



Escuela Universitaria de Artes

Licenciatura en Música y Tecnología

Director de la carrera: Dr. Calcagno, Esteban

Tesis de Grado

**Diseño y desarrollo de una interfaz física aplicada a la automatización de  
un instrumento musical de teclado**

Autor: Cruz Galapito, Héctor Horacio. E-mail: cruzhector05@gmail.com

Director: Lic. Matus Lerner, Martín.

Buenos Aires, 2016.

## **Motivaciones a la realización de esta Tesis de Grado**

Una de las motivaciones para la realización de esta Tesis de grado se debe a una humilde intención de aporte a la música y a los instrumentos novedosos desarrollados a través de explorar y observar que pueden, a pesar de su desuso, recuperarse y convertirse en nuevos elementos para componer música. Aplicando la automatización del modelo de instrumento, como se dijo con anterioridad, un instrumento de teclado eléctrico de viento.

### **1. Resumen**

Desde la segunda mitad del siglo XVIII, músicos y constructores de instrumentos comienzan a mostrar una creciente atracción hacia los instrumentos musicales autómatas. Puede mencionarse el orquestrión<sup>1</sup>, por dar solo un ejemplo.

Durante la década de 1860 la industria mecanizada tomó el control de la producción en masa de instrumentos musicales autómatas: así comenzó una nueva fase de desarrollo y producción.

Hasta mediados del siglo XX gran parte de los instrumentos autómatas musicales eran mecánicos o neumáticos (Kapur, 2005). El advenimiento de la electrónica y la electromecánica ampliaron las posibilidades de automatización de instrumentos musicales (Maes, Raes y Rogers, 2011).

---

<sup>1</sup> El orquestrión es un autómata musical que apareció a finales del siglo XVIII. Como su nombre lo indica, nació con una pretensión de reemplazar a la orquesta. Era relativamente económico, y era habitual encontrarlo en restaurantes, tabernas y salones de baile entre finales del siglo XIX y principios del siglo XX.

La propuesta de esta tesis consiste en la automatización de un instrumento musical de teclado. Para este objetivo se diseñará una interfaz física que será aplicada a un órgano eléctrico de teclado fabricado por la empresa Giaccaglia Castelfidardo en Italia en el año 1970. El mismo será controlado mediante el protocolo MIDI, ya sea por medio de un controlador o de un secuenciador. Las teclas del instrumento musical serán pulsadas mecánicamente mediante actuadores controlados por el microcontrolador Arduino Mega 2650.

Este proyecto es una continuación de un trabajo iniciado en el marco del “Seminario de Actualización en Sonido, Ciencia y Tecnología II: Electrónica aplicada a la música” dictado por Martín Matus Lerner en 2013.

## **2. Justificación.**

Esta interfaz está diseñada y desarrollada para que, por ejemplo, músico, un desarrollador, un artista sonoro o un performer utilizando estén diseño, promoverá a diseñar modos y estilos de interacción y ejecución novedosas con respecto al convencional, expandiendo así sus posibilidades estéticas, compositivas o artísticas.

## **3. Antecedentes y estado de la cuestión.**

Hasta el siglo XIX, algunos instrumentos autómatas<sup>2</sup> utilizaban rollos de papel o planchas de cartón para su construcción. Eran mecánicos y dependían de un sistema binario: un agujero perforado en el rollo significaba nota activada y ningún agujero perforado, nota apagada (Raes, 2011). Otro ejemplo histórico de instrumento musical cuyo comportamiento es determinado de manera automática es el de la caja musical. Esta consta

---

<sup>2</sup> Por ejemplo los antiguos órganos Limonaire, las pianolas y los órganos Mortier.

de un sistema de engranajes y cilindros giratorios con púas en su superficie y láminas perforadas que son punteadas al girar el cilindro accionado por una fuerza ejercida manualmente.

La automatización de objetos para generar sonidos musicales puede encontrarse en períodos distintos de la historia. En el terreno artístico encontramos exponentes como George Antheil, en su composición para orquesta de instrumentos mecánicos autómatas de la obra *Ballet Mecanique* (1924) de Fernand Léger (Lehrman, 2000). Esta composición musical no pudo ejecutarse en el momento de su creación debido a la falta de medios tecnológicos para llevarse a cabo, sin embargo el proyecto LEMUR realizó por primera vez su versión completa en el año 2006, en el marco de una muestra de la Galería Nacional de Arte en Washington (Kennicott, 2006). Marcel Duchamp con su obra *La mariée mise à nu par ses célibataires, même, Erratum Musical* para “pianola, órganos mecánicos y otros nuevos instrumentos en los que el virtuoso intermediario es suprimido” (Kotik, 1991) es otro antecedente de la música automática. En la misma época, movimientos estéticos como el Dadaísmo también utilizaron con criterios diferentes a los que originalmente fueron concebidos diversos objetos mecánicos de uso corriente.

Con el desarrollo de los dispositivos electromecánicos y electroneumáticos y, tiempo después, con la aparición del micro-controlador, se potencia la práctica musical automática y se expanden notablemente las posibilidades de automatización entre los modernos constructores de instrumentos musicales.

En el año 2000 Eric Singer, músico e ingeniero funda LEMUR (League of Electronic Musical Urban Robots)<sup>3</sup>, un grupo de artistas, técnicos y músicos dedicados a abordar ejes

---

<sup>3</sup> En el año 2007 LEMUR atrajo la atención de Pat Metheny, que tenía la intención de componer para un nuevo tipo de hombre-orquesta. Singer desarrolló los instrumentos y se unió a él para los

referidos a la mecanización de objetos cotidianos e instrumentos musicales tradicionales y transformarlos en instrumentos musicales automatizados (Levine, 2010).

Uno de los exponentes actuales más importantes de la llamada “música mecánica” es Gogfried-Willem Raes quien además es compositor e intérprete. Otros investigadores y artistas actuales son Ajay Kapur, conocido por su trabajo pionero en robótica musical y el diseño de instrumentos electrónicos como su sitar electrónico, James Cochrane, quien se caracteriza por su trabajo con componentes electrónicos en desuso, y Roland Olbeter, quien desarrolló y dirigió la ópera de cámara “Orlando Furioso” para cinco robots musicales y soprano. El grupo de arte japonés Maywa Denki, utiliza instrumentos autómatas para sus presentaciones musicales. Cada trabajo de Maywa Denky se llama “un producto” y cada actuación en directo o exposición se celebra como “una demostración del producto” (Lynch, 2011).

## **1. La Antigüedad**

Homero, en su obra La Ilíada, (siglo VIII a. de C.) citó y describió a sirvientes mecánicos. Hefesto, el dios de la metalurgia, se encargó de la construcción de estos sirvientes. Entre el 400 - 350 a. de C., Arquitas de Tarento (Filósofo matemático, 428 a.C – 347 a.C ) construyó un pájaro automático.

Herón de Alejandría (10 d. C – 70 d. C) inventó muchos ingenios mecánicos que se movían, como estatuas animadas que representaban animales. Todo gracias a la hidráulica y rudimentarias máquinas de vapor.<sup>4</sup> Además ideó un mecanismo que abría y cerraba de forma automática las puertas de un templo. Contribuye a la explicación de la

---

ensayos en una iglesia de Brooklyn en 2008. Editaron dos álbumes: *Orchestrion* (2010) y *The Orchestrion Project* (2013).

<sup>4</sup> Web. 10 de Enero de 2016. <<http://www.xatakaciencia.com/robotica/los-primeros-automatas-de-la-historia>>

creación de mecanismos, para hacer robots<sup>5</sup> y que describe en su libro *Autómata*, realizado fundamentalmente como entretenimiento que imitaban el movimiento de aves que vuelan y beben, estatuas en movimiento o puertas automáticas todas producidas por el movimiento del agua, la gravedad o sistemas de palancas<sup>6</sup>.

En el siglo XV se colocaron relojes públicos en la mayoría de las ciudades importantes, y también se inventó el reloj de bolsillo. El uso de esta máquina obedeció a una nueva concepción del tiempo y a una nueva actitud frente al momento y sus exigencias<sup>7</sup>.

Un mecanismo autómatas, fue el denominado El escribano automático de Pierre Jacques-Droz<sup>8</sup>, que en 1774 lo presenta.

No tiene un comportamiento totalmente definido, sino que es parcialmente programable: moja la pluma en un tintero y escribe una carta, compuesta por cincuenta caracteres que pueden ser definidos por el usuario.

En la primera revolución industrial, los mecanismos mantienen los mismos principios de funcionamiento, pero reducen su tamaño y complejidad, hasta llegar a incorporarse al reloj de bolsillo o a cajitas musicales.

Desde la segunda mitad del siglo XVIII, músicos y constructores de instrumentos comienzan a mostrar una creciente atracción hacia los instrumentos musicales autómatas.

Hasta el siglo XIX, algunos instrumentos autómatas<sup>9</sup> utilizaban rollos de papel o planchas de cartón para su construcción. Eran mecánicos y dependían de un sistema

---

<sup>5</sup> Definición de robot, según la Real Academia Española: *Máquina o ingenio electrónico programable, capaz de manipular objetos y realizar operaciones antes reservadas solo a las personas*. Web. 10 de Enero de 2016. < <http://lema.rae.es/drae/?val=robot> >

<sup>6</sup> Web. 10 de Enero de 2016. < <http://es.slideshare.net/betyha1fer/de-autmatas-a-robots> >

<sup>7</sup> Web. 10 de Enero de 2016 < <http://www.si-educa.net/basico/ficha684.htm> >

<sup>8</sup> Constructor de autómatas y relojes suizo. (1721-1790)

<sup>9</sup> Por ejemplo, los antiguos órganos Limonaire, las pianolas y los órganos Mortier.

binario: un agujero perforado en el rollo significaba nota activada y ningún agujero perforado, nota apagada (Raes, 2011).

Así, surgen alternativas, en muchos casos neumáticas, incorporando gas comprimido con la energía necesaria para generar trabajo. Todas ellas pasan por la utilización de soportes perforados (de ahí el término “música perforada”), con mucha más capacidad que los cilindros, e incluso más versátiles de reemplazar a los mismos.

Emergen las tiras de cartón plegado, normalmente protegidas con laca, resistentes y, por tanto, útiles en los instrumentos de exterior (como en los órganos de lengüeta libre), así como las láminas de papel enrollado, menos perdurables en el tiempo pero más compactas y baratas, populares en los instrumentos como la pianola. (Peirón, 2009).

Antoni Escrig en su libro *El reloj milagroso* (2014), explica que existían en la entrada de los templos, objetos que al introducir por una rendija una moneda, emergía desde su interior un pequeño chorro de agua para el lavado del rostro. La moneda caía en un extremo de una palanca. Ésta bajaba, alzando el otro brazo que, acoplado a una válvula, dejaba pasar el agua. Cuando la moneda caía del extremo, la válvula volvía a su posición inicial, interrumpiendo el flujo del líquido. (Escrig, 2014) <sup>10</sup>

Un autómatas es un artefacto que posee un mecanismo que realiza determinadas acciones y movimientos que se encuentran ordenados en el tiempo. Inicialmente, la construcción de estos, podía encontrarse en entornos multidisciplinarios. (García Lana, 2014).

---

<sup>10</sup> Primeros sistemas mecánicos de la antigüedad. Web 10 de Enero de 2016.  
<<http://grupoalmuzara.com/a/fichalibro.php?libro=2793&edi=6>>

## **2. Instrumentos mecánicos.**

Los instrumentos automáticos reproducen sonidos a partir de unas instrucciones, predeterminadas de antemano.

En la Edad Media se desarrollaron aparatos mecánicos, sobre todo en el arte musical, pues los primeros grandes órganos eran obras maestras de ingeniería.

Durante la década de 1860 la industria mecanizada tomó el control de la producción en masa de instrumentos musicales autómatas: así comenzó una nueva fase de desarrollo y producción. Como ya se mencionó, en los movimientos mecánicos diseñados por Herón de Alejandría, se movían por palancas, sistemas hidráulicos, poleas y eran destinados con un fin lúdico. (Barrientos, Peñín, Balaguer, Aracil. 1997)

Antes de la llegada de los circuitos electrónicos, instrumentos como orquestriones<sup>11</sup> y organillos fueron construidos utilizando principios mecánicos o neumáticos. A mayor escala, los carillones en campanarios y en algunas torres de iglesias.

Un ejemplo histórico de instrumento musical cuyo comportamiento es determinado de manera automática es el de la caja musical.<sup>12</sup>

## **3. Instrumentos eléctricos basados en micro controladores.**

Con el desarrollo de los dispositivos electromecánicos y electroneumáticos y, tiempo después, con la aparición del micro-controlador, se potencia la práctica musical automática y

---

<sup>11</sup> El orquestrión es un autómata musical que apareció a finales del siglo XVIII. Como su nombre lo indica, nació con una pretensión de reemplazar a la orquesta. Era relativamente económico, y era habitual encontrarlo en restaurantes, tabernas y salones de baile entre finales del siglo XIX y principios del siglo XX.

<sup>12</sup> Esta consta de un sistema de engranajes y cilindros giratorios con púas en su superficie y láminas perforadas que son punteadas al girar el cilindro accionado por una fuerza ejercida manualmente.



se expanden notablemente las posibilidades de automatización entre los modernos constructores de instrumentos musicales.

En los años 70s surge una recuperación de los principios de los antiguos instrumentos autómatas musicales, a los que se suman los avances tecnológicos que vienen del desarrollo de la etapa electrónica y se multiplican por los nuevos conceptos que amplían el campo del arte, sentando precedentes a partir de las primeras vanguardias.

Aflora la etapa de los autómatas musicales electromecánicos, por ejemplo los diseños de Godfried-Willem Raes o el proyecto LEMUR, como acercamientos al automatismo musical desde una perspectiva de la exploración de nuevos discursos y posibilidades expresivas.<sup>13</sup>En el año 2000 Eric Singer, músico e ingeniero funda LEMUR (League of Electronic Musical Urban Robots)<sup>14</sup>, un grupo de artistas, técnicos y músicos dedicados a abordar ejes referidos a la mecanización de objetos cotidianos e instrumentos musicales tradicionales y transformarlos en instrumentos musicales autómatas. (Levine, 2010; Rank Lev, 2010).

A partir del origen de la electrónica surge la etapa en la cual las tecnologías encierran la música en una serie de procesos invisibles que solamente se exteriorizan a través de un altavoz. Es la época en la que se desarrollan innumerables instrumentos electrónicos así como sus aplicaciones expresivas.

---

<sup>13</sup> Autómatas Musicales Contemporáneos - Taller práctico de construcción de autómatas musicales electromecánicos. Web 10 de Enero de 2016 < <http://bilbaoarte.org/?p=6581668> >

<sup>14</sup> En el año 2007 LEMUR atrajo la atención de Pat Metheny, que tenía la intención de componer para un nuevo tipo de hombre-orquesta. Singer desarrolló los instrumentos y se unió a él para los ensayos en una iglesia de Brooklyn en 2008. Editaron dos álbumes: *Orchestrion* (2010) y *The Orchestrion Project* (2013).

Hasta mediados del siglo XX gran parte de los instrumentos autómatas musicales eran mecánicos o neumáticos (Kapur, 2005)<sup>15</sup>. El advenimiento de la electrónica y la electromecánica ampliaron las posibilidades de automatización de instrumentos musicales (Maes, Raes y Rogers, 2011).

Retrotrayéndonos en el tiempo, la automatización de objetos para generar sonidos musicales puede encontrarse en períodos distintos de la historia. En el terreno artístico encontramos exponentes como George Antheil, en su composición para orquesta de instrumentos mecánicos autómatas de la obra *Ballet Mecanique* (1924) de Fernand Léger (Lehrman, 2000). Esta composición musical no pudo ejecutarse en el momento de su creación debido a la falta de medios tecnológicos para llevarse a cabo, sin embargo el proyecto LEMUR realizó por primera vez su versión completa en el año 2006, en el marco de una muestra de la Galería Nacional de Arte en Washington (Kennicott, 2006). Marcel Duchamp con su obra *La mariée mise à nu par ses célibataires, même*, *Erratum Musical* para “pianola, órganos mecánicos y otros nuevos instrumentos en los que el virtuoso intermediario es suprimido” (Kotik, 1991) es otro antecedente de la música automática. En la misma época, movimientos estéticos como el Dadaísmo también utilizaron con criterios diferentes a los que originalmente fueron concebidos diversos objetos mecánicos de uso corriente.

---

<sup>15</sup> Motores neumáticos. Los motores neumáticos generalmente convierten el aire comprimido en trabajo mecánico a través de un movimiento lineal o principalmente rotativo. En este último caso el gas entra en una cámara del motor sellada y al expandirse ejerce presión contra las palas de un rotor. Este tipo de motores son una alternativa a los motores eléctricos cuando estos no son recomendados o posibles, como por ejemplo, en algunos entornos de la minería, industriales. Web 10 de Enero de 2016 <[http://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_neum%C3%A1tico](http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_neum%C3%A1tico)>

#### **4. Instrumentos robóticos.**

Al hablar de robótica es necesario realizar una distinción entre robótica industrial, que es la encargada de diseñar y estudiar robots manipuladores (trabajos fabriles en líneas, empresas automotrices, por ejemplo) y robótica enfocada al diseño de robots móviles con autonomía propia. Por ejemplo robots que pueden ser tele controlados y hasta desplazarse de un sitio a otro con un objetivo determinado y de manera autómata.

A lo largo de la historia el hombre se sintió atraído por el funcionamiento de máquinas y de tratar de imitar a través de ellas a la naturaleza, así como a sus funciones y a los seres vivos. Los griegos los denominaban *autómatos*.

De allí surge el concepto de autómata – máquina que imita el comportamiento de un ser animado. La palabra robot fue usada en el año 1921 en una obra de teatro llamada R,U.R (Karen Capek), de origen Checo por primera vez y proviene del vocablo checo *robota*, cuyo significado en español es: servidumbre / trabajador forzado.

Un instrumento robótico - musical es un dispositivo de sonido que automáticamente crea música a través del uso de piezas mecánicas, como motores, solenoides y engranajes.

La construcción y el uso de la robótica musical pueden ser utilizados por los compositores, músicos, y artistas de instalaciones para añadir profundidad expresiva de sus propias obras con instrumentos robóticos.

Diversos proyectos de automatización aparecieron a lo largo de la historia y sus diseños fueron perfeccionándose.

#### **5. Características de un instrumento de teclado.**

La pianola es uno de los primeros ejemplos de un instrumento musical de ejecución mecánica automática, impulsado por pedales o una manivela. (Kapur, 2005).

El piano, fue inventado por Bartolomeo Cristofori, un constructor de instrumentos experto de Italia, en el año 1700. La idea de la creación del piano fue construir un clave más sensible a la intensidad del sonido. Se caracterizaba por su construcción mecánica y sus cuerdas que sonaban al pulsar las teclas, haciendo que un martillo se encargue de golpearlas y obtener el sonido en diferentes frecuencias de resonancia.

La intensidad a la que un martillo golpea las cuerdas depende de la velocidad o fuerza con la que se presiona la tecla.

Henry Fourneaux, inventa el primer piano, llamado "El Pianista", en 1863. En 1876 es expuesto en Filadelfia.

El ingeniero Edwin Scott Votey en 1896, construye la "Pianola", dispositivo anexo al piano y con teclas de madera. La música es pre-compuesta y se distribuye en rollos perforados de papel accionado por pedales.

Edwin Welter, en 1897, introdujo un piano que utiliza la tecnología del telar inventado por Jacquard Mills, donde se controla a través de las tarjetas.

Estos modos de ejecución carecían de expresividad debido a la lectura de las tarjetas perforadas. En Leipzig (1905), Ludwig Hupfeld construyó un "piano de reproducción" que llamó "Dea", este dispositivo era mucho más expresivo que los antecesores. (Kapur, 2005)

En el año 1904, Welte mejora sus proyectos anteriores y crea su propio sistema de reproducción que fue alimentado con electricidad.

Actualmente los pianos automáticos controlados por datos de Protocolo MIDI pueden fabricarse en empresas como QRS Music y Yamaha. QRS Music creó una interfaz llamada

Pianomation<sup>16</sup>, que se puede adaptar a cualquier piano, mientras que Yamaha construye un piano con el nombre Disklavier<sup>17</sup> en el año 2000. (Kapur, 2005)

Tal vez lo más familiar para el público en general es ver robots antropomórficos industriales, desarrollados como humanos que desempeñan en la música como una forma de demostrar su destreza y el avance tecnológico. Observar tocar la trompeta al Robot de Toyota<sup>18</sup> es un ejemplo. También son antropomórficos en diversos grados, y buscan reproducir los mecanismos del ser humano (Solís et al 2006; Petersen et al. 2009) o para servir como interfaces físicas interactivas en la interacción hombre-máquina en contextos musicales de improvisación (Weinberg y Driscoll 2006). También, hay un número creciente de instrumentos acústicos automatizados creados por compositores y artistas sonoros que buscan explotar las capacidades únicas de estas máquinas.

## **6. Godfried-Willem Raes. ( Desarrollador de instrumentos autómatas).**

El Dr. Godfried-Willem Raes, (1952, Gante), es conocido a nivel mundial como 'Musicmaker'<sup>19</sup> en el sentido más amplio de la palabra: como un concierto-organizador él ha sido responsable desde 1973 hasta 1988, para la programación de conciertos de nueva música de la Sociedad Filarmónica en el Palacio de Bellas Artes de Bruselas, además de que también organizó y todavía organiza los conciertos que tienen lugar en la Fundación Logos en Gante, (unos ciento cincuenta al año).

---

<sup>16</sup> Web 10 de Enero de 2016 <<https://www.grsmusic.com/PMII.asp#> >

<sup>17</sup> Web 10 de Enero de 2016. < <http://usa.yamaha.com/products/musical-instruments/keyboards/disklaviers/>>

<sup>18</sup> Robot de Toyota. Web 10 de Enero de 2016  
<[http://www.toyotaglobal.com/innovation/partner\\_robot/family\\_2.html#h202](http://www.toyotaglobal.com/innovation/partner_robot/family_2.html#h202)>

<sup>19</sup> Creador, fabricante de sus propios instrumentos.

Como compositor / intérprete es el fundador del Grupo Logos (1968), del cual surge el Logos Dúo, con Moniek Darge<sup>20</sup> así como la conocida orquesta experimental <M & M>, operando con sus casi 60 robots musicales.

Publicó ensayos y artículos en publicaciones especializadas sobre el tema. En 1990 diseñó y construyó una sala de conciertos en forma de tetraedro para la Fundación Logos en Gante, un proyecto para el que recibió el premio Tech-Arte 1990.

Compositor y reconocido experto en la tecnología informática, la robótica y el arte electrónico interactivo, la tecnología de los instrumentos virtuales y su diseño y la invención. Es el autor de un extenso lenguaje de programación para la composición musical algorítmica en tiempo real: <GMT> que se ejecuta en la plataforma Wintel.<sup>21</sup>

Nos abocaremos a describir muy sintéticamente en algunos proyectos que Raes creó en los últimos tiempos como <HARMO>, este proyecto se centra en la automatización de un armonio del siglo XVII<sup>22</sup>.

Habitualmente en sus diseños automatizados de instrumentos, Raes utiliza un marco soldado en acero inoxidable como guía y en algunos casos adaptar allí los actuadores (solenoides, por ejemplo). Se utilizaron solenoides tubulares, de 20 Mm. de diámetro, para activar las teclas aquí sirviendo como palancas para reducir la fuerza requerida para empujar las paletas hacia abajo.

<HARMO> es controlado por once microcontroladores PIC y una toma entrada MIDI directamente. El instrumento puede reproducir archivos MIDI.

---

<sup>20</sup> Compositora, violinista. Instaladora sonora.

<sup>21</sup> Web 10 de enero de 2016. < <http://www.logosfoundation.org/cv-god.html#ENGLISH> >

<sup>22</sup> Web 10 de enero de 2016. Más descripción en  
< [http://logosfoundation.org/instrum\\_gwr/harmo.html](http://logosfoundation.org/instrum_gwr/harmo.html) >

<HARMO> fue diseñado desde el principio teniendo en cuenta el control de velocidad, sobre la base de sincronización precisa de un impulso inicial de alto voltaje para activar los solenoides de nota. El efecto de control de la velocidad o la sensibilidad táctil es, mucho menos eficaz que otros proyectos de Raes, por ejemplo en <Vox Humanola>, que se describe a continuación.

<Vox Humanola>, es el más antiguo de los órganos automatizados por Raes y por lo tanto uno de los miembros más antiguos de la orquesta robot M & M. Su construcción se inició en 1996.

Este módulo utiliza tubos, reciclados y restaurados de un viejo órgano de finales del siglo XVIII.

Su registro consta de cincuenta y seis tubos de caña. Su rango, (en notación MIDI, es de 36 a 91) y es polifónico. La presión del viento puede ser controlada por el usuario y a diferencia de los instrumentos electrónicos, los resultados pueden ser impredecibles si se desvían fuertemente de la presión normal del viento.

Los solenoides responden a controladores que empujan un fuelle para generar tonos más graves.

Como un elemento visual, se añadió una matriz de veinticinco leds, dispuestos en un arco en el panel frontal. Las luces se agrupan de cinco, cada grupo asignado en una nota en el rango de 92 a 96. Las luces se pueden programar como un metrónomo visual con movimiento pendular.

El <Vox Humanola> es un módulo transportable en sus propias ruedas. Su peso es de 250 kg y no pueden ser levantados a pulso. La conexión eléctrica requiere de corriente monofásica.

## **8. Proceso restauración del órgano Giaccaglia Castelfidardo.**

### **Etapas de restauración**

*Etapa 1:* Observación y puesta en funcionamiento del instrumento.

*Etapa 2:* Relevamiento de fallas visibles y primeros indicios de deterioro o mal funcionamiento de partes que lo componen.

*Etapa 3:* Desarme del instrumento (base, placas, motor, circuito eléctrico, teclas).

*Etapa 4:* Ensamble y primeras pruebas de funcionamiento.

*Etapa 5:* Correcciones de tipo mecánico y de piezas fundamentales para la sonoridad adecuada o de origen.

El teclado, en general, presentaba un deterioro propio del paso de los años y de su no utilización. Manchas de suciedad, color opaco, entre otros detalles en su caja principal.

La restauración del instrumento a automatizar, comenzó siendo un proyecto didáctico y experimental. La decisión de llevar a cabo un diseño de interfaz física para obtener la automatización del mismo, surgió luego.

El proceso de restauración se basó en indagar cuáles eran las piezas que funcionaban y cuáles no.

Fue una tarea minuciosa descubrir las fallas posibles, una de ellas fue que al encender el instrumento, éste emitía sonidos sin bajar ninguna tecla.

El problema fue resuelto al corroborar que las teclas estaban inclinadas hacia adelante debido a que por el desgaste del tiempo, los tornillos que ajustan la guía de acero, en donde se sujetan las teclas a través de resortes a la madera, cedieron y esto causó que las teclas se inclinasen hacia adelante, casi tocando el borde del cuerpo del instrumento e incluso varias teclas se habían adherido entre sí.



Por lo tanto, siempre estaban activas, esto no sucedía con todo el registro, solo con algunas de ellas.

Continuando, se restauraron las partes de madera buscando fallas que podían ser causadas por factores climáticos como la humedad, por ejemplo.

Las teclas se desmontaron en su totalidad (las cuatro octavas), se lubricaron los resortes y se reemplazaron aquellos que no cumplían con la función óptima de subir y bajar las teclas o dejarlas en posición de modo que cubra las ranuras y el aire no se disipe, por lo tanto que permanezca inactivo.

El instrumento posee un sonido típico y constante que produce el motor, esto no puede anularse ya que además intervine el plato giratorio, que conduce el aire por todo el interior del instrumento y lo libera por una ranura, ubicada en la parte frontal a la izquierda.

#### **Dimensiones del teclado.**

-Las dimensiones del teclado son las siguientes:

Ancho: 0,70 cm.

Alto: 0,14 cm.

Profundidad: 0,33 cm.

#### **Dimensiones del teclas.**

- Las medidas de las teclas blancas son de 2 cm. x 20 cm. cada una.

- Las medidas de las teclas negras son de 1 cm x 15 cm. cada una.

Las teclas se reducen 0.65 cm en dimensión hacia el extremo en dirección a la ranura del cuerpo del instrumento por donde sale el aire y la tecla tapa esta ranura.

Uno de los problemas a resolver, entre otros, fue el de los resortes que sostienen las teclas, debido a que algunos estaban estirados o se estiraron al desmontar las teclas. Conseguirlos no fue tarea fácil, debido al modelo de los mismos.

Para la realización de la interfaz física se consultó diferentes desarrollos anteriores a este trabajo y teniendo como referencia los parámetros intervinientes en ellos, se emplean dos conjuntos de componentes relacionados directamente entre sí: el hardware y el software.

A través del microcontrolador Arduino se programaron dos aspectos directamente relacionados para su funcionamiento: por un lado la parte electrónica (hardware) y por otro lado la parte propia de códigos de programación (software). Se utilizó este tipo de plataforma de código abierto con el fin de aportar al desarrollo de aquellos futuros usuarios que deseen continuar con el proyecto.

Para comenzar explicando el desarrollo del proceso de automatización del teclado debemos remitirnos a las ideas de poder llevar a cabo el proyecto de un automatizar un instrumento musical, contando o no con plataformas como placas microcontroladores en vinculación con actuadores, en este caso motores micro servos, como se ha mencionado con anterioridad.

El aporte de este trabajo está pensado para que un músico pueda interactuar e utilizar esta interfaz para una puesta en escena, y motivar el interés por parte de desarrolladores que busquen innovar y aplicar recursos desde lo compositivo musical. Basándose además de proyectos que surgen día a día y son publicados en libros, textos, documentos de divulgación científica o por parte de desarrolladores y que accedemos a través de diferentes vías como Internet, por ejemplo.

Para este proyecto se buscó crear una interfaz física versátil que fuese capaz de llevar a cabo dicho propósito, teniendo en cuenta el diseño sencillo y de fácil comprensión y a la vez que no sea algo complejo de comprender al menos en esta primera fase del proyecto.

El despiece del instrumento permitió proyectar las posibilidades de ensamble y qué tipo de actuadores utilizar así como qué materiales fuesen los convenientes, como ya se explicó más arriba en el texto, se trató de reciclar los mayores elementos que podían contribuir al mejor funcionamiento.

## **9. Proceso de automatización.**

La automatización consiste en aplicar la automática a un proceso o dispositivo. En una de sus acepciones la automática es definida como la “ciencia que trata de sustituir en un proceso el operador humano por dispositivos mecánicos o electrónicos”<sup>23</sup>. Este proyecto desarrollará la automatización de un instrumento musical para que éste pueda sonar sin necesidad de que un músico ejecutante esté en contacto directo con el mismo.

Este proyecto abarcó la expansión del modo de ejecución tradicional involucrando a la electrónica y a la informática vinculada a elementos mecánicos.

La idea de trabajar en la automatización de un instrumento musical, para esta Tesis, surge de descubrir e indagar acerca de la temática referida a los instrumentos musicales autómatas y utilizar recursos actuales informáticos teniendo como antecedentes históricos a los instrumentos mecánicos antiguos y su funcionamiento.

Observando y analizando varios proyectos y experiencias a cargo del ingeniero Godfried-Whillem Raes, Eric Singer y Ajay Kapur, por ejemplo, con respecto a la restauración y aplicación tecnológica, transformando y automatizando instrumentos musicales, generalmente antiguos o en desuso, en instrumentos autómatas vinculados a

---

<sup>23</sup> Real Academia Española. (2001). “automático, ca”. En *Diccionario de la lengua española* (22.<sup>a</sup> ed.). Web. 10 de Enero de 2016. <<http://lema.rae.es/drae/?val=autom%C3%A1tico>>

códigos tecnológicos y a matrices diseñadas especialmente para el caso en elementos mecánicos.

El objetivo fue diseñar y construir una interfaz física simple y versátil de bajo costo vinculada a un antiguo órgano eléctrico de teclado (construido por la empresa Giaccaglia Castelfidardo en Italia en el año 1970)<sup>24</sup>.. Las teclas se activaron a través del uso de motores microservos.que esté vinculada a un antiguo órgano eléctrico de teclado (construido por la empresa Giaccaglia Castelfidardo en Italia en el año 1970)<sup>25</sup>. Mediante el uso de motores micro servos se impulsaron el movimiento de las teclas, obteniendo el sonido propio del instrumento.

Se diseñó y construyó una interfaz física simple y versátil de bajo costo vinculada a un antiguo órgano eléctrico de teclado. Las teclas se activaron a través del uso de motores microservos , obteniendo el sonido del instrumento.

Mediante el microcontrolador Arduino Mega 2650 se programaron dos aspectos directamente relacionados para su funcionamiento: por un lado la parte electrónica (hardware) y por otro lado la parte propia de códigos de programación (software). Se utilizará este tipo de plataforma de código abierto con el fin de aportar al desarrollo de aquellos futuros usuarios que deseen continuar con el proyecto.

---

<sup>24</sup>Detalles de la historia del órgano Giaccaglia. Web 10 de Enero de 2016  
<<http://www.capponiclaudio.it/content/view/92/83/lang,italian/>>

<sup>25</sup>Detalles de la historia del órgano Giaccaglia. Web 10 de Enero de 2016  
<<http://www.capponiclaudio.it/content/view/92/83/lang,italian/>>

## **10. Diseño de interfaz física (electrónica – programación).**

Se utiliza para la construcción de la interfaz una placa microcontroladora Arduino Mega 2650 y motores microservos modelo sg 90 para comenzar a vincular los actuadores y la programación. Más adelante se detalla en fotos la elaboración y el código fuente.

La interfaz física se constituye de doce actuadores, motores microservos, en este caso, que serán los encargados de hacer sonar el instrumento, respondiendo al código de programación escrito en Arduino Mega 2560.

La interfaz-actuadores se encuentra en contacto directo con las teclas del teclado, al ejecutarse el sketch del microcontrolador, estos comienzan a moverse respondiendo al lenguaje de programación.

La conexión entre componentes es sencilla para un solo microservo, se necesita conectar cada uno de los tres cables que posee el microservo en su lugar correspondiente, aclarando que se conecta uno de los cables a una fuente de alimentación de 5v, el otro a tierra y el tercero a una de las entradas PWM, ya que el motor funciona por ancho de pulsos.

### **El circuito Midi In**

Además se diseñó un circuito MIDI IN para que el Arduino interprete los mensajes MIDI que recibiría.

El circuito Midi in se construyó en base a un diseño extraído del sitio Web Notes and Volts<sup>26</sup>.

### **Componentes utilizados:**

- Integrado 6N138.
- Ficha Midi In hembra.

---

<sup>26</sup> Web 10 de enero de 2016 < <http://www.notesandvolts.com/2012/01/fun-with-arduino-midi-input-basics.html> >

- Resistencia de 220 Ohm.
- Resistencia de 270 Ohm.
- Diodo 1N914.

### **Diseño de la interfaz física. El hardware.**

Los elementos que componen a la interfaz física son:

- La placa de conexionado de motores.
- El circuito Midi In.
- El microprocesador Arduino Mega 2560.
- Los actuadores encargados de ejercer el movimiento de las teclas del instrumento.

La construcción de las partes de la interfaz física está desarrollada a través de una estructura simple y de conexionados entre los diferentes elementos que intervienen.

La interfaz física se compone de cuatro factores mencionados que se relacionan directamente de manera física y virtual.

### **Placa de conexionado**

Está construida en una plaqueta experimental y consta de una columna de trece pines de contacto y tres columnas de doce pines de contacto. Además de una ficha receptora de la fuente de alimentación externa.

Los doce motores que son conectados a los tres pines de alimentación de la siguiente forma, a través de sus hilos conductores:

- **Primer hilo conductor**: Es el encargado de suministrar la alimentación a tierra (ground). Generalmente el color del cable es marrón.

- **Segundo hilo conductor:** Es el encargado de conducir la alimentación eléctrica. El color del cable es rojo.
- **Tercer hilo conductor:** Es el cable de control. Este pin se conecta a la placa Arduino a través de cables de conexión a los pines salida de la señal por modulación por ancho de pulso, del inglés Pulse Width Modulation o PWM. Generalmente el color del cable es naranja.

### **Construcción de la placa de conexionado.**

Como se dijo anteriormente, la placa de conexionado se construyó utilizando una plaqueta experimental islas y cuatro columnas de pines “machos” soldados a la misma plaqueta.

### **Actuadores - Motores microservos Sg 90**

Los servomotores son motores direccionales y posicionables y serán los encargados de dar movilidad a las teclas del instrumento.

Están compuestos de tres partes:

- **Pequeño motor DC:** En su interior, el servomotor alberga un pequeño motor de corriente continua que está conectado a una reductora, este es el encargado de proporcionar el movimiento.

- **Reductora:** Una reductora, es un cúmulo de engranajes interconectados entre si y diseñados de tal manera que intercambian potencia de tracción por velocidad.

- **Circuito controlador:** Interiormente, los servomotores disponen de un circuito para facilitar el posicionamiento del motor DC, debido a que los motores DC solo tienen una conexión de alimentación que los hace girar continuamente, posicionarlos con precisión

sería difícil, por esa razón, los servomotores disponen de un pequeño circuito que interpreta las señales externas y las traduce para controlar el motor.

La estrategia utilizada para este proyecto son las guías de aluminio que contienen en su interior a los actuadores y dispuestas por sobre las teclas del instrumento.

Arduino se encargará de la direccionalidad en grados, fuerza ejercida de los servos, como así también de la lectura de la secuencia a ser ejecutada. Para este caso se tratará de una composición sencilla de registración fija de mi autoría para esta tesis bajo el Protocolo MIDI.

#### **Dificultades con respecto a las guías.**

En principio se optó por guías plásticas para sujetar allí los actuadores, pero al momento de ponerse en movimiento las guías no soportaban la fuerza ejercida y esto impedía que su funcionamiento sea el esperado.

#### **Bibliografía.**

Doyle, Tom. "Pat Metheny's Orchestron. Orchestron Manoeuvres", Sound on Sound. Abril 2010. Web. 18 de Julio de 2014.

<<http://www.soundonsound.com/sos/apr10/articles/orchestron.htm>>

Kapur, Ajay. "A history of robotic musical instruments". Proceedings of the International Computer Music Conference. Barcelona, 2005.

Kapur, Ajay, et al., "A comparison of solenoid-based strategies for robotic drumming." International Computer Music Conference. Copenhagen, 2007.

Kennicott, Philip. " 'Ballet Mecanique': Dada's Siren Son". The Washington Post. Marzo, 2006. Web. 18 de Julio de 2014.

<<http://www.washingtonpost.com/wpdyn/content/article/2006/03/19/AR2006031901166.html>>



Kotik, Petr. "Liner notes to The Music of Marcel Duchamp". UbuWeb, 1991. Web. 18 de Julio de 2014. <<http://www.ubu.com/sound/duchamp.html>>

Lehrman, Paul D. The revival of George Antheil's 1924 Ballet mécanique. Web. 18 de Julio de 2014. <<http://paullehrman.home.comcast.net/~paullehrman/BalletMec.pdf>>

Levine, Marty. "Eric Singer's robotic device proves a mechanical and musical success". Web. 18 de Julio de 2014. <<http://www.postgazette.com/business/technology/2010/02/22/Eric-Singer-s-robotic-device-proves-a-mechanical-and-musical-success/stories/201002220187>>

Lynch, EDW. "The Wonderfully Whimsical Instruments of the Maywa Denki Art Group". Laughing Squid. Mayo, 2011. Web. 18 de Julio de 2014. <<http://laughingsquid.com/the-wonderfully-whimsical-instruments-of-the-maywa-denki-art-group/>>

Maes Laura; Raes ,Godfried-Willem; Rogers ,Troy. "The Man and Machine Robot Orchestra at Logos" 2011. Web. 18 de Julio de 2014. <[http://www.logosfoundation.org/g\\_texts/CMJ2011/CMJ2011.pdf](http://www.logosfoundation.org/g_texts/CMJ2011/CMJ2011.pdf)>

Raes, Godfried-Willem. "Expression control in automated musical instruments. An ongoing surveyreport". Ghent, 2011. Web. 18 de Julio de 2014. <[http://www.logosfoundation.org/g\\_texts/SCAD\\_2011/scad\\_robotorgans.pdf](http://www.logosfoundation.org/g_texts/SCAD_2011/scad_robotorgans.pdf)>

Rank Lev, Katy. "Not your grandma's player piano. The story of one man's mission to create robots that double as musical instruments". Mother nature network. Marzo 2010. Web. 18 de Julio de 2014. <<http://www.mnn.com/green-tech/gadgets-electronics/stories/not-your-grandmas-player-piano>>