



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESPACIO AURAL

Instalación Sonora Interactiva

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

Presentado por: Cuautli Exal Martínez Sánchez

Dirigido por: Francisco Sanmartín Piquer

Valencia, Septiembre 2013.



Para Tara; mi amada compañera de aventuras y Citlalli, la estrella que guía mi andar.

Agradecimientos:

Agradezco enormemente el apoyo incondicional de mis padres y mi hermano, que se mantienen siempre a mi lado, aún a la distancia.

A todos los profesores del máster AVM de los que he aprendido mucho y con los que he construido una relación de gran amistad y a todos los compañeros del máster, una extensión de mi nueva familia.

Índice

1.- Introducción.	4
1.1.- Objetivos Generales	4
1.2.- Objetivos Particulares	4
1.3.- Metodología	5
1.4.- Descripción general de la Investigación	5
2.- Marco teórico.	7
2.1.-Sonido-espacio-sonido	7
2.1.- Arquitectura y Electroacústica	9
2.2.- El inicio conceptual de la espacialización sonora.	11
2.3.- La construcción del espacio sonoro	14
2.4.- Instalación: espacio estético.	17
2.5.- La instalación Interactiva y el sonido multimedia.	20
3.- Desarrollo Práctico	28
3.1.- Bocetaje y descripción general de la instalación	28
3.1.2.- <i>Bocetaje y diseño de interfaz física</i>	32
3.1.3.- <i>Diseño de sistemas de detección de usuario</i>	35
3.2.-Construcción de prototipo de desplazamiento físico.	37
3.2.1.- <i>Prototipado</i>	39
3.2.2.- <i>Programación del movimiento</i>	42
3.2.3.- <i>Pruebas de desplazamiento.</i>	44
3.3.- Construcción del sistema de detección	47
3.3.1.- <i>Pruebas de detección</i>	49
3.3.2.- <i>Trabajo con el espacio de detección</i>	50
3.4.- Estructura Sonora.	53
3.4.1.- <i>Sonidos ambientales o atmosféricos.</i>	55
3.4.2.- <i>Sonidos secundarios.</i>	55
3.4.3.- <i>Sonidos principales.</i>	56
3.4.4.- <i>Sonidos incidentales.</i>	56
3.4.5.- <i>Construcción informática</i>	57
3.5.- Diseño de comunicación entre componentes	58
4.- Conclusiones	63
5.- Anexos	65
5.1.- Richard Wagner	65
5.2.- Edgar Varese	65
5.3.- Karlheinz Stockhausen	67
5.4.- Hélio Ointicica	68
5.5.- Dan Graham	69
5.6.- Allan Kaprow	70
5.7.- Richard Serra	71
5.8.- Nam June Paik	72
Nam June Paik's Piano	73
5.9.- Rafael Lozano Hemmer	73
5.10.- Imaginary Landscape.	74
5.11.- Bocetos y esquemas	75
5.12.- Programación	79
5.12.1.- <i>Blob Detection</i>	79
5.12.2.- <i>Servomotores Arduino biblioteca *Servo</i>	81
5.12.3.- <i>Servomotores Arduino Micropulsos.</i>	82
5.12.4.- <i>Servomotores Arduino y Sensor MAX Sonar</i>	83
5.12.5.- <i>Programación Cercanía de usuario a fuentes sonoras.</i>	84
5.13.- Capturas de Pantalla	85
6.- Bibliografía consultada	88

1.- Introducción.

1.1.- Objetivos Generales

Este trabajo de investigación pretende construir un dispositivo multimedia que permita la producción de espacios sonoros interactivos a partir de la creación de un sistema de espacialización de audio multicanal, sensible a la presencia y posición del espectador.

1.2.- Objetivos Particulares

- La producción de un algoritmo de distribución y espacialización de audio que genere la ilusión perceptual de movimiento sonoro.
- La producción de un modelo de interactividad que permita relacionar los desplazamientos sonoros programados con la posición y trayectoria del espectador dentro del espacio expositivo.
- La construcción de un dispositivo físico de movimiento que permita desplazar las fuentes sonoras a través del espacio en respuesta al desplazamiento del espectador.
- La programación de un paisaje sonoro multicanal, compuesto de múltiples fragmentos de audio yuxtapuestos unos sobre otros de forma dinámica e iterativa.

1.3.- Metodología

La metodología a utilizar en el desarrollo de este proyecto será mixta; cualitativa y cuantitativa a la vez:

El desarrollo de toda la programación de los algoritmos, tanto de detección del usuario, comunicación de datos y producción de las respuestas sonoras serán producidas dentro de una metodología cuantitativa, en la que primero se ubicarán las variables de interés dentro de un diagrama de interacción y posteriormente se modificarán una serie de algoritmos generales, buscando aislar aquellas variables que permitan un control estable y reproducible de valores de control que infieran en la composición sonora de forma estéticamente interesante.

Dado que el proyecto a desarrollar pertenece al campo de las prácticas artísticas, se necesita una metodología cualitativa que evalúe los resultados técnicos obtenidos del desarrollo procedural del dispositivo informático y genere con ellos respuestas emotivas y estéticas. En este sentido, la amalgama de los distintos procesos informáticos y su respuesta a los espectadores será evaluada de forma cualitativa, basada puramente en la experimentación y la construcción empírica.

1.4 .- Descripción general de la Investigación

Esta tesis está organizada en cuatro capítulos. En el capítulo 2 referente al marco teórico, se identifican las principales variables que pueden estar implicadas en el desarrollo de este trabajo: La creación de espacios para el sonido, la percepción auditiva de los espacios , el sonido como espacio y la instalación interactiva como producción semántica de sonido.

Para cada una de ellas analizamos la obra de artistas modernos y contemporáneos que han abordado estos conceptos desde una variedad de perspectivas , aportando documentación y análisis.

El Capítulo 3 , Metodología, documenta las fases de creación de prototipos en el desarrollo de esta tesis , que se compone de cinco fases de desarrollo paralelas. El proceso se expone a través de la documentación de la concepción y construcción de las interfaces físicas y la programación por medio de bocetos de diseño, diagramas de flujo y diagramas de mapeo.

El capítulo 4 está dedicado a la discusión y análisis de los resultados de trabajo, la evaluación en todas sus etapas de desarrollo y las conclusiones, señalando deseos insatisfechos y direcciones futuras.

2.- Marco teórico.

2.1.-Sonido-espacio-sonido

El sonido es una característica del espacio, un ímpetu de energía vibratoria que se desplaza percutiendo las partículas del medio por el que fluye, reflejando contra las superficies de la estructura que lo contiene. Espacio y sonido están imbricados en una relación indivisible que ha sido motivo de estudio de múltiples disciplinas desde hace miles de años. La arquitectura ha contemplado la acústica como un elemento muy relevante en la construcción de espacios; edificaciones como los teatros, los parlamentos, los edificios destinados al culto religioso, etc., han sido concebidos en diversos tiempos y lugares geográficos de maneras similares; estructuras de gran escala basadas en formas cónicas, semicirculares y cupulares que amplifican el sonido ¹. Sin embargo para los compositores musicales, realizar el camino inverso, es decir, explorar las capacidades espaciales del sonido, había resultado muy complicado hasta la invención de dispositivos eléctricos capaces de separar la señal electroacústica de audio en diferentes canales, controlados de forma precisa e individual.

Durante cientos de años, la especialización musical estaba dictada por las propiedades acústicas del lugar donde se ejecutaba. La composición musical se había limitado a utilizar las características acústicas para agregar una carga emotiva a la obra. En la música litúrgica², por ejemplo, era común que el compositor estuviera familiarizado con las cualidades del recinto donde se iba a

¹ Mateo Zlatar, «Aural Limbo, Space as a Sonic Interactive Interface.» (electroacustics developing, 2007), p.11

² La música sacra (del latín *sacer, sacra, sacrum*: «santo, augusto») o *música litúrgica* hace referencia a la forma de expresión musical nacida en Europa hacia la Alta Edad Media (siglo V) y desarrollada como parte de los ritos cristianos de la época. Por extensión también es aplicable a las diferentes manifestaciones músico-religiosas de otros pueblos, ya sean de origen hindú, budista, árabe, judío. (http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%BAsica_sacra, accedido 9 junio 2013)

interpretar la obra, de esa manera podía valerse de los vibratos, reverberaciones y coloraciones que el recinto aportaba a la música para generar un mayor impacto emotivo, incorporando al lugar como elemento compositivo.

Otro componente espacial en el que los compositores podían apoyarse para ayudar a la espacialización del sonido, era la disposición de los músicos de la orquesta. Algunos compositores del siglo XIX como Richard Wagner³ hicieron modificaciones en la disposición de los intérpretes en la sala de concierto, para, en conjunción con el espacio, explorar posibles respuestas emotivas del público. Sin embargo, el trabajo de la difusión del sonido a través de un espacio de forma controlable, no fue posible hasta finales de los años 50's del S.XX, gracias a los avances tecnológicos en materia de sonido electrónico.

Las relaciones espacio-sonoras planteadas desde la tradición arquitectónica, fueron transgredidas con la incursión de las tecnologías electroacústicas⁴. El sonido electromagnético permitía o bien grabar las cualidades acústicas de cualquier espacio, o bien emularlas mediante procesos de síntesis sonora. De la misma manera permitía la distribución del sonido por múltiples canales de salida (polifonía electroacústica).

El sonido electromagnético dio lugar a una nueva exploración del espacio basada en el movimiento de masas sonoras por una serie de altavoces, distribuidos por del espacio arquitectónico: a partir de la composición sonora de espacios envolventes, se producía una alteración del espacio experimentado visualmente que no correspondía, en dimensiones y propiedades, al espacio experimentado de forma aural.

³ Anexos, WAGNER Richard, p. 65

⁴ Golo Föllmer, «Audio Art», text, 15 de febrero de 2007, http://medienkunstnetz.de/themes/overview_of_media_art/audio/scroll/, accedido 25 noviembre 2012.

2.1.- Arquitectura y Electroacústica

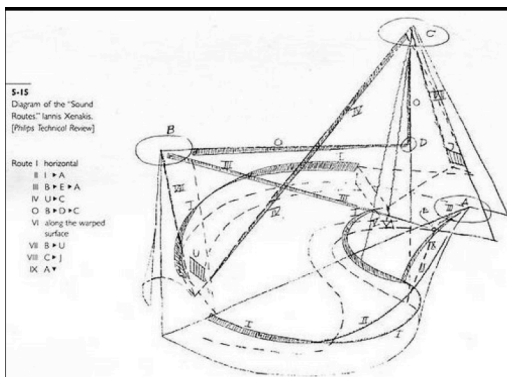
En 1958, Le Corbusier construye para la Exposición Universal de Bruselas, el *Poeme Electronique*. Una estructura arquitectónica multimedia compuesta por paraboloides hiperbólicas, diseñada en colaboración con Iannis Xenakis, esta construcción permitía, por medio de sus estructuras matemáticamente onduladas, la fluidez del sonido a través de los espacios interiores del edificio, donde se disponían 425 altavoces distribuidos por los muros a diferentes



1.- Fotografía del interior del edificio Poema Electrónico de Le Corbusier, 1958.

alturas, trazando “trayectorias sonoras” programadas por los compositores Edgar Varese y Iannis Xénakis⁵.

La pieza, *Poeme Electronique* (Poema Electrónico) es una pieza que es interesante de analizar en dos aspectos que conformarán la metodología de producción de sonido desde la instalación multimedia:



2.- Planos de construcción del Poema Electrónico, 1956.

Por un lado, *Poeme Electronique* surge de la sinergia entre un espacio arquitectónico; un espacio sonoro y un espacio visual intrínsecamente ligados. La arquitectura fue concebida con segmentos cónicos diseñados para proyectar el sonido sin producir ecos o reverberaciones, permitiendo la escucha de los desplazamientos sonoros sin

alteraciones; la iluminación de los interiores del edificio respondía a las dinámicas sonoras programadas, generando un espacio cuya sonoridad e iluminación producían un cambio constante en su percepción.

⁵ María Concepción García González, «ESPACIO ESCUCHADO Investigación sobre prácticas artísticas contemporáneas que utilizan el sonido como medio para definir espacios.» (Universidad Complutense de Madrid, 2012), pp. 25-34, <http://eprints.ucm.es/16687/1/T34018.pdf>, accedido 28 marzo 2013.

Para Le Corbusier, *Poema Electrónico* es: "La concepción del espacio contemporáneo, como un espacio electrónico. Donde el diseño matemático de la arquitectura, los sonidos y la iluminación se funden en un espacio indivisible"⁶.

Quizás el Poema Electrónico al que Le Corbusier hace referencia en el título de su obra, es el lenguaje lógico e intangible que gestiona la comunicación e interacción física entre los elementos compositivos de la arquitectura, mostrando todas las características metodológicas de una obra multimedia.

Por otra parte, la composición de la pieza sonora *Poeme Electronique* de Edgar Varese realizada como una obra *site specific*,⁷ para el edificio diseñado por Le Corbusier, consistía en la programación de una pieza distribuida en 425 altavoces. Se convirtió en un referente en las nuevas formas de composición sonora al ser la primera pieza compuesta para un número tan grande de salidas de audio y, por otro lado, era la primera vez que el trabajo compositivo de una pieza musical o sonora consistía casi enteramente en un proceso de programación informática. Una estructura sonora sin una duración temporal determinada⁸.

Las investigaciones espacio-sonoras emergentes de la colaboración entre compositores electroacústicos, ingenieros y arquitectos, pronto generó una serie de exploraciones sonoras polifónicas avocadas a abarcar la dimensión espacial del sonido. De ellas destacan:

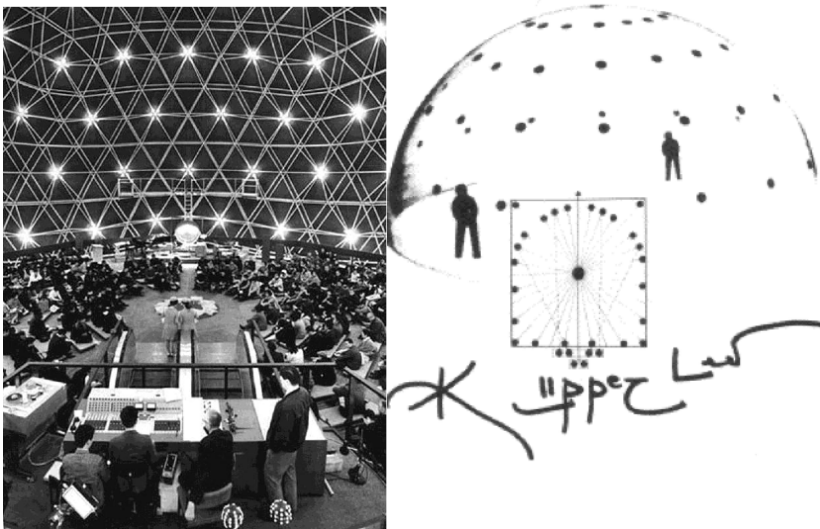
⁶ Föllmer, «Audio Art», p. 6, accedido 28 noviembre 2012.

⁷ Arte *Site Specific* son piezas creadas para existir en un determinado lugar. Normalmente, el artista toma el lugar en consideración al planificar y crear la obra de arte.

El término actual fue promovido y perfeccionado por el artista californiano Robert Irwin, pero en realidad fue utilizado por primera vez a mediados de la década de 1970 por los escultores como Patricia Johanson, Dennis Oppenheim, y Athena Tacha, que habían comenzado la ejecución de encargos públicos para grandes núcleos urbanos (ver Peter Frank, "Escultura del sitio", Art News, octubre de 1975). (http://en.wikipedia.org/wiki/Site-specific_art, accedido 19 agosto 2013)

⁸ Dieter Daniels, «Sound & Vision in Avantgarde & Mainstream [1]», text, 15 de febrero de 2007, http://medienkunstnetz.de/themes/image-sound_relations/sound_vision/scroll/, accedido 15 diciembre 2012.

- La música espacial de Edgar Varese ⁹: proyección de estructuras matemáticas a través de matrices de altavoces dispuestas en el espacio. Cada elemento sonoro es desplazado de forma secuencial de altavoz en altavoz, construyendo un espacio dinámico; cambiante y en constante movimiento¹⁰.
- La primera sala de conciertos esférica, construida por Stockhausen¹¹ en 1970, para la Exposición Universal de Osaka. La audiencia se sentaba en una pasarela suspendida y permeable al sonido, situada bajo el centro de la esfera, en la que 50 grupos de altavoces se dispusieron en torno a los 360 grados de la sala de la sala de conciertos¹².



3.- Sala de conciertos esférica, Exposición Universal de Osaka 1970.

2.2.- El inicio conceptual de la espacialización sonora.

Poco antes de las exploraciones multifónicas, y casi de manera paralela, artistas como David Tudor, Anette Vande Gorne y Pierre Schaeffer desarrollaron una serie de experimentos semánticos del sonido, tratando de

⁹ Anexos, VARESE Edgar, p.65

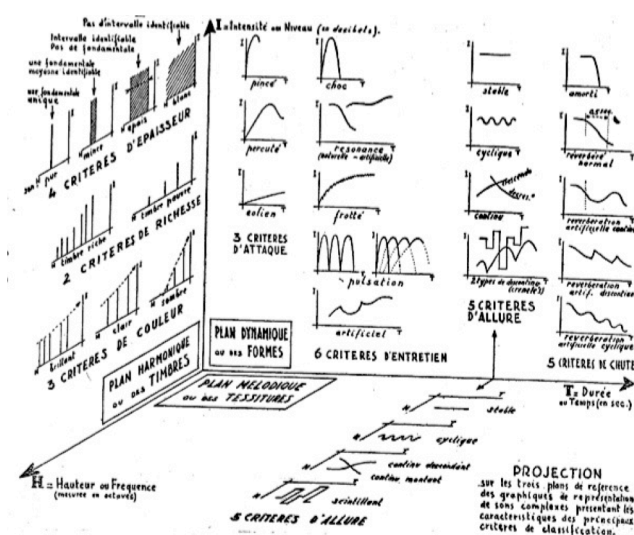
¹⁰ Isaías Garde, «Peter Sloterdijk - El hombre operable», *Peter Sloterdijk - El hombre operable*, <http://bibliotecaignoraria.blogspot.com/2007/03/peter-sloterdijk-el-hombre-operable.html> accedido 6 julio 2013.

¹¹ Anexos, STOCKHAUSEN Karlheinz, p. 67

¹² García González, «ESPACIO ESCUCHADO», p 35, accedido 06 diciembre 2012.

clasificar y catalogar las sensaciones psíquicas que las frecuencias sonoras provocaban en el inconsciente del espectador. Así como el papel que jugaban las distintas propiedades del audio, como la amplitud¹³, el tono¹⁴ y el timbre¹⁵, en la construcción de ilusiones acústicas de espacio.

El artista David Tudor, realizó una taxonomía de las propiedades de las frecuencias electromagnéticas audibles, sus propiedades compositivas y sus aptitudes espaciales, que a la fecha sigue siendo un referente metodológico en la composición de piezas multifónicas¹⁶. D. Tudor distinguió 5 grandes familias de frecuencias con características espaciales distintas:



4.- David Tudor, esquemas de espacialización del audio según las cualidades espaciales de cada grupo de frecuencias

- 1.- Las frecuencias graves ó contrabajos (de 10 a 400 Hertzios), que deben abarcar toda la sala, o bien el centro, si sólo existe un subwoofer. Esta familia produce las mayores sensaciones corporales.
- 2.- Los medios “huecos” están concebidos para rellenar el espacio de proyección sonora.
- 3.- Los medios claros (de 400 a

¹³En acústica la amplitud normalmente conocida como volumen se mide en decibelios SPL (dB_{SPL}):Las siglas SPL hacen referencia a la presión sonora (Sound Pressure Level) ([http://es.wikipedia.org/wiki/Amplitud_\(f%C3%ADsica\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Amplitud_(f%C3%ADsica)), accedido junio 08 2013)

¹⁴ El tono es la sensación auditiva o atributo psicológico de los sonidos que los caracteriza como más agudos o más graves, en función de la propiedad física llamada frecuencia. ([http://es.wikipedia.org/wiki/Tono_\(ac%C3%B1stica\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Tono_(ac%C3%B1stica)), accedido junio 08 2013)

¹⁵ El timbre es el matiz característico de un sonido, que puede ser agudo o grave según la altura de la nota que corresponde a su resonador predominante. Se trata de una de las cuatro cualidades esenciales del sonido articulado junto con la altura (tono), la duración y la intensidad (amplitud). ([http://es.wikipedia.org/wiki/Timbre_\(ac%C3%B1stica\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Timbre_(ac%C3%B1stica)), accedido 08 junio 2013)

¹⁶ Manuel Rocha, «Estructura y percepción psicoacústica del paisaje sonoro electroacústico», 2004, 19-20, <http://www.artesonoro.net/articulos/Estructuraypercepcion.PDF>, accedido 12 junio 2013.

3000 hertzios) proporcionaban legibilidad al mensaje: necesarios para la difusión de la voz humana. 4.- Los medios brillantes - 3000 a 8000 hertzios- refuerzan la presencia y los detalles sonoros de la composición, actuando como un zoom en fotografía o una lente de aumento. 5.- Por último, un grupo de altavoces súper agudos (de 8000 a 16000 hertzios) que se utilizaban para precisar contornos ó localizaciones¹⁷.

Uno de los primeros artistas en hacer un estudio profundo sobre el sonido como material compositivo y su reproducción multicanal, como medio expresivo, es el compositor e investigador del Groupe de Recherches Musicales, Pierre Schaeffer.

En su *Tratado de los objetos musicales*, teoriza sobre un nuevo "objeto sonoro", basándose en las definiciones de objeto descritas por Edmund Husserl: "El objeto es el polo de identidad inmanente de las vivencias particulares, y por lo tanto trasciende a la identidad que sobrepasa estas vivencias particulares" ¹⁸. La ampliación de cualquier objeto, a un objeto sonoro con características acústicas particulares, llevó a Schaeffer a desarrollar la música concreta¹⁹: la composición de piezas sonoras a partir de la grabación de las sonoridades de los objetos cotidianos, utilizando el sonido óptico del film cinematográfico y las técnicas de montaje (collage) en la composición de las piezas. Valiéndose para ello de múltiples reproductores que le permitieron construir las primeras composiciones polifónicas²⁰.

Trabajando de la misma forma en la construcción semántica del sonido electroacústico, la compositora acusmática²¹ Annette Vande Gorne, categoriza,

¹⁷ García González, «ESPACIO ESCUCHADO», p 42.

¹⁸ «Schaeffer Pierre. Tratado de Los Objetos Musicales», *Scribd*, 1956, <http://es.scribd.com/doc/35937122/Schaeffer-Pierre-Tratado-de-Los-Objetos-Musicales-Fragmento>, accedido 04 mayo 2013.

¹⁹ Annette Vande Gorne, «5th sound and music computing conference. SOUND IN SPACE SPACE IN SOUND», 2 de agosto de 2008, opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2013/4002/pdf/9783798320949_content_u_cover.pdf, accedido 25 julio 2013.

²⁰ Dieter Daniels, «Media → Art / Art → Media», text, 15 de febrero de 2007, http://medienkunstnetz.de/themes/overview_of_media_art/forerunners/scroll/, accedido 09 mayo 2013.

²¹ La *música acusmática* está ligada a la aparición de dispositivos que permitieron la descontextualización de un sonido fijándolo en un soporte (en un principio analógico, como la cinta, posteriormente digital, como el

analiza y diferencia cuatro distintos grupos de espacios proyectables a través del sonido:

1.-El espacio ambifónico

— Es aquel en el que no podemos determinar la procedencia del sonido: sería el equivalente a una luz difusa. Y la escucha es quien realiza la mezcla o conjunción de los eventos. Anette Vande Gorne establece una analogía con las cúpulas de las iglesias bizantinas.

2.-El espacio-fuente

— En este tipo de espacio, por oposición al primero, se localiza con precisión la fuente sonora, que puede tener una única pista, dos o más pistas no estereofónicas.

3.-El espacio-geometría.

—Concebido desde un punto de vista estructural, como lugar de intersección de líneas y planos diferentes, podemos pensar en componer o dibujar en el espacio con el número de canales deseado: mono, binaural, triaural, octofónico, etc. Este espacio es un objeto musical, entendido en los términos Schaefferianos.

4.-Espacio ilusión o espacio virtual

—Es el espacio, cuya ilusión de profundidad de campo que se proyecta sobre diferentes altavoces dispuestos en un espacio por la estereofonía ²².

2.3.- La construcción del espacio sonoro

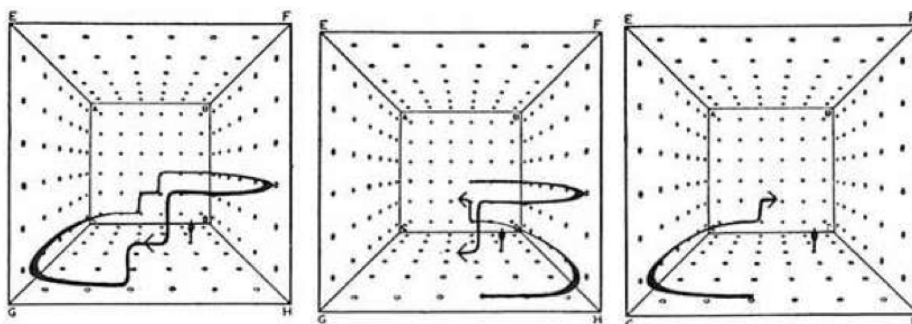
Durante la década de los 70's, basándose en las investigaciones referentes al estudio del espacio y el sonido, el artista austriaco Bernhard Leitner, desarrolla una serie de interfaces sonoras que se constituirán en el referente

CD) con el fin de tratar este sonido de manera separada y manipularlo cortándolo, pegándolo, superponiéndolo y finalmente combinando los sonidos resultantes de estas operaciones de alteración en una estructura compleja y definitiva como una partitura auditiva. Proveniente del griego "Akousma" que define a la percepción auditiva. (http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%BAAsica_concreta, 03 Julio 2013)

²² Vande Gorne, «SOUND IN SPACE SPACE IN SOUND», pp. 53- 65

más directo y completo, en lo que a espacialización sonora se refiere. Los instrumentos sonoros de Leitner proponen la construcción de espacios “arquitectónicos”, por así llamarlos, a través del sonido. El artista propone la incursión en un nuevo campo de investigación aural, situado intersticialmente entre la inteligencia artificial, el diseño de interfaces, la acústica, la arquitectura y la composición sonora. Leitner desarrolla una serie de instrumentos basados en la disposición espacial de líneas y matrices de puntos sonoros (altavoces), mediante los que un sonido se desplaza por el espacio, gracias a un control preciso, por medio de un ordenador que modula el volumen y la duración del sonido que se reproduce en cada una de las salidas de audio.

Mediante este juego de modulación de amplitud y tiempo de reproducción, Leitner genera un efecto de desplazamiento vívido, a través de la estructura arquitectónica, para demostrar que es posible experimentar una ilusión de espacio distinta cuando el audio se desplaza dibujando líneas virtuales de movimiento.



5.-Esquemas constructivos de SoundCube, una interfaz capaz de construir espacios sonoros a través de la reproducción secuenciada de pistas de audio que se desplazan por cada uno de los puntos sonoros observados en las imágenes.

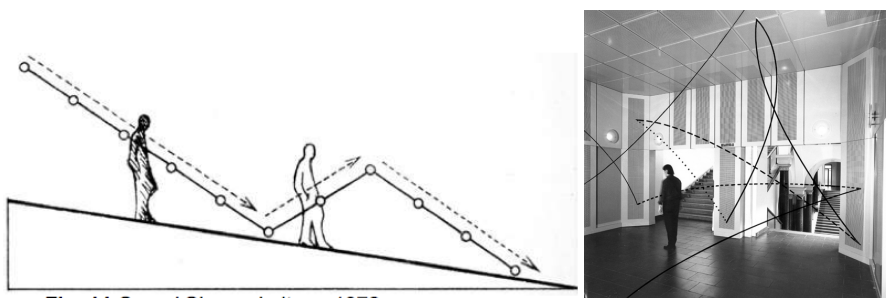
La metodología empleada por Leitner se convirtió pronto en un punto de partida para el desarrollo de obras polifónicas desarrolladas por otros artistas, sin embargo, la complejidad del dispositivo ideado por él, así como la minuciosidad necesaria para generar la ilusión de movimiento y el alto costo en el mercado para adquirir los distintos elementos necesarios para el dispositivo de espacialización, dejaron al margen de la investigación sonora a este tipo de experimentaciones ²³.

²³ Föllmer, «Audio Art».

Leitner plantea que el sonido es capaz de construir estructuras, arquitecturas y espacios, cuya emergencia reside en dos procesos fundamentales:

—La producción de instrumentos que permitan controlar el desplazamiento del sonido, por medio de matrices de altavoces que den forma secuencial, que vayan reproduciendo un sonido de forma progresiva, por cada uno de los altavoces dispuestos en la arquitectura, que logren líneas sonoras capaces de desencadenar el segundo proceso involucrado en la espacialización sonora.

—La percepción del escucha. La sensación de desplazamiento sonoro y la construcción de espacios por medio del sonido provocan ilusiones en la mente del que escucha. Funcionando como un efecto óptico, por así decirlo, las interfaces producidas por Leitner producen la idea en el espectador de encontrarse en un espacio distinto al real²⁴. De esta manera, Leitner señala dos elementos constructivos esenciales en la producción de espacios sonoros: la construcción de una interfaz física, capaz de gestionar de forma precisa el desplazamiento del audio por el espacio, y las cualidades sonoras del sonido reproducido para generar en la mente del espectador la sensación de un espacio estrecho, encerrado, peligroso o, al contrario, amplio, abierto, relajante, etc.²⁵.



6.- Esquema de construcción de la interfaz Raum-Wiege.

²⁴ Interview with Sound Suit Creator Bernhard Leitner, 2012, http://www.youtube.com/watch?v=N3Xc-XNEGZ0&feature=youtube_gdata_player, accedido 23 julio 2013.

²⁵ Bernhard Leitner, *Sound:Space* (Hatje Cantz Publishers, 1999), pp. 73-75

A través de los experimentos de Leitner, se pueden distinguir elementos específicos utilizados como variables de control en la construcción de espacios sonoros:

- La secuencia de los altavoces(dirección, trazo y tipo de líen sonora producida).
- La intensidad del sonido en cada punto sonoro (altavoz) de la línea.
- Las cualidades sonoras (timbre y coloración).²⁶

2.4.- Instalación: espacio estético.

A mediados de los años 70's se consolidaron una serie de exploraciones artísticas que migraron de la producción de objetos a la producción de momentos y experiencias. Esta nueva forma de expresión artística intentaba comprometer al espectador con la obra de una forma directa, involucrándolo en la construcción del trabajo artístico; ya fuera con su percepción, su presencia, o por medio de juegos, o de la exploración del espacio, etc. Los artistas pugnaban por construir interacciones distintas, a través de una experiencia artística común ²⁷.

En el libro *Installation Art*, Claire Bishop analiza las intervenciones artísticas en el espacio expositivo de artistas como Allan Kaprow²⁸, Dan Graham²⁹, Richard Serra³⁰, Joseph Beuys, Helio Oiticica³¹, Nam June Paik³², como el surgimiento de un nuevo tipo de trabajo artístico relacionado intrínsecamente al

²⁶ Ibid, p. 81

²⁷ Claire Bishop, *Installation Art: A Critical History* (Routledge, 2005).

²⁸ Anexos, KAPROW Allan, p. 70

²⁹ Anexos, GRAHAM Daniel, p. 69

³⁰ Anexos, SERRA Richard, p. 71

³¹ Anexos, OITICICA Helio, p. 68

³² Anexos, PAIK Nam June, p. 72

espacio y al contexto. En el que distintas disciplinas artísticas, técnicas y científicas o conceptuales convergían en la producción de experiencias integrales ³³.

Desde la teoría contemporánea de la literatura, filósofos como Umberto Eco³⁴ y Roland Barthes³⁵, se anunciaba ya un cambio drástico en la estructura de las formas narrativas, que migraban hacia la fragmentación narrativa, la estructura abierta, la no linealidad discursiva, la interactividad entre usuarios y contenidos, etc. Ambos autores coinciden en un cambio de enfoque en la construcción de cultura y conocimiento, trasladando la atención del autor/productor y su discurso erudito, al usuario y su experiencia personal. Transformando al autor, en una especie de *arquitecto* que construye micro-universos abiertos. Espacios culturales por los cuales los usuarios pueden transitar y en los cuales puedan construir sus propias historias.

La instalación artística reafirma la desaparición del autor, la concepción de obras en movimiento³⁶, el "empoderamiento" del espectador en el centro de la construcción narrativa. En este sentido y bajo el nuevo régimen de producción narrativa en las diferentes disciplinas artísticas, la programación por computadora permite a los artistas crear estructuras lógicas, así como máquinas y dispositivos para posibilitar una relación directa del usuario con la

³³ Bishop, *Installation Art*, pp. 43-55

³⁴ *Obra abierta* es un libro de Umberto Eco publicado por primera vez en 1962. Eco analiza y describe nuevas formas narrativas mediante las cuales el lector reescribe el texto y se convierte en autor. Lo cual genera una particular relación entre lector-autor.

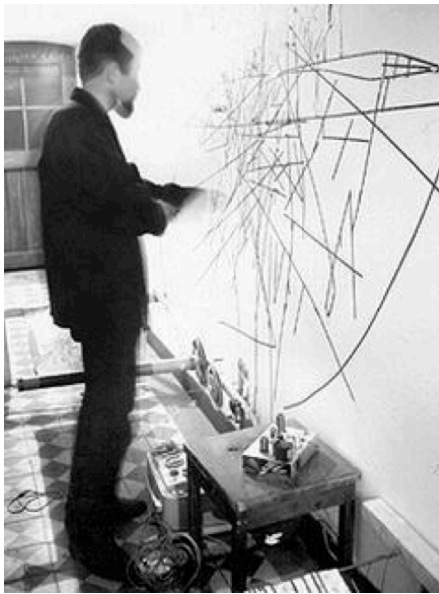
Al tiempo que Eco publicaba su libro, otro semiólogo reconocido: Roland Barthes proponía que la obra debe ser siempre abierta para que no muera. (http://es.wikipedia.org/wiki/Obra_abierta, accedido 27 junio 2013)

³⁵ La muerte del autor o la desaparición del autor, son planteamientos del escritor, semiólogo y filósofo Roland Barthes, correspondientes a la teoría literaria contemporánea. Se intenta explicar que hoy en día es necesario saber que un texto escrito no pertenece a su autor, más bien pertenece a la cultura en general y al lector. Esto es porque todo texto son citas infinitas de otros textos, son ideas entrecruzadas que provienen del pasado cultural histórico.

³⁶ El término obra en movimiento es planteado por Umberto Eco en su libro *La Obra Abierta* y hace referencia a las obras abiertas donde el lector encuentra el sentido de una manera activa delante de la obra. Cabe decir que obra abierta no significa una falta de estructura, sino que existe una estructura detrás del texto que se adapta y soporta otras estructuras dentro. Su orden sería el rechazo de un orden singular por una pluralidad de órdenes.

obra, otorgándole la posibilidad de articular experiencias propias. Estas nuevas formas plantean una disolución de las fronteras entre el productor y el espectador. Los artistas construyen una situación y entregan el control a los espectadores para que la lleven a cabo.

Una de las piezas artísticas que mejor ejemplifican esta nueva forma de producción sonora planteada desde la instalación, es *Random Access* de 1963.



7.- Random access, Nam June Paik, 1963

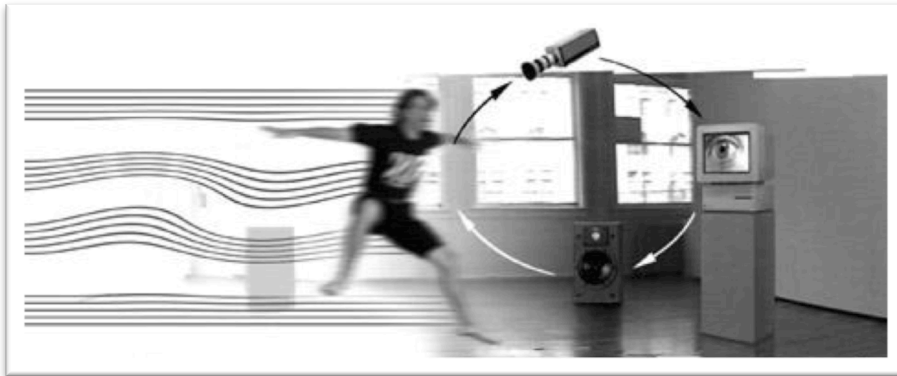
En esta pieza Nam June Paik interviene los muros de la galería pegando sobre ellos fragmentos de cinta magnética de audio, componiendo gráficos basados en líneas rectas de distintos tamaños organizadas en cúmulos dispuestos alrededor de la galería. Además de los fragmentos de cinta organizados gráficamente sobre los muros, el espectador se encontraba con un largo cable que en una punta tenía la cabeza lectora de un aparato reproductor de cassettes y un par de altavoces empotrados en la pared. El espectador, podía utilizar la cabeza lectora y frotarla sobre los segmentos de cinta produciendo sonidos reproducidos por los altavoces. De esta forma, Nam June Paik plantea una relación metafórica entre el espacio, el sonido, la aleatoriedad e interactividad, que convierten al espectador en intérprete y compositor, que resumen de forma muy contundente la transformación de las estrategias narrativas que la instalación propone en el campo del arte.³⁷

³⁷ Daniels, «Media → Art / Art → Media».

2.5.- La instalación Interactiva y el sonido multimedia.

Durante la década de los 90's surgió una corriente de artistas que trabajaban con tecnologías informáticas y lenguajes de programación, que posibilitaban la concepción y producción de juegos más complejos entre el usuario, el espacio y la obra, la creación de narrativas abiertas y no lineales determinadas por el espectador. Con las experimentaciones artístico-tecnológicas surgió una rama de la instalación conocida desde finales de los 90's como instalación interactiva o instalación multimedia, que es al campo al que se adscribe esta investigación.

Dentro del campo de la instalación interactiva, la pieza *Very Nervous System* diseñada por David Rockeby, se convierte en una referencia obligada, sobre todo porque el artista logra establecer que por medio de sistemas de visión por computadora³⁸ una relación directa y clara entre los movimientos del interprete, detectados por el sistema de visión por computadora y los sonidos producidos por el ordenador.



7.- Esquema de funcionamiento de la instalación *Very Nervous System* de 1988.

³⁸ Se llama visión por computadora a la extracción de información derivada de sensores y representada gráficamente en formato de dos o tres dimensiones. Abarca la fotografía en blanco y negro y color, infrarroja, imágenes satelitales, de radar, ultrasonido, electrocardiogramas, electroencefalogramas, resonancia magnética, sismogramas y otros.

La danza y el sonido emergen de forma conjunta y espontánea, concordante la una con la otra, como si se tratase de un espejo audible que regresa la imagen sonora del reflejo propio. La belleza de esta pieza radica en la complejidad técnica sobre la cual se construye el gesto expresivo. En este caso, la programación de un sistema de detección y análisis de movimiento es un desarrollo que a priori puede asociarse de forma más directa a la investigación sobre robótica, inteligencia artificial o video vigilancia, más que en campo de la composición musical o sonora. Sin embargo, la resolución técnica del análisis del movimiento del usuario es fundamental para relacionar las dinámicas sonoras con los movimientos performáticos del interprete ³⁹.

Otra instalación interactiva que utiliza los sistemas de detección de forma interesante es la pieza *Frecuence and Volume* de Rafael Lozano-Hemmer⁴⁰, se proyecta en los muros del atrio de la iglesia que alberga el Museo Arte



8.- *Frecuency and Volume*, Rafael Lozano Hemmer, 2006.

Alameda en el centro de la Ciudad de México, la sombras de los

espectadores que se desplazan por la sala. La dimensión de las sombras varia según la distancia del espectador en relación al haz de luz dispuesto a sus espaldas. Utilizando las sombras como una fuente de datos, Lozano-Hemmer

establece una relación entre las características de la sombra (tamaño, intensidad, posición), y transforma esos datos en frecuencias de radio y volumen. 15 radios de onda corta se encuentran detrás de la pared sobre la que las sombras son proyectadas, el tamaño de la sombra define la amplitud (volumen) de cada radio y la posición espacial del usuario define la frecuencia de onda que es escuchada, inundando el espacio con sonidos radiales producidos aleatoriamente y en relación directa con los espectadores⁴¹.

³⁹ Douglas Cooper, «Very nervous system», *Wired Magazine*, marzo de 1995, pp. 17-19.

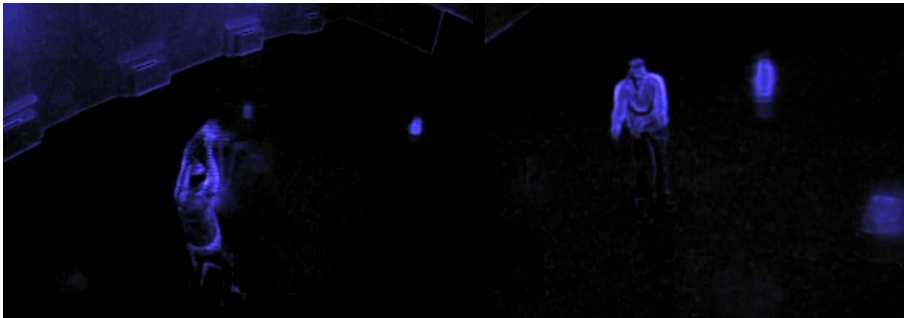
⁴⁰ Anexos, LOZANO-HEMMER Rafael, p. 73

⁴¹ Rafael Lozano-Hemmer, *Frecuencia y Volumen*, Multimedia, abril de 2004, <http://www.lozano-hemmer.com/>, accedido 09 marzo 2013.

Esta es una pieza que hace un guiño a la mítica composición para radios de John Cage, *Imaginary Landscape no.4*⁴² que retoma, los conceptos de aleatoriedad, y utilización de la radio como instrumento musical. *Frecuence and Volume*, cita los conceptos de Cage y los relaciona directamente con la gestualidad corporal del espectador, haciendo patente la gran capacidad reactiva de los ordenadores, capaces de transformar los eventos de la realidad en información digital y transferir esa información de un lenguaje expresivo a otro indiscriminadamente en tiempo real.

Dentro del arte multimedia uno de los artistas que más ha trabajado en la relación espacio-sonido-usuario, es el artista canadiense David Rokeby. Quién en sus instalaciones *Dark Matter* del 2010 e *International Feel* del 2011, retoma el trabajo sonoro mediante la detección de usuarios empezada veinte años atrás con el desarrollo de *Very Nervous System*.

En *Dark Matter* el usuario se encuentra ante un espacio en penumbras, dominado por estructuras sonoras invisibles e inaudibles que se activan y se tornan audibles cuando el espectador entra en contacto con ellas. En la Galería se colocan cuatro cámaras *kinect*⁴³ en las esquinas, estas cámaras



11.-Black Matter, David Rokeby, 2010

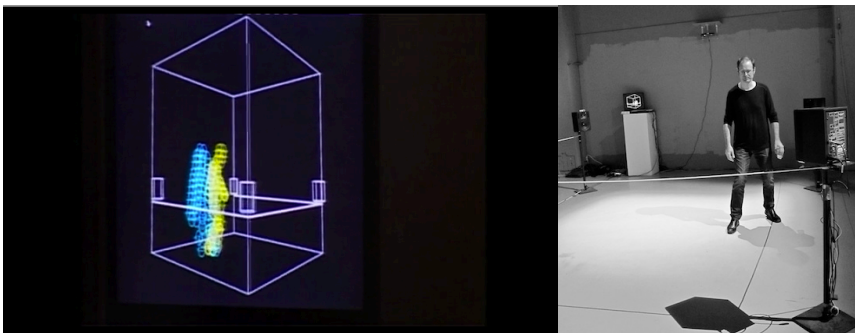
convierten el espacio en una maya con cientos de secciones tridimensionales virtuales a las cuales se asigna un comportamiento sonoro. Al desplazarse por

⁴² Anexos, *Imaginary Landscape no.4*, p. 74

⁴³ Kinect permite a los usuarios controlar e interactuar con la consola sin necesidad de tener contacto físico con un controlador de videojuegos tradicional, mediante una interfaz natural de usuario que reconoce gestos, comandos de voz,⁴ y objetos e imágenes. (<http://es.wikipedia.org/wiki/Kinect>, accedido 03 agosto 2013)

el espacio, el espectador entra en contacto con los objetos virtuales dispuestos en el espacio detonando sus comportamientos sonoros. Por último, cada vez que el espectador colisiona con un objeto sonoro virtual, puede, por medio de sus gestos físicos, modificar las características del objeto sonoro encontrado ⁴⁴.

International Feel es una nueva obra creada en 2011 como parte del 25 aniversario del *Strategic Arts Initiative*, una exposición telemática pionera en la que Rokeby participó en 1986. La obra original de Rokeby se trataba de una instalación doble producida en sincronía en dos ciudades. Conectados vía telefónica, ambas instalaciones recibían información de los usuarios en el espacio local y el espacio remoto, produciendo sonidos cuando los usuarios de ambas instalaciones sincronizaban su posición o movimientos.



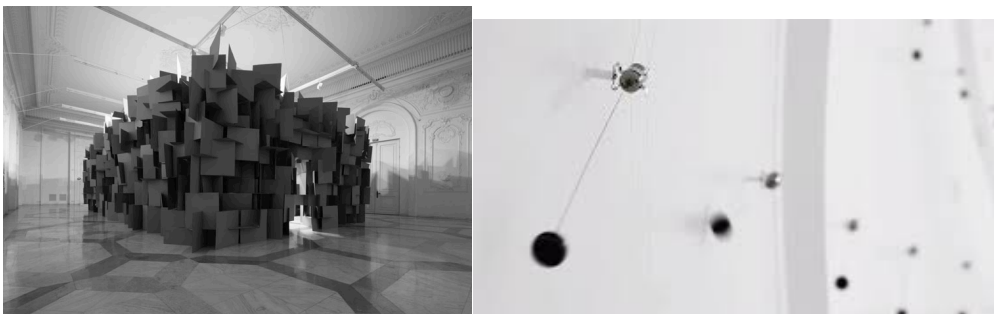
12.-International Feel, David Rokeby, 2011

Para el 25 aniversario Rokeby retoma el concepto de telepresencia de la obra original. Utilizando sensores de Kinect se obtiene una imagen que permite comprender la posición del cuerpo en el lugar de la exposición. El sensor Kinect captura la imagen de profundidad de quien está en ese espacio, y se traduce en lo que Rokeby llama "bubble bodies", un conjunto de esferas que generan una representación aproximada de ese cuerpo en el espacio. Estos datos corporales se transmiten a través de Internet a otra ubicación, que permite a cada instalación colocar los cuerpos virtuales en un espacio imaginario compartido. Los espacios son equipados con sonido direccional, lo que se utiliza para dar una idea de la ubicación de la otra persona. Si no hay

⁴⁴ David Rokeby, *Dark Matter*, Multimedia, 2010, http://www.davidrokeby.com/Dark_Matter.html.

contacto entre los cuerpos, se oye el ruido de la respiración, que viene de la dirección exacta de su compañero invisible. Moviéndose hacia el sonido de la respiración, se puede tratar de tocar virtualmente al otro participante⁴⁵.

Otra forma de instalación sonora multimedia es aquella donde la interactividad permanece en un plano muy sutil, casi imperceptible. Ejemplos de este tipo de instalaciones pueden observarse en el trabajo del arquitecto, diseñador industrial y artista sonoro Zimoun, cuyo trabajo artístico consiste en intervenir los espacios arquitectónicos convirtiéndolos en cajas de resonancia. Por medio de cientos de dispositivos electrónicos como motores, relays y celuloideos. Zimoun interviene el espacio generando grandes matrices de autómatas electrónicos que percuten el espacio, alterando la percepción del mismo y la relación de los usuarios con la arquitectura. Zimoun plantea que sus obras mantienen un nivel de interactividad intrínseca con el usuario. Ya que es por medio de la percepción del mismo que la obra cobra sentido, "Los espectadores dotan de características nuevas, distintas y personales, de forma casi inmediata los espacios que intervengo, es ahí cuando la obra cobra sentido. Como el viejo proverbio chino, yo produzco árboles que caen en el bosque y que no hacen ningún ruido, hasta que el espectador cruza por la puerta y los escucha. Por eso creo que mis obras siguen siendo interactivas, a un nivel muy sutil tal vez, pero mantienen ese diálogo entre el espectador y el espacio a través de lo que ahí se escucha"(Zimoun 2010).



13.- 200 motores dc preparados, 2000 piezas de cartón de 70x70cm, Zimoun en colaboración con Hannes Zweifel.

⁴⁵ David Rokeby, *International Field*, Multimedia, 2011, http://www.davidrokeby.com/int_feel.html, accedido 19 mayo 2013.

En el 2004, el artista Paul de Marinis, monta una estructura similar a una pérgola en frente del museo de arte contemporáneo de Helsinki, debajo de la pérgola, agua pulverizada es lanzada por válvulas controladas por computadora. Al coger los paraguas dispuestos a un lado de la instalación y colocarse debajo del agua, el público puede escuchar música que es amplificada por la parábola del paraguas. De esta manera, la vibración sonora es transmitida al flujo de agua, que al chocar con la parábola del paraguas, amplifica la señal y permite la audición de una pieza musical.



9.-Rain Music, Paul de Marinis, 2004.

Otro ejemplo de instalaciones interactivas cuya propuesta creativa surge del vínculo entre espacio, usuario y sonido es *Rain Room* (2012) del colectivo Random International. Este proyecto plantea una detección muy precisa de los usuarios que se desplazan dentro de la instalación. En el techo del espacio expositivo se dispone una retícula de válvulas de agua controladas por ordenador. Dentro del *Rain Room* (el cuarto de la lluvia) la retícula de válvulas distribuyen un flujo constante de gotas de agua que produce una lluvia copiosa dentro de la galería. Cuando el usuario se desplaza dentro del espacio expositivo, las válvulas dispuestas en un radio de un metro a la redonda del espectador se cierran, permitiendo que donde quiera que el usuario se sitúe, pueda experimentar la sensación de permanecer bajo la lluvia sin mojarse.

La transformación de la percepción del espacio que *Rain Room* propone, parte igual que la piezas de Rokeby, de un sistema de detección por computadora de la posición de los usuarios en tiempo real. La programación de un evento controlado por medios informáticos, en este caso, el flujo de agua gestionado por las válvulas. Y el diseño de las formas de relación que se establecerán entre el usuario y el sistema de estructuras informáticas y electrónicas que componen la instalación.



14.-Rain Room, Random International, 2012

Sin lugar a dudas la instalación interactiva ha abierto un nuevo espacio creativo que permite la exploración de otras formas compositivas, la inclusión del público como un actor activo en la composición musical mediante su acción performática. En los últimos 20 años, las exploraciones interactivas, los avances técnicos en los desarrollos de sensores de múltiples tipos a la par con el desarrollo de programas de audio capaces de gestionar los estímulos externos para añadirlos al proceso compositivo, han producido una nueva forma de experimentar la música y el arte sonoro. Durante más de cuarenta años los avances tecnológicos en el campo de la electroacústica y últimamente, los distintos tipos de sensores que se encuentran en el mercado, han posibilitado la construcción de múltiples tipos de interfaces sonoras que amplían el campo de la producción sonora. La exploración del sonido como una estructura abierta, determinada y modificada por las acciones aleatorias que surgen de manera espontánea produciendo la obra sonora, continúan

modificando la percepción sonora, conquistando nuevos espacios aurales, imbricando la acción sonora con eventos de la vida cotidiana, como la presencia, el movimiento y el cambio como conceptos constructivos de los procesos sonoros contemporáneos.

3.- Desarrollo Práctico

Este trabajo de investigación pretende construir un algoritmo de distribución y espacialización de audio que genere la ilusión perceptual de movimiento sonoro; la producción de un modelo de interactividad que permita relacionar a los desplazamientos sonoros programados con la posición y trayectoria del espectador dentro del espacio expositivo y por último, la construcción de un dispositivo físico de movimiento que permita desplazar las fuentes sonoras a través del espacio en respuesta al desplazamiento del espectador. Un proyecto integral y multidisciplinar, donde la inclusión de tecnologías informáticas de detección, comunicación de datos y gestión de movimiento en el campo de la composición sonora, expandan las posibilidades expresivas y perceptibles del sonido. Generando como resultado una interfaz móvil que permita el desplazamiento del audio a través de los altavoces dispuestos en el espacio, y a la vez permita el movimiento físico de las fuentes sonoras que rodean al espectador. Buscando con ello, conocer si ambos comportamientos sonoros combinados potencian la experiencia estética de los espectadores; si son capaces de generar un impacto importante en la escucha o en la producción de experiencias sonoras distintas.

3.1.- Bocetaje y descripción general de la instalación

Para generar la interacción propuesta se realizaron una serie de esquemas preliminares para concretar el tipo de dispositivos físicos a diseñar. La espacialización del audio a desarrollar, así como interacción deseada entre el espectador y la instalación sonora. A partir de ahí ubicar las fases de desarrollo necesarias para alcanzar los objetivos planteados (realizar desplazamientos sonoros interactivos relacionados al movimiento de los espectadores).

Mediante softwares de *programación modular*⁴⁶ como Pure Data, es posible generar algoritmos modulares de programación, conocidos como

⁴⁶ La programación modular es un paradigma de programación que consiste en dividir un programa en módulos o subprogramas con el fin de hacerlo más legible y manejable.

“parches”, capaces de distribuir el audio en múltiples canales de salida, de tal forma que cada uno de los altavoces está identificado con un número “*id*” que identifica su posición en la fila y columna correspondiente dentro de la matriz. De esta forma, en adelante se podrán controlar organizadamente las propiedades sonoras individuales de cada canal de audio⁴⁷.

Configurada la matriz de altavoces, será necesario producir una estructura de programación con Pure Data, que permita mover una pista de audio de un altavoz a otro⁴⁸. Una de las maneras más sencillas para realizar el movimiento de una pista de audio por los diferentes altavoces, es programando una estructura lógica que distribuya la señal de audio en canales de salida distintos. Enviar una pista de audio por todos los canales a la vez y programar una estructura que gestione la amplitud (volumen) de cada altavoz, impidiendo que el volumen de más de un canal esté activo a la vez. De esta forma se pueden programar secuencias controladas, o aleatorias, que activen el volumen de un canal de salida a la vez, produciendo el efecto de un desplazamiento sonoro⁴⁹.

La gestión de las propiedades aurales de cada salida de audio mediante programación modular, permitirá modificar las cualidades sonoras de cada altavoz por medio de señales *MIDI*⁵⁰ u *OSC*⁵¹. Protocolos de comunicación musical que permiten la conversión de la información captada por los sensores, en una señal de control de audio. Transcodificando (en éste caso particular) la información de posición y movimiento del usuario en control de audio.

Al aplicar la programación modular, un problema complejo debe ser dividido en varios subproblemas más simples, y estos a su vez en otros subproblemas más simples hasta obtener subproblemas lo suficientemente simples como para poder ser resueltos fácilmente con algún lenguaje de programación.

⁴⁷ Anexos, Fig. 1 Boceto diseño de matriz sonora, p. 75

⁴⁸ Anexos, Fig.2 Boceto desplazamientos de audio por matriz de altavoces, p. 75

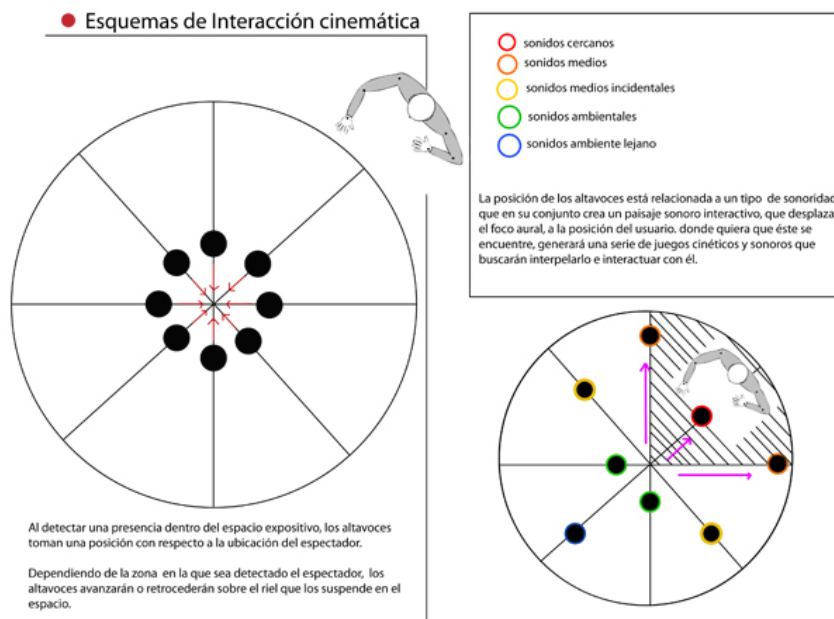
⁴⁹ Anexos, Fig. 3 Boceto programación desplazamientos sonoros autónomos, p. 75

⁵⁰ **MIDI** (Musical Instruments Digital Interface). Un protocolo de comunicación serial estándar que permite a los computadores y otros dispositivos musicales electrónicos comunicarse y compartir información para la generación de sonidos. (<http://es.wikipedia.org/wiki/MIDI>, accedido 12 mayo 2013)

⁵¹ **OSC** (Open Sound Control) es un protocolo que permite comunicar instrumentos de música, computadoras y otros dispositivos multimedia (por ejemplo móviles o PDA's equipados con bluetooth) pensado para compartir información musical en tiempo real sobre una red. (http://es.wikipedia.org/wiki/OpenSound_Control, accedido 12 mayo 2013)

Generando así una respuesta espacial-sonora reactiva al desplazamiento del usuario.

El tránsito de los usuarios desplazará los sonidos de un altavoz a otro. Los altavoces que se encuentran más próximos pueden albergar sonidos más agudos o con una mayor amplitud (volumen) que los sonidos reproducidos en las bocinas más distantes, por ejemplo, resaltando y modificando la percepción del espacio dentro de la instalación.



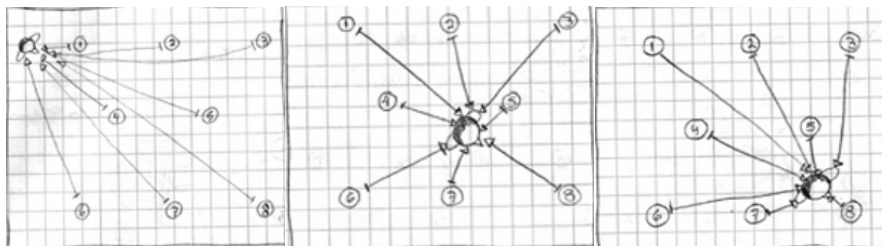
1.- Esquema de desplazamiento sonoro en función del usuario.

En un primer acercamiento al problema de la localización del usuario en el espacio, se planteó la posibilidad de dotar a cada una de las Fuentes sonoras con un sensor de ultrasonidos Max Sonar EZ0⁵² con el que los altavoces pudieran, dentro del rango de acción físico del sensor, saber la posición del usuario a través de la triangulación de los datos de movimientos captados por los sensores de altavoces contiguos. La variación de las distancias registradas por varios dispositivos vecinos ubicaría al usuario en una zona específica de la instalación y las diferencias de distancia captadas por los sensores definirían la

⁵² Sensor de ultrasonidos que capaz de medir distancias en pulgadas en un rango de 30cm del sensor a 6.4 metros.

fuentes sonora más próxima al espectador. Trasladando el *foco aural*⁵³ al sector de la instalación ocupado por el usuario, generarán dinámicas sonoras direccionadas a la posición del mismo⁵⁴.

A la par del desarrollo de la interfaz física, se debe programar una estructura sonora que organice los sonidos a utilizar en la composición, en distintas categorías, organizadas según las cualidades espaciales de las pistas sonoras: por ejemplo, módulos sonoros divididos en sonidos ambientales, sonidos secundarios, principales e incidentales. Conociendo la posición del usuario y su relación espacial (distancia) con las fuentes sonoras dispuestas en el espacio, se pretende desplazar los sonidos principales a los altavoces más próximos al usuario, en un plano medio los sonidos secundarios y así sucesivamente. Planteando entonces una espacialización dinámica del sonido, donde los altavoces funcionen como puntos sonoros por donde se desplazan las pistas sonoras que construyen el ambiente de la instalación.



2.- Esquemas de detección de cercanía al usuario por las distintas fuentes sonoras.

La programación de un sistema de detección de la posición y movimiento de los espectadores, provocará la respuesta física de los altavoces emplazados en el espacio expositivo, proveyendo a los mismos de características cinéticas que permitan acercarse o alejarse del usuario. Realizando los efectos de la espacialización aural. De ésta manera, la sensación de movimiento se construye a partir de la distribución del sonido en múltiples canales independientes por los cuales, una pista de audio puede desplazarse. El

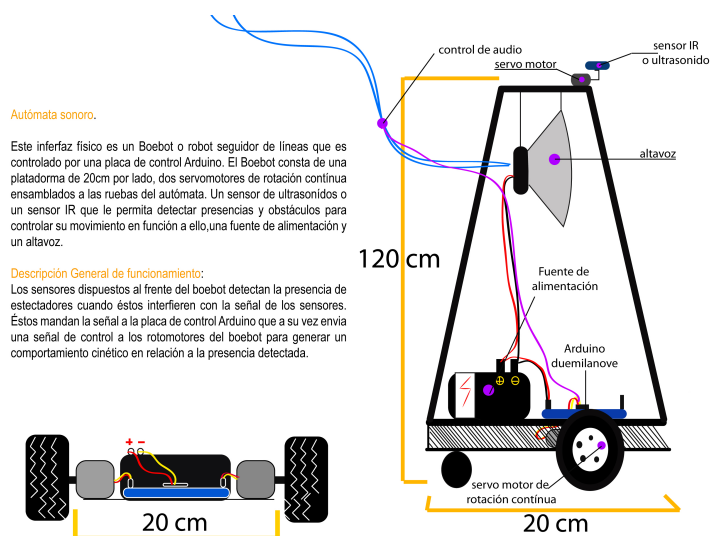
⁵³ El foco aural es el centro de una composición multifónica. Se refiere al area de escucha donde la percepción de las dinámicas aurales es más clara.

⁵⁴ Anexos, Fig. 4 Boceto detección de distancia de usuarios, p. 76

movimiento espacial de las fuentes de sonido permitirá reforzar la ilusión de un desplazamiento sonoro producido por el movimiento del espectador.

3.1.2.- Bocetaje y diseño de interfaz física

Para el diseño y construcción de un dispositivo físico que permita el desplazamiento de las fuentes sonoras alrededor del espacio instalativo se decidió trabajar con *boe-bots*⁵⁵ controlados a través de una placa de programación Arduino. Los boe-bots o robots seguidores de líneas son robots muy sencillos, basados en los dispositivos mecánicos utilizados en los coches de control remoto. La razón para decantarse por este tipo de dispositivo físico se debe a su sencillez de construcción y a la universalidad en el uso de las piezas que lo componen. Las piezas son relativamente baratas y fáciles de conseguir, así como la información de su funcionamiento, que se encuentra en distintos foros de internet, tiendas de electrónica y tutoriales que guían al usuario en el proceso constructivo y funcional de este tipo de robots⁵⁶.



3.- Esquema primer interfaz física propuesta.

⁵⁵ Es el nombre comercial de un kit robot que se utiliza en la universidad estadounidense y clases de robótica. Se compone de una placa de circuito principal, un plug-in microcontrolador, dos servomotores para impulsar las ruedas, un tablero y un chasis de aluminio que las partes atornillarse. (<http://en.wikipedia.org/wiki/Boe-Bot>, accedido 10 julio 2013)

⁵⁶ Anexos, Fig. 5 y 6 Bocetos de construcción de interfaz física de desplazamiento, p. 76

Para poder llevar a cabo el desplazamiento de las fuentes sonoras, una vez detectada la posición del usuario, es necesario convertir los datos de la posición del espectador en una señal de control que modifique la disposición de las fuentes sonoras en el espacio. La placa programable Arduino tiene la capacidad de controlar hasta 8 motores de rotación continua y cuenta con el desarrollo de una librería que permite una comunicación de forma directa con los componentes físicos de servomotores y motores de rotación continua, controlando la dirección de giro y la velocidad de los mismos. La combinación de la dirección del giro y la velocidad permiten a los boe-bots corregir de manera sencilla la dirección de su trayectoria.

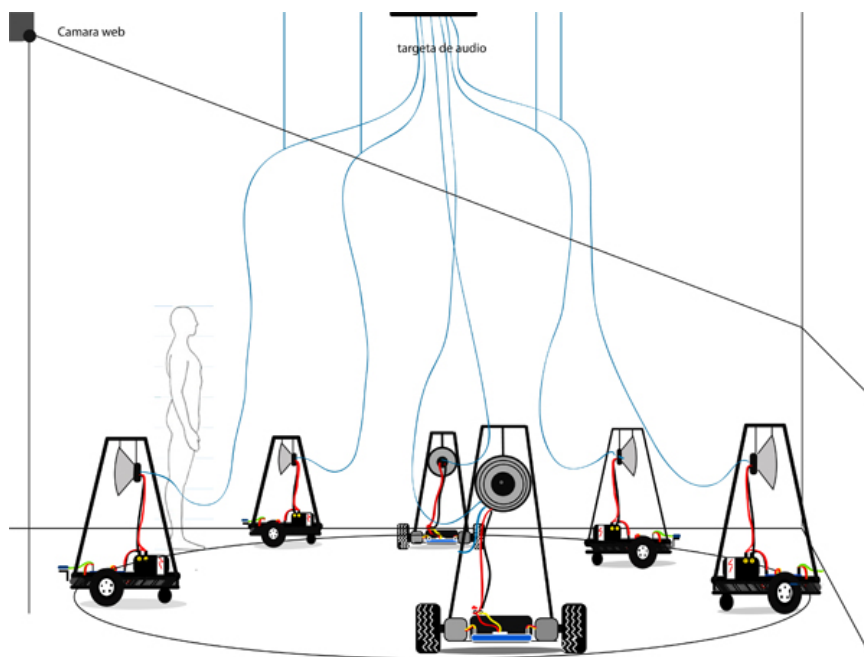
El primer prototipo de interfaz física propuesto en esta fase de investigación, planteaba la construcción de boe-bots que se desplazarán libremente por el suelo, llevando encima de ellos una plataforma donde se encontraran los componentes electrónicos y sus circuitos, una fuente de alimentación (pila de 9 voltios), un sensor MAX sonar dispuesto en la parte delantera más elevada de la plataforma, y un altavoz sujetado a un par de mástiles al centro de la plataforma elevados a 1.20 m del suelo.

Sin embargo uno de los mayores inconvenientes detectados en este prototipo, fue la necesidad de trabajar de manera alambica para gestionar vía Arduino cada uno de los boe-bots dispuestos en el espacio. Esto constreñía la libertad de movimiento de cada una de las fuentes sonoras, además que volvía ineficiente el movimiento por la cantidad de cables existentes. Haciendo muy probable que los robots terminaran enredados, tirando por tierra todo el trabajo de interacción.

Como una posible solución al problema del cableado, se pensó en un diseño de cuadrantes virtuales, por donde cada boe-bot se desplazara sin invadir el espacio activo de los otros componentes, garantizando de esta forma que no se produzca un enredo de cables que termine inutilizando a los dispositivos móviles⁵⁷.

⁵⁷ Anexos, Fig. 7 Boceto secciones interactivas de instalación, p. 76

Se planteo entonces un diseño de forma circular, ubicando el centro de la galería o del espacio expositivo para a partir de ahí, trazar un círculo imaginario de aproximadamente 3 metros de diámetro dividido en un número de secciones iguales (6 por ejemplo). La disposición circular tiene la misma distancia desde cualquier punto del perímetro al centro, esto permite producir el diseño de un solo prototipo y después repetirlo el número de veces necesario, dependiendo de las dimensiones del espacio donde se presente la instalación.

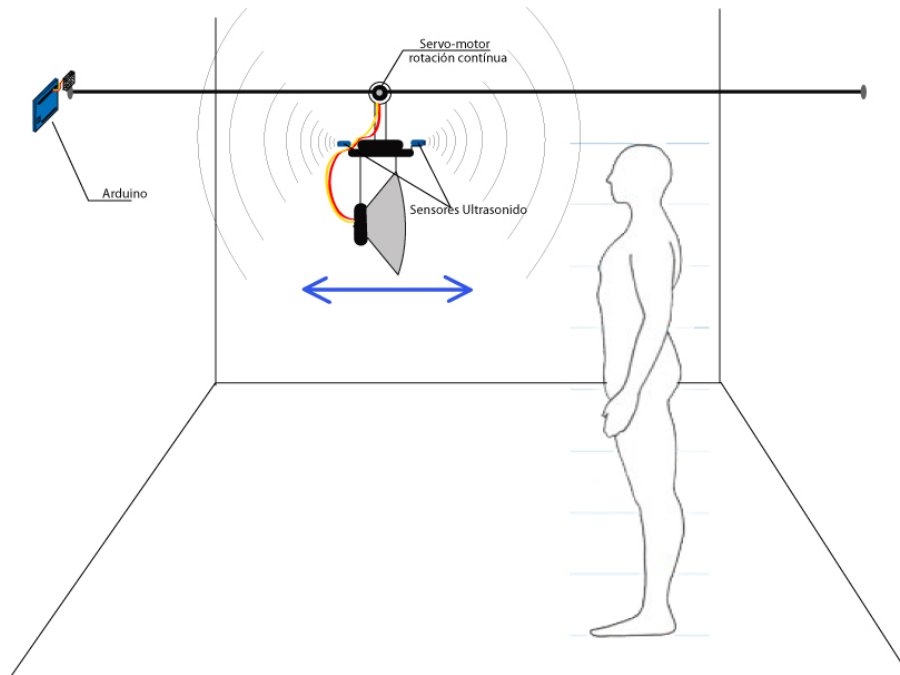


4.- Esquema de visualización de dispositivos físicos en sala.

Debido a las restricciones temporales, se decidió simplificar el dispositivo de movimiento. Dado que el tema de esta investigación no se centra solamente en la producción de un sistema robótico de desplazamiento, sino en la producción de una interacción del usuario con un sistema de distribución de audio (software e intangible) y un sistema de desplazamiento de las fuentes sonoras ubicadas en el espacio. (hardware físico y tangible). Por tanto, se decidió producir un sistema de movimiento mucho más simple, que se moviese en línea recta sobre una guía suspendida en el espacio de la instalación, limitando su desplazamiento a un movimiento bidireccional (atrás y adelante)⁵⁸.

⁵⁸ Anexos, Fig. 8 Bocetos de interfaz de audio y guía de traslación, p. 77

Esto permite simplificar el sistema de movimiento y avanzar en la producción del sistema de visión por computadora y la programación de la estructura sonora⁵⁹.



5.- Esquema de desplazamiento de interfaz física.

3.1.3.- Diseño de sistemas de detección de usuario

Con el dispositivo antes descrito, se plantea la maquetación de un sistema sensible que pueda rastrear al espectador dentro del espacio expositivo. Como primera opción se planeó la detección del usuario por medio de sensores de ultrasonido MAX Sonar, que pudiesen ubicar al usuario en el espacio y calcular la distancia de éste en relación a los altavoces. Sin embargo, las pruebas preliminares con los sensores, mostraron un nivel de *ruido informático** elevado. Los tres sensores testados en las pruebas preliminares arrojaron un patrón de datos erróneos en lapsos de 8 a 10 segundos. Además pudimos apreciar que los sensores utilizados son muy sensibles, tienen una variación de rango constante de alrededor de 10 unidades y la intrusión de obstáculos en su

⁵⁹ Anexos, Fig. 9 Bocetos de construcción de dispositivo de desplazamiento, p. 77

radar de distancia produce cambios abruptos, que al traducirlos en movimiento provocan un comportamiento muy nervioso en su desplazamiento de los dispositivos de movimiento⁶⁰.

Para producir una señal de control que pudiese afectar la posición de todos los elementos a la vez, planteamos utilizar algoritmos de *computer vision*⁶¹ que permitan analizar, mediante una cámara dispuesta de forma cenital al centro del espacio de exposición, la posición y desplazamiento de los usuarios. Utilizando la librería *OpenCV*⁶² de *Processing*⁶³ se trabajó con un algoritmo de detección de blobs que básicamente genera un análisis continuo de una imagen del espacio sin espectadores (imagen de muestra) y las imágenes captadas por la cámara dispuesta en el centro de la instalación. Cualquier diferencia que el programa encuentra entre las imágenes enviadas por la cámara web y la imagen de referencia, es enmarcada dentro de un rectángulo que nos da su posición y tamaño en el espacio, cualquier rectángulo que mantenga su tamaño y sus características, mientras se desplaza dentro de la imagen, es considerada una “presencia”, el programa de análisis registra datos de su trayectoria que después pueden ser transformados en mensajes OSC que modifiquen los sonidos y desplacen las fuentes sonoras⁶⁴.

⁶⁰ Anexos, Fig. 10 Pruebas preliminares con sensores de ultrasonidos MAX Sonar Z-3.0, p. 78

⁶¹ Se llama análisis de imágenes a la extracción de información derivada de sensores y representada gráficamente en formato de dos o tres dimensiones, para lo cual se puede utilizar tanto análisis visual como digital (procesamiento digital de imágenes). Abarca la fotografía en blanco y negro y color, infrarroja, imágenes satelitales, de radar, radar de alta definición, ultrasonido, electrocardiogramas, electroencefalogramas, resonancia magnética, sismogramas y otros. (http://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis_de_im%C3%A1genes, accedido 03 junio 2013)

⁶² OpenCV es una biblioteca libre de visión artificial originalmente desarrollada por Intel. Desde que apareció su primera versión alfa en el mes de enero de 1999, se ha utilizado en infinidad de aplicaciones. Desde sistemas de seguridad con detección de movimiento, hasta aplicativos de control de procesos donde se requiere reconocimiento de objetos. Esto se debe a que su publicación se da bajo licencia BSD, que permite que sea usada libremente para propósitos comerciales y de investigación con las condiciones en ella expresadas. (<http://es.wikipedia.org/wiki/OpenCV>, accedido 03 junio 2013)

⁶³ Processing es un lenguaje de programación y entorno de desarrollo integrado de código abierto basado en Java, de fácil utilización, y que sirve como medio para la enseñanza y producción de proyectos multimedia e interactivos de diseño digital. (<http://es.wikipedia.org/wiki/Processing>, accedido 03 junio 2013)

⁶⁴ Anexos, Programación, blob_detection_processing, p. 79



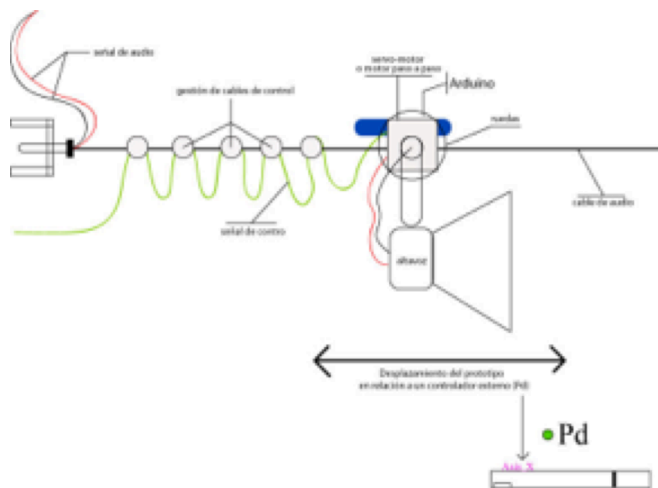
6.- Capturas de pantalla, análisis de movimiento y *Blob detection*

Localizados los espectadores dentro del espacio expositivo, es posible saber cual fuente sonora se encuentra más cerca al espectador en cada momento, los datos resultantes del análisis de detección son traducidos por la computadora a respuestas sonoras o cinéticas, transformando así, la naturaleza de la información captada por el sensor de video. De esta forma se construye una especie de circuito cerrado, donde la instalación multimedia toma información de los espectadores para producir una respuesta estética, y a su vez esta respuesta incita al espectador a seguir explorando el espacio y con ello generando nuevas respuestas sonoras y cinéticas.

3.2.-Construcción de prototipo de desplazamiento físico.

Como primer paso, se desarrolló una serie de esquemas que concretaran las ideas creativas, ubicaran las partes principales de la interfaz a desarrollar y los posibles problemas constructivos de la misma. El diseño de bocetos ayudó a concretar el siguiente proceso: el diseño del dispositivo de desplazamiento, los materiales constructivos a tener en cuenta, así como la mejor distribución de los componentes, buscando la forma más sencilla posible para trasladar de forma precisa las fuentes sonoras dentro del espacio expositivo.

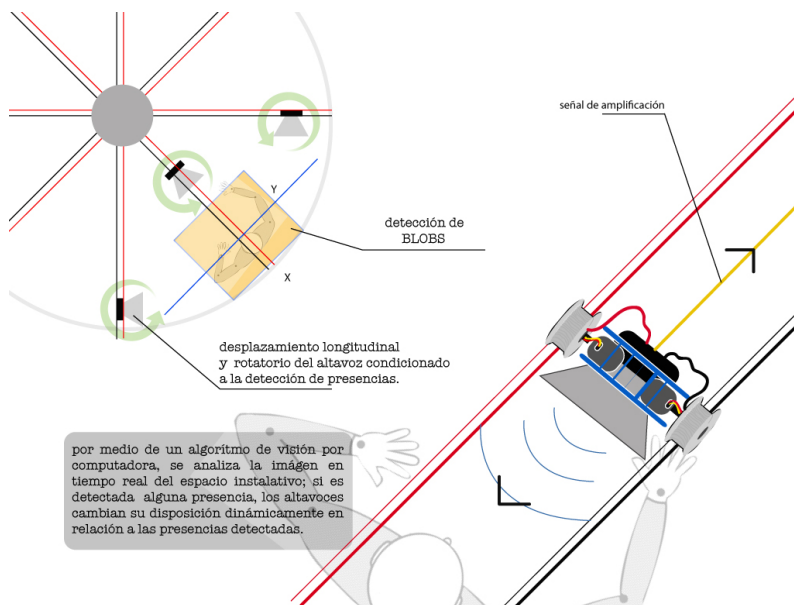
Los componentes principales de la interfaz física planteada en el esquema de la izquierda son: un par de servomotores de rotación continua, dos ruedas con muesca central que puedan desplazarse por la guía de traslación (como si se tratasen de las ruedas de un tren) una placa perforada de baquelita donde se encuentren soldados los distintos cables y componentes electrónicos



7.- Esquema diseño de interfaz de desplazamiento

necesarios para pasar tanto información como alimentación de corriente al altavoz y los servomotores ubicados a ambos lados de la interfaz; una placa Arduino que recibe la señal de control proveniente de los sensores y la transforma

en un vector de movimiento rectilíneo; una plataforma de aluminio o madera sobre la cual se monten los servomotores de rotación continua, además del altavoz, una fuente de alimentación que amplifique la señal audio, la placa del circuito eléctrico y las ruedas que van montadas en los piñones de rotación⁶⁵ de cada uno de los motores de rotación continua.

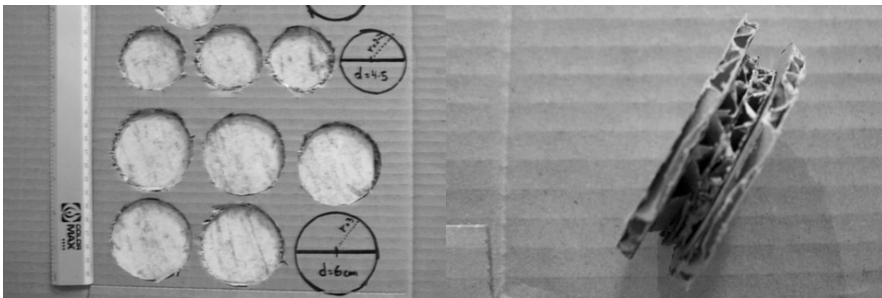


8.- Esquema de desplazamiento de física e interacción con el usuario.

⁶⁵ El mecanismo de los motores electrónicos está compuesto por una serie de engranes y reductoras que hacen girar un componente que sobresale del cuerpo de motor; el piñón de rotación o cabeza del motor.

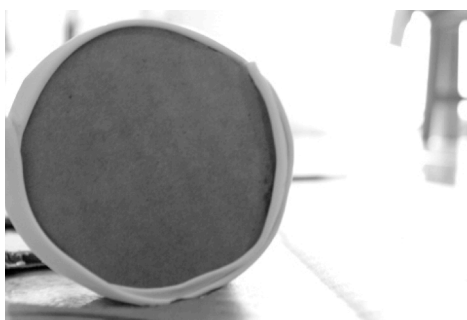
3.2.1.- Prototipado

El primer prototipo se construyó estructuralmente con cartón reciclado con la idea de probar distintos diseños con un material barato, hasta encontrar las proporciones que permitieran el soporte y traslado de una carga de 2.5 kilogramos (peso aproximado de un altavoz de doce pulgadas, fuente de alimentación, motores de rotación continua y plataforma de ensamblado). Así como el diseño de distintos tipos de ruedas que dieran estabilidad al dispositivo sobre las guías de desplazamiento.



9.- Registro diseño y construcción de distintas ruedas.

Se diseñaron distintas ruedas en cartón corrugado de diámetros diferentes para probar su desplazamiento, así como definir las características idóneas de las ruedas, para lograr un traslado correcto por la guía de desplazamiento con una buena estabilidad. Para ello fue necesario hacer un modelo de rueda con



10.- Rueda con banda de goma (aporta mayor agarre al dispositivo)

una hendidura central por donde corriera la guía. De las distintas pruebas realizadas, las ruedas con un diámetro de ocho centímetros y una hendidura de 1.5 cm de profundidad por 0.5 cm de anchura, soportaron una carga de peso de 3.5 kilogramos sin sufrir deformaciones ni ruptura de sus

componentes, siendo éste prototipo en cartón que mejor desempeño ofreció entre los demás prototipos testados.

Para contar con una mayor superficie de contacto con la guía de desplazamiento, se agregó una banda elástica que cubre la parte lateral interior de las ruedas, generando una mayor superficie de agarre. La unión de las ruedas a los motores de rotación continua presentó varios problemas durante el proceso de montaje, puesto que el punto de unión entre los servomotores y las ruedas carga todo el peso del dispositivo suspendido entre las guías de desplazamiento. Produciendo la separación de los componentes que unen la rueda con el piñón de giro de los motores de rotación continua. Para resolver este problema se planteó el diseño y construcción de una estructura donde la carga fuera repartida entre la plataforma de montaje y cada uno de los motores, además se construyó un eje rígido que distribuyera el peso de manera uniforme sobre los motores y la plataforma de montaje.



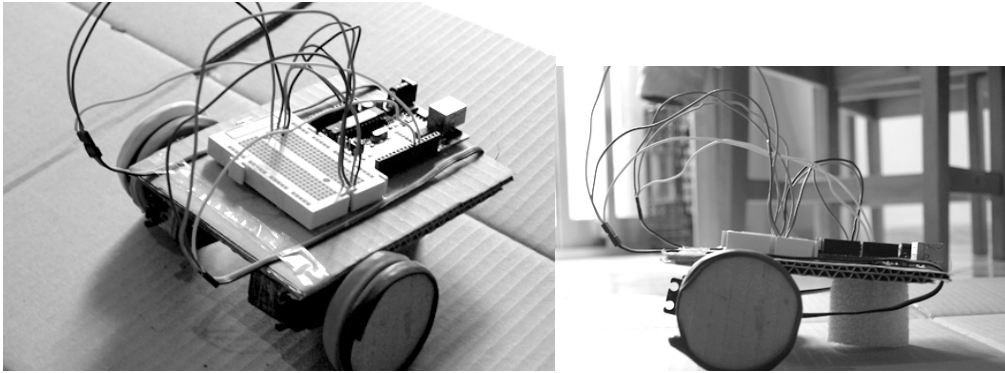
11.- Tren de desplazamiento de interfaz.



12.- Registro de estructura, prototipo 1.

El primer prototipo, construido en cartón, tenía una estructura muy básica y una figura simple: en un extremo se encontraba montado el tren de desplazamiento con los motores y las ruedas, sobre la plataforma de ensamblaje se dispuso la placa de programación Arduino, una pila de nueve voltios y una protoboard⁶⁶ sobre la que se construyó el circuito prueba de comunicación entre los motores y la placa Arduino.

⁶⁶El "protoboard", "breadboard" o "placa board" es un tablero con orificios conectados eléctricamente entre sí, habitualmente siguiendo patrones de líneas, en el cual se pueden insertar componentes electrónicos y cables para el armado y prototipado de circuitos electrónicos (http://es.wikipedia.org/wiki/Placa_de_pruebas, accedido 14 junio 2013)



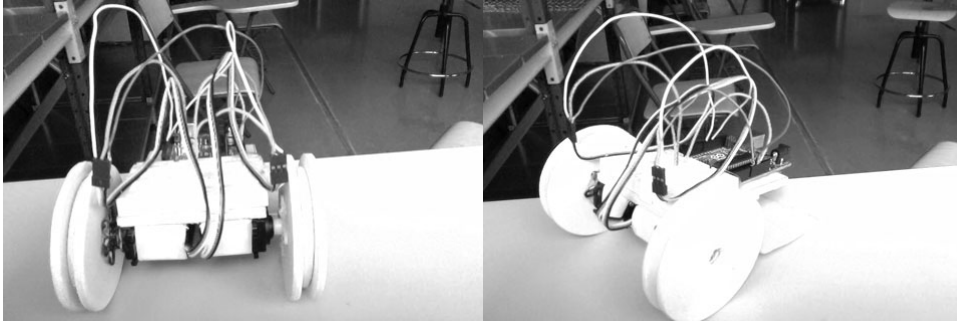
13.- primer prototipo interfaz física de movimiento.

Una vez encontrado un diseño con las proporciones definitivas para la construcción del dispositivo físico y el diseño de ruedas necesario para trasladar la carga del dispositivo de una forma eficiente. Procedimos a desarrollar con todos los datos de diseño y medidas recopiladas, un segundo prototipo en madera contrachapada, con la intención de construir un dispositivo con el menor peso posible para no generar demasiada presión sobre los tornillos que unieran las ruedas a los piñones de rotación de los motores.

En el diseño de la plataforma de construcción también se tuvieron en cuenta las dimensiones de los distintos componentes para desarrollar una base con la menor superficie posible, para optimizar el peso de carga. De esta forma se construyó un tren de desplazamiento que consta de un eje soporte donde se colocaron los servomotores de rotación continua, unidos por la base a una estructura de madera. Posteriormente se montaron, mediante un tornillo de seguridad cada una de las ruedas de madera al piñón de rotación de cada motor, por último se monta el circuito electrónico y la placa Arduino.



14.- Diseño de ruedas y plataforma de montaje de interfaz de movimiento



15.- prototipo 2 de interfaz de movimiento

El desarrollo de las estructuras físicas: el cuerpo, las ruedas y el montaje de los elementos electrónicos, fue solo una parte del desarrollo de la interfaz física, además había que crear un algoritmo que controle los motores y “animara” el dispositivo de movimiento.

3.2.2.- Programación del movimiento

Básicamente, se necesita controlar la información que recibe el servomotor de rotación continua con la placa Arduino, los servomotores y motores de rotación continua tienen tres cables de conexión que permiten al motor conectarse a un circuito electrónico. Por dos de los cables de entrada, el motor recibe la carga de voltaje y la tierra, obteniendo la alimentación de corriente para desplazar los distintos componentes electrónicos que lo construyen, el tercer cable de entrada es un cable de control que recibe pulsos de voltaje de la placa Arduino que son traducidos por el componente electrónico del motor en información relacionada a la velocidad de giro y dirección de rotación.



16.- Esquemas de funcionamiento de motores de rotación continua controlados mediante micro pulsos

Existen dos formas de programar la información que Arduino mandará al motor de rotación continua mediante el cable de comunicación. La primera forma es a partir de micro pulsos: la placa Arduino por cualquiera de sus pines

de entrada o salida, puede mandar pulsos eléctricos de microsegundos de duración mediante los métodos ⁶⁷ `digitalWrite(HIGH)`, `digitalWrite(LOW)` y `delayMicroseconds()`; Esto permite mandar por el cable de comunicación del motor de rotación continua, pulsos de cinco voltios a intervalos de microsegundos, como se observa en la figura anterior, si el lapso entre pulso y pulso es de 1300 microsegundos o menor, el motor gira en el sentido de las manecillas del reloj. Si el lapso entre pulso y pulso es de 1700 microsegundo o mayor, el motor cambia su polaridad y gira en el sentido contrario.

Para variar la velocidad de los motores se debe aumentar o disminuir el rango de tiempo entre pulso y pulso⁶⁸.

Utilizando la librería `Servo` para el control de servomotores, al programar la estructura `void loop()`; el método `Servo.write()`; sirve para mover la posición en grados de las aspas del motor. En el caso del manejo de motores de rotación continua, la posición `Servo.write(90)`; que ubicaría a un servomotor en un ángulo de 90 grados, en los motores de rotación detiene el giro del motor. Si al pasar el parámetro `Servo.write(90)` el piñón giratorio del motor no deja de moverse, necesita ser calibrado, hay que localizar en la estructura física del servomotor, un tornillo que se encuentra en uno de los costados, con un destornillador es posible ajustarlo, hasta que el piñón giratorio cese su movimiento. Los métodos `Servo.write(180)`; y `Servo.write(0)` ordenan al motor girar a la derecha o a la izquierda, respectivamente. Cualquier valor entre el rango de lo 90 a los 180 grados, incrementará la velocidad de giro del piñón de rotación del motor en sentido de las manecillas del reloj y lo mismo funciona en el sentido inverso, cualquier parámetro entre 90 y 0 grados modifica la velocidad de rotación del piñón giratorio del motor en contra de las manecillas del reloj⁶⁹.

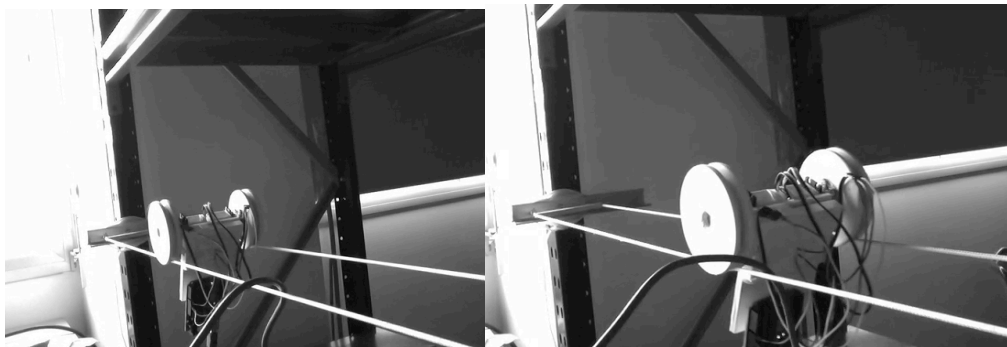
⁶⁷ En la programación orientada a objetos, un método es una subrutina cuyo código es definido en una clase. ([http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo_\(inform%C3%A1tica\)](http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo_(inform%C3%A1tica)), accedido 12 agosto 2013)

⁶⁸ Anexos, Programación, movimiento servo_motores1_Arduino, p. 81

⁶⁹ Anexos, Programación, movimiento servo_motores2_Arduino, p. 82

Para la programación de los motores que desplazarán la interfaz física se probaron ambos algoritmos de control, tras varias pruebas decidimos decantarnos por el uso de la librería *Servo* por que el control con micro pulsos mostraba un problema de programación que se traducía directamente al comportamiento de la interfaz. Al traducir los pulsos en movimiento se produce una fracción de giro del motor cada vez que recibe la carga de 5 voltios, si la frecuencia de los pulsos es elevada el movimiento fraccionado parece continuo, pero si se quiere reducir la velocidad del dispositivo, ampliando el rango de tiempo entre pulsos, entonces el movimiento deja de ser uniforme y se vuelve discontinuo, produciendo un movimiento con golpeteos bruscos que balancean la guía de desplazamiento y ponen en peligro la integridad de la interfaz y de los espectadores. Por otra parte permite un control más suave del movimiento, existe una estructura lógica tras la librería que permite controlar la velocidad del dispositivo de una forma más orgánica. Las primeras pruebas de comunicación entre los motores y la placa Arduino fueron hechas sin que estuviese montado el altavoz en el dispositivo, de esta forma, cualquier desavenencia podía ser corregida y modificada antes de ensamblar los elementos sonoros a la placa de montaje.

3.2.3.- Pruebas de desplazamiento.



17.- pruebas de movimiento de dispositivo físico por guía de desplazamiento.

En las pruebas de desplazamiento se comprobó que el dispositivo físico se comunicaba de manera correcta con la placa de control Arduino y que no ocurrían errores de comunicación con el paso del tiempo. Para ello se

programo un loop de movimiento que recorriera en su totalidad la guía de desplazamiento, manteniendo el dispositivo activo durante tres días por lapsos de ocho horas continuas. Tiempo en el cual no se ha verificado ningún cambio significativo en el desempeño de la interfaz de desplazamiento.

A continuación se modificó la estructura lógica del algoritmo para saber si los motores responderían bien a un estímulo externo, es decir generar un algoritmo con una estructura abierta que tome datos del medio ambiente y produzca respuestas automáticas pre-programadas en el sistema. Era importante hacer esta prueba para comprobar si existía algún problema de comunicación entre los sensores que eventualmente captarán al espectador y la respuesta de los motores. Para ello agregamos al dispositivo físico un sensor MAX Sonar Z 3.0 que se comunica a la entrada análoga de Arduino. Se modificó el algoritmo de control para que Arduino recibiera los valores registrados por el sensor, y con base a la distancia entre cualquier obstáculo detectado frente al sensor, los motores de rotación continua tuviesen un comportamiento u otro. En el ejemplo desarrollado, cualquier objeto que el sensor detectaba en un rango de 50 cm era seguido, si el rango del objeto era menor a 15 cm el dispositivo se detenía para luego retroceder ⁷⁰.



18.- Pruebas de dispositivo de movimiento con sensor de ultrasonidos MAX Sonar.

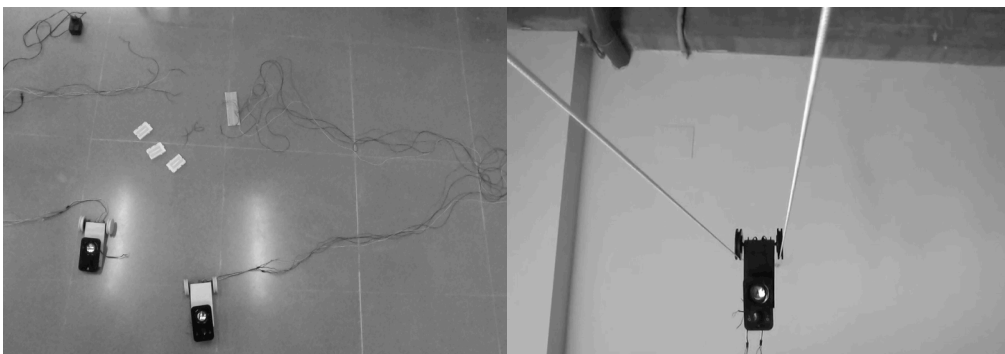
⁷⁰ Anexos, Programación, control_motoresConMaxSonar_Arduino, p. 83

La respuesta de la interfaz física fue la deseada, a pesar el nerviosismo con el que se desplazaban a momentos los motores, la estructura lógica mantenía una comunicación sólida y constante entre el sensor y los motores, mostrando que de forma relativamente fácil podía crearse una estructura abierta que controlase el desplazamiento de cada interfaz física a partir de una señal de control externa.

Habiendo hecho las pruebas de desplazamiento del dispositivo físico, solucionando los problemas de programación, construcción de la circuitería, la sincronización del movimiento de los motores, etc. El dispositivo estaba listo para montar el altavoz, el sistema de comunicación y cableado, y probar la respuesta del prototipo final.



19.- Montaje de altavoces sobre las interfaces físicas de desplazamiento

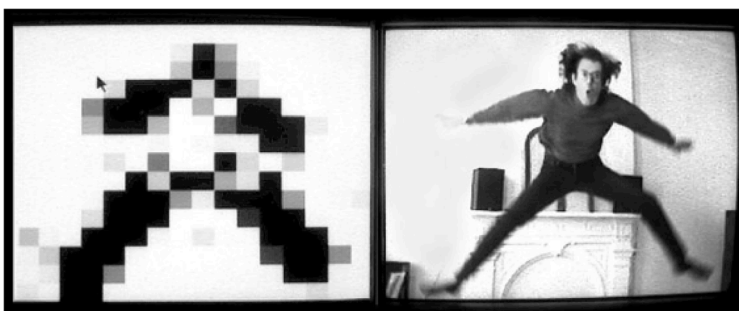




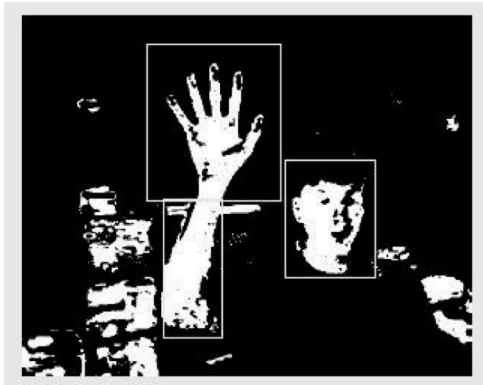
20.- Pruebas operativas para dos prototipos.

3.3.- Construcción del sistema de detección

Para realizar la detección del usuario mientras se desplaza dentro del espacio, es necesario dotar de componentes sensibles a la instalación que le permitan tener una cierta “consciencia” del medio y de los cambios que en éste ocurren en tiempo real, y así poder actuar en respuesta a los estímulos recibidos, proponiendo una experiencia interactiva al usuario. La implementación de sensores generalmente implica un gasto importante de dinero, pues son dispositivos electrónicos especializados. Sin embargo, debido a que no necesitamos de ningún tipo de detección fina de movimiento, sino sólo la detección de las siluetas y su posición en el espacio, lo más práctico es recurrir a los sistemas básicos de visión por computadora que se vienen desarrollando desde principios de los 90’s y que permiten convertir cualquier cámara con capacidad de conectarse al ordenador en un sensor de movimiento.



21.- Rockeby very nervous system motion detection, 1992.



22.- captura de pantalla blob detection

Como parte del desarrollo de algoritmos de visión por computadora se encuentra la librería openCV (*Open Computer Vision*) liberada al mercado por Intel en 1999, permite hacer un análisis de las imágenes captadas por una cámara de video conectada al ordenador. Uno de los procesos de análisis de imagen que la librería

openCV ofrece es conocido como *blob detection* (detección de blobs). En el campo de la visión por computadora, la detección de blobs se refiere a métodos matemáticos que están diseñados para la detección de zonas de una imagen digital que difieren en propiedades, tales como el brillo o el color en comparación con las zonas circundantes a esas regiones. Un *blob* es una región de una imagen digital en la que algunas propiedades son constantes o varían dentro de un rango preestablecido de valores. Cada silueta que es detectada en el espacio es analizada y circundada con un rectángulo que ubica su posición y dimensión en el espacio, además ubica el centro de la figura al que le da una localización en los ejes X e Y. La detección de blobs se basa en otro proceso de análisis de la imagen conocido como *background subtraction* (substracción de fondo) es una técnica del campo de procesamiento de imágenes y visión por computador en donde en primer plano de una imagen se extrae para su posterior procesamiento (reconocimiento de objetos, análisis de movimiento, etc).



23.- proceso de Background subtraction

En general, las regiones de una imagen de interés son objetos (personas, vehículos, texto, etc.) en un primer plano. Después de la etapa de pre-procesamiento de la imagen que puede incluir la eliminación de ruido de imagen, etc. *Background subtraction* es un método ampliamente utilizado para la detección de objetos en movimiento en los vídeos de cámaras estáticas. Un encuadre fijo permite la detección de los objetos en movimiento a partir de la diferencia entre la trama actual y la imagen de referencia, a menudo llamado "imagen de fondo", o "modelo de fondo". Utilizando el algoritmo de *background subtraction*, puede separarse la silueta del objeto del fondo estático de la imagen. Una vez separados los objetos detectados de la imagen de fondo el algoritmo de detección de blobs hace un análisis de la silueta registrada por el *background subtraction*, generando un rectángulo dinámico circundante en cada una de las siluetas detectadas, capaz de cambiar sus proporciones dependiendo de la transformación de la silueta detectada en tiempo real.

El algoritmo de *blob detection* permite también discriminar entre el tamaño de los blobs que el sistema detecta. Si los blobs detectados son demasiado pequeños para ser considerados un usuario, o por el contrario son demasiado grandes. El sistema los discrimina automáticamente y no ofrece una respuesta interactiva, así aseguramos que la instalación no sea reactiva a todo tipo de movimiento, sino que tenga un cierto nivel de reconocimiento que le permita discernir ante qué estímulos reaccionar y cuales debe de ignorar.

3.3.1.- Pruebas de detección

La librería de openCV permite el análisis de imágenes grabadas además del análisis en tiempo real, esto es muy útil ya que permite, por ejemplo, grabar en el espacio de exposición un video emulando las condiciones de iluminación y distribución de los elementos de la instalación. Aunque la instalación propuesta está en fase de desarrollo y aún no existe un espacio específico de montaje, emulamos varias tomas cenitales, con iluminación natural e iluminación controlada, para iniciar con el trabajo de calibración del algoritmo de detección.

Las pruebas de detección en los espacios con una iluminación natural, resultan difíciles de calibrar, inclusive bajo las mejores condiciones el algoritmo detecta presencias que no son más que sombras y variaciones de iluminación que inciden en el espacio⁷¹.

Posteriormente se grabó bajo situaciones de iluminación controlada en un espacio cerrado, sin iluminación natural, con una luz cenital ubicada próxima a la cámara, buscando tener un mejor control sobre el entorno teniendo una diferencia notoria en la calidad y la sensibilidad de la detección.

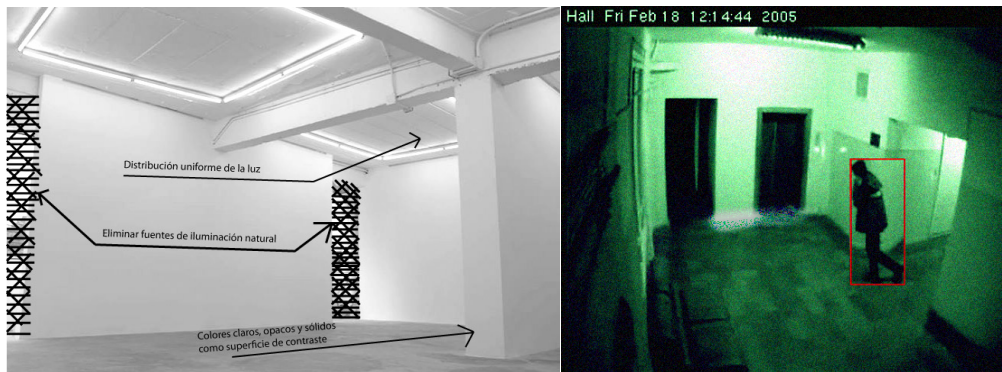
3.3.2.- Trabajo con el espacio de detección

Una de las partes primordiales de la detección de movimiento por medio de algoritmos de *computer vision* recae en la construcción de un ambiente ideal para la detección. No sólo es importante construir un algoritmo que permita analizar el movimiento, también es necesario construir una estructura lumínica que permita la mejor detección posible, ya que los dispositivos de detección de movimiento funcionan a una resolución baja (que les permite hacer el análisis de la maya de píxeles de cada imagen en tiempo real, treinta cuadros por segundo) y eso sumado la mala calidad óptica de la mayoría de cámaras web o videocámaras compactas que se pueden conectar a los ordenadores, hace imprescindible procurar las mejores condiciones físicas que contrarresten las limitantes técnicas y permitan una detección precisa y constante, ya que bajo buenas condiciones de iluminación este tipo de algoritmos siguen siendo muy potentes.

Debido a la luz natural, que se modifica constantemente a lo largo del día se aconseja trabajar en lugares donde ésta pueda ser neutralizada, en la construcción de la iluminación del espacio debe tenerse en cuenta que idealmente debe repartirse de forma uniforme por todo el espacio, además se recomienda escoger colores claros y contrastantes (idealmente blanco) para

⁷¹ Anexos, Figuras. 12,13,14 y 15 Capturas de pantalla detección de blobs con Processing

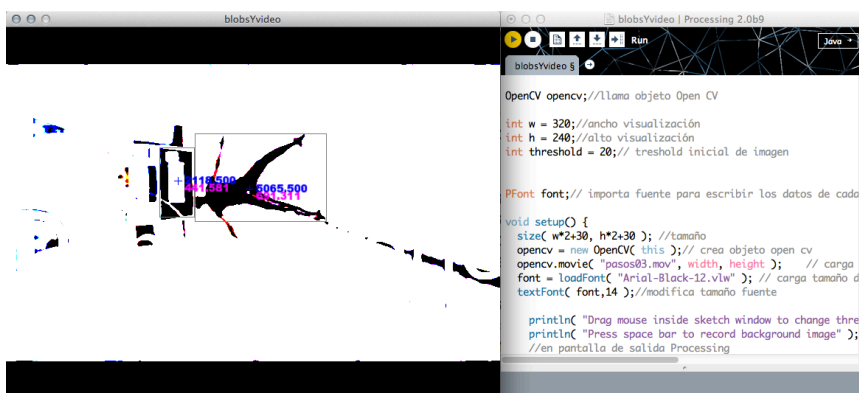
pintar las paredes de la galería o espacio de exposición. Los colores claros y mate que ayuden a difuminar y distribuir la luz en el espacio y agreguen una superficie de contraste de color sólido que permite capturar la silueta del espectador de forma mucho más clara y limpia, (evitar las superficies brillantes, con texturas rugosas, patrones o gráficos como superficie de contraste).



24.- Técnicas de iluminación para espacios iluminados o controlados mediante espectros de luz infrarroja.

Otra opción que muchos sistemas de detección toman en cuenta es el trabajo con el espectro de frecuencias infrarrojas en lugares en penumbra o con poca iluminación. Muchas instalaciones necesitan crear una atmósfera específica para producir la experiencia deseada. En el caso de las instalaciones sonoras este procedimiento es usual, pues la ausencia de estímulos visuales potencia la escucha del espectador. Sin embargo el trabajo con frecuencias de infrarrojo no exime de producir un sistema físico de iluminación que potencie las capacidades de detección de la cámara de video o cámara web, puesto que las cámaras capaces de captar luz infrarroja, generalmente responden mal en escenarios oscuros. Se recomienda bañar las superficies que entran en el encuadre con luz infrarroja para capturar de forma definida a los usuarios. La luz infrarroja es un espectro no perceptible, por lo que este tipo de luz no interfiere con la iluminación ni la atmósfera de la instalación. En el caso de esta instalación en particular, la cámara de video se posicionará de forma cenital, por lo que se pretende bañar con luz infrarroja el suelo que servirá de superficie de fondo sobre la cual contrasten los usuarios que entren dentro del encuadre.

Como parte del diseño de detección del usuario se plantea la construcción física de cuatro estructuras de madera de 2.25 metros de longitud sobre las cuales se monte una línea de leds infrarrojos de alta frecuencia y una pequeña fuente de alimentación. Las cuatro estructuras se dispondrán en el piso del lugar, pegadas a la pared o próximas a los límites del encuadre de las imágenes captadas por la cámara, al mantener el suelo bañado con luz infrarroja, la cámara de video captará una superficie clara y brillante donde cualquier usuario que se desplace dentro del lugar produzca una silueta fácil de contrastar, detectar y analizar.



25.- Pruebas de detección sobre fondo bañado en luz

La realización exhaustiva de pruebas en el espacio de exposición es necesaria para encontrar la mejor detección posible, una buena iluminación es vital para una buena detección del usuario, lo cual termina reflejándose en la calidad de la interacción entre la pieza y el espectador.

En cuanto al desarrollo de la parte informática del sistema de detección, por medio del algoritmo de detección de blobs obtendremos distintos tipos de información utilizable en la construcción de la interactividad: 1.- cuántos usuarios hay en la sala, 2.- cuál es su posición en el espacio, 3.- el tamaño del área de su silueta y 4.- el centro matemático o centroide de su silueta. Con estos cuatro parámetros podemos fácilmente construir una interacción interesante, una vez obteniendo la localización del espectador, se pueden programar distintos estados de interacción que produzcan respuestas cinéticas

y sonoras en relación a los espectadores. Para la localización espacial de los usuarios se utilizará el parámetro del centroide, que es básicamente la intersección de dos líneas que cortan perpendicularmente a la mitad, cada uno de los cuatro lados del rectángulo que contiene a la silueta del espectador. El punto de intersección al centro de la figura geométrica nos da el centro matemático de la figura circundada. Un punto con coordenadas x e y con el cual podemos medir de forma constante la distancia del espectador con respecto a las fuentes sonoras y su zona de ubicación en el espacio.

3.4.- Estructura Sonora.

La composición de ambientes o paisajes sonoros parte de dos prácticas creativas distintas relacionadas al mismo concepto; una más apegada a la ecología, planteada por el compositor, investigador y ambientalista canadiense Murray Schafer que desarrolló un nueva área de estudio relacionada con la ecología y la ingeniería sonora, el *soundscape* (paisaje sonoro) concebido por Schafer como un método de evaluación del impacto ambiental en términos sonoros de las actividades humanas en los espacios naturales. Con el paso del tiempo la recopilación sonora de los distintos espacios rurales se ha convertido en una metodología común de archivo que permite registrar las expresiones culturales sonoras de distintas regiones, así como conservar archivos sonoros de espacios peculiares o eventos de relevancia cultural, o medioambientales con fines creativos y científicos.

La segunda metodología creativa de los paisajes o ambientes sonoros está ligada a las experimentaciones de otro artista de mismo apellido; Pierre Schaeffer, de las composiciones acusmáticas de Schaeffer se desprende un trabajo creativo de composición más parecido al del montaje cinematográfico, constituido por un proceso collage (cortar y pegar, seccionar y reproducir) fragmentos de audio organizados en varias pistas. Las composiciones acusmáticas multifónicas basadas en la construcción de meticulosos tramados de capas sonoras yuxtapuestas no se asociaron al paisaje sonoro hasta que el concepto había sido desarrollado por Murray Schafer, pero con el

tiempo definieron un campo creativo, donde los compositores construyen paisajes imaginarios valiéndose de la multifonía que distribuye la pieza en el espacio generando la ilusión de paisaje⁷².

El sonido es aditivo por sus características físicas, por lo tanto, en un mismo altavoz pueden habitar a la vez cientos de audios, que si se trabajan por capas pueden controlarse de manera individual afectando la mezcla sonora resultante. Éste es el tipo de composición que se contempla en el desarrollo de esta instalación; una construcción estructural del sonido, donde las propiedades de cada pista de audio se combinan en bloques compactos de sonidos compuestos por pistas de audio individuales que se yuxtaponen y dan profundidad, variedad y complejidad cromática al ambiente resultante.

A diferencia de la mayoría de los paisajes sonoros donde el artista determina las dinámicas y duración de la pieza sin que el público pueda alterar los parámetros iniciales de la obra, la construcción de una pieza interactiva dicta que no exista una duración determinada y que cada momento la pieza sonora sea capaz de modificar sus parámetros en función del usuario, una pieza sonora concebida como una obra abierta, es una estructura o dispositivo sonoro.

La composición de este tipo de estructuras requieren de la utilización de programas lógicos que permitan construir un mecanismo de gestión y distribución del sonido, esto quiere decir que no solo el espectador define el tiempo de duración de la pieza con su presencia en la sala, sino que la computadora decide el compendio de sonidos que serán utilizados en la composición, su distribución y desplazamiento. El trabajo del compositor consiste entonces, en la programación de las distintas estructuras lógicas que permitan al ordenador reproducir las pistas sonoras al unísono, gestionando su distribución, presencia y volumen a través de los distintos altavoces.

⁷² Dieter Daniels, «Media → Art / Art → Media», text, 15 de febrero de 2007, http://medienkunstnetz.de/themes/overview_of_media_art/forerunners/scroll/, accedido 07 diciembre 2012.

El proceso constructivo será guiado por la experimentación en una búsqueda cualitativa de composiciones atmosféricas, envolventes y con dinámicas de desplazamiento claras que sorprendan al espectador.

La primera parte del trabajo de composición consiste en clasificar, y calificar el material sonoro según sus propiedades; timbre, tono, coloración y duración. Con la idea de construir un banco sonoro dividido en cuatro categorías principales:

3.4.1.- Sonidos ambientales o atmosféricos.

Este tipo de sonidos ambientales o atmosféricos, serán de tímbricas bajas o graves, sonidos ambientales, es decir que en ellos se encuentre una mezcla de sonoridades extensa y con dinámicas de volumen parejas que permiten crear una base acústica para los demás sonidos que irán destacando. La composición resulta más como una construcción arquitectónica o estructural con sonidos, para ello primero se necesita construir una base o fundamento que arroje y contenga los distintos sonidos programados.

3.4.2.- Sonidos secundarios.

Son sonidos que destacan del ambiente, resaltando algunos elementos algunos elementos del fondo, creando la sensación de profundidad al resaltar ciertos elementos en espacios puntuales, como puede ser por ejemplo, el canto de un pájaro que sobresale del sonido ambiental de un bosque. Sirven para producir la ilusión de distancias diferentes y la variación de su amplitud producen en la mente del espectador una sensación de distancia, la variedad de sonidos secundarios espacializados y la distinta modulación de sus amplitudes producen una estructura sonora rica y compleja que puede ir variando sus características según dónde se ubiquen espacialmente los sonidos y a qué amplitud de frecuencia se reproduce cada una de las pistas.

3.4.3.- Sonidos principales.

Aquellos sonidos que por su amplitud destacan del ambiente y se encuentran más próximos a ser captados por el espectador, son los sonidos principales que destacan de la composición y con los que se construye el sentido de la misma. Si se quisiera emular un espacio urbano con un músico callejero, por ejemplo, el sonido primario sería evidentemente el del músico, los sonidos secundarios según su profundidad podrían ser: los sonidos de la gente reunida a su alrededor, algunas aves cantando, el sonido de los pasos de las personas que transitan por la calle, un vendedor ambulante más al fondo, los sonidos ambientales serían por ejemplo las sonoridades sordas de cada lugar, el ruido de fondo que se genera en cada espacio según sus características acústicas, las frecuencias graves de los coches que se cuelan por las callejuelas, o los murmullos de la gente y las actividades cotidianas que no se alcanzan a distinguir claramente, sino que conforman una masa acústica de ruidos y frecuencias residuales que componen una estructura sobre la cual ir colocando sonidos.

3.4.4.- Sonidos incidentales.

Eventos puntuales y efímeros, pero cargados de mucha presencia sonora, mucha amplitud y un componente elevado de tonos agudos, un relámpago por ejemplo, el sonido de un choque, un grito, la caída de unas llaves o de algo de un vidrio, etc. Estos sonidos espontáneos mantienen la atención del escucha son momentos inesperados que captan toda la atención de golpe sorprendiendo al espectador, por tanto su uso es ornamental y deben utilizarse con moderación pues las estructuras barrocas compuestas por mucha estridencia fatigan a la escucha rápidamente.

3.4.5.- Construcción informática

La estructura sonora será el elemento resultante de la conjunción de los distintos procesos ingenieriles, informáticos y artísticos. La composición de esta pieza sonora será producida con el software Pure Data que es un programa de audio que funciona a través de la programación de distintos módulos sonoros que van incorporando propiedades a la señal de audio a medida que ésta va fluyendo de un módulo de procesamiento a otro y que permite el control externo de las propiedades de dichos módulos mediante mensajes OSC.

Para producir un parche que distribuya el sonido en múltiples salidas de audio es necesario programar un esquema de polifonía que separe las distintas mezclas sonoras en salidas de audio individuales. Para realizar este trabajo decidimos hacer pruebas preliminares con un paquete de módulos de espacialización acústica *open source* desarrollados por el *Groupe de Recherche Acurmatique* de la RTF en París, estos módulos de audio son instalados como VSTs en una variedad de softwares de programación modular de audio como Pure Data. Con ellos se pueden implementar varios algoritmos que mueven eficientemente las pistas de audio de un canal de salida a otro, existen además varias configuraciones, dependiendo de la cantidad de canales de audio con los que se este componiendo el ambiente sonoro, cada uno de los módulos de espacialización consta de una interfaz gráfica que permite interactuar fácilmente con el programa y tienen además la capacidad de conectar elementos moduladores externos al programa controlados. vía OSC o MIDI. Entre los módulos que destacan por su versatilidad y aplicación son el módulo Spat Surround X 2 que está compuesto por dos sistemas de espacialización 5.1 que producen 12 canales de salida.⁷³

El Spat Surround 23 X diseñado para composiciones octofónicas (8 canales de audio) por medio de la interfaz gráfica se pueden simular las

⁷³ Anexos, Fig. 16, Capturas de pantalla Spat Sound X2, p.86

posiciones en sala de cada altavoz con un controlador independiente de la amplitud de cada canal de audio. Este módulo también puede conectarse a un generador random que mueve los sonidos por el arreglo de altavoces de forma aleatoria o bien, pueden ser controlados vía OSC o MIDI⁷⁴.

El Spatsampler 8X⁷⁵ que permite generar secuencias temporales de sonidos que van desplazándose de altavoz en altavoz según lo indiquemos y el Octo Looper X⁷⁶ que permite generar variaciones en la amplitud y desplazamiento de obras octofónicas ya terminadas, de esta manera, un algoritmo genera sutiles variaciones sobre las dinámicas, generando un ambiente sonoro más líquido y dinámico.

De esta manera, la información de sala expositiva, captada por el programa de análisis de movimiento enviará una serie de datos sobre la posición del usuario, esto permite modificar fácilmente la disposición de los audios en la sala, así como su relación espacial con respecto al usuario.

3.5.- Diseño de comunicación entre componentes

Uno de los componentes principales de la instalación es el módulo de comunicación que permite un flujo de información compartida entre los distintos procesos de detección de sonido y de movimiento. A pesar de ser un proceso relativamente sencillo que solo implica la implementación de algoritmos y librerías *open source*⁷⁷ que permiten el envío de paquetes de datos, desarrollando una estructura de funcionamiento y un flujo de información común entre el espectador, los algoritmos de detección y movimiento y los elementos físicos dispuestos en el espacio.

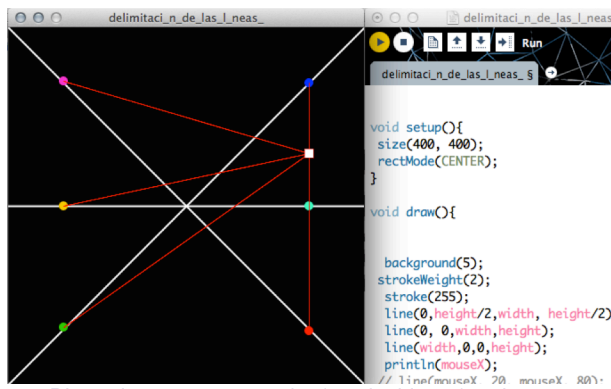
⁷⁴ Anexos, Fig. 17, Capturas de pantalla Spat Surround 23 X, p. 87

⁷⁵ Anexos, Fig. 18, Capturas de pantalla Spatsampler 8X, p. 87

⁷⁶ Anexos, Fig. 19, Capturas de pantalla Octolooper, p. 87

⁷⁷ Es el término con el que se conoce al software distribuido y desarrollado libremente. El código abierto tiene un punto de vista más orientado a los beneficios prácticos de poder acceder al código, que a las cuestiones económicas y de autoría.

Para la emergencia de un comportamiento interactivo es necesario que cada módulo de procesamiento pueda compartir la información resultado del análisis



26.- Distancias entre espectador (cuadro blanco) y altavoces.

de datos que realiza, así de manera procedural ⁷⁸ la cámara web, que actúa como un sensor de movimiento se mantiene cautiva a la espera de la detección de los usuarios que se constituyen en un interruptor que pone en marcha la comunicación

entre los distintos componentes de la instalación; las imágenes captadas por la cámara web son analizadas en Processing utilizando un algoritmo de detección de blobs.

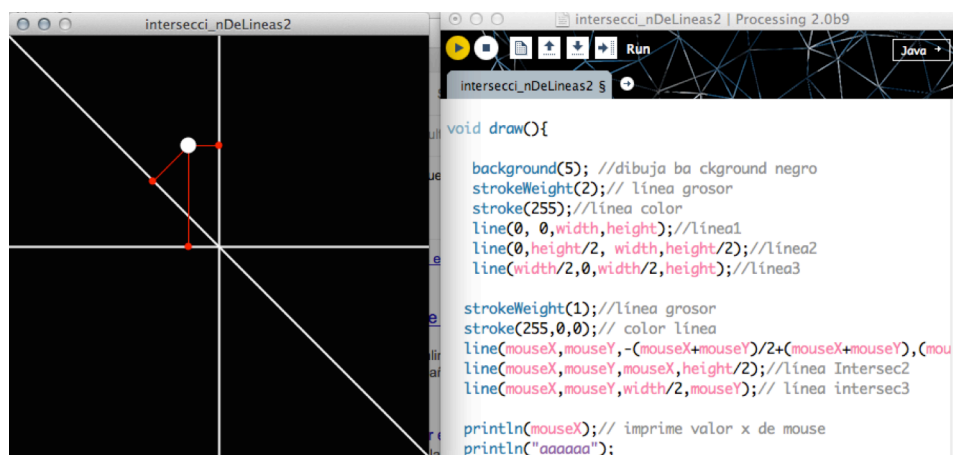
Como se señala en el capítulo dedicado a la detección del usuario, el algoritmo de detección de blobs nos permite trabajar datos de posición, tamaño y número de objetos detectados, manteniendo un identificador particular para cada uno de ellos. Los datos contenidos en las variables de posición son enviados mediante mensajes OSC⁷⁹ a un segundo programa de Processing encargado de hacer una representación gráfica del espacio instalativo, utilizando los centroides de los altavoces y del espectador para representar de manera gráfica su posición en tiempo real. Con los datos de posición del espectador y los dispositivos sonoros el programa servirá para trazar líneas del punto (x,y) donde se encuentre el espectador a cada punto (x,y) de los altavoces, haciendo un cálculo de la longitud de las distintas líneas trazadas se

⁷⁸ Esta técnica de programación ofrece muy buena respuesta en relación al tamaño de los programas, y en bruto casi no se nota en la velocidad de ejecución de los mismos (mientras que las variables, constantes o índices de vector estén en memoria, como suele ser normal, estos se relacionarán entre sí, sin una carga de memoria considerablemente alta para los procesadores modernos); aunque es muy complicado conseguir una Programación por procedimientos pura.

⁷⁹ La base de la comunicación OSC se encuentra en los mensajes. Los mensajes pueden ser de dos tipos: mensaje único (message) o paquete de mensajes (bundle). El paquete de mensajes es un contenedor que puede alojar uno o varios mensajes únicos.

puede obtener una relación de las distancia de cada altavoz con respecto al espectador en todo momento. Los datos contenidos en esa relación de distancias son enviados vía mensajes OSC a un parche de programación de Pure Data dedicado a recibir los mensajes provenientes de Processing, desempaquetar los datos y enviarlos a un segundo módulo de programación encargado de distribuir un número determinado de pistas sonoras en los distintos altavoces dispuestos en el espacio. De esta manera, si el usuario esta más cerca por ejemplo del altavoz 4 y se desplaza hasta estar de frente del altavoz 1, el programa de Pure Data recibe la nueva relación de distancias y redistribuye las pistas de audio automáticamente.

El sistema de movimiento de los altavoces está pensado para enfatizar la espacialización sonora y hacer más vivida la ilusión de movimiento de los audios por el espacio, partiendo del mismo algoritmo de visualización de sala programado en Processing, utiliza las variables de distancia para mover los altavoces, a través de las guías de desplazamiento a una posición específica según su distancia con el espectador.



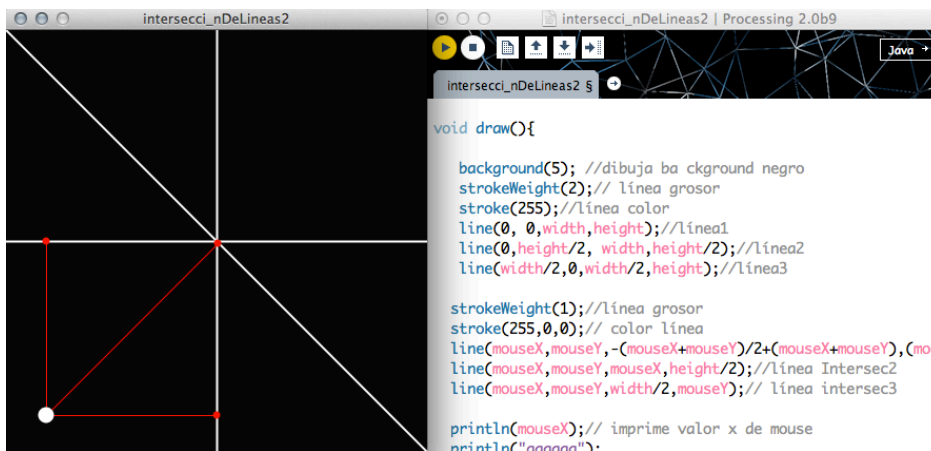
27.- Algoritmo de localización del punto más cercano al usuario en el trayecto de cada altavoz.

En un primer ejercicio de la construcción de los comportamientos físicos de la interfaz, se programó un algoritmo que permitiera a cada altavoz colocarse sobre su guía de desplazamiento en el punto más cercano posible al

espectador. Trazando una línea imaginaria perpendicular a cada una de las guías de movimiento, la intersección entre las guías y las perpendiculares que las cortan imaginariamente es el punto trigonométrico más cercano al espectador y el punto al que cada interfaz se debe desplazar.

Para lograr que cada altavoz siguiera al espectador a través del espacio, fue necesario determinar, sobre el eje que cada interfaz recorre, cuál era el punto más cercano al espectador, en qué sección de la guía de desplazamiento se encontraba dicho punto y dirigir las interfaces físicas hacia allí.

Matemáticamente la línea recta es la distancia más corta entre dos puntos. Utilizando las coordenadas (x , y) del mouse se traza una línea perpendicular a cada una de las guías de desplazamiento y se calcula el punto de intersección entre ambas líneas, dando como resultado la posición más cercana al espectador.



28.- Este algoritmo hace un cálculo trigonométrico basado en la fórmula trigonométrica para encontrar el punto de intersección entre dos rectas perpendiculares.

Los datos obtenidos en la simulación se envían por puerto serial a la placa Arduino mediante la librería Firmata que permite comunicar muy fácilmente los programas visuales de Processing para gestionar componentes físicos conectados a Arduino.

La construcción de una estructura informática que permita compartir información entre todos los elementos de la instalación es el elemento que imbrica todos los procesos realizados en un resultado común. La transmisión de la información es necesaria para construir la interacción entre los distintos elementos constitutivos, entre ellos el espectador mismo, que se convierte en el inicio y el fin del dispositivo planteado, la instalación se vale del espectador como una fuente de información que detona procesos informáticos paralelos que producen una respuesta acústica y una experiencia estética.

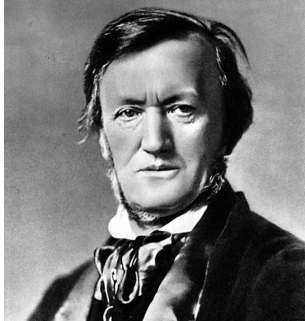
4.- Conclusiones

Con base en estos antecedentes teóricos y prácticos, esta tesis ha intentado incorporar el vocabulario del arte sonoro en el ámbito de la informática multimedia, haciendo uso de su capacidad para mostrar y manipular los sonidos en tiempo real.

Debido a los plazos temporales, esta investigación no logró el objetivo de concluir la construcción de una interfaz de espacialización de audio interactiva, sin embargo se logró un avance importante en el análisis, estudio y trabajo práctico en las diferentes áreas técnicas, artísticas y conceptuales que constituyen este proyecto. Haciendo un análisis detallado de los resultados prácticos arrojados en cada una de las etapas de desarrollo, se puede suponer que el desarrollo de dicha interfaz sonora es técnicamente viable, por lo tanto la hipótesis inicial es alcanzable a mediano plazo. Por tanto se propone el mantener abierta esta investigación para, en una segunda etapa de desarrollo amalgamar los distintos módulos de procesamiento y empezar con la exploración cualitativa de comportamientos espaciales y sonoros que produzcan la interactividad sonora planteada en un inicio.

5.- Anexos

5.1.- Richard Wagner



Richard Wagner es considerado como el precursor de las obras artísticas multimedia, en el libro *From Wagner to virtual reality* los autores Randall Parker y Ken Jordan citan las óperas de Wagner como obras integrales multidisciplinares, donde se tomaba en cuenta la iluminación, la escenografía, la interpretación musical, las coreografías, el trabajo actoral y vocal de los intérpretes como componentes de una experiencia multisensorial, donde las disciplinas artísticas diluían sus fronteras en aras de la composición del evento artístico total.

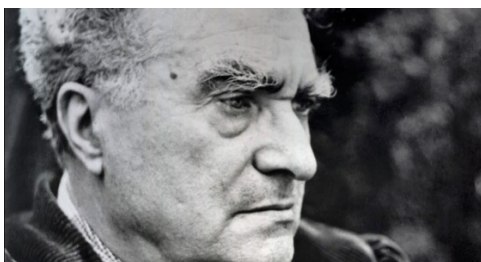
Lohenrin

<https://www.youtube.com/watch?v=VN83SBGSAWg>

Anillo del Nibelungo (selección)

<https://www.youtube.com/watch?v=ZFKwLhNs1L8>

5.2.- Edgar Varese



Edgar Varese es considerado uno de los más vanguardistas e influyentes compositores del siglo XX⁸⁰. Fue discípulo de Satie, Debussy y Berlioz. Desde muy temprano se vio atraído por las propiedades físicas del sonido (análisis espectral) que quiso explorar a través de sus composiciones, siendo un pionero de

⁸⁰ Dieter Daniels, «Sound & Vision in Avantgarde & Mainstream [1]», text, 15 de febrero de 2007, http://medienkunstnetz.de/themes/image-sound_relations/sound_vision/scroll/, accedido 27 diciembre 2012.

la electroacústica. Así fijó su atención en algunas de sus cualidades: el timbre instrumental (color), utilizado desde la forma más agresiva al mayor refinamiento y en gran variedad de instrumentos; el ritmo, primitivo y generador de amplias dinámicas casi siempre abruptas.

Ambas cualidades sonoras condicionaron su apetito por los medios electrónicos y las nuevas sonoridades: Theremin, Martenot, cinta magnética pregrabada, que le permitieron desarrollar su idea de sonido espacial.

Poème Électronique (1958) es la Auténtica culminación de Varèse en la representación espacial y física del sonido, utilizando los recursos tecnológicos de la época tanto en su origen como en su demostración real, situando altavoces entre el público y en diversas estancias. Generando una sensación tridimensional aprovechando además los sonidos reflejados en las paredes del propio edificio. Una colección elaborada de sonidos pregrabados organizados, y programados por él mismo y el arquitecto, matemático y compositor griego Iannis Xénaquis.⁸¹

Arcana (1927)

<https://www.youtube.com/watch?v=wu-bIPtZgE4>

Ionisation (1953)

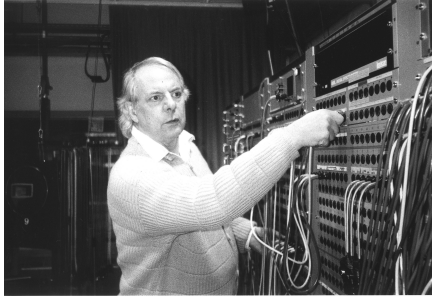
<https://www.youtube.com/watch?v=wu-bIPtZgE4>

Poème Electronique

<https://www.youtube.com/watch?v=WQKyYmU2tPg>

⁸¹ Randall Packer y Ken Jordan, *Multimedia: From Wagner to Virtual Reality* (W W Norton & Company Incorporated, 2002), pp 42-54.

5.3.- Karlheinz Stockhausen



K. Stockhausen Oktober 1994 im *Studio für Elektronische Musik* des WDR Köln bei der Produktion der Elektronischen Musik vom **FREITAG aus LICHT**. (Foto: Kathinka Passeri)

Stockhausen compuso 363 obras, todas ellas grabadas y recogidas en 139 CD. Frecuentemente se apartó radicalmente de la tradición de la música clásica influenciado por Edgar Varese, y Anton Webern. Junto a su labor como compositor destacó también su tarea de director de orquesta.

En agosto de 1951, Stockhausen empezó a trabajar con una forma de música aatemática compuesta serialmente a partir de progresiones aritméticas.

De lo que no hay duda es que algunas obras de esos años muestran a Stockhausen formulando sus primeras contribuciones, rompedoras y revolucionarias, a la teoría y práctica de la composición, como la «composición grupal», una técnica usada en sus composiciones desde 1952. En diciembre de 1952 compuso un *Konkrete Etüde*, en el estudio de música concreta de Pierre Schaeffer en París. En marzo de 1953 se trasladó al estudio de la radio NWDR de Colonia y cambió a la música electrónica con dos *Estudios Electrónicos* (1953 y 1954).

En la obra *Gesang der Jünglinge* (1955–56) introdujo, por vez primera, el emplazamiento espacial de fuentes de sonido, con su mezcla de música concreta y música electrónica.

La experiencia ganada con los *Estudios* le convencieron de que era una simplificación inaceptable tratar los timbres como entidades estables.

Reforzado por sus estudios con Meyer-Eppler, a principios de 1955 Stockhausen formuló nuevos criterios «estadísticos» de composición, enfocando su atención hacia la música aleatoria, tendencia en la que se movía el movimiento sonoro, «el cambio de un estado a otro, con o sin movimiento de retorno, como opuesto al estado estático».⁸²

Posteriormente Stockhausen escribió, describiendo ese periodo en su trabajo de composición: «La primera revolución musical que ocurrió desde 1952/53,

⁸² Ibid.

denominada *música concreta*, *música electrónica con cinta magnetofónica*, y *música espacial*, requería componer con transformadores, generadores, moduladores, magnetófonos, etc, integrar *todas* las posibilidades sonoras concretas y abstractas (sintéticas) incluyendo todos los ruidos, y lograr la proyección controlada del sonido en el espacio».⁸³

Telemusik (1966)

<https://www.youtube.com/watch?v=icwLDxINKdU>

Helikopter-Streichquartett (Helicopter Quartet, 1997)

<https://www.youtube.com/watch?v=7ykQFrL0X74>

Gesang der Jünglinge (1956)

<https://www.youtube.com/watch?v=3XfeWp2y1Lk>

5.4.- Hélio Ointica



En 1967 Hélio Ointica presenta una obra contestataria que intenta traer a la galería de arte una visión distinta del arte latinoamericano. Desafiando a cualquier espacio museístico que la albergue, su ambiente laberíntico se compone de dos Penetráveis (PN2, Pureza è um mito, y PN3, Imagético) además de plantas, arena, aves silvestres, poemas-objeto, capas de Parangolé y un aparato de televisión. Una instalación ambiental resultado de un largo proceso de meditación del artista en el que convergen tanto sus reflexiones acerca de la necesidad de un proceso experimental para superar los límites del cuadro, como su exploración y convivencia con la realidad de las favelas, producto del crecimiento urbano masificado⁸⁴.

⁸³ «Karlheinz Stockhausen», *Wikipedia, la enciclopedia libre*, http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Karlheinz_Stockhausen&oldid=67292773, accedido 14 junio 2013.

⁸⁴ Claire Bishop, *Installation Art: A Critical History* (Routledge, 2005), p 37.

5.5.- Dan Graham



Daniel Graham se interesó siempre por los problemas relacionados con el espacio. Las formas mínimas y los nuevos materiales de construcción son una constante en su obra, al igual que la inclusión de cámaras de video (como otro medio de modulación cultural contemporánea). Busca explorar la influencia de estos elementos en el entorno cotidiano del habitante urbano. Sus performances e instalaciones extienden las relaciones espaciales a las interacciones que se establecen entre un ejecutante, el público y el ámbito que lo contiene. Buscando situar al público entre la objetividad de las situaciones y la subjetividad de quienes las viven; la inconsciencia de algunas acciones y la conciencia que surge de su aislamiento y puesta en evidencia. Claire Bishop destaca una instalación en particular de Dan Graham, que según su análisis cumple todos los requisitos de la instalación contemporánea. *Present Continuous Past(s)* de 1974, es una instalación en la que Dan Graham colocó un circuito cerrado, dentro de una habitación con un gran espejo de la totalidad de uno de sus muros longitudinales. Emplazando la cámara en el espacio expositivo y el monitor empotrado en la pared. La imagen captada por la cámara de video tenía un delay de ocho segundos. Por lo que, al entrar en la instalación, el espectador tenía una imagen en tiempo "real" de sí mismo reflejada por el espejo y a la vez una imagen de sí mismo en la pantalla con un retraso temporal⁸⁵.



3.-Present Continuous , Past(s), Dan Graham, 1974.

⁸⁵ Ibid.

5.6.- Allan Kaprow



Por otra parte el trabajo de Allan Kaprow ayudó a desarrollar las instalaciones artísticas y los happenings a fines de los 50's y 60's. Con el tiempo, Kaprow cambió



su práctica en lo que él llamó "Actividades", relacionando íntimamente piezas para uno o varios jugadores y dedicadas al examen de los comportamientos y hábitos cotidianos de una manera casi indistinguible de la vida ordinaria. A su vez, su trabajo influye conceptualmente obra influye en la instalación artística. Los trabajos de Kaprow mantienen un constante diálogo con el público y

requieren de su participación para concretar la experiencia propuesta por el artista. Uno de sus primeros trabajos de la década de los 60's, la Instalación YARD de 1961, consistía un patio trasero (backyard) lleno de neumáticos dispuestos cubriendo toda la superficie, apilándose en montículos y pilas por dónde se les invitaba a los espectadores a sumergirse, jugar y dejarse llevar por la experiencia casi infantil de permanecer dentro del jardín de neumáticos, que podían ser reconfigurados por los espectadores, a la vez que servían para crear relación de empatía entre desconocidos. En 1966 Kaprow escribe un manifiesto artístico escribe: "El arte contemporáneo tiende a pensar en términos de multimedia, intermedia, fusiones e hibridaciones. Más cercanas a la vida real de lo que a veces pensamos. El Arte será pronto un concepto vacío, una palabra sin sentido. En su lugar, 'La comunicación programable' será un termino más ingenioso, que acredite nuestras fantasías tecnológicas y de gestión, y nuestro contacto electrónico globalmente generalizado"

86

⁸⁶ Allan Kaprow, *Essays on the Blurring of Art and Life* (University of California Press, 2003).

5.7.- Richard Serra



El trabajo más temprano de Serra era completamente abstracto; hecho de plomo fundido lanzado contra la pared de un estudio o de un espacio de la exposición, era un claro ejemplo del *process art*⁸⁷. Sin embargo, es mejor conocido por sus construcciones minimalistas de grandes rodillos y de hojas del acero corten. Muchos de estos pedazos son autosuficientes y acentúan el peso y la naturaleza de los materiales. Rollos del plomo se diseñan para ceder en un cierto plazo. Sus esculturas de acero en exteriores, llevan un proceso inicial de oxidación, pero después de 8 a 10 años, este color se mantiene relativamente estable.



En 1981, Serra instaló el *Tilted Arc*, un muro de acero de 3,5 metros de altura curvado suavemente en la plaza federal en Nueva York. Hubo una gran controversia sobre la instalación a partir del día uno, en gran parte debido a que los trabajadores de los edificios que rodeaban la plaza se quejaron debido a que la pared de acero obstruía

⁸⁷ «Arte procesual», *Wikipedia, la enciclopedia libre*, http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Arte_procesual&oldid=68011104, accedido 28 julio 2013.

el paso a través de la plaza. Una audiencia pública en 1985 votó a favor de que el trabajo fuera removido, pero Serra alegó que la escultura estaba en su sitio específico y que no se podía colocar en cualquier otro lugar. Serra publicó una declaración famosa donde dijo, "Quitar el trabajo sería destruirlo." Finalmente, el 15 de marzo de 1989, la escultura fue desmontada por los trabajadores federales y cambiada de sitio a un parque, donde ya no tenía sentido de ser.

Otro trabajo famoso de Serra es gigantesca escultura *Snake (Serpiente)*, tres sinuosas hojas de acero que crean una trayectoria curva, fue establecido permanentemente en la galería más grande del Museo Guggenheim Bilbao. En 2005, el artista presentó en el mismo museo, un conjunto escultórico titulado *La materia del tiempo*, entrando a formar parte de la colección del museo. Expuestas también de forma permanente en la sala más grande del edificio de Frank O. Gehry, siete esculturas se unen a *Snake (Serpiente)*, creada para la inauguración del museo, conformando una instalación que el propio autor considera la creación más importante de su carrera.

5.8.- Nam June Paik



Nam June Paik (20 de julio de 1932, Seúl, Sudogwon, Corea del Sur -29 de enero de 2006, Miami, Florida, Estados Unidos) fue un famoso compositor y videoartista surcoreano de la segunda mitad del siglo XX. Estudió música e historia del arte en la universidad de Tokio. Más tarde, en 1956, viajó a Alemania, donde estudió teoría de la música en Múnich, continuando en Colonia y en el conservatorio de Freiburg. Trabajó en el laboratorio de investigación de música electrónica de Radio Colonia, y participó en el grupo de performance y happening Fluxus.

Nam June Paik es uno de los artistas que se vuelve referente en el arte electrónico. Venido de la formación musical, desarrolla una serie de intervenciones y performances relacionados con la parte energética y electromagnética de la televisión. Heredero de la tradición compositiva de vanguardia de John Cage y pionero en el desarrollo de piezas de arte medial y electrónico.

Nam June Paik's Piano

<https://www.youtube.com/watch?v=8XcoJEBXm90>

TV Bra for living sculpture (1969)

<https://www.youtube.com/watch?v=3G3XomkkTPY>

Global groove (1973)

<https://www.youtube.com/watch?v=7UXwhlQsYXY>

5.9.- Rafael Lozano Hemmer

Rafael Lozano-Hemmer es mejor conocido por sus intervenciones interactivas en espacios públicos en Europa, Asia y América. Sus instalaciones utilizan tecnologías como la robótica, proyecciones, sensores y redes de comunicación para interrumpir la homogeneización urbana con plataformas para la participación.

En 1999 creó la instalación "Alzado Vectorial" donde participantes en Internet podían controlar cañones anti-aéreos sobre el Zócalo de la Ciudad de México. La pieza se repitió en Vitoria en el 2002, en Lyon 2003, en Dublín 2004 y en Vancouver para las olimpiadas de invierno del 2010. Fue el primer representante oficial de México en la Bienal de Venecia, con una exposición individual en el Palazzo Soranzo Van Axel en la 52a Exposición Internacional de Arte del 2007. En 2006 su pieza "33 Preguntas por Minuto" fue adquirida por el Museo de Arte Moderno de Nueva York. Su pieza "Público Subtitulado" (2005) está en la colección Tate de Gran Bretaña⁸⁸.

Alzado Vectorial

https://www.youtube.com/watch?v=EryMs1J_Sgw

Pulse Room

<https://www.youtube.com/watch?v=sbiqDufLCDY>

Tape Recorders

<https://www.youtube.com/watch?v=-KHP5ZYyx8>

⁸⁸ Lozano-Hemmer, *Frecuencia y Volumen*.

5.10.- Imaginary Landscape.

En 1951 Imaginary Landscape No. 4 de Jhon Cage se convierte en la primera obra que toma en cuenta las peculiaridades estéticas de la radio como aparato y como medio de comunicación. Compuesta con las crepitaciones, gises y gránulos de ruido; la yuxtaposición accidental del lenguaje, el ruido y la música de aleatoriamente podía sintonizarse al momento de la interpretación⁸⁹.

Imaginary landscape no. 4 (1952)

<https://www.youtube.com/watch?v=oPfwrFI1FHM>

⁸⁹ Föllmer, «Audio Art».

5.11.- Bocetos y esquemas

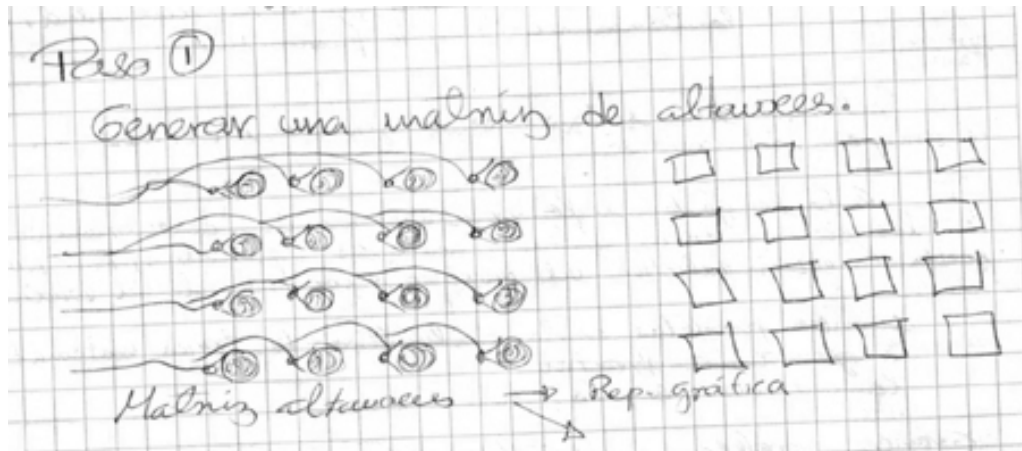


Fig. 01 Boceto de construcción de una matriz de audio

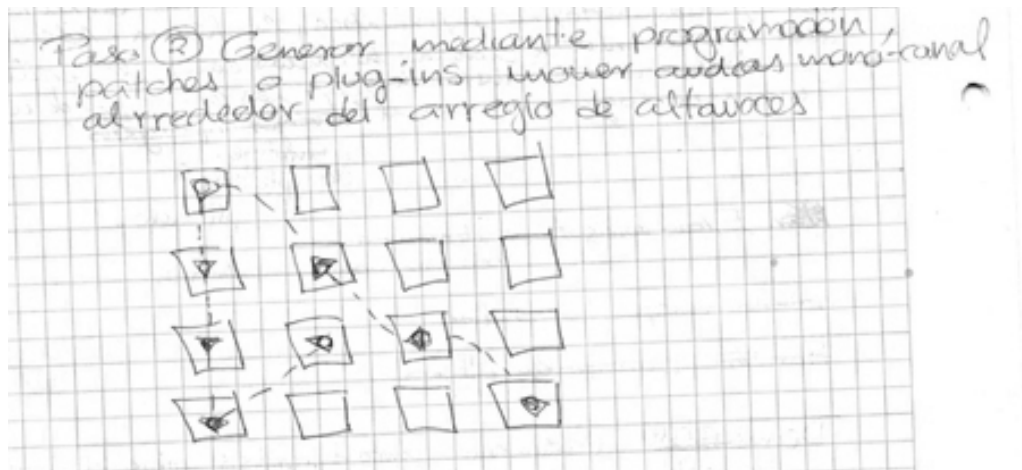


Fig.2 Boceto desplazamientos de audio por matriz de altavoces

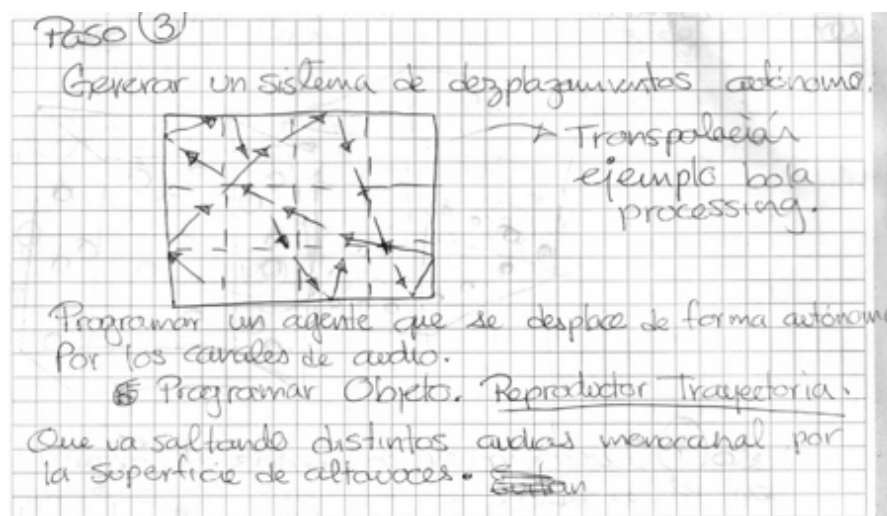


Fig. 3 Boceto programación desplazamientos sonoros autónomos

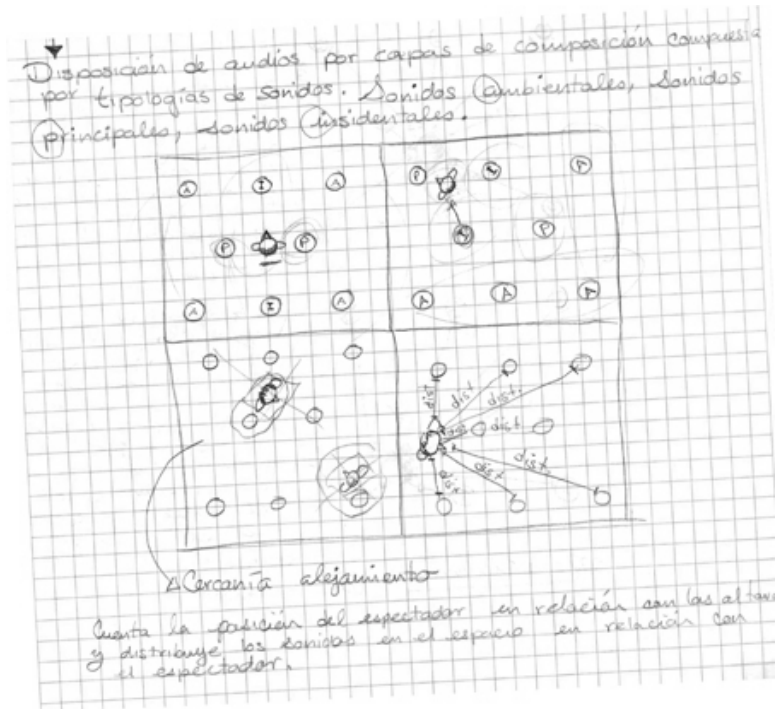


Fig. 4 Boceto detección de distancia de usuarios

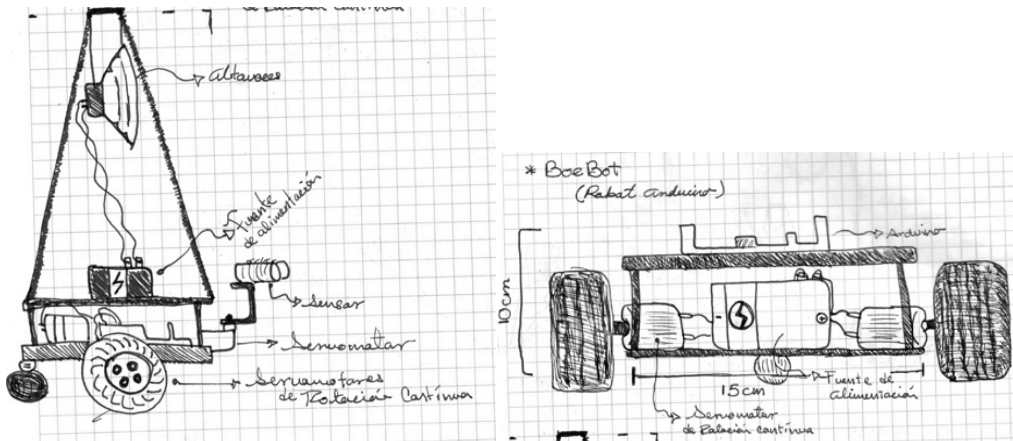


Fig. 5 y 6 Bocetos de construcción de interfaz física de desplazamiento

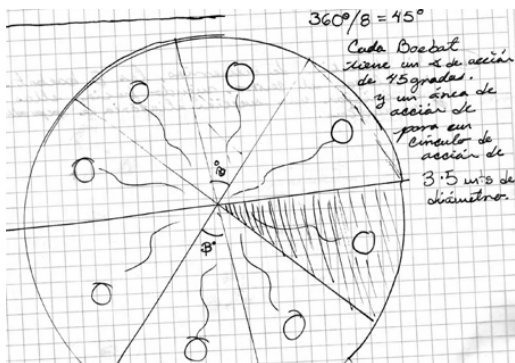


Fig. 7 Boceto secciones interactivas de instalación

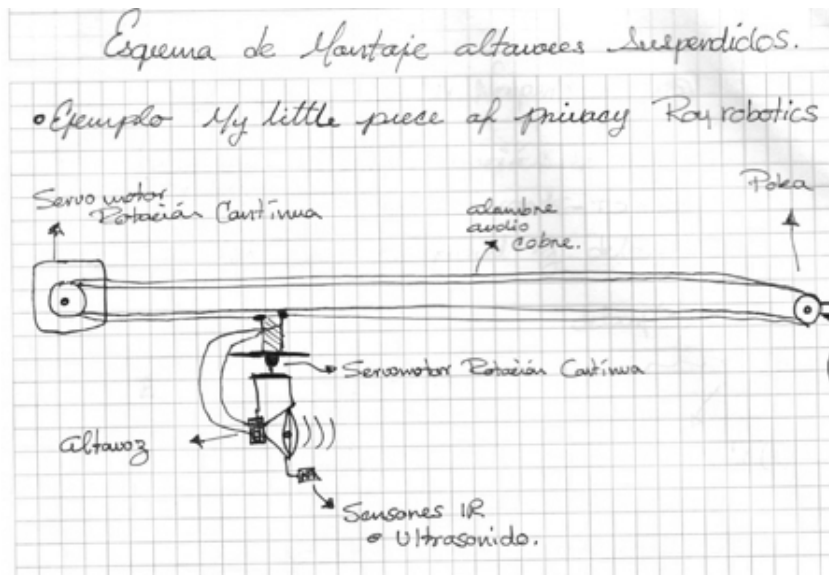
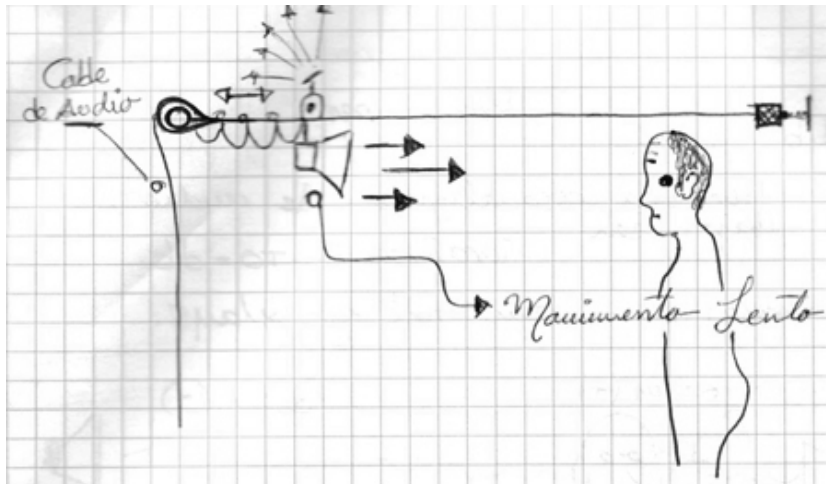


Fig. 8 Bocetos de interfaz de audio y guía de traslación

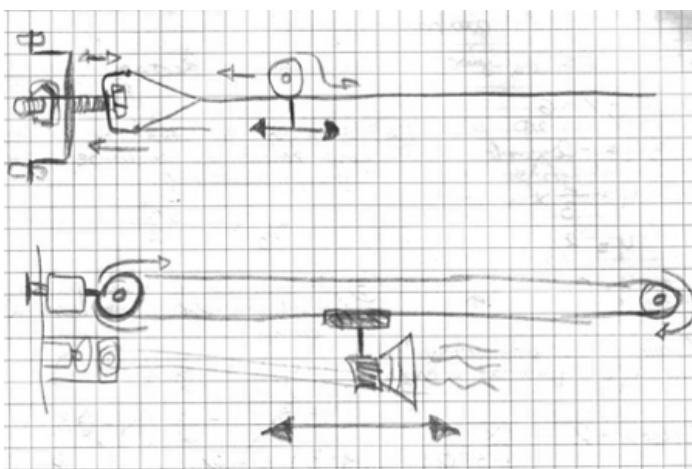


Fig. 9 Bocetos de construcción de dispositivo de desplazamiento

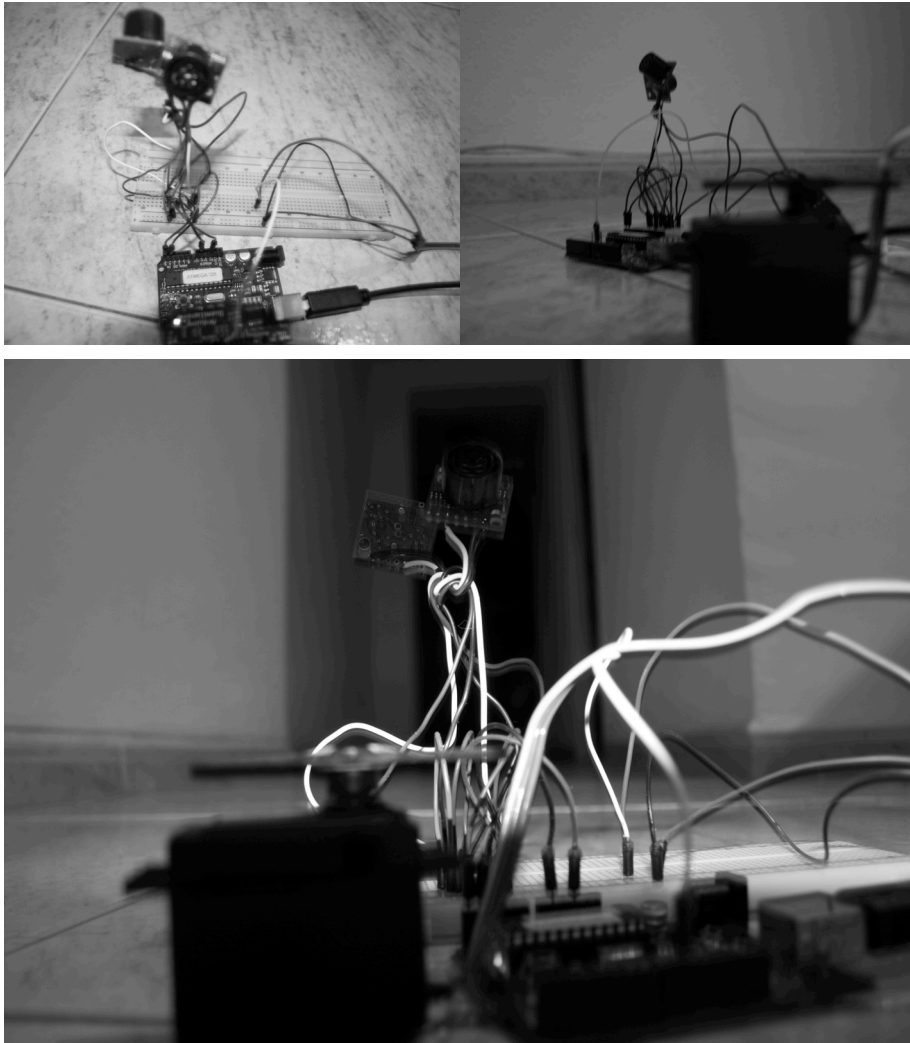


Fig. 10 Pruebas preliminares con sensores de ultrasonidos MAX Sonar Z-3.0

5.12.- Programación

5.12.1.- Blob Detection

```
import hypermedia.video.*; // importa librería de rep de video
import java.awt.*; // importa librería openCv de java

OpenCV opencv; // llama objeto Open CV

int w = 320; // ancho visualización
int h = 240; // alto visualización
int threshold = 20; // treshold inicial de imagen

PFont font; // importa fuente para escribir los datos de cada rectángulo

void setup() {
  size( w*2+30, h*2+30 ); // tamaño
  opencv = new OpenCV( this ); // crea objeto open cv
  opencv.movie( "baile.mov", width, height ); // carga archivo pelicula
  font = loadFont( "Arial-Black-12.vlw" ); // carga tamaño de fuente
  textFont( font, 14 ); // modifica tamaño fuente

  println( "Drag mouse inside sketch window to change threshold" );
  println( "Press space bar to record background image" ); // indicaciones impresas
  // en pantalla de salida Processing
}

void draw() {
  background(0); // color de fondo
  opencv.read(); // lee nuevo frame
  opencv.absDiff(); // analiza diferencias
  opencv.threshold(threshold); // modifica treshold
  image( opencv.image(), 0, 0 ); // enseña la imagen

  Blob[] blobs = opencv.blobs( 10, w*h/3, 150, true ); // genera arreglo de blobs
  // parámetros, anchoMin, altoMin, NúmroMáximo y booleano
  noFill();

  pushMatrix();
  translate(0,0); // para enmarcar dentro de un rectángulo
  // las partes analizadas que estén en movimiento(blobs)

  for( int i=0; i<blobs.length; i++ ) { // iteración dibujanúmero de blobs
```

```

//declarados en el arreglo.

Rectangle bounding_rect = blobs[i].rectangle;//arreglo rectángulos
float area = blobs[i].area;// propiedad área del rectángulo
float circumference = blobs[i].length;
Point centroid = blobs[i].centroid;//calcula centroide de cada rectángulo
Point[] points = blobs[i].points;//coloca un punto en el centroide

// rectangle<<
//para discriminar el ruido digital, o calcular cosas demasiado pequeñas o grandes
//para ser consideradas usuarios, se crean condiciones de discriminación

if(bounding_rect.width >50 && bounding_rect.width <150 || bounding_rect.height>50 &&
bounding_rect.height <150){
    // si el alto y ancho del objeto está entre los 50 y 150 píxeles, entonces es analizado
    noFill(); // genera recuadro sin relleno
    stroke( blobs[i].isHole ? 128 : 64 ); // agrega una línea de color a cada elemento del arreglo
    rect( bounding_rect.x, bounding_rect.y, bounding_rect.width, bounding_rect.height );// dibuja
rectángulo

// centroid

stroke(0,0,255);
line( centroid.x-5, centroid.y, centroid.x+5, centroid.y );
line( centroid.x, centroid.y-5, centroid.x, centroid.y+5 );//marca con una cruz en el centroide
noStroke();
fill(0,0,255);
text( area,centroid.x+5, centroid.y+5 );// muestra los valores numericos en x e y
// del centroide del blob

fill(255,0,255,64);//rellena con un color con transparencia
stroke(255,0,255);//color de margen del rectángulo
if ( points.length>0 && points.length < 20) { //rellena los blobs siguiendo
//el contorno de la figura que tenga, sin producir un polígono de mas de 20 aristas
    beginShape();
    for( int j=0; j<points.length; j++) {
        vertex( points[j].x, points[j].y );
    }
    endShape(CLOSE);
}

noStroke();
fill(255,0,255);
text( circumference, centroid.x+5, centroid.y+15 );

```



```

    }
    }
    popMatrix();

}
// comando para generar la imagen de referencia, controlada con la barra espaciadora
void keyPressed() {
    if ( key==' ' ) opencv.remember();
}
// control del treshold
void mousePressed() {
    float time = mouseX/float(width);
    opencv.jump( time ); // jump to a specified frame
}
// modificación de treshold
void mouseDragged() {
    threshold = int( map(mouseX,0,width,0,255) );
}

public void stop() {
    opencv.stop();
    super.stop();
}

```

5.12.2.- Servomotores Arduino biblioteca *Servo

//Este algoritmo desplaza a dos prototipo a lo largo de una guía de desplazamiento
//de 3.57 metros a una altura de 2.15 metros.

#include <Servo.h> // llama a la librería servo para comunicar con los motores.

```

Servo myservo; // crea un objeto tipo servo para controlar el servo
Servo myservo2;
Servo myservo3;
Servo myservo4;
int pos = 0; // variable para almacenar la posición del servo

```

```
void setup()
```

```

{
    myservo.attach(9); // liga el servo conectado en el pin 9 al objeto servo
    myservo2.attach(10); //liga el servo conectado al pin 10 con el objeto myservo2
    myservo3.attach(5); //liga el servo conectado al pin 5 con el objeto myservo3
    myservo4.attach(6); //liga el servo conectado al pin 6 con el objeto myservo4
    Serial.begin(9600); // inicia la comunicacion serial
}

```

```
void loop()
```

```

{
    pos++; // incrementa pos en 1 en cada iteracion de void loop
    delay(60); // espera 60 milisegundos
}

```

```

if(pos < 50){
  // si pos es menor q 50, todos los servos estan parados
  myservo.write(90); // recordar que para motores de rotación continua
                    // write(90) significa mantenerse estático.
  myservo2.write(90);
  myservo3.write(90);
  myservo4.write(90);

}

if(pos > 50 && pos < 200){
  // si pos esta entre 50 y 200
  myservo.write(180); //servos interfaz 1 en movimiento
  myservo2.write(0);

  myservo3.write(0); //servos en interfaz 2 en movimiento
  myservo4.write(180);

  Serial.println("avanza"); // imprime en la pantalla de Arduino que estas avanzando
}
if(pos>200 && pos < 250){
  // si pos esta entre 200 y 250
  // vuelve a detener los motores
  myservo.write(90);
  myservo2.write(90);
  myservo3.write(90);
  myservo4.write(90);
  Serial.println("parate");
}

if(pos >250 && pos < 400){
  // si posición esta en el rango entr 250 y 400
  // los motores retroceden.
  myservo.write(0);
  myservo2.write(180);
  myservo3.write(180);
  myservo4.write(0);
  Serial.println("retrocede"); // imprime en la ventana Arduino que retrocedes
}
if (pos > 400){
  pos = 0;
  //si posic'ón es mayor a 400 regresa a cero (loop)
}
Serial.println(pos);
}

```

5.12.3.- Servomotores Arduino Micropulsos.

```

int motor1=11; // inicia variable de control motor1
int motor2=9; // inicia variable de control motor2
int pinSonar= 0; // inicia pin de lectura del sensor MaxSonar
int val=0; //inicia variable val que contenga el valor de lectura del sensor
boolean swich; //declara una puerta lógica

void setup()

{

  pinMode(motor1,OUTPUT); // declara el modo salida de los motores
  pinMode(motor2,OUTPUT); //los pines de control de los servomotores

```

```

Serial.begin(9600); // inicia la comunicacion serial para leer los datos del sensor
}
void loop()
{
  val= analogRead(pinSonar); // val = a valor de lectura del sensor
  delay(25);

  if ( val <= 11){ //si el valor de lectura es menos a 11
    swich = true; // abre la puerta lógica
  }
  if ( val > 57){ //si el valor de lectura del sensor es mayor a 57
    swich = false; // cierra la puerta lógica
  }

  if (swich){ // si la puerta lógica esta abierta
    // mov hacia der
    digitalWrite (motor1, HIGH); //manda señal de pulsos al motor1
    delayMicroseconds(1700); //con intervalos de 1700 microsegundos
    digitalWrite (motor1, LOW); //entre pulso y pulso
    delay(20); // espera 20 milisegundos
    digitalWrite (motor2, HIGH); // manda señal de pulsos a motor2
    delayMicroseconds(1300); //con intervalos de 1300 microsegundos
    digitalWrite (motor2, LOW); //entre pulso y pulso
    delay(20);
  }
  else { //si la puerta logica esta cerrada
    //mov hacia izq
    digitalWrite (motor1, HIGH); //manda señal de pulsos al motor1
    delayMicroseconds(1300); //con intervalos de 1300 microsegundos
    digitalWrite (motor1, LOW); //entre pulso y pulso
    delay(20);
    digitalWrite (motor2, HIGH); //manda señal de pulsos al motor2
    delayMicroseconds(1700); //con intervalos de 1700 microsegundos
    digitalWrite (motor2, LOW); //entre pulso y pulso
    delay(20);
  }

  Serial.println(val); // imprime en la consola de Arduino el valor de lectura
    //del sensor. }

```

5.12.4.- Servomotores Arduino y Sensor MAX Sonar

```

#include <Servo.h>

Servo myservo; // Crea un objeto servo para controlar el servomotor

int pinSonar1 = 4; // Pin analógico usado para conectar el potenciómetro
int pinSonar2= 5;
int val; // variable para leer el valor del pin analógico
int val1;
int mapfront= 0;
int mapback= 0;
void setup()

{
  myservo.attach(9); // asocia el servo en pin 9 al objeto servo
  Serial.begin(9600);
  myservo.write(0);
}

void loop()

```

```

{
  //val = map(analogRead(pinSonar1),0,40,0,160);
  //val = analogRead(pinSonar1);
  // lee el valor del potenciómetro (valor entre 0 y 1023)
  // val1 = analogRead(pinSonar2);
  val1 = map(analogRead(pinSonar2),0,300,10,300);

  // escala el valor para usarlo con el servo (valor entre 0 y 180)
  // fija la posición del servo de acuerdo al valor escalado
  Serial.println(val,DEC);
  delay(1500);
  myservo.write(val1);
  //delay(2500);
  //myservo.write(10);
  delay(500);
  Serial.println(val1,DEC);
  // espera a que el servo se posicione
}

// importante el reconocimiento del sensor es un procedimiento a parte del
// movimiento del arduino.

//se necesitan dos valores como mínimo para poder mover el servo!!! el servo
// necesita delays largos el sensor necesita delays cortos!!!

```

5.12.5.- Programación Cercanía de usuario a fuentes sonoras.

```

void setup(){
  size(400, 400); //tamaño de canvas
}

void draw(){

  background(5); //dibuja background negro
  strokeWeight(2); // línea grosor
  stroke(255); //línea color
  line(0, 0,width,height); //línea1
  line(0,height/2, width,height/2); //línea2
  line(width/2,0,width/2,height); //línea3

  strokeWeight(1); //línea grosor
  stroke(255,0,0); // color línea
  line(mouseX,mouseY,-
(mouseX+mouseY)/2+(mouseX+mouseY),(mouseX+mouseY)/2); //líneaIntersec1
  line(mouseX,mouseY,mouseX,height/2); //línea Intersec2
  line(mouseX,mouseY,width/2,mouseY); // línea intersec3

  println(mouseX); // imprime valor x de mouse
  println("aaaaaa");
  println(mouseY); // imprime valor y de mouse

  noStroke();
  fill(255); // relleno color
  ellipse(mouseX,mouseY,15,15); // circunferencia
  fill(255,9,9); // relleno color

```

```

ellipse((mouseX+mouseY)/2,-(mouseX+mouseY)/2+mouseX+mouseY,7,7);//punto
intersección
ellipse(mouseX,height/2,7,7);
ellipse(width/2,mouseY,7,7);
}

```

5.13.- Capturas de Pantalla



Fig 12 y 13 blob detection

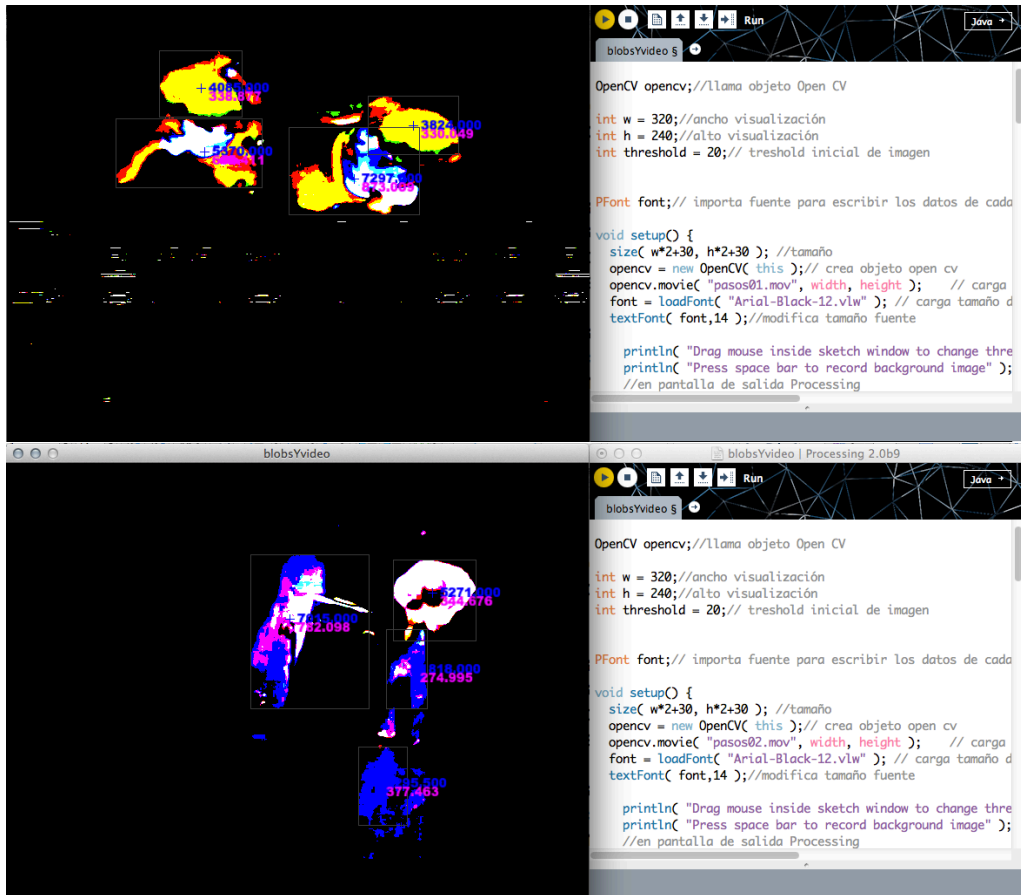


Fig. 14 y 15 blob detection.



Fig. 16 Spat Sound X2



Fig. 17 Spat Surround 23 X



Fig. 18 Spatsampler 8X

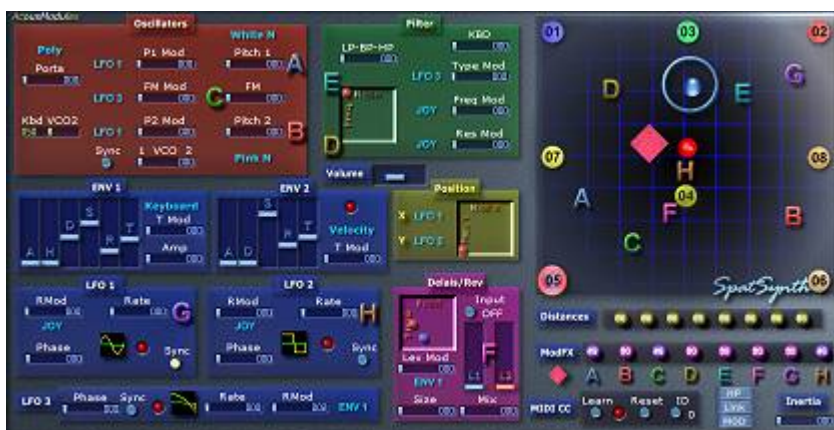


Fig. 19 Octoloooper X

6.- Bibliografía consultada

- «Arte procesual». *Wikipedia, la enciclopedia libre*, 29 de junio de 2013.
http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Arte_procesual&oldid=68011104.
- Bishop, Claire. *Installation Art: A Critical History*. Routledge, 2005.
- Cooper, Douglas. «Very nervous system». *Wired Magazine*, marzo de 1995.
- Daniels, Dieter. «Media → Art / Art → Media». Text, 15 de febrero de 2007.
http://medienkunstnetz.de/themes/overview_of_media_art/forerunners/scroll/.
- — —. «Sound & Vision in Avantgarde & Mainstream [1]». Text, 15 de febrero de 2007.
http://medienkunstnetz.de/themes/image-sound_relations/sound_vision/scroll/.
- Föllmer, Golo. «Audio Art». Text, 15 de febrero de 2007.
http://medienkunstnetz.de/themes/overview_of_media_art/audio/scroll/.
- García González, María Concepción. «ESPACIO ESCUCHADO Investigación sobre prácticas artísticas contemporáneas que utilizan el sonido como medio para definir espacios.» Universidad Complutense de Madrid, 2012.
<http://eprints.ucm.es/16687/1/T34018.pdf>.
- Garde, Isaías. «Peter Sloterdijk - El hombre operable». *Peter Sloterdijk - El hombre operable*. Accedido 6 de julio de 2013.
<http://bibliotecaignoraria.blogspot.com/2007/03/peter-sloterdijk-el-hombre-operable.html>.
- Interview with Sound Suit Creator Bernhard Leitner*, 2012.
http://www.youtube.com/watch?v=N3Xc-XNEGZ0&feature=youtube_gdata_player.
- Kaprow, Allan. *Essays on the Blurring of Art and Life*. University of California Press, 2003.
- «Karlheinz Stockhausen». *Wikipedia, la enciclopedia libre*, 14 de junio de 2013.
http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Karlheinz_Stockhausen&oldid=67292773.
- Leitner, Bernhard. *Sound:Space*. Hatje Cantz Publishers, 1999.
- Lozano-Hemmer, Rafael. *Frecuencia y Volumen*. Multimedia, abril de 2004.
<http://www.lozano-hemmer.com/>.
- Packer, Randall, y Ken Jordan. *Multimedia: From Wagner to Virtual Reality*. W W Norton & Company Incorporated, 2002.

- «Richard Serra». *Wikipedia, la enciclopedia libre*, 7 de septiembre de 2013.
http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Richard_Serra&oldid=69488429.
- Rocha, Manuel. «Estructura y percepción psicoacústica del paisaje sonoro electroacústico», 2004.
<http://www.artesonoro.net/articulos/Estructuraypercepcion.PDF>.
- Rokeby, David. *Dark Matter*. Multimedia, 2010.
http://www.davidrokeby.com/Dark_Matter.html.
- — —. *International Field*. Multimedia, 2011.
http://www.davidrokeby.com/int_feel.html.
- «Schaeffer Pierre. Tratado de Los Objetos Musicales». *Scribd*, 1956.
<http://es.scribd.com/doc/35937122/Schaeffer-Pierre-Tratado-de-Los-Objetos-Musicales-Fragmento>.
- Vande Gorne, Annette. «5th sound and music computing conference.SOUND IN SPACE SPACE IN SOUND», 2 de agosto de 2008.
opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2013/4002/pdf/9783798320949_content_u_cover.pdf.
- Zlatar, Mateo. «Aural Limbo, Space as a Sonic Interactive Interface.» *Electroacustics developing*, 2007.

Este proyecto fue realizado con el apoyo del programa de becas para estudios de postgrado en el extranjero FONCA-CONACYT del Fondo Nacional para la Cultura y las Artes. México 2012-2013.

