



# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

Programa de Maestría y Doctorado en Música

Facultad de Música  
Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología  
Instituto de Investigaciones Antropológicas

## **Fluxsoma: Procesos Audiovisuales en Instrumentos Musicales Digitales**

TESIS  
QUE, PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
MAESTRO EN MÚSICA (Tecnología Musical)

PRESENTA  
Lic. Jorge José Pedro Zurita Díaz

TUTOR PRINCIPAL  
Dr. Hugo Solís García  
(Universidad Autónoma Metropolitana de México)

CIUDAD DE MÉXICO OCTUBRE 2020



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

---

# Índice general

<b>1. Antecedentes e historia</b>	<b>7</b>
1.1. Introducción	7
1.2. Antecedentes e historia de los instrumentos audiovisuales	8
1.2.1. Máquinas de Sonido y Luz	10
1.2.2. Máquinas de Composición Visual	14
1.3. Híbridos	18
1.4. Sinestesia	20
1.5. Reflexiones en torno a la relación sonido-imagen	26
1.6. Hacia una visión del sonido en los medios digitales	29
1.6.1. Desarrollo de instrumentos audiovisuales en la era digital	30
1.6.2. La computadora como intermediario-intérprete-creador.	32
1.6.3. Compositor-Improvisador-Intérprete	35
1.6.4. Instrumentos como procesos compositivos	36
1.7. Conclusiones	38
<b>2. Prototipos del sistema audiovisual</b>	<b>41</b>
2.1. Introducción	41
2.2. Superficies Elásticas	41
2.3. Formas en materiales líquidos	43
2.3.1. Rutas Alternas	44
2.3.2. Prototipo Uno	44
2.3.3. Prototipo Dos	47
2.3.4. Creación y Pruebas	48

2.4. Turbulencias . . . . .	52
2.5. El aspecto efímero . . . . .	54
2.6. Resultados del prototipo realizado . . . . .	54
2.7. Conclusiones . . . . .	55
<b>3. Creación del Sistema Audiovisual Líquido</b>	<b>57</b>
3.1. Introducción . . . . .	57
3.1.1. Componente Físico y Materiales . . . . .	57
3.2. Primera fase de la estructura del instrumento . . . . .	58
3.3. Tanque de Agua . . . . .	59
3.4. Bombas peristálticas . . . . .	61
3.5. Segunda fase de la estructura del instrumento . . . . .	62
3.6. Sistema de control de flujos . . . . .	64
3.6.1. Sistema de control de flujos Primera Fase . . . . .	65
3.6.2. Sistema de control de flujos Segunda Fase . . . . .	66
3.6.3. Sistema de control de flujos Tercera Fase . . . . .	68
3.7. Sistema de audio . . . . .	70
3.8. Tercera fase de la estructura del instrumento. . . . .	71
3.8.1. Colocación del circuito, el sistema de audio y la computadora. . . . .	72
3.8.2. Webcam . . . . .	72
3.9. Problemáticas del proceso . . . . .	74
<b>4. Composición con Instrumento</b>	<b>77</b>
4.1. Introducción . . . . .	77
4.2. Del Laboratorio al Escenario . . . . .	77
4.3. Visión por Computadora en la creación . . . . .	78
4.3.1. Composición con Herramientas Digitales . . . . .	80
4.4. Procesos de Visión . . . . .	81
4.5. Generación del Código . . . . .	82
4.5.1. Estructura del Código . . . . .	82
4.5.2. Comunicación Serial . . . . .	86
4.5.3. <i>GUI</i> . . . . .	87

**ÍNDICE GENERAL**

---

- 4.6. Algoritmos de Visión por Computadora . . . . . 87
- 4.7. Comunicación OSC . . . . . 94
- 4.8. Mapeo de la información a Supercollider . . . . . 96
  - 4.8.1. Colores-Texturas . . . . . 99
- Referencias . . . . . 119



# Índice de figuras

1.1. Scott L. (1853) <i>Phonoautograph</i> . . . . .	9
1.2. Koenig R. (1862) <i>Manometric Flame</i> . . . . .	10
1.3. Brainbridge B. (1893) <i>Color Organ</i> . . . . .	12
1.4. Oram D. (1957) <i>Oramics Machine</i> . . . . .	14
1.5. Wilfred T. (1919) <i>Clavilux</i> . . . . .	16
1.6. Scriabin A. (1909-1910) <i>Color Scheme</i> . . . . .	22
1.7. Kandinski V. (1913) <i>Composición VII</i> . . . . .	23
1.8. Brakhage S. (1989) <i>Still de Dante Quartet</i> . . . . .	25
1.9. Xenakis I. <i>UPIC</i> (1976) . . . . .	27
1.10. Oliver J. (2009) <i>Silent Drum</i> . . . . .	34
1.11. Flujo del proceso . . . . .	35
2.1. Experimento con sensor flexible . . . . .	42
2.2. Experimento con burbujas . . . . .	43
2.3. Kahn N. (2000) <i>Wind Veil</i> . . . . .	45
2.4. Juguete de plástico como ejemplo del resultado deseado. . . . .	46
2.5. Primer prueba fallida . . . . .	46
2.6. Resultado final . . . . .	47
2.7. Base con el tanque ya colocado . . . . .	49
2.8. Bomba de agua del tanque . . . . .	49
2.9. Perspectiva del interior de la Bomba de agua del tanque . . . . .	50
2.10. Inyector de Tinta (un tanque más pequeño) . . . . .	50
2.11. Tanque con un círculo y un cuadrado al interior . . . . .	52

2.12. Objeto colocado en el interior para generar turbulencias . . . . .	53
3.1. Tanque de agua dentro de la estructura. . . . .	59
3.2. Corte de las maderas . . . . .	60
3.3. Ensamblado del tanque . . . . .	61
3.4. Mecanismo Bombas Peristálticas . . . . .	62
3.5. Sistema hidráulico . . . . .	63
3.6. Segunda Fase del Instrumento . . . . .	64
3.7. Primer Circuito . . . . .	66
3.8. Interfaz realizada en MaxMSP para el control de las bombas . . . . .	67
3.9. Imagen del circuito final realizada en el software <i>Fritzing</i> . . . . .	69
3.10. Circuito sobrepuesto en la placa fenólica . . . . .	69
3.11. Bombas mandando líquido al tanque . . . . .	70
3.12. Primer prototipo a la izquierda y el final a la derecha . . . . .	73
3.13. Manguera tapada . . . . .	75
4.1. Freeman J. (2008) <i>Glimmer</i> . . . . .	79
4.2. Pixels . . . . .	88
4.3. Colores y formas de Fluxsoma . . . . .	100
4.4. Tabla del uso de colores con relación a la música a lo largo varios siglos. . . . .	101
4.5. Colores y formas del Simulador . . . . .	102
4.6. Boceto parte frontal . . . . .	109
4.7. Boceto partes laterales . . . . .	110
4.8. Boceto partes laterales conexión . . . . .	111
4.9. Los cables azules son mangueras, los naranjas de corriente y los verdes de tipo USB . . . . .	114

# Agradecimientos

Quiero agradecer a la planta docente del posgrado de la Facultad de Música por haberme permitido materializar este proyecto y darme los conocimientos para realizarlo.

A mi tutor Dr. Hugo Solís García y su familia por brindarme tanto su tiempo como apoyo en este intrincado camino de la creación.

A mi familia por su total e incondicional aliento para sacar adelante este proyecto.

A mis amigos por estar escuchando ideas y demás cosas en todo este trayecto.

A mis lectores de tesis por su valioso tiempo aportado.

Finalmente, mis compañeros de generación por compartir esta fantástica experiencia.



# Introducción

En su libro *Sonic Art*, Trevor Wishart desarrolla a fondo un concepto que él denomina *Sonic Lattice*. Basado en la premisa cartesiana, Wishart explica esta noción como una imposición estética de naturaleza cuadrículada aplicada a la música y a todos sus elementos estructurantes que la integran (notación, instrumentos, composición, etc.). Es justo dentro de estas limitaciones que la creación de instrumentos audiovisuales (entre otras formas de producción artística) intenta diseñar otros modelos de percepción alejados de la linealidad del teclado, incorporando aspectos visuales dentro de la percepción auditiva. El enfoque alternativo que propongo a estas formas de entender la estética musical, es ampliar la exploración de sus posibilidades mediante la incorporación de elementos visuales.

A lo largo de mi trabajo como compositor, la idea de incorporar lenguajes audiovisuales ha persistido en mis propuestas artísticas. De manera gradual, los vínculos sonoros con las formas en movimiento me han llevado a profundizar tanto sus orígenes como sus metodologías para dirigirlos hacia una investigación más formal. Otro recurso importante no solo en mi trabajo sino en el de muchos otros artistas, ha sido la integración de herramientas digitales que permiten una exploración más profunda en el ámbito visual. Las nuevas técnicas nos han permitido problematizar cuestiones en torno al uso y relación que existe entre fenómenos sonoros-visuales y también han posibilitado nuevas maneras de entender la creación e interpretación de la música. La aplicación de estos dispositivos abre un panorama donde el creador implementa distintas herramientas (programación, circuitos electrónicos, entre otros) para la creación de sus instrumentos. Esta cuestión nos lleva a replantear la concepción del

compositor y la obra como una mezcla tanto de conocimientos científicos como musicales que pretenden abrir nuevos espacios perceptivos.

Así, el objetivo de esta tesis se centra en el diseño de un instrumento audiovisual que permita plantearnos una serie de cuestiones acerca del papel del compositor (sí aún es debido llamarlo así) en un entorno de herramientas digitales y tecnológicas que le permiten ahondar en la experimentación con materiales tanto informáticos como físicos (circuitos electrónicos, laudería, etc). Por otra parte, se buscará llevar los instrumentos sonoros hacia propuestas que posibiliten salir de lo que Wishart denomina como *Sonic Lattice* mediante una investigación sobre la interrelación entre imagen y sonido.

En el primer capítulo daremos un breve recorrido por la relación que se ha dado entre visión y audición en la historia del arte occidental. Cómo estos esfuerzos han ido desarrollando ideas estéticas y planteado nuevas perspectivas frente al fenómeno sonoro como la sinestesia o la interdisciplina. Se hablará tanto de sistemas mecánicos como eléctricos, para dar entrada a las propuestas digitales que comenzaron desde los años cincuenta hasta las últimas propuestas realizadas a principios del siglo XXI.

En el segundo capítulo, se planteará el proceso para diseñar un instrumento audiovisual definitivo, así como todas las propuestas previas y los experimentos realizados con distintos materiales, las pruebas, los errores, trabajos de otros artistas y las conclusiones de este proceso.

En el tercer capítulo tendremos una descripción técnica sobre la construcción del instrumento audiovisual propuesto. Explicaremos cada uno de los elementos físicos que la conforman, la estructura física sobre la que van montados los dispositivos, el sistema de audio, computadora, el circuito electrónico, el sistema hidráulico, el tanque de agua y la base de madera. Asimismo, se mostrará de qué manera estarán interconectados cada uno de estos elementos, su función en el sistema y la manera en cómo fueron diseñados algunos de ellos. Finalmente, hablaremos brevemente de algunas problemáticas a resolver así como sus soluciones.

Para terminar, el cuarto capítulo explicará la manera en cómo este instrumento genera procesos visuales que a su vez crean una respuesta sonora. Se hablará de

## INTRODUCCIÓN

---

las decisiones en el mapeo de datos con el instrumento, y esto se propondrá como una manera de composición con nuevos medios digitales. Brevemente explicaremos las herramientas para lograrlo y bajo qué criterios fueron elegidas y posteriormente utilizadas. Desarrollaremos los códigos utilizados tanto en OpenFrameworks como en Supercollider para que el lector entienda el flujo de la información dentro del instrumento. De manera somera explicaremos los algoritmos utilizados en el proyecto y el uso de *Wekinator* como herramienta de calibración.

Finalmente, el presente trabajo no busca definir un estilo de cómo abordar el fenómeno audiovisual, sino mas bien pretende ampliar su espectro de posibilidades hacia un campo intermedial no circunscrito solamente a la partitura. En este caso, mi enfoque será el de la construcción de un instrumento que permite platearnos una serie de posibles horizontes.

---

# Capítulo 1

## Antecedentes e historia de los instrumentos audiovisuales

### 1.1. Introducción

En este capítulo se explicará de manera concisa, el origen estético de los instrumentos audiovisuales, así como de algunos conceptos que nos permitirán comprender la propuesta a desarrollar en este trabajo. Se tratarán asuntos y problemáticas que se desprenden a partir de este tema, tales como la sinestesia y la intermedia en el arte, así como un análisis sobre las posibilidades compositivo-musicales en patrones visuales dentro de un ambiente de captura visual y sonificación por computadora. Por último, se expondrán algunos ejemplos que nos permitirán conocer el estado del arte sobre el tema a desarrollar.

A partir de una exploración necesariamente acotada (debido a la amplitud de las manifestaciones sobre la relación entre procesos audiovisuales e instrumentos musicales en la historia del arte), haré una muy breve categorización que nos permita entender hacia dónde va la propuesta aquí presentada, así como mencionar algunos acontecimientos claves en la relación sonido-imagen.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Si se desea una línea de tiempo más a fondo consultar: ([Levin, 2000](#); [Solís, 2004](#))

### 1.2. Antecedentes e historia de los instrumentos audiovisuales

Es en la antigua Grecia, donde podemos encontrar las primeras asociaciones entre sonido e imagen (o viceversa). Aristóteles y sus discípulos buscaron una forma de relacionar matemáticamente la altura de las notas con los colores: concibieron el color desde su grado más oscuro al más claro, igualándolo con los sonidos más graves hasta el sonido agudo.

Otro ejemplo es el del artista milanés Giuseppe Arcimboldo a finales del siglo XVI. Este experimento consistió en colocar tiras de colores a las teclas de un clavicémbalo. Su juicio para denominar la relación entre colores y sonido fue parecida a la de sus predecesores griegos, pero de manera invertida. Tomando el color más claro, Giuseppe lo igualo a el sonido más grave, por lo tanto, el sonido más agudo, sería el más oscuro.

Alrededor del siglo XVII, Isaac Newton intentó hacer analogías entre las oscilaciones sonoras y las lumínicas. De acuerdo con Newton, (van Campen, 2008) la distribución de la luz blanca en el espectro de los colores era análoga a la distribución musical dentro de una octava.

En el año 1853, Leon Scott creó el *Phonoautograph*, dispositivo diseñado con un embudo que al ser excitado mediante la voz u otro generador de sonido hacia vibrar una membrana (figura 1.1). Ésta a su vez tenía colocada una aguja sobre la cual trazaba las ondas sonoras emitidas sobre un cilindro (Sterne, 2003).

En 1857, el científico Jules Antoine Lissajous tratando de demostrar las teorías del movimiento armónico, (desarrolladas previamente por Nathaniel) generó un dispositivo lumínico que visualizaba las formas de onda que posteriormente llevarían su nombre. Por otro lado, Rudolph Koenig continuando con el trabajo de sus predecesores inventaría el *Manometric Flame* (1862), un aparato donde el fuego nos permite ver el comportamiento del sonido. Un cubo de espejos que giraba frente a una válvula diseñada con un embudo (por el cual se podía generar sonido) hacia vibrar una flama en la punta de la misma. Cuando se emitía sonido por el embudo, la flama vibraba y

## 1.2. Antecedentes e historia de los instrumentos audiovisuales

---

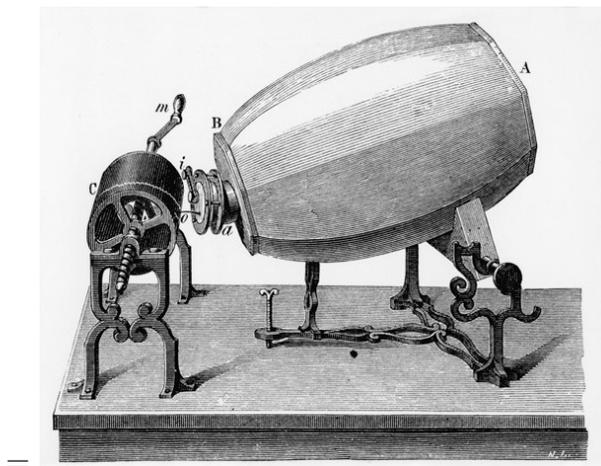


Figura 1.1: Scott L. (1853) *Phonoautograph* recuperado de <http://www.firstsounds.org/research/merr.php>

se visualizaba el comportamiento armónico del sonido frente a la rotación del cubo (figura 1.2).

Los trabajos mencionados anteriormente, fueron precedentes claros en la búsqueda de la reproducción y grabación sonora, pero también planteaban la posibilidad de producir maquinas que de manera literal convertían el sonido en dibujo. Es pertinente recalcar, que estos inventos además de contribuir al entendimiento del fenómeno sonoro desde el panorama científico, también propusieron una perspectiva visual de entender el sonido desde el fenómeno sinestésico.<sup>2</sup>

En este punto es debido remarcar que la incorporación de aspectos visuales corresponde no solo a una ocurrencia histórica, sino a una manera de entender los sentidos humanos de una manera global y no aislada. Puntualmente, a finales del siglo XIX

---

<sup>2</sup>Como comenta Jonathan Sterne, la ciencia juega un papel importante en el desarrollo de la relación entre imagen y sonido a partir del siglo XIX: A través de la física y la acústica modernas, y por medio de la nueva relación entre ciencia e instrumentación tanto auditiva como visual, los fenómenos podrían primero aislarse y luego mezclarse o hacerse sustituir unos de otros. El discurso de Scott sobre el *Fonautógrafo* y sus sucesores sugiere que este tipo de sinestesia o mezcla de códigos con material perceptible es una característica constitutiva de la reproducción tecnológica del sonido y la imagen (Sterne, 2003).

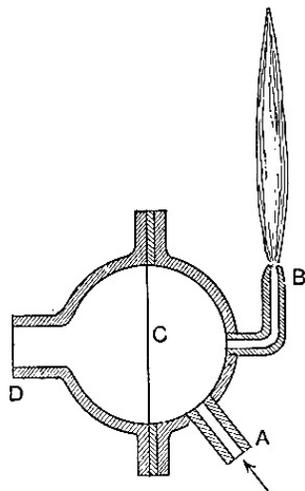


FIG. 651.—Manometric flame.

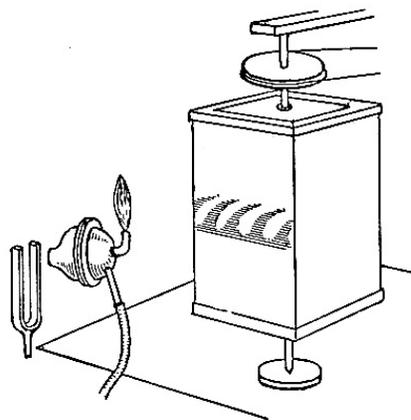


FIG. 652.—Revolving mirror for viewing manometric flame.

Figura 1.2: Koenig R. (1862) *Manometric Flame* recuperado de [http://www.scitechantiques.com/belltelephone/pages/Sound\\_Analysiers.html](http://www.scitechantiques.com/belltelephone/pages/Sound_Analysiers.html)

hubo un contingente de artistas e inventores que propiciaron una serie de investigaciones dentro del campo de lo visual-sonoro hacia una integración total de los sentidos y sobre como abordar la problemática de pintar con sonidos.

### 1.2.1. Máquinas de Sonido y Luz

Los primeros aparatos que entablaron una discusión en torno a la relación entre sonido e imagen se dieron a partir del desarrollo de dispositivos electromecánicos, alrededor del siglo XVIII, justo en una época donde la revolución tecnológica industrial comenzaba a generar toda una dinámica con respecto a la producción en masa de bienes y servicios. El *Clavecin Oculaire* (1757) del Padre Jesuita Louis Bertrand Castel (Levin, 2000) es un dispositivo que inaugura una serie de experimentos relacionados con instrumentos musicales que al ser interpretados generan un proceso audiovisual. Basado en las investigaciones que hizo Issac Newton, Castel utiliza la misma analogía sonido-visión aplicada de la siguiente manera: cuando una tecla del clavecín era presionada, una tira que estaba conectada a un nivelador dejaba pa-

## 1.2. Antecedentes e historia de los instrumentos audiovisuales

---

sar la luz de un candelabro. Cada candelabro a su vez tenía un vidrio de diferente color.

En 1893 el inventor estadounidense Bishop Bainbridge escribe lo siguiente:

En algún momento en el futuro, esta ciencia del color será reconocida y adoptada. Se usará con música para la adoración divina. También se empleará en la enseñanza de música y arte. Ciertamente habría sido de gran valor para mí cuando comencé a estudiar arte. Será muy útil para artistas y decoradores.<sup>3</sup>

Visionario de una búsqueda estética particular, Bishop expone de manera profética la conjunción que se desarrollaría durante el siglo XX en torno a la relación sonido-imagen. Consciente de las nuevas posibilidades que ofrecía la electricidad en el contexto occidental de la segunda revolución industrial, se propuso llevar a cabo una idea que estaba presente en la mesa de muchos inventores, la armonización de los colores por medio de una equivalencia entre espectro visual y escala temperada. Por medio de un mecanismo ligado a los martinetes de un órgano, Bishop creó un dispositivo capaz de generar luz sobre una base de vidrio conectada en la parte superior del instrumento. Al presionar una tecla se accionaban una serie de bandas de colores que al ser reflejadas con la luz de un foco (conectado a la corriente eléctrica) se reflejaban ciertas combinaciones de colores sobre una superficie como una pared (figura 1.3)

La relación que propuso entre color y notas musicales fue más allá que la de sus predecesores:

Pronto descubrí que un color simple no daba la sensación de un tono musical, pero un color suavizado por gradaciones en tonos neutros o grises teñidos lo hacía; también, que las combinaciones de colores suavizados por gradaciones en tonos neutros o grises teñidos, con los bordes de los colores principales mezclados, o casi juntos, hicieron que la sensación de los acordes musicales fuera muy buena ... La impresión o sensación de la

---

<sup>3</sup>Bishop Bainbridge. *The Harmony of Light*. The De Vinne Press. 1893. p. 14.

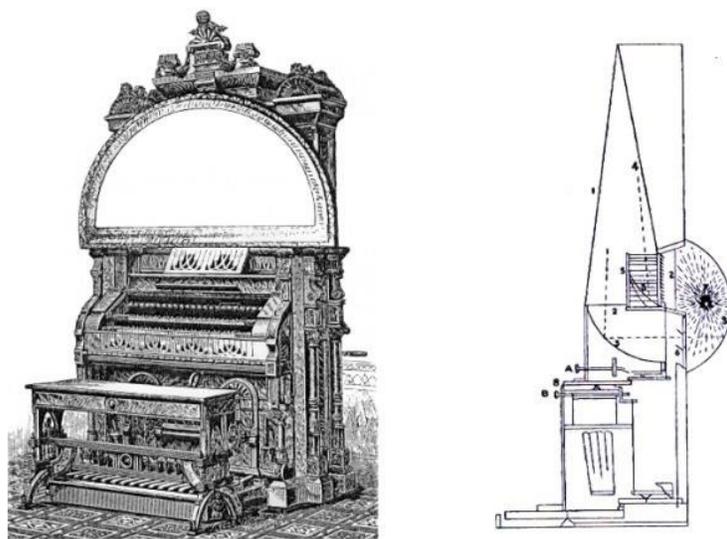


Figura 1.3: Brainbridge B. (1893) *Color Organ* recuperado de [https://www.researchgate.net/figure/Organo-de-color-de-Bainbridge-Bishop\\_fig3\\_277009983](https://www.researchgate.net/figure/Organo-de-color-de-Bainbridge-Bishop_fig3_277009983)

## 1.2. Antecedentes e historia de los instrumentos audiovisuales

---

nota más grave que solo podría obtener con tonos bajos o débiles difusos en todo el campo, los colores más altos o los acordes se muestran más pequeños en este suelo.<sup>4</sup>

Encontramos en esta cita, una aproximación más refinada en cuanto a lo que se refiere a la combinación de colores con respecto a la disposición de las notas para formar acordes.

Otros ejemplos de instrumentos de color y música son el *Sarabel Phonograph Visual Music* de Mary Hallock Greenewall (1946) y el *Piano Optique* de Wladimir Baranoff-Rossiné (1916), entre otros.<sup>5</sup>

En estos desarrollos, los inventores tenían una idea clara de llevar la interpretación musical del ámbito visual al campo del acompañamiento de lo sonoro. Ya no solo se busca la pura imagen del interprete tocando una pieza, sino la de un espectáculo total de luces, afín a una nueva era de imágenes, previo a la invención de la sincronización imagen sonido en el cine.

Por último, tenemos a la compositora inglesa Daphne Oram con su instrumento *Oramics Machine* (1957). Desarrollado en el contexto de los laboratorios sonoros europeos de los años cincuenta y sesenta, principalmente en países como Inglaterra, Francia y Alemania, la importancia de este dispositivo radica en su propuesta basada en la representación gráfica del sonido. Por medio de un mecanismo de fotoresistores que detectan la luz traslúcida de cuatro cintas magnética de 35 mm dispuestas horizontalmente (una sobre de otra), se dibujan distintos parámetros del sonido sobre la misma cinta (amplitud, altura, timbre, duración). Un aspecto importante para Oram, es el uso de la maquina tanto mecanismo de transcripción del sonido mediante el dibujo, como objeto que observa (aunque de manera muy básica) y procesa información. Encontramos en el pensamiento de la compositora, una búsqueda por generar un modelo imitativo de las capacidades humanas, en este caso, la visión de símbolos:

¿Cuáles son los factores que nos hacen humanos y cómo podemos huma-

---

<sup>4</sup>Bishop Bainbridge. *The Harmony of Light*. The De Vinne Press. 1893. p. 2.

<sup>5</sup>Sí se desea ahondar en otros instrumentos consultar: (Betancourt, 2004).

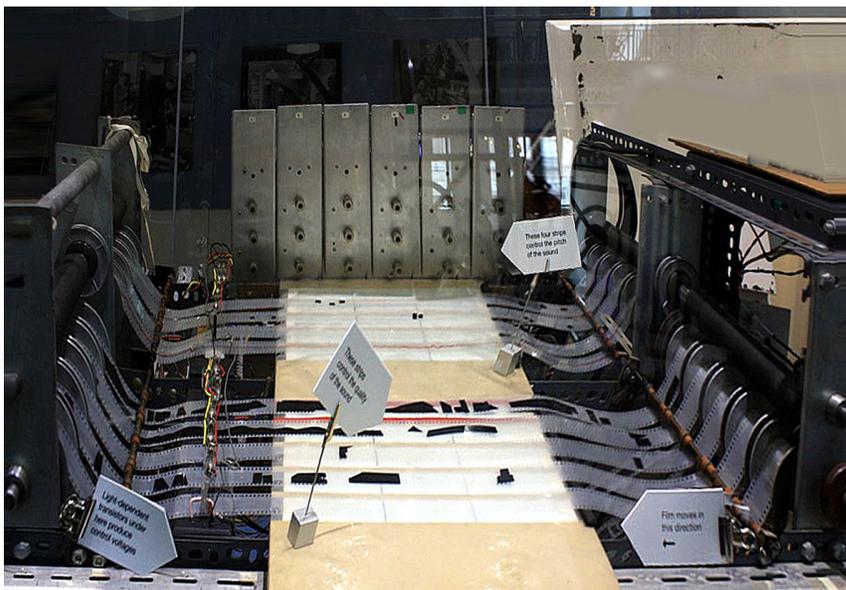


Figura 1.4: Oram D. (1957) *Oramics Machine* recuperado de <http://120years.net/oramicsdaphne-oramuk1959-2/>

nizar las máquinas que nos rodean para que podamos transmitir más de nuestra individualidad a través de ellos? ... controlar estas características en una forma visual para que todas las alteraciones dentro de la comprensión aurál del oído humano y la mente tengan una contraparte fácilmente reconocible en el medio visual.<sup>6</sup>

### 1.2.2. Máquinas de Composición Visual

Por otra parte, tenemos una ruta donde la investigación se centra en la generación de procesos puramente visuales pero que se desarrollan en el tiempo, como si fuesen una composición musical.

Hasta ahora, el color en gran medida en la naturaleza, y totalmente en el

---

<sup>6</sup>Daphne Oram. *An Individual Note of Music, Sound and Electronics*. Anomie Publishing. 2016. p. 103

## 1.2. Antecedentes e historia de los instrumentos audiovisuales

---

arte, nos ha sido presentado sin movilidad y casi siempre asociado con la forma. El color combinado con la forma ha constituido toda la pintura del mundo. El principal problema, es entonces, que el nuevo arte se plantea en introducir la movilidad en el color, y con este cambio, las tres grandes influencias del tiempo, el ritmo y la combinación, lenta o rápida y variada. De este modo, el color se libera de las trabas de la forma y se trata en aras de su propia belleza.<sup>7</sup>

El autor de dicha cita, Alexander Wallace Rimington desarrolló alrededor de 1893, un primer prototipo de su instrumento denominado *Color Organ* (nombrado de igual manera que el instrumento de Bainbridge Bishop). Basado también en la relación propuesta por Newton entre sonido y visión, Rimington la retoma para crear un órgano de 5 octavas, cada tecla controlaba el tono, la saturación y la brillantez de las lámparas que correspondían a cada nota. Ninguna de estas teclas producía sonido. Sobre esta misma ruta, tenemos el trabajo del danés Thomas Wilfred y su instrumento *Clavilux* (1919). Este instrumento da comienzo a una serie de proyecciones a las cuales denominó *Lumia* (éstas tampoco acompañadas por sonido), en donde el espectador era transportado a una experiencia puramente visual de imágenes desarrolladas en el tiempo (figura 1.5). Para Wilfred, estos instrumentos podrían llegar a desarrollar un lenguaje parecido al musical, pero con la finalidad de crear composiciones exclusivamente visuales, un arte que para él sería una nueva categoría llamada *Light Art*.<sup>8</sup> Aunque *Clavilux* utilizaba partituras para su interpretación, el

---

<sup>7</sup>Alexander Wallace Rimington. *A New Art: Colour Music*. Spottiswoode and Company, 1895. p. 1.

<sup>8</sup>Alexander Wallace Rimington en su escrito *A new Art Colour Music* describe una visión similar a la de Wilfred: Si tuviéramos un sistema de notación de color que se conectara tan intensa e instantáneamente con cada tinte posible, y poseyera el poder de combinar colores ante el ojo de la mente como una página de música combina signos a través del ojo al oído de la mente; Si tuviéramos instrumentos o algún mecanismo de arte apropiado para convertir tal notación de color en ondas reales de color ante el ojo corporal, entonces deberíamos haber realizado un nuevo arte, el alcance y la grandeza de cuyo desarrollo es simplemente imposible de estimar. Pero primero se debe constituir el arte del color, descubrir sus símbolos y fraseología, inventar sus instrumentos y nacer sus compositores. Hasta ese momento, la música no tendrá rival como medio artístico de emociones ([Rimington, 1895](#))

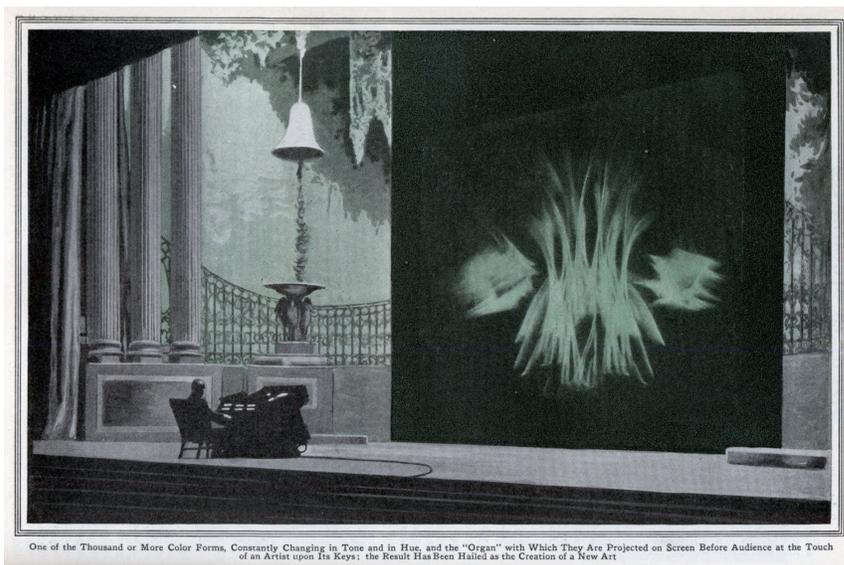


Figura 1.5: Wilfred T. (1919) *Clavilux* recuperado de <https://cdm.link/2015/08/watch-clavilux-ethereal-light-organ-100-years-ago/>

autor se negaba a que las presentaciones fuesen filmadas, ya que su cualidad efímera era parte medular del instrumento.

Influenciado por la pintura abstracta y el cine (ambas técnicas que él mismo desarrolló con una producción de obras importantes), tenemos también el trabajo de Oskar Fischinger con su instrumento *Lumigraph* (1940). En este proyecto, el autor utilizaba un marco de alrededor 1.50 por 1.50 m. hecho de latex dentro de un cuarto oscuro, sobre el cual, se proyectaban alrededor de 3 luces delgadas. El marco al ser frotado con la mano o alguna baqueta creaba efectos visuales. Para este artista, la importancia de los instrumentos audiovisuales radicaba en su acción de empujar las artes visuales hacia la condición de la música o como afirmó Kandinsky, la música es la forma de arte más pura a la que todas las artes deben aspirar. Kerry Brougher en su texto *visual music culture* afirma lo siguiente:

A principios de la década de 1920, estos tres enfoques de la música visual (pintura abstracta, composición de audición en color y actuación de órgano en color) se unieron a través de las capacidades tecnológicas del

## 1.2. Antecedentes e historia de los instrumentos audiovisuales

---

cine, y la obra audiovisual disolvió aún más las fronteras entre el arte alto y bajo, entre la contemplación metafísica y el espectáculo ilusorio.<sup>9</sup>

Como bien se apunta en la cita mencionada, las manifestaciones surgidas previamente generaron toda una línea de investigación basada en desarrollar aspectos visuales poco o casi nada narrativos (figuras geométricas de cualidades muy difusas, influenciados ciertamente por el arte abstracto) y más cercanos a procesos musicales.<sup>10</sup> Algunos resultados de estas investigaciones derivaron en la experimentación con soportes nuevos creados para la nueva industria masiva del cine, tales como pintar directamente sobre el celuloide, cortar, rasgar y pegar, técnicas de impresión con colores, entre otras. Dichas técnicas fueron en cierta manera, una forma de añadir nuevas texturas a sus composiciones visuales. Después del cine abstracto, estas propuestas pasaron de las grandes salas, a espacios más reducidos durante los años sesenta, como por ejemplo galerías de arte.

Para finalizar, hablaremos del proyecto *Vampire* (Video and Music Playing Interactive Realtime Experiment) de Laurie Spiegel (1974 - 1979). Hacia finales de los años sesenta, Max Matthews había realizado su instrumento *Groove*, un dispositivo capaz de controlar los parámetros sonoros generados por una computadora. Utilizando la misma lógica de control elaborada por Matthews, Laurie Spiegel comenzó a desarrollar un sistema que pudiera controlar señales de video, en lugar de audio. Con la ayuda de Kenneth Knowlton, desarrolló un lenguaje de programación destinado a dibujar gráficos mediante algoritmos.<sup>11</sup> Aunque el proyecto tuvo muchas barreras técnicas, y

---

<sup>9</sup>Kerry Brougher. *Visual-music culture*. En: *Visual Music: Synaesthesia in Art and Music Since 1900* (2005).

<sup>10</sup>Como medio temporal capaz de poner en movimiento la abstracción, el cine permitió que la pintura saliera de su marco estático y entrara en un nuevo mundo de movimiento y espectáculo. Los pintores, que se habían limitado a simplemente sugerir movimiento y ritmo a través de fragmentos estáticos, ahora podían crear movimientos fluidos y esquemas rítmicos que moldean el tiempo, acercando así el arte visual a la música. (Brougher, 2005)

<sup>11</sup>Al igual que sus antecesores, Laurie Spiegel busca desarrollar una analogía entre composición sonora y visual: “Probablemente pasé tanto tiempo trabajando en este sistema de música visual como en música audible, y la interacción en tiempo real con imágenes de video me pareció que tocaba música. El deseo de componer música visual era un ansia inevitable ... Los movimientos del objeto que arrastré alrededor de la pantalla me parecieron melódicos, y me di cuenta de que no

además, no recibió el apoyo económico necesario, quedó como un documento de los primeros dispositivos analógico-digitales en generar síntesis visual.

La obra de arte ya en este punto comienza a plantear propuestas que conciernen al largo proceso de investigación y creación heredado por el arte total de Wagner o la ópera del siglo XIX, en donde se busca integrar distintos soportes tanto disciplinarios como materiales para la creación de la obra artística. En el siguiente punto, daremos un breve marco estético, que nos permitirá entender cómo la producción artística nos ofrece nuevas perspectivas de interrelacionarse (sonido-visualidad), para proponer nuevas formas.

### 1.3. Híbridos

En su artículo Formas de arte híbridas, Jerrold Levinson habla sobre la manera en cómo las artes superan su pureza técnica y estética (idea heredada de la ilustración, específicamente *Laocoonte* o sobre los límites de la pintura y la poesía<sup>12</sup>) proponiendo una búsqueda y retroalimentación con otras artes:

Un híbrido es principalmente un fenómeno histórico que surge de convenciones artísticas y campos de actividad existentes. Desde la antigüedad, diferentes medios y modos de comunicación han estado en diálogo, unidos y separados según lo permiten los dictados de la sociedad y la cultura. Como argumenta Levinson, una forma de arte híbrida no debe considerarse como una categoría estructural, no simplemente como un fenómeno derivado del medio. Es una consecuencia de la historia. De esto concluye que las llamadas formas de arte puro (lo que él llama pura sangre) solo pueden definirse como no híbridas (no esenciales): “ dos cosas son inme-

---

estaba satisfecho con una sola línea ”melódica”. En la música audible adoraba el contrapunto, así que escribí en otro dispositivo interactivo en tiempo real para jugar con esa idea. Era una caja de movimientos cuadrados de dieciséis botones para opciones de contrapunto musical estándar. Ya era posible interactuar con un buen número de variables visibles en tiempo real”. ([Spiegel, 1998](#))

<sup>12</sup>Gotthold Ephraim Lessing. *Laocoonte o sobre los límites de la pintura y la poesía*. Herder. 2014.

### 1.3. Híbridos

---

diatamente evidentes. Una, la noción de una forma de arte pura sangre es lógicamente secundaria a eso de un híbrido . . . Dos, la categorización ordinaria de una forma de arte como pura sangre o no híbrida generalmente será relativa o limitada, y no presenta una pureza absoluta que se remonte a los albores del arte occidental.<sup>13</sup>

Para este autor, existen 3 formas de concebir una obra de arte híbrida: La yuxtaposición, la síntesis y la transformación, o en palabras de Simón Shaw-Miller, Multidisciplinar, Interdisciplinar y Transdisciplinar (Shaw-Miller y Miller, 2002). Para el autor, la multidisciplina se inscribe dentro de aquellas obras que se acompañan a sí mismas (teatro y pintura) pero que sus elementos son aun distinguibles. En la interdisciplina, las obras de arte se mezclan para formar un resultado distinto al de las originales. Por último, la transdisciplina es una forma de arte que cruza el territorio de la otra.

Un ejemplo que Shaw-Miller utiliza para ejemplificar la multidisciplina es la obra del compositor Richard Wagner, la cual fue pensada dentro del concepto que él denominó *gesantinkunstwerk*, en donde el compositor alemán unificaba la música, el teatro y las artes visuales en sus trabajos operísticos. La tecnología eléctrica en occidente proporcionó los materiales para que artistas de distintas índoles comenzaran a trabajar de manera multidisciplinaria y permitir su amplio desarrollo estético. Tal es el caso de Edgar Varesse y su *Poema Sinfónico Electrónico* para el pabellón Phillips durante la exposición universal de Bruselas en 1958. Esta pieza estaba acompañada por la proyección de un video en un espacio diseñado previamente por el compositor Iannis Xenakis en colaboración con el arquitecto Le Corbusier. En este proyecto sonido, cine y arquitectura se unieron para generar un espectáculo multisensorial, pero en el que aún podemos percibir de manera aislada cada soporte.

Otro ejemplo son la serie de performances *9 evenings* realizadas en New York durante el año 1966. En este proyecto artistas e ingenieros de los laboratorios Bell trabajaron para desarrollar obras con lo más innovador en tecnología electrónica de los años sesenta. Sistemas de circuito cerrados, cámaras infrarrojas, proyectores de televisión

---

<sup>13</sup>(Levinson, 1984)

y un sonar Doppler, fueron algunos de los dispositivos utilizados en las obras de creadores como John Cage, Robert Rauschenberg, David Tudor, entre otros. La pieza propuesta por el pintor Robert Rauschenberg en estos performances es un claro ejemplo de síntesis. Aquí varios elementos son utilizados para generar un resultado que no es posible ver en su origen:

“En Open Score, Robert Rauschenberg deriva el contenido de su actuación de las características del lugar del performance. La raqueta de tenis sugería tanto la idea de la confección (en otras ocasiones el tenis se jugaba en la Armería) como la de un baile improvisado de acuerdo con reglas específicas. Sin embargo, la iluminación, que se atenúa cada vez que una raqueta golpea una pelota, confiere a las acciones del jugador una función vinculada a un complejo sistema tecnológico”.

En Open Score, la tecnología analógica permite que los cruces colaborativos entre distintas áreas del conocimiento sean más directos. El avance de los medios digitales, por otra parte, permite hoy en día colaborar a músicos de manera más sencilla con creadores de otras disciplinas, incluso si están en otros países. Las obras de arte tienen ahora una visión de integración con variadas disciplinas que van desde la biología, la medicina, la física, entre otras, con el fin de buscar una retroalimentación estética, técnica y crítica (Crozier, s.f.).

Es dentro de este contexto de producción artística que los instrumentos audiovisuales se inscriben, ya que se caracterizan por tener cualidades multidisciplinarias o intermedias debido a sus necesidades de construcción y concepción, tanto estética como técnica. El trabajo que esta tesis propone buscará llegar al punto de elaborar una obra en la categoría de síntesis (intermediática), que como dice Jerrold Levinson, busca cruzar los territorios de la otra.

### 1.4. Sinestesia

A partir de la integración de soportes tecnológicos dentro de las artes visuales y sonoras durante del siglo XIX, algunos autores e investigadores han escrito e inves-

## 1.4. Sinestesia

---

tigado sobre los aspectos sinestésicos en la obra de algunos artistas audiovisuales. Los creadores de los que hablaremos más adelante, proponen el cruce de los sentidos mediante la mezcla de distintos soportes artísticos como el desarrollo de aspectos visuales combinado con el tacto o el gusto. Cabe mencionar que la sinestesia se logra de manera metafórica como varios autores afirman, ya que esta condición es una configuración particular del cerebro de un porcentaje pequeño de la población.

Como afirma van Campen, cuando el arte trata de romper con sus medios técnicos y estéticos (sus particularidades cualitativas), la pintura pasa de retratar un momento mítico o paisaje cotidiano, a pintar el sonido. Pensemos que, aunque la ciencia ha tratado de aislar cada sentido, estos no son independientes, sino que están unificados. Por ejemplo, de manera metafórica al ver una imagen u oler algún objeto, podemos escuchar música o sonidos que nos remiten a ese fenómeno en particular (si se desea ahondar en el tema el lector puede consultar: (van Campen, 2008)). Es importante remarcar que los autores aquí mencionados son analizados desde una experiencia del fenómeno tanto cultural como innata.<sup>14</sup>

Para Campen, una de las primeras experiencias documentadas de arte sinestésico fue la del compositor Alexander Scriabin. El compositor utilizaba una teoría sobre la relación entre sonido y color. En ella, él argumentaba que cuando un color era percibido con su adecuada correlación sonora, un poderoso resonador psicológico era creado al escuchar (figura 1.6). Para lograr este efecto, Scriabin creó un esquema que relacionaba las tonalidades con la paleta de colores. Uno de sus trabajos más ambiciosos fue la puesta en escena de *Prometeus*, una ópera que iba a utilizar un instrumento llamado *Chromola*, con la finalidad de iluminar toda una sala de conciertos basado en su famosa relación de colores con tonalidades. Posteriormente, decidió incorporar

---

<sup>14</sup>Simon Shaw Miller describe conceptos que nos permiten entender el fenómeno de la sinestesia como un conjunto de herramientas cognitivas dirigidas a entender el acto de la creación desde otra perspectiva: Los conceptos de "metamorfosis cognitiva", combinación conceptual "mezcla sensorial" hacen que la idea de límites claros entre la sinestesia neurológica y cultural sea mucho más difícil de determinar. Lakoff y Johnson argumentan que la comprensión de una idea o dominio cultural en términos de otra es fundamental no solo para nuestra comunicación, sino también para la forma en que pensamos y actuamos. La combinación conceptual también se propone como un proceso subconsciente que constituye la base del pensamiento creativo (Shaw-Miller y Miller, 2002).

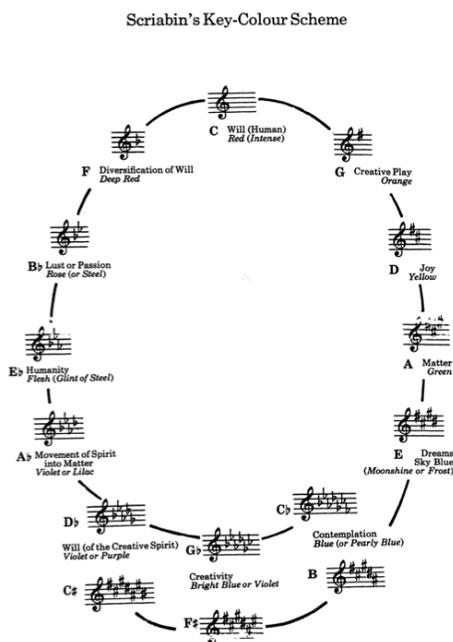


Figura 1.6: Scriabin A. (1909-1910) Color Scheme recuperado de [https://prometheus.kai.ru/skriab\\_e.htm](https://prometheus.kai.ru/skriab_e.htm)

olores a cada tonalidad utilizada en la pieza.

*Der Blaue Reiter* fue un grupo compuesto por pintores, compositores, bailarines y dramaturgos en Alemania alrededor de 1911. Basados en la teoría sinestésica de Vasili Kandinsky (escrita en su obra “*de lo espiritual en el arte*”), este grupo buscaba alcanzar el concepto de obra de arte total mediante la libertad de expresión a través de la abstracción y la expresión de la espiritualidad como ideal de un arte inmaterial. Kandinsky y su texto fue una gran influencia para movimientos como la Bauhaus, entre otros artistas:

Kandinsky describió la sinestesia como un fenómeno de transposición de la experiencia de una modalidad sensorial a otra, como en tonos musicales unísonos. Más tarde, cuando enseñó en la Bauhaus, comparó los nervios humanos con las cuerdas de un piano, observando que si se toca una nota en uno de los dos pianos que están uno al lado del otro, la misma nota

## 1.4. Sinestesia

---



Figura 1.7: Kandinski V. (1913) *Composición VII* recuperado de <https://www.wassilykandinsky.net/work-36.php>

exacta en el otro piano resonará ... En sus lecciones en la Bauhaus, enseñó a sus alumnos a experimentar con las relaciones entre forma visual, color, tacto, calidez, sonido y energía.

Es también muy conocida, la estrecha relación entre Kandinsky y el compositor Arnold Schoenberg. Ambos artistas compartieron ideas como la disonancia sinestésica (figura 1.7).

Otro pintor que buscaba darle otra dimensión además de la espacial a su obra plástica fue Piet Mondrian. En su pieza *Two Musical Paintings*, el artista busca mediante la repetición de líneas y colores, darle un ritmo (musical) a sus obras. Otro compositor que ha mencionado tener aspectos sinestésicos en su obra ha sido Oliver Messiaen:

La audición de color de Messiaen no era la simple síntesis de tono de un color a una escala de Newton, Castel o Rimington, en el que, por ejemplo, Do era rojo (Newton, Rimington) o azul (Castell). Más bien, Messiaen vio múltiples colores simultáneamente y los asoció con escalas, modos y acordes; los colores cambiarían, a veces drásticamente, cuando

se transponía la escala o el modo. Messiaen intentó describir lo que vio tomando su propio modo 2 de transposición limitada. Como ejemplo, en la primera transposición había rocas violetas azules moteadas con pequeños cubos grises, azul cobalto, azul prusiano profundo, resaltados por un poco de violeta violeta, dorado, rojo, rubí y estrellas de color malva, negro y blanco.<sup>15</sup>

Como menciona Kerry Brouger, Messiaen hace una asociación entre modos musicales y colores. Utilizando una combinación de siete modos, a los cuales les asigna un color determinado, el compositor crea una serie de piezas pensadas para formar una compleja combinatoria de colores y sonidos. A diferencia de Scriabin, Messiaen utiliza los colores para conceptualizar sus obras; en Scriabin los colores (junto a la música) son la obra.

Finalmente, otro artista heredero de la tradición audiovisual, Stan Brakhage utiliza la metáfora de la sinestesia para producir su obra. Argumentando que su sentido auditivo estaba unido a su sistema circulatorio y a los pulsos internos de su cuerpo, las piezas audiovisuales aluden a variaciones constantes de colores y al ritmo de las imágenes. Brakhage, junto a otros artistas audiovisuales, comenzaron a crear una corriente a finales de los años sesenta, incorporando las nuevas cámaras y proyectores de cine para visualizar sus trabajos. Estos eventos se realizaban en espacios muy amplios, y por lo regular eran acompañados con el uso de drogas LSD. Aunque este trabajo no quiere ahondar sobre este tópico, es importante mencionar la importancia de estos fenómenos seguirían evolucionando década tras década, hasta llegar a los festivales raves y que en este momento definiremos como la cultura del VJ.

Desarrollados a partir de los años sesentas, los soportes tecnológicos digitales han creado una fuerte relación entre sonido y video. Los investigadores Noam Sagiv y Robert Dean (? , ?), proponen un concepto para hablar de las obras que buscan los procesos sinestésicos en plataformas digitales:

La sinestesia algorítmica es un término que presentamos (Dean et al. 2006) para describir trabajos multimedia en los que el sonido o la imagen

---

<sup>15</sup>([Shaw-Miller, 2013](#))

## 1.4. Sinestesia

---



Figura 1.8: Brakhage S. (1989) Still de *Dante Quartet* recuperado de [http://sensesofcinema.com/2004/cteq/dante\\_quartet/](http://sensesofcinema.com/2004/cteq/dante_quartet/)

comparten el proceso computacional o la fuente de datos. Por ejemplo, un solo proceso algorítmico, ya sea que se ejecute libremente o bajo el control de un intérprete, puede generar transmisiones sonoras y visuales, o mediante la transformación de sonido e imagen preexistentes. Alternativamente, un conjunto de datos o flujo de datos común podría ser la fuente de diferentes procesos algorítmicos que generan, respectivamente, sonido e imagen ... tales relaciones podrían fomentar una interacción perceptiva o cognitiva audiovisual con algunas características interesantes en común con la sinestesia misma ... la asociación entre audición y la visión es más que metafórica, involucra material compartido o procesamiento algorítmico.<sup>16</sup>

Todas estas propuestas son un punto de partida para abordar el aspecto visual del instrumento desde un ángulo en donde la mezcla de colores pueda relacionarse desde

---

<sup>16</sup>Noam Sagiv, Roger ,T Dean y Freya Bailes. *Algorithmic synesthesia*. na, 2009.

un enfoque sinestesico. Más adelante, se retomarán las ideas propuestas por Dagit y Dean sobre la manera en como los procesos sinestésicos artificiales (aquellos que cualquier persona logra identificar) pueden ser aplicados al mapeo del instrumento. Como hemos descrito en esta sección, la sinestesia en el arte es tanto una forma de crear intenciones intermediales en el arte, así como de llevarlo a un plano de experimentación.

### 1.5. Reflexiones en torno a la relación sonido-imagen

A finales de los años setenta, el compositor Iannis Xenakis uno de los proyectos más ambiciosos de su carrera, la *UPIC*. Esta interfaz de escritura-dibujo consistía en una computadora que procesaba y traducía mediante una tableta, los trazos hechos por el usuario. Posteriormente, las imágenes se transformarían en sonido. Aunque el dispositivo de Xenakis concreta de manera exitosa la relación sonido-imagen, tiene el inconveniente de imponer una visión cartesiana del problema de la representación del sonido en dibujo. Nos preguntamos si realmente un sonido que se vuelve agudo de manera continua tiene que ser una línea hacia arriba, o porqué la continuidad no puede ser representada como un fondo ¿No es más interesante llevar la cualidad abstracta del sonido a nuevos modos de entender y ver el sonido? La idea del compositor griego esta muy ligada a la idea de un eje cartesiano XY, donde X representa el tiempo y Y la altura, sonido o espacio, y que además la línea tiempo corre de izquierda a derecha (figura 1.9). Tal vez este debía empezar de arriba abajo, o de los cuatro extremos hacía adentro para encontrar una línea de fondo (eje z). Incluso desde los primeros instrumentos audiovisuales, siempre hubo la inquietud de aterrizar las propuestas visuales a una simplificación del lenguaje musical:

La posesión de un teclado similar al musical hace posible escribir composiciones de color sobre el mismo sistema de notación, y lo que ahora importa es traducir partituras musicales a color y hacer uso de las hermosas obras rítmicas ya existentes para la interpretación ayudando en el

## 1.5. Reflexiones en torno a la relación sonido-imagen

---

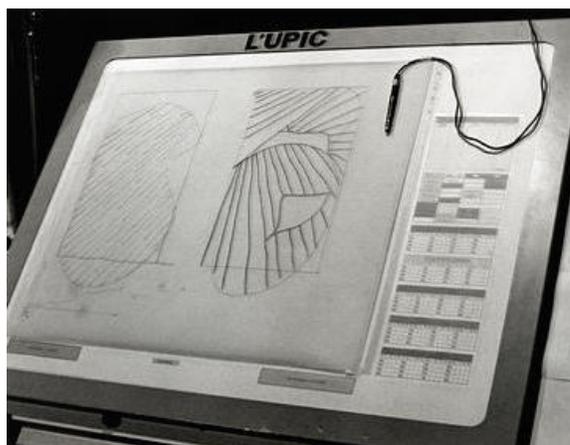


Figura 1.9: Xenakis I. *UPIC* (1976) recuperado de <http://www.musicainformatica.org/topics/upic.php>

desarrollo del nuevo arte.<sup>17</sup>

Alexander Wallace Rimington no intenta crear un lenguaje visual propio que pusiera sobre la mesa una problematización del fenómeno visual versus el auditivo, sólo continua elaborando los planos 2D ya propuestos anteriormente.

Una obra que busca llevar el sonido de un plano 2D a uno 3D es la pieza *The Queen of the South* de Alvin Lucier. En esta pieza el compositor pide que debajo de una superficie de vidrio, madera o acero se coloquen bocinas o micrófonos lo suficientemente potentes para propagar las frecuencias que éstas generen. Sobre la superficie se colocarán materiales como azúcar, arena, arroz o cualquier otro que permita al contacto con el acero poder ver las ondas sonoras mediante este material. Basado en los experimentos de Chladiani, Lucier nos muestra la capacidad del sonido como generador visual. Además, el compositor pide que con una cámara se trasmitan en vivo las imágenes que genera este fenómeno, como si fuese un instrumento más, o una partitura generada por sonido a través de los materiales mencionados. En esta pieza podemos observar, que la problemática del sonido va más allá de una mera atribución de signos simplificados para su atribución. Este caso muestra que el fenómeno sonoro

---

<sup>17</sup>Alexander Wallace Rimington. *A New Art: Colour Music*. Spottiswoode and Company, 1895.

crea patrones muy complejos; tanto en los experimentos de Chladiani como en esta pieza de Lucier, el resultado visual son fractales o patrones caóticos. La riqueza de la representación visual del sonido radica en las amplias posibilidades que el sonido permite gracias a su alto potencial de abstracción. Ver la representación de un gesto u objeto musical se vuelve una materia cada vez más compleja al referirnos a fenómenos más complicados como la síntesis sonora o timbres generados por instrumentos poco conocidos. La meta del artista que busca trabajar con materiales sonoros-visuales será encontrar un lenguaje o una manera de entender esta problemática no necesariamente desde la simplificación del lenguaje musical tradicional, sino desde un terreno de la crítica a éste.

Un ejemplo de obras que buscan llevar el lenguaje musical hacía una nueva visibilidad, es la del compositor Thor Magnusson. En su trabajo podemos encontrar el desarrollo de interfaces gráficas que buscan proponer nuevas perspectivas visuales al sonido. *IXI software* es un proyecto que utiliza la creación de objetos que pueden ser manipulados por el usuario (rotación, cambio de forma o interconexión entre los mismos). Cada acción esta asociada a la transformación de un parámetro del sonido (frecuencia, textura, amplitud, etc.) La pregunta en este instrumento audiovisual es hasta qué punto el usuario tiene libertad creativa y no esta restringido a decisiones tan predefinidas por el compositor, que el resultado sea muy similar o sí podrá variar en estilo dependiendo de quién lo utilice. Basado en este trabajo, Thor desarrolla dos modalidades más de *IXI*: *IXIQUARKS* e *IXILANG*. El primero es en un entorno gráfico basado en videojuegos y diseños webs que busca plantear nuevas maneras de creación sonora.<sup>18</sup>

El segundo es un ambiente desarrollado en Supercollider e influenciado por el movimiento de LiveCoding. Consiste en una interfaz que sustituye el aspecto temporal de la partitura por uno de caracteres y espacios. Un último ejemplo es su más reciente proyecto *Threnoscope*: El autor aquí sugiere una representación circular, parecida a la de George Crumb, pero en esta propuesta Thor no busca una serie de eventos discretos, sino crear un espacio continuo que gira sin una duración específica.

---

<sup>18</sup>Una pregunta central a ser profundizada es cómo las interfaces visuales y el diseño interactivo darían como resultado una música diferente. (Magnusson, 2017)

## 1.6. Hacia una visión del sonido en los medios digitales

---

Thor propone encontrar nuevas maneras de ver las herramientas compositivas fuera del ámbito de la línea temporal de la partitura para encontrar nuevas formas de construir el sonido.

Es importante, comentar que la idea de producir otros elementos visuales en la composición musical contemporánea electroacústica es cuestionarnos hasta qué punto, las tecnologías digitales nos permiten encontrar nuevas maneras de entender el fenómeno de la visualidad en el sonido, y sí realmente éstas permiten cuestionar las metáforas lineales (piano roll, pista, notación de pentagrama) o solo buscan repetir esos modelos hegemónicos. Nos hacemos la pregunta sí al manejar otros elementos visuales, se pueden generar otras ideas musicales o afectar posicionamientos tradicionales del sonido en la música.

## 1.6. Hacia una visión del sonido en los medios digitales

Un aspecto importante en el proceso creativo de algunos instrumentos audiovisuales es la traducción de una forma visual a sonido. El compositor mediante la experiencia adquirida en el ramo de las herramientas digitales (tales como Supercollider, Processing, entre otras), toma una serie de decisiones sobre cómo las formas visuales afectan el sonido o generan un proceso musical; es decir, ya no se escribe una partitura para ser interpretada, sino que se generan una serie de decisiones que modelan aspectos técnicos-digitales-estéticos que afectan el resultado final; la creación del instrumento audiovisual y todo lo que esto implica es ahora la obra de arte. A continuación, daremos algunos ejemplos sobre IMAV (Instrumento Musical Audio Visual) recientes que han trabajado sobre esta línea estética, así como de aspectos técnicos esenciales en el uso de instrumentos audiovisuales y sobre sus repercusiones en la manera de como se produce la obra de arte en contextos digitales.

### 1.6.1. Desarrollo de instrumentos audiovisuales en la era digital

En este apartado se hablará de manera breve, sobre algunos trabajos que utilizan elementos audiovisuales, ya sea como generadores de datos visuales capturados por la computadora mediante algún fenómeno externo, o como creadores de eventos audiovisuales de manera artificial por medio de la computadora.

Un instrumento audiovisual que plantea “de qué manera las nociones de espacio digitalizado alteran nuestra percepción del espacio físico” (Johnston, 2013) es el de Andrew Johnston con *Encoded*. *Encoded* es un sistema basado en openFrameworks y Pure Data que consiste en la captura del movimiento de un bailarín mediante una cámara conectada al ordenador. Las imágenes son pasadas por un sistema de rastreo de movimiento óptico basado en OpenCV. Los desplazamientos del intérprete son captados y vinculados a un modelo de simulación de fluidos en tiempo real y a un mapeo de sonido que almacena la velocidad de los gestos dancísticos. El trabajo mencionado describe una serie de instrumentos, en donde, la máquina captura un gesto y lo convierte en imagen (en este caso un sistema de fluidos y partículas) y sonido.

Sobre esta misma línea, Golan Levin propone una serie de instrumentos audiovisuales que buscan la interacción corporal del usuario frente a la computadora. Uno de ellos es *Aurora*, dispositivo que genera una simulación de filamentos delgados que responden a los gestos articulados por el usuario. Su autor lo explica de la siguiente manera:

Desarrollé dos sistemas de dibujo reactivos, *Brillo* y *Floccus*, que permiten al usuario construir imágenes a partir de líneas estructuradas de acuerdo a esta simulación física. En *Brillo*, las líneas dibujadas por el usuario son golpeadas por fuerzas derivadas de una fotografía oculta pero subyacente. Los filamentos de color claro son atraídos por las regiones brillantes de la fotografía, mientras que los filamentos oscuros son atraídos por las regiones oscuras. Usé estas reglas simples para unir montones de garabatos casuales en varios retratos de mis colegas. Los resultados son

## 1.6. Hacia una visión del sonido en los medios digitales

---

transformaciones tenues, orgánicas y a veces inquietantes: claroscuros en el cabello.<sup>19</sup>

En la parte sonora, Golan Levin utiliza una técnica de síntesis sonora llamada “Quasi synchronous granular synthesis” (Roads, 2002) que, por su cualidad multiparamétrica, le permite tener el control de todos los aspectos visuales que ocurren simultáneamente, en este caso, la generación de los filamentos.

*Music Insects* de Toshio Iwals fue uno de los primeros programas en proponer una estética audiovisual en el plano digital. Este sistema es un programa que posibilita al usuario colocar un cuadrado en la pantalla y así crear una especie de partitura. Posteriormente, una serie de insectos aparecen para rodear el cuadrado y activar una nota, cada insecto tiene un timbre particular. El proyecto puede entenderse como una forma de pintar y de hacer música mediante la interacción del usuario con el software.

Por último, mencionaremos el proyecto “*to be inside of someone else’s dream*”. La propuesta aquí es utilizar la metáfora del sueño por medio de dispositivos digitales que capturan las ondas cerebrales de intérpretes para después convertirlas en sonido y video. Los autores proponen “a collective dream that is at once preformed, represented, and produced in and between multiple states of consciousness, and articulated in sound and light”.<sup>20</sup> *To be inside of someone else’s dream*, utiliza el software EyesWeb para monitorear la actividad cerebral, MaxMSP para su sonificación y Jitter para la parte visual. El desarrollo visual y sonoro está adecuado para que haya cambios de acuerdo al momento en que cada intérprete tiene una modificación en sus ondas cerebrales. Estos cambios responden a diferentes estados de sueño. Es decir, la composición audiovisual estará basada en los estados de conciencia de los “soñadores”. La obra utiliza sonidos que se desarrollan muy lentamente, dando una sensación de “ser o estar”.

---

<sup>19</sup>Golan Levin. “*Painterly interfaces for audiovisual performance*”. Tesis de maestría. Massachusetts Institute of Technology, 2000.

<sup>20</sup>Gascia Ouzounian y col. *To be inside someone else’s dream: On Music for Sleeping and Waking Minds*. En: *New Interfaces for Musical Expression* (NIME 2012) (2012), págs. 1-6. (Ouzounian, Knapp, Lyon, y DuBois, 2012)

En estos instrumentos los autores buscan un diálogo ya sea con un intérprete profesional o con un usuario que requiere poca habilidad, pero en ambos se buscan generar una interacción con el sistema, mediante el lenguaje visual propuesto por los creadores. Aquí hablamos de sistemas que se adecuan a la inmediatez o a la práctica de un medio por entrenamiento. En el caso del instrumento a desarrollar, me interesa que pueda ser utilizado tanto en un contexto de interpretación (concierto) o de interacción (museo o galería).

### 1.6.2. La computadora como intermediario-intérprete-creador.

A partir de los años ochentas, una serie de artistas empezaron a utilizar en su cuerpo de obra a la computadora como un elemento que crea e interpreta datos a partir del análisis de numerosos fenómenos cotidianos. Los instrumentos audiovisuales comenzaron a incorporar esta tecnología, tanto para enriquecer su lenguaje estético, como para ampliar el espectro de lo que entendemos por la relación imagen-sonido. Dos aspectos de suma importancia son por un lado el mapeo de datos, y por el otro, la visión por computadora. Abordemos de manera no exhaustiva estos aspectos técnicos que rodean estas técnicas, para posteriormente, adentrarnos en sus aportaciones estéticas.

#### Mapeo

Uno de los paradigmas más importantes dentro de los instrumentos audiovisuales digitales es el de la conversión de datos a sonido:

La cuerda de un violín es parte del mecanismo de control y del generador de sonido. Como son inseparables, las conexiones entre los dos son complejas, sutiles y determinadas por las leyes físicas. Con instrumentos electrónicos y de computadora, la situación es dramáticamente diferente. La interfaz suele ser un equipo completamente separado de la fuente de sonido. Esto significa que la relación entre ellos tiene que ser definida. El arte de conectar estos dos componentes, tradicionalmente inseparables,

## 1.6. Hacia una visión del sonido en los medios digitales

---

de un sistema musical en tiempo real (un arte conocido como mapeo) no es trivial.<sup>21</sup>

Como afirma Hunt y Wanderley (Hunt, Wanderley, y Paradis, 2003), los instrumentos audiovisuales digitales no son un desarrollo de objetos materiales que generan sonido de manera directa, sino que son dependientes de esquemas computacionales creados a partir de software, lenguajes de programación, diseño de dispositivos electrónicos para su interacción entre el ordenador y el intérprete. En este contexto, los IMAV son ambientes de creación donde el instrumento es visto también como un sistema, un medio de interacción (algo que está mediando entre el intérprete y el sonido que se produce, entre el interior y el exterior del cuerpo) o una máquina. Esta dinámica es debido a las posibilidades que los sensores han consentido como traductores de datos del mundo físico (humedad, movimiento, luz, entre otros) permitiendo a los compositores generar sistemas de interacción y retroalimentación que les posibilita utilizar su cuerpo como intérpretes musicales.

Nick Collins en su pieza, *In A State*, utiliza las posibilidades de las detecciones faciales por medio de visión por computadora para generar piezas electroacústicas, las emociones emitidas por el compositor u otro usuario son captadas por la cámara, convertidas a datos y mapeadas a sonido. En este proyecto podemos observar un claro ejemplo del uso del cuerpo como interfaz o instrumento. Los músculos del rostro que expresan nuestro estado de ánimo son instrumentizados para generar estructuras musicales o timbres.

*Silent Drum* del compositor peruano Jaime Oliver es un proyecto realizado en 2009. Este proyecto consiste en la creación de un instrumento musical digital mediante el uso de una cámara. Ésta captura la sombra generada por una mano que presiona una membrana elástica detrás de una luz blanca.

Las sombras generadas son capturadas por un software que las transforma en sonido. En este trabajo podemos percibir una fuerte carga visual para el manejo del sonido, es decir, la transformación de las texturas del sonido está ligada a los contornos

---

<sup>21</sup> Andy Hunt, Marcelo M Wanderley y Matthew Paradis. *The importance of parameter mapping in electronic instrument design*. En: *Journal of New Music Research* 32.4 (2003), pags. 429-440.



Figura 1.10: Oliver J. (2009) *Silent Drum* recuperado de <https://newatlas.com/silent-drum-musical-instrument/11205/>

creados por él interprete a tiempo real (figura 1.10). Hay un trabajo de composición en el sentido de que el autor delimita una serie de procesos sonoros a la manera en cómo se capturan estos contornos, los sonidos no están supeditados a un lenguaje tan cerrado como lo puede ser una partitura de tradición cartesiana, sino a decisiones ejecutadas a tiempo real por un proceso audiovisual. El compositor diseña su propia interface que genera los procesos visuales.

Los ejemplos mencionados nos llevan a una relación como la que se puede ver en el siguiente diagrama:(figura 1.11). En la imagen anterior, entendemos al generador como aquel fenómeno captado por la cámara, para ser interpretado por la máquina y posteriormente convertido a sonido. El generador puede ser cualquier fenómeno físico como la luz, el movimiento u otra cosa que la cámara pueda detectar. El compositor utiliza ahora como instrumento el manejo de la luz con una lámpara, el movimiento de una bailarina, las burbujas de jabón como generadores de sonido, codificados por la computadora mediante lenguaje binario. En el caso de Collins, el intérprete ha sido remplazado por las emociones del compositor. Jaime Oliver por otra parte,

## 1.6. Hacia una visión del sonido en los medios digitales

---

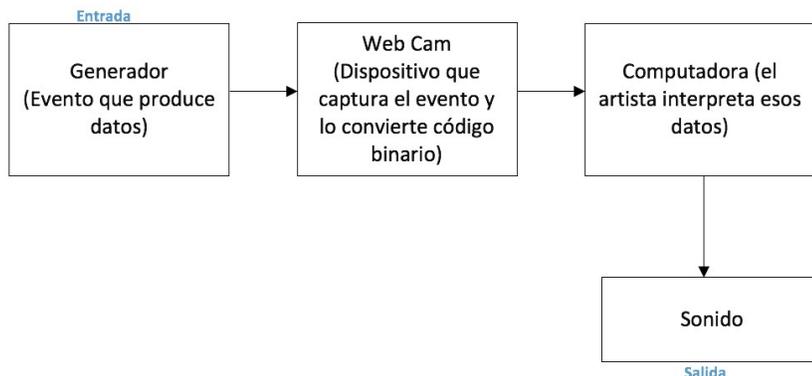


Figura 1.11: Flujo del proceso

juega con la idea de un instrumento silencioso, pero que se hace presente por medio del juego entre luz y sombras. Estas propuestas, buscan plantear una discusión sobre la búsqueda de otros elementos de interacción en la interpretación musical. Los fenómenos de la vida cotidiana, de la naturaleza, serán ahora los intérpretes de los nuevos instrumentos digitales.

### 1.6.3. Compositor-Improvisador-Intérprete

Todas estas formas de producción en el ámbito sonoro-digital hacen pertinente cuestionarnos qué tan definidas están las categorías de compositor-intérprete-improvisador, ya que algunas veces, el compositor prescinde del intérprete o viceversa; pensemos también en aquellos sistemas computacionales creados para generar composiciones, partituras e intérpretes virtuales a tiempo real. Ahora cualquiera de ellos, gracias a las posibilidades digitales, pueden eventualmente crear sus propios modos de interacción, creación e interpretación. El procesador o instrumento llega no solo a ser autónomo como los modelos del siglo XVII (pianolas, autómatas musicales, etc.), sino también autogenerativo, creando así sus propios patrones de respuesta sonora al escuchar ya sea al intérprete o a sí mismo.

El compositor que genera sus propios IMAV, prescinde algunas veces del intérprete, ya que éstos, son diseñados de acuerdo a sus necesidades estéticas, compositivas y cualidades hápticas propias de su cuerpo. Bajo esta perspectiva, algunos autores proponen a la creación de IMAV como una manera de composición o de creación que va ligada a una serie de obras, performance o conciertos particulares del creador:

“Con la música electrónica de mediados del siglo XX, la separación entre el compositor y el intérprete virtuoso se volvió a deshacer parcialmente, ya que una creciente automatización del proceso de sonido y/o dispositivos de estudio adoptados de la radio (generadores, unidades de efectos de grabadoras de cinta) permitió una traducción directa de una idea artística en sonido (Karlheinz Stockhausen) o como el compositor, a menudo también funcionaba como intérprete principal de sus propias obras”<sup>22</sup>

Por otra parte, el compositor también decide ya no ser un creador de partituras, si no de esquemas predefinidos (automatización en programas como Pure Data o Supercollider) que le permiten generar en tiempo real un contexto de improvisación controlada como en los desarrollados por artistas como Thor Magnusson o Nick Collins (Baalman, 2017). El compositor diseña sus propios ejes de coordinación y movimiento, no se tiene que adecuar a los ya estipulados por un instrumento dado, ya que el procesador, gracias a los sensores, permite un amplio espectro de posibilidades, desde un instrumento que se basa en el movimiento muscular, hasta uno que este relacionado con el dibujo sobre papel.

### 1.6.4. Instrumentos como procesos compositivos

Las nuevas tecnologías digitales han permitido que las fronteras entre composición, diseño de instrumento e interpretación sean cada vez más difíciles de percibir. El compositor en estos días ha venido incorporando conocimientos como programación, desarrollo de circuitos electrónicos, uso de distintos materiales para sus instrumentos,

---

<sup>22</sup>Douglas Keislar. “A Historical View of Computer Music Technology”. En: The Oxford Handbook of Computer Music. 2009.

## 1.6. Hacia una visión del sonido en los medios digitales

---

etc. En su artículo *led and schema*, John Richards se cuestiona sobre estas problemáticas lo siguiente: ¿Dónde se encuentra la obra de arte? ¿En la creación del instrumento, de los esquemas, de la partitura, de la programación? Estas preguntas nos remiten al trabajo de compositores como David Tudor, Gordon Mumma o Michael Gotfried Koenig, en donde sus partituras eran esquemas de circuitos electrónicos o tablas de programación para computadora en el caso de Koenig. Marije Balmman pone como ejemplo el uso del Live Coding como una herramienta compositiva que problematiza estas cuestiones:

Para la música de computadora, uno puede considerar la escritura real de un programa de música como su composición, y el código como su representación (como una partitura). Cuando se evalúa el código, se convierte en una interpretación y se realiza.

También señala cómo el proceso de producción musical se define de una manera más directa con el desarrollo y experimentación del instrumento:

“El tiempo de diseño” se compara con la composición, un proceso que tiene lugar fuera de tiempo, donde se toman las decisiones de diseño e implementación. El tiempo de reproducción es el tiempo real que se toca con el instrumento, donde el instrumento se evalúa en tiempo real en términos de cómo se siente tocar el instrumento, qué posibilidades y qué sensación de libertad ofrece. La experiencia del tiempo de juego se utiliza nuevamente para cambiar aspectos del instrumento en tiempo de diseño, con múltiples iteraciones hasta que el intérprete esté satisfecho. Incluso después de uno o más conciertos, uno puede dar un paso atrás para diseñar el tiempo y ajustar las características del instrumento.<sup>23</sup>

Para finalizar, refiramos a dos paradigmas importantes que se han dado a partir de la tecnología digital:

- Los instrumentos musicales digitales no son un desarrollo de objetos materiales que generan sonido de manera directa, como en el caso de los acústicos, sino

---

<sup>23</sup>Marije Balmman. “*Interplay Between Composition, Instrument Design and Performance*”. En: *Musical Instruments in the 21st Century*. Springer, 2017, pags. 225-241.

que son dependientes de esquemas computacionales creados a partir de software, lenguajes de programación, diseño de dispositivos electrónicos para su interacción entre el ordenador y el intérprete.

- Los instrumentos digitales han sido definidos como la unión entre hardware (microprocesador, memoria física), software (interfaz gráfica, lenguajes de programación, código binario) y controlador (objeto físico con el que se comunica el usuario con la máquina).

A partir de estas dos premisas entendemos cómo los compositores abordan el fenómeno sonoro desde un campo interdisciplinario. La tradición musical que ha heredado instituciones como el IRCAM, han creado un perfil de artista con formación musical que se adentra en la investigación, teorización o creación de nuevas herramientas sonoras. La experimentación que permiten estos espacios representa para los compositores una nueva etapa de la música en donde los dispositivos creados tienen la misma relevancia que la obra. A este tipo de creador se la ha denominado el “Metacompositor (Keislar, 2009) aquel que puede interpretar sus obras con máquinas e instrumentos creados por el mismo y que en lugar de realizar sus obras de manera directa, concibe sistemas que generan obras musicales”.<sup>24</sup>

### 1.7. Conclusiones

Este capítulo hemos esbozado algunos precedentes sobre las raíces estéticas de los IMAV. Se ha planteado una relación que sugiere la praxis estética desde un punto de vista intermediático, generando una síntesis entre distintos soportes artísticos. El trayecto artístico en este capítulo infiere la importancia más que nunca de la rela-

---

<sup>24</sup>La intersección de algoritmos arbitrariamente complejos en el proceso de composición permite al compositor operar la música a un nivel tan alto o tan bajo como lo desee. Mientras que el compositor tradicional opera en el mismo nivel que el intérprete, escribiendo las notas individuales que tocará el intérprete, el compositor que usa algoritmos puede trabajar a un nivel superior. En el extremo superior de la escala, el compositor puede convertirse en lo que hemos denominado meta-compositor. En un nivel inferior, al crear modelos de síntesis y diseñar sonidos directamente, el compositor asume los roles de constructor e intérprete de instrumentos.

## 1.7. Conclusiones

---

ción imagen-sonido y todos los aspectos que la comprenden (percepción, recepción, formas, etc.), debido por una parte a una cultura primordialmente visual y a las posibilidades que los medios digitales ofrecen. Además, estas relaciones cuestionan los soportes puros o lineales; nos ofrecen nuevas maneras de entender conceptos como la laudería, la interpretación, la composición o la partitura con la finalidad de borrar las fronteras entre ellos mismos. Nuestra propuesta será crear un IMAV que vaya más allá de las poéticas lineales en la representación del sonido con respecto a la imagen que nos permite discutir aspectos específicos sobre el papel del mapeo y la sonificación en la composición electrónica.



# Capítulo 2

## Prototipos del sistema audiovisual

### 2.1. Introducción

En este capítulo se abordarán los primeros experimentos llevados a cabo para la realización del instrumento audiovisual propuesto en esta tesis de maestría. Mencionaremos de manera muy breve algunos proyectos hechos previamente por artistas que servirán como antecedente del instrumento a realizar y nos darán un panorama sobre el proceso para la realización de un prototipo del instrumento.

### 2.2. Superficies Elásticas

Uno de los primeros acercamientos que tuve con instrumentos audiovisuales fue el realizado por el compositor peruano Jaime Oliver, *Silent Drum*. Este dispositivo generó en mí una necesidad de investigar sobre este tipo de interfaces sonoras. Indagando al respecto, encontré al percusionista Josef Klammer. Su trabajo, al igual que el de Jaime Oliver, está basado en el concepto de superficies elásticas pero a diferencia de



Figura 2.1: Experimento con sensor flexible

Oliver, Klammer utiliza membranas de silicio a manera de sensor, ya que este material se puede utilizar como conductor y traductor de datos. Al ser frotada o estirada la membrana se generan una serie de pulsos o corrientes eléctricas; estos pulsos al ser convertidos a información digital se mapean por medio de una computadora a sonido. Por último, tenemos la pieza *Firewall* realizada por Aaron Sherwood y Michael Pallison. Una membrana dispuesta de manera frontal detecta el contacto y la fuerza aplicada sobre ésta. Cuando una cámara detecta estos movimientos, se activan una serie de sonidos y colores que dan la sensación de profundidad sobre el objeto.

Como parte de la realización de un instrumento con cualidades elásticas, se desarrolló un pequeño prototipo utilizando un sensor flexible sobre una tela elástica conectada a Arduino. Los datos que se obtenían al estirar dicha superficie eran convertidos a sonido mediante el software Supercollider. La idea de este experimento consistió en la posibilidad de generar tanto animaciones como sonidos al contacto con la interface. El resultado obtenido en este primer experimento nos llevo a las siguientes reflexiones: Los resultados que obtuviéramos del instrumento no nos permitirían problematizar el fenómeno sonoro visual ya que su implementación era sencilla y obvia. Solo funcionó como una prueba de las posibilidades del sensor como controlador de audio o imagen (figura 2.1). Trabajar con materiales conductores elásticos era un objetivo que se salía de nuestras posibilidades técnicas.

## 2.3. Formas en materiales líquidos

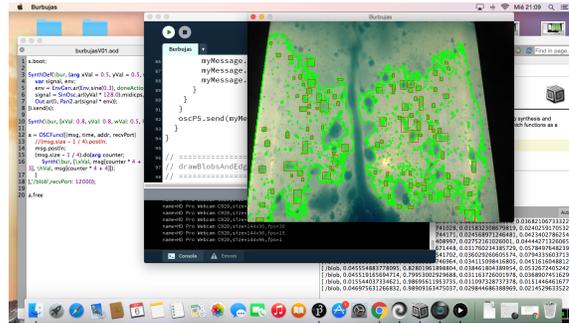


Figura 2.2: Experimento con burbujas

Fue así como se descartó continuar sobre esta línea de investigación. Lo que se quedó como elemento rescatable en esta fase del proyecto fue la posibilidad de crear un instrumento que estuviera generando sonido a partir de procesos visuales (como el caso del instrumento audiovisual *Silent Drum* de Jaime Oliver)

## 2.3. Formas en materiales líquidos

Un fenómeno que nos pareció interesante tanto al tutor como a mí fueron el de las formas visuales generadas en materiales líquidos. Se comenzaron a realizar pruebas en donde se buscaba producir elementos visuales en superficies líquidas. Una primera aproximación consistió en hacer lámparas de lava caseras para detectar el movimiento de las burbujas por medio de visión computarizada. El instrumento fue una pequeña pecera con agua, aceite y colorante combinados. Se utilizó bicarbonato de sodio como reacción química para generar burbujas. El trayecto, número y tamaño de estas fueron captados por una cámara conectada a Processing. Los datos obtenidos son mandados a Supercollider para ser mapeados a algún parámetro del sonido (figura 2.2). Esta aproximación fue primordial para poder empezar a trazar una ruta hacia dónde queríamos que el proyecto se dirigiera. Sin embargo, el principal mecanismo de este instrumento, las burbujas, tenía una cualidad poco duradera y predecible en cuanto movimiento, es decir, se volvía tedioso para el intérprete solo estar vaciando bicarbonato en una pecera más de cinco minutos y daba poca capacidad de inter-

acción física con el instrumento. Aunque se descartó el mecanismo de las burbujas, se rescató el primer elemento base de nuestro IMAV: la visión por computadora, un elemento con un amplio espectro de investigación en el campo de los IMAV y que permitía utilizar el agua como generador visual del instrumento.<sup>25</sup>

### 2.3.1. Rutas Alternas

La imagen de una pecera con agua utilizada como instrumento musical nos parecía una idea potente, pero necesitábamos de un elemento que nos permitiera una interacción más interesante.

Revisando el trabajo de artistas que utilizan el movimiento como elemento escultórico, encontramos el trabajo del escultor cinético Ned Khan, más en específico su obra *Air*. La pieza consiste en una rejilla de 100 x 100 metros colgada en la fachada de un edificio. Ésta contiene alrededor de dos mil paneles plateados que al ser movidos por el aire generan patrones y figuras abstractas (figura 2.3). Planteamos poder crear una rejilla similar, pero a pequeña escala y sumergida en agua, hecha de un material elástico que nos permitiera generar patrones visuales con el movimiento del agua dándole continuidad al experimento anterior. Al imaginar un instrumento de ese tipo, inmediatamente pensamos en el parecido con el funcionamiento de las células ciliadas en la cóclea dentro del sistema auditivo.

### 2.3.2. Prototipo Uno

Gracias a las posibilidades que ofrece la UNAM de crear lazos de cooperación y campos de interdisciplina, se buscó la colaboración del Laboratorio de Diseño Industrial del área de posgrado y comenzar así a elaborar un prototipo de lo que podría ser el IMAV.

Primeramente, se investigaron materiales que funcionarían de manera rígida para mantener flexibilidad dentro de un ambiente líquido y elástico para que se moviesen

---

<sup>25</sup>En el capítulo cuatro abordaremos a fondo este tema

### 2.3. Formas en materiales líquidos

---



Figura 2.3: Kahn N. (2000) Wind Veil recuperado de <http://nedkahn.com/portfolio/wind-veil>

los pequeños filamentos de la rejilla al vibrar el agua (figura 2.5). Se sugirió primero utilizar un material polímero como cauchos de silicona que permiten tener las características referidas, sin embargo, el primer reto fue crear un molde que pudiera ser desprendible del silicón, es decir, que al aplicarlo sobre una superficie pudiera despegarse para que funcionase como el negativo de donde se iba a desprender el positivo, o sea, la rejilla. Después de intentar con varias superficies, se hizo el primer molde con Gel Coat, un material polímero que al hacer contacto con un catalizador se vuelve rígido, sobre este molde se vertería el caucho de silicona. Esta idea no llevo a ningún resultado funcional, ya que la rejilla necesitaba tener una cantidad de 150x150 filamentos de color distinto, lo cual era imposible hacerlo de manera manual con el material mencionado y tener además, una buena calidad hablando en términos de precisión. El aprendizaje obtenido en esta etapa fue entender que la dirección sería sobre la generación de fenómenos visuales en ambientes líquidos pero dentro de un soporte más estable y practico.

## 2. Prototipos del sistema audiovisual

---

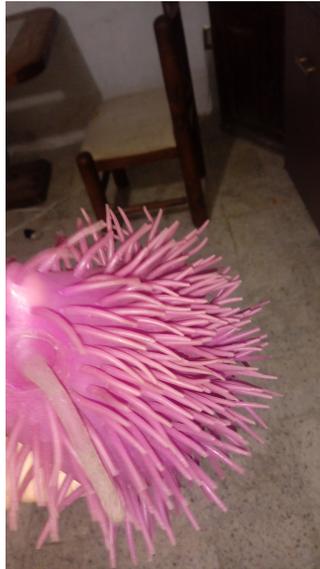


Figura 2.4: Juguete de plástico como ejemplo del resultado deseado.



Figura 2.5: Primer prueba fallida

## 2.3. Formas en materiales líquidos

---



Figura 2.6: Resultado final

### 2.3.3. Prototipo Dos

Ya que la función principal del instrumento era que una cámara detectara patrones de tipo visual generados por el ejecutante, simulando una realización de notación gráfica a tiempo real, nos propusieron los asistentes del taller de diseño industrial utilizar una antigua técnica para tanto crear como detectar vórtices y espirales generados mediante un fenómeno que se llama turbulencia de fluidos. Esta técnica consiste en una tira de inyectores con tinta, (parecidos a los que usan las impresoras) que poco a poco se va vertiendo dentro de una pecera. La pintura es vaciada sobre el agua para ser manipulada mediante unos objetos que se ponen en el camino de la tinta con la finalidad de crear comportamientos de turbulencia. A continuación, se irá explicando de manera general sobre este fenómeno y la forma como resolvimos la apropiación de esta idea para convertirla en un IMAV.

### 2.3.4. Creación y Pruebas

El primer paso fue conseguir algún tipo de material para crear el marco de la pecera. Se eligió como material el acrílico, ya que éste, podría tener una amplia gama en cuanto a espesor se refiere. Se utilizaron protectores de cable eléctrico (cuyo material es de plástico) para hacer el marco. Éstos fueron pegados con silicona en cada lado sobre dos placas de acrílico de 40x60cm dispuestas perpendicularmente una frente a la otra. La parte superior del dispositivo debía contener una bomba de agua para que la pecera estuviese siempre llena. La bomba fue diseñada con un tubo de PVC de 4 pulgadas de diámetro y una entrada de alimentación hecha con un tubo de cobre en la parte superior. Debajo del tubo, un orificio de 45 cm de largo por 2cm de ancho fue cortado mediante CNC.<sup>26</sup>

Se diseñó también una sencilla estructura de fierro para mantener fijo el dispositivo y no tener que sostener manualmente todas las partes del instrumento. La estructura consta de dos tubos transversales sostenidos por una base de 3 vigas. Cada uno de estos tubos contiene en la parte media, una bisagra que sostiene al tanque de agua. La parte superior contiene dos vigas que sostienen el tanque de inyección de la tinta además de una extensión para sostener un bote con 2 litros de tinta.

Otra parte importante del proyecto fue diseñar el inyector de tintas. Se recurrió nuevamente al uso de un tubo de PVC pero esta vez de 2 pulgadas. Este debía contener un orificio en la parte superior y siete en la parte inferior para la entrada y salida de las mangueras, que a su vez, irían conectadas al tanque. Cada lado del tubo esta cerrado de igual manera con dos tapas de acrílico hechas con cortadora láser. Cada punta va conectada a una jeringa de donde saldrá la tinta mediante una manguera de 60 cm de largo y  $\frac{1}{4}$  de pulgada de espesor. Las mangueras tienen una llave de paso para regular la cantidad de tinta que entra al tanque, esto funciona como regulador de velocidad en la creación del fenómeno turbulento.

---

<sup>26</sup>El control numérico o control decimal numérico es un sistema de automatización de máquinas herramienta que son operadas mediante comandos programados en un medio de almacenamiento, en comparación con el mando manual mediante volantes o palancas. con el objetivo de ser el orificio que se conecta al tanque.

2.3. Formas en materiales líquidos

---



Figura 2.7: Base con el tanque ya colocado



Figura 2.8: Bomba de agua del tanque

## 2. Prototipos del sistema audiovisual

---



Figura 2.9: Perspectiva del interior de la Bomba de agua del tanque

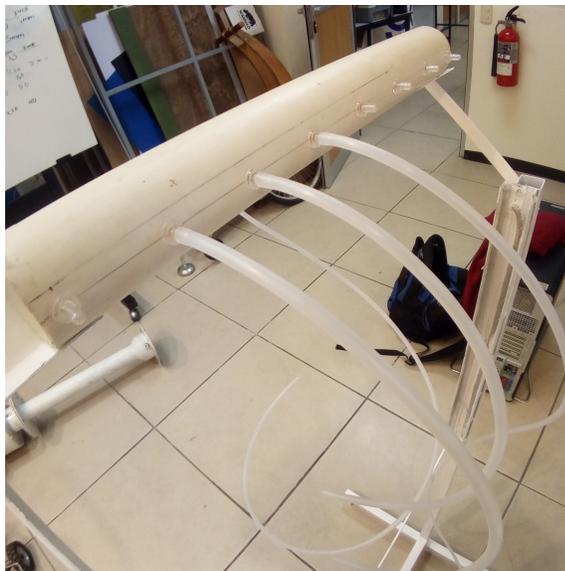


Figura 2.10: Inyector de Tinta (un tanque más pequeño)

### 2.3. Formas en materiales líquidos

---

Antes de comenzar a realizar los orificios de la pecera por donde entrarían las agujas con la tinta y las salidas inferiores del tanque (descarga del agua), se hizo una prueba de llenado para verificar que no tuviese fugas el estanque. La pecera fue poco a poco expandiéndose por la presión del agua que descendía, hasta el punto de casi reventarse. Esta problemática nos llevó a replantear los materiales utilizados y cambiar las placas de acrílico por unas más gruesas (en lugar de 3mm usar unas de 8 mm de espesor), además de hacer los reforzamientos del marco con aluminio o fierro.

Se volvió a diseñar otro tanque con características más resistentes. Ahora los marcos se reforzaron con aluminio y el grosor de las hojas de acrílico fue de 8 milímetros, no de 3 como en el prototipo pasado. Pasando ya la prueba de resistencia de agua, se procedió a perforar las regiones donde se colocarían las entradas de las agujas en la parte superior del tanque y la salidas del agua en la parte inferior. El número de orificios para las entradas de la tinta serían 5, (posteriormente se explicará porque se escogió esta cifra en particular) cada uno con un grosor de 1 milímetro (correspondiente al de las agujas), con un espacio entre cada uno de 6 cm. Se perforo el acrílico superior del tanque con brocas muy delgadas para introducir las agujas en la parte superior. Las salidas del agua serían seis, esto debido a la distribución del agua en referencia al tamaño del tanque. Entre cada salida hay 4 cm de espacio, éstas contienen una manguera de  $\frac{1}{4}$  de pulgada de grosor y 1 metro de largo con una llave de paso en la parte media que regula la cantidad de agua saliente del tanque<sup>27</sup>. Las mangueras se conectan a los orificios del tanque mediante una unión para peceras, éstas, se fijan con un pegamento epóxico<sup>28</sup> muy resistente ya que debe ir en la parte baja donde está toda la presión del agua.

Por último, se colocaron en el interior 4 figuras hechas en acrílico antes de cerrar el tanque con la bomba superior de agua:

- Tres círculos con un diámetro de 7 cm. y un orificio en la parte media (para colocar un imán de neodimio).

---

<sup>27</sup>El propósito de las llaves de paso en la salida era detener los flujos de la corriente poco a poco y con esto generar movimiento dentro del tanque

<sup>28</sup>Resina sintética que se obtiene al mezclar sus dos componentes, se utiliza como pegamento y para rellenar huecos



Figura 2.11: Tanque con un círculo y un cuadrado al interior

- Un cubo de 6 cm por lado con 2 orificios (también para la colocación de dos imanes).

La función que tiene el imán en las figuras es poder adherirse a otro, pero en la parte exterior del tanque, con la finalidad desplazar el cuadrado o los círculos en distintas direcciones. Estas figuras son las que chocaran con la tinta que cae dentro del agua para formar las turbulencias y son movidas por la parte externa del tanque mediante otro imán de neodimio por un usuario.

### 2.4. Turbulencias

Las turbulencias son movimientos fluctuantes y desordenados que se da en los fluidos (ya sea en cualquiera de sus tres estados: líquido, plasma y gas). El primer científico en estudiar dicho fenómeno fue el suizo Osbourne Reynolds por medio del tanque que lleva su nombre. Éste consiste en un tubo largo circular por donde transita continuamente agua. En la parte superior, se inyecta colorante para observar de qué manera se comporta el flujo. Reynolds observó que, sí la velocidad es constante y

## 2.4. Turbulencias

---

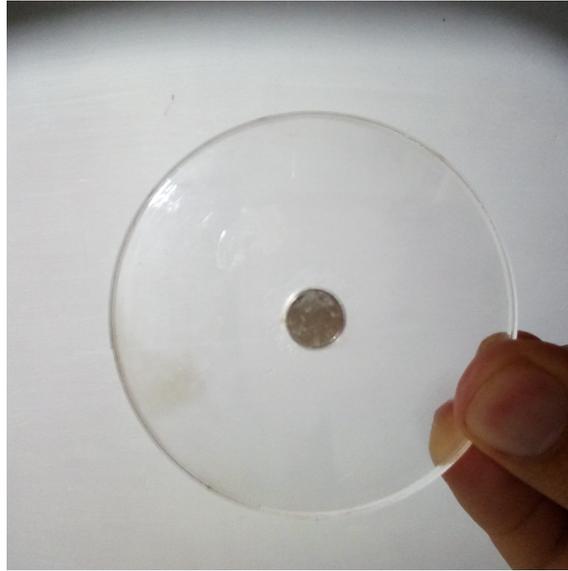


Figura 2.12: Objeto colocado en el interior para generar turbulencias

estable, el colorante se comporta de manera estable y paralelo al agua (se trazan líneas de color). Sin embargo, si la velocidad o el ancho del tubo no permiten una estabilidad en la corriente, se forma el fenómeno conocido como turbulencia.

Un artista que de manera al parecer inconsciente (sobre todo en su etapa más aguda de delirios mentales) utilizó dicho fenómeno en su obra es el pintor holandés Vincent Van Gogh. En el artículo publicado por la universidad de Oxford, distintos investigadores analizan con métodos matemáticos la exactitud que tienen algunos trazos con el fenómeno de las turbulencias en pinturas como *la noche estrellada*, *los cipreses* y *los lirios*.<sup>29</sup>

---

<sup>29</sup>José Luis Aragón y col. “*Turbulent luminance in impassioned van Gogh paintings*”. En: *Journal of Mathematical Imaging and Vision* 30.3 (2008), págs. 275-283.(Aragón, Naumis, Bai, Torres, y Maini, 2008)

### 2.5. El aspecto efímero

En este punto del proyecto es importante mencionar un aspecto que rodea a éste y otros Instrumentos Audiovisuales: los materiales efímeros. Como se ha mencionado anteriormente, se han ido utilizando materiales como agua, colorantes, etc. Estos Instrumentos Audiovisuales, según Tanja Doring (Döring, Sylvester, y Schmidt, 2013), son creados para durar un tiempo límite e incorporan materiales que evocan una percepción multisensorial. La idea en estos IMAV, es poner atención a la fase de transformación entre distintos estados de la materia, ya que juegan un papel en la interpretación de las mismas.<sup>30</sup> En el instrumento propuesto, la disolución entre colorante y agua generan una transformación continua en donde las turbulencias como aspectos efímeros, son los aspectos visuales que el instrumento recibe para convertirlos a información. El IMAV esta diseñado para que siempre exista una variabilidad visual, la cual, jamás será igual a una realizada con anterioridad ya que el usuario, esta modificando la interface todo el tiempo (cuando el usuario cierra las llaves, el agua deja de correr, la cámara dejara de percibir y por consecuencia, no realizara ningún sonido). Se busca crear una respuesta sonora al comportamiento generado por el IMAV.

### 2.6. Resultados del prototipo realizado

Las pruebas realizadas al dispositivo construido con el apoyo del Laboratorio de Diseño Industrial del posgrado de la UNAM, nos permitieron entender que el espacio entre los dos acrílicos del tanque debía de ser mucho más delgado para que el transito

---

<sup>30</sup>Un proyecto parecido al realizado en este trabajo es el de Doring con su proyecto *Bubble Soap*: Doring también hace un clasificación muy detallada sobre clases de durabilidad de acuerdo al tipo de material utilizado y si los materiales son utilizados como entradas, o salidas de las interfaz, tipo de interacción, etc. Si se desea explorar más a fondo el lector puede revisar: Tanja Doring, Axel Sylvester y Albrecht Schmidt. “*A design space for ephemeral user interfaces*”. En: Proceedings of the 7th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction. ACM. 2013, págs. 75-82.

## 2.7. Conclusiones

---

del agua fuese más lento, y poder así tener más control del flujo vertical. A pesar de que los acrílicos eran más gruesos, continuaban doblándose con el peso del agua, otro factor más que nos indicaba que menos agua debía de atravesar el tanque. El uso de los imanes como generadores de turbulencia al final resultaba una acción poco práctica y de muy poco control para el intérprete, así que se decidió removerlos del instrumento. Otro mecanismo que se volvió inservible fue el control de las mangueras con llaves de paso, ya que eran demasiadas y de muy difícil control. Todos estos resultados nos permitieron rediseñar y solucionar estos inconvenientes que el prototipo había mostrado. En el siguiente capítulo comenzaremos a explicar de qué manera se resolvieron estas dificultades, así como el desarrollo del instrumento final, tanto en su parte física como en su componentes digitales.

## 2.7. Conclusiones

Cada prototipo realizado durante esta etapa fue un proceso de búsqueda tanto de materiales como de estrategias sobre la manera de abordar el fenómeno sonoro visual. Partiendo de lo intuitivo, se fue buscando primero un instrumento completamente de contacto físico, para posteriormente entender que sería más interesante en términos de desarrollo hacer un dispositivos que produjese fenómenos visuales. Un aprendizaje decisivo fue preponderar la practicidad tanto en materiales como en su facilidad de conseguirlos, costo y posible resolución de problemáticas al elaborarlo.



# Capítulo 3

## Creación del Sistema Audiovisual Líquido

### 3.1. Introducción

Como se explicó en el capítulo anterior, el trayecto recorrido nos permitió experimentar con materiales y dispositivos mediante un proceso de prueba error en una clara búsqueda de relaciones visuales auditivas. Ya en esta etapa del proceso tenemos claro que el instrumento será un generador de fenómenos visuales para su posterior sonificación. Para lograr este objetivo se desarrolló un primer prototipo. Las dificultades surgidas a partir de su creación nos condujeron a una serie de soluciones e implantaciones para el dispositivo final. A continuación daremos una explicación del proceso de producción del IMAV, así como las soluciones encontradas con respecto al anterior.

#### 3.1.1. Componente Físico y Materiales

En este punto del proyecto, el IMAV sería desarrollado en dos partes: el componente digital (entiéndase software-programación de los lenguajes a utilizar para la traduc-

ción de imágenes a sonido) así como la parte analógica (las bombas que llevarían el agua al tanque, un circuito controlador, el mueble dónde se colocarán todos estos dispositivos, el tanque así como un sistema de audio). A continuación, explicaré paso a paso la integración de cada elemento al IMAV, las problemáticas surgidas así como sus respectivas resoluciones.

## 3.2. Primera fase de la estructura del instrumento

La etapa inicial se centró en la creación de la estructura básica del instrumento, ya que los elementos que la compondrían tenían que probarse antes de su instalación. Su diseño se fundamentó en dos aspectos: Un espacio superior para colocar el tanque; decisión resultado de pensar que ahí obtendría mayor atención del observador. El inferior estaría ocupado por los componentes a utilizar. Por último, una base que soportase un peso aproximado al doble del tanque (pensamos que aproximadamente los elementos podrían tener ese peso total). La base del instrumento que anteriormente era de fierro ahora sería construida con madera cumarú.<sup>31</sup> Como se muestra en la figura 3.1, seis tablas conformarían el esqueleto del instrumento. El proceso fue el siguiente: Dos tablas de 1.30 mts de largo por 7 cms. de ancho fueron cortadas en su parte media para diseñar un surco de 2.8 cms; esta medida corresponde al grosor del tanque de agua que sería colocado posteriormente en ese espacio. Junto a éste, un acrílico de color blanco mate (0.2 cms. de grosor) se colocó al fondo para que la cámara no registraré fenómenos visuales ocurridos en la parte posterior del tanque; sí en algún momento la webcam detectase alguna luz o imagen no deseada, la programación sería afectada dando como resultado sonidos no planeados previamente en la programación.

Sobre estas dos tablas dispuestas horizontalmente se pusieron tres entrepaños con el

---

<sup>31</sup> Este material fue elegido debido a sus propiedades de absorción que nos darían mayor resistencia al agua. Esta madera en particular es usada en albercas u otros espacios que requieren absorber la humedad.

### 3.3. Tanque de Agua

---



Figura 3.1: Tanque de agua dentro de la estructura.

propósito de colocar todos los componentes digitales y de servir como bases fijadoras. Otras dos laminas de madera de 15 cm. de largo por 7 cm. de ancho fueron colocadas abajo como soporte del instrumento. En esta primera fase, lo único que pudimos fue colocar el tanque, ya que este componente se realizó a la par.

### 3.3. Tanque de Agua

Uno de los principales aspectos a modificar en este prototipo final fue el de los materiales a utilizar. Como primer paso, el tanque de agua no sería de acrílico, sino de vidrio (60cm. de alto por 40cm. de largo; 1.3 milímetros de grosor cada uno). Aunque este material haría el tanque más pesado, nos permitiría más resistencia al momento de transitar el agua. Los dos paneles estarían separados solamente por una hoja de aluminio de 0.3 mm de grosor en las orillas (debido a que mientras haya menos separación entre cada uno, pasará menos liquido y por consecuencia habrá menor presión que genere fugas). Esta solución fue resultado de entender que la separación debía ser tan delgada como una hoja. Ya que una hoja de papel frente

### 3. Creación del Sistema Audiovisual Líquido

---



Figura 3.2: Corte de las maderas

al agua sería inservible, pensamos que el aluminio sería un material mucho más durable.

Después de colocar frente a frente los vidrios con la tira de aluminio que los separaría, se sellaron todos los lados con silicona. Posteriormente se colocaron tres agujas en la parte inferior (salidas) y cuatro en la parte superior (entradas), cada una con un espesor de 0.3 mm. Finalmente se selló el tanque con un material epóxico en las partes laterales (en este caso *Plastiloka*). Ver figura 3.3.

Para llegar a estos resultados, se hicieron pruebas con variados grosores de aluminio hasta observar que el agua entre los cristales fluyera de manera continua (entre menos grosor más se estancaba el agua). Después se probaron agujas de distintos calibres que nos permitiesen pasar esa misma cantidad de agua y que además cupiesen en ese grosor.

### 3.4. Bombas peristálticas

---



Figura 3.3: Ensamblado del tanque

### 3.4. Bombas peristálticas

Tras una breve investigación sobre pequeños sistemas hidráulicos, advertimos que la mejor solución sería el uso de bombas peristálticas, ya que podríamos tener un control eléctrico de manera directa con Arduino (lo que implica también más documentación). Una bomba peristáltica es un tipo de bomba hidráulica de desplazamiento positivo usada para bombear una variedad de fluidos. El líquido es contenido dentro de un tubo flexible empotrado dentro de una cubierta circular de la bomba (aunque se han hecho bombas peristálticas lineales). Un rotor con un número de rodillos unidos a la circunferencia externa comprimen la manguera flexible. Mientras que el rotor da vuelta, la parte de la manguera bajo compresión se cierra (o se ocluye) forzando, de esta manera, el fluido a ser bombeado para moverse a través del tubo. Adicionalmente, mientras el tubo se vuelve a abrir a su estado natural después del paso de la leva, el flujo del fluido es inducido a la bomba. Este proceso es llamado peristalsis y es usado en muchos sistemas biológicos como el aparato digestivo (Monk, 2016).

Posterior al ensamblaje del mueble base, se procedió a crear un sistema hidráulico eléctrico que permitiera el uso de pequeñas corrientes líquidas dentro del tanque realizado previamente. El primer paso a resolver fue crear una conexión entre mangueras con bombas peristálticas que pudiesen extraer agua y llevarla al tanque. Se utilizó

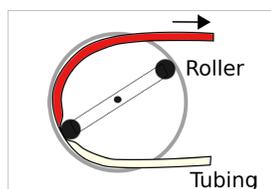


Figura 3.4: Mecanismo Bombas Peristálticas

un tubo de látex para torniquete con un grosor de 0.5 mm. para ser conectado a la entrada de la bomba recolectora de líquido. En el otro extremo del tubo, una piseta de 250 ml. con agua fue unida con la finalidad de extraer el fluido que contenía la misma. En la segunda manguera de la bomba (la salida) se acopló otro tubo en donde desembocaría el agua extraída de la piseta; ahí la salida sería una aguja de jeringa que expulsaría lo extraído del tanque. Como medida de seguridad, unos cinchos de nylon sujetadores se colocaron alrededor de las entradas y salidas tanto en la piseta como en la aguja, esto debido a que la presión podría expulsar la manguera o la aguja súbitamente (como efectivamente sucedió en las primeras pruebas descritas en el capítulo anterior).

Ya que se había resuelto el aspecto hidráulico del instrumento, decidimos que el paso consecuente sería diseñar los espacios que ocuparían tanto este sistema como aquellos a desarrollar en un futuro dentro del instrumento.

### 3.5. Segunda fase de la estructura del instrumento

Ya que el espacio superior estaba ocupado por el tanque se utilizó toda la parte inferior restante para colocar tanto las bombas, el circuito controlador como un posible sistema de audio. Se instaló una repisa de 15cm de altura con la finalidad de

### 3.5. Segunda fase de la estructura del instrumento

---

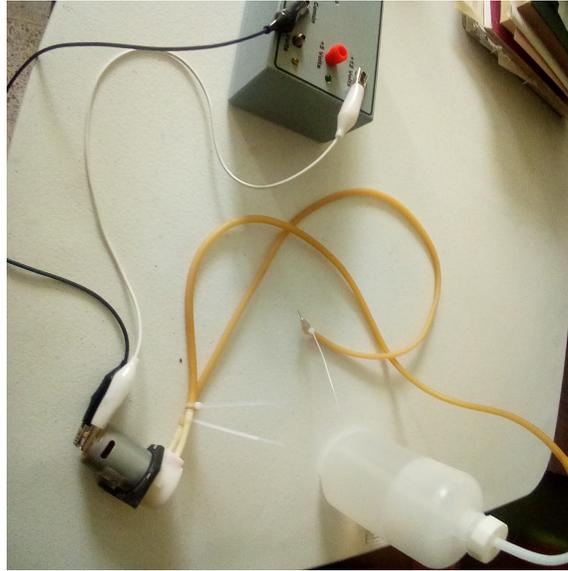


Figura 3.5: Sistema hidráulico

colocar los siguientes elementos:

- Bombas Peristálticas.
- Pisetas.
- Circuito para el control de las bombas.

Como se muestra en la figura 3.6, las bombas quedarían sujetas en la parte superior sobre la repisa del tanque, lo cual ayudaría a economizar el espacio utilizado. Para cada una de éstas se hizo una perforación de media pulgada para que las mangueras pudieran conectarse tanto con las agujas de salida del tanque, como con las de entrada (parte superior). La manguera de silicón al atravesar estos orificios se colocaría por detrás del tanque, desde la parte de abajo hasta la de arriba para posteriormente conectarse a las agujas previamente colocadas. El circuito controlador tentativamente se pondría en la parte izquierda de este peldaño. Las bombas número uno a la ocho serían las entradas conectadas en la parte superior del tanque. Las número nueve, diez y once se insertarían en la parte inferior como salidas.

Asimismo, en la parte inferior se diseño un lugar específico para la instalación de un

### 3. Creación del Sistema Audiovisual Líquido

---



Figura 3.6: Segunda Fase del Instrumento

*Subwoofer.* En esta sección del instrumento se situará tanto el sistema de audio como la computadora que controlara todo el IMAV. Finalmente se instaló una puerta en la parte frontal inferior y un fondo para cubrir toda la conexión entre los elementos. La puerta fue diseñada con un orificio que permitiese a la bocina asomarse.

### 3.6. Sistema de control de flujos

El siguiente paso fue desarrollar un circuito que pudiera tanto encender las bombas como controlar la velocidad del flujo del agua. Durante este transcurso, se llevaron a cabo varias pruebas que nos permitieron tener además de un mejor manejo, una manera practica de utilizar los elementos en cuestión. A continuación se hablará ampliamente de ese proceso.

## 3.6. Sistema de control de flujos

---

### 3.6.1. Sistema de control de flujos Primera Fase

Ya que las bombas fueron colocadas dentro del IMAV, se elaboró un circuito que pudiera ser utilizado desde la computadora para poder prender y apagar las bombas. También se buscó que la señal eléctrica emplease modulación por ancho de banda (PWM) con la finalidad de que esta nos proporcionara control sobre la velocidad del flujo de las bombas.<sup>32</sup> Para cubrir estas características se acordó diseñar el circuito con las siguientes partes:

- Una placa Arduino Uno
- Un controlador de servo motores PCA9685

Ya que la placa Arduino posibilita el control de los motores mediante la computadora además de contener canales que proporcionan PWM se decidió utilizar dicha placa. Se realizó una investigación sobre circuitos prefabricados que nos concedieran un número mayor de canales con PWM ya que Arduino solo tiene tres. Elegimos utilizar el controlador de servo motores PCA9685 de la marca *Adafruit*, puesto que es un dispositivo que contiene variada documentación sobre su uso en internet y que ofrece varias posibilidades tanto en su manejo del PWM como número de salidas. Este componente nos permitió ampliar de tres a dieciséis salidas además de tener alimentación independiente, una para los motores y otra para la parte lógica; la corriente total de todos los componentes sería de cinco ampers con un voltaje de 12V para todo el circuito. Estos dos elementos fueron montados sobre una placa de prototipo perforada e interconectados mediante soldadura en la cara posterior. En la figura 3.7 se muestra la manera cómo se interconecta el controlador tanto con Arduino como con los motores. Finalmente se colocaron dieciséis en las salidas del PCA9685 para conectarse fácilmente a las bombas peristálticas.

---

<sup>32</sup>Lo que hace este tipo de señal es emitir en lugar de una señal continua una señal cuadrada formada por pulsos de frecuencia. La gracia está en que al variar la duración de estos pulsos, estaremos variando proporcionalmente la tensión promedio resultante: cuanto más cortos sean los pulsos (y por tanto, más distantes entre sí en el tiempo ya que su frecuencia es constante), menor será la tensión de salida, y cuanto más largos sean los pulsos (y por tanto, más juntos en el tiempo estén) mayor será dicha tensión.

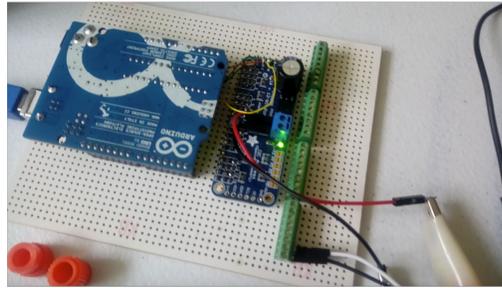


Figura 3.7: Primer Circuito

#### 3.6.2. Sistema de control de flujos Segunda Fase

Al conectar la bomba al circuito con estos primeros elementos, nos percatamos que tanto Arduino como el PCA9685 no proporcionaban la potencia para prender los motores (ya que éste no encendía). Debido a un mal cálculo, no nos percatamos que necesitábamos más potencia para alimentar el circuito. Debido a este contratiempo, se decidió agregar el circuito integrado ULN2003. El ULN2003 es un circuito integrado compuesto internamente por 7 controladores idénticos e independientes entre sí, que permiten manejar y alimentar pequeños motores DC, motores paso a paso, luces de baja tensión o tiras de *leds*.

Gracias a que el circuito se hizo en una placa perforada de prototipo, logramos colocar ahí mismo los nuevos elementos sin necesidad de volver a realizar todo desde el comienzo. Se colocaron del lado derecho de la placa, tres circuitos ULN2003. Cada uno contiene siete entradas y siete salidas para ser conectadas al controlador así como su respectivas salidas de positivo y negativo. Solo se utilizaron las dieciséis necesarias que se requerían para conectarlo al controlador PCA9685.

Al probar los nuevos componentes con una sola bomba ésta funcionó correctamente permitiendo el paso del agua. Obtenido ya un primer resultado positivo, nos pareció oportuno diseñar los códigos a utilizar para el control del circuito con las bombas desde la computadora. El primero en realizarse fue el que usaría Arduino para el manejo de las bombas. En este programa se hizo uso de la librería *Adafruit PWM*

### 3.6. Sistema de control de flujos

---

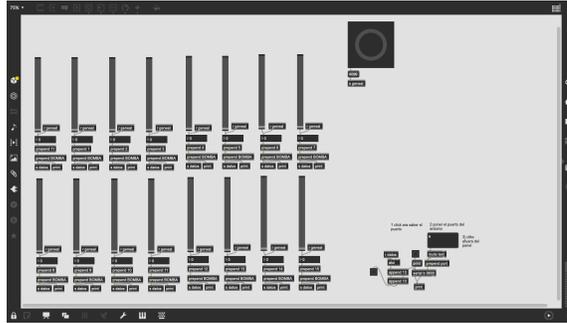


Figura 3.8: Interfaz realizada en MaxMSP para el control de las bombas

*ServoDriver* para comunicar el controlador PCA9685 mediante Arduino. Puesto que Arduino no ofrece un método de control directo (sliders o botones virtuales) se empleó un objeto que permite la comunicación serial con otro software que sí nos brindara esa posibilidad <sup>33</sup>. Para fines inmediatos recurrimos al uso del software MaxMSP, ya que permite el envío de datos por medio de puerto serial y todos los objetos necesarios para el control ya están hechos. Lo que resultó fue el manejo de la frecuencia con la que giran las bombas mediante MaxMSP por medio de unos *sliders* virtuales que mandan información a Arduino a través del objeto *Serial Port*. Ya que Arduino recibe esa información, éste manda los datos obtenidos a las bombas (recordemos ésta ya se comunica con las bombas conectadas por medio del controlador PCA9685). La información recibida se traduce en el encendido de los motores y el manejo de su velocidad.

Posteriormente, se conectó el circuito a las once bombas del instrumento. El resultado por desgracia no fue satisfactorio; cada vez que una bomba se activaba, la anterior iba perdiendo energía (y por ende fuerza para extraer agua de la piseta) hasta llegar al punto de que todas se quedaban apagadas. Nuevamente, la problemática se centro en la aplicación de una potencia correcta para la activación de los motores.

---

<sup>33</sup>Debido a que dicha plataforma esta basada en lenguaje C, ésta no contiene muchos recursos en cuanto a procesamiento de gráficos como lo pueden ser otras basadas en Java o C++

### 3.6.3. Sistema de control de flujos Tercera Fase

En esta tercera fase se decidió replantear la manera en cómo estructurar el circuito. Se eligió agregar unos transistores TIP120 a cada salida para obtener la potencia correcta en el circuito ya que al ser es un transistor de potencia NPN nos permite amplificar la señal de los motores.<sup>34</sup>

Como primer cambio determinamos reelaborarlo desde el software *Fritzing*. Este tipo de programa nos permitió tener claridad en cuanto a la colocación de los elementos y sus rutas conductivas de la siguiente manera: primero los componentes se colocan en una placa de prototipado virtual y se conectan entre sí con la finalidad de verificar su correcto funcionamiento (figura 3.9). Posteriormente, se ordenan los elementos en un diagrama del circuito para entender el flujo de la corriente en los dispositivos colocados previamente. Por último, se crea una imagen que contiene los espacios donde estarán situado todo los elementos y las líneas conductivas que tanto interconectan como cierran el circuito. Esta imagen es impresa para ser después sobrepuesta en una placa fenólica mediante un proceso de calor (en la figura 3.10 podemos observar el resultado de este proceso). Terminada la placa se soldan los componentes sobre la misma.

El proceso descrito nos permitió tener un circuito mejor elaborado, con ideas más claras de cómo se interconectaban los elementos que la conforman. Terminado el circuito, se probó nuevamente conectándolo a las bombas peristálticas del instrumento; el resultado fue positivo, todas las bombas funcionaban a su máximo de potencia

---

<sup>34</sup>El TIP120 es un transistor NPN Darlington que se utiliza principalmente para la amplificación de uso general y aplicaciones de conmutación de media potencia. Esta fabricado de silicio de base epitaxial, en un encapsulado plástico de tipo TO-220, internamente consta de dos transistores conectados mediante la configuración Darlington con lo que se logra una mayor capacidad de amplificación, de alta ganancia y bajo voltaje de saturación. Además este tipo de transistores darlington, cuentan con un diodo incorporado y un par de resistencias con fines de protección. Se compone de transistores bipolares que están conectados en tándem para proporcionar una ganancia de muy alta corriente a partir de una corriente de base baja. En un transistor Darlington, el emisor del transistor de entrada está conectado a la base del transistor de salida y sus colectores están unidos. Por lo tanto, la corriente que es amplificada por los transistores de entrada se amplifica aún más por los transistores de salida. (Artero, 2013)

### 3.6. Sistema de control de flujos

---

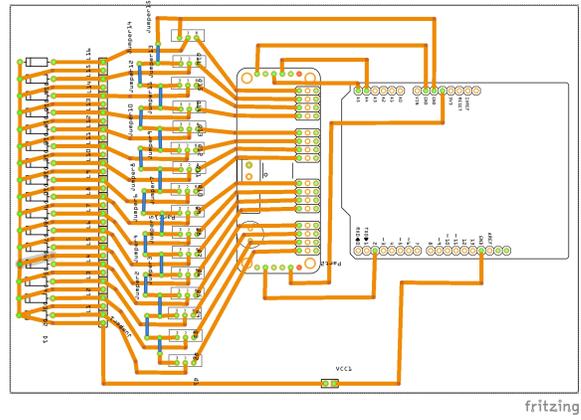


Figura 3.9: Imagen del circuito final realizada en el software *Fritzing*

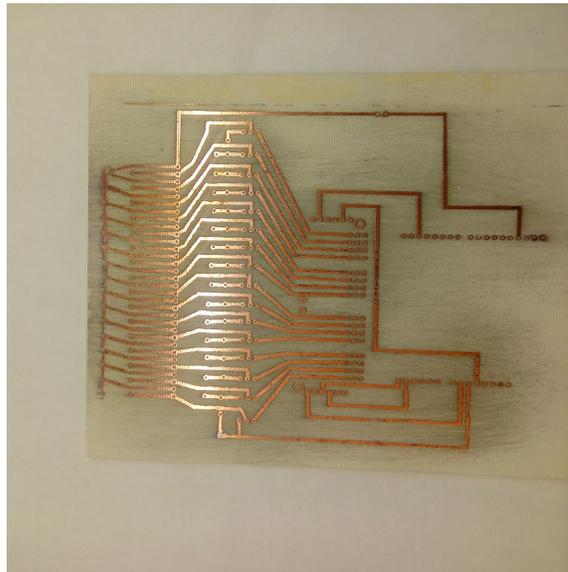


Figura 3.10: Circuito sobrepuesto en la placa fenólica



Figura 3.11: Bombas mandando líquido al tanque

generando así, los fenómenos visuales deseados (figura 3.11). Con el circuito funcionando, se procedió a conectar e instalar el sistema de audio.

### 3.7. Sistema de audio

Una posibilidad que tenía el instrumento desde el momento de su concepción era su probabilidad de funcionar como instalación sonora. Esta modalidad permitía al instrumento funcionar de manera autónoma en algún espacio requerido para su exhibición. La implicación de tomar esta decisión conllevó a la instalación de bocinas al IMAV; era imposible prever tanto los lugares como si estos contarán con un sistema de audio para su montaje. El sistema de audio está compuesto por los siguientes elementos:

- Una fuente de poder de 12.5 Amperios a 12 voltios para alimentar el sistema.
- Cuatro bocinas de 8 ohms para frecuencias agudas y generar un sistema estéreo. Dos bocinas para la señal de audio izquierda y dos para la señal derecha.

### 3.8. Tercera fase de la estructura del instrumento.

---

- Un *Subwoofer* para las frecuencia medias y graves.
- Dos *crossovers*. Estos dispositivos funcionan para dividir las frecuencias de la señal de audio en graves y agudas. Más adelante se explicará su uso en el instrumento.
- Un amplificador de 500 watts con dos canales (estéreo) de salida para alimentar a las bocinas.

El amplificador se conectó a la fuente de poder para alimentar al sistema (bocinas). Cada canal del amplificador fue conectado a un *crossover*. Este dispositivo contiene una salida para el canal del amplificador y dos canales, uno para dividir las frecuencias graves y otro para las agudas. Dos bocinas fueron conectadas a un canal de frecuencias agudas del primer *crossover* y las otras dos al segundo *crossover*. Ya que la conexión de los parlantes se hizo de manera serial<sup>35</sup> el *Subwoofer* se conectó a ambos *crossovers*. Esta configuración permitió dividir la señal de las cuatro bocinas en canal izquierdo y derecho (dos bocinas para la señal izquierda y las otras dos para la derecha), mandar las frecuencias graves al *Subwoofer* y las agudas a estas cuatro bocinas pequeñas. Finalmente, se insertó la computadora con el amplificador, ya que ésta es la que mandará la señal de audio a las bocinas (recordemos que el ordenador procesará con una cámara lo que sucede en el tanque y lo convertirá a sonido).

### 3.8. Tercera fase de la estructura del instrumento.

Ya que tanto el sistema de sonido, el sistema hidráulico y la base del instrumento estaban resueltas, se procedió a la finalización del instrumento. Lo primero en realizarse fue una puerta para la parte superior trasera. Las medidas fueron de 55 cm. de alto por 57 cm. de ancho. La finalidad era cubrir el tanque junto al sistema hidráulico.

---

<sup>35</sup>Cuando hablamos de conexión serial, nos referimos a que conectamos el polo negativo de una con el polo positivo de otra, y así, de tal forma que finalmente tengamos un polo positivo global por un lado y un polo negativo global por otro

co en la parte trasera. Posteriormente se procedió a colocar las cuatro bocinas para las frecuencias agudas en la parte superior frontal. El proceso consistió en crear un marco que soportara las bocinas y que funcionara como la repisa superior que cerrará al IMAV. Ya que los desperfectos del marco fueron visibles (residuos de *Plastiloka*), alrededor del tanque fueron diseñadas y colocadas dos molduras verticales en los extremos derecho e izquierdo del tanque.

#### 3.8.1. Colocación del circuito, el sistema de audio y la computadora.

Todo el sistema de audio se instaló en la parte inferior izquierda del instrumento. De arriba a abajo se dispuso primero la fuente de poder, abajo los dos *crossovers* y por último el amplificador. La disposición mencionada responde a medidas precautorias debido a que si un derrame ocurre en alguna región del tanque, los componentes eléctricos serán cubiertos por la repisa media del instrumento. La computadora se colocó del lado derecho inferior del sistema.

Para que las bocinas superiores pudieran conectarse con el sistema de audio que se encontraba en la parte inferior, se diseñó un cableado que rodeaba al tanque y atravesaba las repisas del IMAV. Para finalizar, se ajustó el circuito a la parte derecha de la repisa media. Para su conexión también se realizó un cableado que uniese las bombas al mismo. El circuito se conectó a la misma fuente de poder mediante un cable USB, así como al ordenador con otro cable USB desde la placa Arduino (véase el diagrama del instrumento en el anexo y fotos del instrumento).

#### 3.8.2. Webcam

Este dispositivo solamente va conectado a la computadora, pero la manera de colocarlo sería crucial para el desempeño del IMAV ya que su posición debía tener una inclinación de cuarenta y cinco grados.<sup>36</sup>

---

<sup>36</sup>Para que el espectador pudiera tener una vista completa del tanque se decidió bajar la cámara.

### 3.8. Tercera fase de la estructura del instrumento.

---



Figura 3.12: Primer prototipo a la izquierda y el final a la derecha

La primera posibilidad era empotrar un brazo movable del lado derecho del instrumento, puesto que si se ponía de frente, la webcam no permitía al espectador observar lo que ocurría en el tanque de agua. Un primer prototipo constaría de 3 partes, dos brazos unidos por una tuerca sin fin y un compartimiento movable para la cámara en la parte superior del brazo (con la finalidad de poder ajustar los grados de inclinación). Al colocar el brazo al IMAV nos percatamos de las posibilidades que tenía de tirarse o romperse, ya que al estar en la intemperie alguien podría tirarlo; además, al ser la cámara movable, cualquier ligero movimiento podría desenfocar el marco del tanque y estropear la programación hecha para esas imágenes generadas. Se procedió a fabricar un brazo de una sola pieza completa y que el compartimiento de la cámara no fuese movable. Ahora la instalación sería sobre el marco inferior del tanque, justamente en la parte media. Éste al tener una inclinación de treinta grados nos permitía poner directamente la cámara con un ángulo fijo. El brazo fue diseñado con un surco de 0.3mm por debajo con la finalidad de ocultar el cable. Sería necesario posteriormente hacer un orificio en la repisa interior del tanque para que el cable se pudiese conectar a la computadora. Debido a que el cable sólo era de un metro y la distancia de 1.30 mts., se dispuso tanto una extensión como de un convertidor para unirlos.

Con el instrumento terminado, se hicieron algunas pruebas. Provisionalmente se puso un monitor en la computadora por fuera del instrumento para verificar la imagen y el sonido con algunos códigos muy sencillos en Supercollider y Processing. Al probar el IMAV, aparecieron un par de inconvenientes de los cuales hablaremos mas adelante, sin embargo, al resolverlos pudimos verificar su positiva funcionalidad. A continuación hablaremos de las dificultades experimentadas durante el proceso de creación del IMAV.

### 3.9. Problemáticas del proceso

Los problemas se focalizarón principalmente en dos dispositivos: el tanque de agua y la fuente de poder. Una de las principales dificultades fue el manejo de las fugas en la parte superior del tanque. Contrariamente al primer prototipo, ahora no se generaban escurrimiento por peso del agua, sino por la fuerza con la que ésta llegaba al tanque. Las primeras pruebas realizadas con el circuito en el tanque, arrojaban que al momento de llegar el agua a las agujas, la presión hacia pequeños hoyos en los tubos por donde fluía agua. Para resolver esto, se colocó una gruesa capa de plastiloka. Con esta solución se repararon las fugas, pero surgió otro: se generaron pequeñas bolas en las mangueras. Fue en este momento que se decidió llevar la presión de las bombas al mínimo, esto dio como resultado un movimiento más lento de los colores dentro del tanque, pero las fugas cesaron.

Pasado un tiempo de las pruebas anteriormente realizadas, al encender otra vez el sistema hidráulico, las agujas dejaron de pasar el agua que era extraída por las bombas. La única solución para esta contrariedad fue quitar el plastiloka con una pequeña perforadora con el objetivo de cambiar las agujas tapadas. Para volver a evitar este infortunio, las bombas eran encendidas continuamente (dos veces a la semana).

En la parte final del IMAV, (donde se probaba el audio y la imagen con la computadora) nos percatamos que el sonido de los motores era amplificado por las bocinas. Esta interferencia se debió al uso de la fuente de poder que estaba conectada tanto

### 3.9. Problemáticas del proceso

---



Figura 3.13: Manguera tapada

con el sistema de audio como con el circuito de las bombas. Para solucionar este desperfecto, se añadió otra fuente de poder que se colocó de frente al sistema de audio, pegado a la puerta.

En el siguiente capítulo abordaremos el desarrollo de la programación que permitirá generar sonido a través de las imágenes que produce el tanque. Se hablará de la visión por computadora como herramienta compositiva, la resolución de problemáticas en la programación y el proceso de mapeo de datos.

### 3. Creación del Sistema Audiovisual Líquido

---

# Capítulo 4

## Composición con Instrumento

### 4.1. Introducción

En este capítulo se hará una revisión sobre los procesos de sonificación realizados con el instrumento desarrollado anteriormente. Se abordarán las relaciones entre sonido e imagen así como los procesos de mapeo elaborados. Elaboraré un repaso del procedimiento por el cual se llegó a los resultados finales y sobre la toma de decisiones acerca del software elegido, las técnicas utilizadas, así como la resolución de ciertas problemáticas.

### 4.2. Del Laboratorio al Escenario

Aunque la ciencia ha creado herramientas que buscan estandarizar o reducir la ambigüedad de los fenómenos que nos rodean, el arte las retoma desde un terreno crítico y experimental con la finalidad de generar producción artística. Algunos antecedentes de esto pueden ser el uso de metrónomos por Ligeti en su *Poema Sinfónico* o las sirenas que utiliza Edgar Varèse en su obra *Ionization*, ambos dispositivos que surgen con el objetivo de estudiar el fenómeno del sonido desde el ámbito de la física

(Hui, Kursell, y Jackson, 2013). Una de estas tecnologías o disciplinas científicas en el campo de las herramientas digitales es la visión por computadora. Definida como “la capacidad de la máquina [computadora] para ver el mundo que le rodea. . . para deducir la estructura y las propiedades del mundo tridimensional a partir de una o más imágenes bidimensionales” (Pajares Martinsanz, García, Jesús, y cols., 2002). Ésta tiene su origen en el Sistema Bartlane, en donde se intercambiaban imágenes codificadas a través de líneas de cable submarino entre Londres y Nueva York durante 1920. La computadora mediante un sensor que capta el espectro electromagnético de su entorno manda una serie de pulsos que se codifican a lenguaje binario, la manera como la máquina procesa la información. Ahora la máquina sustituye al espectador (Virilio y Rato, 1989), la visión en este caso sustituye acciones del instrumento musical. En efecto, la máquina procesa lo que el humano ordena, pero la inteligencia artificial comienza a generar nuevas órdenes a partir del aprendizaje de máquina.

Esta tesis no pretende ahondar en las consecuencias de estas disciplinas digitales, si no dar un pequeño panorama que introduzca al lector a entender el origen de las herramientas utilizadas en el instrumento audiovisual.

### 4.3. Visión por Computadora en la creación

El uso de datos obtenidos mediante una cámara con fines estéticos comenzó a finales del siglo pasado con la pieza *Videoplace* (1969 - 1975) del artista Myron Krueger. Aunque de una manera muy rústica (ya que las computadoras aún no poseían recursos tan grandes a comparación de las actuales), se empezaron a desarrollar los primeros experimentos que permitieron inaugurar un soporte digital con amplias perspectivas a futuro.<sup>37</sup> A continuación hablaremos de tres proyectos que por su enfoque y relación con el proyecto propuesto en esta tesis nos parece pertinente abordar.

El primer proyecto a mencionar es *Photone* de los artistas Niklas Ronnberg y Jonas Lowgrenn. En esta propuesta, los autores plantean un sistema interactivo táctil que consiste en una pantalla con imágenes a seleccionar por el usuario. Al ser elegida, el

---

<sup>37</sup>Para ahondar en otros proyectos el lector puede ahondar:(Levin, 2006)

### 4.3. Visión por Computadora en la creación

---



Figura 4.1: Freeman J. (2008) *Glimmer* recuperado de [http://distributedmusic.gatech.edu/jason/music/glimmer/materials/photos/a\\_video\\_animation\\_helps\\_the](http://distributedmusic.gatech.edu/jason/music/glimmer/materials/photos/a_video_animation_helps_the).

navegante decide qué región de la imagen explorar (tocar) para escuchar los sonidos que de ella emanen. Este trabajo propone un proceso inverso al de mi propuesta, mientras que mi trabajo genera sonido mediante la obtención de datos visuales, este proyecto genera sonido a través de datos visuales. Para los autores es importante la idea de una interacción total donde las partes (escuchar, sentir y ver) hacen de la obra una experiencia total.

*Glimmer* es un proyecto desarrollado por el compositor-programador Jason Freeman para el cual se utilizó visión por computadora con el propósito de detectar luces manipuladas por el público; éstas al ser detectadas por una computadora generan una partitura a tiempo real interpretada por un ensamble en ese momento. *Glimmer* es un ejemplo de la participación colectiva como elemento creador de una obra con ayuda de visión por computador.<sup>38</sup>

*Shimon Robot* es una máquina de inteligencia artificial que busca comprender e imitar las habilidades de un percusionista. Uno de los tantos recursos que utiliza es un programa basado en visión por computadora que trata de predecir el ataque mediante el reconocimiento de una señal dada (la luz de un led por ejemplo). Utilizando

---

<sup>38</sup>La tecnología es un medio para facilitar la colaboración, conectando los algoritmos de software a la audiencia a través del análisis de video y a los músicos a través de la notación en tiempo real.(Freeman, 2008)

unas baquetas con sensores de luz infrarroja, una cámara registra el movimiento que milisegundos después es codificado por el robot. Aprovechando sus características, *Shimon* fue utilizado para musicalizar una película muda. El software del robot junto con la cámara, detectan partes específicas de las imágenes que observa; éstas lanza una serie de estructuras musicales previamente programadas.

Todos estos trabajos proponen un panorama en donde los datos obtenidos por una cámara pueden tener repercusiones estéticas y ser usados para plantear otras maneras de entender la creación sonora.

### 4.3.1. Composición con Herramientas Digitales

Desde la llegada de la computadora, la posibilidad de crear instrucciones que generan estructuras musicales ha sido un campo de estudio en la música electrónica y que con el paso del tiempo, esta idea se ha ido reforzando. Podemos ver en la práctica sonora actual cómo los algoritmos permiten al compositor definir el nivel de operación en la realización de su obra o ir más allá; entender al compositor como un creador no solo de obra, sino también de sus herramientas de creación.

Para Sagiv, las herramientas digitales permiten al artista ir más allá de sus perímetros reconocidos:

En la sinestesia algorítmica, los artistas multimedia tienen la oportunidad de colocar sus procesos en cualquier lugar a lo largo de un espectro de transparencia sobre la relación entre el sonido y la imagen (y el intérprete/creador) y llevar al usuario a establecer una comprensión personal de tales consistencias en esta relación a medida que el artista construye.<sup>39</sup>

Las nuevas herramientas computacionales permiten al compositor crear sus propios instrumentos mediante la programación, ya sean estos virtuales o físicos. Cuando un compositor decide obtener datos particulares que le interesen y traducirlos a sonido,

---

<sup>39</sup>Freya Bailes with Noam Sagiv y Roger T. Dean. “*Algorithmic synesthesia*”. En: *The Oxford Handbook of Computer Music* (2009), pág. 294.

#### 4.4. Procesos de Visión

---

es ya una manera de componer. Las decisiones que se toman en cuanto a que parámetros sonificar y cómo deben éstos ser transformados a sonido, son determinaciones con repercusiones estéticas. Como apunta M.A.J. Baalman, "los sistemas diseñados son la composición".

A continuación, explicaremos todo el proceso de programación que resultó de la creación de este instrumento, así como las tecnologías utilizadas en el mismo con la intención de que el lector pueda entender la propuesta del autor y su relación con el mapeo de fenómenos visuales a sonido.

#### 4.4. Procesos de Visión

En esta sección hablaremos sobre los dispositivos elegidos para la obtención de datos y su posterior transformación a sonido. Los elementos considerados en este proyecto son resultado de un proceso técnico y estético así como de resoluciones técnicas a problemas imprevistos.

Como se mencionó en el capítulo anterior, el uso de la cámara será un elemento primordial durante el proceso de mapeo (cómo se obtienen los datos y cuáles). Para ejercer esta tarea se eligió una webcam con lente tipo "ojo de pescado"; debido a la inclinación que la cámara requería con respecto al tanque de agua (ya que si la cámara se ponía de frente, el espectador podría perder la visión completa de la combinación de los fluidos) este dispositivo logra ampliar la perspectiva de la imagen.

El principal inconveniente al elegir esta cámara fue la ausencia de controladores para su uso. Esta cuestión nos llevó a probar con varias plataformas que pudiesen aprovechar al máximo las cualidades del aparato en cuestión. Primero se hizo pruebas en Processing donde el resultado fue insatisfactorio, ya que no nos permitía elegir la mejor resolución ofrecida por la webcam. Posteriormente se hicieron pruebas con *TouchDesigner*, pero al ser un software que requería licencia era imposible acceder a las preferencias del dispositivo. Por último OpenFrameworks, una librería para creación y manipulación de imagen que se ejecuta dentro del lenguaje C++ nos permitió acceder a la mejor resolución. Distinto a los anteriormente revisados, éste

permite utilizar de manera mas directa otra librería muy importante para el proyecto: OpenCV. Dado que OpenFrameworks facilita el acceso a Supercollider mediante el protocolo Open Sound Control (OSC) se determinó utilizar esta herramienta para el mapeo de datos.

### 4.5. Generación del Código

La siguiente sección dará un breve panorama de la estructura interna del código así como de sus particulares funciones.

La producción del código se dividió en tres fases:

- Comunicación Serial entre Arduino y OpenFrameworks.
- Algoritmos de Visión por Computadora en OpenFrameworks.
- Mapeo de Datos a Supercollider.

#### 4.5.1. Estructura del Código

OpenFrameworks es una librería especializada en la creación de elementos visuales y el uso de componentes que permiten la interactividad (como la visión por computadora). Esta se ejecuta dentro del lenguaje C++ y para poder utilizarlo se requiere de un Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) como XCode que permite utilizar lenguajes de bajo nivel.

Archivo ofApp.h: En este archivo colocamos todas las funciones, variables, objetos a utilizar además de las librerías requeridas en el proyecto.

```
#include "ofMain.h"  
#include "ofxGui.h"  
#include "ofxOpenCv.h"  
#include "ofxOsc.h"  
#include "ofxMidi.h"
```

## 4.5. Generación del Código

---

```
#define _USE_LIVE_VIDEO // uncomment this to use a live camera
//otherwise, we'll use a movie file

#define SOUND_FRAMERATE 0.25
#define HISTOGRAM_BANDS 16

class ofApp : public ofAppBaseApp, public ofxMidiListener {

    public:

        void setup();
        void update();
        void draw();
        void exit();

        void newMidiMessage(ofxMidiMessage& eventArgs);

        ofxMidiIn midiIn;
        std::vector<ofxMidiMessage> midiMessages;
        std::size_t maxMessages = 64; //< max number of
            messages to keep track of

        void keyPressed(int key);
        void keyReleased(int key);
        void mouseMoved(int x, int y );
        void mouseDragged(int x, int y, int button);
        void mousePressed(int x, int y, int button);
        void mouseReleased(int x, int y, int button);
        void mouseEntered(int x, int y);
        void mouseExited(int x, int y);
        void windowResized(int w, int h);
        void dragEvent(ofDragInfo dragInfo);
        void gotMessage(ofMessage msg);

        ofSerial serial;

        ofxIntSlider bomba01;
```

```

//tener slider por bomba
ofxPanel gui;

#ifdef _USE_LIVE_VIDEO
    ofVideoGrabber camera;
#else
    ofVideoPlayer vidPlayer;
#endif
ofxCvColorImage image;
ofxCvColorImage image2;

ofxCvGrayscaleImage gray, grayImagePrev;
ofxCvGrayscaleImage diff;
ofxCvFloatImage diffFloat;
ofxCvFloatImage buffer;

ofxCvColorImage imageDecimated;
ofxCvGrayscaleImage grayImage;
ofxCvGrayscaleImage blurred;
ofxCvGrayscaleImage background;
ofxCvGrayscaleImage diff2;
ofxCvGrayscaleImage mask;
ofxCvContourFinder contourFinder2;

vector<ofPoint> blobsCentersPointsCF1; //object's
    centers

vector<ofPoint> blobsCentersPoints; //object's
    centers

ofxOscSender oscSender;
ofxFloatSlider slider;

float currentEllapsedTime;

void sliderChanged( float &value );

void updateSound();

```

## 4.5. Generación del Código

---

```
void updateonePump(int bomba, int valor);

void updatePumps();
void updateMIDI();

float getBrightness(ofxCvFloatImage imagen);

ofxCvColorImage hsvImg;
float histogram[HISTOGRAM_BANDS]; //object's
    centers
void generateHistogram(ofxCvColorImage);
};
```

Archivo ofApp.cpp: Aquí desarrollamos las funciones y utilizamos los objetos declarados en el archivo ofApp.h. En esta sección realizaremos también los algoritmos. Para un mejor entendimiento del código, las tareas son divididas de acuerdo a su cometido. Primero tenemos la sección (o función) donde se inicializan los objetos y las conexiones que utilizaremos en el programa. Abrimos el puerto serial para la comunicación con Arduino, prendemos la cámara e iniciamos el puerto OSC para comunicarnos con Supercollider.

En la siguiente parte del código llamada *Update* podemos encontrar las funciones que estarán actualizándose continuamente. Es ahí donde los algoritmos se ejecutan continuamente. Mas adelante hablaremos específicamente de cada uno.

*Draw* es la sección que se encarga de generar la interfaz de los algoritmos utilizados. Esto nos permite ver lo que esta sucediendo de manera visual mediante líneas y puntos que representan los datos obtenidos de los algoritmos en función. Las secciones *UpdateSound*, *UpdateonePump*, *SliderBombaChanged*, *GenerateHistogram* y *GetBrightness* se abordarán a fondo más adelante.

### 4.5.2. Comunicación Serial

Aunque en un principio el control de las bombas era ejecutado por MaxMSP se decidió que todo el proceso fuese hecho en OpenFrameworks, ya que también permite el uso de interfaces visuales; además de tener un costo menos elevado en cuanto al uso de procesos computacionales. Para lograr este cometido creamos una función que pudiera recibir los datos y mandarlos a Supercollider. Previamente definimos un objeto de tipo comunicación serial para enviar información. Dentro de la misma función creamos una variable llamada *mes* de tipo *string* que contiene tres parámetros. El primero es una etiqueta de comunicación ("BOMBA")<sup>40</sup>, el segundo el número de la bomba (1 a 7) y el tercero es el valor asignado a prender la bomba (recordemos que las bombas al ser activadas pueden ir del número 0 al 4095 de acuerdo a la intensidad deseada, esto gracias a la función PWM creada en el circuito). La variable es introducida al objeto serial con el método `.writeBytes`.

Como se puede ver en la imagen del código, la función fue elaborada con dos valores de entrada (*int bomba* e *int valor*). Uno que define qué número de bomba recibe y manda información y el otro la cantidad de valores que envía. Con la ayuda de sliders virtuales hechos en OpenFrameworks estos valores son mandados para controlar las bombas. En el siguiente apartado explicaremos su realización.

```
void ofApp::updateonePump(int bomba, int valor) {
    string mes = "BOMBA " + ofToString(bomba) + " " + ofToString(
        valor) + "\r\n";
    const char * mesC = mes.c_str();
    serial.writeBytes(mesC, mes.size());
    //cout << mes << endl;;
}
```

<sup>40</sup>Este dato es la etiqueta para que ambos programas reconozcan el origen y destino de la información; como una especie de código postal.

## 4.6. Algoritmos de Visión por Computadora

---

### 4.5.3. *GUI*

GUI es una clase en OpenFrameworks que permite utilizar controles virtuales como sliders, botones o toogles para mandar valores o números. Para nuestro caso, utilizaremos siete *sliders* para mandar valores de 0 a 4096 a los motores mediante la función previamente explicada. Definimos siete objetos de tipo *GUI Slider* dentro de un *array*. Llamamos a cada uno de esos *sliders* mediante un loop. Los iniciamos en la sección *setup* para darles un valor de inicio, mínimo y máximo a cada *slider*. Finalmente los designamos en la función que manda los valores a las bombas.

## 4.6. Algoritmos de Visión por Computadora

La cámara al enviar los datos a la computadora, ésta tiene que saber de qué manera recibirlos y como procesarlos. La información se cuantifica y se convierte en un dato particular: *pixel*. Las imágenes en el ordenador están construidas por pequeños cuadros que representan un color dentro de un plano X-Y, pensemos en un rectángulo que esta formado por pequeños cuadros de colores. A estas unidades mínimas de color las llamaremos pixeles. Mientras más pixeles tengamos en una imagen, más resolución tendremos en la misma. Sí una imagen consta de 600x400 cuadros, en este caso serian 240000 ya que utilizamos la formula del área del rectángulo (L x L) para conocer su totalidad. Cuando requerimos información de estas unidades, utilizamos una función para obtener el valor del color y posición de cada *pixel*. La computadora recorrerá cada uno y nos devolverá datos numéricos que van del 0 al 255. 0 es negro y 255 es blanco, si obtenemos 125 sería un color gris.<sup>41</sup>En el caso de representaciones con colores utilizamos pixeles de 3 canales llamados RGB. Cada canal nos devuelve un valor de rojo, otro de verde y finalmente de azul (*red, green, blue*). Si se desea ahondar consultar:([Pajares Martinsanz y cols., 2002](#)).

A continuación explicaremos por pasos los algoritmos para capturar la imagen y

---

<sup>41</sup>En una imagen digital la coordenada 0,0 será siempre el extremo superior izquierdo. Ese es el punto de partida para recorrer los pixeles hasta llegar a la última coordenada que sería el extremo derecho inferior

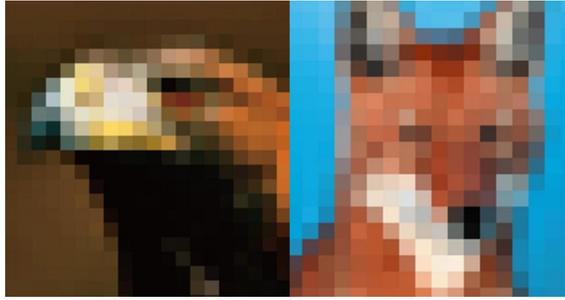


Figura 4.2: Pixels

obtener la información necesaria. Ya que la cámara esta inclinada  $45^\circ$  como hemos explicado, tuvimos que utilizar un método para estabilizar a  $90^\circ$ . Para poder lograr una imagen plana, utilizamos una técnica llamada eliminación de distorsión de perspectiva.<sup>42</sup> Con el método mencionado podemos cambiar la perspectiva inclinada a una frontal. A la imagen de origen se le aplica este proceso (la situamos dentro del método `.warpPerspective` y le indicamos con *ofPoint* sus coordenadas de origen para que posteriormente se adecuen a las de una imagen plana).

El siguiente procedimiento se llama diferencia de pixeles. En este algoritmo lo que se efectúa es la búsqueda de movimiento en un plano X-Y. Cuando tenemos nuestra mano sobre la cámara se detectan pixeles de cierto color (denominemos como pasado ésta acción), pero cuando la movemos, los pixeles cambian de color (ahora presente). La diferencia de valores de los pixeles del pasado y presente <sup>43</sup> le permite a la computadora saber si hay movimiento de algún objeto (sin diferencia de pixeles no hay movimiento). El primer algoritmo de movimiento se realiza de la siguiente manera:

- Obtenemos los pixeles (método `.getPixels`) y los colocamos en una imagen con un ancho y largo determinado.

---

<sup>42</sup>La distorsión de perspectiva es una distorsión geométrica de la forma de un objeto cuando es capturada por la cámara, de modo que las líneas rectas o paralelas del objeto se convierten en líneas curvilíneas o no paralelas en una imagen. (Perevalov, 2013)

<sup>43</sup>Contraste de colores entre la mano y el color del fondo que aparece al quitarla.

## 4.6. Algoritmos de Visión por Computadora

---

- Hacemos una copia de esos pixeles a una imagen en grises.<sup>44</sup>
- Creamos otra copia de esa imagen en grises con la finalidad de convertirse en el pasado de nuestra imagen en grises actual.
- Colocamos esa diferencia (valores) dentro de otra imagen en escala de grises.
- Convertimos los valores de tipo entero a decimal para posteriormente multiplicarlos con el objetivo de visibilizar mejor el movimiento y tener mejor resolución.
- Alojamos esos valores en un buffer.

```
if (isNewFrame){
    /////motion detection
    if ( gray.bAllocated ) {
        grayImagePrev = gray;
    }
    gray = image2;

    //Do processing if grayImagePrev is inited--
    rlcuadroanteriorComo es que se instancia aqui el pasado?
    if ( grayImagePrev.bAllocated ) {
        //Get absolute difference
        diff.absDiff(gray, grayImagePrev);
        //We want to amplify the difference to
        obtain
        //better visibility of motion
        //We do it by multiplication. But to do it,
        we
        //need to convert diff to float image first
        diffFloat = diff; //Convert to float image
        diffFloat *= 5.0; //Amplify the pixel values
        //Update the accumulation buffer
        if ( !buffer.bAllocated ) {
            //If the buffer is not initialized,
            then

```

---

<sup>44</sup>En este algoritmo no es necesaria la captura de colores, así que al ocupar más espacio en la memoria se recomienda no utilizarla para simplificar en términos numéricos el algoritmo.

```
        //just set it equal to diffFloat
        buffer = diffFloat;
    }
    else {
        //Slow damping the buffer to zero
        buffer *= 0.85;
        //Add current difference image to
        //the buffer
        buffer += diffFloat;
    }
}
```

Al principio del código usamos una condicional para asegurarnos de que la imagen este inicializada.

En esta etapa buscamos determinados objetos en una imagen especifica. Para este algoritmo empleamos el método de *blobs*.

- Repetimos el proceso del algoritmo anterior pero la imagen en grises es previamente difuminada.
- Aumentamos el contraste de la imagen y ese es el nivel de umbral aplicado a la imagen (*threshold*).
- Ahora utilizamos la clases `ofxCvContourFinder`. Con esta podemos detectar *blobs* para posteriormente encontrar contornos en la imagen.

```
if ( !imageDecimated.bAllocated ) {
    imageDecimated.allocate( image2.width * 1,
        image2.height * 1);
}
imageDecimated.scaleIntoMe( image2, CV_INTER_NN );

//Convert to grayscale image
grayImage = imageDecimated;

//Smoothing image
blurred = grayImage;
```

## 4.6. Algoritmos de Visión por Computadora

---

```
blurred.blurGaussian( 9 );

//Store first frame to background
if ( !background.bAllocated ) {
    background = blurred;
}

//Find difference of the frame and background
diff2 = blurred;
diff2 -= background;

//Thresholding for obtaining binary image
mask = diff2;
mask.threshold( 40 );
//Here value 40 is the threshold parameter.
//It should be adjusted for good results when using
    another videos than in example.

//Find contours
contourFinder2.findContours( mask, 10, 10000, 20,
    false );

//Store objects' centers
vector<ofxCvBlob> &blobs = contourFinder2.blobs;
int n = blobs.size(); //Get number of blobs
blobsCentersPoints.resize( n ); //Resize obj
for (int i=0; i<n; i++) {
    blobsCentersPoints[i] = blobs[i].centroid;
    //Fill obj array
}

//for (int i=0; i<contourFinder.getContours().size()
    ; i++){
//    ofPoint p = contourFinder.getContours()[i];
//}

//blobsCentersPointsCF1 = contourFinder.getContours
    ();
```

```

generateHistogram(image2);

//cada X tiempo se llamanda control de sonido
if(ofGetElapsedTimef() > currentEllapsedTime +
    SOUND_FRAMERATE){
    updateSound();
    currentEllapsedTime = ofGetElapsedTimef();
}

```

Estos algoritmos previamente explicados, nos servirán como base para desarrollar otros procesos de búsqueda en la imagen. Ya procesada la imagen con estas técnicas desarrollaremos los siguientes algoritmos. Hablemos primero de *getBrightness*. Esta función fue implementada con el objetivo de encontrar aspectos luminosos al combinarse colores en la imagen.

- Obtenemos el ancho y alto de la imagen original (recordemos que la original es de colores).
- Definimos tres variables, una que contenga el ancho de la imagen, otra el alto y una que multiplica ambas para obtener el rectángulo (espacio vacío para colocar los pixeles llamado *numPixels*).
- Inicializamos una variable de tipo decimal.
- Determinamos que en la variable *pixels* obtengamos los pixeles de la imagen de la cámara como valores decimales.
- Creamos una matriz para recorrer esos valores.
- Dentro de value colocamos los valores de la matriz.
- *avgBrightness* es igual a los valores de value.
- Finalmente los colocamos en *numPixels*.

```

float ofApp::getBrightness(ofxCvFloatImage imagen){
    int width = imagen.getWidth();
    int height = imagen.getHeight();
    int numPixels = width * height;

```

## 4.6. Algoritmos de Visión por Computadora

---

```
float avgBrightness = 0.0;
float *pixels = imagen.getPixelsAsFloats();
for (int y=0; y<height; y++) {
    for (int x=0; x<width; x++) {
        //Get the pixel value
        float value = pixels[ x + width * y ];
        avgBrightness += value;
    }
}
return avgBrightness = numPixels;
}
```

Entendemos cómo histograma a una representación gráfica de una o más variables en forma de barras. Un dato necesario de extraer fue tanto la cantidad como las combinaciones de colores que ocurrían en el tanque. Para realizar esta tarea se programó un histograma que calcula la cantidad de *Hue* de cada pixel. Como anteriormente se explicó, los pixeles pueden ser de un canal (escala de grises) o de tres (RGB, rojo, verde azul). Sin embargo, existen otras maneras de representar el color como el HSB (*Hue*, Saturación y Brillo). Este tipo modela el color a partir de un vector tomando un ángulo de partida que define su tonalidad (el *Hue*). En el código tomamos solo el primer valor (o sea *Hue*) que es el que nos interesa ya que los otros no nos brindan información importante (Saturación y Brillo). El proceso del código es similar al explicado anteriormente, la diferencia radica en la conversión de RGB a HSB (*hsvImg.convertRgbToHsv()*).

```
void ofApp::generateHistogram(ofxCvColorImage miEntrada) {
    int w = miEntrada.width;
    int h = miEntrada.height;
    hsvImg = image2;
    hsvImg.convertRgbToHsv();
    float cantPix = w * h;
    for (int i = 0; i < HISTOGRAM_BANDS; i++) {
        histogram[i] = 0;
    }
    unsigned char * loadedPixels = hsvImg.getPixels().getData();
    for (int i = 0; i < cantPix; i++) {
```

```

        int pix = i * 3;
        unsigned char value = loadedPixels[pix];
        histogram[value/HISTOGRAM_BANDS]++;
    }

    for (int i = 0; i < HISTOGRAM_BANDS; i++) {
        histogram[i] = histogram[i] / cantPix;
        //cout << histogram[i] << " ";
    }
    //cout << endl;
}

```

## 4.7. Comunicación OSC

OSC como lo hemos mencionado en capítulos anteriores, es un protocolo de comunicación que funciona para mandar y recibir información entre distintos programas. En el caso de nuestro proyecto, los datos obtenidos mediante la cámara serán enviados a Supercollider para ser sonificados. Para lograr este cometido, utilizamos dentro del entorno de OpenFrameworks una clase para abrir los puertos de comunicación con Supercollider. Se desarrolló una función en donde todos los mensajes serían mandados (`updateSound`). En el programa que manda datos, definimos un objeto específico de tipo mensaje OSC; ese mensaje será enviado mediante *OSC Sender*. Con *.setAdress* etiquetamos el mensaje para que el software receptor sepa qué mensaje recibir (el código postal como hemos mencionado previamente). Al final, añadimos un método al objeto de tipo *addFloatArg* para especificar qué tipo de dato se enviará a Supercollider (en este caso números decimales).

```

ofxOscMessage m1;
oscSender.sendMessage(m1);
m1.setAddress( "/blobscf" );
for (int i=0; i< blobsCentersPoints.size(); i++) {
    ofPoint p = blobsCentersPoints[i];
    m1.addFloatArg(p.x / w);
    m1.addFloatArg(p.y / h);
}

```

## 4.7. Comunicación OSC

---

```
}
    oscSender.sendMessage( m1 );

    ///mensaje de brillo
    ofxOscMessage m3;
    oscSender.sendMessage(m3);
    m3.setAddress( "/brighthmemory" );
    m3.addFloatArg(getBrightness(buffer));
    oscSender.sendMessage( m3 );

    ///mensaje de brillo
    ofxOscMessage m4;
    oscSender.sendMessage(m4);
    m4.setAddress( "/histogram" );

    for (int i = 0; i < HISTOGRAM_BANDS; i++) {
        m4.addFloatArg(histogram[i]);
    }
    oscSender.sendMessage( m4 );
}
```

Cómo vemos en el código, las etiquetas se encuentran definidas entre paréntesis y sus nombres hacen referencia al tipo de información que recoge de la imagen.

En el código de Supercollider encargado de recibir la información utilizamos el objeto *OscDef* con los siguientes argumentos: un mensaje etiquetado (correo postal de OpenFrameworks), una función que realizar (en este caso activar los parámetros de un sintetizador mediante un *Pbind*), el número de puerto del otro programa (canal de comunicación entre ambos) entre otros que no fueron requeridos para esta tarea. La manera en cómo estos datos son utilizados para generar sonido será explicado de manera más detallada en el siguiente apartado.

## 4.8. Mapeo de la información a Supercollider

Ya que los datos fueron obtenidos y mandados a la plataforma que los sonifica hablemos de la estructura del código sonoro. La primera parte corresponde a la definición de un sintetizador (*SynthDef*) en donde elaboramos el instrumento que hará los sonidos. Este consta de un oscilador sinusoidal, una envolvente y una salida que permite el paneo estéreo. La simplicidad de este instrumento se debió a que en la primera etapa de sonificación teníamos que corroborar una correspondencia entre el sonido y lo que sucedía en la imagen. Mas adelante inicializamos cinco variables globales que serán utilizadas como receptores y generadores de datos. En la siguiente sección definimos un *Pbind* (secuenciador de patrones) que interconectará los parámetros a controlar del sintetizador con los datos entrantes vía OSC por medio de las cinco variables anteriores. Su función es recibir datos y mandarlos a los sintetizadores por medio de una función llamada *Pfunc* utilizada dentro del *Pbind*. Por ultimo utilizamos la clase *OSCDef* para llamar a los datos de OpenFrameworks. Es importante comentar que los datos no entran en crudo, utilizamos un método para mapearlos, por ejemplo sí recibimos datos entre 0 y 10, los convertimos a un rango de 200 a 800 para la frecuencia en este caso.

```

Server.killAll

(//limpieza
OSCdef.freeAll;
)

//*****//
//*****//
//*****//

(
SynthDef(\sonido1,{ arg freq = 100, gate= 1, atk = 0.1,
    sus = 1, amp = 0.1, pan = 0;
    var signal, env;
    env = EnvGen.kr(Env.asr(atk,amp,sus), gate, doneAction: 2);

```

## 4.8. Mapeo de la información a Supercollider

---

```
        signal = SinOsc.ar(freq,0,env);
        Out.ar(0, Pan2.ar(signal, pan));
    }).add;
)

(
~par01 = 1200;
~par02 = 0.1;
~par03 = 0.01;
~par04 = 0.1;
~par05 = 1;
//~par06 = 0.1;
);

(
Pbind(
    \instrument, \sonido1,
    \freq, Pfunc({~par01}),
    \atk, Pfunc({~par02}),
    \sus, Pfunc({~par03}),
    \amp, Pfunc({~par04}),
    \dur, Pfunc({~par05}),
    \delta, Pfunc({~par06}),
).play;
)

(
OSCdef(\ofmtblobs, { arg msg, time, addre, port;
    var blobsCant = (msg.size - 1 / 2);
    "blobscf *****".postln;
    msg.postln;
    blobsCant.postln;
    ~par02 = blobsCant.linlin(0.0,20.0, 0.01, 2.0);
},"/blobscf", recvPort: 57999);
)
```

```

OSCdef(\ofmtbright, { arg msg, time, addre, port;
  var brillo = msg[1];
  "brighthmemory *****".postln;
  msg.postln;
  brillo.postln;
  ~par03 = brillo.linlin(0.03, 0.05, 0.01, 5.00);
}, "/brighthmemory", recvPort: 57999);

OSCdef(\ofmthisto, { arg msg, time, addre, port;
  var msgLocal = msg;
  "histogram *****".postln;
  msg.postln;
  msgLocal.removeAt(0);
  //dispersionGeneral
  ~par04 = (msgLocal.maxItem - msgLocal.minItem).postln.linlin
    (0.2, 0.5, 0.01, 0.70);
  //promedio
  ~par05 = msgLocal.mean.postln.linlin(0.03, 0.07, 0.12, 4.00)
    ;
  //dispersionAgregada
  ~par01 = abs(msgLocal - msgLocal.mean).sum.postln.linlin
    (0.5, 1.70, 300, 900);
}, "/histogram", recvPort: 57999);

);

(

var window;
var funcionesDeControl = Array.fill(6);

funcionesDeControl[0] = {arg input;
  ~par01 = input.value.linlin(0.0, 1.0, 4, 900);
};

funcionesDeControl[1] = {arg brillo;
  ~par02 = brillo.linlin(0.0, 1.0, 1, 100);

```

## 4.8. Mapeo de la información a Supercollider

---

```
//brill.postln
};

funcionesDeControl[2] = {arg ratio;
    ~par03 = ratio.linlin(0.0, 1.0, 0.1,50);
    //input.postln;
};

funcionesDeControl[3] = {arg index;
    ~par04 = index.linlin(0.0, 1.0, 0.01,5);
    //input.postln;
};

funcionesDeControl[4] = {arg rate;
    ~par05 = rate.linlin(0.0, 1.0, 0.01,5);
    //input.postln;
};

funcionesDeControl[5] = {arg scale;
    ~par06 = scale.linlin(0.0, 1.0, 0.01,5);
    //input.postln;
};
```

### 4.8.1. Colores-Texturas

El siguiente paso del proyecto consistió en desarrollar los vínculos entre color-forma y sonido. Debido a la naturaleza del tanque, los aspectos visuales a utilizar serían las formas que resultan de combinarse distintos colores y la tonalidad resultante. Las primeras pruebas nos dirigieron hacia fenómenos particulares:

- Tonalidades puras.
- Líneas horizontales.
- Líneas horizontales moviéndose
- Manchas sobre tonalidades puras o líneas.

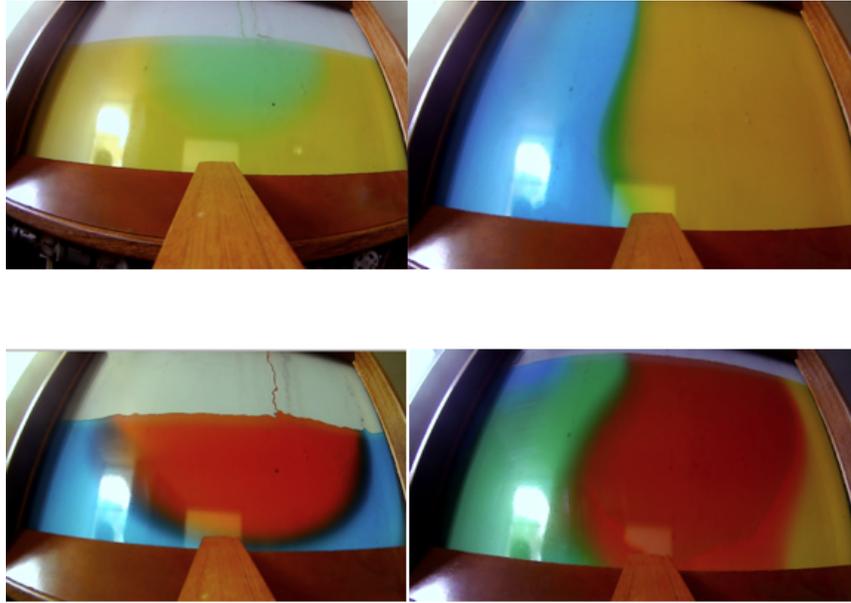


Figura 4.3: Colores y formas de Fluxsoma

Las tonalidades puras surgen de solo abrir una bomba (un solo color), las líneas horizontales al abrir bombas de distinto color. El movimiento de las líneas surgen al tener abiertas las de arriba (adición de color) al mismo tiempo que las inferiores derecha o izquierda (vaciado de color). Por último, al llenar de una tonalidad o varias el tanque, se abre una sola bomba de distinto color que al irse sumándose poco a poco forman manchas de distintos tamaños.

Partiendo de estos fenómenos, fue inevitable utilizar la tonalidad como un aspecto primordial dentro del mapeo de datos. Para darnos un panorama sobre esta relación mostramos el cuadro que realizó Fred Collopy sobre la correspondencia entre color y notas musicales a lo largo de la historia (figura 4.4).

Cómo podemos observar, la relación de color y sonido corresponde a una idea de escala. En el proyecto se decidió generar una relación no lineal como la que se observa en la imagen. Dada la dificultad de realizar correlaciones individuales, (color - textura, movimiento-frecuencia, brillo-volumen) se dispuso a generar un espacio donde cada posibilidad visual produjera un discurso sonoro que maximizara el sistema. De

## 4.8. Mapeo de la información a Supercollider

		C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B
Isaac Newton	1704	Red		Orange		Yellow	Green		Blue		Purple		Pink
Louis Bertrand Castel	1734	Blue	Teal	Green	Light Green	Yellow	Orange	Red	Dark Red	Pink	Purple		Purple
George Field	1816	Blue		Purple		Red	Orange		Yellow		Light Green		Green
D. D. Jameson	1844	Red	Orange	Yellow	Light Green	Green	Teal	Blue	Purple	Pink	Purple	Pink	Pink
Theodor Seemann	1881	Brown	Red	Orange	Yellow	Light Green	Green	Teal	Blue	Purple	Pink	Brown	Black
A. Wallace Rimington	1893	Red	Dark Red	Orange	Yellow	Light Green	Green	Teal	Blue	Purple	Pink	Dark Blue	Pink
Bainbridge Bishop	1893	Red	Dark Red	Orange	Yellow	Light Green	Green	Teal	Purple	Pink	Pink	Pink	Red
H. von Helmholtz	1910	Yellow	Green	Teal	Blue	Purple	Pink	Red	Orange	Red	Orange	Orange	Orange
Alexander Scriabin	1911	Red	Pink	Yellow	Light Blue	Blue	Dark Red	Dark Blue	Orange	Purple	Green	Light Blue	Blue
Adrian Bernard Klein	1930	Red	Red	Orange	Yellow	Light Green	Green	Teal	Blue	Purple	Pink	Purple	Purple
August Aeppli	1940	Red		Orange		Yellow		Green	Teal		Blue	Purple	Purple
I. J. Belmont	1944	Red	Orange	Orange	Yellow	Light Green	Green	Teal	Blue	Purple	Pink	Pink	Pink
Steve Zievrink	2004	Light Green	Green	Teal	Blue	Purple	Pink	Dark Red	Red	Orange	Yellow	Yellow	Yellow

Figura 4.4: Tabla del uso de colores con relación a la música a lo largo varios siglos.

acuerdo a un sintetizador definido previamente, cada posible combinación de colores y movimientos del tanque recorrerá todo un abanico sonoro. Como el compositor Diego Garro afirma, los creadores audiovisuales deben de ser más libres al momento de generar relaciones imagen-sonido:

Sin embargo, las técnicas de mapeo prescriptivo, como las escalas de color, se vuelven rápidamente inadecuadas una vez que la paleta de sonido y material visual a disposición de los compositores se expande. Si se desea buscar modelos de correspondencias, deben tener en cuenta las fenomenologías más complejas de los estímulos de audio y video, mucho más allá de los mapeos simplistas, por ejemplo, tono musical y tono de color, o volumen de sonido y brillo de imagen. Garro, 2020, pag. 7 (Garro, 2006)

Para tener una idea más clara de cómo implementar este proceso se determinó crear un simulador del tanque en el software Processing. La finalidad fue poder observar y estudiar a fondo nuestros ideales visuales. El código consistió en la producción de líneas y esferas de distintos colores (rojo, azul, amarillo, verde, los tonos de las cuatro bombas) así como todas sus posibles combinatorias. Para hacerlo más parecido al original utilizamos una función de difuminado y una función *Perlin Noise*



Figura 4.5: Colores y formas del Simulador

que modifican la textura de los tonos. Este resultado fue convertido a un video que después reemplazaría a la imagen de la cámara en OpenFrameworks <sup>45</sup>.

Ya obtenido el material, empleamos el programa que utiliza *Machine Learning* <sup>46</sup> llamado *Wekinator*. El uso de dicho software nos permitió hacer un proceso de entrenamiento. Cada que ocurría un cambio de imagen con el video del simulador, entrenábamos Wekinator para que dicha imagen generara un sonido del sintetizador previamente configurado. Los sonidos corresponden a una combinatoria de parámetros de un sintetizador realizado previamente, los cuales son frecuencia, tamaño del grano, cantidad de granos, *decay* de los granos y espectro armónico. Cada vez que iba apareciendo una combinación distinta de colores, se producían distintas posibilidades de los cinco parámetros del sintetizador elegidas por el compositor. Posteriormente,

---

<sup>45</sup>El código puede revisarse en el anexo

<sup>46</sup>El aprendizaje automático o aprendizaje automatizado o aprendizaje de máquinas es el subcampo de las ciencias de la computación y una rama de la inteligencia artificial, cuyo objetivo es desarrollar técnicas que permitan que las computadoras aprendan. (Theobald, 2017)

## 4.8. Mapeo de la información a Supercollider

---

el video del simulador fue removido y nuevamente activamos la cámara del instrumento. Esto nos permitió comparar el nivel de precisión entre los algoritmos con respecto de un plano ideal (simulador) a uno real. El resultado arrojó diferencias variadas; mientras en el simulador los cambios entre imágenes producían diferencias sonoras muy marcadas, la cámara al capturar las mismas permutaciones generaba sonidos más inestables, pero parecidos. Los parámetros del sintetizador en el caso del simulador fueron más estables, contrario a la pequeña variabilidad que arrojaba la cámara. A la fecha de escribir esto, el algoritmo funciona pero se tiene contemplado desarrollar a fondo mejores algoritmos de visión por computadora, es decir, más robustos y eficientes.



# Conclusiones

Muchos compositores cambiaron su perspectiva al entrar en los estudios de música electrónica. Ver el sonido y tener contacto con las máquinas que lo creaban permitió entender la composición desde otro ángulo. Al incorporar el sentido de la vista (gracias a máquinas como el osciloscopio), los compositores ampliaron su soporte entendiendo que el campo visual puede ser igual de importante que el sonoro. Otra ventaja que han tenido los compositores, es que estos estudios también han evolucionado y no solo encontramos herramientas de tipo sonoro, sino cortadoras láser, impresoras 3D que facilitan la incorporación de la laudería (digital o analógica) como proceso o fin creativo. El papel del compositor será uno en donde a partir de estos fenómenos históricos pueda desdibujar las fronteras entre instrumento-obra-partitura para romper con las metáforas lineales que representan tanto la notación musical como los instrumentos tradicionales. Estos medios definen nuevas funciones que posibilitan otros horizontes estéticos. El creador que se inserta en este contexto ya no concibe su obra de la misma manera.

El instrumento propuesto en la investigación permitió llevar a cabo todo un proceso de exploración científico-estético-tecnológica que fue más allá de las técnicas tradicionales del compositor. Por un lado tenemos todo un trabajo de hardware en donde la experimentación de materiales y sus variadas implementaciones nos llevaron por diversos caminos que fueron de la laudería al manejo de pequeños sistemas hidráulicos. Del otro lado tenemos un despliegue de programación con plataformas de código abierto como Supercollider, Arduino y OpenFrameworks, que nos permitieron abordar la composición desde una perspectiva de mapeo de datos dentro de un contexto

audiovisual.

La experiencia de construcción nos permitió entender el amplio rango de incertidumbre que los materiales brindan y la complejidad del proceso de invención tecnológica. Como compositor es fascinante la idea de enfrentarte a este tipo de problemáticas y en cierto grado al azar que pueda resultar del proceso de producción. Desde la compra de los materiales, su combinación con otros y el acceso a otros recursos (cortadoras laser, CNC) durante este trayecto, se posibilitó un aprendizaje sobre la búsqueda intermedial en la creación sonora que conlleva una renovación de los medios de producción musical convencionales.

Respecto a la correspondencia entre imagen y sonido este proceso me permitió construir un camino hacia una relación que entrelaza el aspecto visual y el auditivo. Es decir, proponer una estética que trate de abandonar el estadio autónomo de dichos elementos hacia un entretreído de lo auditivo y visual dentro de un campo que dificulte su indivisibilidad.

Para finalizar, quiero puntualizar que tanto el aprendizaje como mi búsqueda estética se centró en comprender la importancia que tiene el papel de la programación en la producción compositiva contemporánea y sus alcances (mapeo, vínculo imagen-sonido digital, entre otros.). Día a día las herramientas digitales requieren de una técnica que el compositor desarrolla de acuerdo a sus necesidades estéticas. En este sentido cada vez mas los límites entre compositor, programador, laudero se van difuminando.

### TRABAJO A FUTURO

Al día de hoy el instrumento sigue buscando nuevas configuraciones. Una de ellas es generar una dinámica de retroalimentación, es decir, generar sonidos de acuerdo a los aspectos visuales y viceversa. Esto se hará automatizando las bombas para que respondan de acuerdo a este proceso circular. Probar otros algoritmos de visión por computadora y mostrar el funcionamiento del instrumento en distintos espacios. La idea es poder continuar incorporando tecnologías digitales recientes.

A partir de este proyecto, se busca abrir una discusión en torno a procesos digitales

## Conclusiones

---

en entornos audiovisuales. Para lograr este objetivo, en un futuro se piensa plantear la posibilidad de generar partituras para ser interpretadas en el instrumento, poder interpretar *Fluxsoma* con otros instrumentos dentro de un contexto de improvisación, trabajar con artistas en el campo del *livecoding*, etc. También se buscará el uso de herramientas que fortalezcan tanto el aspecto de visión por computadora como el mapeo de datos mediante el uso de métodos de I.A. tales como aprendizaje de maquina o minería de datos.



# Anexos

A continuación se muestran tres bocetos sobre el proceso de planeación de Fluxsoma. Podemos observar tanto el diseño de las partes como sus medidas.

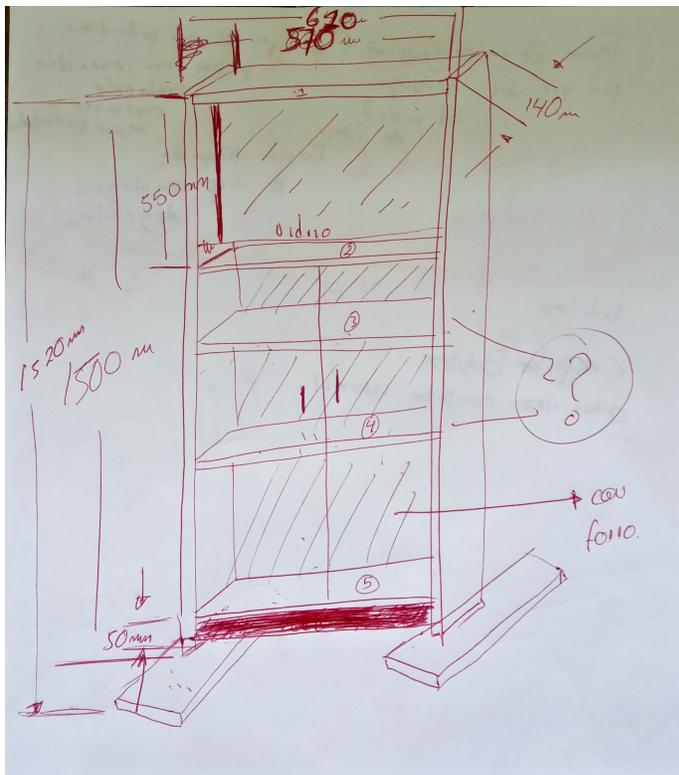


Figura 4.6: Boceto parte frontal

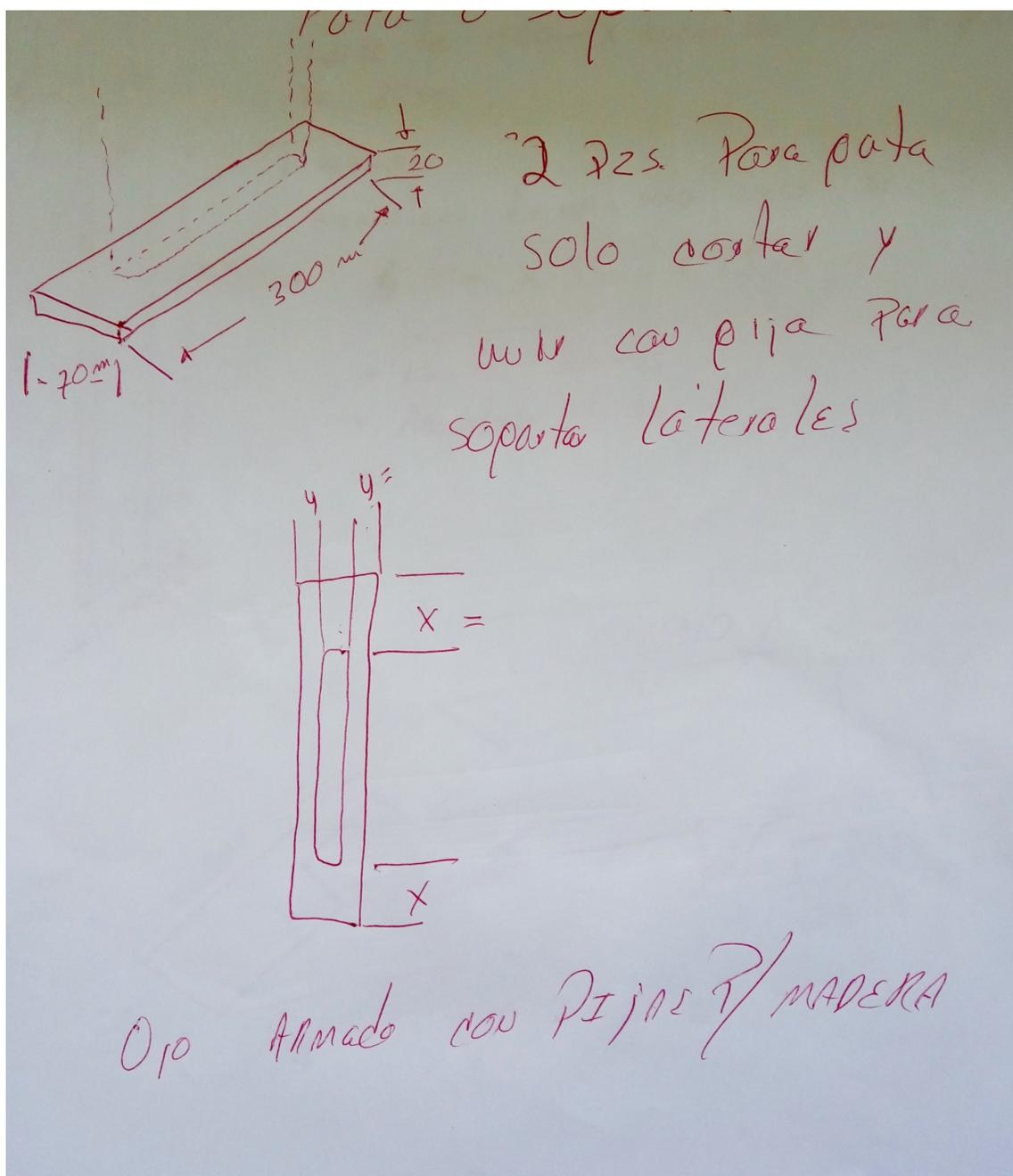


Figura 4.7: Boceto partes laterales

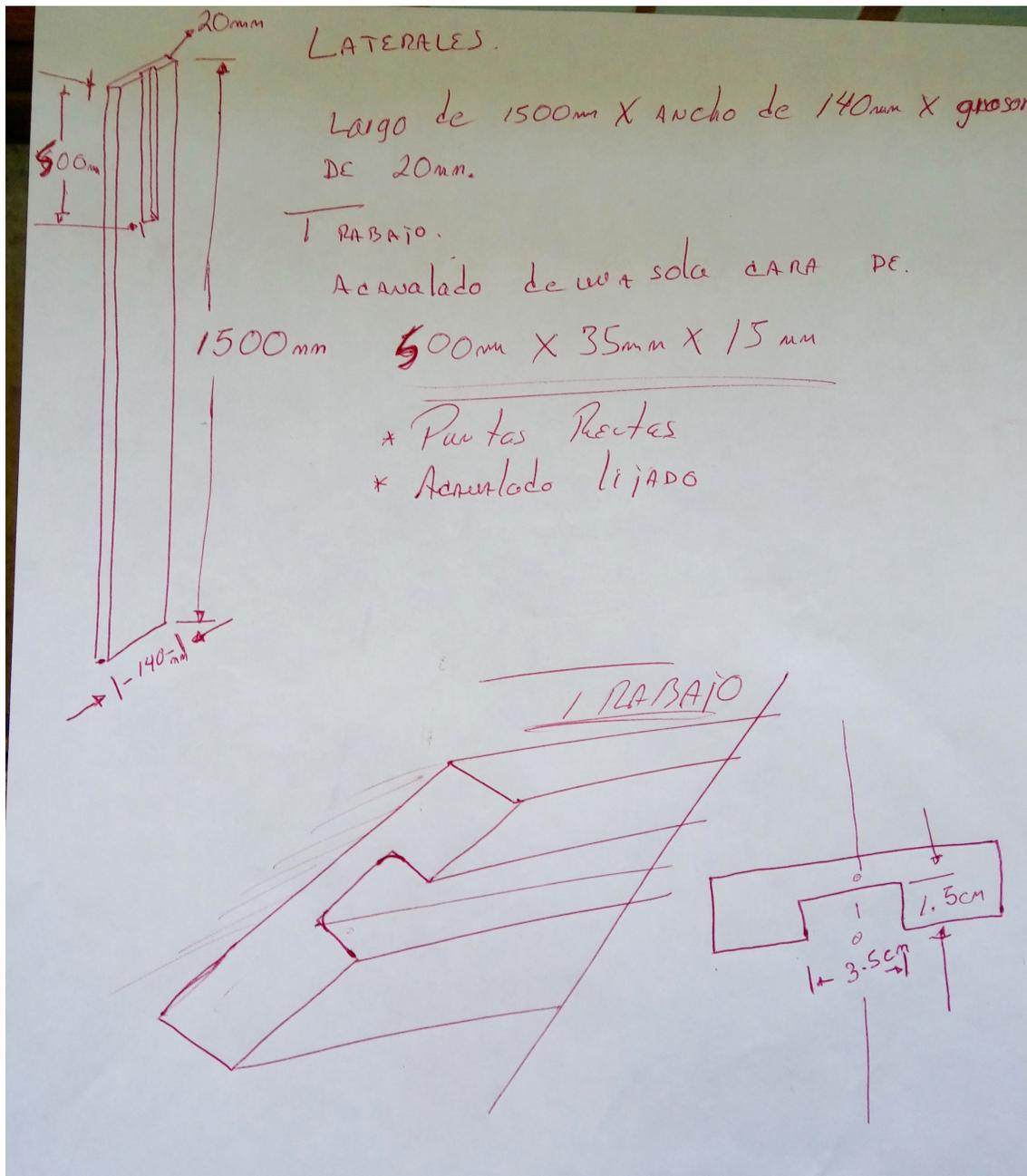


Figura 4.8: Boceto partes laterales conexión

Código de Arduino para la interconexión de bombas y circuito. Este código muestra el uso tanto de la librería *PWMServo* como del puerto serial.

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_PWMServoDriver.h>
#include "SerialCommands.h"

#define SERVOMAX 4096 // this is the 'minimum' pulse length count (
    out of 4096)

Adafruit_PWMServoDriver pwm = Adafruit_PWMServoDriver();
char serial_command_buffer_[32];
SerialCommands serial_commands_(&Serial, serial_command_buffer_,
    sizeof(serial_command_buffer_), "\r\n", " ");

void cmd_unrecognized(SerialCommands* sender, const char* cmd)
{
    sender->GetSerial()->print("ERROR: Unrecognized command [");
    sender->GetSerial()->print(cmd);
    sender->GetSerial()->println("]");
}

void cmd_analog_read(SerialCommands* sender)
{
    char* quien_str = sender->Next();
    if (quien_str == NULL)
    {
        sender->GetSerial()->println("ERROR DE DATOS");
        return;
    }
    int quien = atoi(quien_str);
    char* cuanto_str = sender->Next();
    if (cuanto_str == NULL)
    {
        sender->GetSerial()->println("ERROR DE DATOS2");
        return;
    }
}
```

```
int cuanto = atoi(cuanto_str);
sender->GetSerial()->print(quien);
sender->GetSerial()->println(cuanto);
pwm.setPWM(quien, 0, cuanto);
}

SerialCommand cmd_analog_read_("BOMBA", cmd_analog_read);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  serial_commands_.SetDefaultHandler(&cmd_unrecognized);
  serial_commands_.AddCommand(&cmd_analog_read_);

  pwm.begin();
  pwm.setPWMFreq(1000); // Analog servos run at ~60 Hz updates

  delay(10);
  for(uint8_t bomba = 0; bomba < 16; bomba++){
    pwm.setPWM(bomba, 0, 4096); //todo apagado
  }
}

void loop() {
  serial_commands_.ReadSerial();
}
```

Diagrama del funcionamiento del instrumento. Se puede observar de manera modular la interconexión de sus elementos

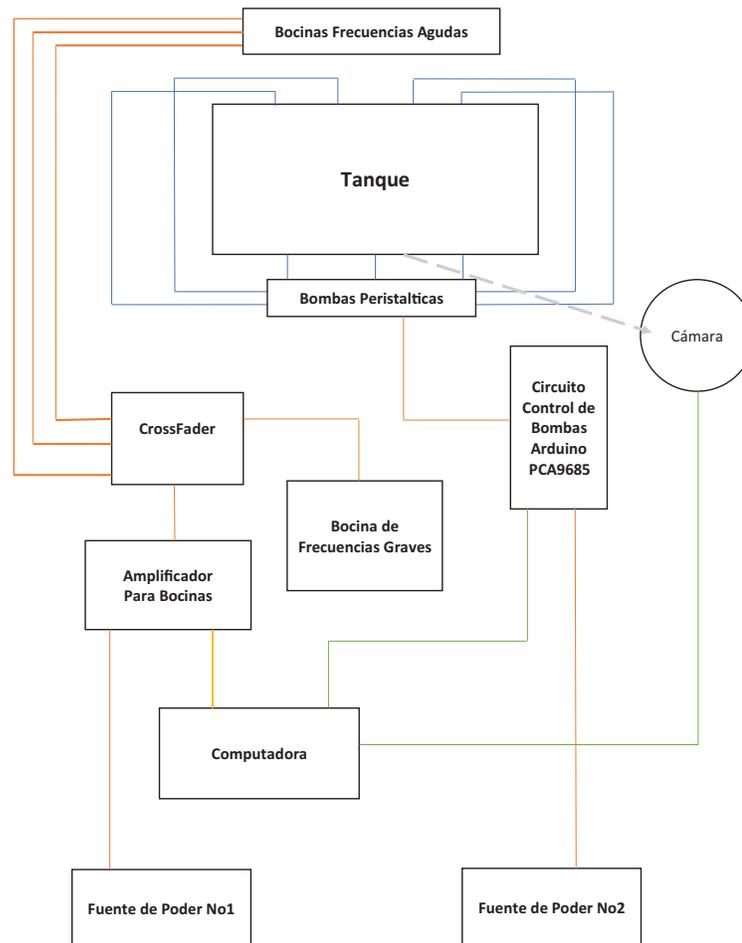


Figura 4.9: Los cables azules son mangueras, los naranjas de corriente y los verdes de tipo USB

Código del simulador en Processing. Fue primordial en este proceso desarrollar todas las posibles combinatorias de colores que el tanque podría generar.

```
int combinatoria = 0;
float crecimiento = 0;
String[] estados = new String[]{"uncolor", "huevo"};
int currentEstado = 0;
int currentCombinatoria = 0;
float VEL_CRE = 30;

PGraphics pg;

color[] colores = new color[]{
color(102,178,255), //azul
color(255,102,102), //rojo
color(255,255,102), //amarillo
color(51,255,178) //verde
};

float noise = 0.0;
float noiseScale = 0.08;

int[][] combinaciones = new int[][]{
new int[]{0,0,0,0},
new int[]{0,0,0,1},
new int[]{0,0,0,2},
new int[]{0,0,0,3},
new int[]{0,0,1,1},
new int[]{0,0,1,2},
new int[]{0,0,1,3},
new int[]{0,0,2,2},
new int[]{0,0,2,3},
new int[]{0,0,3,3},
new int[]{0,1,1,1},
new int[]{0,1,1,2},
new int[]{0,1,1,3},
new int[]{0,1,2,2},
```

```
new int []{0,1,2,3},
new int []{0,1,3,3},
new int []{0,2,2,2},
new int []{0,2,2,3},
new int []{0,2,3,3},
new int []{0,3,3,3},
new int []{1,1,1,1},
new int []{1,1,1,2},
new int []{1,1,1,3},
new int []{1,1,2,3},
new int []{1,1,3,3},
new int []{1,2,2,2},
new int []{1,2,2,3},
new int []{1,2,3,3},
new int []{1,3,3,3},
new int []{2,2,2,2},
new int []{2,2,2,3},
new int []{2,2,3,3},
new int []{2,3,3,3},
new int []{3,3,3,3},
};

void setup(){
  size(400,200);
  noStroke();
  ellipseMode(CENTER);
  pg = createGraphics(width, height);
}

void draw(){
  background(255);

  pg.beginDraw();
  pg.noStroke();
  pg.background(255);
  switch(estados[currentEstado]){
    case "uncolor":
      for(int i = 0; i < combinaciones[currentCombinatoria].length;
```

## 4.8. Mapeo de la información a Supercollider

---

```
        i++){
    color currentColor = colores[combinaciones[
        currentCombinatoria][i]];
    pg.fill(currentColor);
    pg.rect(i*width/combinaciones[currentCombinatoria].length,
    height - (crecimiento),
    width/combinaciones[currentCombinatoria].length,
    height
    );
}
    crecimiento += VEL_CRE;
break;

case "mancha":
    color currentColor = colores[combinaciones[
        currentCombinatoria][0]];
    pg.fill(currentColor);
    pg.rect(0,0,width, height);
    currentColor = colores[combinaciones[currentCombinatoria
        ][2]];
    int pos = (width/4 * combinaciones[currentCombinatoria][2])
        + (width/8);
    pg.fill(currentColor);
    pg.ellipse(pos,0,crecimiento*3,crecimiento*3);
    crecimiento += VEL_CRE;
break;
}

pg.endDraw();

pg.loadPixels();
for(int i = 0; i < pg.pixels.length; i++){
    color currentColor = pg.pixels[i];
    int r = (currentColor >> 16) & 0xFF; // Faster way of getting
        red(rgba)
    int g = (currentColor >> 8) & 0xFF; // Faster way of getting
        green(rgba)
    int b = currentColor & 0xFF; // Faster way of getting
```

```
        blue(rgba)
pg.pixels[i] = color(
    r + noise(i%width/(float)width, (float)i/width, noise)*90
    - 45,
    g + noise(i%width/(float)width, (float)i/width, noise)*90
    - 45,
    b + noise(i%width/(float)width, (float)i/width, noise)*90
    - 45
);
}
noise += noiseScale;
pg.updatePixels();
image(pg, 0, 0);
filter(BLUR, 10);

if(crecimiento > height){
    crecimiento = 0;
    currentCombinatoria++;
}

if(currentCombinatoria >= combinaciones.length){
    currentCombinatoria = 0;
    currentEstado++;
}

if(currentEstado >= estados.length){
    currentEstado = 0;
}

//saveFrame("simulador-#####.png");
}
```

## Referencias

- Aragón, J. L., Naumis, G. G., Bai, M., Torres, M., y Maini, P. K. (2008). Turbulent luminance in impassioned van gogh paintings. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 30(3), 275–283.
- Artero, Ó. T. (2013). *Arduino. curso práctico de formación*. RC Libros.
- Baalman, M. (2017). Interplay between composition, instrument design and performance. En *Musical instruments in the 21st century* (pp. 225–241). Springer.
- Betancourt, M. (2004). *Visual music instrument patents: Volume one*. Borgo Press.
- Brougher, K. (2005). Visual-music culture. *Visual Music: Synaesthesia in Art and Music Since 1900*.
- Crozier, J. L. M. (s.f.). 9 evennings: Theatre and engineering 9 jornadas: Teatro e ingeniería.
- Döring, T., Sylvester, A., y Schmidt, A. (2013). A design space for ephemeral user interfaces. En *Proceedings of the 7th international conference on tangible, embedded and embodied interaction* (pp. 75–82).
- Freeman, J. (2008). Glimmer: Creating new connections. En *Transdisciplinary digital art. sound, vision and the new screen* (pp. 270–283). Springer.
- Garro, D. (2006). Connected media and connected idioms. *Keele Research Repository*.
- Hui, A., Kursell, J., y Jackson, M. W. (2013). Music, sound, and the laboratory from 1750 to 1980. *Osiris*, 28(1), 1–11.
- Hunt, A., Wanderley, M. M., y Paradis, M. (2003). The importance of parameter mapping in electronic instrument design. *Journal of New Music Research*, 32(4), 429–440.
- Johnston, A. (2013). Fluid simulation as full body audio-visual instrument. En *New interfaces for musical expression*.
- Keislar, D. (2009). A historical view of computer music technology. En *The oxford handbook of computer music*.
- Levin, G. (2000). *Painterly interfaces for audiovisual performance* (Tesis de Master no publicada). Massachusetts Institute of Technology.

- Levin, G. (2006). Computer vision for artists and designers: pedagogic tools and techniques for novice programmers. *AI & SOCIETY*, 20(4), 462–482.
- Levinson, J. (1984). Hybrid art forms. *Journal of Aesthetic Education*, 18(4), 5–13.
- Magnusson, T. (2017). Interfacing sound: visual representation of sound in musical software instruments. En *Musical instruments in the 21st century* (pp. 153–166). Springer.
- Monk, S. (2016). *Make: action: Movement, light, and sound with arduino and raspberry pi*. Maker Media, Inc.
- Ouzounian, G., Knapp, R. B., Lyon, E., y DuBois, R. L. (2012). To be inside someone else’s dream: On music for sleeping & waking minds. *New Interfaces for Musical Expression (NIME 2012)*, 1–6.
- Pajares Martinsanz, G., García, C., Jesús, M., y cols. (2002). *Visión por computador: imágenes digitales y aplicaciones*.
- Perevalov, D. (2013). *Mastering openframeworks: Creative coding demystified*. Packt Publishing Ltd.
- Rimington, A. W. (1895). *A new art: colour music,*”. Spottiswoode & Company.
- Roads, C. (2002). *Microsound*. MIT Press.
- Shaw-Miller, S. (2013). Synaesthesia. En *The routledge companion to music and visual culture* (pp. 31–42). Routledge.
- Shaw-Miller, S., y Miller, S. (2002). *Visible deeds of music: Art and music from wagner to cage*. Yale University Press.
- Solís, H. (2004). *Improvisatory music and painting interface* (Tesis de Master no publicada). Massachusetts Institute of Technology.
- Spiegel, L. (1998). Graphical groove: memorial for the vampire, a visual music system. *Organised Sound*, 3(3), 187–191.
- Sterne, J. (2003). *The audible past*. Duke University Press.
- Theobald, O. (2017). *Machine learning for absolute beginners*.
- van Campen, C. (2008). *The hidden sense: Synesthesia in art and science*. MIT Press.
- Virilio, P., y Rato, M. A. (1989). *La máquina de visión*. Cátedra Madrid.