observaremos como las ondas se desplazan desde el centro hasta los bordes. Las olas que rebotan y retornan hacia el centro, chocan entre si, dando lugar a la creación de patrones (*figura 101*).

El proceso utilizado para la visualización de las estructuras que se forman sobre estas bañeras de vibración, es similar al utilizado en las placas de metal y arena. Las bañeras son contenedores o recipientes de diversas formas que están sujetas por un eje a un generador de ondas. El uso combinado del generador de ondas y el generador de funciones, permite a las ondas sonoras, transmitirse en forma de vibraciones hacia el contenido de las bañeras. No obstante, el proceso para la visualización de estas figuras es complejo. Para hacer visible este fenómeno (tanto para el ojo humano como para cámaras de vídeo y de fotografía), debe incidir sobre el fluido un haz de luz de forma totalmente vertical. Una vez que la vibración comienza a generar estructuras, los nodos se reflejarán sobre la superficie y se hacen visibles gracias a la luz reflejada.

Los líquidos utilizados para el desarrollo de esta fase de la investigación, son el agua destilada (libre de impurezas) y una solución de tintura de yodo con base de alcohol (80% de alcohol). Se utilizará el agua como marcador tipo, debido a que es el mejor medio para la reflexión de la luz. El uso de tintura de yodo (al ser de color negro con tonalidades rojizas), permite otro tipo de reflexión por contraste, que muestra particularidades que el agua no puede destacar. La utilización de glicerina, alcohol y parafina líquida (fluidos newtonianos en general), producirán los mismos resultados, por lo que no aparecerán reflejados.

Es conveniente incidir en que para la correcta visualización de las estructuras generales de formación es preferible el uso de una luz fluorescente (respecto a un haz de luz normal), debido a que su efecto estroboscópico facilitará la visualización de los elementos formativos. No obstante durante esta investigación, compararemos las imágenes que se crean bajo dos tipos de luz diferentes, para observar la complejidad estructural bajo distintos espectros.

La observación de las líneas nodales en este caso, no muestra estados de reposo o de baja densidad de vibración, como ocurría con las líneas de formación nodal de las figuras Chladni. Mientras que la arena se depositaba en las zonas ausentes de sonido/vibración (*figura 30*), en el caso de los fluidos, las líneas muestran puntos nodales donde las onda chocan entre si. En la imagen de la página contigua, podemos observar una comparación de dos estructuras de formación circular desarrolladas sobre un sólido y un fluido newtoniano. Ambos procesos comparten la característica común de mostrar el lugar donde persisten las ondas sobre la superficie. Mientras que en el sólido la zona ausente de líneas muestra la onda, en los fluidos las ondas se muestran en los puntos de cruce que generan las figuras. Para comprender el funcionamiento de los procesos de formación, describiremos las características esenciales de formación en fluidos newtonianos.

- Las bajas frecuencias de entre 9 Hz y 30Hz originan las formaciones geométricas más perceptibles, dando lugar a un registro en el que podemos observar multitud de figuras diferenciadas. Cuando aumentamos el rango de frecuencias más allá de los 40Hz los patrones de formación se tornan más complejos formando estructuras menos reconocibles desde el punto de vista poligonal. Cuando sobrepasemos el rango de los 140Hz, solamente aparecerán procesos de creación de malla.

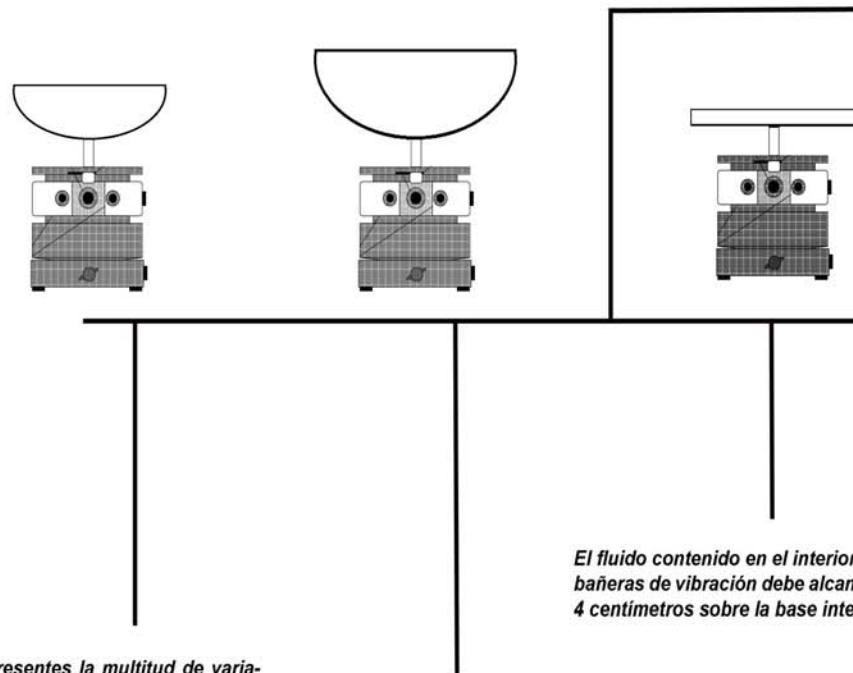
- Se pueden distinguir dos tipos de ondas durante los periodos de oscilación:

1.- Las ondas concéntricas (*figura 102*), se propagan desde el centro hacia el exterior de forma anular, rebotando en las paredes de la bañera y retornando hacia el epicentro de la vibración.



Figura 102. Esquema de formación de ondas concéntricas. Estas ondas son conocidas también como estructuras anulares de formación. Imagen del autor.

**Formación de estructuras sobre diferentes tipos de
bañeras de vibración, con forma circular.**



Hay que tener presentes la multitud de variables que existen en la formación de figuras sobre fluidos. La longitud del diámetro de la circunferencia de la bañera, su forma, y su profundidad, tendrán tanta influencia como el tono aplicado, los niveles de amplitud utilizados y la cantidad de material contenido.

Las imágenes adjuntadas en esta tesis doctoral y en sus anexos, se han realizado con la estructura de una bañera de vibración circular de 15 cm de diámetro, con forma semi-esférica. La profundidad es de 7 centímetros y el grosor de 1 milímetro. El material es aluminio.

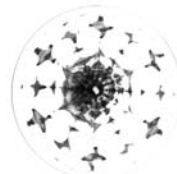
El fluido contenido en el interior de las bañeras de vibración debe alcanzar los 4 centímetros sobre la base interior.

Estas pautas son importantes debido a que la variación de cualquiera de estos aspectos, tendrá influencia en la estructura de formación observada. No obstante, los procesos de formación siguen rigiéndose por las mismas reglas y las diferencias obtenidas, únicamente serán de carácter formal (asignación del tono con la figura generada).

Fig. 10.10. Estructuras de formación en vibración.



Bañera de vibración de 15 cm. de diámetro de forma circular semi-esférica. Tono de 13Hz amplitud normal.



Bañera de vibración de 28 cm. de diámetro de forma circular en forma de plato (fondo plano). Tono 9Hz, amplitud normal. Se genera una estructura muy similar con un tono más bajo.

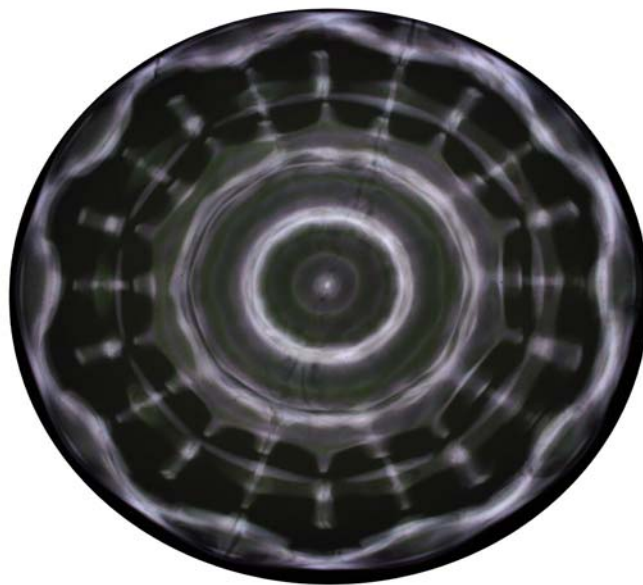
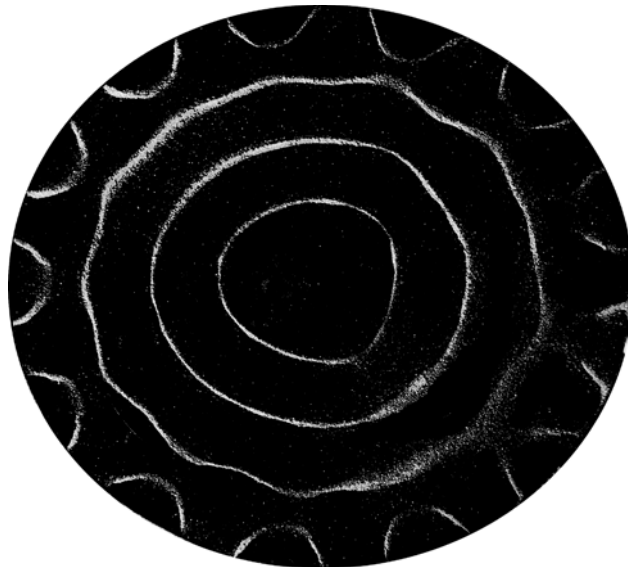


Figura 103. Estas imágenes muestran dos procesos de formación nodal diferenciados. La primera imagen muestra una figura Chadni sobre una placa de hierro circular, mientras que la segunda imagen muestra un proceso de formación nodal sobre un fluido en el interior de una bañera de vibración circular. Imágenes del autor.

2.-En cambio las ondas radiales, se mueven alrededor de las paredes y hacen incursiones hacia el centro. Muchas estructuras se desarrollan como una mezcla de ambos tipos de onda (*figura 104*). No obstante hay que exceptuar las bajas frecuencias comprendidas entre los 2Hz y los 9Hz. Bajo estas condiciones solamente aparecen estructuras anulares, como causa del bajo periodo oscilatorio.



Figura 104. Estructura de ondas radiales. Inicio de un ciclo de 17Hz. Imágenes del autor.

- Las ondas estacionarias, se desarrollan entre las fases de movimiento como ondas caóticas. Estos patrones siguen intervalos distintos de frecuencias y se mueven como estructuras de rayos lumínicos. Las longitudes de onda variarán las estructuras de creación, de forma que cuando se genere una forma perceptible y la frecuencia vaya aumentando, se destruirá esa formación antes de comenzar un nuevo proceso generativo.

- El uso de la amplitud sobre bajas frecuencias en las que se generaran estructuras geométricas, puede ocasionar diversos efectos a tener en cuenta. El uso del regulador de amplitud, puede hacer que se generen unas líneas nodales más o menos definidas. Observaremos como sobre un fluido se genera una resonancia y se crea una estructura geométrica (*figura 105*). Si aumentamos la amplitud las líneas de formación se tornan más claras y definidas generando un patrón distintivo.

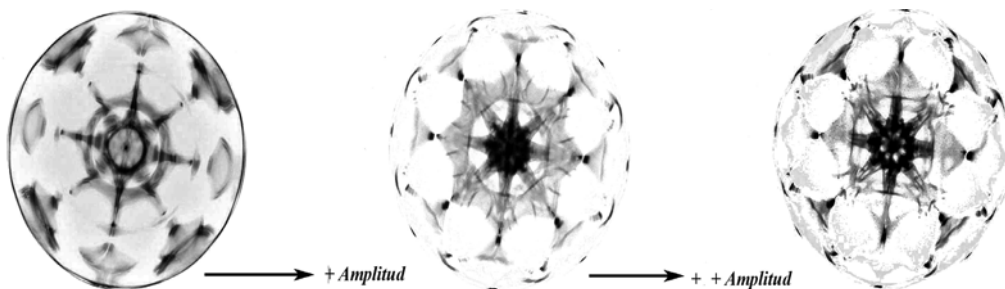


Figura 105. Aumento de la amplitud en un proceso de oscilación de 14Hz, para definir la estructura y hacer visibles todas las líneas nodales. Imágenes del autor

El uso de la amplitud, también puede desencadenar efectos negativos sobre procesos de oscilación. Si aumentamos demasiado el rango, podemos romper la simetría y generar un proceso de “deformación” de patrones (rotura de simetría por sobre-excitación del medio, *figura 106*). Observamos como este proceso de máxima amplitud, rompe la simetría generando una maraña de ondas que no crean ninguna figura.

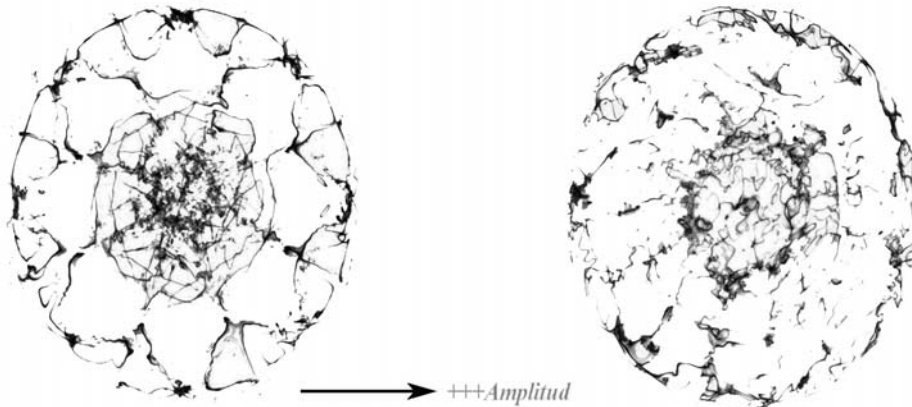


Figura 106. La imagen muestra la rotura del patrón por efecto de un nivel de amplitud demasiado elevado. Imágenes del autor.

Es importante tener en cuenta que las formaciones geométricas que podemos ver tanto en las imágenes fotográficas como durante las capturas de vídeo, no son estructuras fijas sobre un mismo punto de la superficie. Aunque parecen estar quietas, en realidad son el resultado de un movimiento continuo de las ondas.

7.3.1.- Organización de las líneas nodales.

Llegada la hora de analizar la disposición de las líneas nodales en estas formaciones, estudiaremos como estas se organizan y componen en el interior de las figuras.

El fenómeno más común que se produce cuando una vibración producida por bajas frecuencias actúa sobre fluidos, es la aparición de patrones de formación geométrica y procesos ordenados, correspondientes con los principios armónicos del fenómeno de una cuerda oscilante. Estos procesos pueden generarse en repetidas ocasiones y siempre que sigamos los mismos estándares de trabajo (tipo de fluido, cantidad de fluido en la bañera de vibración, temperatura etc.), obtendremos la formación de las mismas estructuras. Por lo tanto es un fenómeno controlable con el que se puede experimentar y realizar un catálogo.

Durante esta investigación, la estructura de las bañeras utilizadas para la obtención de un registro de datos, será circular y cuadrada. No obstante, este proceso podría generarse también sobre bañeras de otras características (los modelos de bañera mencionados, son los idóneos para este tipo de experimentos, debido a que contra más aristas tiene una superficie, más complejos se tornan los efectos de rebote de las ondas). Cualquier recipiente que pueda contener fluidos, es susceptible de ser utilizado para generar este tipo de estructuras. Hay que tener presente que la expansión de las ondas sobre superficies irregulares no poligonales, no generará formas reconocibles debido al propio proceso de expansión y reflexión de las ondas.

A continuación observaremos un proceso evolutivo de formaciones que se generan conforme va aumentando gradualmente el tono y la amplitud (*figura 107*). De esta forma desglosamos visualmente como la amplitud juega un papel básico a la hora de generar una estructura clara y definida.

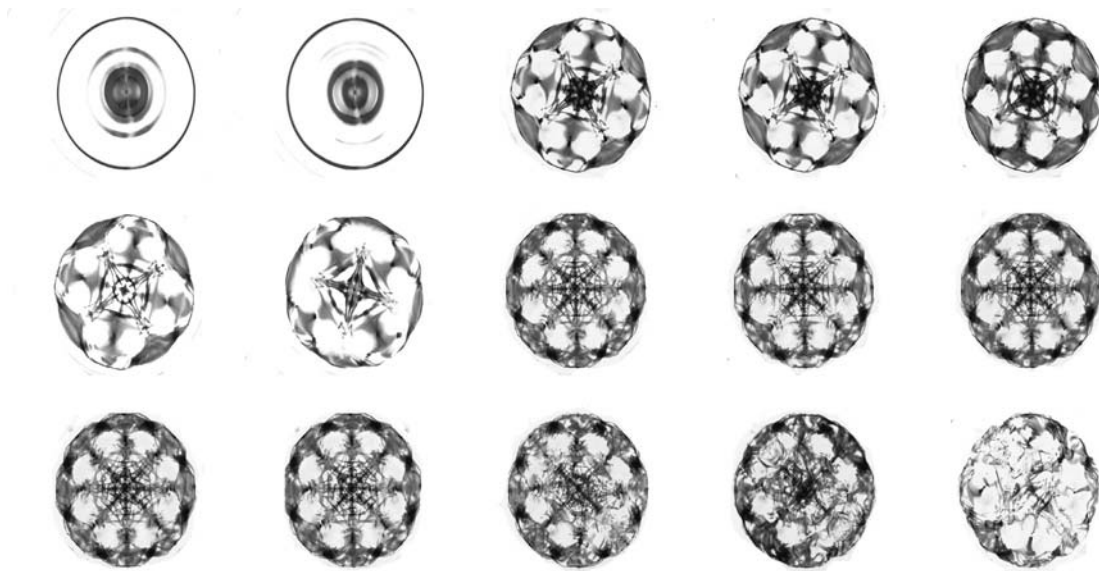


Figura 107. Secuencia de formación de estructuras sobre una frecuencia de 11Hz. Podemos apreciar como a medida que se aumenta la amplitud se define mejor la estructura de formación. Imágenes del artista.

Cuando observamos estos procesos bajo diferentes haces de luz, (fluorescente o luz normal) podemos observar las diferencias formativas sobre los nodos que se generan (Anexo II). Mientras que la luz fluorescente mostrará unas estructuras bien definidas en las que las líneas nodales forman un conjunto continuo, los otros tipos de luz que no poseen propiedades estroboscópicas, generan estructuras nodales más finas que se entrecruzan entre ellas para formar el patrón final en forma de “*líneas de luz*” (*figura 108*).



Figura 108. Estas formaciones muestran el mismo proceso de oscilación de 19Hz, bajo dos haces de luces diferentes. Imágenes del autor.

Cuando las estructuras de resonancia sobre una bañera de vibración sobrepasan un cierto número de hercios, se desarrollan estructuras reticulares mucho más complejas (estructuras de malla), en las que la formación nodal aparece como una estructura de formación geométrica (*figura 109*). No obstante la geometría se desarrolla como una formación poligonal extremadamente compleja.



Figura 109. Estas imágenes muestran como se genera un proceso de formación de malla en el interior de una bañera de vibración. La evolución de la primera figura a la segunda se debe por efecto del aumento de la amplitud. Imágenes del autor.

Podemos apreciar en las imágenes presentadas, como las ondas se propagan de forma radial desde el centro. Debido al alto número de oscilaciones por segundo, no tienen el suficiente tiempo ni espacio para generar estructuras geométricas regulares⁴² (*figura 109*), y acaban por generar estructuras en forma de malla entrelazada. Cuanto más alta es la frecuencia que aplicamos sobre un fluido contenido en una bañera, más complejas y pequeñas se tornarán sus estructuras nodales, que acabarán formando mallas ordenadas. Estas diminutas estructuras nodales, adoptarán las formas de pequeños polígonos regulares, siendo las estructuras cuadradas, pentagonales y hexagonales, las más repetidas.

Cuando las frecuencias aplicadas sobrepasan los 40hz, únicamente obtendremos procesos de formación de malla. Estas formaciones bajo la incidencia de algunas frecuencias, aparecen en múltiples lugares diferenciados sobre la superficie y se ordenan, generando patrones de forma regular. Como podemos observar, aparecerán muchas figuras ocultas tras las formaciones de malla (*figura 112, figura 113*).

⁴² El diámetro de la bañera de vibración utilizado, es un aspecto importante a tener en cuenta como se menciona en el esquema de la página 164-165, debido a que el tamaño de este afectará a la formación de estructuras.

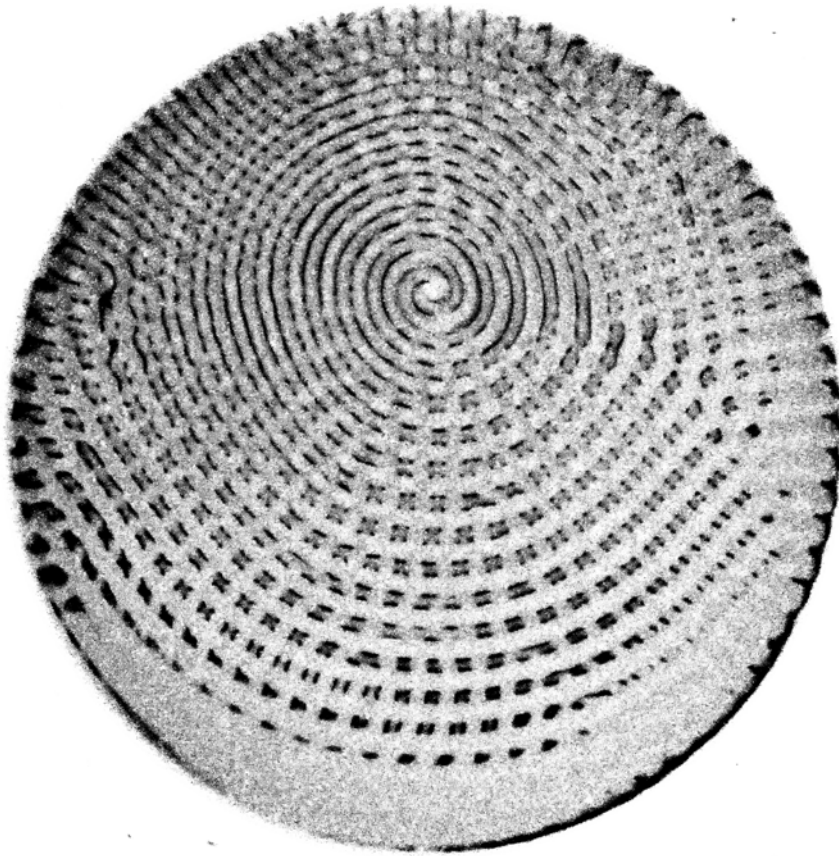


Figura 110. la imagen muestra un proceso de formación en espiral en contraste de blanco y negro. 90Hz. Imagen del autor.

Cuando sobrepasamos los 200Hz y aplicamos niveles máximos de amplitud podemos obtener imágenes de una gran belleza como las mostradas en las siguientes páginas (*figuras 110, 111, 112, 113*).

Como resultado del proceso de investigación y la incesante voluntad de adquirir el mayor número de figuras generadas sobre fluidos contenidos en bañeras, se ha realizado un catálogo de las formaciones bajo los 2 tipos de haces de luz, que se presentará como el segundo de los anexos de esta tesis doctoral. En su interior aparecerán todas las figuras obtenidas mediante un rango de frecuencias comprendido entre los 10Hz y los 30Hz, para generar estructuras geométricas y entre los 30Hz-300Hz, para desarrollar los procesos de malla o rejilla.

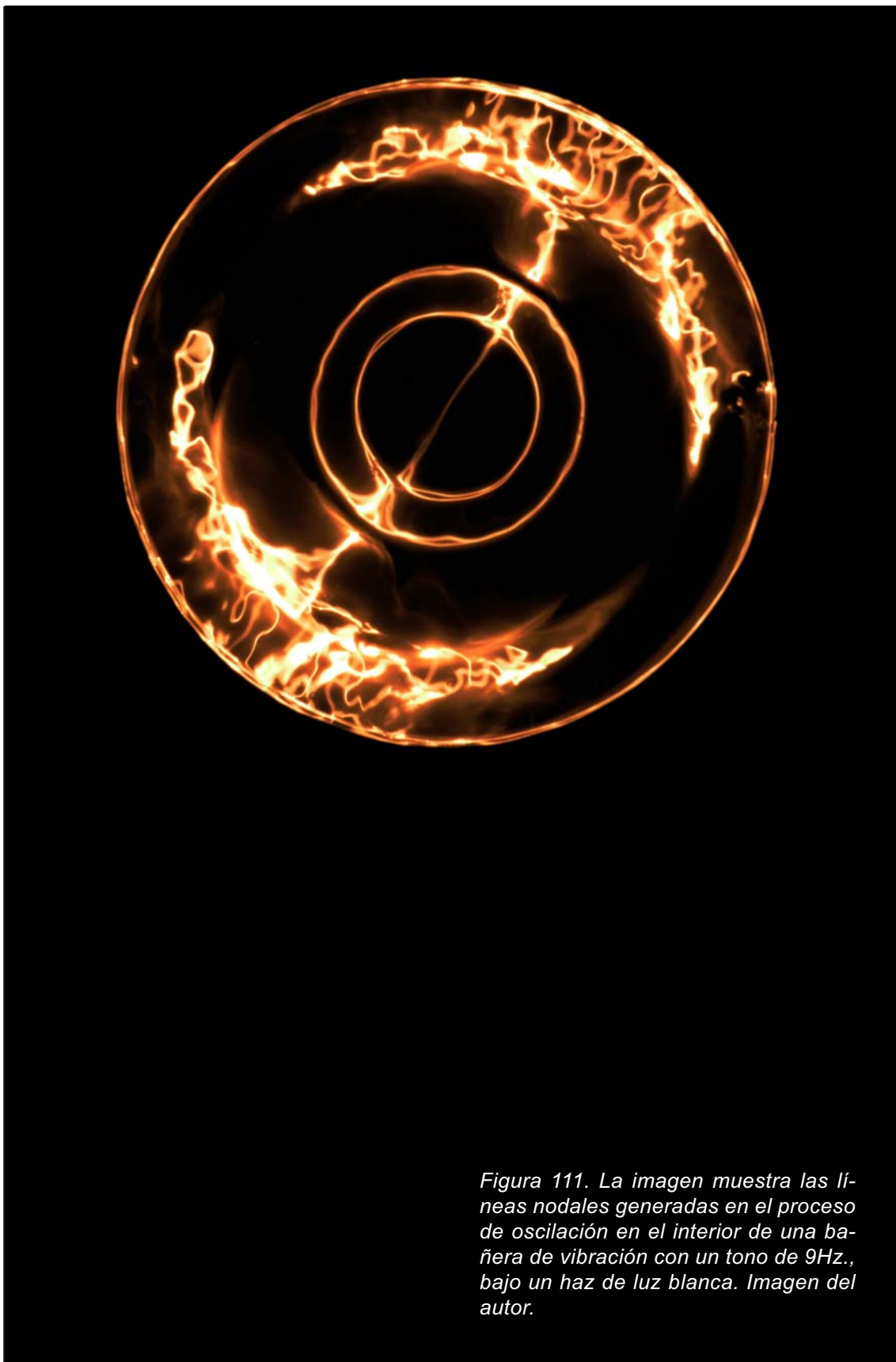
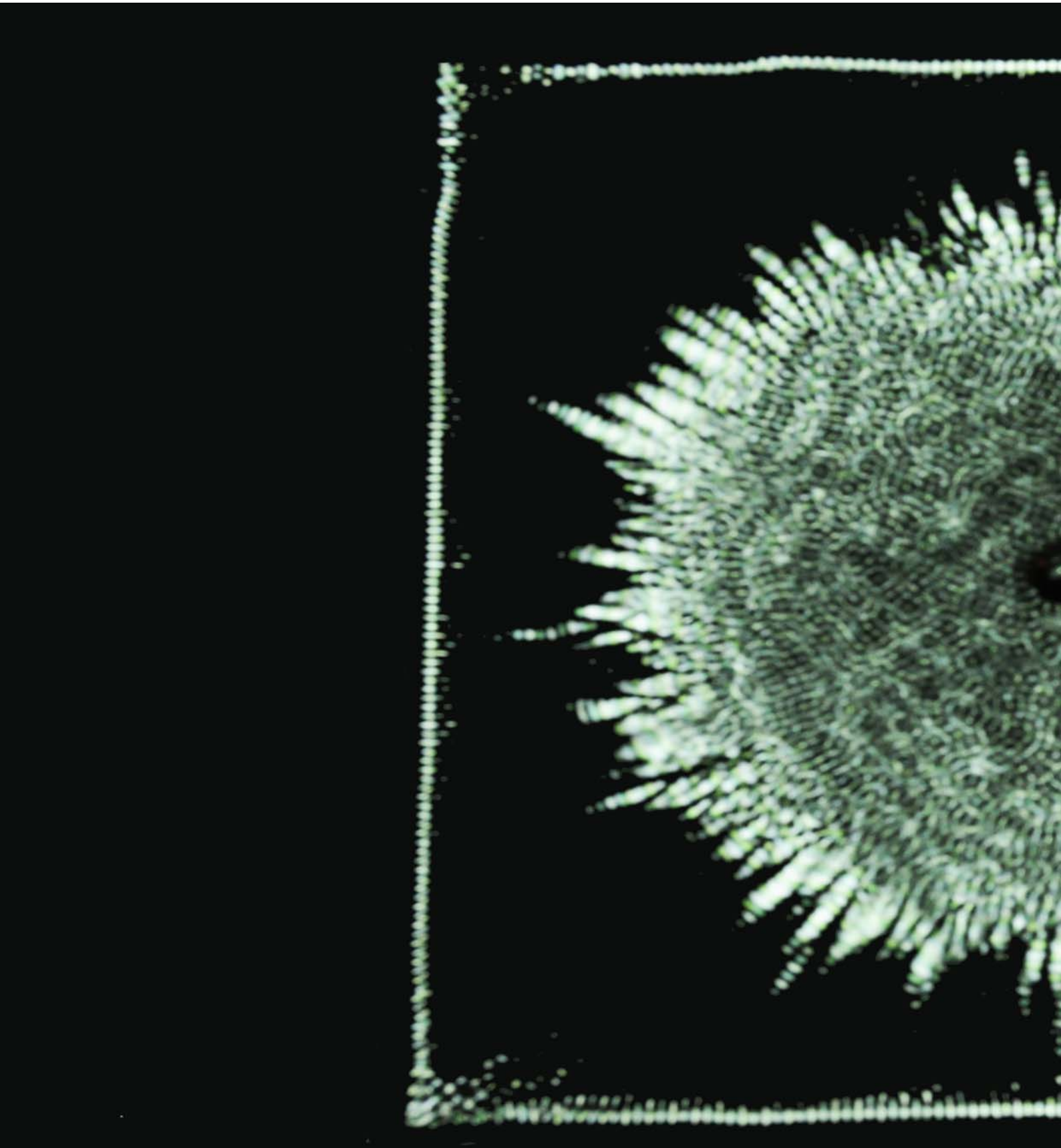


Figura 111. La imagen muestra las líneas nodales generadas en el proceso de oscilación en el interior de una bañera de vibración con un tono de 9Hz., bajo un haz de luz blanca. Imagen del autor.



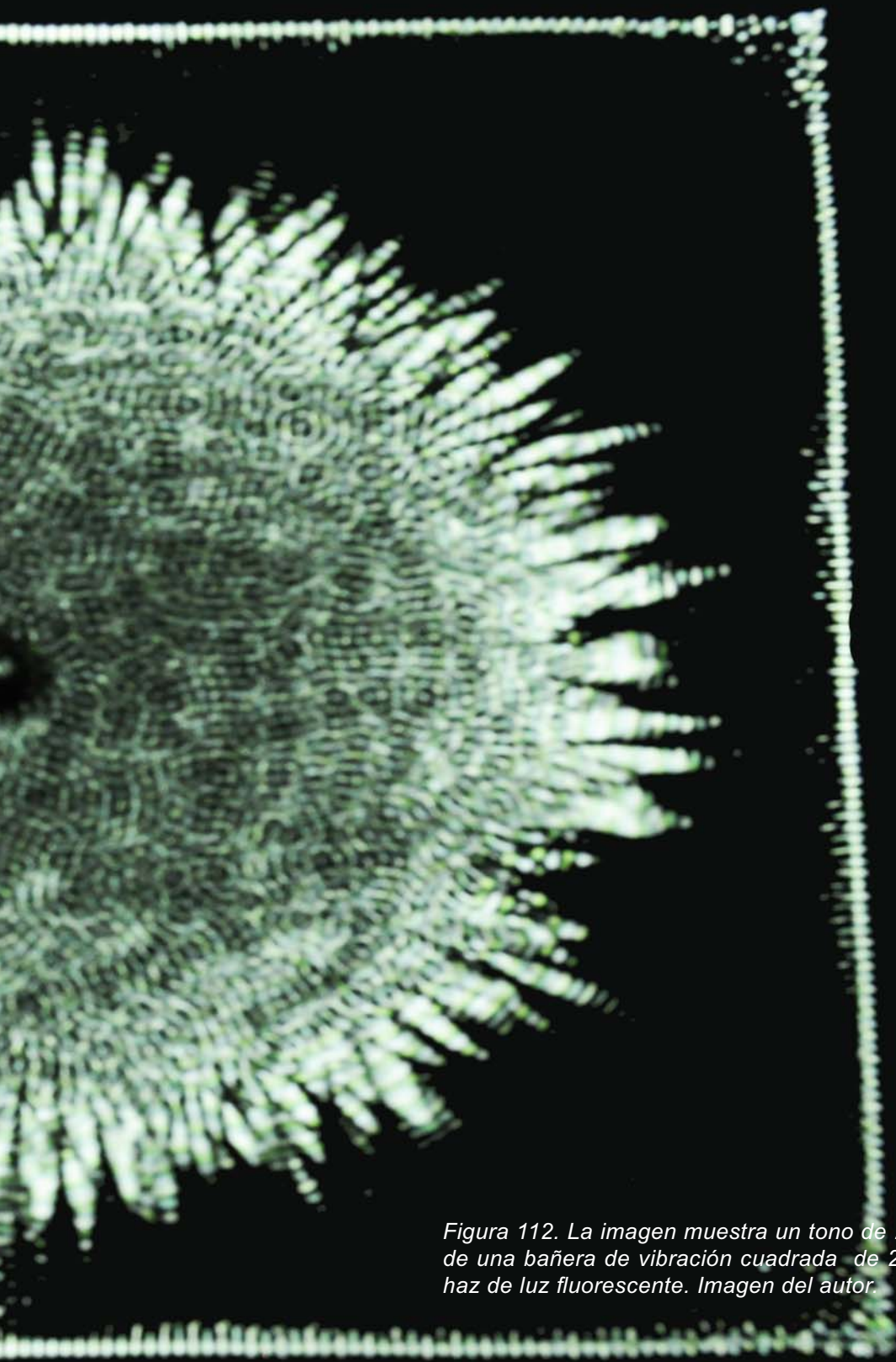
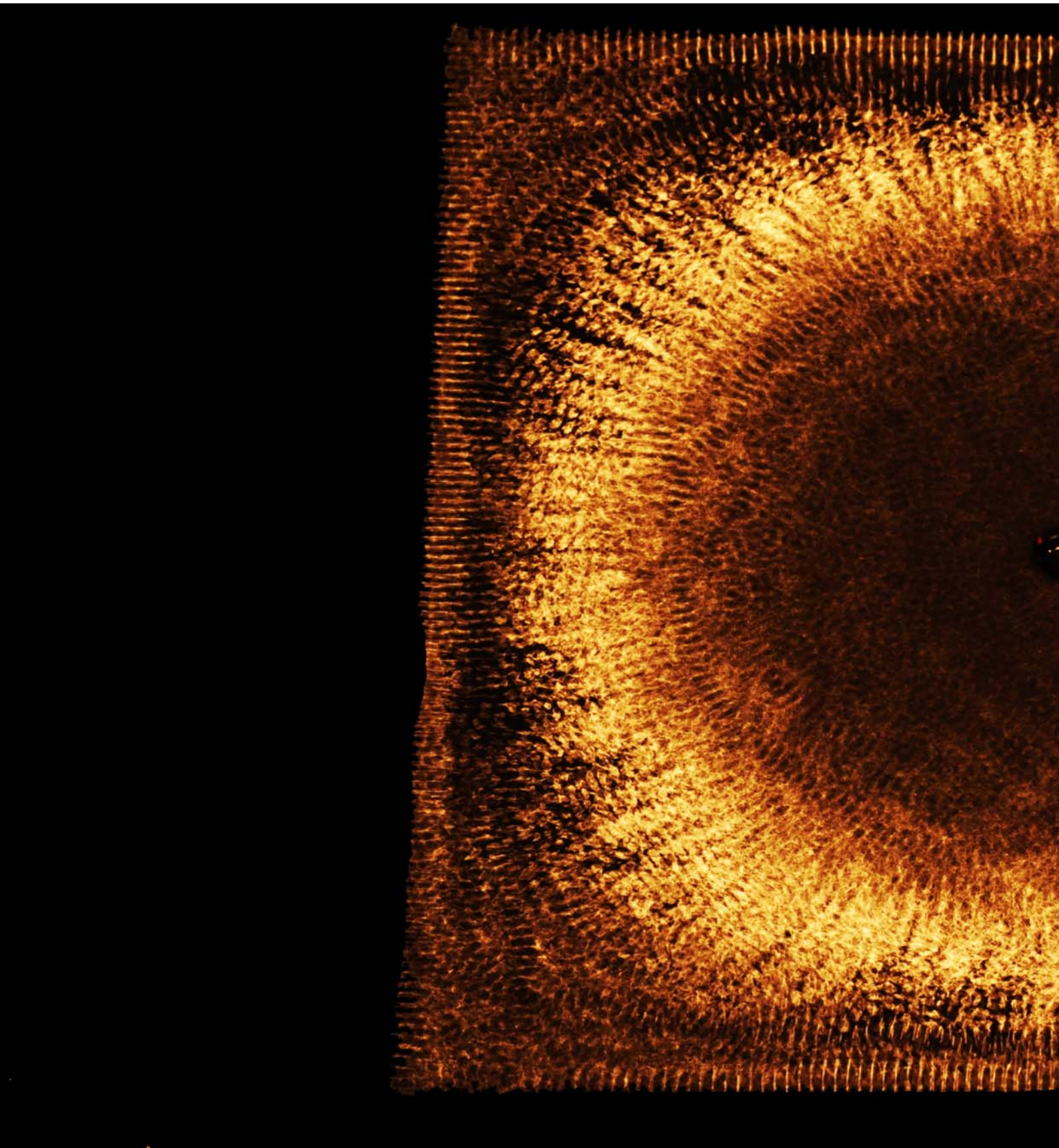


Figura 112. La imagen muestra un tono de 260Hz en el interior de una bañera de vibración cuadrada de 20 x 20 cm. bajo un haz de luz fluorescente. Imagen del autor.



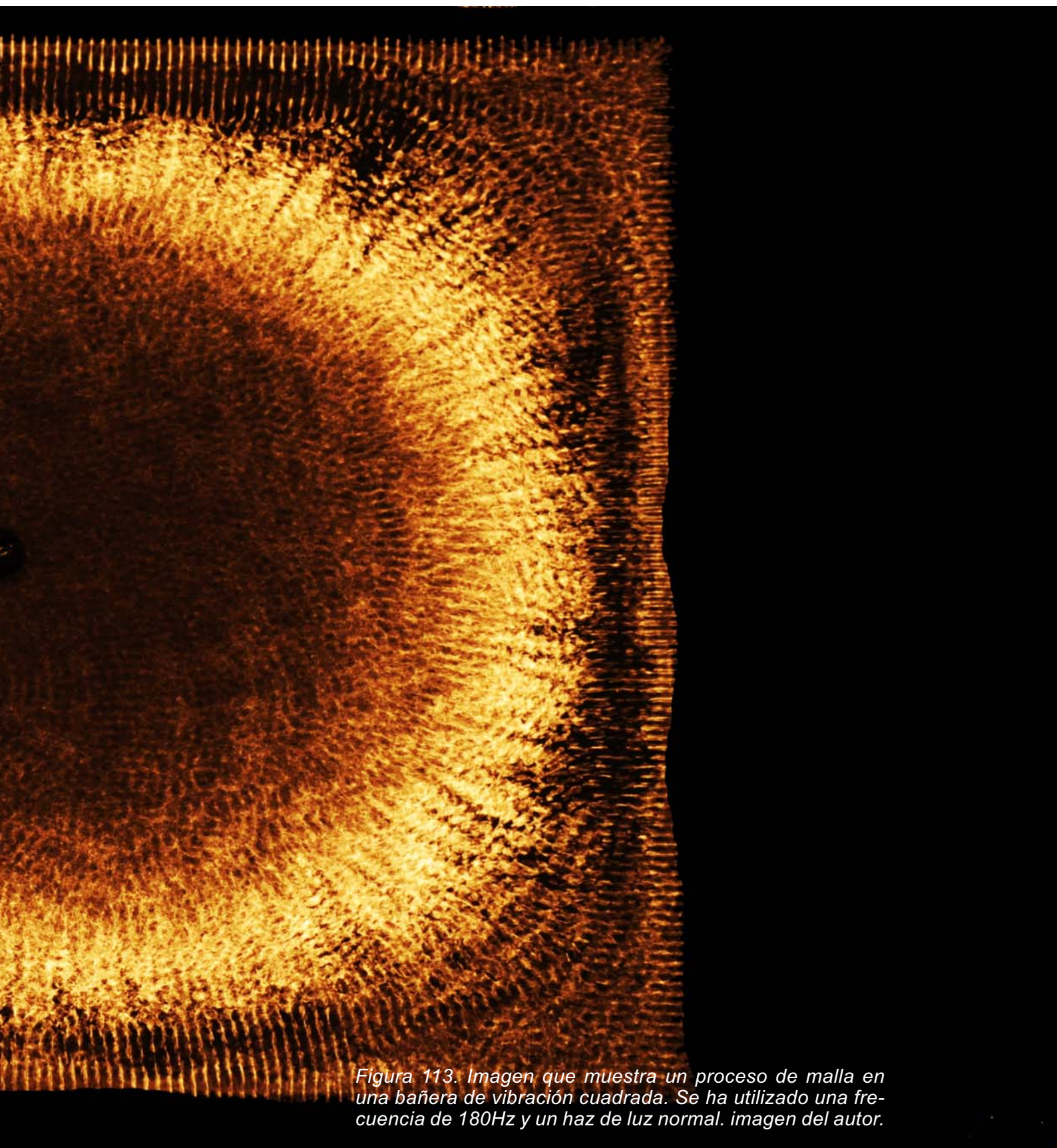


Figura 113. Imagen que muestra un proceso de malla en una bañera de vibración cuadrada. Se ha utilizado una frecuencia de 180Hz y un haz de luz normal. imagen del autor.

7.4.- Efectos cimáticos sobre fluidos no-newtonianos.

Los llamados fluidos no-newtonianos, son aquellos en los que el esfuerzo de corte no es proporcional al gradiente de velocidad de corte (Al gradiente de corte, se le conoce como viscosidad). Por lo tanto, los fluidos no-newtonianos son líquidos que debido a su composición molecular, adquieren una viscosidad que les otorga un comportamiento que no sigue las leyes de Newton.

Estos fluidos como hemos mencionado en la tabla IV, tienen una densidad específica, no calculable⁴³. Son materiales compuestos a partir de una mezcla de harina de maíz y agua o un compuesto de caolín y agua (si queremos obtener un fluido más denso, tendremos que añadir menos agua a la mezcla).

Para diferenciar los diferentes procesos experimentales desarrollados sobre superficies sólidas/elásticas y bañeras de vibración, dividiremos esta investigación en dos partes bien diferenciadas. La primera de ellas, estudiará los efectos producidos por la oscilación sobre fluidos no-newtonianos en membranas y planchas. La segunda parte, centrará los estudios en los procesos armónicos de vibración de los fluidos no-newtonianos, contenidos en el interior de bañeras de vibración.

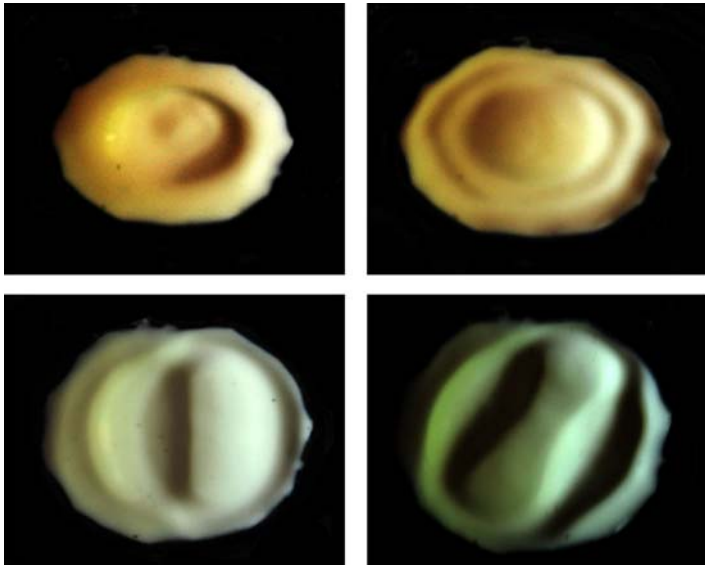
43 Es muy difícil valorar las medidas estándares, para la realización de estos fluidos ya que intervienen muchos factores a la hora de su creación. No obstante, el fluido es suficientemente denso cuando al presionar con fuerza un dedo sobre su superficie, este no penetra en el interior.

7.4.1.- Formación de estructuras sobre membranas.

En el instante en que se inicia un proceso de oscilación sobre una membrana con cierto grado de elasticidad (membranas de papel, cartón, planchas metálicas, etc.), los resultados aparecen de inmediato. Si la frecuencia utilizada es menor a los 10Hz, podemos observar una vez más, la aparición de estructuras de cúpula y copa (*figura 114*).

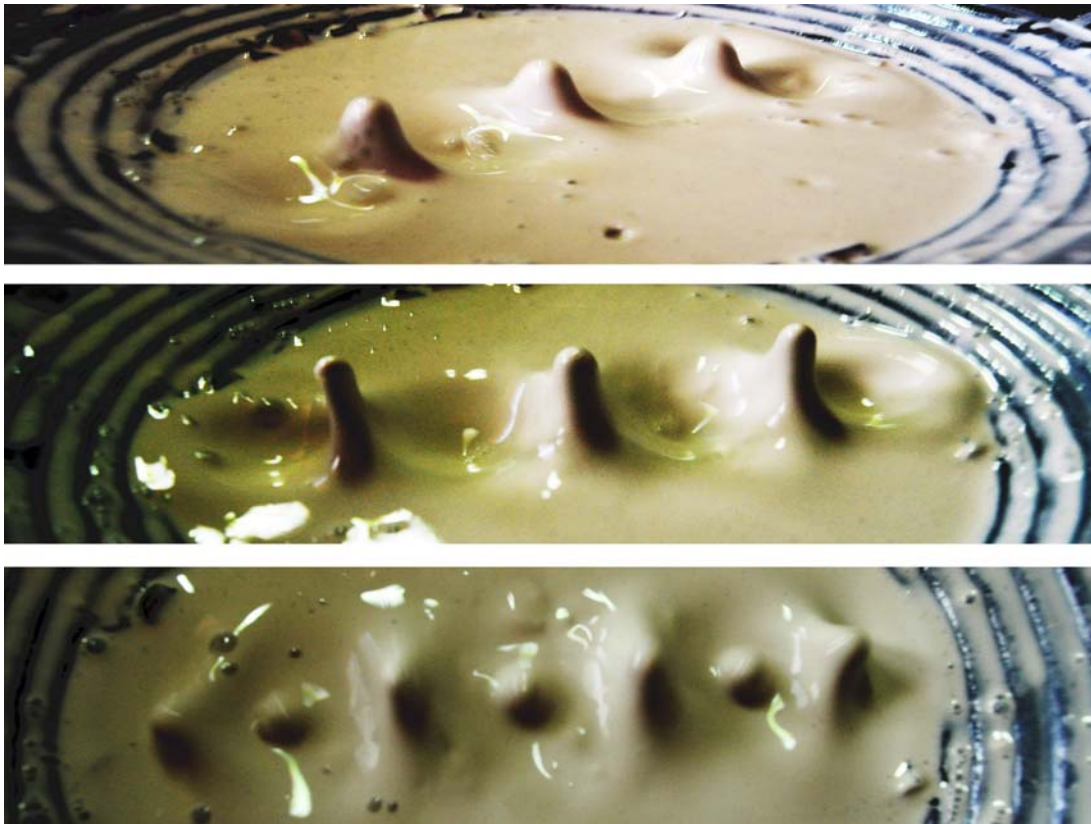
Cuando iniciamos un ciclo con frecuencias muy bajas de entre los 10Hz-30Hz, aparecerán múltiples variaciones de los denominados trenes de onda (*figura 115*), que ya hemos visto anteriormente en los procesos de formación sobre fluidos newtonianos. Cabe destacar, que los procesos de formación sobre membranas, originan estructuras de mayor magnitud gracias a la viscosidad y tensión ejercida por el material. La aparición de los trenes de onda, surge como respuesta a procesos de oscilación en el que las frecuencias tienen una cadencia muy baja y el efecto pendular es muy elevado. El vaivén producido por la oscilación de la membrana, permite que se formen las crestas y las oquedades que acaban generando estas estructuras. La utilización de este tipo de fluidos, (mediante su elasticidad y las propiedades anti-gravitatorias de tensión y fuerza), permite que se desarrollen crestas gigantes en las olas, alcanzando estructuras mucho mayores respecto a los fluidos que responden a las leyes de Newton (el mismo efecto sobre un fluido newtoniano, provocará rotura por tensión y con ello generará las eyecciones de material hacia el exterior que hemos visto anteriormente, *figura 94*).

A medida que aumentamos el rango de frecuencia (entre los 30Hz-300Hz), desaparecen las estructuras en forma de trenes de onda, dando paso a una nueva categoría de formaciones específicas de este material. Si aumentamos progresivamente el tono, se generan patrones en la superficie del fluido, en forma de malla (*figura 116*). La tensión ejercida por la oscilación reparte la masa de forma equitativa por la superficie oscilante y se generan estructuras de malla o rejilla sobre las zonas donde existe mayor acumulación de vibración. Estas masas, adoptarán como en el caso de los fluidos newtonianos diferentes tamaños en las estructuras de formación nodal. No obstante la gran diferencia ante otro tipo de fluidos, reside en el efecto de expulsión de material. La resonancia provoca que incluso en frecuencias bajas en las que se forman patrones de malla, estos provoquen eyecciones de masa (*figura 115*).



< Figura 114. Efectos de formación de cúpula y copa sobre una membrana mediante un fluido no-newtoniano. Tono de 9Hz. Mezcla de Harina de maíz y agua. Imágenes del autor.

Figura 115. Trenes de onda, generados sobre una membrana elástica mediante una mezcla de harina de maíz y agua, con un tono de 11Hz. Podemos observar como las crestas y oquedades, son mucho más pronunciadas que en los trenes de onda vistos mediante fluidos newtonianos. Imágenes del autor.



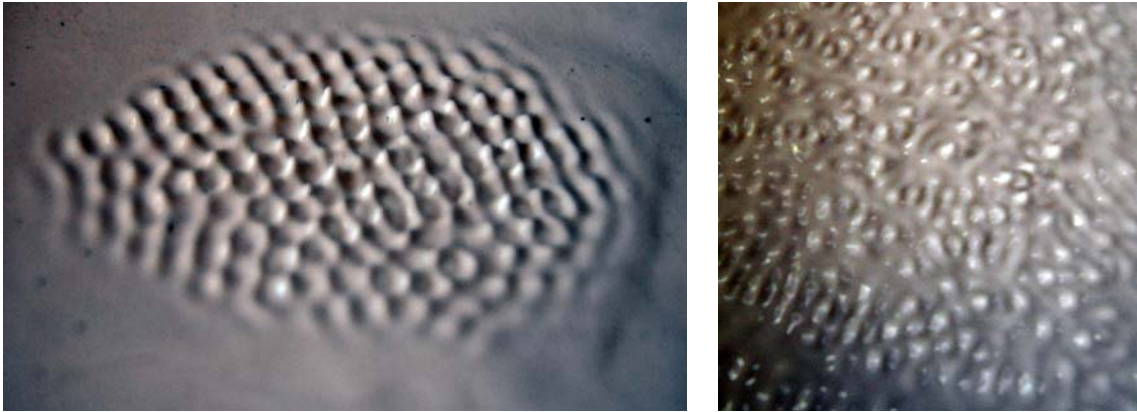


Figura 116. Procesos de formación de malla. Observamos como las estructuras son muy diferentes entre si. No obstante en muchos de los vórtices de choque, se observan pequeñas eyecciones de masa. En los procesos de formación de malla de tamaño muy pequeño, la superficie del fluido genera un entramado tridimensional mucho más complejo y fácil de visualizar que con fluidos normales. Mezcla de Caolín y agua. Imágenes del autor.

Todos estos procesos de creación mediante fluidos no-newtonianos, debemos entenderlos como cambios constantes de estado de la materia cuando actúa la vibración sobre las masas. Es decir, cuando las masas viscosas están en reposo (sin que actúe un tono), adoptan una consistencia dura, similar al plástico. Es precisamente cuando el tono entra en resonancia sobre el material, cuando adopta de nuevo la característica de un fluido y se comporta como tal. Este efecto, lo podemos observar en la creación de determinadas estructuras, que se generan sobre pequeñas masas depositadas sobre una membrana (*figura 117*).

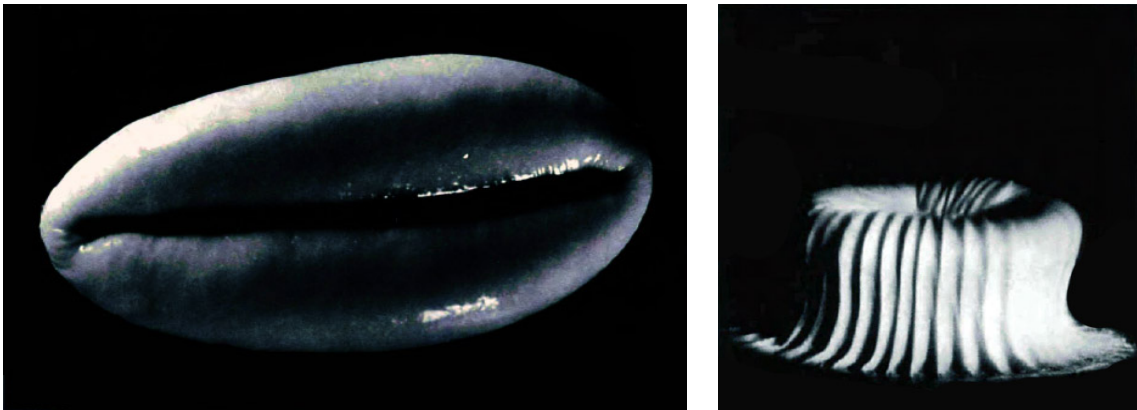


Figura 117. Podemos observar dos estructuras amorfas que son generadas por procesos cimáticos. Ambas estructuras parten de un proceso de formación de cúpula/copa. En la primera imagen la deformación por el efecto de la oscilación es evidente. En la segunda foto, la resonancia retuerce en si mismo una masa que ha formado una estructura de copa. Imágenes extraídas del libro Cymatics.

(Jenny, 2001, 106/113)

En el instante que aparecen las formaciones de malla sobre la superficie de fluidos no-newtonianos (entre los 30Hz-300Hz), podemos utilizar los niveles de amplitud para generar estructuras verticales de carácter orgánico (*figura 118*). Estas formaciones se desplazan por la superficie en movimientos danzantes y sinuosos hasta encontrar puntos en los que la oscilación es menor y se desvanecen. Cuando la resonancia es muy elevada, estas formaciones salen eyectadas con gran velocidad en todas las direcciones.



Figura 118. En la imagen podemos observar un fenómeno de eyección de masa por los altos niveles de resonancia. Mezcla de Harina de maíz y agua. Imagen del autor.

Cuando seguimos aumentando el rango de frecuencias entre los 100Hz y los 300Hz, podremos observar de forma muy clara el efecto de transición que adquieren los fluidos no-newtonianos en el que pasan de estado líquido a sólido y viceversa.

En las imágenes que observaremos en las siguientes páginas (*figura 119 y 120*), podremos observar un alto proceso de resonancia de un fluido desde el interior del propio fluido. Observaremos como se genera un patrón de onda en el que las crestas de las olas se elevan hasta cinco centímetros de la superficie de la membrana, debido al proceso de oscilación. Si se aumenta el nivel de amplitud las ondas se deforman y el fluido entra en un estado resonante, en el que los puntos nodales se transforman en eyecciones de gran formato del fluido (*figura 121*).





Figura 119. La fotografía muestra un proceso de oscilación mediante un fluido no-newtoniano con un tono de 25Hz y una amplitud media. Se generan estructuras de onda de gran formato debido a la resonancia adquirida. Mezcla de Caolín y agua. Imagen del autor.



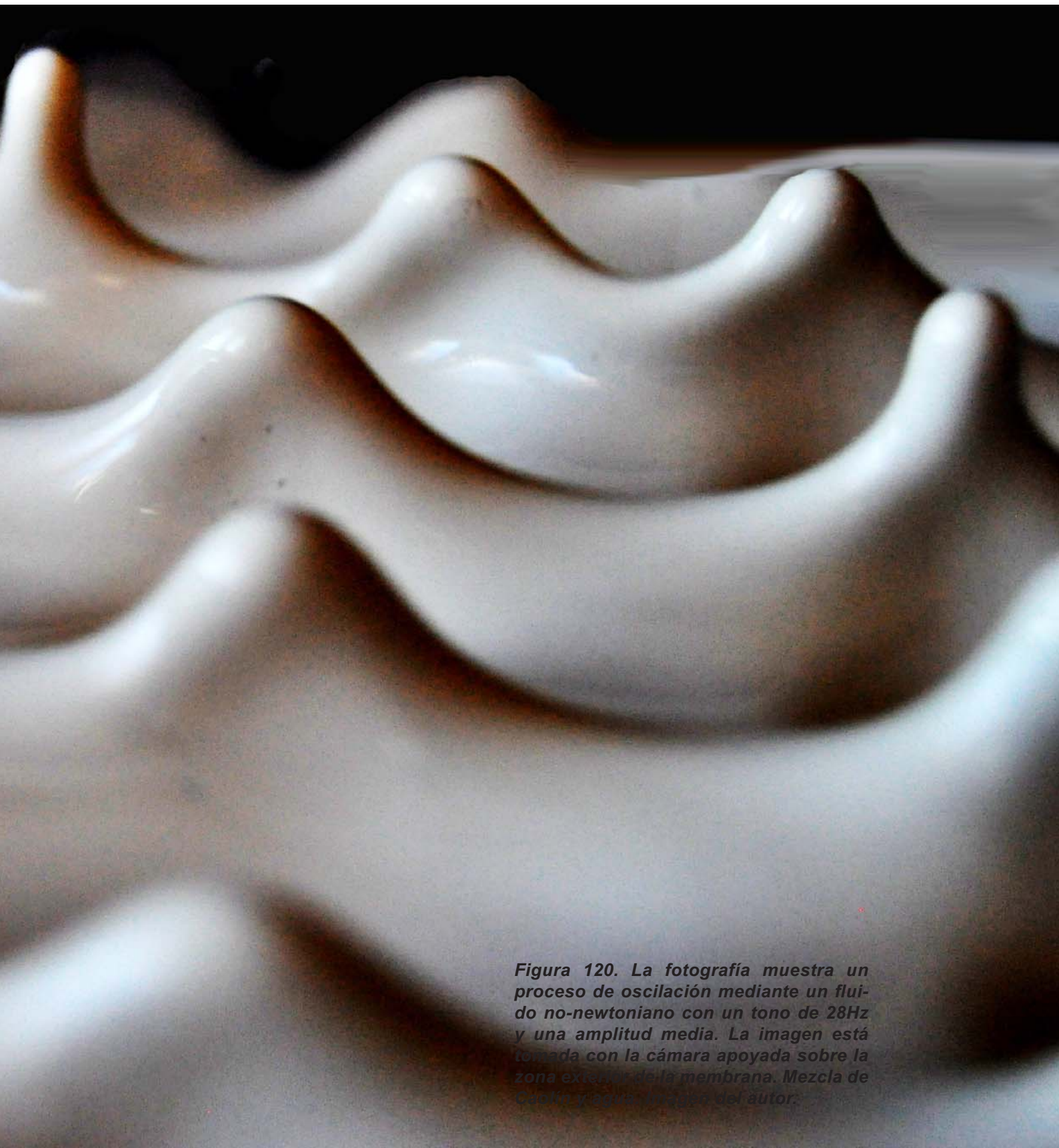


Figura 120. La fotografía muestra un proceso de oscilación mediante un fluido no-newtoniano con un tono de 28Hz y una amplitud media. La imagen está tomada con la cámara apoyada sobre la zona exterior de la membrana. Mezcla de Cuolín y agua. Imagen del autor.



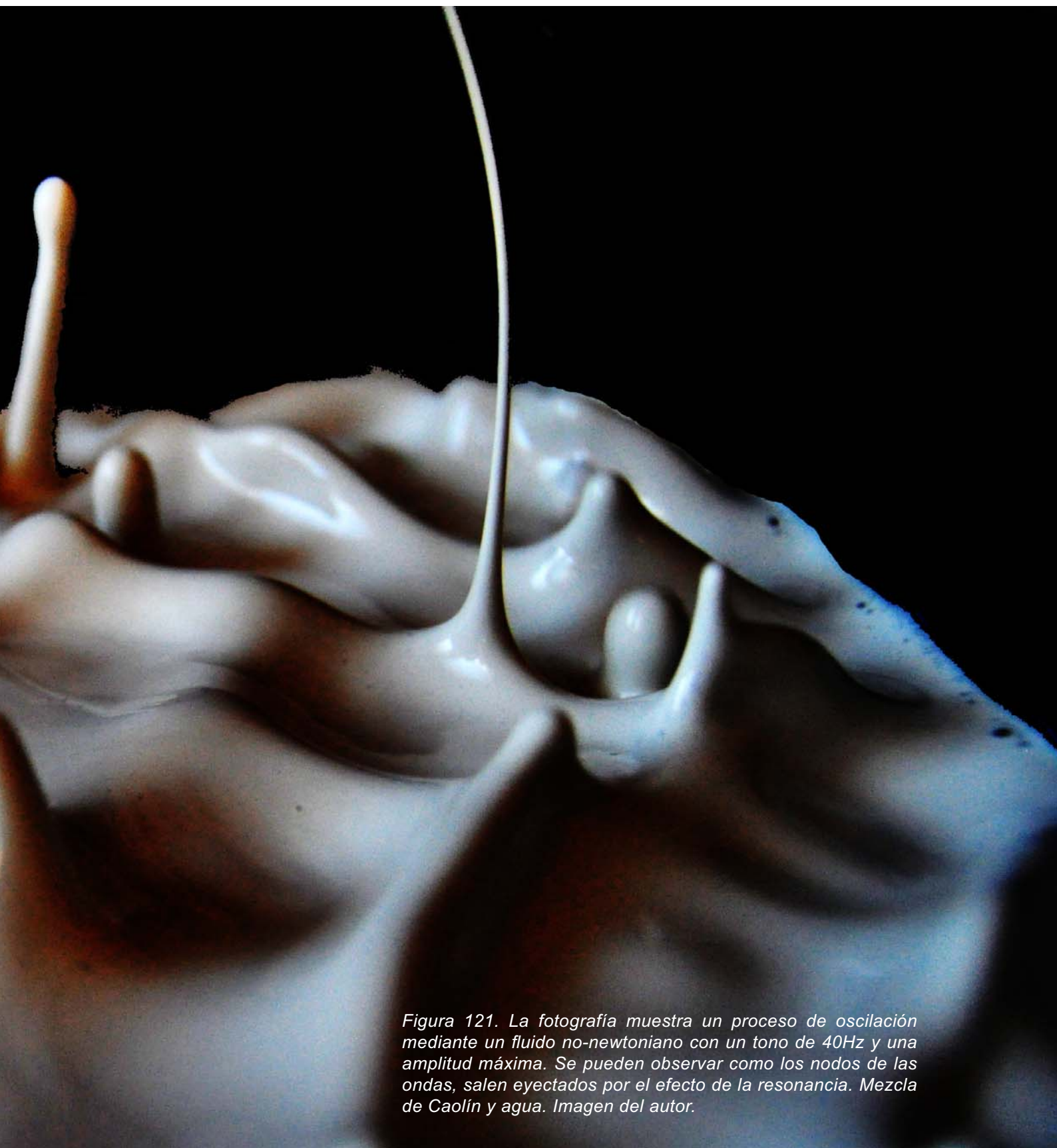


Figura 121. La fotografía muestra un proceso de oscilación mediante un fluido no-newtoniano con un tono de 40Hz y una amplitud máxima. Se pueden observar como los nodos de las ondas, salen eyectados por el efecto de la resonancia. Mezcla de Caolín y agua. Imagen del autor.

7.4.2.- Formación de estructuras sobre planchas.

Al comenzar el trabajo experimental sobre planchas (mediante fluidos no-newtonianos), pronto apreciamos que las características del material (rigidez mucho más alta que las membranas) y la incapacidad de contener el material (como en las bañeras de vibración), dificultan el proceso de creación.

Si iniciamos un ciclo de oscilación mediante bajas frecuencias (10Hz-30Hz), apreciaremos como las masas depositadas sobre la superficie de una plancha, enseguida se desplazan hacia los extremos, ya que su propio peso y la oscilación las empujan hacia el exterior (*figura 122*). Cuando finalmente el material se asienta en los extremos de la plancha, aparecen de nuevo los característicos trenes de onda, adquiriendo la direccionalidad de la plancha. El movimiento de las masas de fluidos sobre la superficie de las planchas, generará unas estructuras de onda que cuando se secan, originan formaciones similares a las desembocaduras fluviales (*figura 123*).

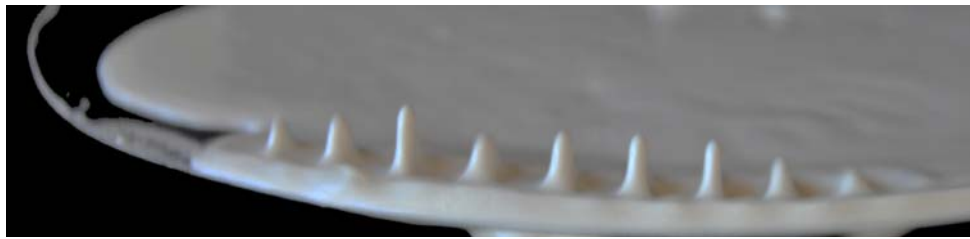


Figura 122. Fotografía que muestra un tren de ondas sobre el borde de una plancha circular. El tren de ondas adquiere la dirección de la silueta de la plancha. Mezcla de Harina de maíz y agua. Imagen del autor.

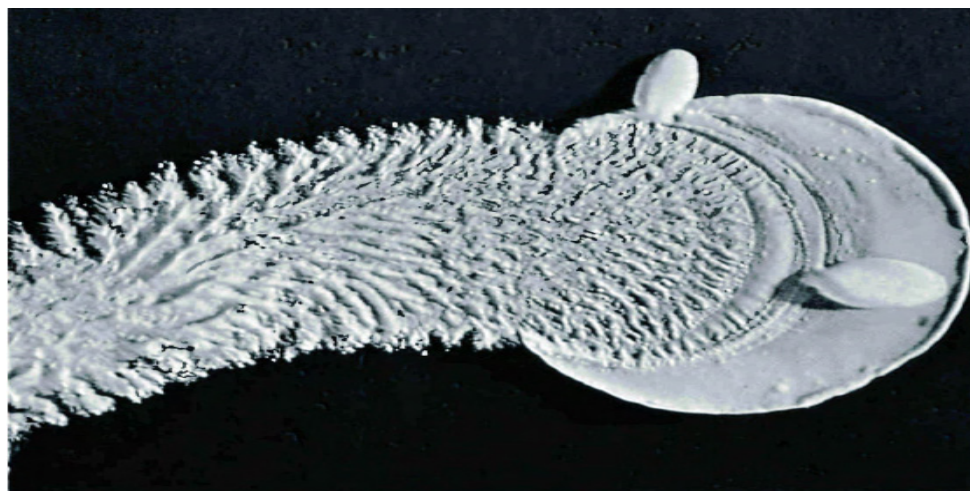


Figura 123. La imagen muestra un proceso de migración de una masa sobre la superficie de una plancha. Imagen extraída del libro Cymatics.

(Jenny, 2001, 90)

Cuando depositamos una gran masa de fluido sobre una plancha, y aumentamos el tono entre 30Hz y 50Hz, aparecerán estructuras de malla sobre la superficie. Estas superficies, no obstante no serán regulares y solamente abarcarán algunas zonas de las masas excitadas. Si aumentamos los niveles de amplitud, podemos escuchar como la tensión ejercida sobre el material crea pequeños sonidos, como efecto de la rotura y corte del material, originando formaciones regulares y simétricas de carácter orgánico en forma de agujeros (*figura 124*). Estos agujeros, cambian de forma con el paso del tiempo, adquiriendo diversas estructuras geométricas, que se unen entre si para generar nuevas formaciones.

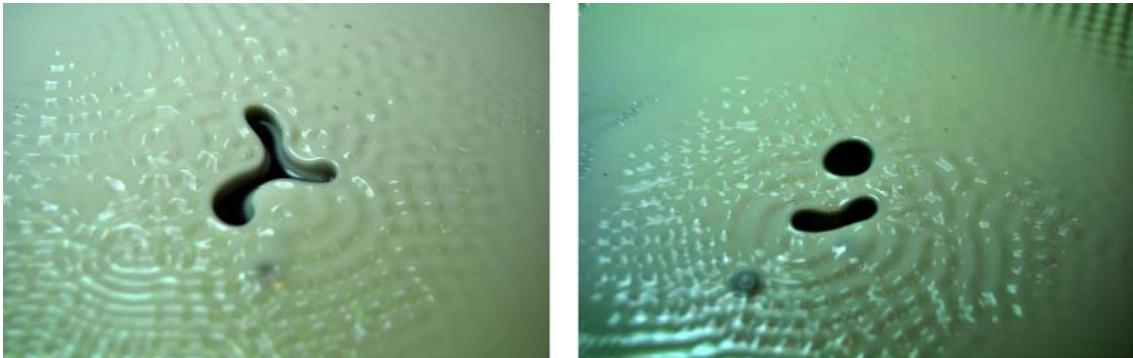


Figura 124. Secuencia que muestra la formación de agujeros sobre un fluido no newtoniano. Los agujeros adoptan formas orgánicas y varían su estructura según el tono y la amplitud. Mezcla de harina de maíz y agua. Imágenes del autor.

Cuando ocurren estos procesos en los que aparece la formación de agujeros, si seguimos aumentando la amplitud observaremos otro de los fenómenos más extraños que se originan mediante este tipo de fluidos, la formación de estructuras de desarrollo vertical. Estas formaciones se generan cuando la materia entra en resonancia y el fluido adquiere un comportamiento anti-gravitatorio (*figura 125*). A través de la acumulación de masa, se generan estructuras de carácter orgánico, que se montan entre ellas y tienden a crecer en sentido opuesto al de la gravedad (*figura 126*).



Figura 125. En las imágenes podemos observar como si la resonancia es muy alta en las zonas donde se generan agujeros, comienzan a crearse estructuras de formación vertical de forma orgánica. Imágenes del autor.





Figura 126. Procesos de creación de estructuras de formación vertical sobre una zona de alta resonancia. Imágenes del autor.

Las imágenes anteriores, ofrecen muestras del desarrollo de muchas de estas formaciones, que en ocasiones pueden llegar a levitar durante unos instantes (inducidas por los efectos de la resonancia). La acumulación de estructuras en un mismo lugar, hace que se fusionen entre ellas creando elementos de mayor tamaño, que crecen hasta alcanzar longitudes de entre uno y cinco centímetros. Otro efecto que adquieren estas creaciones de carácter orgánico, es el desplazamiento por la superficie (*figura 128*). En ocasiones estos elementos se trasladan varios centímetros de forma horizontal, hasta alcanzar un lugar donde la resonancia es menor, desvaneciéndose sobre el resto del material.

Cuando seguimos aumentando el rango de frecuencias entre los 100hz y los 200Hz, podremos observar de forma muy clara el efecto de transición que adquieren los fluidos no-newtonianos en el que pasan de estado líquido al sólido y viceversa, dependiendo de la actuación de las frecuencias. Este proceso se observa de forma muy sencilla cuando se generan los entramados de malla (*figura127*). En el momento que aplicamos niveles de amplitud máximos, los fluidos no-newtonianos, tienden a crear tal y como sucedía con los fluidos normales, el efecto surtidor. Este se produce cuando aplicamos frecuencias entre los 100Hz y los 400Hz, con niveles de amplitud máxima y cuando el fluido no-newtoniano es poco viscoso⁴⁴, es decir cuando tiende a tener una consistencia más líquida.

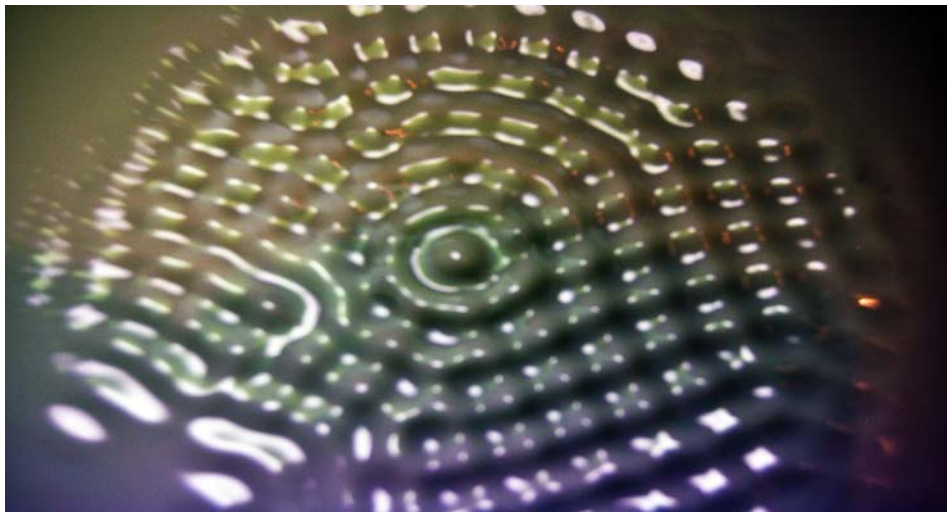
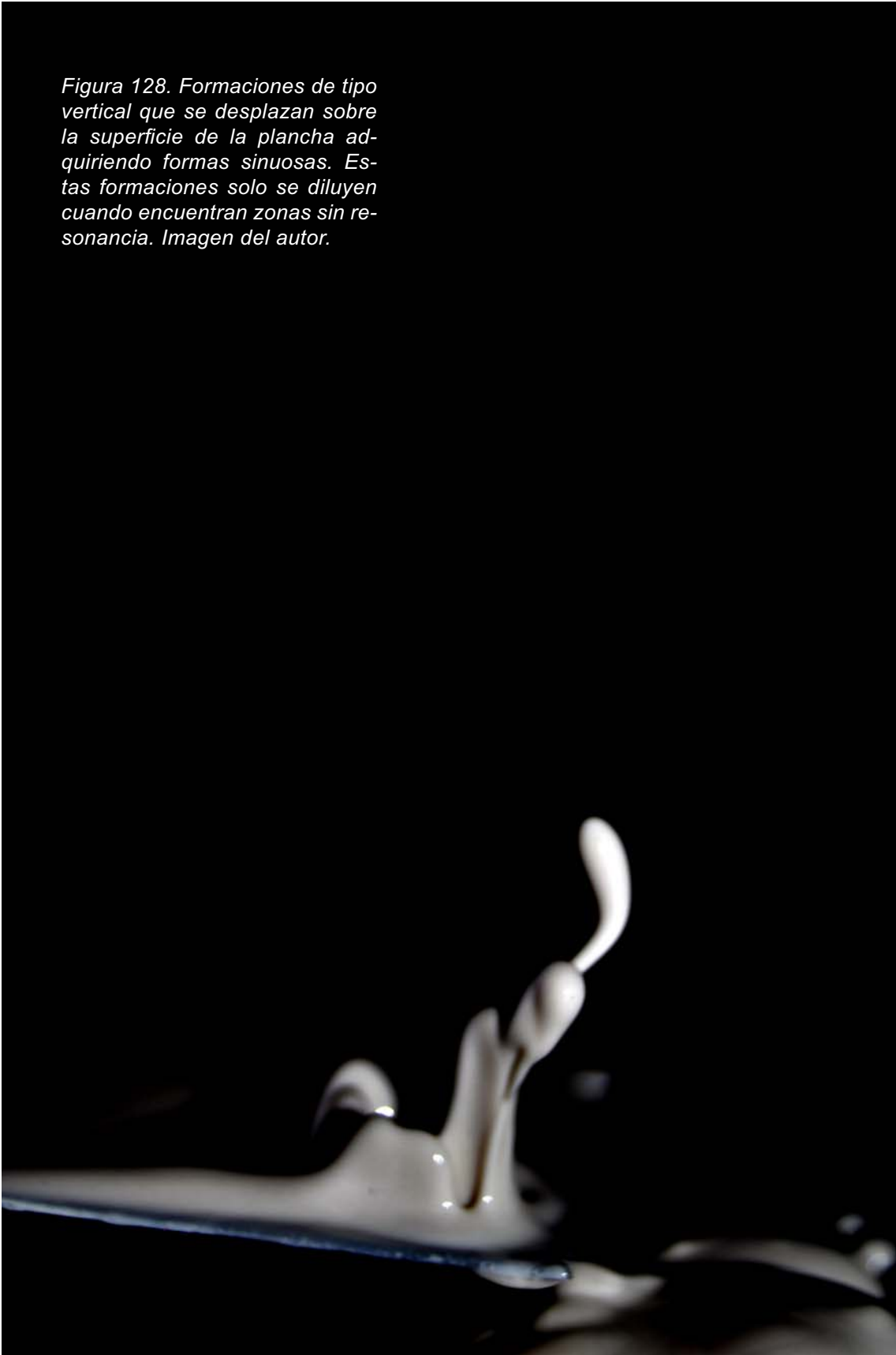


Figura 127. La imagen muestra una formación de malla. Podemos observar como en la zona donde actúa la resonancia, el fluido adquiere las propiedades de un líquido. La masa de alrededor, sigue siendo como una fina capa de plástico. Imagen del autor.

44 Hay que tener en cuenta, que cuanto más viscoso sea el fluido, las estructuras que se originarán, responderán a procesos de formación de tipo orgánico. Mientras que cuando los niveles de viscosidad son menores, el fluido tenderá a comportarse como un líquido.

Figura 128. Formaciones de tipo vertical que se desplazan sobre la superficie de la plancha adquiriendo formas sinuosas. Estas formaciones solo se diluyen cuando encuentran zonas sin resonancia. Imagen del autor.



7.5.- Ondas de propagación rítmicas sobre fluidos no-newtonianos.

Cuando hablamos de propagación rítmica sobre fluidos no-newtonianos, estamos hablando de procesos armónicos de oscilación contenidos en el interior de un recipiente (el mismo proceso estudiado anteriormente sobre fluidos newtonianos). No obstante hay que remarcar que las propiedades específicas de este material, generarán un comportamiento especial. Como hemos visto en el caso de las oscilaciones sobre membranas y planchas, los fluidos no-newtonianos (debido a su viscosidad y la tensión ejercida por los tonos que se aplican), generarán estructuras de carácter tridimensional. Es decir si utilizamos un tono de 10Hz en el interior de una bañera de vibración circular (*figura 129*), la estructura generada adquirirá un carácter tridimensional mucho más complejo que el obtenido mediante fluidos normales.



Figura 129. La fotografía muestra el inicio de un ciclo de 8Hz, en el que se genera una estructura en tres dimensiones de cúpula y copa, de gran formato. Imagen del autor.

Naturalmente en la realización de este tipo de experimentos, influyen muchas variantes que dificultan la estandarización del proceso⁴⁵. Tanto la densidad del fluido no newtoniano, como la forma y el tamaño de la bañera de vibración y la cantidad del fluido utilizados, son variables que determinan muchas de las figuras de creación en el desarrollo de las fases de oscilación.

⁴⁵ Las figuras obtenidas y los datos presentados en este capítulo de la tesis doctoral, están realizados en bañeras de vibración circulares de 16 cm. de diámetro y 7 cm. de profundidad. La cantidad de material utilizado en las bañeras cubre 5 cm. desde la base interior del cuenco, en estado de reposo. El compuesto utilizado, es harina de maíz y agua. La densidad no es calculable.

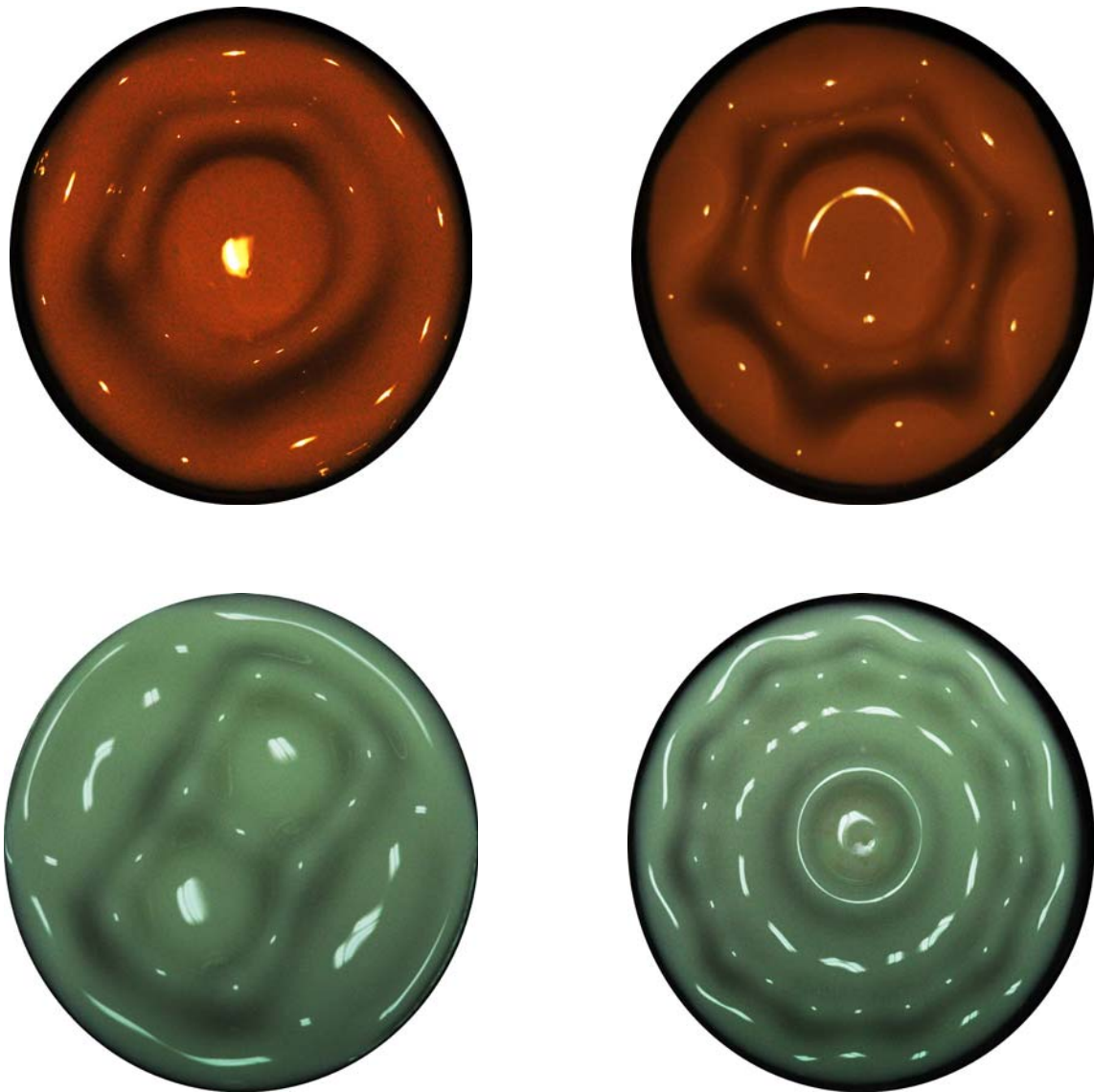


Figura 130. En la imagen podemos observar las estructuras tridimensionales que se generan mediante los fluidos no-newtonianos. Estas figuras están comprendidas entre los 10Hz y los 30Hz y están realizadas bajo dos haces de luz diferenciados. Véase Anexo II. Imágenes del autor.

Estos procesos de oscilación adquieren formaciones más complejas cuando aumentamos el rango de frecuencias entre los 10Hz-30Hz (Podemos observar las formaciones que se originan en el anexo III). En este rango de frecuencias aparecerán estructuras nodales geométricas bien definidas que se mostrarán en tres dimensiones (*figura 130*). Estas estructuras podrán ser observadas mediante dos tipos de luz bien diferenciados. Si utilizamos un haz de luz estroboscópico, se mostrarán las estructuras de formación. Mientras que mediante la luz normal, además de observarse las estructuras en tres dimensiones también podremos observar la formación de líneas nodales (líneas de luz)

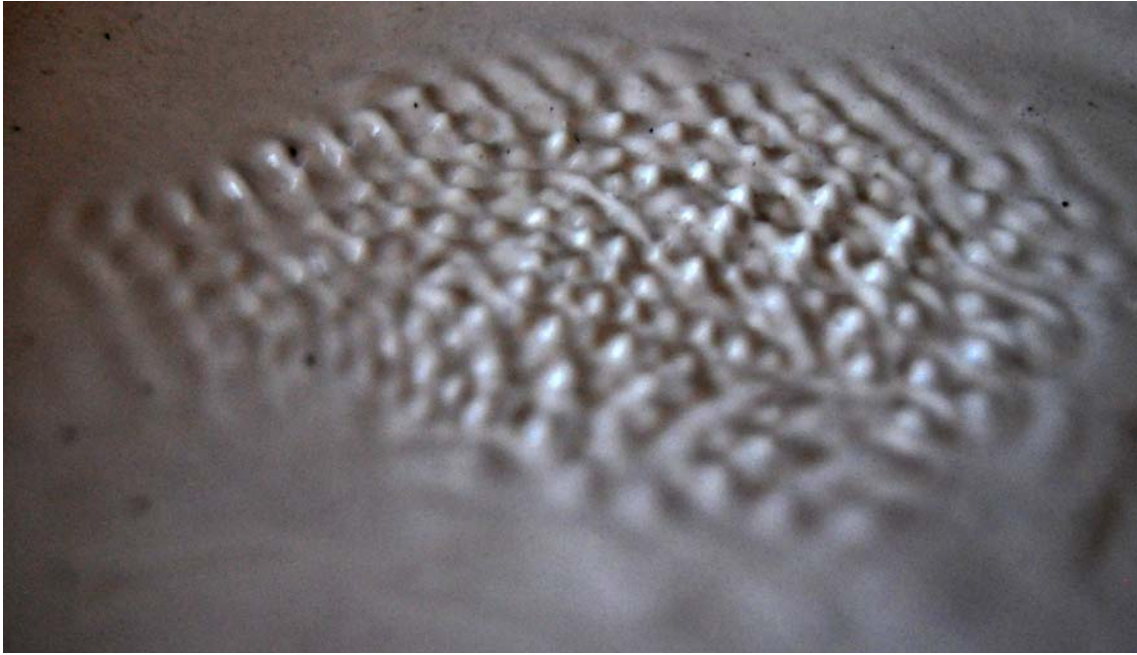
La formación de estas estructuras tridimensionales viene precedida por el tono y la amplitud. En un mismo tono podemos encontrar varias estructuras diferenciadas si variamos los niveles de amplitud (*figuras 131*).



Figura 131. Podemos observar un ciclo de 15Hz con diferentes niveles de amplitud, que genera tres estructuras tridimensionales bien diferenciadas. Foco de luz fluorescente. Imágenes del autor.

Si sobrepasamos un nivel crítico en la amplitud, en casi todos los tonos, el exceso de resonancia provocará que el contenido del interior de la bañera de vibración se desborde por los costados del recipiente.

Cuando las frecuencias sobrepasan los 25Hz-30Hz, comienzan a aparecer únicamente estructuras de malla con nodos de gran tamaño, que adquieren determinadas formas, según el tono (*figura 119*). Si seguimos aumentando el rango de frecuencia observaremos como entre los 30Hz y los 100Hz, siguen apareciendo cada vez estructuras de malla con los nodos más reducidos. En el transcurso comprendido entre los 100Hz y los 300Hz, observaremos la complejidad con la que nos enfrentamos a la hora de generar estructuras de malla. Ni el aumento masivo de los niveles de amplitud y de tono, permitirán generar este tipo de formaciones. Únicamente, aparecerán en frecuencias determinadas algunas formaciones de diminuto tamaño que se situarán en los puntos de más elevada resonancia.



Figuras 132. Las fotografías muestran un proceso de formación de estructuras de malla. Podemos observar como a medida que aumentamos las frecuencias, los nodos se hacen más pequeños y aparecen estructuras de tipo orgánico. Imágenes del autor.

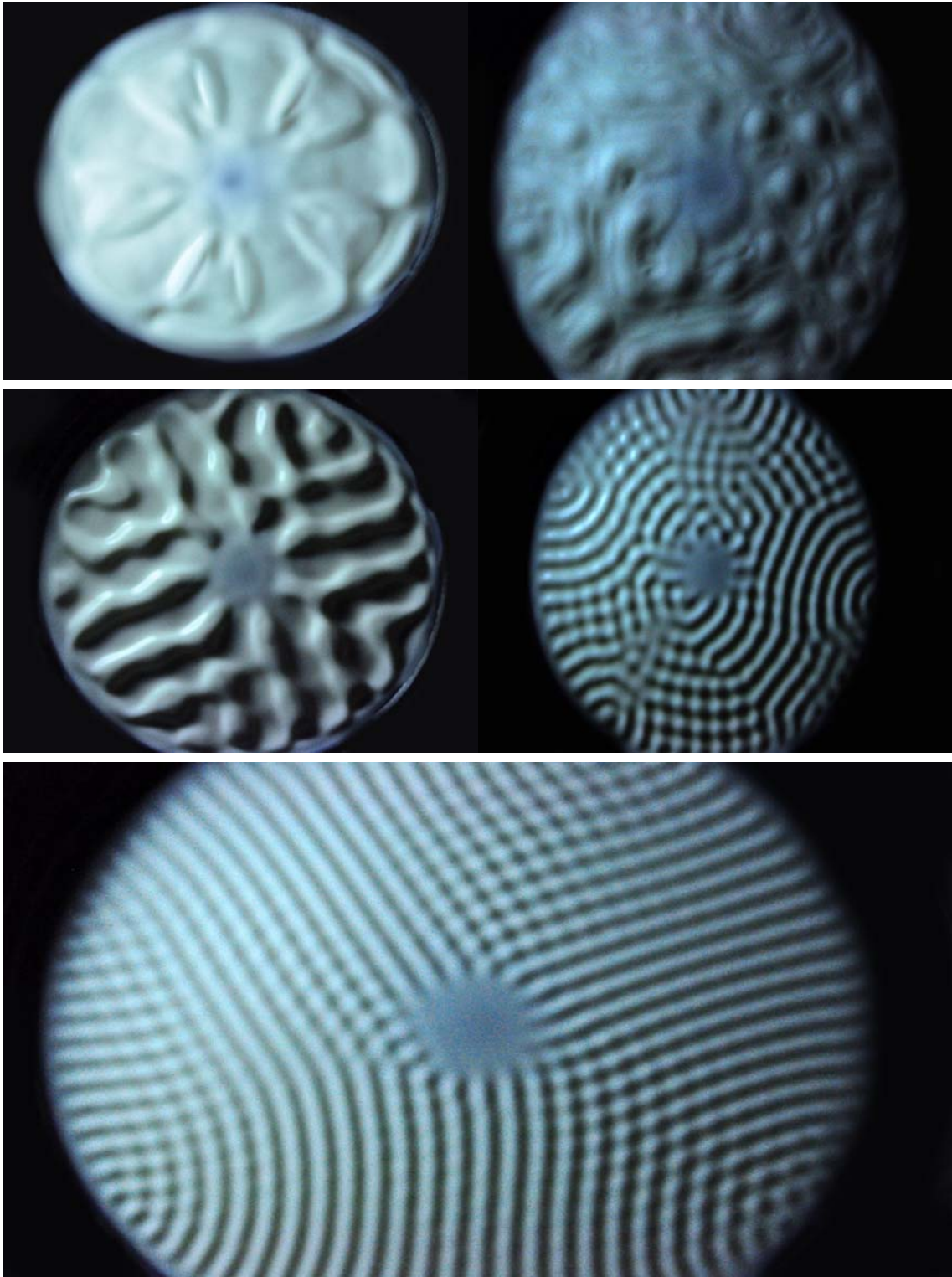


Figura 133. Las fotografías muestran un proceso de formación de estructuras de malla. Observamos como a medida que aumentamos las frecuencias, los nodos se tornan más complejos, pequeños y aparecen estructuras de formas orgánicas. Imágenes del autor.

7.6.- Efectos cimáticos sobre un fluido en proyección.

Dentro del campo de las investigaciones sobre fluidos, aparece este apartado como un proceso de generación de imágenes y formas, a través de las oscilaciones provocadas por el sonido sobre un chorro de agua. Para poder llevar a cabo esta investigación, tenemos que tener en cuenta los procedimientos necesarios para poder desarrollar este proceso. Para ello, una vez más contaremos con el generador de funciones y el generador de ondas, conectados a una manguera por la que fluirá el líquido.

La manguera debe estar fijada a la base del oscilador. Con ello podremos aplicar los distintos tipos de frecuencias sobre ella. Cuando el agua pase por el interior de la manguera, adoptará la oscilación que se produzca en el material que la contiene. De esta forma, cuando el agua fluya por la boca de la manguera se generaran estructuras de formación perceptibles.

Mediante el uso del generador de funciones podemos aplicar sobre la manguera un determinado tono, que producirá sobre el chorro de agua diferentes tipos de formaciones. No obstante, en la creación de este tipo de formaciones intervienen varios factores, tales como el volumen de agua, la presión del agua, tensión ejercida sobre el chorro, el tono y la amplitud.

Cuando los efectos de la oscilación actúen sobre el fluido, este adoptará diversas formaciones de tipo espiral, de goteo, etc. (*figura 134*). La formación de estas estructuras permanece en el tiempo, debido a que su existencia perdura gracias a la tensión ejercida por el oscilador sobre la manguera. . No obstante es un proceso a tener en cuenta desde el punto de vista de la creación artística de estructuras dinámicas, que puede ser utilizado en varios campos del arte contemporáneo.

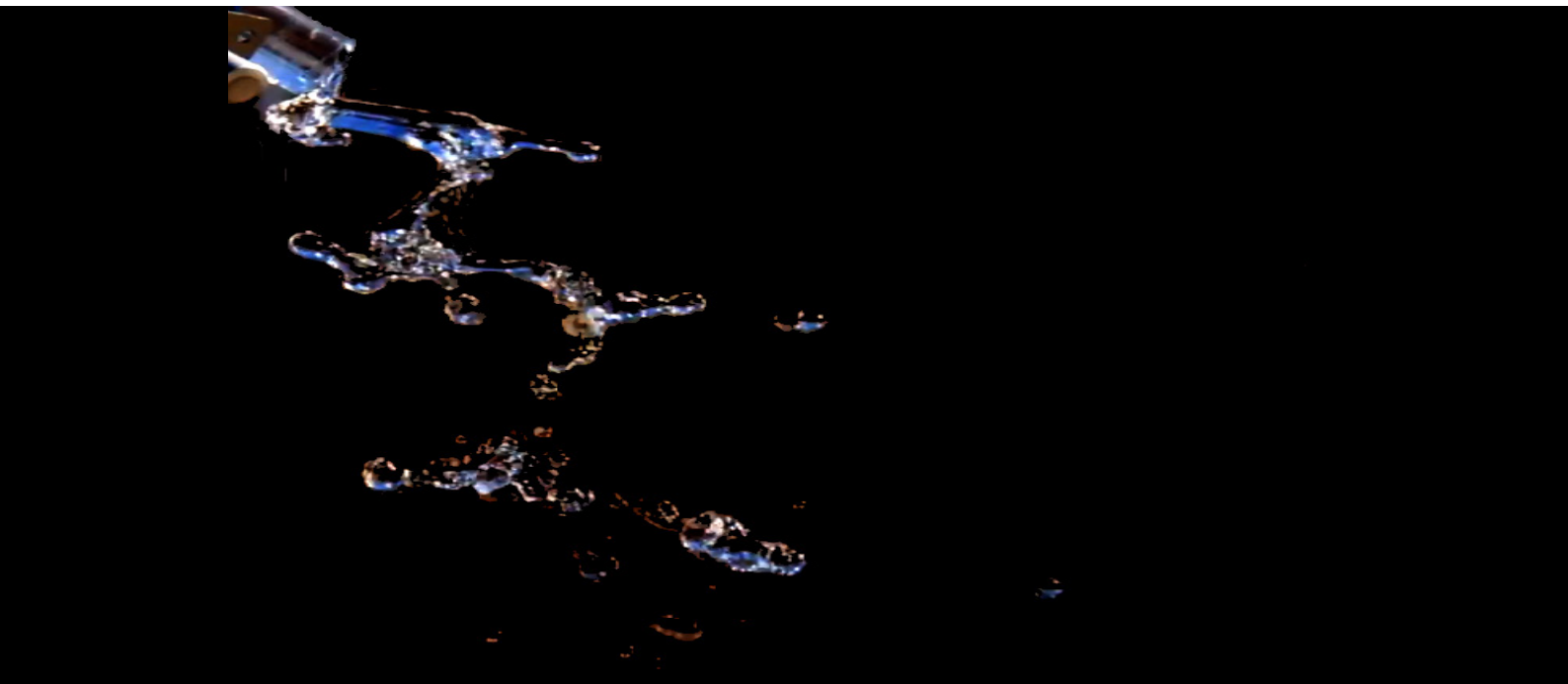
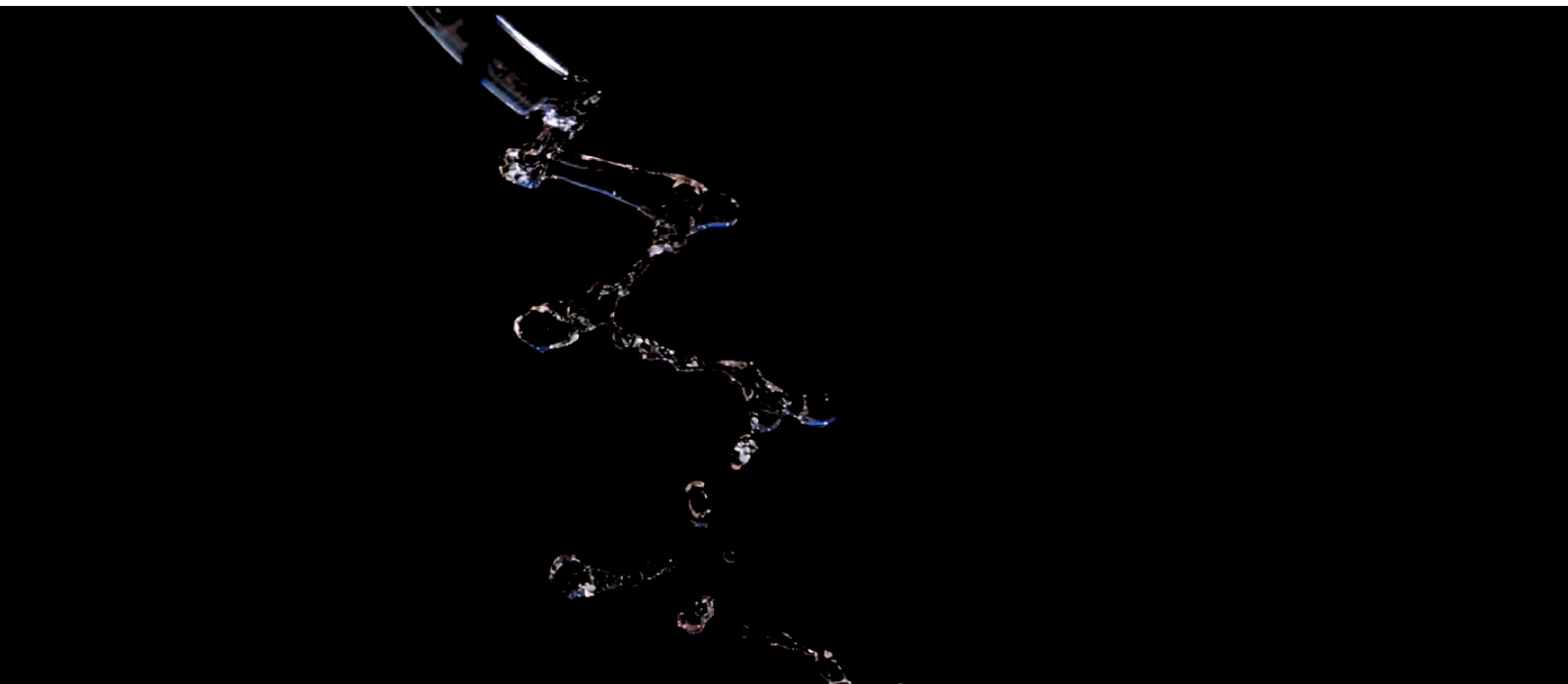




Figura 134. En las imágenes podemos observar 4 procesos diferenciados de oscilación sobre un chorro de agua. Los tonos aplicados son de 22Hz, 23Hz, 24Hz y 25Hz, respectivamente. Imágenes del autor.

A medida que se aumenta el tono, la oscilación sobre la manguera aumentará haciendo que varíen las estructuras de formación que se generan al salir el chorro de agua. Este tipo de experimentos puede generar efectos visuales en los que el fluido en ocasiones parece fluir contrariamente a los efectos de la gravedad, en un proceso de retorno. La variación de la amplitud también ocasionará efectos diferenciados sobre el fluido.

Un hecho destacado que se viene dando continuamente en los fenómenos cimáticos, es la disminución de las estructuras de formación a medida que aumentamos el rango de frecuencias aplicadas. Cuanto mayor es la frecuencia, más complejo se torna el proceso y las gotas del fluido salen más dispersas.

Cabe destacar de este fenómeno que generalmente no es visible a simple vista, sino que necesitará ser capturado por vídeo-cámaras, para hacerse visible (o utilizarse un foco de luz estroboscópica con la frecuencia adecuada para su visualización). El ojo en condiciones normales no puede percibir este efecto debido a la alta velocidad que adquiere el flujo. No obstante si se utilizan lámparas estroboscópicas, (en las que se puede regular el nivel de frecuencia de oscilación), podremos hacer visible este proceso a simple vista (véase en la página 271, donde aparece la obra *Supermajor*, del artista Matt Kenyon).

“El efecto vibratorio es comunicado hacia la boquilla del chorro de agua oscilante, originando un efecto complejo. En Primer lugar, surge una trayectoria ondulante como efecto de la vibración, mientras que seguidamente aparece una tendencia del fluido, a seguir la tensión originada por el chorro de agua y por sus gotas, cuando este se rompe. La luz estroboscópica revelará formaciones regulares en las gotas, no obstante este proceso durará pocos instantes”.

(Jenny, 2001, 157)



< *Figura 135. Efecto anti-rotatorio producido por la coincidencia de la frecuencia del tono y la de la luz estroboscópica. Hay que entender estas imágenes como procesos dinámicos que son capturados en el tiempo a través de la fotografía. Imagen del autor.*

8.- Interacción de sólidos y fluidos bajo la influencia de procesos cimáticos.

Cuando tratamos de observar las experiencias desarrolladas mediante la combinación de dos elementos sometidos a la influencia de los procesos cimáticos, apreciaremos como estos interactúan entre sí y dan lugar a nuevas estructuras de formación, que no habían aparecido hasta la actualidad.

En este capítulo se combinarán los materiales utilizados anteriormente (agua+arena, agua+esporas de licopodio) para descubrir que efectos surgen bajo la influencia de los procesos cimáticos.

En el primer experimento llevado a cabo, se ha utilizado una combinación de agua y arena en el interior de una bañera de vibración. Cuando se inicia un ciclo de oscilación con tonos bajos (entre 10Hz y 30Hz), el agua y la arena se diluyen repartiéndose equitativamente por el efecto del vaivén producido por la oscilación. Aunque no se generan figuras bien definidas, aparecen en seguida nodos y estructuras similares a las cúpulas y las copas en diferentes zonas de la bañera. La arena se mueve al compás del agua y fluye en un proceso dinámico, en el que únicamente retorna al estado de reposo cuando el tono cesa.

A medida que aumentamos el rango de frecuencias aplicadas y superamos los 50Hz, la arena se agrupa en formaciones repartidas por toda la bañera que no adquieren ningún tipo característica formal y se dispersa dejando zonas en las que es visible el fondo de la bañera de vibración. En ese instante, aparecerán sobre la superficie del fluido las primeras estructuras en forma de malla. Cuando las estructuras de malla dinámicas que fluyen por la superficie se topan con las zonas de arena crean patrones ordenados (*figura 136*).

Si se aumenta de forma gradual el tono y la amplitud, observaremos como a partir de los 100Hz, la arena se agrupa en cúmulos lobulares, que adquieren forma de hongo y que se ven rodeados por las estructuras de malla. Estas formaciones se desplazan muy lentamente por la superficie de la bañera e interactúan con el fluido (*figura 136*). Si se aumenta hasta el máximo el nivel de amplitud se puede observar la formación de pequeños patrones en el interior de estas agrupaciones de arena. Cuando el tono cesa, estas estructuras en forma de hongo, se desvanecen y acaban como un lóbulo sobre la superficie.

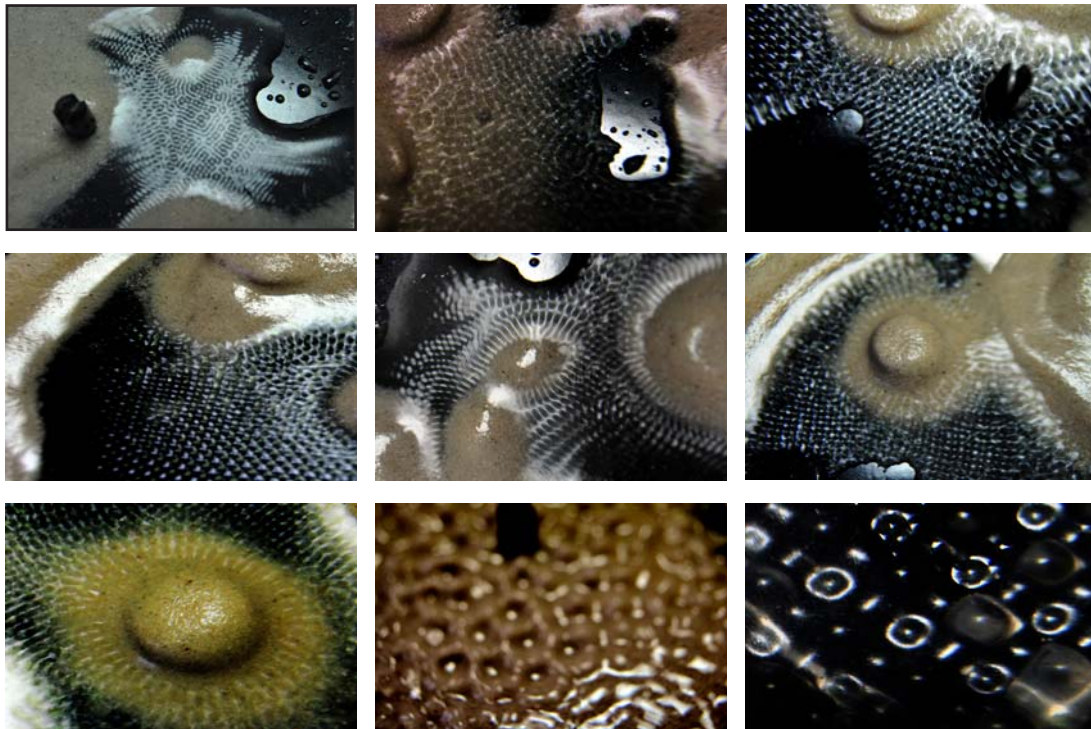


Figura 136. Secuencia temporal que muestra el aumento en el grado de las frecuencias y la aparición de las estructuras lobulares y la formación de patrones de malla sobre el fluido y la arena. Imágenes del autor.

Si combinamos otro tipo de materiales como el polvo de licopodio y el agua, también surgirán efectos remarcables. Cuando sobre una capa homogénea de agua contenida en una bañera de vibración, aplicamos polvo de licopodio, este generalmente se esparce por la superficie del fluido, formando una película que lo cubre (*figura 137*).

Si aplicamos un ciclo de bajas frecuencias entre los 10Hz y los 30Hz, se generarán estructuras de formación de patrones normales, ya que las espumas son tan finas que se entremezclan rápidamente con el agua. No obstante, el polvo actúa como un marcador que permite observar los procesos de arremolinamiento que se originan sobre los fluidos (*figura 66*). Si seguimos aumentando el rango de frecuencia, aparecerán las estructuras de malla y las finas partículas del polvo se concentrarán en una masa alrededor de las paredes de la bañera que contiene el líquido.

Si realizamos el proceso de forma inversa y sobre una capa de agua excitada por frecuencias comprendidas entre los 100Hz y 300Hz, esparcimos una gran cantidad de polvo de licopodio, este no se diluye en el agua y

genera una fina película que cubre la superficie del fluido. Cuando el fluido es envuelto por esta capa y aplicamos altos niveles de amplitud, aparecerán eyecciones de agua (como hemos visto en capítulos anteriores). No obstante, la eyección de las partículas de agua adquiere una dimensión especial. Estas partículas al caer sobre la superficie en forma de gotas, rápidamente son recubiertas por una fina lámina de polvo que las envuelve y las conserva en forma de bulbo (*figuras 70 y 137*). Las gotas se desplazan hacia las zonas donde existe menos grado de resonancia y se depositan juntas formando agrupaciones.

A medida que descendemos el tono y la oscilación se hace más patente sobre el fluido, las gotas se desplazan sin cesar entre los montículos que generan las olas hasta que finalmente la fina capa que recubre el fluido se acaba diluyendo en el agua y las gotas desaparecen.

“La mezcla es empujada conjuntamente por el entramado de fuerzas y a al mismo instante el agua, es mostrada como una masa conjunta. Esto aporta un cambio en la consistencia del medio.”

(Jenny, 2001, 141)

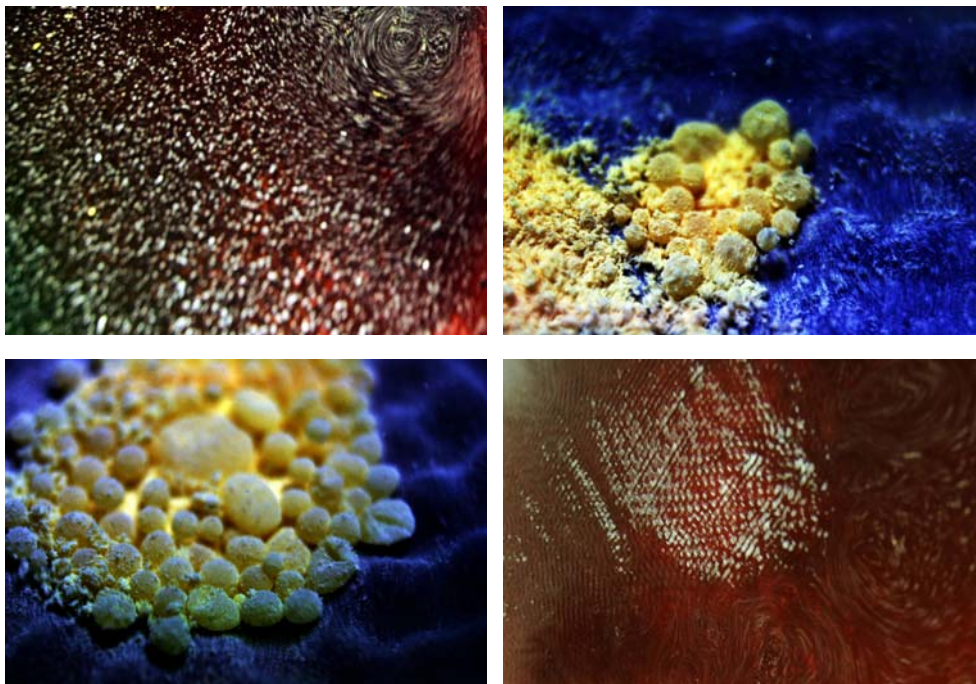


Figura 137. Las imágenes muestran procesos de interacción entre agua y esporas de licopodio. La formación de gotas envueltas por el polvo es uno de los efectos más espectaculares. Imágenes del autor.

9.- Efectos cimáticos sobre ferro-fluidos.

Los ferro-fluidos, son un material compuesto por pequeñas partículas de metal y un fluido (generalmente de alta viscosidad), que responden a la atracción y repulsión de los campos magnéticos. Para el desarrollo del proceso de investigación de este material en esta tesis doctoral, se utilizará una mezcla compuesta por finas limaduras de magnetita (10 nanómetros) y aceite vegetal.

Existen varios aspectos a tratar en este campo en concreto. El primero de ellos atañe a la formación mediante ferro-fluidos. Este tipo de material, únicamente genera figuras y formaciones de carácter escultórico cuando está sometido al influjo de un campo magnético⁴⁶. Así como mediante otro tipo de fluidos tanto el tono como la amplitud influirán en la formación de estructuras, en los ferro-fluidos solamente generarán durante los procesos de oscilación, la adhesión y cohesión de partículas.

“Una masa ferro-magnética situada bajo el influjo de un campo magnético, puede generar un patrón de las líneas de fuerza cuando es excitado por un proceso de vibración. La adhesión y la cohesión se reducen. Bajo estas condiciones las características del magnetismo en el espacio, se tornan visibles”.

(Jenny, 2001, 174)

Cuando sometemos una masa de ferro-fluido a un proceso de oscilación mediante bajas frecuencias (entre 10Hz y 30Hz), observaremos cambios superficiales perceptibles como la formación de estructuras de pulsación y circulación como las observadas en los fluidos no-newtonianos⁴⁷. En el interior del fluido, se produce un efecto de cohesión y adhesión de las partículas según aumentamos o decrecemos tanto el tono como la amplitud. Si durante este proceso aplicamos un campo magnético, observaremos como el material rápidamente genera estructuras de formación verticales que tienden a desplazarse hacia las zonas donde el campo es más fuerte. De esta forma se originan estructuras de carácter orgánico (*figura 138*), que muestran la direccionalidad del campo magnético.

46 Un campo electromagnético está compuesto por ondas electromagnéticas. Las ondas electromagnéticas, son aquellas que para poder propagarse no necesitan un medio físico y están creadas por campos eléctricos y magnéticos.

47 Los fluidos ferro-magnéticos, están englobados dentro de la categoría de los fluidos no-newtonianos. Tienen un apartado específico en esta tesis, debido a su complejidad estructural y a su diferenciación en la creación de estructuras.

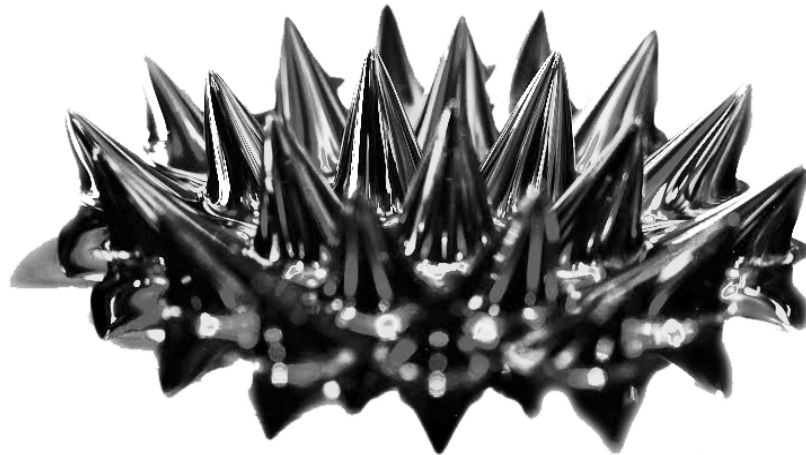


Figura 138. La imagen muestra un ferro-fluido bajo la actuación de un campo magnético simple. Cuando a este campo magnético simple se le induce un tono, las estructuras fluctúan sobre la superficie, generando formaciones dinámicas. Imagen del autor.

Si el tono cesa, las masas dejan de desplazarse por la superficie y el efecto de cohesión y adhesión de las partículas se reduce, congelando las estructuras en un punto fijo (*figura 138*).

Cuando el fluido esta sometido al influjo de un campo magnético, aparecerán una gran cantidad de figuras que se desplazan hacia las líneas de fuerza y forman las estructuras verticales en las que aparecen efectos de rotación, eyección y efectos de arco (*figuras 139*). Este tipo de estructuras, también adquieren propiedades anti-gravitatorias producidas en este caso por efecto del campo magnético. De esta forma podemos observar desplazamientos por paredes verticales o por zonas con altos niveles de inclinación.

Al someter los ferro-fluidos únicamente a los efectos de campos magnéticos (mediante la regulación del nivel del campo electromagnético), podemos generar estructuras dinámicas. La utilización del sonido (un tono determinado), permitirá construir estructuras dinámicas de carácter geométrico alrededor de superficies de diversas formas (*figura 140*).

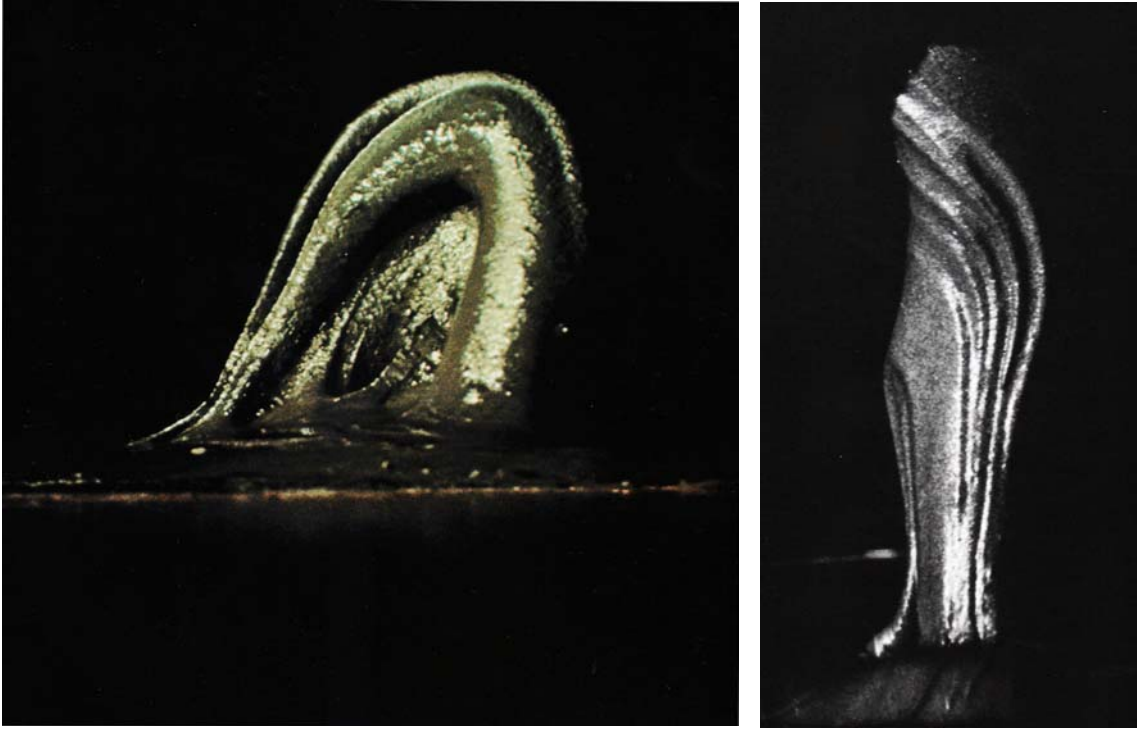


Figura 139. Fotografías tomadas por el Dr. Hans Jenny sobre un proceso de generación en ferro-fluidos en los que la masa se retuerce creando arcos y giros sobre el material, causado por el efecto de los campos magnéticos.

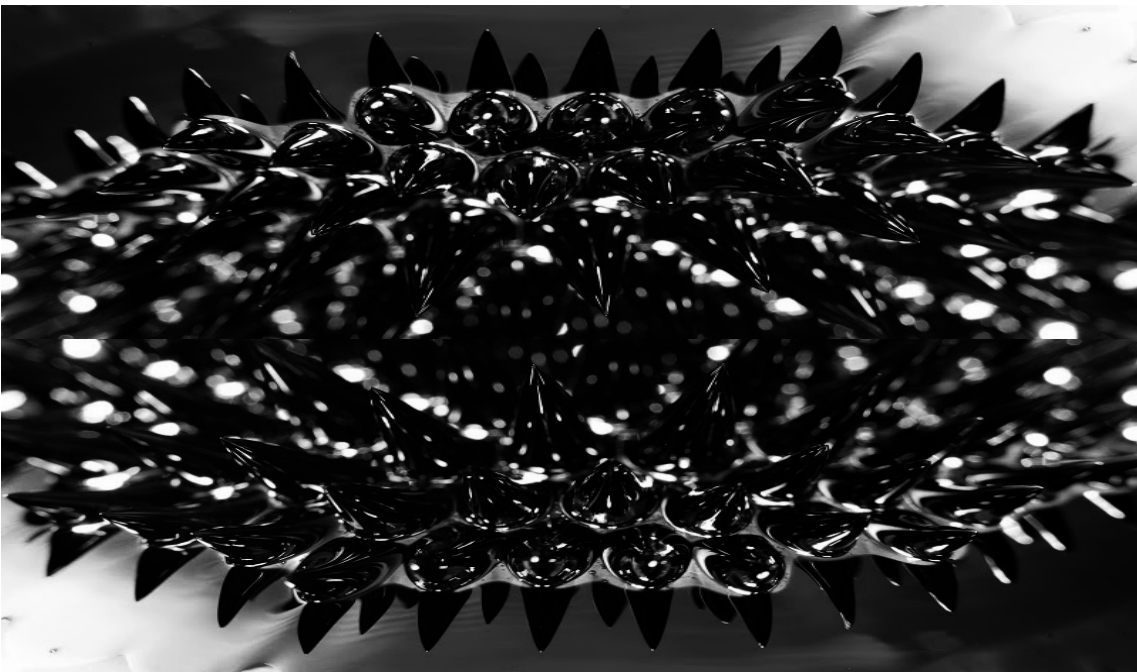


Figura 140. Estructuras geométricas generadas mediante un ferro-fluido sobre una membrana oscilando y un electro imán. Imagen del autor.

Mediante esta técnica combinada entre ferro-fluidos y los procesos sonoros, han aparecido multitud de instalaciones y esculturas dinámicas que se valen de esta metodología, para desarrollar estructuras de carácter orgánico sobre este material. Una de las artistas que más ha desarrollado estos procesos, es la Nipona Sachiko Kodama (*figura 141*), quien con sus instalaciones ha divulgado su trabajo en el ámbito del arte contemporáneo a nivel internacional.

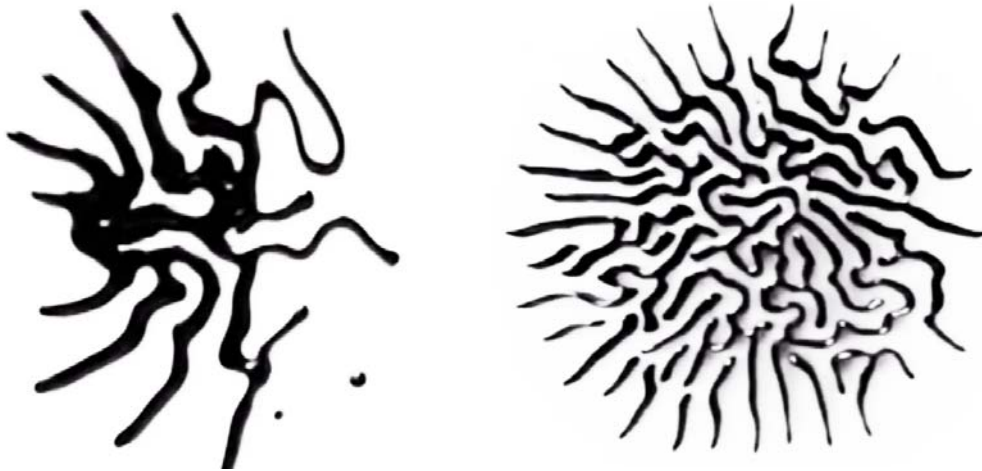


Figura 141. Estructuras generadas mediante la aplicación de un tono sobre un ferro-fluido contenido entre dos láminas en las que se genera una capa de aire que permite su movilidad y la creación de estas estructuras regulares. Imágenes del autor.

“Este tipo de estructuras solo pueden describirse como patrones vegetales generados por los efectos de la vibración. Las formaciones brotan y están en constante cambio, generándose constantemente...El conjunto de patrones tiene que entenderse como una estructura en movimiento”.

(Jenny, 2001:162)

Si en lugar de utilizar el ferro-fluido sobre una superficie, lo contenemos entre dos láminas (una de cristal o metacrilato y otra de cualquier superficie lisa) y sometamos el material al influjo de campos magnéticos o un tono determinado, el material se desplazará por la superficie generando estructuras de desarrollo horizontal que se extenderán por el plano, formando estructuras regulares de apariencia caótica (*figura 142*). Este proceso de formación se debe a la interacción entre las capas de aire contenidas entre las dos láminas y el fluido, generando oquedades entre las capas de aire existentes reordenándose en distintas configuraciones en las que aparecen patrones de forma regular.

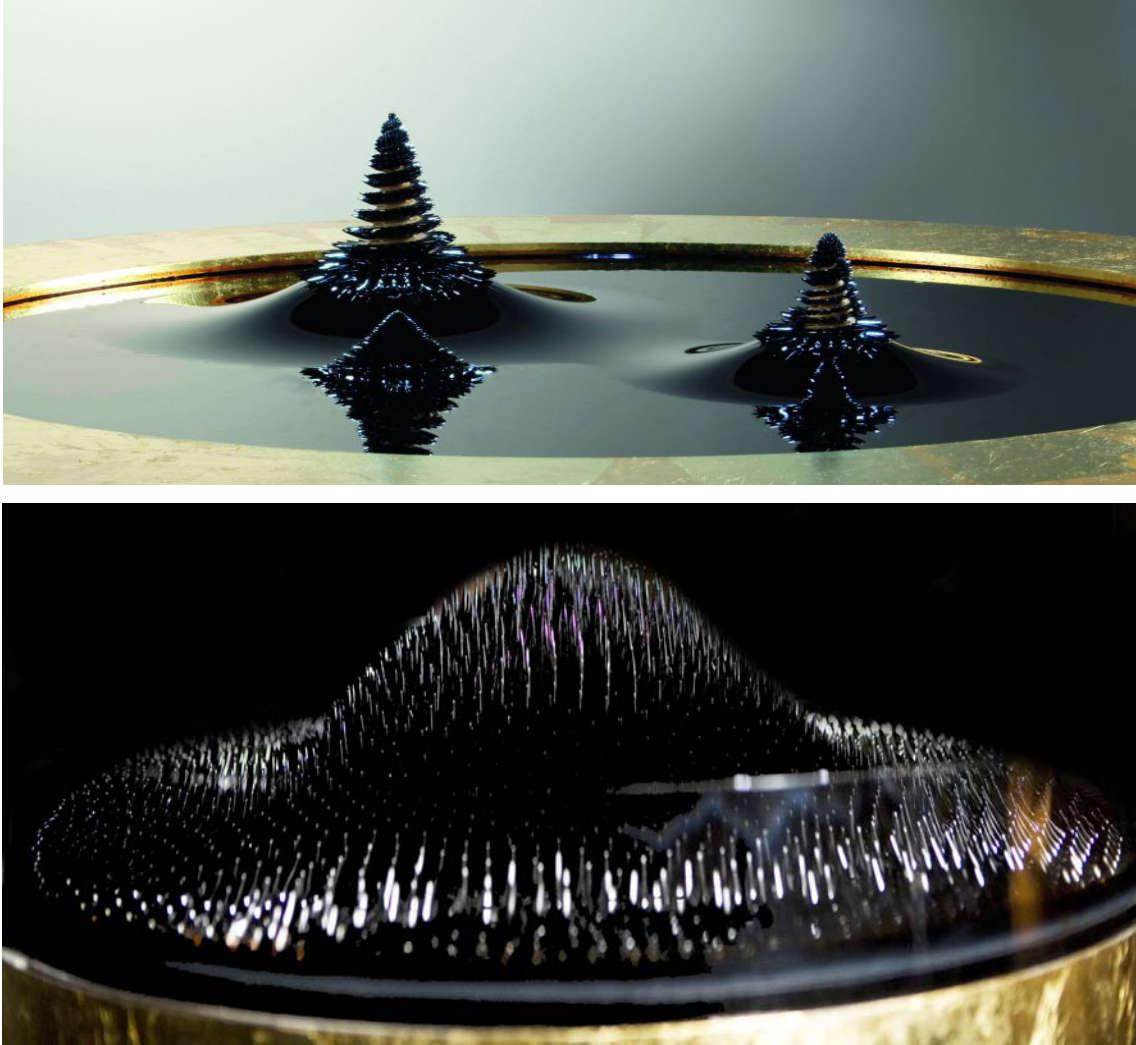


Figura 142. Las imágenes muestran instalaciones de Sachiko Kodama con las características Morpheus Towers, estructuras metálicas sobre las que se aplican impulsos electromagnéticos en forma de sonidos, que generan estructuras dinámicas de carácter orgánico. Imagen de Sachiko Kodama.

“Mi primera “Morpheus Tower” no fue muy compleja. Generé yo misma el programa. El fluido, simplemente se movía acorde con el sonido generado. En la interacción de una persona que utiliza su voz, aparecen rápidamente estructuras. Pero rápidamente introduje distintos ritmos y sonidos característicos de animales. Empecé trabajando con Yasushi Mijayama, en una técnica específica mediante la utilización de música digital en forma de metadatos, para generar ritmos y movimientos emotivos sobre los ferros fluidos”.

(Sachiko Kodama, 2013)

10.- Interrelación entre voz, imagen, forma y sonido.

Cuando tratamos de explicar los procesos de formación visual a través de las ondas de sonido y los fenómenos periódicos de vibración, surge inevitablemente durante la fase de experimentación, la voluntad de hallar representaciones visuales para el tono originado por nuestra voz. Esta necesidad, ya fue abordada por los primeros investigadores del fenómeno, mostrando un especial interés por la capacidad de crear imágenes de carácter formal.

Tanto Margaret Watts a finales del siglo XIX (*Eidophone*), como el Dr. Hans Jenny (*Tonoscope*) a mediados del siglo XX, diseñaron e hicieron realidad unos primitivos instrumentos con el fin de llevar a cabo experiencias vocales. Ambos instrumentos, otorgarán la capacidad de explorar las formaciones nodales mediante su propia voz, tanto en la exploración de patrones geométricos reconocibles, como a la hora de originar formaciones de carácter orgánico. La capacidad adquirida a partir de ese momento por el ser humano, para representar visualmente el tono de su voz, abre las puertas a un mundo de creación sin límites, permitiendo al artista, representar de forma concreta elementos intangibles y abstractos.

La incorporación de nuevos materiales y tecnologías, permiten hoy en día desarrollar estas creaciones de una forma sencilla, sin la necesidad de construir instrumentos especiales. El uso combinado de micrófonos y ordenadores, permitirá generar estas estructuras de una forma simple.

En este capítulo repasaremos los antecedentes previos de la creación de estructuras mediante la voz y expondremos métodos modernos y nuevas investigaciones desarrolladas sobre el tema.

10.1.- El Eidophone y el Tonoscope.

Una vez iniciados en el campo de la creación de estructuras mediante las vibraciones sonoras, es el momento de profundizar en el fenómeno de creación de figuras mediante procesos vocales. En este caso analizaremos varios sistemas que sirvieron como herramienta para la observación fenomenológica de formación de patrones mediante la voz.

El primer caso que estudiaremos, es el de la Galesa Margaret Watts Hughes. Después de tener acceso a los estudios de Michael Faraday sobre la formación de estructuras mediante el sonido, en 1885 comenzó sus investigaciones e inventó un instrumento, que bautizó con el nombre de Eidophone. Este sencillo aparato resultado de la unión de tubos de plástico, dio origen a un instrumento con cierto parecido a un saxofón.

El Eidophone, no deja de ser un instrumento de viento modificado por el cual en lugar de soplar aire a través de la cavidad de entrada, hacemos fluir nuestra voz hasta la caja de resonancia. La visualización de formas sobre la membrana, se produce mediante el uso de marcadores como la arena, semillas o el polvo de licopodio.

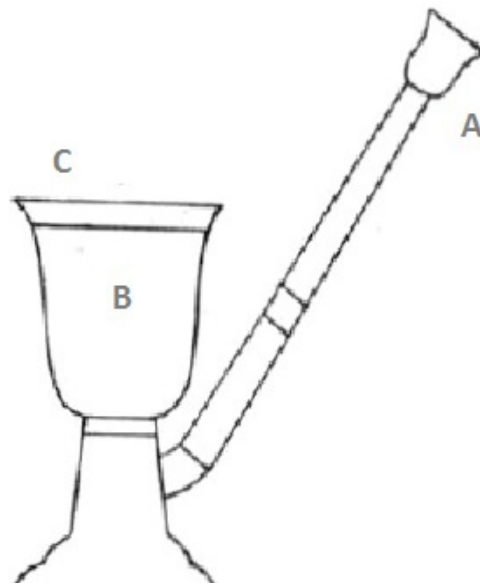


Figura 143. Diseño del Eidophone según Margaret Watts Hughes. La zona de la boquilla (A) es la parte por la cual introduciremos nuestra voz, que se canalizará por el tubo hasta la caja de resonancia (B). Allí el aire, hará que la tela o la piel que está perfectamente tensada sobre la superficie (C), vibre posibilitando la creación de figuras sonoras mediante el flujo de voz.

(Watts, 1904, 3)

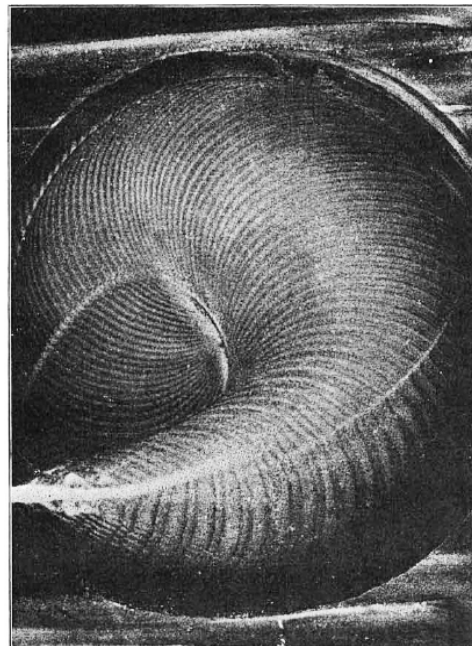
Este instrumento adquiere una gran importancia para el desarrollo de esta tesis doctoral, puesto que con su fabricación nace una voluntad creadora, a través del efecto de las vibraciones sonoras. Es un hecho constatado, que en ámbitos artísticos siempre ha existido el deseo de crear imágenes a partir de los sonidos de una forma u otra. Con el perfeccionamiento de estos primeros artefactos, se consigue relacionar la voz, con unas formas determinadas y por lo tanto crear un nexo entre lo visual y lo sonoro.

Si atendemos a la capacidad musical instaurada en la sociedad Victoriana, apreciamos que esta, estaba limitada a la audición de conciertos en directo o al restringido uso de fonógrafos (que solo se podían permitir las clases más adineradas). Por este motivo, se entienden las pocas aplicaciones artísticas o musicales, que se extrapolaron de tal invención. De hecho, estos fenómenos se enmarcaban como simples curiosidades en el ámbito musical, gozando únicamente de relevancia y reconocimiento en el campo de la investigación acústica y en el estudio de la física. Su repercusión apenas tuvo influencias activas en el mundo del arte, en el que las primeras vanguardias y el cubismo estaban en pleno auge y expansión.

No obstante, Margaret si utilizó su invento para generar imágenes de cierto carácter abstracto, en las que a partir de las vibraciones producidas sobre el polvo de licopodio, generaba estructuras similares a los tallos de helechos. De esta forma, realizó un trabajo personal de carácter artístico que plasmó en el interior de su libro (*figura 144*).

*Figura 144. Esta imagen realizada mediante polvo de licopodio sobre una membrana, genera unas estructuras de formación similar a los tallos de helechos. Podemos decir que mediante este tipo de trabajo, Margaret comenzó a desarrollar un trabajo de carácter expresionista mediante la abstracción sonora. Ilustración extraída del Libro *The eidophone, the voice figures*. >*

(Watts, 1904, 36)



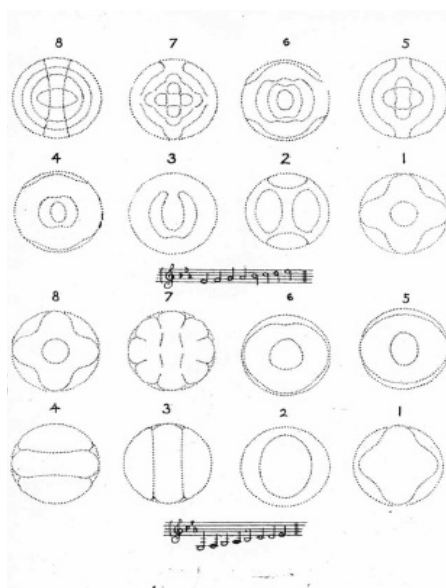
El repertorio de imágenes que produjo, tienen mucha importancia en la justificación de la hipótesis planteada (la utilización de los procesos cimáticos como herramientas de expresión en el campo de las artes) y se convierten en la primera muestra creativa de carácter artístico, (realizada mediante el sonido producido por la voz humana), de los que hay constancia escrita.

El funcionamiento de su instrumento, es similar al proceso anteriormente utilizado sobre planchas de metal (figuras Chladni). En primer lugar hay que esparcir arena, esporas de licopodio o virutas de hierro, de forma uniforme sobre toda la superficie de la membrana. Una vez que la voz actúa por el canal de entrada, los marcadores se reparten desde el epicentro de vibración, hacia el exterior de la membrana, haciendo visibles las figuras que se originan en su superficie.

“Usando ahora un disco pequeño y un plato con un revestimiento más fino y un color humedecido, el resultado que se origina al cantar la nota adecuada de forma potente sobre el tubo, es la formación instantánea de figuras que se asemejan a arboles y plantas”.

(Watts, 1094, 41)

Margaret, durante su proceso de investigación introdujo el polvo de licopodio y observó la diferencia de comportamiento respecto a otros materiales como la arena o las semillas. Con la investigación mediante distintos tipos de líquidos, fluidos viscosos y limaduras de hierro, abrió un importante camino de experimentación que medio siglo más tarde, el Dr. Hans Jenny ampliaría con el uso de nuevas herramientas, que le otorgaron acceso a unos niveles de precisión a los que su predecesora nunca tuvo acceso.



< *Figura 145. Como se puede observar en la imagen, a través de las dos escalas diatónicas consigue unos resultados distintos sobre la superficie de una membrana circular de 15 pulgadas de diámetro, utilizando arena como marcador. Estas figuras están numeradas por el orden de aparición en la escala. Imagen extraída del libro *The eidophone, the voice figures*.*

(Watts, 1904, 7)

Aunque su trabajo está dedicado más hacia las formaciones y el estudio de los cánticos, Margaret realizó un buen trabajo experimental que quedó documentado en su libro. Su trabajo artístico por contra, no ha trascendido y no existe constancia de que fuera expuesto en ninguna galería de arte o museo.

En la década de 1960, Hans Jenny, siguiendo los pasos de Margaret Watts, desarrolló su propia versión del Eidophone (para trabajar con la voz), bautizándolo como Tonoscope. Este instrumento nace como una evolución del diseño del Eidophone y mediante sus propiedades, Jenny desarrolló una de sus investigaciones más importantes: *las fluctuaciones de voz y los diagramas que se forman sobre las membranas*. Aunque no se conservan planos de este instrumento, se sabe que era simplemente una versión más precisa, realizada mediante la unión de tubos de PVC hechos a medida, de forma y características similares al Eidophone, por lo que su manejo era similar. Debido a las restricciones que presentaba esta versión mecánica en su manejo con algunos materiales, decidió crear una versión electro-acústica de gran precisión, para su manejo con cubetas que contenían fluidos. Mediante este sistema descubrió la formación reticular de nodos sobre la superficie de los líquidos, investigación que centrará parte de su estudio de forma audiovisual.

Aunque es conocida su atracción por la creación de estructuras y la experimentación mediante el Tonoscope, en su libro presenta un capítulo de bajo contenido visual (respecto al resto de capítulos donde desarrolla los procesos de forma elocuente). Su interés por las aplicaciones médicas de estos fenómenos (capacidad de ayudar a personas sin audición), desemboca en que su trabajo (estudiado desde una perspectiva audio-visual), siempre tenga como trasfondo las aplicaciones en campos científicos. Más adelante en su prolongada carrera, el Dr. Jenny trabajará conjuntamente con György Kepes en el *Center of Advanced Visual Studies*, en el MIT⁴⁸.

Aunque sus investigaciones abren una vía de desarrollo en el campo del arte, tanto el Dr. Jenny como Margaret Watts, podemos afirmar que centran sus estudios en la divulgación del fenómeno científico de una forma visual. La importancia que le debemos otorgar al desarrollo de estos instrumentos, en gran medida se debe a la voluntad de relacionar claramente el componente visual que proporcionan los experimentos con el sonido y la necesidad de generar imágenes a través de un elemento abstracto como son las ondas sonoras.

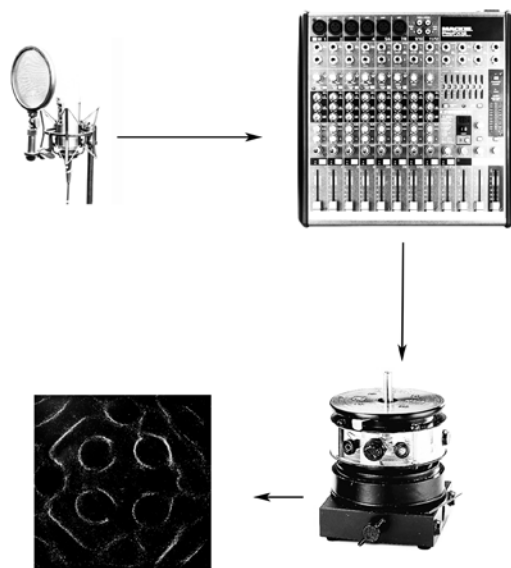
48 MIT. Instituto Tecnológico de Massachusetts.

10.2.- Visualización de la voz, mediante procedimientos modernos.

La ciencia ha evolucionado de forma excepcional a través del paso del tiempo y esto ha permitido que podamos disponer del equipamiento necesario para desarrollar procedimientos e investigaciones acústicas, sin tener que acceder a los clásicos y complejos laboratorios científicos. Mediante el uso de equipos informáticos y software de sonido, trabajar directamente sobre la voz, es posible hoy en día. De esta forma, podremos realizar experimentos mediante la voz, sin necesidad de requerir de la fabricación de instrumentos como el Eidophone o el Tonoscope.

Hay que destacar que estos instrumentos (aunque fueron determinantes para este campo de estudio), tenían muchas deficiencias técnicas que provocaban una pérdida en el flujo y transmisión de la vibración. La pobre transmisión del sonido originada por la unión de tuberías y la rigidez de las membranas vibrantes, limitaban de forma importante las investigaciones llevadas a cabo.

Con el uso combinado de un micrófono, software informático y una mesa de mezclas, he trazado un modelo de desarrollo experimental sobre planchas (figura 136), en las que he aplicado el mismo concepto de los instrumentos anteriores, de una forma digital. De esta manera todas las interferencias causadas por el uso de tuberías, boquillas y otros elementos que distorsionan las vibraciones del sonido, se eliminan del proceso. Conectando un micrófono a una mesa de mezclas que envía la señal acústica a un generador de ondas, podremos comenzar a realizar el trabajo.

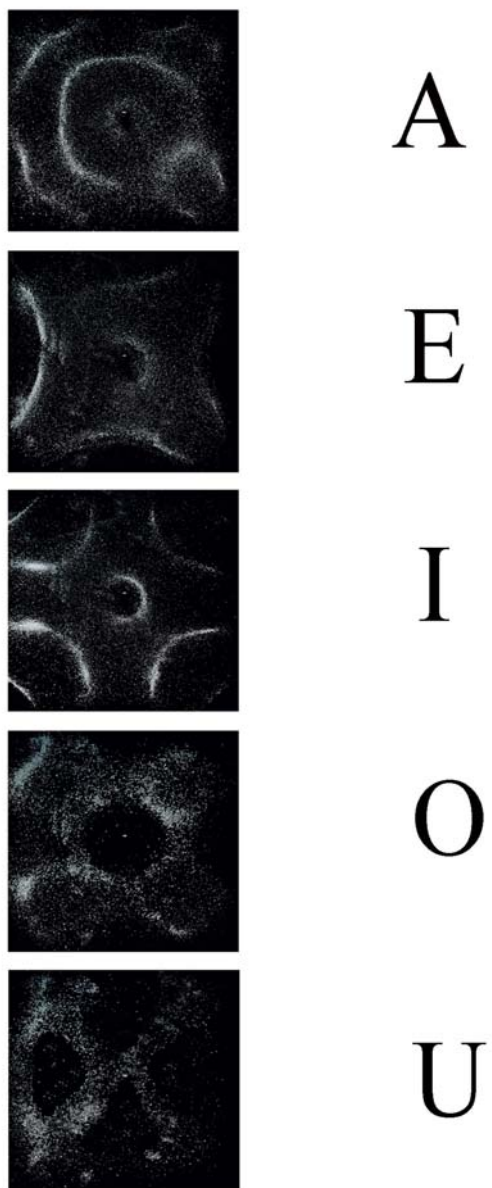


< Figura 146. Esquema del material de trabajo directo mediante voz. Imagen del autor

Para demostrar la funcionalidad de este método de formación de patrones mediante la voz con equipos modernos, he creado un simple experimento vocal. Este, mostrará las formaciones que se desarrollan mediante mi propia voz, al enumerar las vocales. Cada persona tiene un tono de voz único, permitiendo crear patrones diferenciados, cuando asignamos el tono personal a cada vocal (*figura 147*).

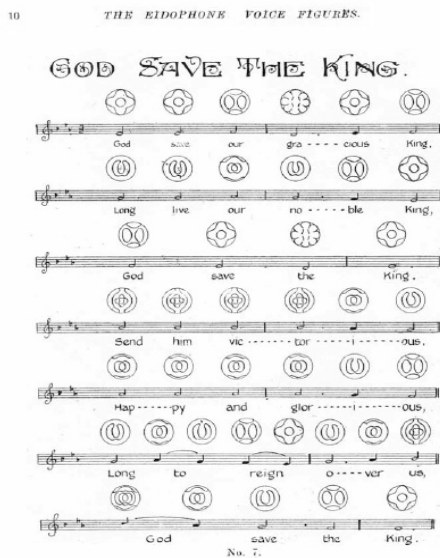
Para que la formación pueda realizarse de forma correcta, el proceso de elocución debe perdurar en el tiempo durante unos segundos. El tono ha de perdurar unos instantes en el tiempo, con el fin de crear una estructura de formación visible.

Figura 147. Como se puede apreciar en la imagen, el uso de placas de hierro de 20 x 20 cm. y un grosor de 0.5 mm. permite la creación de estructuras reconocibles mediante arena de cuarzo. Las líneas nunca quedarán perfectamente definidas, debido a que el tono de la voz contiene armónicos. Imagen del autor. >



Una de las ventajas más significativas respecto a los métodos mecánicos, es la posibilidad de reproducir los experimentos en planchas con formas regulares, irregulares, de distintos materiales y de distintos formatos. Este sistema, permitirá reproducir también grabaciones de voz registradas en formatos de almacenamiento físico. De esta forma no es necesaria la presencia física del individuo, como en el caso del Eidophone o el Tonoscope.

Si queremos realizar el mismo proceso sobre palabras enteras, deberemos recitarlas de forma silábica, puesto que al proyectar la palabra entera la suma de muchas frecuencias (creación de armónicos⁴⁹) destruyen los procesos de creación sonora diluyendo la formación nodal.



< Figura 148. Imagen de estructuración silábica adaptado por Margaret Watts del himno God save the King. Este ejemplo muestra la correcta forma de generar patrones mediante la voz, cuando estos se refieren a palabras enteras. Extraído del libro *The Eidophone, The voice figures*.

(Watts, 1904, 10)

El proceso silábico es muy semejante y puede aportar multitud de patrones totalmente diferentes. Como observamos en la imagen precedente (figura 148), la formación silábica es la más sencilla a la hora de buscar la representación de una palabra compleja.

Otra posibilidad para generar estructuras mediante la voz, se desarrolla mediante la edición en software. A través de programas informáticos (*Soundforge*), podemos realizar un barrido de la frecuencia más abundante sobre una determinada grabación. Este sistema permitirá gestionar directamente el sonido individualizado generado por cada una de las letras y no será necesaria la división silábica. En el siguiente ejemplo (figura 149), se muestra este efecto sobre las letras del abecedario plasmadas sobre planchas de cobre de forma rectangular.

49 Los armónicos, son el conjunto de frecuencias más débiles que acompañan a la frecuencia fundamental al tocar una nota en un instrumento. Estas tienen sus propias características dependiendo del instrumento.

Como apreciamos en las imágenes obtenidas sobre planchas, en algunos casos las mismas letras originarán idénticos patrones de formación. De este echo, podemos deducir que la articulación de la forma generada no tiene equiparación en el ámbito de la articulación fonética, que nos encontramos en el estudio del lenguaje.

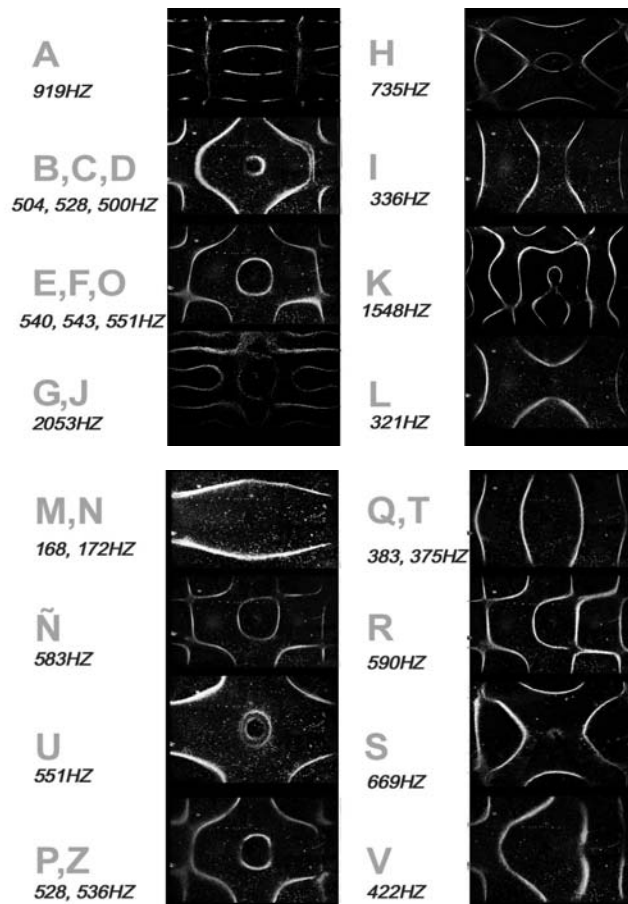


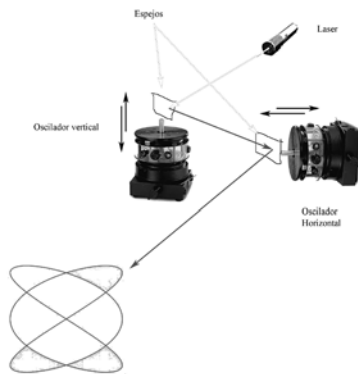
Figura 149. En esta imagen podemos observar la asignación de frecuencias obtenida mediante la digitalización de las letras del abecedario con mi propia voz. Mediante un muestreo de frecuencias, se utilizará la frecuencia predominante. Estas imágenes están contrastadas con un proceso vocal mecánico, para asegurar su coincidencia. No obstante, esta tabla de asignación solo es valida para el tono de mi voz. Imagen del autor.

Uno de los procesos más ventajosos del trabajo mediante software informático, es la capacidad de asignación de cualquier voz con unas determinadas formas. Si accedemos al catalogo realizado mediante planchas que se encuentra en el Anexo I, podemos asignar la frecuencia de un tono de voz, con la estructura que se generará sobre un determinado tipo de plancha (circular, cuadrada, etc.). Mediante esta técnica, podremos encontrar la correlación entre forma y sonido de cualquier tipo de voz que esté gravada en formato digital.

11.- Interacción de dos frecuencias diferenciadas en los procesos de oscilación. Creación de las figuras de Lissajous.

Uno de los procesos de formación de estructuras visuales generadas a través de la oscilación producida por el sonido y los fenómenos periódicos de vibración, son los procesos de interacción de dos frecuencias diferenciadas en un mismo plano.

Las llamadas figuras de Lissajous⁵⁰, son las construcciones geométricas que se obtienen cuando dos oscilaciones armónicas simples, vibran en direcciones perpendiculares entre si. Para generar este tipo de figuras necesitamos contar con un laser y dos osciladores con un espejo en la punta de la varilla de vibración. Podemos ver un esquema (figura 150), del proceso para comprender mejor el equipamiento necesario para la construcción de estas formaciones.

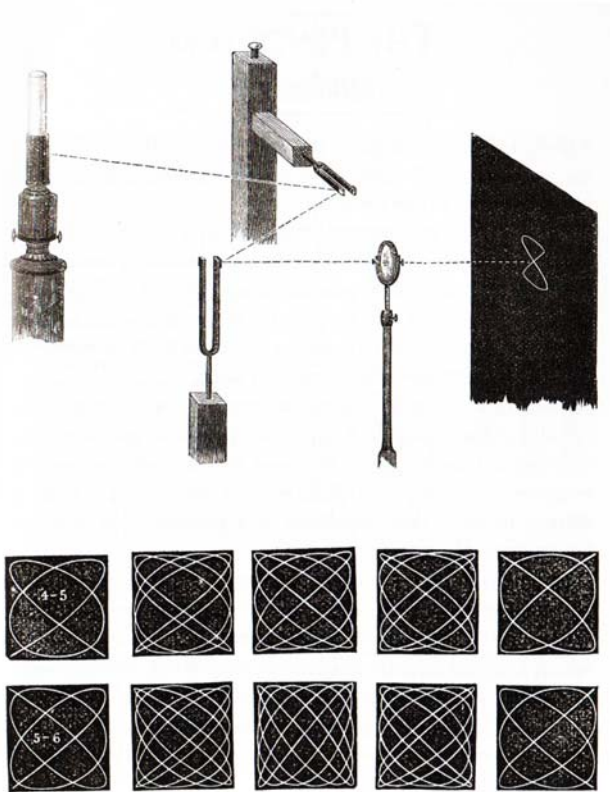


< Figura 150. Equipo moderno necesario para generar figuras de Lissajous, consistente en dos osciladores armónicos simples en direcciones perpendiculares a los que se les une un espejo, en el que incide un laser. La luz del laser al rebotar en los espejos oscilando (verticalmente y horizontalmente), genera las figuras finales. Imagen del autor.

El proceso original de formación de estas estructuras descubierto por Lissajous, estaba relacionado directamente con la utilización de las ondas sonoras⁵¹. A través del uso de la luz reflejada en dos diapasones perpendiculares, y posteriormente enfocada hacia una lente (figura 151), con un punto focal, podía hacer visibles los procesos de interacción de dos frecuencias armónicas simples que daban lugar (según la relación entre ellas), a figuras geométricas sencillas. Estas aumentaban en complejidad cuando la relación entre ambas partes también aumentaba (ejemplos 1:2, 1:4, 1:16).

50 Las figuras de Lissajous deben su nombre al matemático y físico Francés que las descubrió, Jules Antonie Lissajous (1822-1880). Originalmente, las llamadas figuras de Lissajous son figuras generadas mediante el sonido. Hoy en día, los osciladores mecánicos, y las funciones en ordenadores personales, pueden generar estas estructuras sin necesidad de emitir sonido alguno.

51 El estudio de las figuras de Lissajous, en su origen se centra en las representaciones visuales de las ondas de sonido sobre la materia (en este caso mediante la luz) y encaja perfectamente en la definición moderna del concepto cimático.



< *Figura 151. En esta imagen podemos observar el proceso original mediante el cual Lissajous descubrió las figuras que llevan su nombre. El uso de un candil de aceite enfocado sobre unos diapasones que vibraban de forma perpendicular y sobre los que había añadido un espejo, reflejaba la luz sobre una lente. Una vez la luz pasaba por la lente se concentraba en un punto generando las figuras que hoy en día conocemos. Imagen extraída de (Anthoni, 2001, 15)*

La vibración combinada de un laser en ambos espejos, uno con movimiento horizontal y otro vertical, dará lugar a dos movimientos armónicos simples acoplados entre si en direcciones perpendiculares. Cuando las frecuencias utilizadas son muy bajas (*figura 152*), inferiores a 10Hz veremos la señal como un punto individual que se mueve en el espacio. Si la señal es mayor a los 10Hz, este punto que vemos fluctuar sobre la pantalla debido a la alta velocidad que adquiere, lo percibimos como una sucesión de puntos combinados que forman una línea.

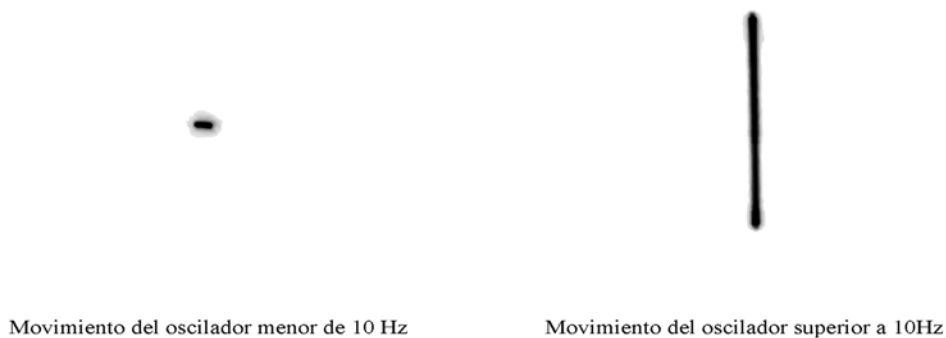


Figura 152. Movimientos armónicos simples generados mediante diferentes tonos. Podemos observar la diferencia visual que se genera cuando la velocidad de oscilación es mayor o meno a los 10Hz. Imagen del autor.

Para obtener una figura de Lissajous bien definida y estructurada, se debe tener en cuenta tanto la relación entre los osciladores como el nivel de amplitud. Cuando el nivel de relación entre ambas es de 1:1, (es decir en ambos osciladores la misma frecuencia) aparecerá la figura más simple, una elipse. Para convertir esta elipse en una circunferencia perfecta, deberemos nivelar los niveles de amplitud en ambos osciladores.

Cuando la relación de frecuencias entre osciladores aumenta entre si, obtendremos figuras geométricas mucho más complejas. Podemos observar como la relación entre ambos osciladores (*figura 153*), pasa a ser de 1:1 a 1:2⁵². De esta forma se genera una estructura en forma de 8, que podemos rotar jugando con el nivel de amplitud. El procedimiento de creación de figuras es sencillo, solamente tenemos que tener en cuenta las relaciones establecidas entre ambos osciladores.

“Utilizando un oscilador de rayos catódicos podemos producir una de las figuras de Lissajous en fase de una octava. (frecuencias 300Hz y 600Hz. relación 1:2)...La séptima menor corresponde a un ratio de 540Hz:300Hz, 9:5.”

(Jenny, 2001, 200)

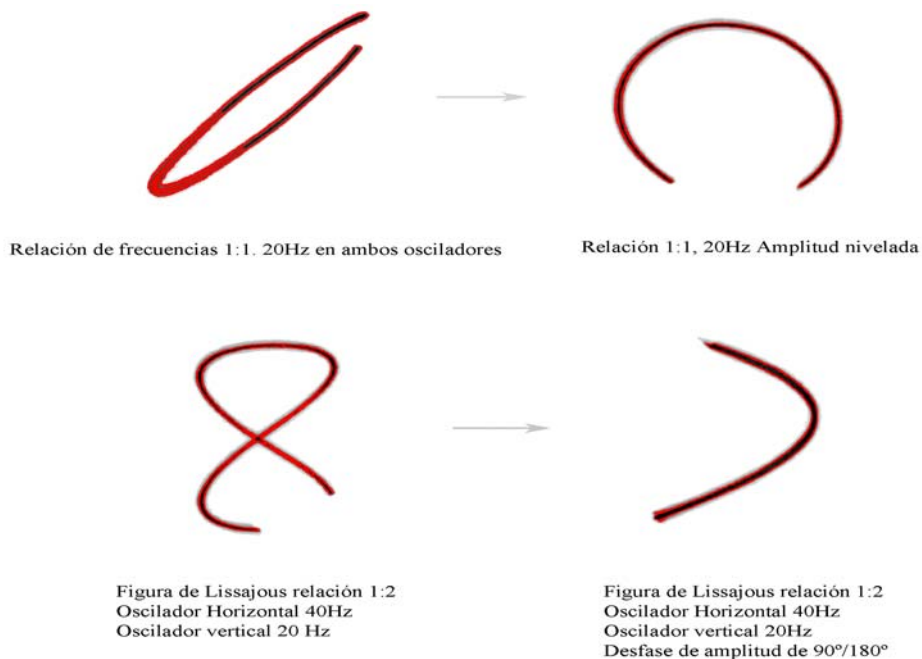


Figura 153. Las imágenes muestran dos procesos diferenciados que tienen relaciones armónicas bien diferenciadas. Imágenes del autor.

52 Las relaciones e intervalos permiten generar la representación visual para notas concretas como una octava, una séptima, como podemos apreciar en los textos del Dr. Jenny en su libro Cymatics.

Cuando a estas figuras les aplicamos procesos de interferencia como pueden ser la aparición de campos magnéticos (*figura 154*), obtendremos figuras bien diferenciadas que rompen la estructura de la figura original. Mientras que la creación de las figuras normales es un proceso controlado, el uso de procesos de interferencia, eliminará el proceso de control y nos encontraremos ante figuras inéditas, de difícil reproducción.

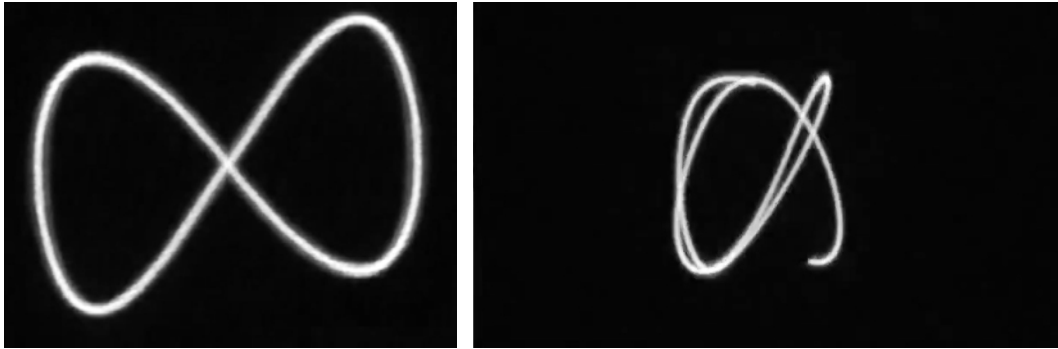


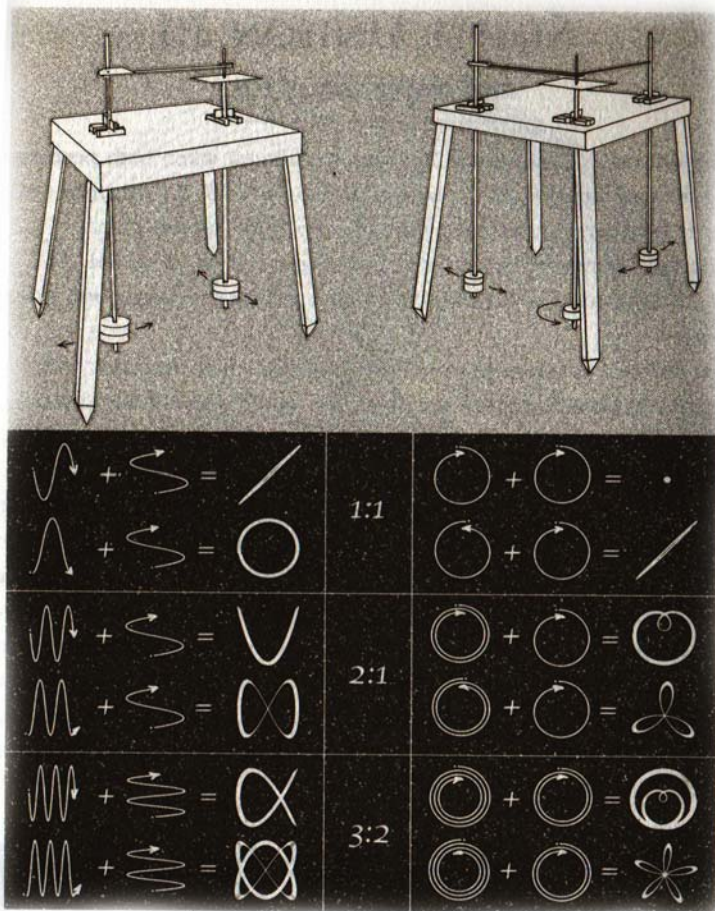
Figura 154. El mismo proceso de formación de figuras Lissajous con una relación de 1:2. En la primera de las imágenes observamos la figura bien definida, mientras que la segunda imagen muestra como se retuercen las líneas debido a la interacción de un campo magnético. En ocasiones estas interferencias pueden generar patrones diferentes a la figura inicial, en los que no se rompe la simetría de la figura y genera estructuras similares a las generadas mediante una base pendular. Imágenes del autor.

Las figuras de Lissajous aumentarán en complejidad en tanto en cuanto la relación establecida entre ambos osciladores sea cada vez más compleja. Este tipo de estructuras resultantes de los procesos de interacción de dos procesos armónicos, han sido ampliamente estudiados y podemos encontrarlos en dibujos y diversos aspectos relacionados con el mundo de las artes aplicadas⁵³

Además del proceso mecánico para la obtención de estas figuras, también podemos originar estas estructuras mediante el uso de sencillos péndulos. La utilización de estos aparejos no permite reconocer las relaciones establecidas entre las diferentes curvas. Es decir se trata de procesos en los que hay que tener en cuenta la longitud del péndulo, el peso, la cantidad de pintura y la fuerza con la que se lanza el peso, ya que las múltiples variables generarán figuras o dibujos diferenciados.

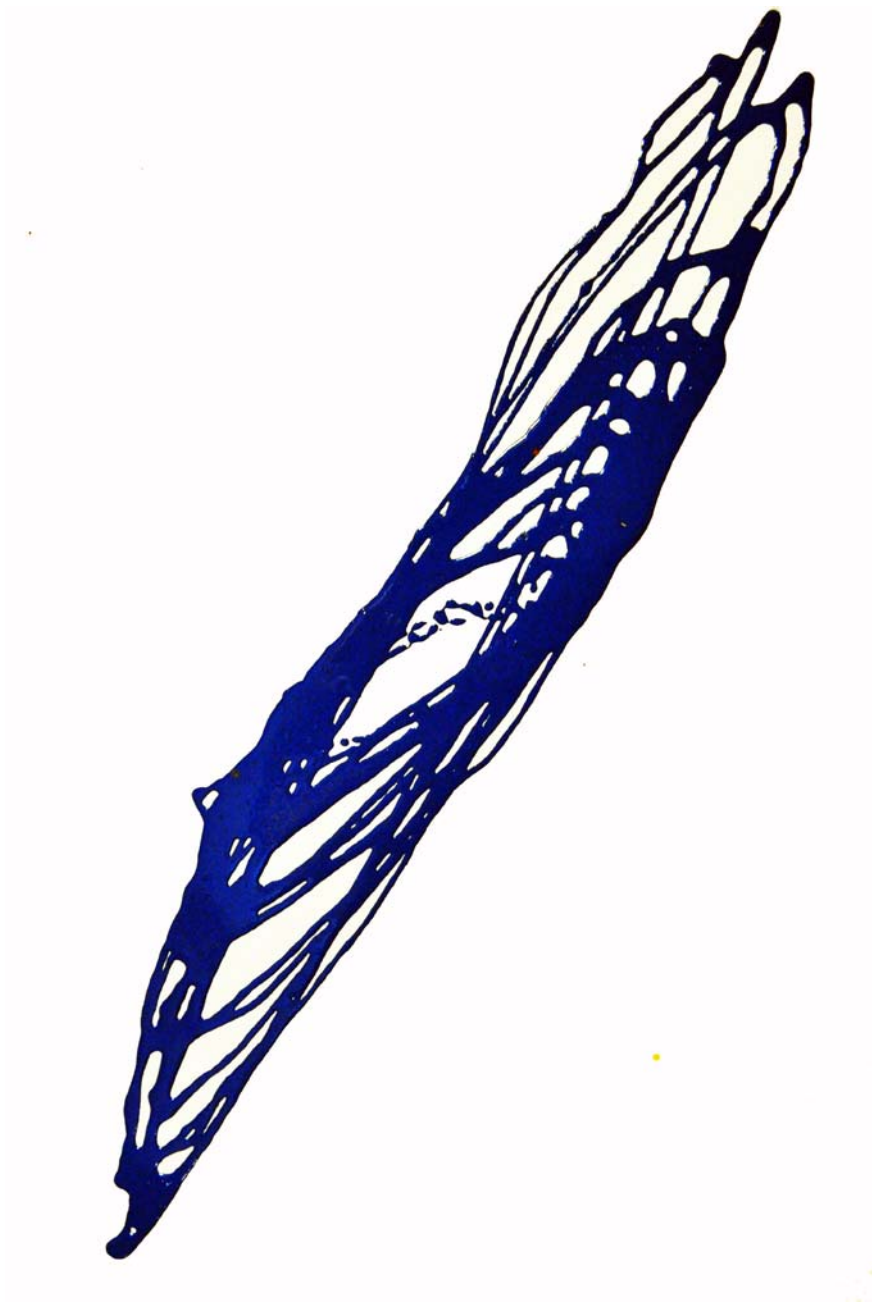
⁵³ Las figuras de Lissajous se han utilizado como logotipos de empresas de todo el mundo (*Australian Broadcasting Corporation*) y en el diseño gráfico. Su utilización en el séptimo arte, ha sido un recurso generalizado en películas de serie B, (*como efectos especiales*), y en la realización de carteles publicitarios, como el de la película *Vértigo*, de Alfred Hitchcock.

En 1844 el profesor Hugh Blackburn inventó el Armonógrafo, un instrumento dotado de tres péndulos que pueden generar complejas figuras geométricas mediante el uso de movimientos armónicos simples combinados. De esta forma, podemos hablar de un procedimiento que trata de generar sobre la materia las imágenes procedentes de movimientos periódicos atribuidos a un impulso o a una vibración (*figura 155*). Si bien este tipo de estructuras no encajan estrictamente en la definición de los procedimientos cimáticos, la obtención de las imágenes que generan (figuras de Lissajous), si tienen relación.



< *Figura 155. La imagen muestra un esquema de un armonógrafo de dos y tres pesos, con el que se pueden generar de una forma mecánica las figuras de Lissajous, mediante una pluma sobre un papel. Debajo observamos las relaciones que se establecen para conseguir algunas de las figuras. Imagen extraída del libro *The Armonograph*.*

(Ashton, 2001, 19)



< *Figura 156. La fotografía muestra una figura de Lissajous generada mediante un generador de ondas, realizada con pintura azul sobre papel. 70x56 cm. Prueba de autor. Imagen del autor.*

12.- CONCLUSIONES, PARTE I.

En esta primera parte de la tesis doctoral, se presenta la importancia y la relación del sonido y las representaciones visuales que originan las ondas sonoras sobre la materia.

A través de una breve introducción sobre el concepto del sonido como elemento vertebrador de la creación en diferentes mitos y culturas de la antigüedad, se presentará su evolución como un icono de inspiración en las primeras obras de arte y representaciones visuales de carácter cultural, en las que la simbología de lo sonoro y el sonido, se relacionan y son representados por figuras y formaciones de carácter geométrico, que podemos relacionar hoy en día gracias al estudio de la ciencia de la cimática.

Durante el proceso de investigación, se han traducido y analizado los principales textos relacionados con los fenómenos de formación nodal sobre la materia, que han permitido ampliar los diferentes estudios sobre cimática que previamente habían sido desarrollados por anteriores investigadores en el campo de la acústica experimental.

La reproducción de los diferentes procesos cimáticos conocidos (que han abarcado el espectro sonoro entre 1Hz y los 20000Hz, tanto sobre sólidos como fluidos y esporas), han permitido estudiar todos los aspectos relacionados con la visualización de las ondas sonoras sobre la materia, con el objetivo fundamental de conocer todos los aspectos involucrados en el desarrollo de los mismos.

Cuando observamos la capacidad para generar figuras Chladni, figuras de Lissajous y estructuras geométricas mediante arena, esporas de licopodio, un laser, diapasones etc. sobre planchas de metales o diferentes materiales, nos muestran la capacidad creativa que surge de la aplicación del sonido sobre la materia. Es decir estamos delante de procesos de dibujo que tienen en el sonido, el constructor de las representaciones visuales. Del

mismo modo, observamos como el sonido cuando interactúa sobre fluidos, dibuja tanto figuras geométricas sobre fluidos contenidos, como estructuras irregulares de gran belleza.

La capacidad de crear figuras mediante registros sonoros y nuestra propia voz sobre la materia (como hemos visto mediante instrumentos como el Eidophone o Tonoscope), permitirá una interacción directa para generar piezas de carácter artístico sin lugar a dudas. Solo hace falta revisar el contenido experimental registrado en las diferentes fotografías de cada uno de los capítulos, para entender la necesidad de desarrollar el fenómeno desde un punto de vista de la creación plástica.

De esta manera, se revelan las múltiples posibilidades de interacción entre el campo de la cimática y su estudio como un fenómeno audio-visual, que en la segunda parte de esta tesis tendremos la posibilidad de desarrollar, creando herramientas para cada uno de los diferentes fenómenos cimáticos utilizados y permitir su aplicación en los distintos campos de la creación artística.

Es importante destacar que durante el transcurso de esta investigación, se ha tornado fundamental la ampliación de la información ya existente sobre cada una de las distintas disciplinas cimáticas conocidas. Por este motivo se han documentado todos los procesos de creación de estructuras nodales, mediante la realización de fotografías en alta definición, sobre todos los procesos experimentales. Finalmente, se aportan dos catálogos visuales inéditos (que se incluyen en forma de los Anexos I y II), sobre las diferentes figuras Chladni y dibujos que se originan mediante el sonido, en la superficie de planchas y fluidos contenidos en bañeras de vibración.

Controlar toda esta información y adquirir los conocimientos necesarios que permiten el correcto desarrollo de los procedimientos cimáticos, se expone en el interior de esta tesis doctoral como fuente de información que brindará al lector, la capacidad de conocer cada una de las características esenciales de este fenómeno sobre distintos tipos de materiales desde una perspectiva científica, observada bajo la óptica de un artista. Además su exposición y trato, posibilitará la reproductibilidad de estos procesos experimentales, con el fin de corroborar la veracidad de los datos publicados.

Finalmente una vez desarrollados y adquiridos todos los conocimientos y el control sobre los diferentes procesos de formación nodal, podremos adentrarnos sin miedo en la fase de investigación y búsqueda de diferentes metodologías que permitan adaptar y acoplar la cimática, en forma de herramientas que encajen en el desarrollo del ámbito artístico contemporáneo.

REFERENCIAS

Australian Broadcasting Corporation. (2011, Octubre 15). <http://www.abc.net.au/>

Ashton, A. (2001). *Harmonograph, a visual guide to the mathematics of music*. Glastonbury. Wooden Books.

Bargna, I. (2010). *Visual Encyclopedia of Art. Arte africano*. Florence, SCALA.

Baschet, F. y Baschet B. (2012, Noviembre 28). *Sculpture Baschet*. Extraído el 28 de Noviembre de 2012 desde <http://www.baschet.org/>

Berendt, J. (1987). *The world is Sound. Nada Brahma*. Vermont-Rochester, Destiny Books.

Chladni, E. (1787). *Entdeckungen Uber Die Theorie Des Klanges*. Leipzig.

Chladni, E. (1809). *Traité d'acoustique*. París. Chez Coucier.

Conferencia Episcopal Argentina. (2012, Marzo 14). *Libro del Génesis*. Extraído el 14 de Marzo de 2012 desde http://www.vatican.va/archive/ESL0506/___P2.HTM

Curdy, M. (1938). *Notebooks of Leonardo da Vinci*. London, Jonathan Cape.

Dublin Trinity College. (2012, Marzo 16). *Durrow Book*. Extraído el 16 de Marzo de 2012 desde <http://www.unc.edu/celtic/catalogue/manuscripts/durrow.html>

Eliade, M. (1993). *The Encyclopedia of the Religion*. New York. MacMillan Reference Books.

Faraday, M. (2008). *Faraday's Diary*. Riverton Utha. HR Direct.

Filosofía en español. (2012, Marzo 20). *El Timeo*. Extraído el 20 de Marzo de 2012 desde <http://www.filosofia.org/>

Hansen, S. (1991) *Mythen vom Anfang der Welt*. Augsburg. Weltbild Verlag

Hitchcock, A. (2012, Noviembre 24). Película *Vértigo*. Extraído el 24 de noviembre de 2012 desde [http://es.wikipedia.org/wiki/V%C3%A9rtigo_\(pel%C3%ADcula_de_1958\)](http://es.wikipedia.org/wiki/V%C3%A9rtigo_(pel%C3%ADcula_de_1958))

Hoyo, C. (2013, Marzo 22). *La Harmónica de Vidre*. Extraído el 22 de Marzo de 2013 desde <http://www-ma4.upc.edu/~xgracia/musmat/treballs/Hoyo.harmonicavidre.pdf>

Hooke, R. (2011, Diciembre 7). *Robert Hooke*, *Wikipedia*. Extraído el 7 de Diciembre de 2011 desde http://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Hooke.

Jenny, H. (2001). *Cymatics*. Newmarket, USA. MACROmedia Publishing.

Jenny, H. (2006). *Cymatic Soundscapes. Bringing matter to life with sound DVD*. Newmarket. MACROmedia Publishing.

Kirchhoff, P., Odena, L., & Reyes, L. (1989). *Historia tolteca-chichimeca. México*. México D.F. CIESAS.

Kodama, S. (2013, Febrero 11). *Ferro-magnetic Morpho Towers*. Extraído el 11 de Febrero de 2013 desde <http://sachikokodama.com/en/work/>

Lamy, L. (1981). *Egyptian Misteries; New light on ancient knowledge*. London, Thames & Hudson.

Lauterwasser, Alexander. (2001). *Water Sound Images*. Newmarket, USA. MACROmedia Publishing

Lawlor, R. (1982). *Sacred Geometry*. London, Thames & Hudson.

Lissajous, A. (2012, Septiembre 9). *Lissajous Figures*, *wikipedia*. http://es.wikipedia.org/wiki/Curva_de_Lissajous

MIT. Massachusetts Institute of Technology. (2012, Marzo 20). *Gyorgy Kepes at MIT*. Extraído el 20 de Marzo de 2012 desde <http://act.mit.edu/people/director/gyorgy-kepes/>

Mitchell, S. (2006). *Roslyn Chapel, the music. Interpreting the cubes*. London. Diversions Books.

Nicklaus, H. (1994). *Die Maschine des Himmels. Zur Kosmologie und Ästhetik des Klangs*. München, Wilhelm Fink Verlag.

Nobel Prizes.(2012, Marzo 3). *Lord Raileigh*.Extraído el 3 de Marzo de 2012 desde http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1904/strutt.html.

Pedrell, F. (1897). *Diccionario Técnico de la Música*. Barcelona, Isidre Torres Oriol.

Platón. (1872). Platón obra completa. Madrid. Ediciones de Patricio Azcarate.

Purce, J. (1974). *The Mystic Spiral*. New York. Thames and Hudson.

Rayleigh, J. (1945). *The Theory of sound*. Dover. The Macmilian Company.

Reid, J. (1997). *Egyptian Sonics*. California. Sonic Age.

Reid, J. (2011, Noviembre 7). *Cymatics History, Leonardo Da Vinci*. Extraído el 7 de noviembre de 2011 desde <http://cymascope.com/>

Schneider, M. (1951). *Die historischen Grundlagen der Musikalischen Symbolik in Die Musikforschung IV*. Kassel/Bassel.

Schenider, M. (1998). *El origen musical de los animales-símbolos en la mitología y la escultura antiguas*. Madrid. Ediciones Siruela.

Schwenck, T. (1988). *El caos Sensible*. Madrid. Editorial Rudolf Steiner.

Steiner, R. (2001). *The fourth Dimension. Sacred Geometry, alchemy and Mathematics*. Massachusetts. Anthroposopic Press.

Terwagne D. y Bush J. (2010). The Tybetan Singing Bowl. Univertité de Liège Belgium and MIT, Cambridge Usa. http://arxiv.org/PS_cache/arxiv/pdf/1010/1010.3193v1.pdf

Watts, M. (1904). *The Eidophone voice figures*. London. Christian Herald Company.

Weller, M. (1961). *Chladni figures, A study in simetry*. London. London&Bell.

Zimmer, H. (1995). *Mitos y símbolos de la India*. Madrid. Editorial Siruela.

PARTE II

LA CIMÁTICA COMO HERRAMIENTA DE EXPRESIÓN ARTÍSTICA. ANÁLISIS FUNCIONAL Y CAMPOS DE ACTUACIÓN, DENTRO DEL CONTEXTO ARTÍSTICO CONTEMPORÁNEO.

13.- OBJETO.

Esta parte de la tesis, tiene como objeto analizar y aplicar en el campo del arte contemporáneo, los datos obtenidos mediante la experimentación sobre los diferentes procesos cimáticos (desarrollados en el capítulo anterior), en los que se exponían los principales efectos que ejerce el sonido y los fenómenos periódicos de vibración sobre diferentes tipos de materiales.

El análisis de los datos obtenidos en todos los campos de actuación de los procesos cimáticos, permitirá valorar las propiedades de cada uno de los materiales utilizados para darles un uso adecuado dentro de las diferentes técnicas del arte contemporáneo. Para ello, se establecerá un sistema de investigación experimental con el que desarrollar y evaluar las distintas formas de creación que establecen los diferentes procesos cimáticos.

Ha sido necesario llevar a cabo una identificación individualizada de los diferentes procesos que se desarrollan, bajo diferentes variables de trabajo, con el fin de encontrar como y cuando surgen las creaciones mediante el uso del sonido y los fenómenos periódicos de vibración. Para ello, se ha llevado a cabo una intensa investigación del fenómeno físico de la cimática, abordándolo desde un punto de vista de lo audiovisual, mediante un sistema científico-experimental, con el fin de transformar los resultados finales obtenidos, en herramientas capaces de desarrollar de forma controlada trabajos en el ámbito de la creación artística.

Durante la realización de estos experimentos se han detectado las diferentes formaciones de patrones nodales sobre distintos tipos de materiales, identificando las diferentes vías de creación tanto sobre sólidos, como en fluidos, esporas y otros materiales. La detección e identificación de los procesos que intervienen en la formación de estructuras y los puntos fuertes/débiles evaluados de cada material, permitirán elaborar un plan de trabajo muy preciso, en el que podremos transformar los resultados del primer capítulo de la investigación en técnicas bien identificadas que lograrán generar un discurso plástico bien definido.

Una vez identificados los aspectos fundamentales, tendrán lugar los procesos de experimentación en los que se adoptarán técnicas ya existentes en el desarrollo del arte tradicional y se aplicarán sobre los conocimientos adquiridos a los siguientes campos de actuación: El dibujo, la pintura, la escultura, el grabado, la fotografía, el vídeo y la instalación. El objetivo final, demostrará mediante pruebas la viabilidad de la utilización de los procesos cimáticos en el ámbito de las diferentes técnicas artísticas. Mediante la adhesión de técnicas que un artista ha trabajado a lo largo de su aprendizaje y

desarrollo profesional (dentro de una facultad de bellas artes), se visitarán diferentes talleres, aulas y laboratorios especializados en estos campos (de la facultad de Bellas Artes de la Universidad de Barcelona), para tratar de sacar el mayor provecho de los especialistas de los respectivos campos.

Todo el trabajo experimental presentará diferentes técnicas aplicables y ejemplos de trabajos realizados mediante estas técnicas con el fin de justificar el uso de la cimática como herramienta artística. Además se presentará una serie de artistas de carácter Internacional y nacional, que han desarrollado parte de su trabajo, mediante la utilización de métodos y herramientas cimáticas. Se expondrán los casos más relevantes y algunos de sus trabajos.

Finalmente se presentarán pruebas del trabajo que he desarrollado durante el proceso de investigación de esta tesis doctoral, que han sido presentadas y galardonadas en galerías y festivales de arte contemporáneo, con el fin de aportar más pruebas de la viabilidad de la utilización de la cimática y su estudio en el contexto del arte contemporáneo.

14.- ALCANCE.

El estudio principal de esta tesis doctoral, se sitúa dentro del ámbito del desarrollo del arte y la ciencia, y de la aplicación de una herramienta tradicionalmente utilizada en campos científicos, para su implantación en el ámbito artístico.

El alcance, pretende mostrar la funcionalidad y la capacidad creativa de los procesos cimáticos dentro del ámbito del arte contemporáneo actual. Todos los estudios realizados dentro de este capítulo, están relacionados con la adaptación y desarrollo de un fenómeno físico (natural de las ciencias aplicadas), y su vinculación desde el punto de vista de un artista en un contexto artístico, posibilitando su estudio e implantación como herramienta de expresión artística contemporánea.

Una vez desarrollada la descripción y el análisis funcional de los procesos cimáticos (llevados a cabo en el capítulo I), se creará una metodología de trabajo, que permita su implantación en diferentes especialidades del estudio de las artes, en campos tan diferenciados como el dibujo, la escultura, la instalación, la fotografía o el vídeo. El análisis de los datos recabados, permitirá desarrollar actuaciones en diferentes campos del arte, (delimitando sus posibilidades de creación a través de la capacidad de los materiales) y aplicar técnicas ya existentes en estos campos (técnicas del grabado, del dibujo, de la escultura), para la creación de figuras e imágenes.

Una de las tareas más complejas que surgen en este capítulo, será la búsqueda, revisión e investigación de estas técnicas y métodos de creación de las diferentes especialidades artísticas y su acoplamiento en el desarrollo de los procesos cimáticos ya observados. La tarea experimental de probar y evaluar la idoneidad de diferentes técnicas tradicionales en el ámbito artístico y el contacto con especialistas de distintas disciplinas (por parte de profesores de distintos departamentos y maestros de taller), ayudará a la obtención de datos, herramientas y técnicas que permitirán generar un proceso experimental, del que surgirán procedimientos bien definidos.

Finalmente la tarea de estudiar y analizar la obra de artistas ya consagrados en el panorama del arte contemporáneo actual, (que han desarrollado parte de su trabajo basándose en los procesos cimáticos), aportará pruebas de la idoneidad del estudio de la cimática como herramienta y de cuales han sido las necesidades que han requerido para desarrollar su trabajo.

15.- METODOLOGÍA.

El primer paso para crear una metodología de trabajo que permita establecer unos vínculos entre las estructuras de formación cimáticas y los procesos de creación artística, es desarrollar una investigación de carácter experimental con el fin de conocer los ámbitos o especialidades del arte, en las que el fenómeno físico de la cimática puede intervenir como una herramienta de creación artística. Una vez establecidos los ámbitos de trabajo, cabe aplicar técnicas propias del mundo del arte, para adaptarlas al uso de la cimática como una herramienta de expresión contemporánea.

El análisis completo de los resultados obtenidos en la realización de los experimentos del capítulo I, (en los que se han establecido la evaluación e identificación de las propiedades y efectos que surgen de cada uno de los procesos experimentales creados mediante el sonido y los fenómenos periódicos de vibración), permitirá la contextualización de los elementos.

Analizando las imágenes generadas por los procesos cimáticos, apreciamos que el proceso de formación de figuras, estructuras de patrones, etc., viene generada por lo que podríamos describir como dibujos realizados mediante el sonido, sobre diferentes materiales que los hacen visibles.

Emplearemos para ello la metodología experimental en la que se diferenciarán los distintos fenómenos y se catalogarán bajo 4 grandes líneas de trabajo.

El Dibujo/Grabado.

En este apartado trataremos de encontrar técnicas con las que plasmar de una forma física las figuras o patrones Chladni (obtenidas anteriormente mediante arena o polvo de licopodio sobre planchas), con el fin de tornar los dibujos generados, en elementos tangibles sobre distintos medios y obtener así un registro, que les permita permanecer inalterables y perdurar en el tiempo. La implantación de técnicas propias del grabado y el dibujo brindará la posibilidad de registrar y convertir las ondas sonoras (un elemento abstracto), en creaciones de carácter tangible.

Escultura;

Este apartado tratará la posibilidad de generar diferentes tipos de esculturas mediante la formación de figuras y patrones sobre diferentes tipos de estructuras y generar actuaciones e interacciones para desarrollar esculturas sonoras y esculturas cinéticas.

La instalación, fotografía y el vídeo;

En esta parte del trabajo se mostrarán herramientas y creaciones que permitan orientar al artista en la creación de instalaciones, utilizando los diferentes fenómenos cimáticos. Además se hará hincapié en el desarrollo y los procesos de visualización y obtención de figuras cimáticas, mediante la utilización de la fotografía y el vídeo.

La pintura.

Durante la sucesión de esta investigación se desarrollarán técnicas que permitan plasmar de forma pictórica, representaciones visuales de las ondas de sonido.

Finalmente se presentarán pruebas de trabajos realizados mediante estas técnicas, algunos de los cuales ya han sido expuestos en galerías y festivales de prestigio de nivel nacional e internacional.

16.- TAREAS.

En este apartado se presentan las más relevantes y significativas tareas para el desarrollo de la cimática como una herramienta de expresión artística y su aplicación en diferentes especialidades o ámbitos de estudio dentro del

arte contemporáneo. En los anexos I y II (adjuntos en esta tesis doctoral), se encuentran multitud de ensayos que han permitido desarrollar conceptos clave para la creación de sistemas de trabajo, que posibilitarán plasmar de una forma tangible, las creaciones desarrolladas mediante el fenómeno de la cimática.

Primera actuación;

Analizar la cantidad de imágenes desarrolladas en la investigación y comprensión de las características esenciales de los fenómenos cimáticos.

Evaluación de técnicas que pueden generar un discurso plástico y su reproducción con el fin de generar ideas y controlar los procesos de creación.

Aislamiento de los procesos que pueden generar un discurso e investigación de técnicas de diferentes disciplinas artísticas, que permitan una relación y den lugar a nuevas herramientas para la creación.

Segunda actuación;

Investigación de disciplinas que pueden fusionarse y tener una relación con los procedimientos cimáticos, para desarrollar un discurso plástico.

Experimentación, desarrollo de técnicas diferentes y Aislamiento de los casos que contemplan éxito.

Tercera actuación;

Implantación de las técnicas desarrolladas en el contexto artístico.

Desarrollo de piezas que den lugar a un debate y discusión. Las técnicas con mayor nivel de desarrollo se detallarán para su estudio e implantación como herramientas de creación artística contemporánea.

Presentación de obras de arte realizadas mediante estas técnicas, que han sido presentadas en diferentes festivales y galerías de arte contemporáneo.

17.- Experimentación artística

El objetivo principal que desarrolla esta tesis doctoral, es el estudio del fenómeno físico de la cimática desde un punto de vista audio-visual, que permita generar condiciones o estructuras de trabajo, que tengan cabida o implantación en las diferentes especialidades del ámbito artístico contemporáneo. Por ello, en este apartado nos centraremos en la vinculación de los procesos de formación nodal, con unas herramientas que permitan desarrollar proyectos a futuros artistas.

La creación de métodos o disciplinas de trabajo inéditos hasta la actualidad, permitirá desarrollar trabajos de una gran originalidad, en los que el artista tiene la oportunidad de utilizar o incorporar elementos tan abstractos como el sonido o los fenómenos periódicos de vibración, para crear estructuras formales y tangibles en forma de obras de arte.

Para ello se ha dividido el trabajo en el desarrollo de actuaciones para diferentes disciplinas artísticas, en las que la cimática puede ser utilizada para generar un discurso plástico. Si bien es cierto que hoy en día, la máxima capacidad de adaptación de los procesos de creación cimática está ligada a la instalación, no debemos olvidar que existen otras especialidades (dibujo, grabado, escultura), a las que puede adaptarse perfectamente. Por este motivo se dividirá el trabajo experimental en cuatro disciplinas bien diferenciadas y se consultará con especialistas en cada ámbito de trabajo con el fin de desarrollar actuaciones que encajen en las siguientes disciplinas;

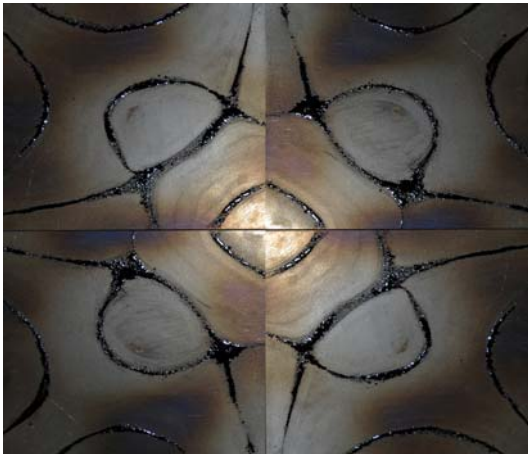
- * ***Dibujos y Grabados mediante procesos cimáticos.***
- * ***Escultura contemporánea mediante procesos cimáticos.***
- * ***Instalación, fotografía y vídeo, mediante procesos cimáticos.***
- * ***Pintura mediante procesos cimáticos.***

Cuando finalmente se expongan las diferentes técnicas desarrolladas para cada una de las especialidades, se procederá a generar piezas (mediante estas herramientas), con el objetivo de presentarlas en galerías y centros de arte contemporáneo. La exposición de estas obras en los círculos artísticos contemporáneos, se convertirá en una base más para la justificación de todo el trabajo desarrollado.

17.1.- Desarrollo de dibujos mediante procesos cimáticos.

Cuando un artista trata desde la perspectiva de la creación, la posibilidad de hacer visibles los procesos sonoros, siente de inmediato la necesidad de generar pruebas tangibles de dicho fenómeno. Como hemos observado anteriormente, la obtención más común de figuras o patrones mediante procedimientos cimáticos (*capítulo 5*), es llevada a cabo sobre planchas de diferentes materiales, que son excitadas mediante el sonido, dejando un registro sobre el material.

Este fenómeno de gran belleza, muestra como dibujar mediante el uso de las ondas sonoras sobre la materia, utilizando como marcador arena, sal, polvo de licopodio, etc. No obstante, este proceso de formación de estructuras es de carácter efímero y la arena solamente deja una huella o un rastro visible sobre la plancha durante el periodo en el que la plancha se mantiene perpendicular al eje de sujeción. Cualquier movimiento sobre esta, variará y romperá la simetría o las estructuras generadas, debido a las finas partículas con las que se generan. Ante esta situación precaria y efímera de las figuras que se producen, comienza el trabajo de investigación necesario para desarrollar estrategias o métodos, que permitan desarrollar obras de carácter artístico, en las que el dibujo realizado mediante el sonido, pueda ser plasmado sobre una superficie de una forma tangible y duradera.



< *Figura 157. Esta imagen muestra 4 planchas que forman un dibujo mayor generado mediante polvo de betún de Judea sobre planchas de hierro de 20x20 cm. Se ha utilizado un tono de 340Hz. Podemos decir que hemos generado una figura o un dibujo mediante la combinación del sonido. Imagen final 40x40cm sobre hierro galvanizado. Imagen del autor.*

Si nos ceñimos a la definición de dibujo, como un conjunto de figuras, imágenes o delineaciones que se suelen realizar de forma manual o con la ayuda de algún instrumento y que quedan plasmadas sobre diferentes tipos de superficies, la utilización del sonido para generar estas estructuras sobre un sólido o un fluido, debe ser considerada un dibujo por si misma. Por lo tanto la formación de figuras Chladni y patrones geométricos, se torna una forma de dibujo mediante el sonido.

“Todas las diferentes formas de vibraciones aplicadas sobre una plancha cuadrada o rectangular, generan figuras con cierto número de líneas nodales en su interior.”

(Chladni, 1804, 142)

En este capítulo centraremos la investigación, en la adecuación plástica de estas imágenes obtenidas, con el fin de orientarlas hacia diferentes técnicas del dibujo contemporáneo.

17.1.1.- Creación de dibujos sobre planchas, mediante la fijación de Betún de Judea.

Para obtener una imagen fija y tangible (que perdure en el tiempo), de una representación geométrica obtenida mediante el sonido, debemos plasmar la estructura generada sobre su superficie tal y como sucede cuando mediante un grafito, se dibuja sobre una superficie de papel y este deja una marca fijada en él. Para ello se ha investigado y experimentado mediante diferentes técnicas ya existentes en campos concretos de la expresión artística con el objetivo de adaptarlos a nuestras necesidades. La primera de estas investigaciones, mostrará la adaptación de un proceso de la técnica del grabado que se utiliza para evitar las mordientes de ácido sobre planchas de distintos tipos de metales.

Materiales para la realización del proceso de creación de estructuras mediante Betún de Judea.

- *Planchas de cualquier tipo de metal, de un grosor de entre 0.01mm y 1mm.*
- *Betún de Judea en Polvo.*
- *Un quemador.*
- *Una rejilla.*
- *Un tamiz.*
- *Un generador de frecuencias (generador de funciones) + generador de ondas u oscilador.*

El sistema de trabajo es muy simple y similar al desarrollado para generar estructuras mediante arena (*Capítulo 5*). No obstante, hay que seguir unos pasos bien delimitados con el fin de obtener la mejor calidad a la hora de generar las figuras realizadas.

El primer paso a tener en cuenta a la hora de dibujar mediante procesos cimáticos, es la búsqueda o identificación de los patrones que queremos plasmar sobre la plancha (mediante el uso de un generador de funciones que genera frecuencias determinadas, podemos controlar el proceso de creación). Una vez tengamos conocimiento de la frecuencia que queremos plasmar, el siguiente paso es la utilización de un tamiz para aplicar el betún de Judea en polvo de una forma homogénea sobre la superficie de la plancha. El tamiz brindará la posibilidad de trabajar con un gramaje de partículas adecuado. Para este tipo de trabajo, las partículas de betún no deben ser excesivamente finas, puesto que si tienen un gramaje demasiado pequeño, al posarse sobre la superficie, quedan pegadas y no fluyen cuando se les aplica el sonido.

Una vez el betún está esparcido con el gramaje adecuado de una forma homogénea sobre la superficie, es el momento de aplicar la frecuencia requerida para obtener la formación del patrón. Durante este proceso observaremos como las finas partículas de betún se desplazan hacia las zonas de mínimos niveles de resonancia (dejando libres las zonas por donde fluyen las ondas sonoras), generando la figura deseada. A diferencia de la arena, el betún de judea es un material que adquiere cierta resistencia al movimiento (si las partículas son finas y un poco pegajosas), por lo que debemos tener en cuenta el grosor de estas, al utilizar el tamiz.



< *Figura 158. Plancha de cobre de 20x20 cm. y 0.5 mm. de grosor en la que se ha aplicado una frecuencia de 480Hz. Observamos como las partículas de betún se depositan en las zonas nodales, aunque se generan residuos por la superficie en forma de pequeñas aglomeraciones en los anti-nodos. Estas pequeñas impurezas pueden ser limpiadas mediante un pincel de pelo fino para acuarela. Una vez el betún está depositado, su alto nivel de adherencia actúa como un refuerzo y evita la deformación de las estructuras al ser retirada del generador de ondas. Imagen del artista.*

Una vez obtenemos la figura deseada, el siguiente paso que debemos realizar para fijar la imagen sobre la placa de metal, es desmontar la plancha del soporte que la une al generador de ondas y transportarla con cuidado de la forma más perpendicular posible, hasta el quemador.

La plancha debe situarse sobre alguna estructura de rejilla metálica a unos 20-30 cm. sobre la llama del quemador, para evitar que el contacto de las llamas sea muy elevado sobre la plancha, causando el ennegrecimiento de algunas zonas. El calor⁵⁴, calentará la plancha de metal de forma uniforme fundiendo las partículas de betún de Judea sobre la superficie. El proceso es rápido y debe durar entre 30' y un minuto, dependiendo del grosor de la plancha y del material del que está compuesta. El mismo proceso puede realizarse mediante un horno precalentado. El tiempo de exposición al calor debe controlarse hasta que las partículas de betún de Judea se funden.

Una vez que el betún queda fundido sobre la superficie, se debe dejar enfriar en un proceso natural, para que la dilatación originada por el enfriamiento sobre la plancha no genere grietas sobre las líneas que forman los patrones del dibujo. Cuando la plancha está fría, observamos como el betún se ha convertido en unas finas líneas (con textura de plástico), que están pegadas sobre la superficie. Este proceso fija y otorga un alto grado de resistencia. No obstante, sigue siendo un material frágil, que puede quebrarse si se le propician fuertes golpes (originando la aparición de descascarillamiento). Para darle un mayor grado de resistencia, puede sumergirse la plancha en un baño de algún tipo de resina vinílica transparente que le aportará flexibilidad y resistencia (no obstante este proceso impedirá seguir trabajando sobre la misma). Si dejamos la plancha al desnudo, el betún aguanta bien el paso del tiempo si se trata con el debido cuidado.



< *Figura 159. La imagen superior muestra una plancha de Zinc sobre la que se ha generado un dibujo mediante betún de Judea y que ha sido sometido al proceso de quemado. Podemos observar como si no se trata con suavidad, en la plancha aparecen desconchados sobre las líneas de Betún. 20x20 cm. y 1mm. de grosor con una frecuencia de 540Hz. Imagen del autor*



< *Figura 160. Esta imagen muestra una plancha de Zinc en la que se ha generado un dibujo diferente y se ha sometido al mismo proceso de calentamiento. En este caso la plancha se ha tratado con suavidad y no aparecen desconchamientos sobre la superficie de las líneas ya fijadas. 20x20 cm. y 1mm. de grosor. Tono de 740Hz. Imagen del autor*

54 El fundido por calor es un proceso manual que no responde a tiempos precisos. Es mediante la experiencia y el proceso de aprendizaje (mediante errores y aciertos), cuando se domina la técnica de la fusión del betún de Judea.

El proceso se ha realizado sobre planchas de cobre pulidas (*figura 158*), y de Zinc (*figuras 159,160*), en las que podemos observar la coloración natural del material. No obstante, si queremos trabajar sobre superficies con color, no hay más que dar una imprimación de pintura (del color deseado), mediante aerosol sobre la base del metal. Hay que tener en cuenta que la altura de la fuente de calor a la hora de fundir el Betún, puede ocasionar que aparezcan manchas originadas por la llama (*figura 161*). Por lo tanto hay que realizar varias pruebas para asegurar un correcto funcionamiento del proceso de trabajo. Si en lugar de utilizar una fuente con llamas se utiliza un horno precalentado, el resultado es mucho más preciso y no se generarán manchas producidas por la llama sobre la imprimación de pintura⁵⁵.



Figuras 161. En la siguiente imagen podemos observar dos planchas que se han sometido a un proceso de fijación mediante calor con betún de Judea en polvo. En la primera, se aprecian manchas oscuras sobre la superficie blanca de la pintura, que son el resultado del excesivo calentamiento en esa zona, originado por las llamas del quemador. Por el contrario, en la foto de la derecha observamos como el proceso apenas ha sufrido contratiempos mediante el proceso de fijación por calor realizado en un horno precalentado a 200°. Ambas figuras son de hierro galvanizado con una base de pintura blanca mediante aerosol. Las planchas son de 20x20 cm. y 0.5 mm. de grosor, con unas frecuencias de 490Hz y 580Hz. Imágenes del autor.

El proceso de fijación mediante betún de Judea sobre placas a las que se ha aplicado una base de pintura, tiene una cierta desventaja respecto al proceso realizado sobre una plancha desnuda. Las diminutas partículas del betún cuando se desplazan por una plancha desnuda que esta pulida, tienen un movimiento más fluido respecto a las que se ha aplicado una base de pintura. La porosidad de la pintura dificulta el flujo del betún sobre la superficie. Esto permite la aparición de muchas más impurezas alrededor de las líneas nodales principales.

⁵⁵ Se exponen ambos procesos de fusión mediante calor, debido a que el proceso realizado con llama (aunque deja huellas en forma de manchas), obtiene un resultado final que aporta gran belleza al hacer visibles tonalidades de sombras y colores.

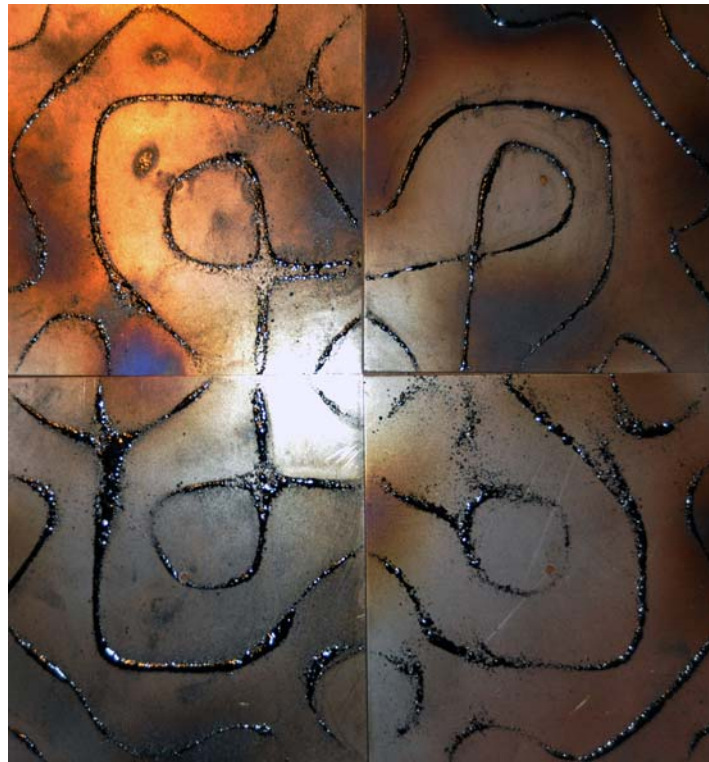
Si comparamos formaciones en las que la plancha se encuentra al desnudo (*figura 162*), con planchas con una base de pintura blanca (*figura 161*), podemos observar como aparecen multitud de diminutos puntos que se han depositado alrededor de los nodos principales, generando una película de partículas alrededor de las líneas principales de formación. En cambio, sobre una plancha desnuda (*figura 158 y 162*), las líneas quedan bien definidas y no aparece ningún tipo de impurezas a su alrededor.



< *Figura 162. Esta imagen muestra una plancha de cobre sobre la que se ha generado un dibujo y se ha fijado mediante betún de Judea. Las líneas de formación sobre una plancha desnuda quedan muy bien definidas y apenas aparecen imperfecciones. Imagen del autor.*

Ambos métodos, permiten obtener de forma rápida y sencilla, la representación visual de las ondas de sonido, de manera tangible sobre un material concreto. Las planchas obtenidas pueden utilizarse como elementos indivisibles o como estructuras en mosaico que generen patrones mayores (*figura 153*).

Figura 163. La imagen muestra una gran composición mediante la unión de 4 planchas que generan un mosaico mayor. Esta imagen corresponde a una pieza creada a partir de algunas frecuencias del proyecto Cassini XXV, realizada con las frecuencias captadas (a través de las señales de radio), por la Sonda Cassini de la NASA en Saturno. 40 x 40 cm. 4 planchas sobre bastidor de madera. Imagen del autor.





**Pasos para la creación de dibujos sobre planchas,
mediante la fijación de Betún de Judea.**

- 1- *Conectar el generador de funciones con el generador de ondas.*
- 2- *Conectar las planchas al generador de ondas.*
- 3- *Aplicar la frecuencia deseada para generar una figura y ajustar el nivel de amplitud al nivel más bajo.*
- 4- *Esparcir sobre la superficie mediante un tamiz, una capa uniforme de betún de Judea.*
- 5- *Aumentar el nivel de amplitud para generar una figura sonora (figura Chladni), sobre la superficie de la plancha.*
- 6- *Desconectar con cuidado la plancha del generador de ondas.*
- 7- *Situar la plancha sobre una rejilla.*
- 8- *Situar la rejilla (con la plancha en la superficie), sobre un quemador de llama o un horno precalentado.*
- 9- *Esperar a que se funda el betún de Judea sobre la superficie de la plancha.*
- 10- *Una vez fundido el betún, apagar la fuente de calor y dejar reposar la pieza hasta que alcance de nuevo la temperatura ambiente. Es de suma importancia este paso para que el enfriamiento sea progresivo y la dilatación del metal, no provoque roturas en las líneas generadas mediante la fusión en el betún.*
- 11- *La pieza está lista para los baños de ácidos o su exposición final.*

Utilizando técnicas del grabado para la creación de dibujos cimáticos, hay que destacar la posibilidad de dotar a las piezas (realizadas sobre placas de metal), con pátinas de color mediante baños de ácidos. El uso de mordientes⁵⁶ sobre las planchas (una vez que el betún ha sido fijado), brindará una gran y rápida capacidad de oxidación de los materiales y con ello, aparecerá toda una gama de colores propiciada por el óxido de cada material (figura 164).



Figura 164. Las imágenes muestran dos placas sometidas a baños de mordientes. En la primera fotografía aparecen 4 planchas de cobre de 25x16.5cm. y 0.5mm. con una frecuencia de 1070Hz que han sido sometidas a unos baños de 30 minutos en una solución de Peróxido de hierro y se han dejado oxidar a la intemperie hasta alcanzar la coloración deseada. La segunda imagen muestra una placa de hierro de 20 x 14 cm. y 0.5mm. de grosor y una frecuencia de 160Hz, sometida a baños de solución salina. Imágenes del autor.

La oxidación de los metales (*figuras 164*), ilustra perfectamente el tipo de coloración que se obtiene mediante el uso de este tipo de baños y como se generan las pátinas sobre la superficie del metal. Si queremos que el proceso de oxidación deje de actuar, no hay más que dar una capa (mediante aerógrafo, un baño o mediante un pincel) de una resina vinílica transparente⁵⁷, que protegerá el metal de una continua oxidación y además dotará de un mayor grado de resistencia y flexibilidad a las líneas de betún de Judea.

⁵⁶ Los mordientes utilizados para el desarrollo de esta tesis doctoral han sido; El peróxido de hierro sobre placas de cobre y el ácido nítrico mezclado en la proporción de dos partes de agua por una de ácido para las placas de Zinc. En placas de hierro se ha utilizado una solución salina normal para obtener la oxidación.

⁵⁷ Las resinas vinílicas transparentes, otorgan una resistencia y flexibilidad mayor al betún fijado en las planchas. No obstante si se utilizan sobre metales en los que no se ha generado oxidación, es preciso rebajarla con agua o utilizar algún otro tipo de fijador en spray, ya que su composición química crea una leve oxidación inicial en el proceso. La resina utilizada para la creación de estas planchas "Resina R12" fabricada por Barna Arts, Barcelona.

17.1.2.- Creación de dibujos sobre papel, mediante la técnica del Grabado.

Las técnicas anteriormente expuestas, permiten la creación de un registro sonoro sobre un material tangible como son las planchas de metal, cuya forma y estructura permite el desarrollo en forma de mosaicos y composiciones modulares tanto sobre un bastidor (recordando a las pinturas de Frank Stella e instalaciones modulares de Carl André como *Steel Aquare*, *Alstadt Rectangle*⁵⁸). No obstante, el hecho de fijar estas figuras sobre planchas, permite también transformar el registro obtenido y transportarlo sobre papel, mediante el uso de la técnica del grabado.



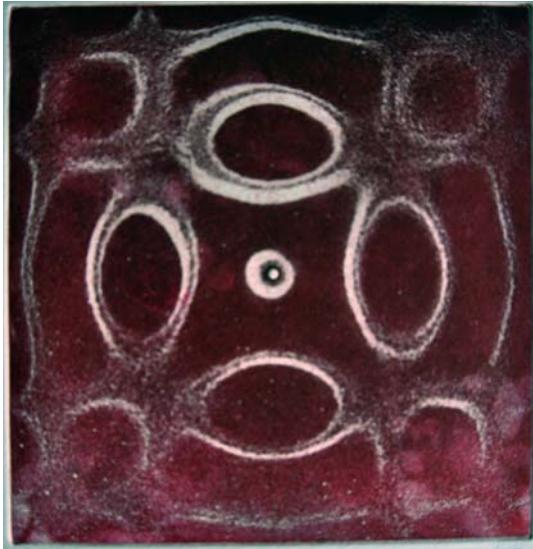
Figura 165. En las fotografías superiores podemos observar dos obras de los importantes artistas Frank Stella y Carl André. Abajo dos imágenes cimáticas que recuerdan el trabajo desarrollado por estos artistas. La fotografía en blanco y negro de abajo es una pieza de cobre rectangular con una frecuencia de 5310Hz. Las 4 planchas de abajo, pertenecen a una composición de 20x20 cm. Ambas son imágenes del autor. Figuras de arriba extraídas de (Meyer, J. 2005, pp. 48, 151).

El uso de tinta de grabado y un tórculo, brindará la posibilidad de formalizar sobre papel las estructuras geométricas y figuras Chladni, que se desarrollen sobre planchas de metal. En la utilización de esta técnica cabe diferenciar dos tipos de impresiones.

58 Tanto las pinturas de Aluminio de Frank Stella como las instalaciones de Carl André, tienen un componente repetitivo y minimalista que también encontramos en las formaciones que se generan mediante la realización de figuras cimáticas.

17.1.2.1.- Impresión de grabados cimáticos con tinta.

Las primeras se crearán mediante el entintado de una plancha de metal sobre la que se ha fijado una figura mediante betún de Judea y en la que la base de la plancha sigue pulida. Esto permitirá una correcta limpieza de la tinta y quedará el registro de las líneas sobre el papel. El mismo proceso se puede realizar mediante la limpieza de las líneas de betún para generar un negativo de ellas sobre un fondo de color (*figura 166*).



< *Figura 166. Grabado generado mediante la técnica anteriormente descrita. Podemos observar como la tinta se ha limpiado en las zonas donde hay el betún de Judea. El proceso se puede realizar de forma opuesta dando lugar a una imagen con fondo blanco y las líneas nodales en color. Pieza realizada conjuntamente con Vicent Matamoros en el Taller de grabado de la Universidad de Barcelona. Imagen del autor.*

17.1.2.2.- Impresión de gofrados cimáticos.

La segunda técnica de grabado que podemos utilizar cuando tenemos creada una figura sobre una plancha, reside en la obtención de gofrados. La técnica del gofrado, consistente en la creación de un relieve mediante la presión del tórculo sobre el papel, permitirá generar imágenes en tres dimensiones de las figuras obtenidas sobre el papel. Estos gofrados pueden realizarse sobre papeles previamente entintados o sin la necesidad de que se le aplique ninguna coloración. De esta forma, únicamente queda un registro de la figura en forma del surco, producido por la presión del betún de Judea sobre el papel.

Ambas técnicas, permiten la reproducción de tiradas limitadas, debido a que la presión ejercida por el tórculo sobre el betún, acaba por agrietar y romper la estructura. En la técnica del gofrado, el nivel de rotura es mucho mayor (debido a la alta presión del tórculo para generar los surcos en el papel), por lo que se suelen hacer tiradas únicas. No obstante como el proceso de creación de planchas es muy sencillo, la reproductibilidad de los patrones esta asegurada.

17.1.3.- Creación de dibujos sobre planchas, mediante la técnica del contraste por extracción de material.

El segundo método investigado para la obtención de dibujos de patrones sobre planchas, es un proceso que ha sido desarrollado con el fin de poder aplicar color tanto sobre las planchas como sobre las líneas nodales que generan los patrones (mientras que con la utilización del betún de Judea, solamente podemos variar el color del fondo de la plancha, utilizando pintura o mediante la creación de pátinas, la fijación de las líneas nodales siempre adquiriría el color del Betún. Mediante esta nueva técnica, podemos variar tanto el color de fondo, como el color que impregnará las líneas nodales, obteniendo un mayor abanico de posibilidades en el campo de la creación artística).

Materiales necesarios para la creación mediante la técnica del contraste por extracción de material;

- *Generador de funciones+oscilador o generador de ondas.*
- *Plancha de cualquier material (en este caso no está acotado al metal, puesto que no hay proceso de fusión mediante calor. Por ello se pueden utilizar planchas de vidrio, metacrilato o madera).*
- *Sal o azúcar.*
- *Diferentes pinturas en spray o con aerógrafo.*
- *Un recipiente con agua caliente en el que quepan las planchas.*

Para la realización de este proceso, el primer paso a seguir es la aplicación de una capa base de color mediante aerógrafo sobre la plancha (esta capa debe de ser del color que deseamos para las líneas nodales que formarán la figura). Una vez la capa base está seca, se fija la plancha en el generador de ondas y se esparce sal o azúcar, sobre la superficie de forma homogénea. Cuando aplicamos el sonido deseado y se genera el patrón, debe aplicarse una nueva capa de pintura sobre la superficie (capa que generará la coloración final de la plancha). Una vez que la pintura está seca, las planchas son sumergidas bajo agua caliente durante varios minutos. El contenido de azúcar o sal, se diluye frotando suavemente sobre la superficie donde ha quedado depositada (*figura 167*). Al disolverse en el agua, aparecerán por contraste, las líneas nodales que se han protegido de la segunda imprimación.

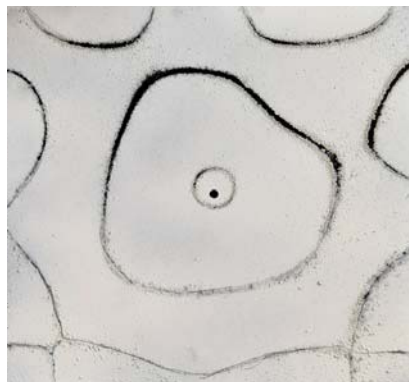


< *Figura 167. Plancha de hierro de 20x20 cm. y 0.5mm de grosor sobre la que se ha aplicado una base de pintura mediante spray negro. Se ha esparcido una capa uniforme de azúcar sobre la superficie y se ha aplicado una frecuencia de 460Hz. Una vez creada la figura, se ha realizado otra imprimación mediante spray de color blanco. La utilización de agua caliente, permite que el azúcar se disuelva mostrando la capa base original que hace visible la figura. Imagen del autor.*

Esta técnica, genera unas estructuras de un grado relativamente alto de definición. No obstante podemos observar como aparecen pequeños puntos, que son el resultado del gran tamaño de los cristales de azúcar o de sal. Aun así la definición del patrón queda patente y adquiere una resistencia mucho mayor al paso del tiempo ya que no existe la posibilidad de descascarillamiento, que tenía el primer proceso realizado mediante betún de Judea.

El mismo proceso se puede realizar también mediante otros materiales como la arena (*figura 168*), con unos resultados un tanto diferenciados. Debido a que los cristales de arena de cuarzo son más finos que los de la sal y el azúcar, se obtiene una línea mucho más definida de la estructura generada. No obstante, como la arena no es soluble en medios líquidos, el proceso de extracción es más complejo y puede generar que zonas de la plancha queden más definidas que otras. La creación de las líneas nodales debe tener un grosor mayor al habitual, así de esta forma nos aseguraremos que la extracción de las partículas es posible⁵⁹.

Figura 168. La imagen muestra zonas de la plancha donde se delimitan muy bien las líneas de formación nodal, apreciándose correctamente el color de fondo. Mientras que en otras zonas, donde la cantidad de arena depositada era menor, se puede identificar la estructura de formación nodal pero no es visible el color de fondo correctamente, debido a que las partículas de arena han quedado incrustadas en la propia pintura. Aun así, los dibujos quedan bien definidos y es una muy buena forma de generar dibujos que puedan permanecer intactos con el transcurso del tiempo. Imagen del autor.



Ambos procesos, permitirán la fijación cromática de imágenes sobre planchas, permitiendo al artista generar sus propias composiciones.

⁵⁹ Este método es el que adquiere más dificultad a la hora de generar estructuras. Las líneas de arena si son muy finas, absorben la humedad de la pintura esparcida mediante aerosol y esta se transfiere entre la partícula y la plancha. Advertimos solamente las consecuencias, en el proceso de no-adhesión, cuando se torna una tarea muy compleja debido a que las partículas se quedan pegadas por efecto de la propia cola que contiene la pintura.

17.1.4.- Creación de dibujos y pinturas, mediante el uso del armonógrafo y el péndulo simple.

Como hemos visto anteriormente en el (*capítulo 11, Interacción de dos frecuencias diferenciadas en los procesos de oscilación. Creación de las figuras de Lissajous*), mediante la combinación de dos frecuencias armónicas simples en posición perpendicular, se pueden obtener las llamadas figuras de Lissajous.

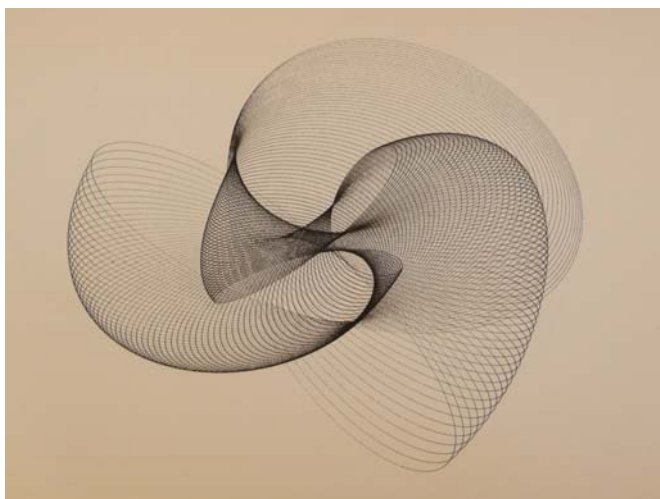
En este apartado aportaremos pruebas de como mediante procesos mecánicos y manuales se pueden generar y plasmar estas figuras, tanto en forma de dibujos como mediante la utilización de pinturas sobre un papel o un lienzo. Para ello analizaremos dos procesos bien diferenciados.

-*Utilización del armonógrafo.*

-*Creación de pinturas mediante el armonógrafo y el péndulo simple.*

17.1.4.1.- El Armonógrafo.

El armonógrafo (*figura 155*), es una máquina inventada en el siglo XIX, atribuida a Hugh Blackburn⁶⁰ que permite generar dibujos mediante el movimiento armónico de varios péndulos combinados (existen varios tipos de armonógrafos pero los más comunes son de dos y tres brazos). A través del desplazamiento combinado de varios péndulos que trasladan su movimiento a unos brazos mecanizados, se genera un movimiento armónico de interacción, que permite generar las llamadas figuras de Lissajous (*figura 169*).



< *Figura 169. Imagen generada mediante un armonógrafo de tres péndulos. El ajuste de los pesos en las barras de los péndulos, permite crear diferentes estructuras de formas geométricas muy variadas. Imagen del autor.*

60 Aunque se le atribuye la invención al profesor Hugh Blackburn, no esta claro que sea él, oficialmente, quien invento el aparato. No obstante es el primero en darle cierta relevancia.

Este tipo de maquinas, pueden considerarse esculturas cinéticas con las que se crean dibujos de carácter geométrico. Podemos encontrar múltiples diseños de este aparato y se han generado numerosas obras de arte y exposiciones, con el resultado de estas creaciones. El trabajo realizado por artistas de diferentes nacionalidades como Edmund Eva⁶¹, Adrian Göllner⁶² y Dan Doods⁶³, son una clara muestra, de la aplicación del armonógrafo en los círculos del arte contemporáneo actual.

El armonógrafo brindará la posibilidad de hacer tangibles (sobre un papel o un lienzo), figuras de Lissajous mediante la representación de dibujos (*figuras 169 y 170*).

17.1.4.2.- El Péndulo simple.

De igual forma que mediante el armonógrafo podemos conseguir figuras de Lissajous utilizando un lápiz (o cualquier utensilio que deje huella sobre otra superficie), la utilización de tinta para generar este tipo de estructuras también es posible. No obstante su utilización se torna compleja, debido a que se deben construir armonógrafos de gran formato (tanto para soportar el peso del recipiente que contendrá la tinta, como el tamaño de los brazos articulados y los péndulos) y el proceso además causa la aparición de impurezas en forma de gotas por la falta de control en su desarrollo.

Por ello existe la posibilidad de realizar estos mismos trabajos con un péndulo simple, en el que las figuras obtenidas se tornan menos complejas que las generadas por un armonógrafo. El péndulo simple consiste en un recipiente, que contiene tinta y cuelga de una cuerda a la que se le da un impulso inicial en una dirección concreta (*figura 170*). Si conseguimos que del recipiente fluya de forma constante y uniforme un chorro de pintura, podremos generar estructuras de formación y figuras de Lissajous simples, del mismo modo que se generaban con el armonógrafo.

61 Edmund Eva es una artista contemporánea británica, que utiliza diferentes tipos de maquinas o aparejos cinéticos, para construir un discurso plástico en torno a *landscapes* abstractos. Ha publicado y expuesto sus dibujos realizados mediante armonógrafo, en varias galerías del Reino Unido. Edmund, E. (2013, Mayo 15). <http://edmundeva.wordpress.com/tag/harmonograph/>

62 Adrian Göllner es un artista contemporáneo Canadiense representado por la galería de arte *PATRICK MIKHAIL GALLERY* de Ottawa, en la que ha presentado su trabajo relacionando figuras realizadas con el armonógrafo y el sonido. Puede apreciarse una muestra de su trabajo en su web personal. Göllner, A. (2013, Junio 3). <http://adriangollner.ca/>

63 Dan Doods es otro artista contemporáneo que utiliza en su trabajo un armonógrafo. Presentó una instalación en la feria *KYNETICA ART FAIR 2013*. Podemos ver su trabajo en Doods, D. (2013, Junio 4). <http://blog.dandoods.co.uk/2013/03/04/kinetica-art-fair/>

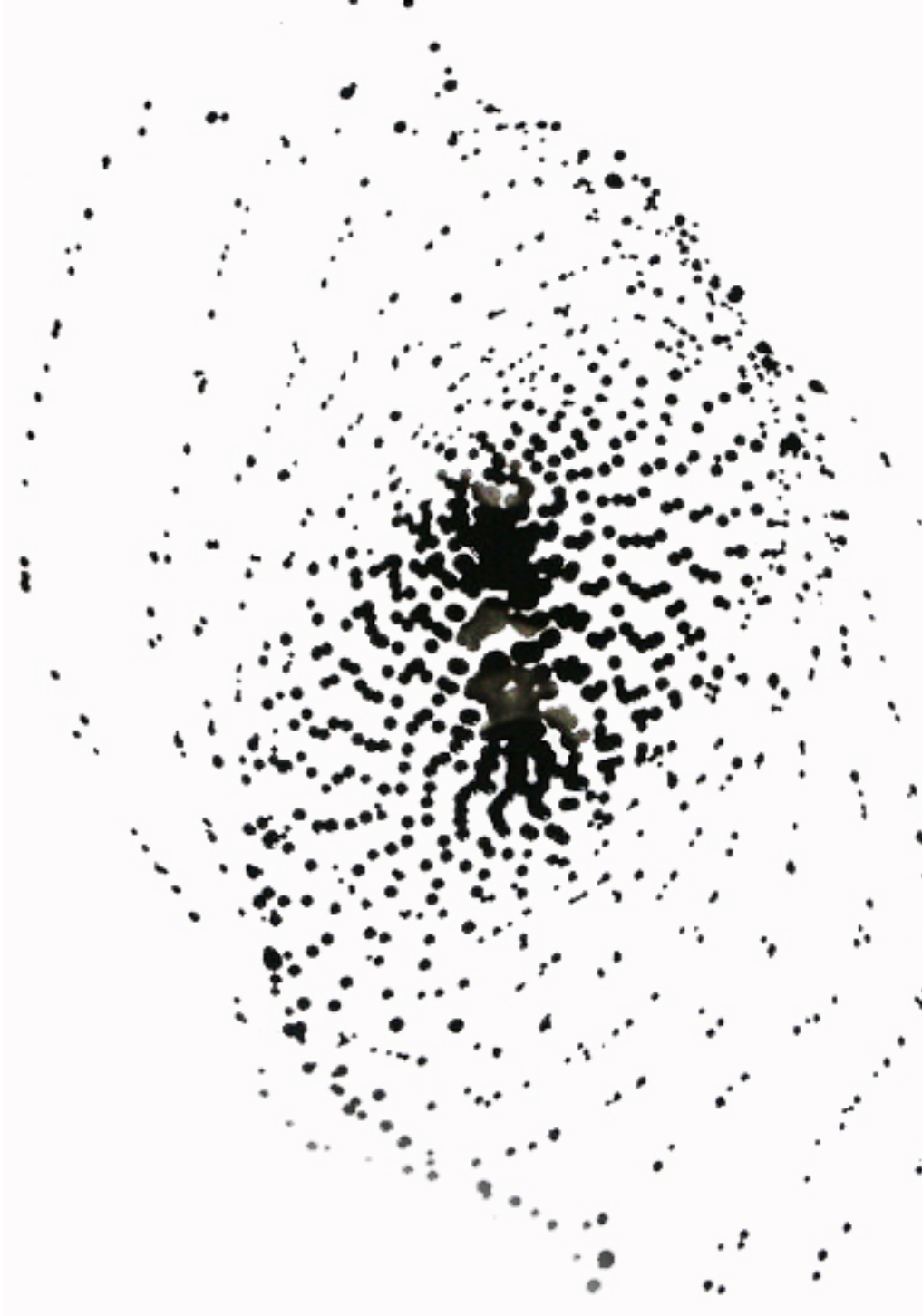


Figura 170. La imagen muestra una figura de Lissajous realizada en tinta. Si la tinta se hace más densa, se pueden conseguir líneas continuas que mejoran la figura. No obstante estas figuras serán tratadas en el apartado de la pintura y los procesos cimáticos (capítulo 17.4) Imagen del autor.

17.2.- Escultura contemporánea mediante procesos cimáticos.

Los procesos de creación de estructuras tridimensionales, son muy amplios y abarcan multitud de procesos. La creación de esculturas mediante procesos cimáticos, no obedece a ninguna técnica propia del arte escultórico, sino que responde más bien a la capacidad creadora del individuo a la hora de generar estructuras, apoyándose en ciertos materiales, estilos y técnicas creativas. Por ello es difícil desarrollar técnicas precisas que se amolden al moldeado, la talla o la fundición. No obstante, presentaré ejemplos que yo mismo he ido desarrollando como técnicas de creación, en las que el formato tridimensional en ámbitos bien definidos y diferenciados, puede tener en los procesos cimáticos, una herramienta para la consecución de piezas de carácter escultórico. Si bien es sabido que hoy en día la brecha que separa la instalación escultórica y la escultura, es muy delgada, durante la presentación de las técnicas aquí mostradas, no se establecerá diferenciación alguna.

Uno de los procesos cimáticos de creación escultórica más bien definidos, es la creación de estructuras de carácter tridimensional. Siguiendo con el trabajo realizado sobre planchas de metal que tratamos en capítulo 17.1, retomaremos una de las técnicas realizadas con anterioridad. La utilización del betún de Judea, para generar estructuras geométricas sobre la superficie de planchas de metal (ahora en gran formato), y su fijación mediante procesos de calor, permitirán también desarrollar estructuras tridimensionales de carácter escultórico.

Si conseguimos generar a través de un gran altavoz, un generador de ondas lo suficientemente grande, que nos permita trabajar con planchas de metales de gran tamaño y grosor (permita soportar el peso de las planchas y su tamaño), podremos aplicar sobre ellas de igual forma, frecuencias que generen dibujos sobre su superficie. Mediante la técnica ya descrita anteriormente del betún de Judea (capítulo 17.1), podremos fijar estas imágenes y obtener esculturas a partir del sonido, de gran formato.

Figura 171. Dos piezas cuadradas de cobre de 50 x 50 cm. y 0.5 mm. de grosor sobre las que se han generado figuras mediante el sonido. Ambas han sido sometidas a baños de ácidos para generar pátinas de color. La figura de abajo muestra una plancha circular de 1 m. de diámetro y 2 cm. de grosor, que se ha generado mediante la técnica de extracción de material (capítulo 17.1.3). Las tres piezas forman parte de una serie de esculturas generadas mediante sonido. Imágenes del autor. >



Este tipo de estructuras (*figura 171*), son el resultado de estos procesos de creación complejos. Cuando trabajamos en formatos pequeños de planchas, el peso y el tamaño no afectarán a su creación. No obstante, es difícil crear un generador de ondas que soporte el peso de estructuras como las anteriormente mostradas. Para ello debemos idear sistemas de “apoyo” que ayuden a sostener el peso de dichas piezas a la hora de intentar generar las figuras sobre su superficie. Este hecho de fácil descripción, se torna complejo ya que el uso de un sistema de apoyos, genera interferencias en las estructuras del patrón realizado. Por lo tanto se deben idear sistemas en los que los apoyos causen la menor incidencia en la creación de las figuras sobre su superficie.

Cuando se resuelven estos problemas (mediante el uso de poleas, o apoyos), las formaciones geométricas pueden generarse sobre todo tipo de piezas, limitándose únicamente a la capacidad de creación del artista. Como ejemplos teóricos de trabajo que se pueden realizar, podemos pensar en un conjunto de piezas de metal de gran formato, (en las que se han generado patrones) y utilizarlas como en las instalaciones de Donald Judd, Robert Mangol o Jannis Kounellis⁶⁴.

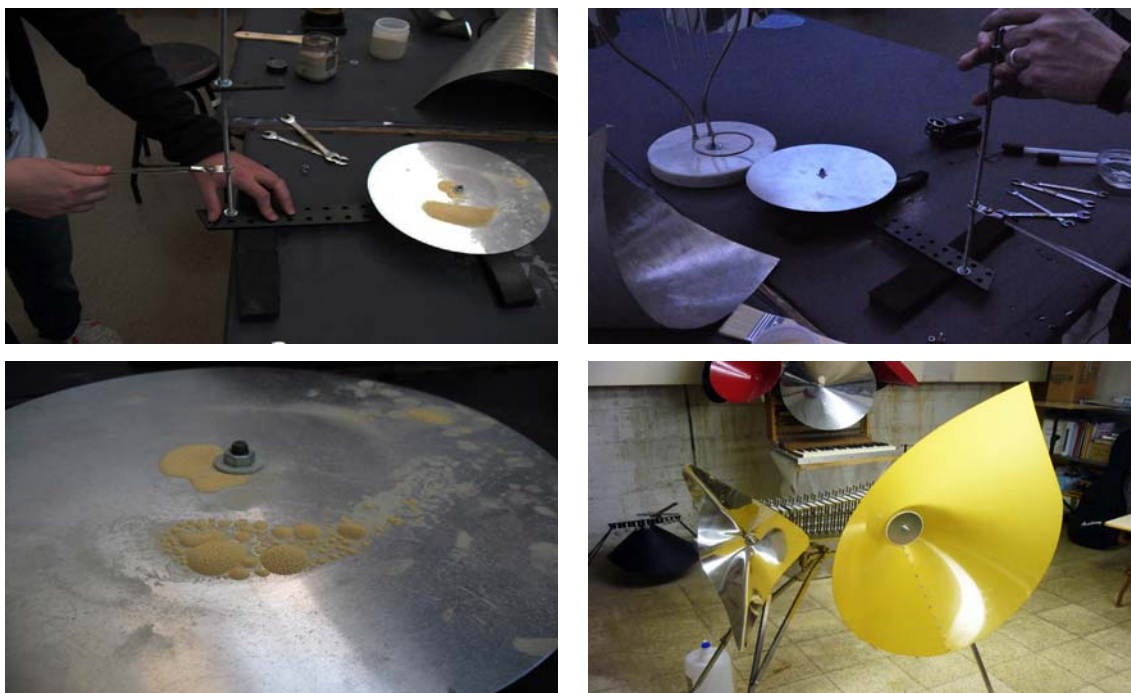


Figura 172 La primera imagen muestra “Galvanized Iron Wall”, del artista Donald Judd. Composiciones de esta índole, se pueden generar mediante piezas desarrolladas con patrones cimáticos, en los que se genera una escultura a partir de la unión de bloques más pequeños. La segunda fotografía muestra al autor de esta tesis doctoral, junto con al artista Griego Jannis Kounellis (fundador del arte-Povera), durante la beca de artes plásticas de la fundación Botín de Santander. En el transcurso del taller y exposición que se celebró en 2009, presenté al maestro un proyecto para fusionar sus muros de metal con elementos cimáticos. En el segundo encuentro en el que participamos conjuntamente en la galería ATM de Gijón, presente un proyecto que fusionaba elementos del arte Povera con la instalación cimática. Imágenes del autor.

64 Las obras de Donald Judd, Robert Mangol, Jannis Kounellis o Carl André, son piezas minimalistas que encajan en el modo de creación en bloques, que se ha venido desarrollando mediante los procesos cimáticos. No obstante la capacidad creativa siempre queda en manos del artista.

17.2.1.- Escultura sonora y cimática.

Otro aspecto donde el potencial de la cimática como herramienta es ineludible, es en el ámbito de la escultura sonora. La creación de piezas originales y la reinterpretación e interrelación en este campo de trabajo, me ha llevado a desarrollar conjuntamente con el también doctorando Martí Ruiz⁶⁵, esculturas sonoras basadas en el concepto de las esculturas sonoras *Baschet*.

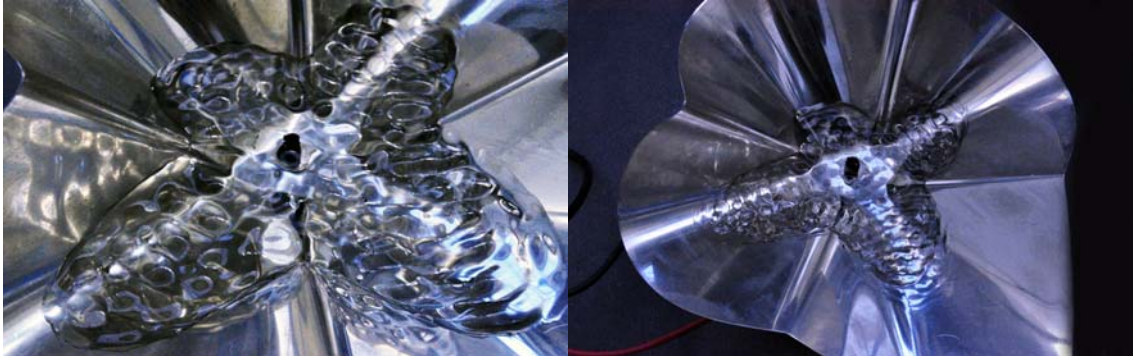


Figuras 173. Estas imágenes muestran la experimentación llevada a cabo conjuntamente con Martí Ruiz en el laboratorio de arte sonoro de la facultad de Bellas artes de la Universidad de Barcelona. En las fotografías se aprecia una escultura primitiva, en la que a través de un cristal (que se palpa con los dedos humedecidos por un fluido), se toca una nota musical concreta que hace vibrar una placa redonda de aluminio, en la que se generan figuras Chladni mediante polvo de licopodio y arena. Aunque es una estructura muy simple, de ella se han derivado ya planos, para la consecución de esculturas sonoras utilizando cristales, sistemas de percusión y cuerdas. Imágenes del autor.

Podemos observar como se generan interconexiones en el campo de la escultura bien diferenciados (*figuras 173*). Esta relación permite la utilización del material de las esculturas Baschet originales (donadas a la facultad de Bellas Artes de Barcelona), para experimentar con esculturas sonoras en las que se desarrolla tanto el concepto musical, como la estructura visual de la escultura y las formaciones que originan las notas musicales.

⁶⁵ Martí Ruiz, se encarga de realizar una tesis doctoral sobre los instrumentos Baschet y es el encargado de las esculturas sonoras que los hermanos François y Bernard Baschet, han donado al departamento de arte sonoro de la Universidad de Barcelona.

Este trabajo, ha permitido desarrollar planos para la creación de diferentes tipos de esculturas sonoras cimáticas, basadas en los desarrollos de los hermanos Baschet. La primera clase de este tipo de instrumentos están pensados para generar tanto una nota musical como la obtención de una figura geométrica sobre superficies resonantes. Mientras que para una segunda clase de esculturas, se ha pensado en la introducción de bañeras de vibración en las que se generarán a partir del sonido, formaciones de carácter geométrico sobre fluidos (*figura 174*).



Figuras 174 Las fotografías muestran un cono de resonancia de aluminio, de una escultura Baschet. Podemos observar las pruebas de resonancia realizadas mediante un generador de ondas, con el fin de comprobar la formación de estructuras por parte de un líquido contenido en su interior. Imágenes del autor.

Otro tipo de esculturas sonoras proyectadas, son las llamadas esculturas vocales (*figura 175*). Este tipo de trabajo basado en la obra del Eidophone de la Galesa Margaret Watts, consiste en esculturas en las que mediante la voz, podemos generar formaciones sobre membranas. Un sólido ejemplo de la funcionalidad de estas obras, aparece en forma de una sencilla pieza orquestada por Nick Laessing.

Figura 175. Escultura sonora "Spatial harmonics and voice figures", basada en el Eidophone de Margaret Watts realizada por el artista Nick Laessing, presentada en la galería Gowen Contemporary de Suiza. Imagen extraída de Gowen Contemporary.





< Figura 176. *Protrude Flow* 2001. Escultura cinética realizada mediante el uso de ferro-fluidos y la acción del sonido, creada por la artista Nipona Sachiko Kodama.

Figura 177. *Supermajor*, 2013. Escultura cinética que utiliza el pulso de una luz estroboscópica para generar el efecto de un chorro de aceite en oscilación. El aceite parece que sube desde el suelo a la lata. Obra creada por Matt Kenyon. >



En el mismo sentido y siguiendo la idea de desarrollar esculturas a partir de procesos cimáticos (o esculturas en los que intervengan), aparecerá una nueva línea de desarrollo mediante esculturas cinéticas. Tanto la utilización del chorro de un fluido sometido a procesos cimáticos (capítulo 7.6), como el uso de los ferro-fluidos (capítulo 9), ya ha sido llevado a la práctica por artistas de talla internacional como Matt Kenyon⁶⁶ o Sachiko Kodama⁶⁷.

66 Matt Kenyon es un reputado artista de talla internacional que con su escultura/instalación *Supermajor*, imita los procesos de un chorro de un fluido oscilando (figura 177), valiéndose del uso de la frecuencia de una luz estroboscópica. Ganador de prestigiosos premios de arte (*Vida de la Fundación Telefónica en 2004*), expone su trabajo en el *MOCAD, Museum of Contemporary Art of Detroit, 2013*.

67 Sachiko Kodama reputada artista Japonesa a nivel internacional, utiliza en su trabajo las propiedades cimáticas del sonido y las corrientes electromagnéticas (procesos periódicos de vibración), para desarrollar sus famosas esculturas cinéticas. Sus *Morpho Towers* (figura 128), *Protrude Flow* (figura 176) y *Waves and sea*, son un claro ejemplo de este tipo de esculturas.

Ambas técnicas descritas anteriormente (capítulos 7.6 y 9) en esta tesis, ofrecen múltiples vías de desarrollo, no solamente en el campo de la escultura contemporánea, sino también en el ámbito de la instalación.

La utilización de un chorro de un fluido oscilando, se puede hacer visible mediante la utilización de luz estroboscópica. A través de un encuadre de frecuencias podemos percibir los fluidos, como partes divisibles que efectúan movimientos no-newtonianos como es el ejemplo de la obra *Supermajor (figura 177)*. Aunque es un campo poco desarrollado, permite al artista jugar con la luz, sonido y vibración, para desarrollar discursos en los que los fluidos generan patrones espaciales.

El uso de ferro-fluidos, está muy implementado en el campo de la escultura cinética. La aparición de esculturas e instalaciones a las que se les aplica sonido (para generar figuras sobre su superficie), ha saltado a la escena internacional de la mano de Sachiko Kodama. En su trabajo aparecerá repetidamente el uso de procesos cimáticos sobre ferro-fluidos que dan lugar a esculturas de carácter dinámico, en las que la interacción y los procesos sonoros juegan un papel fundamental en la creación de estructuras espaciales. Además existen empresas⁶⁸ que fabrican por encargo y a medida, piezas escultóricas realizadas mediante magnetita u otros metales magnéticos, para la creación de esculturas cinéticas. En la práctica, existen innumerables aplicaciones de los procesos cimáticos, a la hora de generar creaciones en el ámbito de la escultura contemporánea.

En este capítulo se han presentado algunos ejemplos (en un contexto artístico), de las capacidades de distintos procesos cimáticos anteriormente desarrollados en la primera parte de esta tesis doctoral. Si bien pueden existir obras de carácter escultórico realizadas por otros artistas, este capítulo presenta las formas más representativas en cuanto a procesos desarrollados por artistas reputados de nivel internacional, así como por diferentes aplicaciones que he desarrollado yo mismo. La capacidad de crear esculturas o estructuras de carácter tridimensional que ofrecen los procesos cimáticos, abren otra ventana más al desarrollo de creaciones por parte de artistas, vinculando la relación entre arte y ciencia, a un proceso en el que la escultura se puede beneficiar de las características de este fenómeno y adoptarlo como una herramienta más en la construcción de diálogos creativos.

68 La empresa Supermagnete, genera piezas estandarizadas y por encargo, realizadas en magnetita para su utilización con ferro-fluidos. Supermagnete. (2012, Noviembre 28). <http://www.supermagnete.es/Aplicaciones-magneticas/Esculturas-cineticas>. En su página web podemos observar el trabajo realizado con sus creaciones, por el artista Francés Laurent Debraux.



Figuras 178. Escultura cinética de Nick Laesing en forma de un gran Armonógrafo, que genera figuras de Lissajous sobre un papel. En este caso podemos observar, como esta pieza puede considerarse tanto una escultura cinética o bien una instalación escultórica. La figura 177B, muestra una instalación sonora mediante diapasones que genera figuras de Lissajous con un laser. Imagen extraída de Gowen Contemporary.

17.3.- La instalación, la fotografía y el vídeo, en los procesos cimáticos

17.3.1.- La cimática y la instalación.

Es en la instalación, donde afloran todas las virtudes y capacidades creativas de la cimática como una herramienta en la creación artística contemporánea. La variedad creativa que hemos ido observando en los procesos cimáticos (tanto sobre planchas, papeles, telas, la materia, fluidos, esporas, etc.), dará rienda suelta a la capacidad creadora del artista con el fin de generar instalaciones, que requerirán del uso combinado de varias de estas técnicas en muchas ocasiones. En capítulos anteriores, (en los que se exponían diferentes herramientas para crear piezas artísticas), han quedado definidas diferentes técnicas en campos concretos como el dibujo, el grabado o la escultura. Muchas de estas herramientas, pueden utilizarse de un modo diferente y ser presentadas como una instalación (algunas obras como las de Matt Kenyon o Sachiko Kodama por ejemplo, pueden considerarse tanto esculturas como instalaciones). La línea que define la instalación y otro tipo de obras de arte, hoy en día es muy delgada y es justo en este apartado, donde aparece un gran potencial desde el punto de vista creativo.

El amplio ventanal de posibilidades creativas (de desarrollo personal), limita la adecuación de la cimática a una o varias técnicas concretas de desarrollo para la creación de instalaciones. A diferencia de lo que sucede con el dibujo, en esta tesis doctoral no se han desarrollado técnicas precisas para generar instalaciones⁶⁹ (de igual modo que no existen técnicas preconcebidas para el desarrollo de ningún tipo de instalación). No obstante se expondrán varios ejemplos significativos de trabajos y procesos experimentales realizados, con el fin de mostrar la capacidad y validez de los procesos cimáticos, en este campo de trabajo.

Como hemos visto anteriormente (*capítulo 7.1*), el desarrollo tridimensional que se genera cuando se hace oscilar una gota de un fluido sobre una plancha, puede servir perfectamente para generar un trabajo de instalación, en el que se desarrollen las estructuras de formación geométricas asignadas a los sonidos de las frecuencias que los generan. No obstante, es en el ámbito de las bañeras de vibración y los fluidos, donde aparece una gran capacidad, para desarrollar creaciones en el ámbito de la instalación

69 De nada serviría generar técnicas para la creación de instalaciones mediante procesos cimáticos, (cada artista desarrollará sus propios trabajos). Mientras que en otros campos como el dibujo, si es útil una tecnificación, el término instalación engloba un aspecto tan amplio de procesos artísticos, que la mera pretensión de acotar técnicas para la creación instalativa supondría una tarea banal.

El uso del sonido sobre fluidos contenidos, puede generar instalaciones sonoras en las que se crean estructuras geométricas debido al efecto de propagación rítmica de las ondas (artistas como Mikel Arce, Nicolai Carsten y el propio autor de la tesis, han desarrollado instalaciones en las que el sonido generaba ondas sobre fluidos contenidos en bañeras de vibración).

La aparición de un complejo abanico de estructuras geométricas según la forma, tamaño del contenedor y sonido generado, posibilitan la interacción entre disciplinas, jugando con la relaciones entre arte y ciencia.

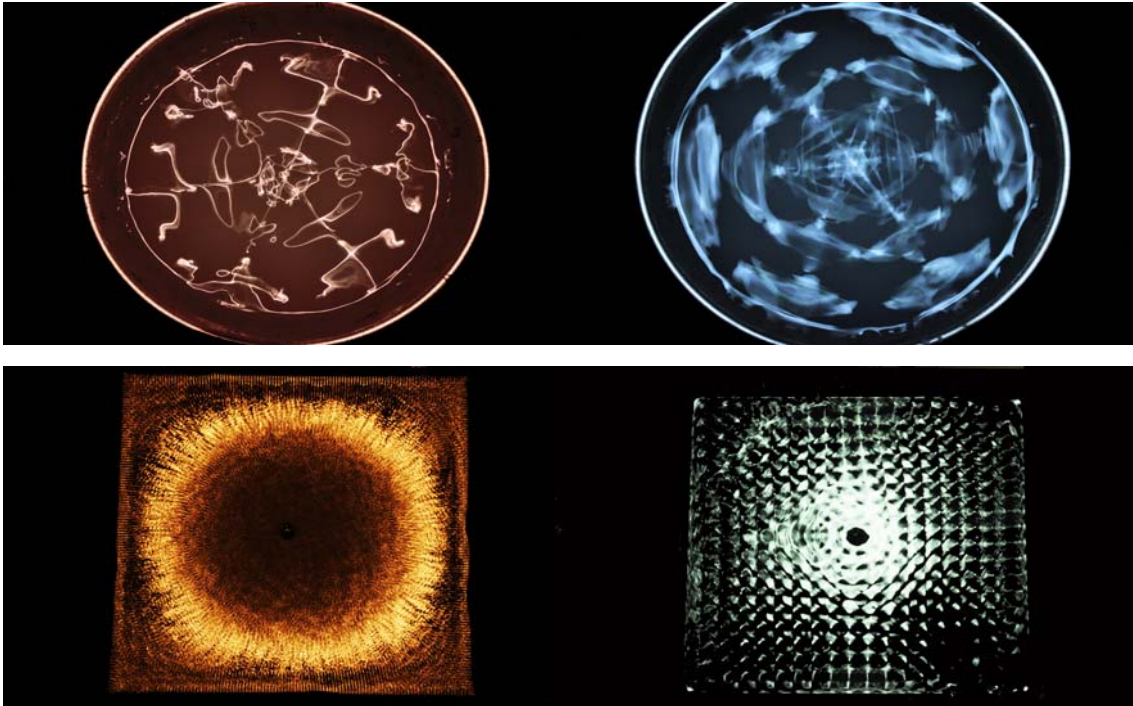


Figura 179. Estas cuatro fotografías muestran diferentes procesos de formación en bañeras redondas y cuadradas. El uso de diferentes líquidos y focos de luz genera un abanico de imágenes extraordinario. Imágenes del autor.

El uso de partículas metálicas como las limaduras de hierro, los ferrofluidos, las esporas de licopodio y los fluidos no-newtonianos (producidos como consecuencia de fenómenos sonoros o únicamente relacionados con los fenómenos periódicos), genera una gran cantidad de formaciones y figuras que pueden ser utilizadas en un contexto expositivo, en formato de instalación.

Como vimos anteriormente con el armonógrafo, la utilización del laser para generar figuras de Lissajous⁷⁰, es otro de los recursos que mediante los procesos cimáticos pueden ser utilizados en el contexto de la instala-

⁷⁰ Tanto en el cine como en proyecciones de video-jockeys, las figuras de Lissajous han estado muy presentes como fuente de efectos especiales.

ción sonora. Las múltiples actuaciones de la creación de figuras de Lissajous muestran la evidente adecuación de este proceso cimático, a la creación de instalaciones. La diversidad de trabajos que se pueden generar mediante el uso de la cimática, solo está ligada a la capacidad creativa del artista.



< *Figura 180. Instalación cimática de Alice Cunningham en la que genera ondas visuales sobre una película de agua depositada en una plancha de metal. Imagen de Alice Cunningham 2006.*

17.3.2.- La cimática en la fotografía y el vídeo.

La fotografía es un medio y una herramienta perfecta para la creación de trabajos y obras de arte a partir de los procesos cimáticos. A partir de la realización de una gran cantidad de instantáneas sobre la formación de figuras sonoras, aparece la posibilidad de introducir una nueva variante del dibujo, como es la animación mediante la técnica fotográfica del stop-motion.

Si tratamos las figuras Chladni generadas sobre planchas, las estructuras de formación que genera una gota oscilando sobre una placa y las figuras geométricas originadas por las ondas de propagación rítmica en una bañera de vibración, como elementos únicos de una serie, observamos que las figuras aumentan en complejidad a medida que aumenta el rango de frecuencias. Esta característica que se repite en todos los procesos cimáticos, permite la creación de películas en las que aparecerá la evolución de las estructuras de formación nodal, haciendo visibles los pasos intermedios entre figuras bien diferenciadas. Partiendo de esta premisa, cualquier artista puede generar un catálogo fotográfico sobre las estructuras nodales que se generan sobre la superficie de planchas o bañeras de vibración de cualquier formato (cuadrada, rectangular, circular, irregular, en forma de mariposa, etc.), y generar una pieza artística en la que se observe la evolución de las formas generadas por el sonido sobre la materia.

Como ejemplo de este tipo de trabajo, dentro del catálogo realizado para el *Anexo I* de esta tesis doctoral, se incluye una película⁷¹ inédita, generada mediante esta técnica que recopila la evolución de las figuras generadas entre el rango de los 100Hz y los 7000Hz, a intervalos de 10Hz. sobre una plancha rectangular de cobre. De esta forma se compendia en un film de aproximadamente 2 minutos de duración, unas 500 fotografías que muestran la evolución de las figuras que se generan mediante el sonido y sus fases intermedias.

En esencia, este tipo de trabajo puede permitir enfocar la creación de figuras sonoras (sobretudo en figuras amorfas e irregulares), como una herramienta audio-visual para mostrar la evolución de las estructuras nodales de formación sobre diferentes estructuras no poligonales. La técnica del Stop-motion además, tiene una gran capacidad de interacción con muchos otros procesos cimáticos como son las limaduras de hierro, ferro-fluidos y esporas de licopodio.

No obstante, la fotografía no sirve, únicamente, como herramienta para la creación de vídeos, sino que juega un papel fundamental a la hora de investigar los procesos dinámicos de este fenómeno físico. Por tanto la creación de instantáneas se torna fundamental tanto a nivel documental como a nivel artístico, generando fotografías de gran belleza a a partir de procesos invisibles al ojo humano (oscilación de una gota, creación de estructuras en fluidos, oscilación en un chorro de agua, etc.). La fotografía permitirá captar todas aquellas fases intermedias que el ojo humano no puede percibir por la alta velocidad⁷² de ejecución. Fotógrafos como Alexander Lauterwasser, han basado su trabajo artístico en el documentalismo de fotografías cimáticas sobre fluidos, generadas a partir de composiciones musicales de instrumentos y autores tan reputados como Mozart, Verdi o Bach.

El vídeo, también aparece como una técnica utilizada tanto para la documentación de los procesos, como para la realización de piezas artísticas (video-instalación). El uso de la cámara de vídeo para captar procesos únicos, fases intermedia o imágenes de gran belleza, permitirá al artista generar creaciones en las que mostrar diferentes procedimientos cimáticos. El Dr.

71 El proyecto "*Visual sounds of silence*", es un vídeo desarrollado mediante la técnica del stop-motion que dura 2'13". En él, se puede observar la evolución de más de 500 imágenes desarrolladas sobre una plancha de cobre de 25 x16.5 cm. y 0.5mm. de grosor con unas frecuencias de entre los 100Hz y los 7160Hz. El intervalo de frecuencia es de 10Hz.

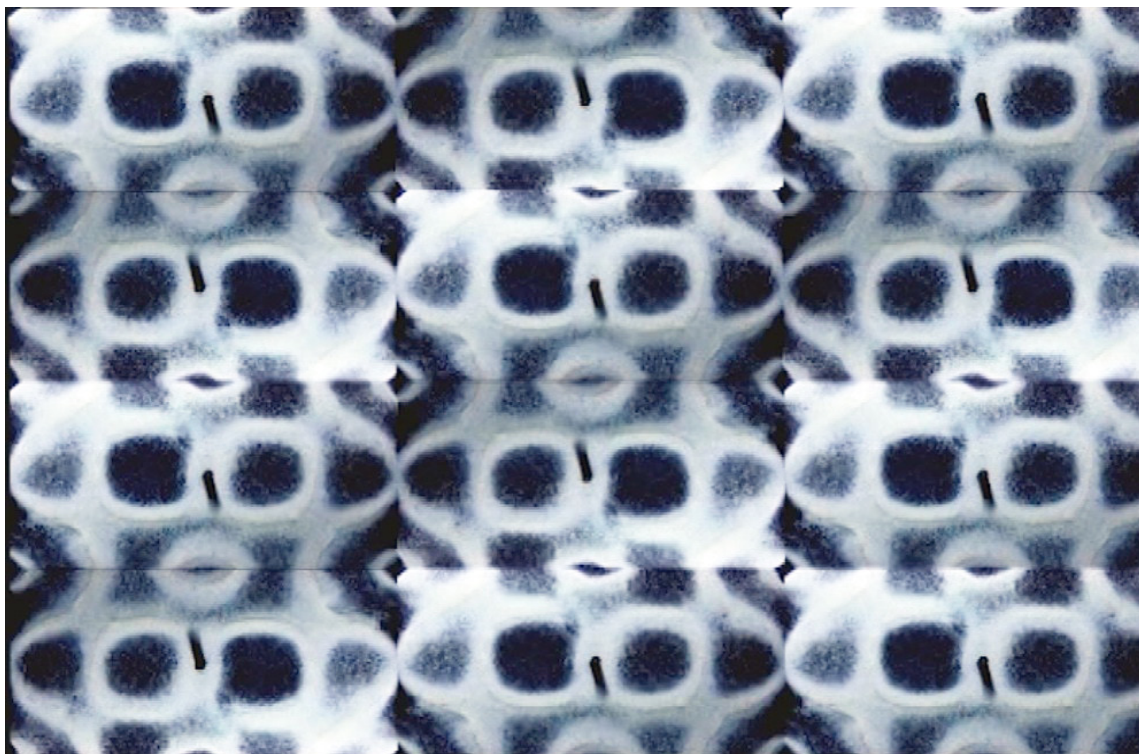
72 Hay que tener en cuenta que la velocidad de oscilación en la mayoría de casos es tan rápida que el ojo humano concibe el proceso como un único movimiento de dos fases, cuando realmente no es así. Cuando una placa de metal oscila a 200Hz, esta placa se mueve hacia arriba y hacia abajo 200 veces por segundo. Como respuesta a la limitada flexibilidad de los materiales esta oscilación adopta lo forma de una onda.

Hans Jenny, realizó un gran trabajo documental sobre los procesos cimáticos, en el que detalla visualmente cada una de los capítulos más importantes de su libro. De esta forma cada uno de los conceptos descritos y los procesos dinámicos representados, adquiere un poder visual superior.

De igual forma que en la instalación, no hay técnicas precisas para generar piezas artísticas mediante procesos cimáticos y el vídeo. No obstante, como este tiene la capacidad de reproducir los procesos dinámicos, permitirá al artista generar un gran compendio de representaciones (*figura 181*).



Figura 181. Esta secuencia de tres fotogramas, muestra la pieza Sputnik I. La videoinstalación sonora, crea un mosaico a partir del sonido generado por las ondas de radio emitidas por el Sputnik I, sobre una placa de cobre recubierta con arena. A medida que el sonido avanza, se genera un patrón geométrico sobre la pantalla, fruto de un proceso cimático. Esta obra fue presentada en la 8º muestra de artistas vinculados con la creación sonora del CCC Sant Agustí de Barcelona. 2012. Imágenes del autor.



17.4.- La pintura y los procesos cimáticos.

Durante el periodo experimental han aparecido varias técnicas para aplicar los procesos cimáticos sobre un concepto pictórico. De este modo habrá que entender la pintura como una herramienta para hacer visibles las figuras que se originan mediante el sonido.

Una de las técnicas desarrolladas para generar figuras, es la utilización de armonógrafos de gran formato o péndulos. Como hemos visto anteriormente (capítulo 17.1.4), mediante estos aparejos podemos generar figuras de Lissajous y permitirá la interacción entre la pintura y la formación de figuras. El uso de diferentes colores para generar figuras sobre una misma tela o papel, facilitará la creación de formaciones que pueden recordar a obras del expresionismo abstracto, de artistas como Jackson Pollock.



Figura 182. Estas dos imágenes muestran pinturas generadas mediante los procesos de péndulo simple generadas por el artista Gergory Scheckler. Winter 1989 y Autum Horizon, son dos claras muestras del proceso expuesto hasta ahora, Imágenes de Gergory Scheckler.

No obstante, es mediante el uso de pigmentos en polvo donde aparece una de las técnicas más innovadoras desarrolladas durante el proceso de experimentación. Al igual que en el Eidophone de Margaret Watts, con la construcción de un aparejo similar de gran formato, podemos generar estructuras de formación mediante la voz, utilizando pigmentos de colores (de un gramaje lo mas fino posible), que posteriormente se fijaran sobre la superficie de una tela o un papel.

De esta forma, tratamos a la pintura como una forma de crear mediante el color, utilizando tanto pigmentos (como lo hacia Rolf Julyus⁷³), como incorporándola como un material fluido (*figura 183*). El mismo proceso se puede generar mediante el uso de una mezcla de pintura fluida situada sobre una membrana de vibración.

Cabe destacar que para la obtención de estas pinturas, necesitamos un recipiente que haga de caja de resonancia (*figura 143*). Para su fabricación las cajas de resonancia pueden tener distintas formas (la mejor forma es la redonda ya que concentra la resonancia, sin ángulos que obstaculicen la propagación de las ondas). No obstante, la experimentación mediante otro tipo de estructuras de forma triangular, cuadrada o pentagonal, también aporta unos resultados cuanto menos curiosos.

Una vez fijada una tela sobre la superficie de la caja de resonancia, es necesario tensarla totalmente para que la propagación del sonido sobre su superficie sea uniforme. El siguiente paso a seguir, es depositar el pigmento en polvo o una pequeña cantidad de pintura en su superficie. El uso de diferentes boquillas para generar tonos con la voz, permitirá crear estructuras diferenciadas que van desde la formación de algunos patrones, a la formación de figuras orgánicas que recuerdan a las pinturas del expresionismo abstracto.

Si en esta práctica se utiliza pigmento en polvo, las marcas registradas deberán ser fijadas posteriormente a través de algún tipo de fijador en spray (con el debido cuidado de no erosionar la fina capa de polvo que forma las estructuras). Este tipo de actuación que se realiza habitualmente para fijar el carboncillo en dibujos sobre el papel, requiere de una gran habilidad para no dejar manchas de cola o zonas sin que esta se aplique correctamente. Contrariamente si se utiliza una solución líquida de pintura, las formaciones quedarán fijadas sobre la superficie como si se tratara de un lienzo normal. Cuando en ambos casos, quede la pintura seca sobre la superficie, podremos destensar y sacar la tela de la caja de resonancia con el fin de enmarcarla o pegarla en un bastidor de madera, para su exposición.

El uso de diferentes tipos de telas, o papeles tensados, afectara a la formación de estas estructuras y aunque es un proceso controlable, requiere de mucha precisión y pericia a la hora de respetar las variables de trabajo. No obstante, es difícil obtener resultados idénticos siguiendo las mismas premisas. Por ello cada una de las creaciones, será considerada una pieza

73 Rolf Julyus, es un artista que trabaja con la instalación sonora y la materia. Sus obras en las que la figura del altavoz cobra una gran importancia, están llenas de cromatismo gracias al uso de pigmentos y la pintura con la que da color a los propios parlantes.

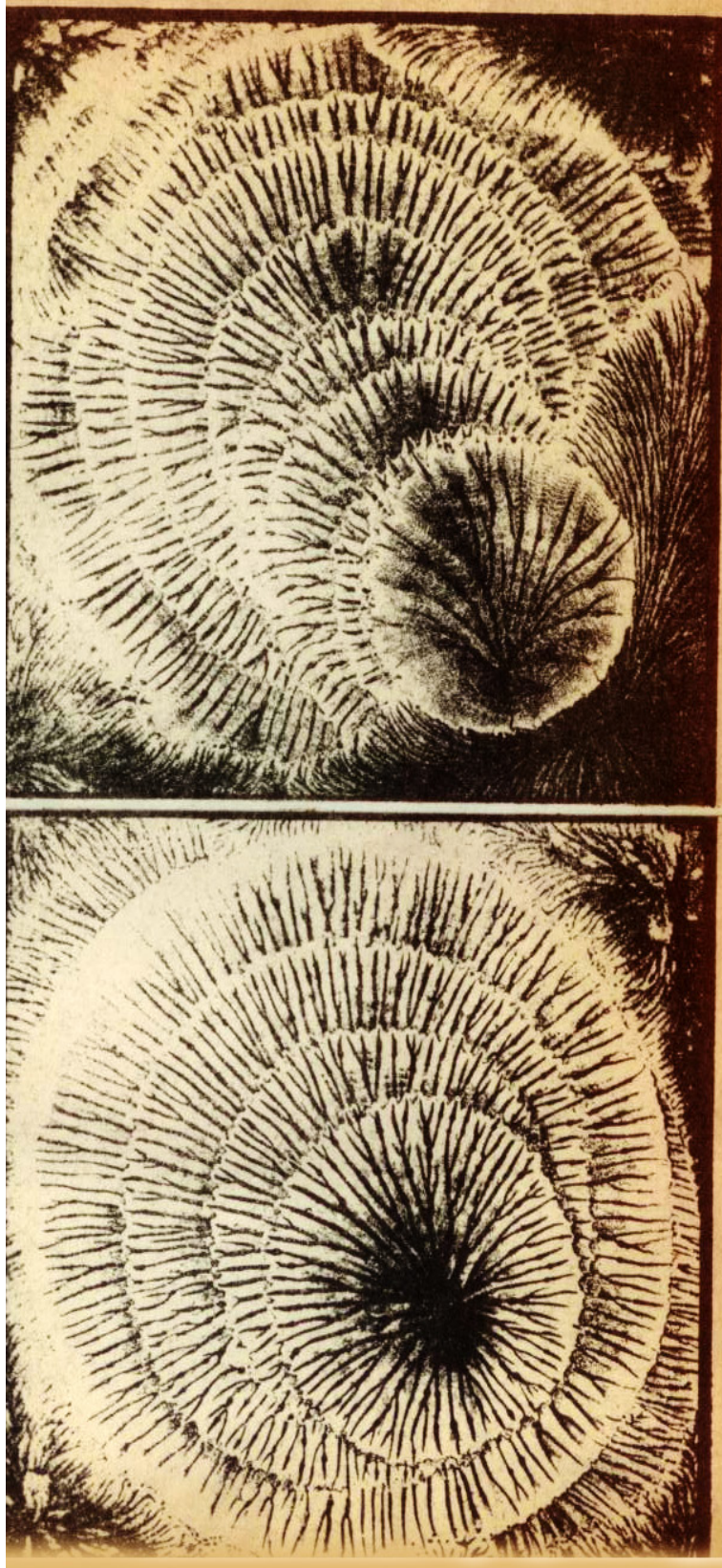


Figura 183. Imágenes generadas mediante una mezcla de fluido no newtoniano colorado sobre la superficie de un Eidophone de Margaret Watts. >

(Watts, 1904, 21)

Otro tipo de trabajo que podemos generar utilizando pigmentos en polvo o limaduras de hierro, se realizará mediante los altavoces. En este caso se tratará de un proceso en el que no se generará ningún tipo de patrón definido y el proceso pictórico es un tanto aleatorio. No obstante, es una forma creativa que ha generado buenos resultados a nivel experimental.

Rolf Julius, en ocasiones se ha servido de la propia estructura del altavoz para utilizarla como elemento creador en medios pictóricos (*figura 184*). Utilizando las ondas de sonido podemos formalizar a través de impulsos generados por el altavoz, un ejercicio de creación por expulsión de materia o por vibración sobre superficies vibrantes.

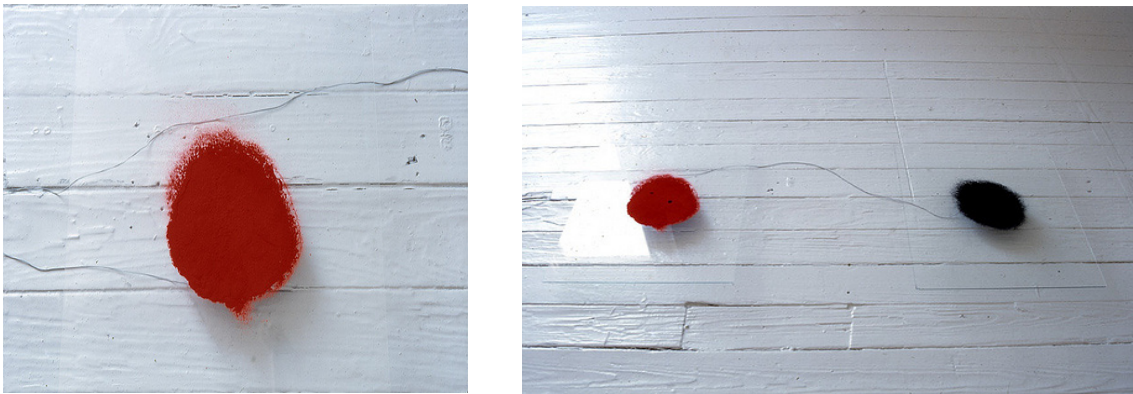


Figura 184. En estas imágenes observamos la obra Black Listens to Red (Piano Concerto), 1998 de Rolf Julius. El artista se vale de métodos pictóricos para generar la visualización de los procesos sonoros. En la imagen se aprecian dos altavoces que tienen sobre la superficie un metacrilato que contiene una masa de pintura. El sonido de la composición genera las formaciones sobre el metacrilato generando una instalación sonora con tintes pictóricos. Imágenes de Rolf Julius.

El uso de pigmentos expulsados desde el altavoz sobre el suelo o sobre una tela, puede generar un discurso pictórico en el que se mezcla la instalación y la pintura. Por otra parte el mismo proceso se puede generar utilizando elementos no propios de la pintura (como son las limaduras de hierro en polvo sobre una tela constantemente humedecida), propiciando que las partículas que caen sobre la tela y se depositan en su superficie, se oxiden debido a la reacción química y generen una coloración sobre la tela (*figura 185*). Este tipo de trabajo recuerda al generado por el artista chino Cai Guo-Qiang y su trabajo con pólvora quemada sobre telas.



Figura 185. Estas imágenes muestran diferentes procesos sonoros de exclusión de material generados por la interacción del sonido sobre las partículas de pintura en forma de pigmento y las limaduras de hierro. Imágenes del autor.

18.- La implantación de la cimática en el contexto artístico contemporáneo.

Cuando nos adentramos en el círculo del arte contemporáneo actual, podemos observar como artistas de alrededor de todo el mundo, empiezan a mostrar su interés por el desarrollo de piezas mediante los fenómenos cimáticos. Desde el punto de vista de la experimentación y la creación, podemos encontrar en plataformas audio-visuales como *Youtube* o *Vimeo*, muchos videos y creaciones de carácter experimental, desempeñados con experiencias cimáticas a nivel amateur. No obstante, entre los creadores profesionales también se está llevando a cabo una aplicación de estos procesos, para generar discursos plásticos en los que las ondas de sonido, intervienen de forma activa en la creación de estructuras.

En este apartado expondremos a los artistas más representativos (tanto en el ámbito artístico nacional como internacional), que han desarrollado su trabajo incorporando los procesos cimáticos en su discurso plástico. Analizaremos las obras y la trayectoria personal de Mikel Arce y Nicolai Carsten, debido a la relevancia e importancia de sus trabajos.

18.1.- Mikel Arce.

Cuando hablamos de la aplicación de la cimática en el panorama artístico Nacional, debemos enfocar nuestra mirada al trabajo y las obras de Mikel Arce, (artista y profesor de Bellas Artes en la Universidad del País Vasco). Sus trabajos han sido presentados y premiados en festivales y exposiciones de arte sonoro de carácter nacional e internacional. Durante su carrera (siempre ligada al sonido), ha trabajado como técnico de sonido en la película *Amor Brujo* de Carlos Saura y ha desarrollado de forma simultánea su labor docente y su vertiente creadora en el ámbito del arte sonoro. En el año 2004, crea una de sus más prestigiosas instalaciones llamada **WAV* (figura 186).

La primera obra que incorpora la utilización de procesos cimáticos es; **Wav*, una instalación sonora que trata de cambiar el proceso de audición por el de sensación. El espectador puede observar el ordenamiento de cuatro frecuencias 30, 50, 70 y 90 hercios, que se hacen visibles como patrones de formación de malla sobre la superficie del agua contenida en 4 planchas que actúan en forma de bañeras de vibración. La relación del cambio de los procesos audibles con los procesos visibles, interactúa constantemente en esta instalación de carácter minimalista en la que el agua se convierte en el elemento creador.



*Figura 186. *WAV, instalación cimática de Mikel Arce de 2004.*

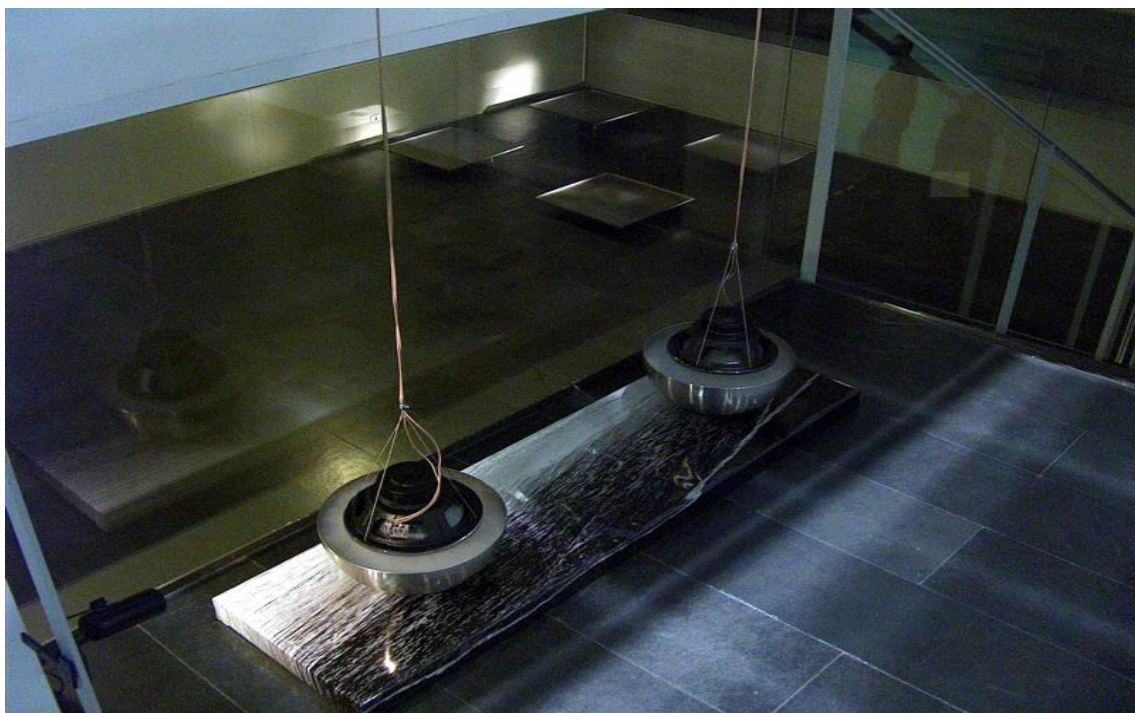


Figura 187. A Bruit Off Souffle, instalación sonora de Mikel Arce, 2006. Al fondo podemos ver las bañeras de vibración de su otra pieza WAV Imágenes de Mikel Arce.*

18.1.1.- Entrevista concedida por Mikel Arce.

En una conversación personal con Mikel Arce, le realicé algunas preguntas en forma de entrevista personal (sobre los procesos de creación en su trabajo, utilizando la cimática como herramienta de creación artística contemporánea), a las que respondió de la siguiente forma.

¿Mikel, que te llevó a incorporar la cimática en tu trabajo?

Una de mis preocupaciones en mi trabajo con el medio sonoro, ha sido la de explorar otras propiedades del sonido, aparte de su tono, timbre e intensidad. Busco su espacialidad y su dimensionalidad. Mi trabajo como artista, me condujo a dar soluciones creativas a hechos físicos que demuestran la realidad y materialidad del sonido.

En tu obra *Wav, ¿Cómo llegaste a la idea de representar un medio abstracto, como es el sonido y las ondas que lo forman, de una forma tangible y matérica?

El Altavoz como transductor, es capaz de transformar una energía por otra. Ha sido para algunos artistas sonoros como Rolf Julius y Carlsten Nicholai, una “pantalla” que utilizarán para visualizar sus representaciones sonoras, reconvirtiendo el proceso de transducción de la señal electroacústica, por imágenes

Esta transducción se realiza, como transductor electro acústico que es, convirtiendo la señal eléctrica sonora y analógica en energía mecánica, que hace vibrar el cono y la superficie de los altavoces electrodinámicos, produciéndose las ondas sonoras de frecuencias audibles, que se van a desplazar por el medio aéreo generándose así nuestra sensación sonora. Si esta energía generada en el cono del altavoz, es utilizada para generar movimientos o desplazamientos de cuerpos o partículas colocadas sobre este cono, visualizaremos sus desplazamientos o movimientos de estos cuerpos o partículas, correspondientes y análogos al sonido o vibración de la fuente sonora reproducida.

En el caso de *.WAV, siendo previamente conocedor del efecto y de su obviedad, la averiguación consistió, en eliminar o modificar la visualización del altavoz, y de cualquier otro elemento técnico, manteniéndose sin embargo como necesario y básico para su funcionamiento, pero superfluo para la obra en sí.

Intuí como solución la pantalla sonora para evitar la visualización del cono del altavoz (motor real de la obra), y emplear planchas metálicas por su capacidad de resonancia. Se colocarían centradas y soportadas por el propio altavoz y que tuviesen forma cóncava a modo de bandeja, pero con mínimos bordes, lo suficientemente altos para contener una fina lámina de agua.

Realicé pruebas a escala, con un pequeño altavoz en el que apoyé en este a modo de bandeja una lámina flexible de aluminio unida con silicona y adaptada a él, para evitar su desbordamiento por el agua y su caída. La intuición condujo a resultados acordes con esta: las ondas sonoras producidas por un programa básico de generación de tonos, NCH Tone Generator, se mostraban nítidas en la superficie líquida de la bandeja. Las vibraciones que se producirían en el cono del altavoz, se transmitirían a la propia bandeja, haciendo a su vez esta vibrar a cualquier partícula contenida en esta, determinando finalmente y como materia gráfica de estas bandejas, “el agua”, por su transparencia y en una cantidad mínima, con el fin de que en los momentos de reposo o ausencia de actividad ni siquiera se apreciase su presencia.

El objetivo debería de ser siempre el de mostrar lo contenido dentro de la bandeja (agua), restando importancia al contenedor, planteando de esta manera que la verdadera obra o lo que realmente se quiere mostrar. es la materia contenida que evolucionaría dinámicamente con el sonido que la modifica

Tanto en *Wav como en A bruit of souffle, utilizas diferentes técnicas cimáticas como herramientas en el campo del arte sonoro. ¿Ves un gran potencial en el uso de la cimática como una herramienta en la expresión artística contemporánea?

La Cimática nos permite transformar lo invisible en visible, la audición por la sensación de realidad material, por lo que se convierte en un medio para la exploración de los aspectos sonoros que muestran sus propiedades más cercanas al mundo real tangible. De esta forma, ofrecen al espectador experiencias sensoriales, en las que se propone una manera alternativa e inmersiva de percepción sonora y de simultaneidad sonoro-visual⁷⁴.

74 Entrevista personal, concedida por Mikel Arce a finales de Agosto de 2013.

En la instalación *A Bruit of Soufflee* del año 2005 (figura 187), el artista retorna a la experimentación con los procesos de creación a través de las ondas sonoras. El sonido de la respiración, es proyectado por unos grandes altavoces colgantes sobre unos recipientes que contienen nitrógeno líquido. El sonido proyectado sobre la condensación provocada, juega un papel creador de estructuras tridimensionales en el espacio. Aunque en dicha instalación no aparece la formación de estructuras geométricas regulares, utiliza el aire como medio transmisor de las ondas sobre un gas, generando estructuras de formación de remolinos, asociadas a los flujos y la dinámica de movimientos. Este tipo de vórtices también son generados en la mayoría de procesos cimáticos generados sobre fluidos (figura 75).

No obstante, es en el panorama internacional donde aparecerán más artistas que trabajan con la idea de transformar los procesos sonoros, en creaciones visuales sobre la materia. Si repasamos el contexto de la cimática en el arte contemporáneo internacional actual, pronto advertiremos que el fenómeno ha sido poco desarrollado y no es fácil encontrar exposiciones y piezas, que tengan relación directa con este fenómeno. En el ámbito internacional el caso más destacado es el de Nicolai Carsten, en cuya obra podemos encontrar un excelente trabajo basado en la repetición y las ondas de sonido.

18.2.- Nicolai Carsten.

Nicolai Carsten⁷⁵, es un artista multidisciplinar, nacido en 1965 en Alemania, que intenta plasmar en su trabajo un enfoque influenciado por los sistemas de referencia científicos, el mundo de los patrones matemáticos (redes/códigos) y utiliza el sonido en muchas de sus obras. Carsten, ha participado en importantes ferias internacionales como *Documenta X* y la *49 y 50 Bienal de Venecia*. Realiza exposiciones regularmente en la *Neue National galerie* en Berlín y en el *Haus Konstruktiv* de Zurich.

En sus trabajos aparecen procesos experimentales con el sonido, para crear su propio código de signos, símbolos acústicos y visuales. Dirige sus experimentos en el campo de la música electrónica, y realiza participaciones en festivales de música electrónica de reputación mundial como el SONAR, bajo el pseudónimo de Alva Noto⁷⁶.

75 Nicolai Carsten es elegido como sujeto de estudio en el panorama artístico internacional, debido a que es el artista de más prestigio que ha presentado piezas cimáticas en los más importantes centros de arte y museos de todo el mundo. Carsten, N. (2012, Octubre 26). desde <http://www.carstennicolai.de/>

76 Noto, A. (2012, Octubre 26). <http://www.alvanoto.com/>



< Figura 188. Esta imagen muestra la obra *Antem*, de Nicolai Carsten. En ella podemos observar los patrones que origina el sonido sobre la superficie del agua contenida en los matraces de cristal. Imagen de Nicolai Carsten.

Figura 189. Esta imagen muestra la pieza *Milch* de Nicolai Carsten, en la que se observan los patrones generados por el sonido con bajas frecuencias sobre leche. Imagen de Nicolai Carsten. >

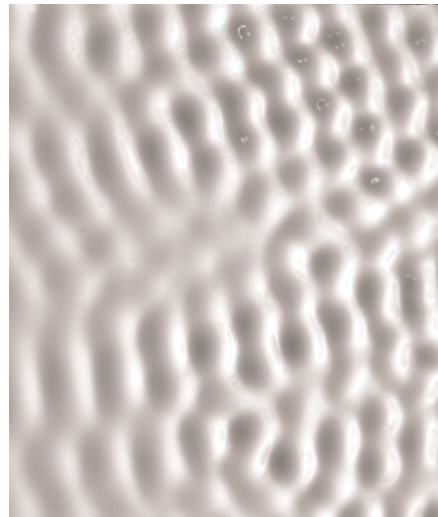
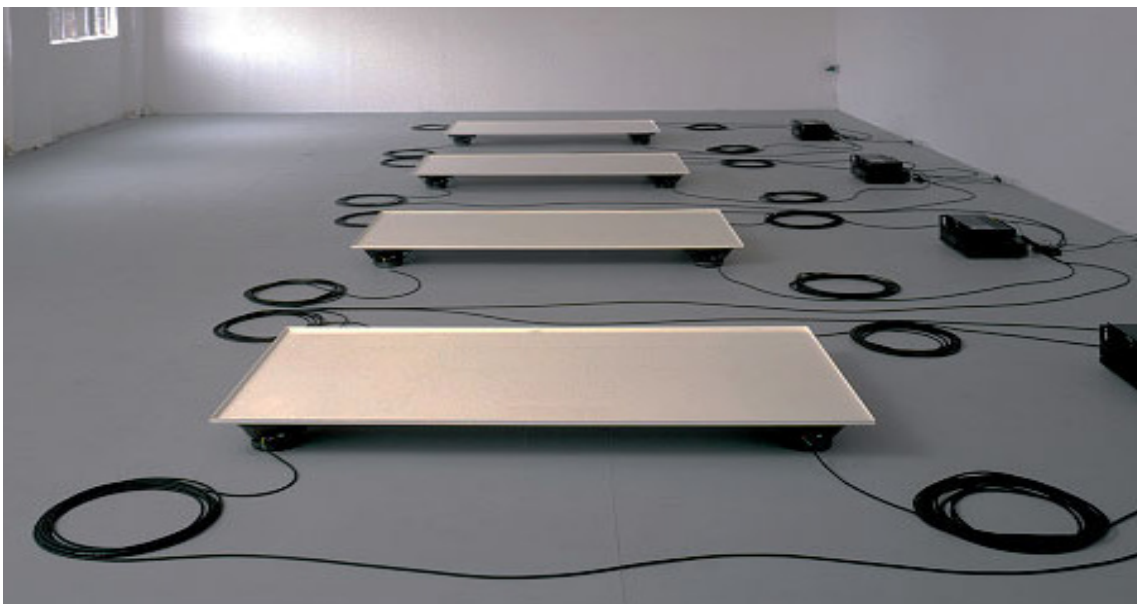


Figura 190. Imagen de la instalación sonora *Wellenwanne* de Nicolai Carsten, en la que aparecen 4 bañeras de vibración en las que se generan estructuras de malla sobre la superficie de fluidos mediante ondas sinusoidales.



Ha presentado sus piezas audiovisuales en los museos Solomon r. Guggenheim Museum de Nueva York, San Francisco Museum of Modern Art, el centro Pompidou de París, Kunsthaus Graz o la Tate Modern de Londres. Además realiza proyectos con artistas tan diversos como Ryuichi Sakamoto, Ryoji Ikeda o Michael Nyman.

Carsten⁷⁷, adopta una clara vocación de plasmar las ondas del sonido sobre la materia, en instalaciones como *Frozen watter* del año 2000, en la que las vibraciones ejercidas por el sonido crean en el interior de jarrones de cristal que contienen agua, estructuras de onda mediante el uso de bajas frecuencias. Aunque en su dilatada carrera, solamente realizara varias piezas mediante procesos cimáticos, su trabajo servirá de influencia a muchos otros artistas.

Sus cuatro piezas generadas mediante procesos cimáticos en el año 2000 son, *Antem*, *Milch* y *Froxen watter*. En el año 2001 crea *Wellenwanne*, su última creación en la que genera mediante procesos cimáticos creaciones sobre la materia.

La obra *Antem* de Carsten (*figura 188*), es una instalación sonora presentada en la Bial de Liverpool 1999. El proyecto está enmarcado en los antecedentes históricos de Liverpool y presenta una intensa exploración del entorno humano. Las vibraciones físicas del sonido afectan a las personas y a los objetos que están en una habitación. Mediante el uso de las vibraciones, se hacen visibles (en el interior de dos frascos de vidrio llenos de agua, que reciben el tono de una onda sinusoidal que es emitida por nueve altavoces integrados en el suelo de la habitación), patrones de malla sobre la superficie de los fluidos. El sonido viaja a través del suelo y la vibración se propaga sobre la superficie de agua contenida en los matraces. El movimiento de los visitantes también cambia la resonancia de la planta y afecta a los patrones de ondas de la superficie del agua contenida por el vidrio. La pieza *Frozen watter* (año 2000), presenta una variante de la obra *Antem* con muchas similitudes plásticas.

Milch (*figura 189*), es una obra basada en la leche y una serie de experimentos, que examinan la relación entre el orden y el desorden, por medio de una superficie de un líquido que se encuentra bajo la influencia de diferentes frecuencias. La leche fue expuesta a las ondas sinusoidales que van de 10 a 150 Hz.

⁷⁷ Durante el desarrollo de esta tesis doctoral, se ha intentado contactar en varias ocasiones con el artista para la realización de una entrevista personal, que ayudase a comprender el uso de la cimática en su obra. No obstante, su secretario Daniel Klemm me remitió a la información oficial de su página web, debido a la no disponibilidad del artista.

Esta serie de ensayos aparece como una estructura visual en movimiento de forma permanente y presenta la interrelación directa entre las señales acústicas y patrones visuales que se hacen visibles. Este complejo fenómeno produce una interacción de patrones regulares y formaciones caóticas que también se pueden comparar con las interferencias de la señal acústica en un espacio tridimensional.

Carsten completa su trabajo mediante procesos cimáticos con la obra *Wellenwanne*, (2001/2003/2008), una instalación que está concebida como un modelo de ensayo, consistente en bandejas planas de aluminio que se llenan con agua (*figura 190*). Cada una de ellas descansando sobre cuatro altavoces, que transmiten las composiciones de sonido a través de vibraciones en la superficie del agua (obra muy similar a *WAV** de Mikel arce).

“Las diversas piezas sonoras de Wellenwanne, son inaudibles en parte y varían para cada una de las bandejas, de manera que las señales de sonido generan diferentes patrones de interferencia. Basada en las propiedades físicas inusuales del agua, este modelo estético-científico, aplica fundamentos del área de la física de partículas, presentando la cuestión de cómo las frecuencias de sonido (como una forma de energía), son capaces de modular las partículas”

(Carsten, N. 2008)

Todas las obras creadas por Carsten, muestran la capacidad de creación que surge de la interacción entre el sonido con la materia y han servido de inspiración, para otros muchos artistas que han seguido con la experimentación en este campo de trabajo.

“Siempre he tratado de hacer una distinción conceptual entre mis actuaciones en vivo y mis instalaciones. La actuación tiene una duración limitada y por lo tanto un comienzo y un final, en el que quiero expresar el aspecto físico del sonido. Cuando creo mis instalaciones, por el contrario, estoy interesado en la ampliación de la duración. En primer lugar, no hay necesidad de que yo esté presente, y en segundo lugar, cualquier persona puede decidir venir y apreciar la obra en cualquier momento. Además, en una instalación estoy buscando generar en el espectador una experiencia de intensidad constante, en absoluto “dramática” o discontinua en el rendimiento. Mis instalaciones pueden ser comparadas con mesetas, no con crestas que van precipitadamente hacia arriba y abajo.”

(Carsten, N. 2012)

18.3.- Otros artistas destacados que trabajan con cimática.

Otro importante artista nacido en Suiza de prestigio internacional, es Nick Laessing. Su trabajo influenciado por los fenómenos sonoros, ha sido desarrollado bajo la forma de esculturas sonoras e instalaciones. Su trabajo más destacado en el ámbito de la cimática es la creación de *Spatial Harmonics and voice figures* (figura 175), una pieza influenciada por la creación de patrones geométricos mediante la voz (basada en la obra del Eidophone, de Margaret Watts Hughes) y la formación de figuras de Lissajous (a través del movimiento pendular), mediante la construcción de armonógrafos de gran formato (figura 178). En el año 2009 crea *Artissima*, una instalación en la que se hacen visibles las figuras de Lissajous (figura 178), generadas por diapasones en estado de resonancia. Su obra ha sido expuesta en importantes galerías de Europa y EEUU.

Recientemente la prestigiosa artista conceptual Coreana Lisa Park, ha desarrollado un proyecto llamado *Eunoia* (2013), en el que se generan sobre diferentes bañeras de vibración circulares que contienen agua, formaciones nodales sobre la superficie de los fluidos. Estas formaciones se generan a través de sus propias ondas cerebrales⁷⁸, recogidas y transformadas en impulsos sinusoidales (figura 191). La estética de la obra, coincide con una de mis propias instalaciones (*Pulsar*⁷⁹), proyectada en 2012 y expuesta a lo largo del año 2013 (figura 200).



Figura 191. Las imágenes muestran la instalación *Eunoia*, creada en 2013 por la artista conceptual Lisa Park. Imágenes de Lisa Park.

78 La instalación está inspirada en la famosa obra realizada por Alvin Lucier; *Music for solo performet*, en el año 1965.

79 La obra *Pulsar*, se crea en el marco de la beca de investigación recibida por Sala D'art Jove de la Generalitat de Catalunya y es expuesta en el festival de Arte Micro 2013 de Huesca, en la Galería ATM Contemporany de Gijón y en la Fundació Tàpies de Barcelona.

Cuando hablamos del uso de ferro-fluidos en la escultura y la instalación (*capítulo 9*), hemos de mencionar la obra de la artista nipona Sachiko Kodama. Sus trabajos con las *Morpho Towers* (2011), *Protrude Flow* (2001/2008) y otras piezas del mismo carácter, son claros ejemplos del uso del sonido sobre la materia y las formaciones que esta genera (*figuras 142, 176*).

Rolf Julyus, también es uno de los primeros artistas vinculados a la creación sonora que incorpora la utilización de las ondas de sonido sobre la materia. De esta forma genera un discurso plástico propio (aunque está lejos de la creación de figuras y patrones), entre la instalación sonora y el colorismo del mundo pictórico. Un ejemplo de ello es su obra; *Black listens to red piano concert*, del año 2008 (*figura 184*).

Otro importante artista a nivel internacional que recientemente ha desarrollado una pieza utilizando los fenómenos periódicos de vibración, es el norteamericano, Matt Kenyon. Su obra *Supermajor* (*figura 177*), se vale del uso de la interferencia entre las oscilaciones de una luz estroboscópica y un fluido para generar un efecto visual sobre la materia.

Evan Grant y Alice Cunningham (ambos artistas del Reino Unido), también han desarrollado alguna pieza concreta en su trabajo, utilizando las mismas premisas que Carsten. Podemos observar las similitudes entre sus instalaciones (*figura 180*) y las de Carsten (*figura 190*).

Dona Legault, artista Canadiense utiliza los procesos cimáticos para generar una pieza en su discurso plástico y ha creado su obra *Cymatic Imprints*, presentada en EMEDIA (*figura 192*). Gabriel Dunne, otro artista Americano, utilizará la cimática en al menos una de sus instalaciones, *Cymatic Organ* (*figura 193*).

De gran reputación en ámbitos cimáticos, es la obra de Alexander Lauterwasser. Su trabajo publicado en forma de libro didáctico, trata de desarrollar a través de la fotografía formaciones nodales sobre la superficie de fluidos. Su trabajo, aunque dotado de gran calidad visual, no ha sido explotado en una vertiente puramente artística y ha dedicado sus esfuerzos en la difusión del fenómeno a través de la divulgación científica.

Existen artistas de menor repercusión a nivel internacional, como el pintor Gergory Scheckler, que genera pinturas de carácter expresionista, mediante el uso de armonógrafos y péndulos, (como hemos visto anteriormente *figura 182*). En el mismo ámbito de trabajo, Ray Pierotti (artista plástico nacido en EEUU), también utiliza las estructuras de las figuras generadas mediante procesos cimáticos, para generar su obra pictórica.

Aunque se torna una tarea compleja encontrar artistas que hayan trabajado con procesos cimáticos (debido a que aún es una herramienta poco utilizada en el campo de las artes y que no se engloba en ninguna categoría concreta de trabajo, como el audio-visual/la instalación sonora, etc), el nivel de creaciones de artistas de menor reputación, aumenta con nombres como los de Arnold Marko y Kelemen Gabriel. Ambos artistas, dedican su trabajo a la experimentación audiovisual. La obra de Jodina Meehan (que genera figuras Chladni sobre papel), o el trabajo mediante armonógrafos de artistas tan variados como Edmund Eva, Dan Doods, Adrian Gölner o Anita Chowdry, hace que el fenómeno de la cimática en todas sus diferentes disciplinas, aumente su visibilidad en el contexto artístico internacional.

Es probable que exista un número mayor de artistas que están trabajando en la actualidad mediante técnicas cimáticas, con el fin de incorporarlas en sus respectivos trabajos. No obstante, en el interior de este trabajo, se exponen a los autores más prestigiosos y representativos (tanto a nivel nacional como internacional) y su obra, con el fin de mostrar que aunque la presencia de los fenómenos cimáticos en el contexto del arte contemporáneo, es a día de hoy un fenómeno reducido, el impacto generado a través de sus piezas, está teniendo una importante repercusión. Prueba de ello, es el aumento en la aparición de piezas desde el año 2000 hasta la actualidad y su exposición en prestigiosas galerías, ferias de arte y museos de alrededor del mundo.



< *Figura 192. Esta imagen muestra la instalación de Dona Legault. Mediante el uso del sonido generado por ondas acústicas, crea sobre la arena del suelo un registro. Imagen de Legault.*

Figuras 193. Esta imagen muestra la instalación de Gabriel Dunne. Podemos observar la formación de estructuras nodales en el interior de los conos del altavoz. Dunne. >



19.- Obras realizadas por el autor, presentadas en Festivales y Galerías de arte.

Durante toda la fase de investigación y experimentación artística desarrollada en el transcurso de estos últimos tres años para realizar esta tesis doctoral, ha surgido una inevitable conexión entre el proceso experimental y mi trabajo personal, como artista multidisciplinar.

Este apartado pretende presentar algunas de las instalaciones y obras de arte mostradas en diferentes espacios, festivales de arte sonoro y galerías, con el fin de culminar la investigación sobre la idoneidad de los procesos cimáticos y su uso en el contexto artístico contemporáneo.

19.1.- Undermine, Iron filings.

Durante el año 2009, en el que ya estaba inmerso en la planificación del anteproyecto de la presente tesis doctoral, recibí la beca de artes plásticas de la Fundación Botín de Santander para cursar un taller con el artista de reconocido prestigio internacional Jannis Kounellis. En dicho taller realizado en la sede de la fundación Botín en Santander (durante un periodo de quince días), presenté el primer proyecto relacionado con el sonido, que finalmente se materializó en Noviembre del mismo año en un nuevo encuentro con los participantes del taller y el propio Jannis Kounellis, amparado por la galería ATM Contemporary⁸⁰ (galería Altamira de Gijón).

Para la ocasión se presentó el proyecto *Undermine, iron filings I*. Una instalación sonora con una relación directa con la ciudad de Gijón y su entorno minero. Se efectuaron para su desarrollo, grabaciones en diferentes minas y se compiló una pieza acústica de diez minutos de duración.

La instalación (*figura 194*), consistía en un gran altavoz recubierto de limaduras de Hierro, un material ligado a los procesos mineros. Durante el transcurso de la pieza, el altavoz jugaba un papel dual de atracción y repulsión generado por las ondas de sonido y el electromagnetismo del propio altavoz. De esta forma poco a poco las limaduras de hierro iban siendo proyectadas hacia el exterior, permitiendo una mayor capacidad de audición de la pieza. No obstante, el sonido nunca se puede escuchar con la mayor calidad posible, debido a que el magnetismo generado por el altavoz, nunca deja que la membrana del parlante se vacíe por completo, (dando la sensación de estar enclaustrado o enterrado).

80 ATM Contemporary. (2013, Enero 19). <http://www.galeriaaltamira.com/>. La galería Altamira ubicada en Gijón, es la segunda galería más antigua de España.

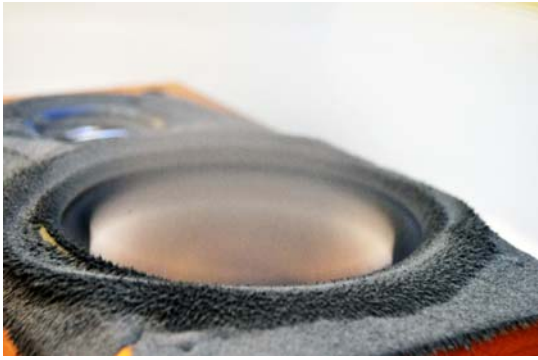




Figura 194. Estas imágenes muestran la instalación Undermine, iron Filings I (2009/2011). Observamos todos los detalles de los procesos de eyección de material y de atracción debido al magnetismo. También se puede apreciar como las partículas de hierro adquieren polaridad cuando caen sobre el altavoz, debido al magnetismo acumulado. La pieza con una duración de diez minutos reproduce los sonidos del interior de una mina, herramientas, maquinaria, respiraciones, etc. Imágenes del autor.

Durante el transcurso del proceso sonoro, se generaban figuras geométricas sobre las limaduras de hierro depositadas en el cono del altavoz (así como en las expulsiones de material). En las eyecciones también aparecen formas poligonales en el espacio tridimensional.

A través de la experimentación y el análisis de los fenómenos cimáticos, han aparecido una ingente cantidad de imágenes de gran belleza, relacionadas con la formación de estructuras nodales (en forma de instantáneas), que en cualquier momento pueden ser utilizadas en diferentes formatos expositivos. Algunos ejemplos de ello, son las figuras 79, 83, 97.

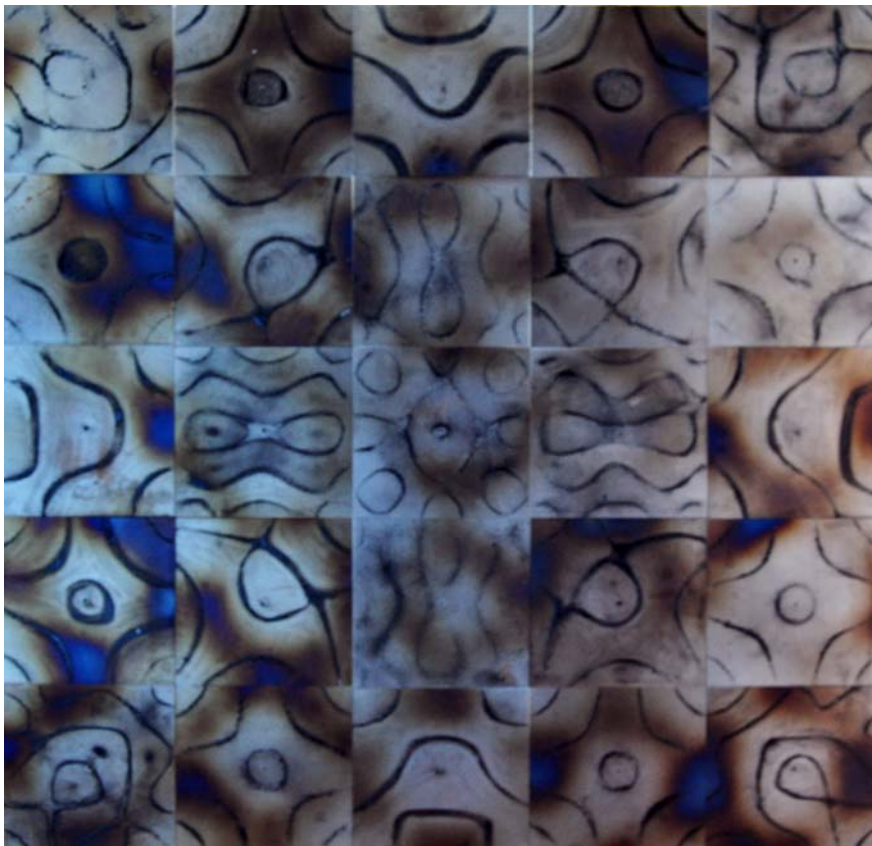
19.2.- Confronted Figures, Confronted Sounds.

Confronted Figures, Confronted Sounds, es un proyecto relacionado con la creación modular a través de la composición de patrones geométricos de gran tamaño (en forma fractal, a partir de piezas o estructuras menores), sobre las que se han formado figuras Chladni, utilizando sonidos del Cosmos.

Este trabajo basado en la técnica desarrollada en el capítulo 17.1, me ha permitido experimentar y generar composiciones variadas a través de sonidos diferentes. Las dos piezas aquí presentes (*figura 195*), están desarrolladas mediante sonidos recopilados por las sondas espaciales (sonda Cassini y telescopio Kepler). El proceso de transformación de las ondas de radio en ondas sonoras, ha posibilitado la creación de estas piezas, presentadas en la galería *Art EKA Gallery* de Madrid.

Este tipo de trabajo tiene como objetivo generar de una forma matérica, representaciones abstractas del sonido del cosmos (en este caso generado por la rotación de pulsares, estrellas y sonidos generados por las atmósferas de otros planetas). *Xi Hya I (figura 194)*, es una composición de 25 planchas de hierro sobre un bastidor de madera 100 x 100 cm. que muestra el pulso generado por las ondas de radio de la estrella Xi Hya I. Estas ondas son captadas por el telescopio Kepler de la NASA y transformadas en figuras sonoras. El sonido generado, se convierte en figuras Chladni que son fijadas mediante betún de Judea, para generar la pieza final. Cada una de las obras, forma parte de una composición final que puede mostrarse en diferentes formatos (*figuras 165*).

Figura 195. Imagen del autor. >



La segunda de las dos imágenes, Cassini XXV (*figura 196*), muestra una composición de 25 planchas de hierro sobre un bastidor de madera, con las 6 frecuencias predominantes obtenidas a partir de la grabación que la sonda Cassini realizó sobre la atmósfera de Saturno. Cada una de las seis frecuencias genera patrones Chladni diferenciados, que son ubicados de una forma determinada para acabar formando una estructura geométrica final.

Ambas piezas han sido desarrolladas para ser confrontadas entre sí y los respectivos sonidos que las han creado, para crear una sensación que relacione forma/figura con el sonido y su abstracción.

19.3.- Sputnik I. Sound and Plates.

Otro tipo diferente de piezas que se pueden generar y han surgido en el ámbito de la creación cimática son las videoinstalaciones. En el año 2013 se presentó en la *8ª muestra de artistas vinculados con la creación Visual y Sonora del CCC Sant Agustí de Barcelona*, una pieza audiovisual con referencias, una vez más, al trabajo con los sonidos del universo (tanto esta pieza como la *figura 195*, engloban un trabajo mayor desarrollado bajo el nombre de *Geometrías del Cosmos*).

Sputnik I, Sound and Plates (figura 181), es una video-instalación consistente en un Loop de 2 minutos de duración que muestra la formación de una figura geométrica mediante arena, sobre una plancha de cobre. El patrón es generado por el sonido del primer satélite artificial lanzado al espacio, el Sputnik I. Mientras el “beep beep” generado por el satélite suena, aparece la estructura nodal sobre la plancha. Esta grabación editada en multi-pantalla, genera un patrón geométrico mayor (formación fractal), que se va formando lentamente hasta que un sonido de interferencia lo destruye y empieza de nuevo.

Una vez más aparece la relación entre forma/figura y sonido/abstracción que pretende generar sensaciones físicas (potencia de las ondas sonoras) y visuales sobre el espectador. Esta vídeo-instalación, estaba preparada para ser proyectada sobre una de las cúpulas del antiguo convent de Sant Agustí de Barcelona y fue expuesta en Junio de 2012 en dicho centro.

No obstante, ha sido en este último año (2013), donde la explosión del trabajo experimental llevado a cabo para desarrollar la tesis, ha engendrado los mejores proyectos (recibiendo prestigiosas becas como la de Sala d’Art Jove de la Generalitat de Catalunya).

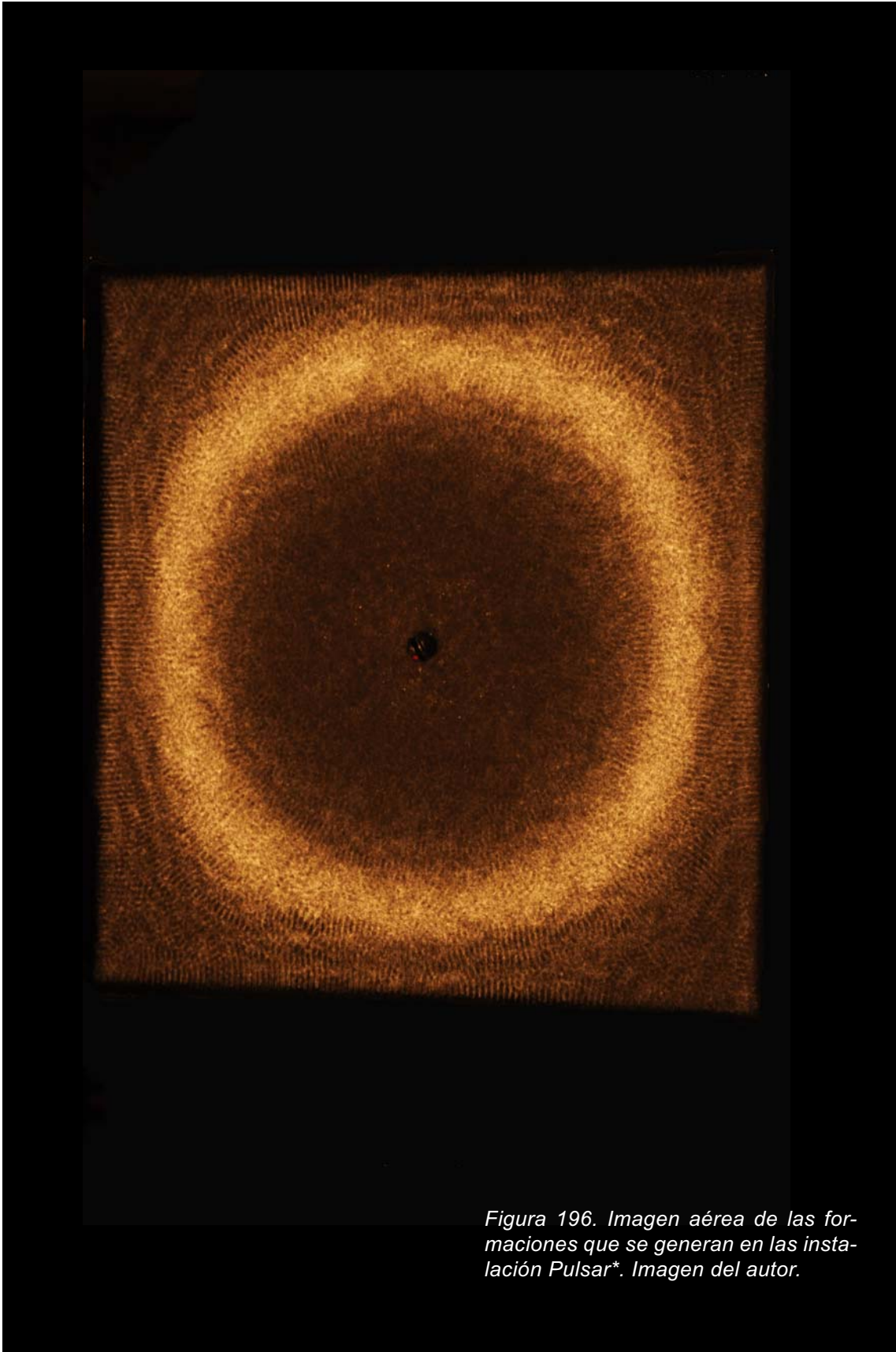


Figura 196. Imagen aérea de las formaciones que se generan en las instalaciones Pulsar. Imagen del autor.*



Figuras 197. Estas fotografías muestran diferentes perspectivas de la instalación MICRO Pulsar, presentada en el festival de arte MICRO de Huesca en 2013. Imágenes del autor.*





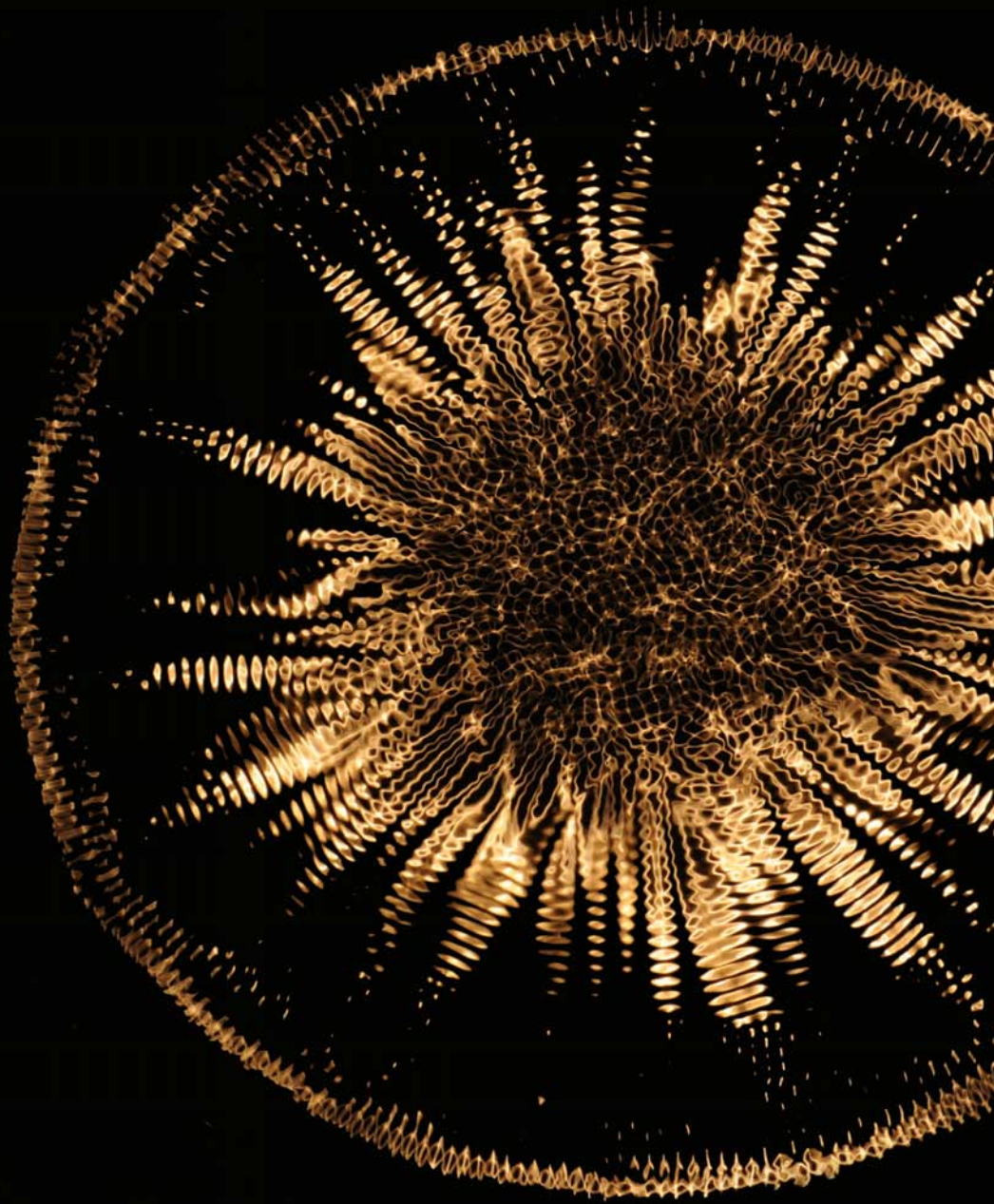




Figura 198. Imagen aérea de las formaciones que se generan en la instalación Pulsar Project. Imagen del autor.*



Figura 199. Imagen aérea de las formaciones que se generan en las instalación Pulsar Project. Imagen del autor.*

La mayor parte de mi trabajo artístico, está enfocado hacia la instalación sonora y la video-instalación. A día de hoy, algunas obras realizadas con cimática ya han sido expuestas en festivales de arte emergente como: *MICRO 2013* de Huesca, la apertura de la temporada artística en la noche Blanca de Gijón en la *Galería ATM CONTEMPORANY* y finalmente como proyecto expositivo de Sala d'Art Jove en la *Fundació Tàpies* de Barcelona (15 de Noviembre al 15 de Diciembre de 2013).

19.4.- Pulsar Project*.

*Pulsar Project**, es un trabajo englobado dentro del proyecto Geometrías del Cosmos. Esta instalación está formada por una pequeña pieza realizada para el festival de arte *MICRO 2013* de Huesca (piezas de menos de 1 metro cuadrado). Como podemos observar en las imágenes (*figuras 197-198*), consta de un altavoz modificado, ubicado en una cobertura realizada a medida (caja de madera para realzar el efecto de la resonancia), al que se le ha soldado una bañera de vibración sobre la superficie. Mediante una composición sonora (creada por el sonido de un pulsar), se proyectaban ondas sonoras sobre una cantidad de fluido contenido en la bañera, generando estas espectaculares imágenes.

La dualidad creada entre audición y sensación contrasta con las imágenes que aparecen sobre la superficie del medio elástico.

19.5.- Pulsar

Pulsar es una pieza basada en el concepto de *Pulsar Project** (rediseñada con 8 altavoces y planificada para un espacio concreto, tanto de la *galería ATM* de Gijón como de la *Fundació Tàpies* de Barcelona). Viajó en Septiembre de 2013 para la apertura de la temporada expositiva, en la noche Blanca de Gijón. En Noviembre de 2013, también ha formado parte de la exposición colectiva *FUGA, variacions sobre una exposició*, de los participantes becados por *Sala d'Art Jove*⁸¹ en la *Fundació Antoni Tàpies* de Barcelona.

Para su elaboración se confrontarán un vídeo (sin audio), en el que se generan estructuras nodales de formación geométrica sobre fluidos (*figura 199*), con una instalación que alberga ocho altavoces sobre largos maderos, en los que a partir de sonidos de diferentes pulsares se generarán, estructuras visuales, sobre la superficie de bañera que contienen agua (*figura 198, 200, 201 y 202*).

81 *Sala d'art Jove* es un espacio de la Generalitat de Catalunya, para desarrollar el trabajo creativo de los jóvenes i la promoción del arte emergente. Sala d'art Jove. (2013, Marzo 25). <http://saladartjove.cat/>

La instalación, está acompañada de fotografías impresas en formato positivo de los procesos de formación nodal sobre fluidos y planos detallados del proceso creativo. Todos estos trabajos son el resultado de muchas horas invertidas en desarrollar procesos de experimentación, que han dado como fruto diferentes técnicas para la implementación de la cimática en el contexto artístico contemporáneo.

Si bien algunas piezas generadas, no se exponen en este apartado (debido a su componente audio-visual, no tiene sentido plasmar instantáneas de videoinstalaciones de larga duración), las creaciones con fines expositivos han alcanzado un nivel de madurez y calidad, que permiten ser expuestas en centros de primera talla internacional, como es la *Fundació Tàpies*.

El verdadero reto a partir de ahora, es generar un discurso plástico íntegro a partir de los procesos cimáticos en general y su divulgación (tanto en centros de arte contemporáneo, galerías y museos, como en la formación reglada de artistas), para la aparición de mas obras de este tipo.

La exposición de estas obras de arte (realizadas íntegramente mediante procesos cimáticos), tanto en galerías de prestigio internacional como en centros de arte como la *Fundació Tàpies*, avalan la hipótesis planteada desde el comienzo de este trabajo y reafirman la necesidad de la implantación de la cimática, como una herramienta para la creación artística contemporánea.

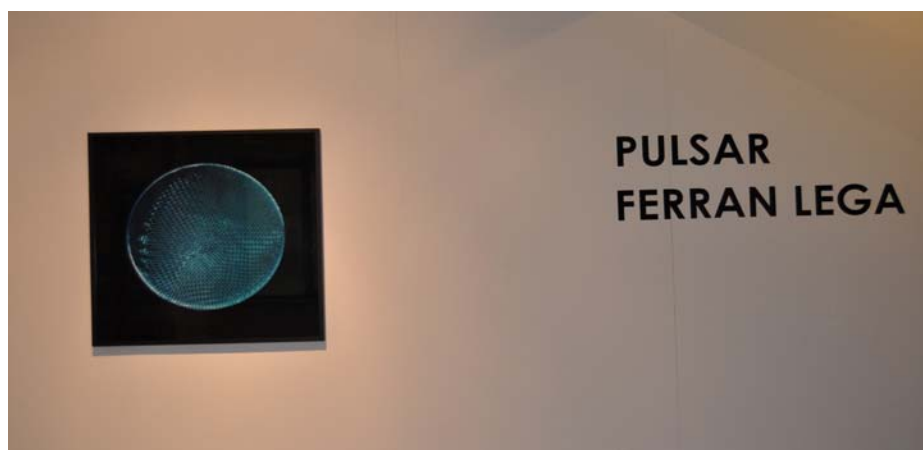




Figura 200. Instalación Pulsar en la galería ATM. Imagen del autor.

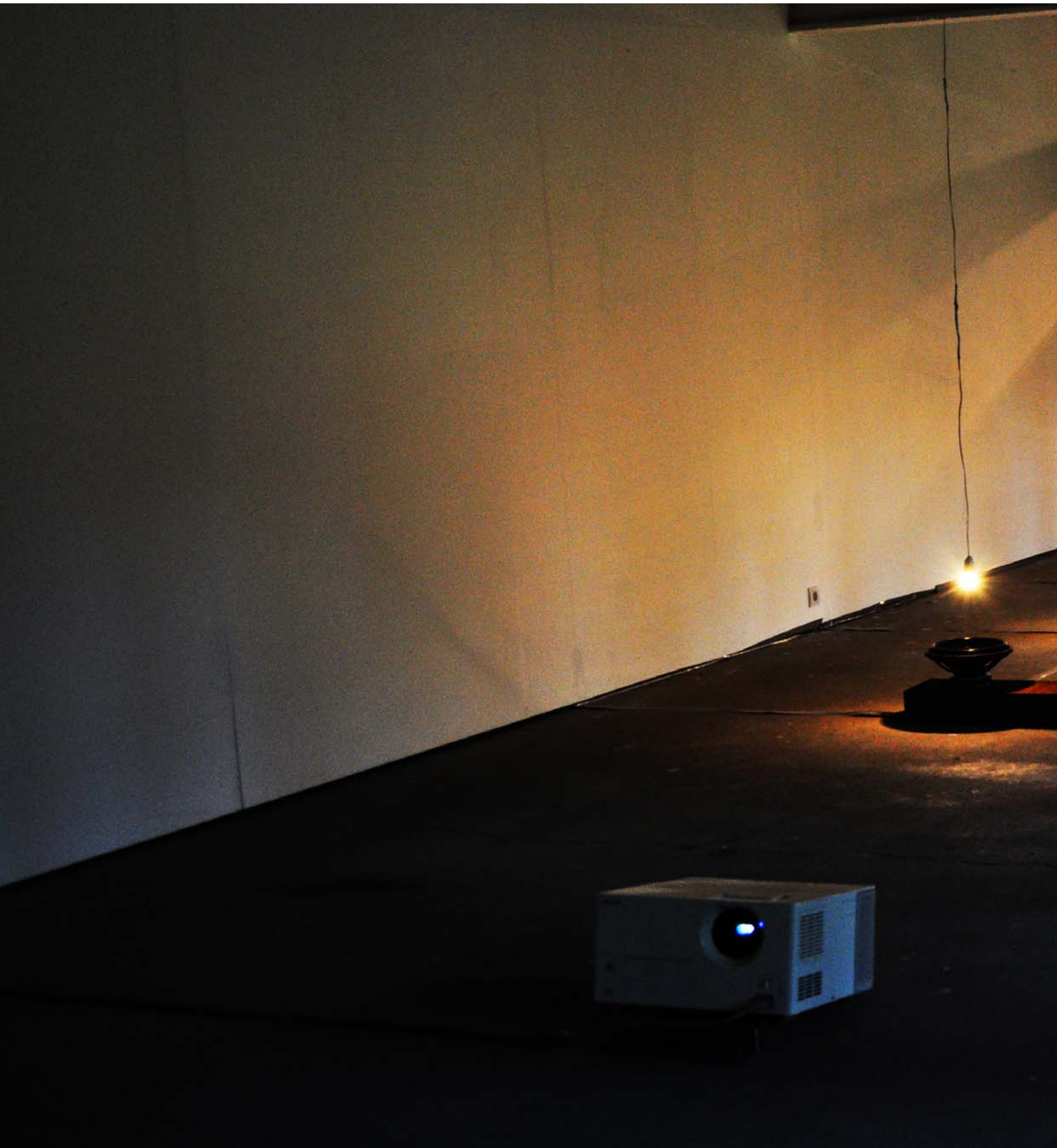




Figura 201. Instalación Pulsar, en la galería ATM Contemporary. Imagen del autor.





Figura 202. Instalación Pulsar, en la Fundació Antoni Tàpies de Barcelona. Imagen del autor.

19.6.- Campanas cimáticas.

Este proyecto está basado en la creación de piezas escultóricas cimáticas de forma no electro-acústica. Este trabajo está relacionado con la recuperación de objetos no relacionados con procesos sonoros y su readaptación/refundación para generar un discurso plástico, generando estructuras de diversas formas en formato escultórico, que mediante golpes, rozamientos, etc. tengan la capacidad de visualizar las ondas del sonido mediante sobre diferentes materiales como fluidos, arena y esporas de Licopodio.





Figura 203. Estas imágenes muestran diseños diferentes de campanas de chimeneas con las que se está trabajando para generar esculturas sonoras cimáticas. Imágenes del autor.

20.- CONCLUSIONES FINALES DE LA TESIS.

Cuando hablábamos hasta hace poco de los procesos cimáticos en general, estos siempre se acotaban a los diferentes y más comunes campos de actuación de este fenómeno físico, es decir, a su estudio en el terreno de la acústica experimental, las matemáticas y la física aplicada.

Este trabajo de investigación, ha pretendido desde su inicio contextualizar y enfocar el fenómeno de la cimática, desde un punto de vista audiovisual y artístico. Parece paradójico, que la investigación de un fenómeno que se encarga del estudio de las representaciones visuales de las ondas del sonido y los fenómenos periódicos de vibración sobre la materia, nunca haya sido estudiada hasta la actualidad, bajo la perspectiva de un artista. Por ello, la motivación principal de esta investigación es la búsqueda de posibles aplicaciones en forma de técnicas o herramientas que permitan la implantación y aplicación de la cimática, en las diferentes disciplinas y campos del contexto artístico contemporáneo.

El objetivo de contextualizar la cimática en el ámbito artístico, ha obligado a una minuciosa revisión y examen de la fuente del fenómeno, y a enfocar el sonido y las ondas que lo componen, como un elemento generador capaz de crear desde la más pura abstracción, una realidad tangible sobre la materia. Durante esta búsqueda, aparecerá el concepto del sonido y lo sonoro, como un medio creador y de influencia en antiguos mitos, culturas símbolos y obras de arte la antigüedad.

La investigación sobre la relación entre procesos cimáticos y la capacidad de creación en símbolos y obras de arte en el pasado, demuestra y revela una influencia directa del sonido como fuente de inspiración en textos, obras de arte y procesos sonoros. Si desde el presente, somos capaces de comprender que mediante un primitivo uso de la cimática, culturas ancestrales han sido capaces de generar simbología y arte (ya sea por mimetización o influencia directa), adquiere más sentido su estudio y utilización en el presente, en un momento en el que la aparición de nuevas tecnologías y las relaciones entre el arte y ciencia, se hacen imprescindibles en la creación contemporánea.

Se torna imprescindible por lo tanto una revisión histórica del fenómeno (estudiado previamente por científicos como, Robert Hook, Ernst Chladni, Michael Faraday, Margaret Watts o el Dr. Hans Jenny), que facilitará el trabajo experimental, permitiendo comprender y desarrollar cada uno de los fenómenos nodales de formación, sobre distintos materiales. La revisión del proceso experimental y la re-edición de todos los experimentos llevados a cabo por estos investigadores, ha permitido comprender desde el punto de vista científico, pero sobretodo desde la perspectiva de un artista el funcionamiento de las ondas del sonido sobre la materia.

Una vez alcanzado el nivel de control adecuado sobre estos sistemas experimentales (comprender y evaluar los procesos experimentales de la creación cimática), se ha llevado a cabo un registro de todos los experimentos realizados con el fin de valorar su reproductibilidad bajo condiciones controladas de trabajo. Este proceso ha permitido conocer si estos métodos de creación, son capaces de sistematizarse para generar herramientas o técnicas aplicables en el mundo del arte.

La segunda parte de esta tesis doctoral (fase de experimentación para desarrollar de herramientas de expresión artística), ha girado entorno a la búsqueda de una metodología para la creación de técnicas y herramientas que encajen en el desarrollo de la cimática en el campo artístico (que se adecuen en las diferentes especialidades del arte contemporáneo),

Considerando los resultados obtenidos hasta la actualidad, podemos afirmar que hemos sido capaces de adquirir los objetivos iniciales y se han desarrollado numerosas técnicas, para el desarrollo de la cimática en campos tan diferenciados como el dibujo, (creación de dibujos mediante la fijación del betún de Judea, formación de figuras de Lissajous mediante armonógrafos), la pintura (creación de procesos pictóricos en los que interviene el sonido para generar figuras), el grabado (creación de grabados y gofrados mediante figuras Chladni), la escultura (escultura sonora, cristales Baschet cimáticos, esculturas vocales), la instalación (creación de instalaciones sonoras), la fotografía (fotografías de procesos cimáticos) y el vídeo (video-instalaciones).

Estudiando los diferentes campos de actuación anteriormente mencionados, observaremos la facilidad de implementación de la cimática en forma de técnicas como el dibujo, el grabado, la pintura y la escultura, debido a su estatus de técnica plástica concreta (es decir a que son técnicas bien definidas), respecto a otros campos como la instalación o el vídeo (técnicas mixtas que engloban diferentes procesos creativos y en los que es más difícil concebir herramientas precisas). La idoneidad de generar herramientas que encajen en estas especialidades, se debe a su naturaleza acotada y bien

definida en la técnica original. Contrariamente, los campos de la instalación y el vídeo, ofrecen una libertad creativa individual, que no se rige por reglas fijas de trabajo y aunque es más complejo acotar procesos para utilizarlos como herramienta, ofrecen una mayor amplitud de recursos para generar un discurso plástico más creativo.

No obstante las técnicas desarrolladas, tienen que entenderse como herramientas para el artista. Hay que tener en cuenta que los procesos generados en esta tesis doctoral, proceden de una experimentación personal (esto significa que posiblemente otros artistas e investigadores, podrán estudiar el fenómeno desde puntos de vista diferentes y con ello, aplicar estas herramientas de forma distinta en sus propios trabajos). La originalidad y creatividad a la hora de enfocar este proceso, ha permitido enfocar la búsqueda de herramientas hacia los procesos creativos más acordes con mi línea de trabajo habitual.

Por lo tanto, la motivación individual de cada artista tiene que ser el punto de partida para el desarrollo de obras de arte que utilicen la cimática (en forma de las herramientas aquí expuestas y definidas), como medio creador en su trabajo. Estas herramientas, solo seguirán siendo una guía, en tanto en cuando el artista no las incluya y adapte de la forma más idónea en su propia praxis artística.

Cuando repasamos el contexto artístico contemporáneo, advertimos una buena muestra de estas aplicaciones y su viabilidad, en la aparición durante la última década de varios artistas de reputación a nivel Internacional como Mikel Arce, Nicolai Carsten, Sachiko Kodama o Lisa Park, etc. que no solamente han desarrollado parte de su trabajo implantando procesos cimáticos, sino que en algunos casos (Nicolai Carsten, Sachiko Kodama), han generado una identidad específica, desarrollando métodos concretos en diferentes campos de actuación de la cimática.

Finalmente, hay que destacar mi propio trabajo en forma de piezas artísticas generadas mediante procesos cimáticos durante la realización de este trabajo que han sido presentadas en distintos festivales de arte sonoro, galerías de arte y centros de arte contemporáneo de prestigio internacional, como la Fundació Antoni Tàpies de Barcelona, demostrando la hipótesis planteada desde el principio, que consistía en demostrar la idoneidad y funcionalidad de la cimática para generar herramientas de expresión artística. De esta forma, queda justificada la realización de una investigación sobre la ciencia de la cimática como herramienta de expresión artística (que ya ha sido ampliamente estudiada en otras disciplinas, como la medicina, la acústica, etc.) y su divulgación en el contexto artístico contemporáneo.

REFERENCIAS

Arce, M. (2012, Enero 28). *WAV* instalación Sonora*. Extraído el 28 de Enero de 2012 desde <http://www.mikelarce.com/>

Ashton, A. (2001). *Harmonograph, a visual guide to the mathematics of music*. Glastonbury. Wooden Books.

ATM Contemporany. (2013, Enero 19). <http://www.galeriaaltamira.com/>

Baschet, F. (1999). *Les sculptures sonores; The sound sculptures of Bernard and François Baschet*. París. Soundword.

Baschet, F. (2012, Febrero 15). *Sculptures Baschet*. Extraído el 15 de Febrero de 2012 desde <http://francois.baschet.free.fr/frontes.html>

Cage, J. (2002). *Silencio. Conferencias y escritos de Jonh Cage*. Madrid. Ediciones Ardora.

Carsten, N. (2012, Octubre 26). *Nicolai Carsten Works*. Extraído el 12 de Octubre de 2012 desde <http://www.carstennicolai.de/>

Chladni, E. (1787). *Entdeckungen Uber Die Theorie Des Klanges*. Leipzig.

Chladni, E. (1809). *Traité d'acoustique*. París. Chez Coucier.

Chowdry, A. (2013, Mayo 23). <http://anitachowdry.wordpress.com/2013/06/23/developing-the-harmonograph-project-for-my-m-a/>

Codina, R.(2000). *Procediments Pictòrics, experimentació amb el material*. Barcelona. Edicions Universitat de Barcelona.

Corbella, D. et Codina, R. (2002). *Guia de Nous materials en la pintura i el gravat*. Barcelona. Edicions Universitat de Barcelona.

Cunningham, A. (2012, Diciembre 20). *Alice Cuningham sculpture*. Extraído el 20 de Diciembre de 2012 desde <http://www.alicecunningham.co.uk>

Debraux, L. (2013, Mayo 24). *Debraux sculptures cinetiques*. Extraído el 24 de Mayo 2013 desde <http://www.laurentdebraux.com/>

Dawson, J. (1996). *Guía completa de grabado e impresión*. Madrid. Ediciones H. Blume.

Doods, D. (2013, Junio 4). <http://blog.dandodds.co.uk/2013/03/04/kinetica-art-fair/>

Edmund, E. (2013, Mayo 15). <http://edmundeva.wordpress.com/tag/harmonograph/>

Emmedia. (2013, Junio 15). <http://emmedia.ca/?p=3593>

ESA. (2012, Enero 14). *European Space Agency. Space Sounds*. Extraído el 14 de Enero de 2012 desde http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Sounds_from_space

Festival de arte MICRO 2013. (2013, Junio 12). *Artistas seleccionados en MICRO 2013*. Extraído el 12 de Junio de 2013 desde http://www.huesca.es/_archivos/ficheros/cultura_2637.pdf

Fundación Botín. (2012, Mayo 12). *Beca de artes plásticas fundación Botín*. Extraído el 7 de Enero 2013 desde http://www.fundacionbotin.org/taller-de-jannis-kounellis-en-villa-iris_publicacion-fundacion-botin-12037561.htm.

Fundación Tàpies. (2013, Octubre, 7). *FEQ y Sala d'art Jove*. Extraído el 12 de Noviembre de 2013 desde <http://www.fundaciotapies.org/>

Fundación Telefónica. (2013, Febrero 20). *Mat Kenyon*. Extraído el 20 de Febrero de 2013 desde <http://vida.fundaciontelefonica.com/>

Gabriel, D. (2013, Junio 3). http://gabrieldunne.com/projects/cymatic_organ

Göllner, A. (2013, Mayo 27). *Adrian Göllner artwork*. Extraído el 27 de Mayo de 2013 desde <http://adriangollner.ca/?p=636>

Gowen Contemporary. (2013, Junio 2). *Nick Laessing in Gowen Gallery*. Extraído el 2 de Junio de 2013 desde <http://www.gowencontemporary.com/time-braden/nick-laessing/>

Grant, E. (2012, Septiembre 21). *Cyomatics Artists*. Extraído el 21 de septiembre de 2012 desde <http://www.cyomatics.co.uk/category/artists/>

Jenny, H. (2001). *Cymatics*. Newmarket, USA. Macromedia Publishing.

Jenny, H. (2006). *Cymatic Soundscapes. Bringing matter to life with sound DVD*. Newmarket. MACROmedia Publishing.

Julius, R. (2013, Abril 14). *Rolf julyus works*. Extraído el 14 de Abril de 2013 desde <http://www.mattress.org/index.cfm?event=ShowArtist&eid=23&id=53&c=Past>

Kenyon, M. (2013, Mayo 24). *M. Kenyon work*. Extraído el 24 de Mayo de 2013 desde <http://www.swamp.nu/projects/supermajor/>

Kinetica Art Fair 2013. (2013, Junio 6). *Kinetica art Fair*. <http://www.kinetica-artfair.com/>

Kodama, S. (2013, Febrero 11). *Sachiko Kodama Artwork*. Extraído el 11 de Febrero de 2013 desde <http://sachikokodama.com/en/work/>

Lambert, S. (1996). *El Dibujo, técnica y utilidad*. Madrid. Tursen Hermann Blume.

Lauterwasser, Alexander. (2001). *Water Sound Images*. Newmarket, USA. Macromedia Publishing.

Lega, F. (2013, Enero 21). *Ferran Lega Convent de Sant Agustí*. Extraído el 21 de Enero 2013 desde. <http://www.bcn.cat/centrecivicsantagusti/pdf/projectes%20o%20exposicio%20en%20curs.pdf>

Lega, F. (2012, Noviembre 27). *Galería ATM Contemporany Gión*. <http://www.lne.es/sociedad-cultura/2009/10/26/altamira-inaugura-espacio-estudio-artistico-apadrinado-jannis-kounellis/825748.html>

Lega, F. (2013, Mayo 22). *Ferran Lega sala d'art jove investigació*. <http://saladartjove.cat/i/investigaci%C3%B3/geometries-del-kosmos>.

Lega, F. (2013, Septiembre 14). http://juventud.gijon.es/multimedia_objects/download?object_id=139633&object_type=document

Litch, A. (2007). *Sound Art*. New York, Rizzoli International Publications.

Lucier, A. (2013, Mayo 22). *Alvin Lucier Works*. Extraído el 22 de Mayo de 2013 desde <http://alucier.web.wesleyan.edu/>

Mayer, J. (2005). *El arte minimalista*. New York. PHAYDON.

Meehan, J. (2012, Abril 17). <http://cymatics.ning.com/>

Museum of contemporary Art of Detroit. (2013, Abril 29). *M. Kenyon in MOCAD*. Extraído el 29 de Abril de 2013 desde <http://www.mocadetroit.org/newwave/index.html>

NASA. (2012, Enero 14). *NASA. Space Sounds*. Extraído el 14 de Enero de 2012 desde <http://www.nasa.gov/connect/sounds/index.html#.UijQlca-2So>

Noto, A. (2012, Octubre 26). <http://www.alvanoto.com/>

Park, L. (2013, Mayo 29). *Lisa Park*. <http://www.thelisapark.com/#/>

Patrick Mikhail Gallery. (2013, Abril 25). *Adrian Gollner, Patrick Mikhail Gallery*. Extraído el 25 de Abril 2013 desde <http://www.patrickmikhailgallery.com/artists/adrian-gllner/>

Pierotti, R. (2012, Junio 26). <http://www.raypierotti.com/Welcome.html>

Sala d'art Jove. (2013, Marzo 25). <http://saladartjove.cat/>

Schneider, A. (2007). *Jannis Kounellis by Jannis Kounellis*. Alemania, HATJE CANTZ.

Schwenck, T. (1988). *El caos Sensible*. Madrid. Editorial Rudolf Steiner.

Smith, R. (1987). *El Manual del Artista*. London. H. Blume Ediciones.

Supermagnete. (2012, Noviembre 28). *Esculturas-cinéticas*. <http://www.supermagnete.de/spa/Aplicaciones-magneticas/Esculturas-cineticas>.

Watts, M. (1904). *The Eidophone voice figures*. London. Christian Herald Company.

CATÁLOGOS:

Arts Santa Mònica. (2011). *Camps invisibles, geografies de les ones de ràdio*. Barcelona. ACTAR i Arts Santa Mònica.

Carsten, N. (2007). *Static fades catalogue, 2007*. Extraído el 5 de Mayo de 2013 desde http://www.carstennicolai.de/d/publications/pdf/static_fades.pdf.

Carsten, N. (2007). *Fades catalogue, raster-noton, germany, 2007*. Extraído el 5 de Mayo de 2013 desde <http://www.carstennicolai.de/d/publications/pdf/fades.pdf>.

Carsten, N. (2005). *Mono Kultur 1*. Extraído el 5 de Mayo de 2013 desde http://www.carstennicolai.de/d/publications/pdf/mono_kultur_01.pdf

London, B. (2013). *SOUNDINGS, A contemporary Score*. New York, MoMA.

ENTREVISTAS

Arce, M. (2013). Entrevista personal con el artista, realizada en Agosto de 2013.

Carsten, N. (2013, Febrero 27). *Entrevistas realizada para Klatmagazine.com*. Extraído el 3 de Mayo de 2013 desde <http://www.klatmagazine.com/?s=Nicolai+carsten>

Green, J. (2013, Marzo 15). *Entrevista de Jasmine Green a Sachiko Kodama*. Extraído el 14 de Mayo de 2013 desde <http://es.scribd.com/doc/51183179/Interview-with-Sachiko-Kodama>.

ESQUEMAS

1.- Referentes Históricos.....	10,11
2.- Formación de estructuras sobre diferentes tipos de bañeras de vibración, de forma circular.....	162, 163
3.- Pasos para realizar figuras sobre planchas mediante la fijación de betún de Judea.....	256, 257

TABLAS

<i>Tabla I.</i> Listado de Planchas.....	71
<i>Tabla II.</i> Tabla de catálogo de planchas.....	88
<i>Tabla III.</i> Tabla de Fluidos Newtonianos.....	123
<i>Tabla IV.</i> Tabla de fluidos no-Newtonianos.....	129

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Jill Purce.....	32
Figura 2. Ferran Lega.....	39
Figura 3. Heinrich Zimmer.....	40
Figura 4. Ferran Lega.....	41
Figura 5. Ferran Lega.....	42-43
Figura 6. Ferran Lega.....	44
Figura 7. Ivan Bargna.....	43
Figura 8. Jill Purce.....	46
Figura 9. Theodor Schwenk.....	46
Figura 10. Jonh Mitchell.....	47
Figura 11. Ferran Lega.....	47
Figura 12. Robert Lawlor.....	48
Figura 13. Robert Lawlor.....	49
Figura 14. Frederic P. Miller,	54
Figura 15. Ernst Chladni.....	56-57
Figura 16. Margaret Watts.....	59
Figura 17. Ferran Lega.....	67
Figura 18. Ferran Lega.....	68
Figura 19. Ferran Lega.....	69
Figura 20. Ferran Lega.....	75
Figura 21. Hans Jenny.....	76
Figura 22. Ferran Lega.....	77
Figura 23. Ferran Lega.....	78
Figura 24. Ferran Lega.....	79
Figura 25. Ferran Lega.....	81
Figura 26. Ferran Lega.....	81
Figura 27. Ferran Lega.....	81
Figura 28. Ferran Lega.....	82
Figura 29. Ferran Lega.....	83
Figura 30. Ferran Lega.....	84
Figura 31. Ferran Lega.....	85
Figura 32. Ferran Lega.....	86
Figura 33. Ferran Lega.....	86
Figura 34. Ferran Lega.....	87
Figura 35. Ferran Lega.....	87
Figura 36. Ferran Lega.....	88
Figura 37. Ferran Lega.....	88
Figura 38. Ferran Lega.....	88
Figura 39. Ferran Lega.....	89
Figura 40. Ferran Lega.....	89
Figura 41. Ferran Lega.....	91

Figura 42. Ferran Lega.....	94
Figura 43. Ferran Lega.....	95
Figura 44. Ferran Lega.....	96
Figura 45. Ferran Lega.....	97
Figura 46. Ferran Lega.....	98
Figura 47. Ferran Lega.....	99
Figura 48. Ferran Lega.....	100, 101
Figura 49. Ferran Lega.....	104
Figura 50. Ferran Lega.....	105, 106
Figura 51. Ferran Lega.....	107
Figura 52. Ferran Lega.....	108
Figura 53. Ferran Lega.....	108
Figura 54. Ferran Lega.....	109
Figura 55. Ferran Lega.....	109
Figura 56. Ferran Lega.....	110
Figura 57. Ferran Lega.....	111
Figura 58. Ferran Lega.....	111
Figura 59. Ferran Lega.....	111
Figura 60. Ferran Lega.....	111
Figura 61. Ferran Lega.....	112
Figura 62. Ferran Lega.....	113
Figura 63. Hans Jenny.....	113
Figura 64. Ferran Lega.....	114
Figura 65. Ferran Lega.....	115
Figura 66. Hans Jenny.....	116
Figura 67. Ferran Lega.....	116
Figura 68. Ferran Lega.....	116
Figura 69. Ferran Lega.....	118, 119
Figura 70. Ferran Lega.....	120, 121
Figura 71. Ferran Lega.....	122, 123
Figura 72. Ferran Lega.....	127
Figura 73. Ferran Lega.....	128
Figura 74. Ferran Lega.....	129
Figura 75. Hans Jenny.....	130
Figura 76. Ferran Lega.....	131
Figura 77. Ferran Lega.....	132
Figura 78. Ferran Lega.....	133
Figura 79. Ferran Lega.....	134, 135
Figura 80. Ferran Lega.....	136
Figura 81. Ferran Lega.....	136
Figura 82. Ferran Lega.....	137
Figura 83. Ferran Lega.....	138, 139
Figura 84 Ferran Lega.....	141

<i>Figura 85 Ferran Lega</i>	141
<i>Figura 86. Ferran Lega</i>	142
<i>Figura 87. Ferran Lega</i>	143
<i>Figura 88. Ferran Lega</i>	143
<i>Figura 89. Ferran Lega</i>	146
<i>Figura 90. Ferran Lega</i>	147
<i>Figura 91. Ferran Lega</i>	148
<i>Figura 92. Ferran Lega</i>	149
<i>Figura 93. Ferran Lega</i>	150
<i>Figura 94. Ferran Lega</i>	150
<i>Figura 95. Ferran Lega</i>	151
<i>Figura 96. Ferran Lega</i>	152, 153
<i>Figura 97. Ferran Lega</i>	154, 155
<i>Figura 98. Ferran Lega</i>	156
<i>Figura 99. Ferran Lega</i>	157
<i>Figura 100. Theodor Schwenk</i>	159
<i>Figura 101. Ferran Lega</i>	160, 161
<i>Figura 102. Ferran Lega</i>	163
<i>Figura 103. Ferran Lega</i>	166
<i>Figura 104. Ferran Lega</i>	167
<i>Figura 105. Ferran Lega</i>	167
<i>Figura 106. Ferran Lega</i>	168
<i>Figura 107. Ferran Lega</i>	169
<i>Figura 108. Ferran Lega</i>	170
<i>Figura 109. Ferran Lega</i>	171
<i>Figura 110. Ferran Lega</i>	172
<i>Figura 111. Ferran Lega</i>	173
<i>Figura 112. Ferran Lega</i>	174, 175
<i>Figura 113. Ferran Lega</i>	176, 177
<i>Figura 114. Ferran Lega</i>	181
<i>Figura 115. Ferran Lega</i>	181
<i>Figuras 116. Ferran Lega</i>	182
<i>Figuras 117. Hans Jenny</i>	182
<i>Figura 118. Ferran Lega</i>	183
<i>Figura 119. Ferran Lega</i>	184, 185
<i>Figura 120. Ferran Lega</i>	186, 187
<i>Figura 121. Ferran Lega</i>	188, 189
<i>Figura 122. Ferran Lega</i>	190
<i>Figura 123. Ferran Lega</i>	190
<i>Figura 124. Ferran Lega</i>	191
<i>Figura 125. Ferran Lega</i>	191
<i>Figura 126. Ferran Lega</i>	192, 193
<i>Figura 127. Ferran Lega</i>	194

Figura 128. Ferran Lega.....	195
Figura 129. Ferran Lega.....	196
Figura 130. Ferran Lega.....	197
Figura 131. Ferran Lega.....	198
Figura 132. Ferran Lega.....	199
Figura 133. Ferran Lega.....	200
Figura 134. Ferran Lega.....	202, 203
Figura 135. Ferran Lega.....	205
Figura 136. Ferran Lega.....	208
Figura 137. Ferran Lega.....	209
Figura 138. Ferran Lega.....	212
Figura 139. Hans Jenny.....	213
Figura 140. Ferran Lega.....	213
Figura 141. Ferran Lega.....	214
Figura 142. Sachiko Kodama.....	215
Figura 143. Margaret Watts	218
Figura 144. Margaret Watts	219
Figura 145. Margaret Watts	220
Figura 146. Ferran Lega.....	222
Figura 147. Ferran Lega.....	223
Figura 148. Margaret Watts	224
Figura 149. Ferran Lega.....	225
Figura 150. Ferran Lega.....	227
Figura 151. Anthony Ashton.....	228
Figura 152. Ferran Lega.....	228
Figura 153. Ferran Lega.....	229
Figura 154. Ferran Lega.....	230
Figura 155. Anthoni Ashton.....	231
Figura 156. Ferran Lega.....	232
Figura 157. Ferran Lega.....	250
Figura 158. Ferran Lega.....	252
Figura 159. Ferran Lega.....	253
Figura 160. Ferran Lega.....	253
Figura 161. Ferran Lega.....	254
Figura 162. Ferran Lega.....	255
Figura 163. Ferran Lega.....	255
Figura 164. Ferran Lega.....	258
Figura 165. Frank Stella.....	259
Figura 165. Carl André.....	259
Figura 165. Ferran Lega.....	259
Figura 166. Ferran Lega.....	260
Figura 167. Ferran Lega.....	262
Figura 168. Ferran Lega.....	262

Figura 169. Ferran Lega.....	263
Figura 170. Ferran Lega.....	265
Figura 171. Ferran Lega.....	267
Figura 172. Donald Judd.....	268
Figura 172. Ferran Lega.....	268
Figura 173. Ferran Lega.....	269
Figura 174. Ferran Lega.....	270
Figura 175. Nick Laessing.....	270
Figura 176. Sachiko Kodama.....	271
Figura 177. Matt Kenyon.....	271
Figura 178. Nick Laessing.....	273
Figura 179. Ferran Lega.....	275
Figura 180. Alice Cunnigham.....	276
Figura 181. Ferran Lega.....	278
Figura 182. Gergory Scheckler.....	279
Figura 183. Margaret Watts	281
Figura 184. Rolf Julius.....	282
Figura 185. Ferran Lega.....	283
Figura 186. Mikel Arce.....	286
Figura 187. Mikel Arce.....	286
Figura 188. Nicolai Carsten.....	290
Figura 189. Nicolai Carsten.....	290
Figura 190. Nicolai Carsten.....	290
Figura 191. Lisa Park.....	293
Figura 192. Dona Legault.....	295
Figura 193. Gabriel Dunne.....	295
Figura 194. Ferran Lega.....	298, 299
Figura 195. Ferran Lega.....	301
Figura 196. Ferran Lega.....	303
Figura 197. Ferran Lega.....	304, 305
Figura 198. Ferran Lega.....	306, 307
Figura 199. Ferran Lega.....	308
Figura 200. Ferran Lega	311
Figura 201. Ferran Lega	312, 313
Figura 202. Ferran Lega	314, 315
Figura 203. Ferran Lega	316, 317

