



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

**FACULTAD DE ARTES**

**ROBOTS MUSICALES:**

**CONSTRUCCIÓN DE LA INTERACCIÓN MUSICAL ENTRE ROBOTS Y HUMANOS**

**TESIS**

Que para obtener el grado de  
**Maestro en Artes: Inter y Transdisciplinariedad**

**PRESENTA:**

Luis Alberto Castillo Flores

Director de Tesis: Dr. Eduardo Carpinteyro Lara

Asesor: Mtro. Marcos González Flores

Lector: Dr. Carlos Ángel Franco Galván

Puebla, Pue., a 2 de octubre de 2023

**DRA. NAKÚ MAGDALENA DÍAZ GONZÁLEZ SANTILLÁN**  
Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado  
Facultad de Artes  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
P r e s e n t e

Por este conducto el que suscribe: Dr. Eduardo Carpinteyro Lara en calidad de **director** de la tesis denominada: **“Robots Musicales: Construcción de la Interacción Musical entre Robots y Humanos”**, elaborada por el alumno de la **MAESTRÍA EN ARTES: INTER Y TRANSDISCIPLINARIEDAD** de nombre: Luis Alberto Castillo Flores, informo a usted que a mi juicio el trabajo citado cumple con los requisitos técnicos y metodológicos necesarios, por lo que no tengo inconveniente en liberarlo para que continúe con los trámites de titulación que procedan.

Sin otro particular, quedo de usted.

ATENTAMENTE  
H. Puebla de Z., 2 de octubre de 2023



**Dr. Eduardo Carpinteyro Lara**  
Director de Tesis



**Mtro. Marcos González Flores**  
ASESOR



**DR. Carlos Ángel Franco Galván**  
LECTOR

c.c.p. El Director de la Facultad de Artes, Mtro. Alberto Mendiola Olazagasti  
c.c.p. El Coordinadora de la Maestría en Artes: Inter y Transdisciplinariedad, Dr. Eduardo Carpinteyro Lara  
c.c.p. El alumno (s)

## Agradecimientos

Al maestro Gonzalo Macías Andere, quien me acompañó durante dos años con sus consejos y su paciencia para abordar mi proyecto.

A mis compañeros y amigos, en especial Magda y Sergio, con quienes compartí los mejores momentos de la maestría.

**Gracias**  
**Principalmente a mi familia.**

Al maestro Marcos González Flores, quien confió en mis capacidades y supo guiarme para poder realizar la programación del robot.

A todos los maestros que compartieron su conocimiento en estos dos años de maestría.

A los doctores Eduardo Carpinteyro Lara y Carlos Ángel Franco Galván por guiarme en el final de este camino de la maestría.

A mi mamá.

A mis hermanas Verónica, Adriana y Alejandra.

A mi papá.

Gracias por  
darme una  
infancia feliz,  
llena de juegos y  
curiosidad.

Porque cada uno, a su manera, me ha brindado el  
cariño y el apoyo que un hijo y hermano podría pedir.

Siempre estarán presentes.

<b>Introducción</b> .....	10
<b>Capítulo I: Robot musical</b> .....	14
<b>1.1 Antecedentes</b> .....	16
<b>1.2 La importancia del cuerpo del robot</b> .....	21
<b>1.2.1 Robot musical con forma del instrumento.</b> .....	23
<b>1.2.2 Robot musical antropomórfico.</b> .....	24
<b>1.2.3 Robot musical humanoide.</b> .....	26
<b>1.2.4 Robot musical protésico.</b> .....	28
<b>1.3 Clasificación del robot musical de acuerdo con el instrumento que interpreta</b> .....	29
<b>1.3.1 Robot musical de cuerda frotada.</b> .....	30
<b>1.3.2 Robot musical de cuerda pulsada.</b> .....	31
<b>1.3.3 Robot musical de aliento.</b> .....	33
<b>1.3.4 Robot musical de percusión.</b> .....	35
<b>1.3.5 Robot musical de teclado.</b> .....	37
<b>1.3.6 Robot musical cantante.</b> .....	38
<b>1.3.7 Robot musical de instrumento aumentado.</b> .....	39
<b>Capítulo II: Interacción musical entre robots y humanos</b> .....	40
<b>2.1 Construcción de la percepción de la interacción musical</b> .....	47
<b>2.2 Interacción musical con secuencias</b> .....	50

<b>2.3 Interacción musical pregunta – respuesta</b> .....	56
<b>Capítulo III: A3, B1, robots musicales percusionistas</b> .....	60
<b>3.1 Convirtiendo señal MIDI a LED o Solenoide</b> .....	61
<b>3.2 A3, mini robot musical</b> .....	63
<b>3.2.1 La forma de A.</b> .....	66
<b>3.2.2 El algoritmo de A3.</b> .....	69
<b>3.2.3 Robot A y la interacción musical con un humano.</b> .....	75
<b>3.3 B1, robot musical de glockenspiel</b> .....	79
<b>3.3.1 El cuerpo de B1.</b> .....	80
<b>3.3.1.1 Módulo cuerpo superior de B1.</b> .....	83
<b>3.3.1.2 Módulo base y electrónica de B1.</b> .....	84
<b>3.3.1.3 Módulo del instrumento de B1.</b> .....	84
<b>3.3.2 Algoritmo de secuencia MIDI.</b> .....	85
<b>3.3.3 La improvisación musical de B1.</b> .....	85
<b>3.3.3.1 El algoritmo de improvisación musical de B1.</b> .....	89
<b>3.3.4 Interacción musical con humano.</b> .....	95
<b>3.4 Ensamble musical de A3, B1 y músico humano</b> .....	96
<b>Conclusiones</b> .....	100
<b>Bibliografía</b> .....	104

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Listado de robots musicales de cuerda frotada</i> .....	31
<b>Tabla 2</b> <i>Listado de robots musicales que ejecutan un instrumento de cuerda pulsada</i> .....	32
<b>Tabla 3</b> <i>Listado de robots musicales de alientos</i> .....	34
<b>Tabla 4</b> <i>Listado de robots musicales de percusiones</i> .....	35
<b>Tabla 5</b> <i>Listado de robots musicales que ejecutan el teclado</i> .....	37
<b>Tabla 6</b> <i>Tabla de robots musicales cantantes</i> .....	38
<b>Tabla 7</b> <i>Tabla de robots musicales de instrumentos aumentados</i> .....	39
<b>Tabla 8</b> <i>Relación Valores MIDI y salidas físicas del robot A3</i> .....	70
<b>Tabla 9</b> <i>Notas MIDI que se utilizan para el robot B1</i> .....	85
<b>Tabla 10</b> <i>Ejemplo de improvisación a una sola nota del robot B1</i> .....	88
<b>Tabla 11</b> <i>Ejemplo de una improvisación del robot B1: dos notas simultáneas y una desfasada</i>	89

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Presentación musical de Moritz Simon Geist y sus robots musicales</i> .....	24
<b>Figura 2</b> <i>Shimon tocando la marimba</i> .....	26
<b>Figura 3</b> <i>Don Cuco el Guapo tocando una canción en su teclado</i> .....	27
<b>Figura 4</b> <i>Alter 3 dirigiendo una orquesta</i> .....	28
<b>Figura 5</b> <i>Jason Barnes y su prótesis robótica</i> .....	29
<b>Figura 6</b> <i>Fotograma del video de “Don’t Stop ‘Til You Get Enough” de Jacob Collier</i> .....	52
<b>Figura 7</b> <i>Teddy Bear Orchestra con Jay Vance</i> .....	53
<b>Figura 8</b> <i>Público interactuando con la instalación robótica MR-808 mediante las secuencias creadas por ellos</i> .....	55
<b>Figura 9</b> <i>Diagrama de programas para encender un LED utilizando MIDI dentro de Cubase</i> .	62
<b>Figura 10</b> <i>Diagrama de programas para encender un LED y un solenoide utilizando MIDI dentro de Cubase</i> .....	63
<b>Figura 11</b> <i>Módulos que componen al mini robot musical A3</i> .....	64
<b>Figura 12</b> <i>Mini robot musical A3 junto a los instrumentos que interpreta</i> .....	65
<b>Figura 13</b> <i>Algunos bocetos del robot A creados el 20 y 21 de marzo del 2022, enumerados en orden de creación</i> .....	67
<b>Figura 14</b> <i>El robot A ejecutando una secuencia</i> .....	68
<b>Figura 15</b> <i>Diagrama que indica la cadena de procesos</i> .....	69
<b>Figura 16</b> <i>Diagrama del funcionamiento del algoritmo de A3</i> .....	72
<b>Figura 17</b> <i>Diagrama de la función lee midi</i> .....	74
<b>Figura 18</b> <i>Robot musical A tocando una miniatura original con Luis Alberto Castillo Flores [Fotograma]</i> .....	77



<b>Figura 19</b> <i>A3 y Luis Alberto Castillo Flores tocando la miniatura 2</i> .....	78
<b>Figura 20</b> <i>Diagrama de módulos que construyen el cuerpo de B1</i> .....	81
<b>Figura 21</b> <i>Bocetos de B1, enumerados en orden de creación, junio 2022</i> .....	83
<b>Figura 22</b> <i>Ejemplo de improvisación a una sola nota del robot B1 en partitura</i> .....	88
<b>Figura 23</b> <i>Ejemplo de una improvisación del robot B1 en partitura: dos notas simultáneas y una desfasada</i> .....	89
<b>Figura 24</b> <i>Diagrama del algoritmo de improvisación de B1</i> .....	92
<b>Figura 25</b> <i>Diagrama de la función Bandera midi</i> .....	94
<b>Figura 26</b> <i>Fotograma del video titulado Robot Musical BUAP (Luis Castillo)</i> .....	97

## **Robots musicales: construcción de la interacción musical entre robots y humanos**

### **Introducción**

Este trabajo tiene sus principios cuando, al ser estudiante de técnico en guitarra, vi funcionar parcialmente al robot Don Cuco el Guapo, siendo éste mi primer acercamiento a robots musicales y desde entonces me quedó la curiosidad de combinar la tecnología con la música. La creación de un robot musical me parecía algo inalcanzable en ese entonces, por lo que no le di demasiada importancia, además de que en el medio escolar musical en el que me desarrollaba se hablaba muy poco sobre el tema de robots musicales.

En la Licenciatura en Música empecé a desarrollar la indagación en robots musicales, gracias a la materia de Metodología de la Investigación, la cual me llevo a descubrir a una banda de robots llamada Z-machines que me sorprendió, no solo por lo complicado que se veían los robots, sino que la música me parecía completamente fresca por la gran velocidad de ejecución sobre un instrumento, además de que pude darme cuenta que los robots también podían ser un ensamble musical y tener una presentación como lo hacen los humanos.

Durante el aislamiento provocado por la pandemia del SARS-COV-2 (2020-2021) surge el pensamiento de construir un robot musical con quien poder tocar, por lo que decido reaprender a programar –ya que durante dos años estudié Ingeniería en Ciencias de la Computación aunque no la concluí–, gracias a esto me doy cuenta que puedo construir un robot musical, ya que la tecnología se ha vuelto muy accesible y con un costo razonable, por lo que construir un robot musical sería más fácil de lograr, así nace la idea de ser compositor-constructor.

De esta manera podemos hablar de una interdisciplina: el revisar mis conocimientos de programación y trasladarlos a la composición musical, creando un diálogo entre estas dos

disciplinas. La interdisciplina es descrita por Nicolescu (1996) como la transferencia de métodos entre las disciplinas, en la cual se distinguen tres grados, un grado de aplicación, un grado epistemológico y un grado de generar nuevas disciplinas. De los tres niveles propuestos por este autor para las formas de interdisciplinariedad, el presente proyecto estaría en el primero, el de aplicación, puesto que, como se leerá en el desarrollo de este texto, la programación se integra en la composición musical.

La primera disciplina de esta conjunción, desde una perspectiva temporal, es Ciencias de la Computación, específicamente la programación y, al mismo tiempo, se relaciona con electrónica gracias a Arduino,<sup>1</sup> que es una plataforma electrónica de código abierto que utiliza *hardware* y *software* que son fáciles de usar, de esta manera cualquiera puede realizar proyectos interactivos.

Música es mi disciplina principal, específicamente la composición musical, por lo que había que encontrar una manera para traducir las obras musicales y que pudieran ser leídas y ejecutadas por los robots musicales. Esto me llevó a utilizar múltiples programas que permiten escribir partituras, como *Sibelius*, *MuseScore*, y *Guitar Pro*, entre otros con los que ya estaba familiarizado por mi labor de compositor. También utilicé el programa de Cubase que, además de ser un *software* para la grabación y edición sonora, me permite enviar datos o señales externas —conceptos que se explicarán a detalle más adelante.

Así mismo, la robótica, mi tercera disciplina, me permitiría diseñar y crear robots musicales; si bien ésta ya puede integrar a otras disciplinas, como la electrónica y la computación, orientadas solamente a la creación y funcionamiento del robot. El diseño de la

---

<sup>1</sup> En la página de Arduino puedes conocer más sobre ésta plataforma y sus componentes (Arduino, 2018).

forma del robot me hacía cuestionarme sobre la interacción musical que existe entre robots y humanos, y si el cuerpo o forma del robot influye en ésta, tema pertinente a la robótica.

En el punto de inicio, estas tres eran las disciplinas que tenía contempladas, pero durante la maestría pude darme cuenta de que era necesario integrar una más, la psicología, ya que complementa varias ideas sobre la construcción social de la interacción entre robots y humanos.

He decidido dividir este trabajo en tres capítulos; el primero, “Robot musical”, muestra la investigación sobre la existencia, la construcción de, y los proyectos enfocados a los robots musicales o instrumentos automatizados. Este capítulo, además de presentar ideas para la construcción de algún robot musical, me sirve para poder crear un catálogo y visibilizar la gran cantidad de proyectos que hasta la fecha existen, aunque lamentablemente no pude encontrar tantos en México como en otros países. Del mismo modo, en este capítulo se hace notar lo rápido que ha ido cambiando la tecnología, ya que en un principio los robots musicales eran creados por grandes grupos de personas y, mientras más nos acercamos a la actualidad, es posible encontrar la construcción de varios robots musicales por una sola persona.

El siguiente capítulo, “Interacción musical entre robots y humanos”, continúa con la investigación orientada solamente en este rubro, pero ahora con respecto a la interacción musical, la cual puede ser, entre otras, una construcción conformada por el movimiento de los robots y de algoritmos relacionados con la composición musical que terminan resolviendo las interacciones sonoras y físicas entre el robot musical y el humano.

Para poder entender la interacción musical, fue necesario tener una perspectiva inter y transdisciplinaria,<sup>2</sup> ya que pude percatarme que había muchos casos y estudios en los que la interacción con robots que no son musicales requerían de algo más que solo la existencia del robot, ese algo más es el movimiento del cuerpo del robot y lo que espera el ser humano de éste. Este aspecto se desarrollará en el segundo capítulo.

Por último, el tercer capítulo “A3, B1, robots musicales percusionistas” tiene como objetivo mostrar partes de mi proceso de creación y construcción de estos robots musicales, que ejecutan instrumentos de percusión como el glockenspiel, explicar su programación y algoritmos, y cómo estos se interrelacionan con los arreglos y composición musical para un ensamble de robot–humano. Se explica asimismo cómo es la ejecución de las obras por este nuevo ensamble y finalmente se detalla la construcción que fui realizando de la interacción musical. De esta manera, el último capítulo tiene un enfoque inter y transdisciplinario donde se muestra mi experiencia transcurrida al integrar las disciplinas para poder construir y tocar junto a robots musicales.

---

<sup>2</sup> De acuerdo a Nicolescu (1996) la transdisciplinariedad se entiende como lo que está al mismo tiempo entre la disciplina, a través de la disciplina y más allá de cualquier disciplina. En otras palabras, es el sujeto el que une este espacio entre disciplinas.

## Capítulo I: Robot musical

Este capítulo pretende aclarar y definir qué es un robot musical, se mostrarán proyectos de robots musicales de varios lugares del mundo con breves descripciones de su funcionamiento, se describen las características e importancia que estos pueden tener de acuerdo con sus formas y movimientos en una interacción musical, y finalmente se propone una categorización de acuerdo al tipo de instrumentos que estos tocan.

Para Kapur (2005) un instrumento musical robótico es un dispositivo que tiene la capacidad de crear música automáticamente con el uso de partes mecánicas, como motores, solenoides<sup>3</sup> y engranajes. Por otro lado, Weinberg y Driscoll (2006) definen la musicalidad robótica como una combinación de habilidades musicales, percepción e interacción con la posibilidad de producir respuestas acústicas, físicas y visuales.

Teniendo en cuenta ambas propuestas, se propone la definición de un robot musical como un objeto que está construido de *hardware* y *software* que le dotan de capacidad para ejecutar música, utilizando partes mecánicas para la interacción con el instrumento físico y que puede tener la capacidad de percibir e interactuar física y musicalmente con el ser humano u otro robot.

Es necesario aclarar que los robots musicales, en principio, no buscan sustituir a un intérprete humano, sino poder explorar más allá de las limitaciones físicas del ser humano para poder ejecutar un instrumento. Del mismo modo se busca explorar nuevas formas de componer para instrumentos tradicionales ejecutados por robots musicales o instrumentos creados específicamente para el robot. También se indaga en la exploración de la corporeidad del robot en un escenario, al interactuar con el intérprete humano o con el público.

---

<sup>3</sup> Un solenoide es una bobina cilíndrica alambrada, al pasar corriente se asemeja a un imán que empuja o atrae su contenido.

Se propone, pese a la posible preferencia que el público de una ejecución musical pudiera poseer, que un robot musical no debe tener necesariamente la forma de un ser humano, ya que esto puede tener como consecuencia las mismas limitaciones del ser humano a la hora de ejecutar música, e inclusive podría crear mayores restricciones por la dificultad de imitar ciertos movimientos de las manos. De hecho, se pueden observar un gran número de robots musicales que ni si quiera tienen una forma más allá del instrumento que van a ejecutar.

Con el avance de la tecnología de los últimos años y el fácil acceso a múltiples conocimientos por medio del internet, cabe destacar que, a diferencia de proyectos realizados en los noventas y antes, ahora es posible crear un robot musical sin la necesidad de tener un equipo de trabajo muy grande. La creación puede ser iniciada por una sola persona que entienda o domine por lo menos los campos de la música y robótica.

Quizás, en algún momento de nuestra vida, se han observado a múltiples instrumentistas que suelen utilizar pistas de audio para acompañarse en una presentación musical. Esto es más habitual en presentaciones musicales de sobremesa, donde los solistas, sean cantantes, saxofonistas, violinistas, guitarristas, entre otros, utilizan la pista como parte necesaria para cumplir con una buena presentación musical. Entonces, ¿qué podría aportar un robot musical en estas situaciones? La respuesta está en el cuerpo del robot y la idea de una interacción entre ser humano y robot, como si se tratase de cualquier ensamble musical.

En la composición musical se observa que ésta se vuelve más compleja al incluir un robot, ya que en algunos casos es necesario componer pensando no solo en lenguaje musical, sino también en algún lenguaje de programación, cuyo resultado es la integración de múltiples disciplinas para poder crear una obra musical ejecutada por un robot musical.

## 1.1 Antecedentes

Si bien no es la intención del presente texto profundizar en la historia de los robots musicales, debemos mencionar que existen aquellos que pueden tocar en grupo con seres humanos como si fuese una presentación normal de grupos musicales tradicionales, y también se da el caso de grupos que no incluyen seres humanos. Ambas opciones van desde orquestas hasta grupos con alineaciones más populares de esta época, integrados por guitarras eléctricas, batería, bajo eléctrico y teclado, entre otros.

Antes de continuar es necesario mencionar que gran parte de estos robots pueden leer y ejecutar la música gracias a un importante protocolo musical llamado MIDI. Yelton (2015) nos dice que MIDI son las siglas de *Musical Instrument Digital Interface*, que se convirtió en el estándar para comunicar el *hardware* y *software*. Este protocolo nos permite mandar mensajes o comandos que nos pueden indicar qué nota se está tocando, su duración, velocidad o fuerza con la que se pulsa la nota, entre otros.

Por ejemplo, el Disklavier, un piano desarrollado por la empresa Yamaha, tiene la capacidad de leer y ejecutar música, aunque de cierto modo sigue la misma lógica de una pianola o piano mecánico para la ejecución del instrumento, esto es: codificar la música de tal manera que pueda ser leída y ejecutada por el mismo piano. De acuerdo a Disklavier - Yamaha - España (s/f) este instrumento fue creado en la década de 1970 y su nombre se origina en la combinación de dos palabras. La primera es *Disk* ya que los archivos eran guardados en los antiguos *floppy disks*, mientras que *Klavier* significa teclado en alemán. Este piano utiliza el lenguaje MIDI para poder transmitir la información necesaria de la música que va a ser ejecutada o grabar la ejecución de un instrumentista. Además, con el paso del tiempo ha tenido múltiples



actualizaciones que han mejorado la ejecución del teclado. Asimismo, este instrumento puede ser interpretado por un ser humano al mismo tiempo que va ejecutando música.

Más allá de lo que ofrece el Disklavier, existen ejemplos de ensambles que incluyen robots entre sus integrantes. En Bélgica existe una orquesta de robots llamada Logos Robot Orchestra; Maes et al. (2011) comentan sobre esta orquesta, creada por la fundación Logos en 1968, que incluye múltiples robots musicales que permiten, por un lado, crear distintos ensambles, y, por otro, conjuntar toda una orquesta de robots musicales. Estos ejecutan instrumentos por cuestiones acústicas y tienen la posibilidad de tener gran precisión de ejecución, ya que son controlados por computadora. Además, Maes et al. dicen que esto no debería preocupar a los intérpretes humanos y mencionan que “[la] intención no es remplazar a los músicos humanos, sino expandir las posibilidades musicales”<sup>4</sup> (2011, p32).

Actualmente los grupos musicales pueden incluir robots musicales como solistas, como integrantes o inclusive como la totalidad del grupo, como es el caso del grupo alemán llamado Compressorhead. La descripción que da Davies y Crosby (2016) es de una banda de *heavy metal* compuesta de robots antropomórficos, demostrando que los robots pueden ser músicos e incluso celebridades. Una de sus principales características es la narrativa ficticia que tiene la banda para poder crear una experiencia de entretenimiento.

Por otro lado, Z-machines es un trío de robots creados en el 2013 en Japón que muestra la gran velocidad de ejecución sobre sus instrumentos. Los tres robots del grupo interpretan, respectivamente, guitarra, teclado y batería. En este caso Bakare (2014) nos menciona que el robot guitarrista tiene 78 dedos, el baterista tiene 22 brazos y el tecladista utiliza rayos láser que

---

<sup>4</sup> Traducción propia del texto: “[The] intention is not to replace human performers, but to expand musical possibilities”.

salen de sus ojos. El reto en este proyecto es que los robots puedan tocar música que atrape emocionalmente al público mientras redescubre nuevas posibilidades de ejecución sobre los instrumentos convencionales. La música que ejecuta Z-Machines es una creación original del artista Squarepusher, quien creó para estos robots cinco obras musicales que quedaron grabadas en un compilado titulado *Music for Robots*.

Uno de los robots musicales que más ha llamado la atención por sus posibilidades de interacción y ejecución es Shimon, un robot marimbero creado en los Estados Unidos. De acuerdo a Weinberg et al. (2020), se busca en Shimon la habilidad de poder tocar tanto melódicamente como armónicamente, es por esto que ejecuta una marimba, además, la intención es que se pueda comunicar con sus compañeros musicales humanos utilizando gestos musicales que tienen un significado explícito a la hora de interpretar música entre un grupo de músicos. Weinberg et al. (2020) comentan que Shimon está construido con cuatro brazos, lo que le permite tocar todas las notas de la marimba, y además tiene una cabeza que lo hace ser socialmente expresivo.

Shimon tiene la habilidad de mostrar expresiones que pueden permitir una interacción musical visual con sus compañeros. Richard Savery, miembro del equipo que ha colaborado con el robot, lo expresa de la siguiente manera:

Realmente se siente como otro músico en el escenario. Es como si fuera otra persona allá arriba. Es como, un montón de diálogos entre él y yo. Además, cuando trabajas con el

robot todos los días, se vuelve como trabajar con otra persona.<sup>5</sup> (Georgia Tech, 2020, 1m39s)

Es necesario decir que Shimon ya tiene la habilidad de cantar, por esta razón Lisa Zahray, otra colaboradora del Dr. Weinberg que también aparece en el mismo video, menciona la importancia de los movimientos de la boca de Shimon: “Empecé tratando de sincronizar la boca de Shimon con la letra, lo cual fue un desafío, tenemos diferentes poses de la boca para diferentes sonidos de una palabra”<sup>6</sup> (Georgia Tech, 2020, 2m31s). Asimismo, Weinberg añade:

Estamos entrenando al robot mediante *machine learning*<sup>7</sup> a partir de conjuntos de datos de letras. Sucede que estos conjuntos de datos están basados en el género [musical], entonces cualquiera que sea la letra de este género, aprenderá la correlación, las características y las conexiones entre las letras, y [la letra] surge en base a las palabras claves. Le doy las palabras claves, por ejemplo, espacio y tiempo. Irá a su conjunto de datos y generará nuevas letras.<sup>8</sup> (Georgia Tech, 2020, 36s)

Es así que se comprueba que, con los avances de la tecnología y el fácil acceso a múltiples conocimientos, cada vez es más sencillo que una sola persona pueda crear un robot musical o un grupo de robots musicales. Como es el caso de Aaron Todd, creador de One Hacker

---

<sup>5</sup> Traducción propia de la siguiente transcripción, tomada de los subtítulos del video: “It really just feels like another musician on stage. It’s like another person up there. It all, kind of, lots of dialogue between me and him. Also, when you work with the robot every day, it becomes like working with a person”.

<sup>6</sup> Traducción propia de la siguiente transcripción, tomada de los subtítulos del video: “I started out with trying to synchronize Shimon’s mouth to the lyrics, which was a bit of a challenge. We have different poses of the mouth for different sounds of a word”.

<sup>7</sup> Para Was Rahman (2020) *Machine learning* es un subconjunto de la inteligencia artificial que tiene la capacidad de obtener nuevos conocimientos de la experiencia y de realizar actividades que no están implícitas en su programación.

<sup>8</sup> Traducción propia de la siguiente transcripción del video: “We are training the robot using machine learning of the dataset of lyrics. And it happens to be that these datasets are based on genre. And then whatever the lyrics are from this genre, it learns the correlation and the features and the connections between the lyrics and come up, based on prime words. I give it the prime words, for example, space and time. It will go into the dataset and generate new lyrics”.

Band, un ensamble de robots. Uno de sus videos nos muestra que su grupo de robots está integrado por dos guitarras eléctricas robóticas, bajo eléctrico robótico, batería robótica, teclado robótico y una curiosa cabeza robótica que puede cantar. Para este grupo, Todd realizó un curioso arreglo de “All Star” de la banda Smashmout (One Hacker Band, 2023b).

Junto con los múltiples ejemplos de robots desarrollados en el mundo, México ha hecho una aportación histórica con un robot musical con el que demostraron las capacidades de crear tecnología mexicana y poder orientarla al arte. Este robot, que se ha posicionado como un pionero en este país, es un humanoide que tiene la posibilidad de ejecutar un teclado, este es Don Cuco el Guapo, quien tiene sus inicios en la construcción de un microprocesador y la posibilidad de usarlo como el cerebro del robot.

El creador de este robot, Pedroza Meléndez (2021), comenta que “es un robot diseñado mitad máquina y mitad ser humano, que ejecuta obras musicales en el teclado” (p. 48). De acuerdo a Pedroza Meléndez (2021), Don Cuco fue creado en agosto de 1992 en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla como un robot humanoide: “Durante el transcurso del trabajo se invitó a un equipo multidisciplinario que finalmente quedó integrado por electrónicos, computólogos, mecánicos, físicos, músicos y escultores” (p. 50).

Así también, en el 2019 en la ciudad de Puebla, México, Ivan Macuil Priego (2020) creó un robot de percusión llamado TocoTín, éste tiene la habilidad de tocar la tarola y la capacidad de responder con ritmos al escuchar un ejecutante humano. TocoTín es un buen ejemplo de la interacción musical que se puede dar entre robots musicales y humanos.

Haciendo una síntesis de la información presentada, se pueden notar los siguientes temas:

- Robots que buscan la ejecución precisa de música sobre instrumentos acústicos utilizando lenguajes o protocolos de programación para comunicar o traducir la información musical;
- La exploración en composición musical y la nueva ejecución que se puede realizar sobre instrumentos tradicionales;
- La narrativa que puede tener cada robot o el grupo de robots para atraer al público;
- La integración a escenarios o festivales musicales;
- La posibilidad de ser creados y construidos por una sola persona;
- El cuerpo del robot como parte importante en la interacción con el humano u otros robots.

## ***1.2 La importancia del cuerpo del robot***

La parte corpórea del robot resulta ser muy importante, ya que es la que tendrá la interacción con el instrumento y, en algunos casos, con el intérprete humano. De acuerdo a los estudios realizados por Kidd y Breazel (2004), un robot tiene una mejor interacción con los humanos en comparación a la que podría tener con una animación. Esto se debe a que el robot tiene una forma física con la que es más creíble y disfrutable al momento de la interacción.

Se puede creer que existe una mejor interacción con un robot cuando éste se parece al ser humano, en el análisis que realiza Ayanna Howard sobre robots en películas, menciona específicamente que “[los robots] solo deben poder funcionar, comportarse y moverse en nuestro entorno humano”<sup>9</sup> (Insider, 2022, 5m 55s.). Más adelante hace un importante comentario sobre los movimientos del famoso robot R2-D2 de las películas de *Star Wars* “Lo que sucede es que evoca esa respuesta de ternura por la combinación de sonidos y movimiento. La forma no es un

---

<sup>9</sup> Traducción propia de la siguiente transcripción, tomada de los subtítulos del video: “It just has to be able to function and behave and move in our human environment”.

factor, es el movimiento y el lenguaje lo que realmente despierta nuestras emociones humanas”<sup>10</sup> (Insider, 2022, 6m 40s.).

Por otro lado, Howard menciona sobre los movimientos de los robots que se usan en atención médica para niños:

Quando ellos [los robots] hacen sus movimientos, sus movimientos son muy infantiles y es intencional [...] diría que sus movimientos son torpes y esto es intencional, porque queremos presentar al robot como un compañero de juegos en vez de esta figura de autoridad que lo sabe todo.<sup>11</sup> (MIT Robotics, 2022, 16m 55s.)

Esto significa que los movimientos de los robots pueden ser programados de acuerdo con el ambiente en el que se va a desenvolver para mejorar su interacción.

Considerando un ensamble musical conformado por seres humanos, se puede observar cómo el cuerpo de los intérpretes tiene una gran relevancia para poder mostrar información musical de acuerdo con lo que ocurre con la música. Un ejemplo clave es la indicación de la velocidad con la que transcurre la obra, y es en base a gestos faciales como se logra una mayor sensación de unión entre los músicos que es lo que se busca en un robot musical. Esto es posible observar en Shimon, comenta Weinberg, et al. (2020), puesto que éste tiene la habilidad de poder comunicarse con sus compañeros músicos utilizando gestos visibles que son asociados socio-musicalmente.

---

<sup>10</sup> Traducción propia de la siguiente transcripción, tomada de los subtítulos del video: “What’s going on is that it’s evoking that response of the cuteness of the sounds coupled with the movement. It’s not the form factor, it’s the movements and the language that really taps into our human emotions”.

<sup>11</sup> Traducción propia de la siguiente transcripción, tomada de los subtítulos del video: “When they do their movements, their movements are very childlike and it’s intentional [...] they’re very, I would say clumsy movements. And it’s intentional because we wanted to, again, cast the robot as the playmate versus as this authority figure that knows all”.

Considerando las características y formas del cuerpo de un robot, se proponen las siguientes categorías: aquellos que tienen forma del instrumento, los antropomórficos, los humanoides y los de prótesis.

### **1.2.1 Robot musical con forma del instrumento.**

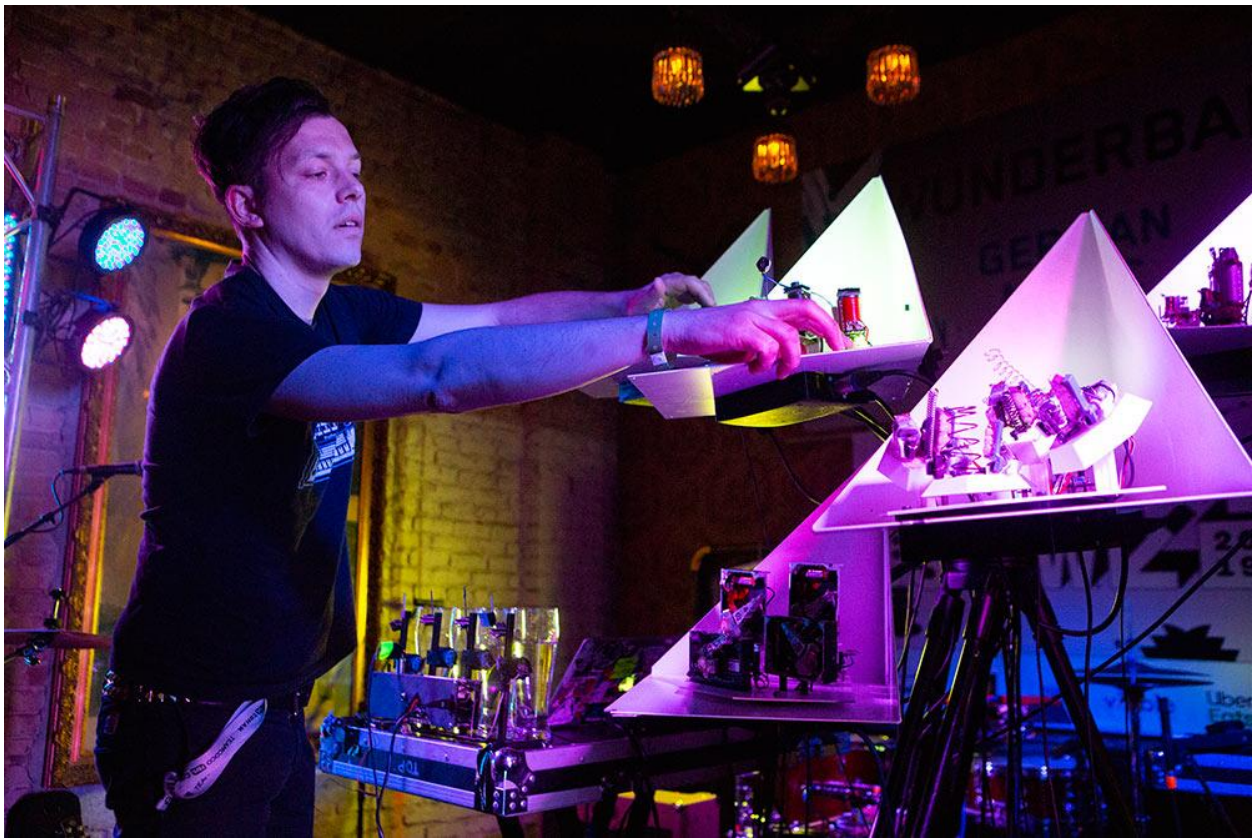
Estos robots, de apariencia sencilla, no tienen un cuerpo que los distinga del instrumento, sus partes mecánicas suelen estar integradas o escondidas dentro del mismo instrumento. Se caracterizan por ser robots musicales que se dedican más a la ejecución, aunque también podrían interactuar. Por ejemplo, en el caso del robot TocoTín y el Disklavier, que se mencionaron anteriormente, no tienen una forma más allá de su instrumento y pueden interactuar con el músico humano, haciendo una *performance* más llamativa tanto para el músico humano como para el público que presencia esta acción.

De igual manera se cataloga en esta sección a los robots creados por Moritz Simon Geist, un ejemplo serían los robots que utiliza en su *performance* titulado Tripods One. Estos pequeños robots tocan instrumentos que son contruidos por él mismo y los utiliza como cualquier músico utiliza su instrumento musical. Geist comenta sobre su *performance* (*Tripods One, s/f*) que esto podría ser el boceto para una posible interacción humano-máquina, ya que el robot funciona como si fuese un instrumento musical.

En la Figura 1 se observa a Geist presentando Tripods One y manipulando al robot de kalimba electrónica para ajustar al sonido que él desea obtener de este robot musical. Se observa también que los robots no tienen una forma más allá de los instrumentos e incluso se pueden observar varios discos duros que son utilizados como un instrumento musical.

## Figura 1

*Presentación musical de Moritz Simon Geist y sus robots musicales*



*Nota.* Moritz Simon Geist [Fotografía], por SXSW Music Review: Moritz Simon Geist/Daniel Brandt, Jana Birchum (13 Mar 2019), The Austin Chronicle. <https://www.austinchronicle.com/daily/sxsw/2019-03-14/sxsw-music-review-moritz-simon-geist-daniel-brandt/>

### **1.2.2 Robot musical antropomórfico.**

De acuerdo a la Real Academia Española (ASALE & RAE, 2023) antropomórfico es relativo a antropomorfismo. Utilizado como adjetivo, antropomórfico hace referencia a un animal o cosa a la que se le atribuyen cualidades o rasgos humanos.

Estos robots musicales tienen rasgos que son asociados con rasgos humanos, como una cara con ojos que podrían brillar, además de poseer la posibilidad de mostrar gestos como si



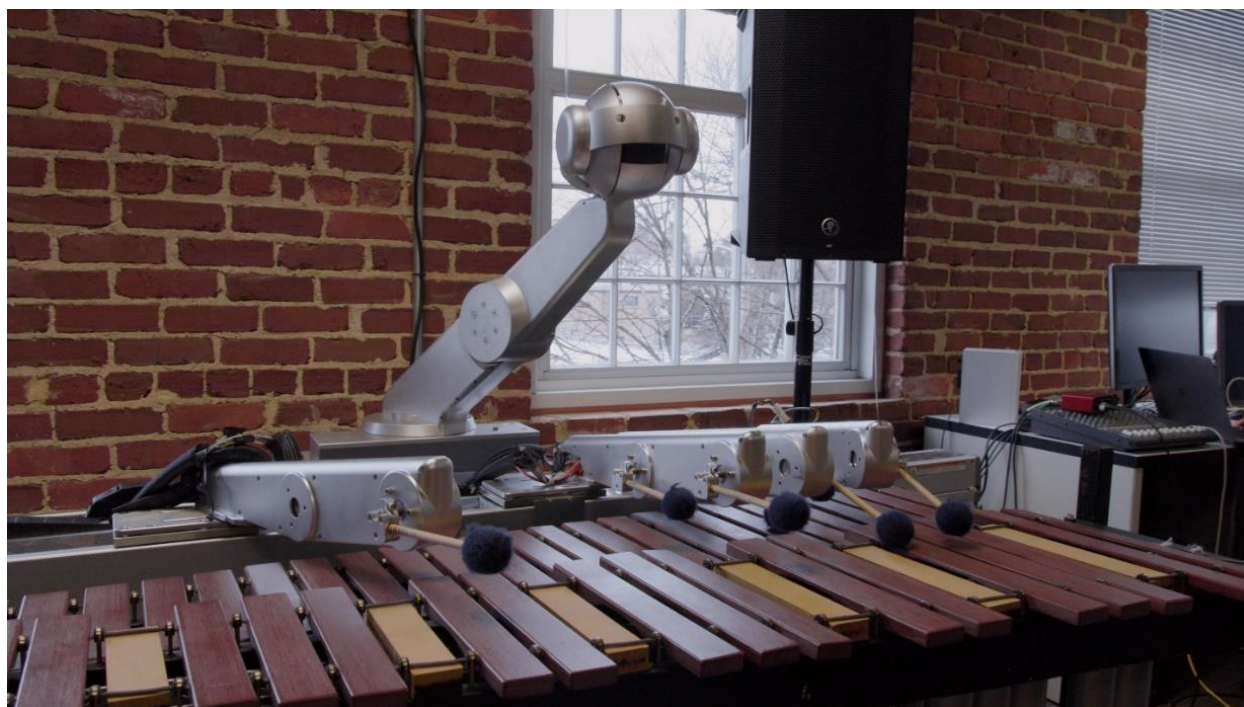
trataran de expresarse como las personas, cabellos contruidos por cables sueltos o un movimiento en particular que sea característico de los músicos humanos.

En el caso de este tipo de robots, al tener un cuerpo, sus movimientos pueden ser programados para reaccionar de acuerdo con la música o a su entorno. De esta manera, si el robot está tocando un instrumento que ha sido creado para los humanos, la interacción que pueda tener con un ser humano sería más satisfactoria que en el caso de aquellos robots musicales que no tienen una forma más allá del instrumento.

Los beneficios de un robot musical antropomórfico se mostrarán y analizarán en el Capítulo II, considerando tanto el punto de vista del público como el de los músicos y el de los constructores de robots musicales. No obstante, como ejemplo se puede ver a Shimon tocando una marimba en la Figura 2. Se puede observar su cabeza que tiene elementos de una cara, unos ojos pequeños y unos círculos a los costados que parecieran ser unas orejas. Cuando se conjuntan estos elementos con el movimiento de su boca, se crea la impresión de una mayor expresividad, como si estuviese hablando con su público mientras está tocando.

## Figura 2

*Shimon tocando la marimba*



*Nota.* Shimon en el laboratorio de Gil Weinberg [Fotografía], por Art and Technology Harmonize in School of Music (2023), Georgia Tech. <https://www.research.gatech.edu/music>

### 1.2.3 Robot musical humanoide.

Los robots musicales humanoides son aquellos que buscan imitar la fisionomía del ser humano, esta imagen es la que muchas personas podrían tener a la hora de pensar en la palabra “robot”. Sin embargo, este tipo de robots puede tener ciertas limitantes similares a las del ser humano, en especial si se trata de reproducir la mecánica de las manos. De los casos antes mencionados tenemos a Don Cuco el Guapo que, de acuerdo a Pedroza Meléndez (2021), está compuesto de una manera similar al ser humano, es decir, con un sistema nervioso, un sistema muscular y un sistema óseo. Este se puede observar en la Figura 3.

### Figura 3

*Don Cuco el Guapo tocando una canción en su teclado*



*Nota.* Don Cuco el Guapo tocando perfume de gardenias [Fotograma], Don Cuco El Guapo Benemérita Universidad Autónoma de Puebla – Soutech2010, (10 Nov 2010) YouTube.

[https://www.youtube.com/watch?v=PWRd4L\\_QzX4](https://www.youtube.com/watch?v=PWRd4L_QzX4)

Del mismo modo, se muestra al director robótico Alter 3, en este caso el cuerpo del robot tiene el fin de dirigir a una orquesta, tal y como lo haría un director humano. En este caso, Arteaga (2020) comenta que el robot diseñado por los ingenieros de la Universidad de Tokio y Osaka puede tanto dirigir una orquesta como cantar. También menciona que le es posible, gracias a su inteligencia artificial, decidir los cambios del tempo, controlar la dinámica de la obra musical y realizar cambios a la expresión de su canto. En la Figura 4 se observa a Alter 3 dirigiendo a una orquesta, y se puede observar la imitación del ser humano que presenta en su cara, brazos y manos.

**Figura 4**

*Alter 3 dirigiendo una orquesta*



*Nota.* Alter 3, Robot director. [Fotografía], por Robot humanoide dirige una orquesta sinfónica y divide opiniones entre el público, Reuters, (15 Feb 2020), Business Insider México.

<https://businessinsider.mx/robot-humanoide-dirige-una-orquesta-sinfonica-y-divide-opiniones-entre-el-publico/>

#### **1.2.4 Robot musical protésico.**

Estos robots musicales se integran al ser humano como una prótesis, de este modo, el músico humano tendría nuevas posibilidades de ejecutar un instrumento con las cualidades que el robot pueda tener. Weinberg (2019) cataloga a las prótesis robóticas con el nombre de *Wearable Robotic Musician*, esto es un set de prótesis robótica que tienen la finalidad de permitir a personas con discapacidades físicas el poder tocar un instrumento musical.

En la Figura 5 se puede observar al baterista Jason Barnes, quien tiene la mano alzada con una prótesis robótica que le permite tocar instrumentos de percusión, en su caso está

utilizando un par de baquetas con la misma prótesis. Según admin-45 (2020) Barnes tiene el récord de la mayor cantidad de golpes en un tambor usando una prótesis robótica.

## Figura 5

*Jason Barnes y su prótesis robótica*



*Nota.* Jason Barnes posa con su prótesis robótica. [Fotografía], por Jason Barnes and Gil Weinberg create a record-breaking prosthetic – guinness book of records, (30 Jun 2020), Jason Barnes.

<https://www.jasonbarnes.me/jason-barnes-created-a-record-breaking-prosthetic-after-losing-his-arm/>

### **1.3 Clasificación del robot musical de acuerdo con el instrumento que interpreta**

Los robots musicales, al igual que los instrumentistas humanos, pueden ser clasificados en secciones de acuerdo con el instrumento que ejecutan. La propuesta que ofrece Logos Orchestra de manera general es descrita por Maes et al. (2011) de la siguiente forma: parecidos al órgano, aliento monofónico, instrumento de cuerda, instrumento de percusión y generadores de sonido. Por otro lado, Weinberg et al. (2020) propone la siguiente clasificación: Instrumentos de percusión, cuerda, aliento e instrumentos aumentados y novedosos.

Se observa que ambos autores dividen de una manera muy similar a los robots musicales, pero es posible clasificarlos siguiendo la propuesta del libro de orquestación de Adler (2006) que se basa en las características de los instrumentos. Entonces la clasificación es la siguiente: instrumentos de cuerda y arco, instrumentos de cuerda punteado, instrumentos de madera (aerófonos de caña), instrumentos de metal, percusión y teclado.

En este trabajo se propone que los robots musicales protésicos podrán categorizarse de manera tradicional de acuerdo con el instrumento que toca el ser humano, por ejemplo, en el caso mencionado anteriormente de Jason Barnes y su prótesis robótica, el peso recae en el uso que el humano le da, siendo en este caso el de percusionista. Por lo tanto, la categoría se adjudica de la manera en la que es percibida por el ser humano.

Al integrar las opciones de categorías de instrumentos mencionadas previamente, se proponen las siguientes secciones: cuerda frotada, cuerda pulsada, alientos, percusiones, teclados, cantantes e instrumentos aumentados. De esta manera se pretende facilitar la búsqueda y entendimiento del funcionamiento del robot musical, tanto para músicos como para constructores de robots.

### **1.3.1 Robot musical de cuerda frotada.**

Esta sección incluye a los robots musicales que necesitan de un arco para poder frotar una cuerda, en este caso pueden tocar instrumentos tradicionales como: violín, viola, violonchelo y contrabajo. Es posible integrar instrumentos de nueva creación siempre y cuando tengan la acción de frotar una cuerda como generadora de sonido.

En la Tabla 1 se puede observar una lista de robots musicales que frotan la cuerda de un instrumento, se menciona al creador o desarrollador que hizo posible el robot musical, el nombre

del robot musical, el año que fue presentado y una breve descripción del funcionamiento del robot musical

**Tabla 1**

*Listado de robots musicales de cuerda frotada*

Creador o desarrollador	Nombre del robot musical	Año de presentación	Breve descripción
Logo's Foundation	Hurdy	2004 <sup>a</sup>	Es un bajo que utiliza varios motores para frotar las cuerdas.
Toyota <sup>b</sup>	Violin-playing Robot	2005	Robot humanoide, tiene la habilidad de tocar el violín similar al ser humano.

*Nota.* Solamente se incluyeron algunos datos de la tabla original de robots de cuerda. Weinberg et al. (2020, p. 7).<sup>a</sup> Dato obtenido de la página web Hurdy: An an experimental hurdy gurdy robot (Raes, s/f-a).

<sup>b</sup> Datos obtenidos de la página web Toyota Unveils Personal-transport, Violin-playing Robots (2007).

### **1.3.2 Robot musical de cuerda pulsada.**

Este tipo de robots musicales tiene la capacidad de pulsar una cuerda. Esta técnica se utiliza en instrumentos tradicionales como la guitarra clásica, guitarra eléctrica y bajo eléctrico. También es posible incluir instrumentos de nueva creación que se rijan bajo este sistema. En esta sección encontraremos a los robots musicales guitarristas y bajista de Compressorhead y al guitarrista de Z-machines, entre muchos otros proyectos.

La Tabla 2 incluye a múltiples robots musicales de cuerda pulsada, describiendo su creador, el nombre del robot, año de presentación, el nombre de la banda, en caso de pertenecer a alguna, y una breve descripción de su funcionamiento.

**Tabla 2**

*Listado de robots musicales que ejecutan un instrumento de cuerda pulsada*

Creador o desarrollador	Nombre del robot musical.	Año de presentación	Breve descripción
Logo's Foundation	Zi	2009 <sup>a</sup>	Robot que toca la cítara o Qanun, utiliza un prototipo de solenoide bidireccional que permite el punteo.
Trimpin	Krantkontrol	n/a	Instalación de 12 instrumentos parecidos a la guitarra, utiliza un sistema de punteo y solenoides para presionar la cuerda en los trastes.
	"If VI was IX"	n/a	Instalación que contiene cientos de guitarras con actuadores que pulsan las cuerdas.
Baginsky	Aglaopheme	n/a	Una <i>slide guitar</i> con sistema de solenoides para presionar y pulsar las cuerdas.
Victoria University of Wellington and New Zealand School of Music.	MechBass	n/a	Robot que toca el bajo, cada cuerda es pulsada y utiliza un solenoide que se mueve sobre la cuerda para presionarla.
Steven Kemper <sup>b</sup>	Tremolo-Harp	n/a	Instrumento robótico de 12 cuerdas, cada cuerda realiza un trémolo mediante la vibración creada por un motor.
	PAM	n/a	Poli-tangente Automático multi-monocordio. Utiliza solenoides para presionar las cuerdas y puede pulsarlas.
ZIMA Zmachines <sup>c</sup>	MACH	2013	Robot Guitarrista de Z-machines, ejecuta a gran velocidad el instrumento, puede pulsar y presionar las cuerdas.
Robocross machines <sup>d</sup>	Hellgå Tarr	2017 <sup>e</sup>	Robot que ejecuta la guitarra eléctrica en Compressorhead
	Fingers <sup>e</sup>	2009	Robot que ejecuta la guitarra eléctrica en Compressorhead
	Bones	2012 <sup>e</sup>	Robot que ejecuta el bajo eléctrico en Compressorhead
Michael Kuzma <sup>f</sup>	Kuzma	2020 <sup>g</sup>	Sistema para guitarra automatizada, tiene dos mecanismos: Uno se mueve sobre el brazo de la guitarra para presionar las cuerdas y el segundo funciona para pulsar las cuerdas.



Michael Krzyzaniak <sup>h</sup>	Professor Plucky	n/a	Tiene un mecanismo que permite ver el movimiento para poder pulsar las cuerdas de la guitarra.
Aaron Todd <sup>i</sup>	n/a	2023	Dos guitarras eléctricas, utilizan servomotores para presionar las cuerdas y para pulsarlas.
	n/a	2022	Bajo eléctrico, utiliza servomotores para presionar las cuerdas y pulsarlas.

*Nota.* Solamente se incluyeron algunos datos de la tabla original de robots de cuerda Weinberg et al. (2020, p. 7). Otros datos específicos obtenidos de <sup>a</sup> (Raes, s/f-c); <sup>b</sup> (Kemper, 2023) <sup>c</sup> (Suzuki, 2023); <sup>d</sup> (*Robots – Robocross Machines*, s/f); <sup>e</sup> (Petersdorf, 2017); <sup>f</sup> (*Kuzma Self-Playing Guitars*, s/f); <sup>g</sup> (Vlahos, 2022); <sup>h</sup> (Krzyzaniak & Bishop, 2021); <sup>i</sup> (onehackerband, s/f).

### 1.3.3 Robot musical de aliento.

En la sección de alientos se encuentran aquellos robots musicales que pueden ejecutar un instrumento que requiere de una columna de aire, instrumentos tradicionales como flauta, oboe, clarinete, fagot, corno, trompeta, trombón, tuba, son parte de esta categoría. Al igual que las categorías anteriores es posible integrar en esta sección los instrumentos de nueva creación que utilicen esta técnica.

En el caso de los órganos u otros instrumentos similares, quedan descartados de esta categoría ya que, si bien utilizan una columna de aire, la acción de ejecución reside en presionar un teclado por lo que este podrá ser encontrado en dicha sección.

La Tabla 3 incluye a múltiples robots musicales de aliento, describiendo su creador o desarrolladores, el nombre del robot en caso de que tenga uno, el año de presentación y una breve descripción de su funcionamiento.

**Tabla 3***Listado de robots musicales de alientos*

Creador o desarrollador	Nombre del robot musical	Año de presentación	Breve descripción	
Logos's Foundation	Ob	2008	Oboe robótico.	
	So <sup>a</sup>	2003	Sousafón en Sib automatizado.	
	Bono <sup>a</sup>	2007	Trombón automatizado de válvulas rotativas.	
	Heli <sup>a</sup>	2007	Helicón automatizado.	
	Korn <sup>a</sup>	2008	Corneta en Sib capaz de trasladarse.	
	Autosax <sup>a</sup>	1989	Saxofón automatizado micro tonal.	
	Fa <sup>a</sup>	2009	Fagot robótico.	
	Horny <sup>a</sup>	2013	Corno francés automático.	
	Asa <sup>a</sup>	2013	Saxofón alto automatizado.	
	Flut <sup>a</sup>	2020	Flauta extendida automatizada.	
	Bug <sup>a</sup>	2016	Fliscorno en Sib robótico capaz de trasladarse.	
	Hunt <sup>a</sup>	2020	Corno automatizado.	
	Trumpeter <sup>a</sup>	2021	Trompeta en Sib robótica	
	Cornalto <sup>a</sup>	2021	Saxofón robótico alto en Mib	
Kazumi <sup>a</sup>	2023	Kazoo automatizado.		
National ICT Australia	Robot Clarinet	n/a	Clarinete robótico que controla la presión del aire, la presión del labio para afectar la afinación y las dinámicas.	
	Toyota <sup>b</sup>	Harry	2005	Robot humanoide que puede caminar y tocar trompeta.
		Dave	2005	Robot humanoide que ejecuta trompeta.
Chuck		2005	Robot humanoide que ejecuta una tuba.	

*Nota.* Solamente se incluyeron algunos datos de las tablas originales de robots de alientos. (Weinberg et al. 2020, p. 8), y datos específicos de las siguientes fuentes: <sup>a</sup> (Logos Foundation - Stichting Logos, s/f); <sup>b</sup> (Toyota, 2011-2018).

### 1.3.4 Robot musical de percusión.

En la sección de percusiones tenemos una gran familia de robots musicales capaces de ejecutar instrumentos percutidos o instrumentos que requieren ser sacudidos, como el xilófono, marimba, glockenspiel, timbales, platillos, cascabeles, claves, maracas, tambor, bombo, entre muchos otros. Es entonces posible catalogar en esta sección prácticamente cualquier robot que sacuda o percuta un objeto como cubetas, botellas de vidrio, campana o cualquier otro instrumento casero o de nueva creación. Los robots mencionados al inicio de este capítulo, como el baterista de Compressorhead, el baterista de Z-machines, la batería robótica de One Hacker Band y el robot marimbero Shimon se encuentran en esta sección.

La Tabla 4 incluye a robots musicales percusionistas, mencionando, al igual que en las anteriores, quién los creó, el nombre del robot musical, el año de presentación y una breve descripción de su funcionamiento.

**Tabla 4**

*Listado de robots musicales de percusiones*

Creador o desarrollador	Nombre del robot musical.	Año de presentación	Breve descripción
Logos Foundation <sup>a</sup>	Vibi	2001	Vibráfono autónomo.
	Troms	2000	Set de siete tambores con golpeadores ubicados en distintos lugares de cada tambor.
	Vacca	2005	Múltiples cencerros ejecutados con solenoides.
	Klung	1998	Instrumento Angklung <sup>12</sup> automatizado.
	Rotomoton	2000	Cinco rototoms automatizados.
	Springers	2000	Utiliza dos maracas y una sirena.

<sup>12</sup> Angklung es un instrumento de percusión afinado, es originario de Indonesia y data del siglo VII d.c. (Angklung, 2023).

	ThunderWood	2000	Instrumento automatizado de percusión no afinado, se utiliza como efecto en la orquesta Logos.
	Belly	2002	Treinta y cuatro campanas automatizadas y organizadas en cuatro niveles, cada campana se ejecuta con un solenoide.
	Tubi	2003	Instrumento automatizado compuesto de setenta y cuatro tubos de aluminio.
	Casta Uno	1996	Set de castañuelas automatizadas.
Trimpin	Automated idiophones	n/a	Percusión afinada que utiliza solenoides para mover las baquetas, estas pueden ser intercambiadas para obtener distintos timbres.
Karmetik	Notomotion	n/a	Tambor equipado con múltiples solenoides montados en una estructura giratoria permitiéndole obtener una amplia gama de timbres.
Georgia Tech Center For Music Technology	Haile	2006 <sup>b</sup>	Robot percusionista antropomórfico equipado con un motor y solenoide que le permite tocar el tambor.
	Shimon	2009 <sup>c</sup>	Robot marimbero con 4 brazos, es capaz de interactuar musicalmente con otros humanos y crear sus propias melodías.
ZIMA Zmachines <sup>d</sup>	Ashura	2013	Robot baterista de Z-machines que puede tocar ritmos complejos, tiene 22 brazos.
Robocross machines <sup>e</sup>	Stick boy	2007 <sup>c</sup>	Baterista de Compressorhead con múltiples brazos.
Aaron Todd <sup>f</sup>	n/a	2023	Pequeño set de batería de One Hacker Band compuesto por bombo, tarola y hihat.
Liz Clark <sup>g</sup>	Wireless BLE MIDI Robot Xylophone	2020 <sup>h</sup>	Robot que ejecuta un Glockenspiel utilizando pequeños solenoides, recibe la música mediante bluetooth en lenguaje MIDI.
Steven Kemper <sup>i</sup>	CADI	n/a	Set de instrumentos de percusión automatizados.
	MADI	n/a	Tarola robótica, tiene quince brazos colocados en distintos puntos de la tarola para obtener distintos timbres.

	TAPI	n/a	Robot musical con la facilidad de transportarse. Ejecuta 2 bloques de madera, 2 cencerros y un timbre.
Iván Macuil Priego <sup>j</sup>	Tocotín	2019	Tarola robótica capaz de interactuar con un instrumentista humano.
Moritz Simon Geist <sup>k</sup>	MR-808	2013	Instalación que contiene múltiples robots automatizados de percusión.

*Nota.* Solamente se incluyeron algunos datos de la tabla original de robots de percusión y del texto sobre Shimon (Weinberg et al. 2020, pp. 6, 31), el resto de datos fueron obtenidos de <sup>a</sup>(Logos Foundation - Stichting Logos, s/f); <sup>b</sup>(Haile, 2011), <sup>c</sup>(Shimon, 2011); <sup>d</sup>(Suzuki, 2023), <sup>e</sup>(Robots – Robocross Machines, s/f); <sup>f</sup>(onehackerband, s/f); <sup>g</sup>(Clark, 2020); <sup>h</sup>(Blitz City DIY, 2020); <sup>i</sup>(Kemper, 2023); <sup>j</sup>(Macuil Priego, 2020); <sup>k</sup>(MR-808, s/f-a).

### 1.3.5 Robot musical de teclado.

Estos robots son los que utilizan un teclado para ejecutar su instrumento, por ejemplo, piano, celesta, clavecín, órgano o sintetizadores. En esta sección podemos encontrar al Disklavier, al tecladista de Z-machines y a Don Cuco el Guapo, que fueron mencionados en este capítulo.

La Tabla 5 incluye a múltiples robots musicales de teclado, así como a su creador o desarrolladores, el nombre del robot en caso de que tenga uno, el año de presentación y una breve descripción de su funcionamiento.

**Tabla 5**

*Listado de robots musicales que ejecutan el teclado*

Creador o desarrollador	Nombre del robot musical	Año de presentación	Breve descripción
Logos Foundation <sup>a</sup>	Player Piano I & II.	1994 / 2004	Piano automatizado, utiliza solenoides para presionar las teclas.
	Spiro	2011	Espineta automatizada, utiliza solenoides para presionar las teclas.
Yamaha <sup>b</sup>	Disklavier	1987	Piano automatizado, controlado vía MIDI, utiliza solenoides para presionar las teclas.

Aaron Todd <sup>c</sup>	n/a	2023	Teclado automatizado que presiona teclas con servomotores en la banda de robots llamada One Hacker Band.
ZIMA Zmachines <sup>d</sup>	Cosmo	2013	Robot que toca el teclado con un rayo láser.
Universidad Autónoma de Puebla <sup>e</sup>	Don Cuco el Guapo	1992	Robot humanoide que toca un teclado con sus manos mecánicas.

*Nota.* Solamente se incluyeron algunos datos de robots musicales que tocan el teclado de las siguientes fuentes: <sup>a</sup>(Logos Foundation - Stichting Logos, s/f); <sup>b</sup>(Disklavier - Yamaha - España, s/f); <sup>c</sup>(onehackerband, s/f); <sup>d</sup>(Suzuki, 2023); <sup>e</sup>(Pedroza Meléndez, 2021).

### 1.3.6 Robot musical cantante.

Esta sección corresponde a aquellos robots que pueden simular la acción de cantar o que realmente tengan la capacidad de cantar. Es posible que estos robots, al igual que los seres humanos, puedan ejecutar otro instrumento al mismo tiempo.

La Tabla 6 incluye a robots musicales cantantes, mencionando a su creador o desarrolladores, el nombre del robot en caso de que tenga uno, el año de presentación y una breve descripción de su funcionamiento.

**Tabla 6**

*Tabla de robots musicales cantantes*

Creador o desarrollador	Nombre del robot musical	Año de presentación	Breve descripción
Universidad de Osaka y Tokyo <sup>a</sup>	Alter 3	2019	Es un robot director de orquesta que además tiene la capacidad de cantar.
Georgia Tech Center For Music Technology <sup>b</sup>	Shimon	2020	No solo es capaz de tocar marimba, también puede cantar creando letras gracias a su inteligencia artificial.
Aaron Todd <sup>c</sup>	n/a	2023	Cabeza antropomórfica que crea la impresión de poder cantar.
Robocross machines <sup>d</sup>	Mega- Wattson	2017	Robot cantante que tiene la capacidad de trasladarse.

*Nota.* Datos obtenidos de las siguientes fuentes: <sup>a</sup>(*Technological Contributions to Alter 3 / Sustainability*, s/f); <sup>b</sup>(Georgia Tech, 2020); <sup>c</sup>(onehackerband, s/f); <sup>d</sup>(Petersdorf, 2017).

### 1.3.7 Robot musical de instrumento aumentado.

Finalmente, tomamos la idea de Weinberg et al. (2020) sobre los instrumentos aumentados. Esta categoría hace referencia a obtener sonidos de una manera distinta a la tradicional, como puede ser por vibrar una cuerda de metal con electroimanes.

La Tabla 7 incluye información de robots musicales de esta categoría, se menciona a su creador o desarrollador, nombre del robot musical, el año de presentación y una breve descripción.

**Tabla 7**

*Tabla de robots musicales de instrumentos aumentados*

Creador o Desarrollador	Nombre del Robot Musical	Año de presentación	Breve Descripción
Logos Foundation	Aeio	2007 <sup>a</sup>	Cello automatizado; sus cuerdas vibran gracias a electroimanes.
	Dripper	2002 <sup>a</sup>	Máquina de lluvia que controla el tamaño y la frecuencia de cada gota.
Augmented Instruments Lab (Queen Mary University)	Magnetic Resonator Piano	n/a	Piano de cola que hace vibrar las cuerdas con electroimanes.
	Digital Bagpipe	n/a	Una cornamusa que es capaz de grabar la posición de los dedos para un análisis posterior.
Karmetik	ESitar	n/a	Un hiper-instrumento que utiliza sensores para percibir los gestos humanos mientras este ejecuta el sitar <sup>13</sup> .
Michael Krzyżaniak <sup>b</sup>	Dr. Squiggles	2019	Múltiples robots independientes capaces de tocar un mini órgano construido para estos robots.

*Nota.* Solamente se incluyeron algunos datos de la tabla original de instrumentos aumentados y novedosos de Weinberg et al. (2020, pp.7,9); otros datos que se obtuvieron son de: <sup>a</sup>(Logos Foundation - Stichting Logos, s/f); <sup>b</sup>(MichaelKrzyzaniak - YouTube, 2023).

<sup>13</sup> El sitar es un instrumento que el diccionario histórico de la lengua española define como “Instrumento musical de cuerda pulsada propio de la India y Pakistán, parecido al laúd, pero con un mástil más largo en el que se disponen las clavijas.” (RAE, 2023)

## **Capítulo II: Interacción musical entre robots y humanos**

Este capítulo explica cómo es la interacción musical entre humanos, trasladando patrones que permitan facilitar la interacción entre músicos humanos y robots musicales. Asimismo, se analiza el impacto que han tenido los robots musicales en el público para continuar con la propuesta de la construcción de la percepción de la interacción musical y cómo ésta impacta en la presentación y construcción de la interacción con los robots musicales.

Pérez y Martínez (2020) comentan que un músico que se dedica a la improvisación musical utiliza su cuerpo como medio para reflejar los significados que éste le otorga a la música, esto podría ser el movimiento de los dedos o gestos expresivos que produce a la hora de improvisar.

Teniendo en cuenta lo anterior, esta acción corpórea se puede observar de manera general en músicos humanos solistas. Además, en el contexto de un ensamble, se utilizan gestos visuales o sonoros con los que es posible sincronizarse y así poder hacer música en conjunto, siempre escuchando la ejecución del otro y de uno mismo para poder tener un correcto ensamble de la obra. Las expresiones del músico pueden ayudar a identificar un pasaje musical donde se deba ralentizar o acelerar la música, quizás repetir alguna sección, terminar antes la obra; en general, el objetivo es indicar una acción referida a la ejecución de la música, el tipo de interacción puede depender de la música que estamos tocando.

Se propone que esta interacción sea nombrada como interacción musical, la cual es posible construir con los siguientes elementos: las expresiones y movimientos que realiza el músico con su cuerpo, la interacción con su instrumento mientras está ejecutando o



improvisando música, ya sea en solitario o en grupo; y la interacción mutua que existe entre músicos y público durante la presentación de una obra.

Si bien muchos de los detalles de la interacción musical podrían parecer obvios, surge la pregunta, ¿qué sucede cuando se trata de los robots musicales? Hasta ahora los proyectos de robots musicales están tratando de imitar lo que se observa en los humanos, entonces estos podrían escuchar, ver, emitir algún sonido e improvisar musicalmente; en caso de tener un cuerpo, éste podría moverse, sincronizarse con el ser humano o con otro robot musical, entre otras acciones.

Es verdad que los robots son perfectos para seguir secuencias, esto quiere decir que puede seguir una serie de pasos lógicos y consecutivos, en este caso siguen, en perfecto orden, una sucesión de notas, similar a la idea de ejecutar una obra escrita en partitura, aunque también se puede considerar como una secuencia los movimientos físicos del robot, es entonces, en la suma de estos casos, el músico humano quien interactúa con las secuencias. Por lo tanto, también se desarrollan robots con la capacidad de improvisar musicalmente, como lo hace el ser humano, de esta manera crearían una interacción musical más cercana a la que hay entre músicos humanos. A pesar de que a los robots se les dota de estas acciones, se ha observado cierto rechazo hacia los robots, que ilustraré a continuación.

Hace nueve años, cuando estaba buscando más información de Z-machines y de Compressorhead encontré un video, que afortunadamente sigue activo, de Cyborg News Channel (2014), éste compara a ambas bandas con muestras de video de los proyectos. Aunque el video no me llamó tanto la atención como la cantidad de comentarios de las personas que preferían a Compressorhead sobre Z-machines.

Para @Tikayyan (2014) “ambos son geniales, pero me voy con Compressorhead hasta el final. Están contruidos alrededor de instrumentos reales, sus movimientos “corporales” son más naturales y su música es más fácil escuchar”.<sup>14</sup> Se nota que la importancia para este autor recae en los movimientos corporales, los instrumentos y la facilidad de escucha. En el caso de @Mikfix (2016) comenta “sé que los robots no tienen sentimientos, ¡pero el baterista de Compressorhead parece que lo está pasando genial!”.<sup>15</sup> Es interesante ver que para esta persona y en este contexto, la música producida por los robots es tan atractiva como si la produjera un intérprete humano. Para @poljakov13 (2016) “Compressorhead suena más natural”.<sup>16</sup> Es decir que este autor tiene una construcción de lo que debería algo sonar natural. Finalmente, @jannekrusing (2014) menciona “Z machines se ven más geniales, pero los de Compressorhead tienen más personalidad y son más graciosos. ¡Difícil decisión!”.<sup>17</sup> Aquí el autor del comentario llega al punto de otorgarles una identidad y un carácter humanos.

Además de los comentarios mostrados, se puede resumir que la mayoría escogía a Compressorhead por las siguientes razones: tocan instrumentos reales, los movimientos de sus cuerpos son más naturales, la apariencia del cuerpo es preferible y la música es más disfrutable, esto último se debe a que una de las canciones que toca Compressorhead se titula “Ace of Spades” de la banda Motörhead, la cual es más popular que la música interpretada por Z-machines.

---

<sup>14</sup> Traducción propia del comentario: “Both are cool, but gonna have to go Compressorhead all the way. They're built around real instruments, their ‘body’ movements are more natural, and they music is more listenable.”

<sup>15</sup> Traducción propia del comentario: “I know robots don't have any feelings, but the drummer from Compressorhead looks like he's having a hell of a time!”

<sup>16</sup> Traducción propia del comentario: “compressorhead sounded more natural”.

<sup>17</sup> Traducción propia del comentario: “Z machines looks cooler, but Compressorhead have more personality and are funnier. Tough choice!”

En el video de ZIMA Zmachines (2013) se nos muestran varios acercamientos de los robots, en especial de MACH, el robot guitarrista; además, la música es bastante llamativa y de una escucha más fácil que los fragmentos mostrados en el video anteriormente comentado.

Algunos comentarios de este video son: @mjtuomainen (2016), “esto me requeteencanta. Da un montón de miedo, pero al mismo tiempo es lo más increíble que he visto en la música en mucho tiempo. Claro; carecen de las emociones del ser humano, pero así es como se supone debe ser [la] música para robots. No puedo esperar a escuchar más de Z-machines en el futuro”;<sup>18</sup> el autor afirma que los robots no tienen sentimientos, pero a pesar de ello le atrae el resultado. Para @StatikDynamikDubstep (2014), “la gente pone demasiado énfasis en la presentación en vez de la composición, sin embargo, se preguntan por qué la música no es como solía ser. Me gusta el concepto de Squarepusher. Robots o humanos pueden tocar esto, pero lo que importa es la música”;<sup>19</sup> el autor le da mayor peso a la música que al hecho de que sea tocado por robots. @nicknco66 (2014), comenta “es atractivo por los momentos en los que estamos enganchados visualmente. Aunque es menos cuando cierro los ojos. El logro es increíble. Deberían compartir el programa para que otros se expresen”;<sup>20</sup> la atracción visual para este comentarista es importante, ya que sin ello se pierde interés.

---

<sup>18</sup> Traducción propia del comentario: “I fucking love this. It's scary as fuck but at the same time the most amazing thing in music I've seen in a long time.

Sure It lacks the emotion of a human being, but that's how it's supposed to be. Music for Robots. Can't wait to hear more Z-Machines in the future.”

<sup>19</sup> Traducción propia del comentario: “People put far too much emphasis on the performance rather than composition, and yet they wonder why music isn't like how it used to be. I like Squarepusher's concept. Robots or humans can perform this, but what matters is the music.”

<sup>20</sup> Traducción propia del comentario: “It appeals for the moments we are engaged visually. Less so when I close my eyes. The achievement is amazing. You should share the programming interface for others to express themselves.”

La mayoría de los comentarios en el video anterior, además de los mostrados, son de asombro, pero también existen comentarios que mencionan que los robots no tienen emoción o que la ejecución es demasiado perfecta.

Si bien esos videos tienen nueve años de antigüedad, ¿es posible encontrar este tipo de comentarios en videos más recientes de otros proyectos? Se puede contestar la pregunta analizando el video del robot musical Shimon con la canción titulada “Into Your Mind” que es difundido por Georgia Tech Center for Music Technology (2020). En este video se observa el grupo musical conformado por músicos humanos que rodean a Shimon, además del baterista que tiene una prótesis robótica. La letra de esta canción está generada por la inteligencia artificial de Shimon, la ejecución del robot está relacionada a la interacción con los demás músicos y la música tiene tintes de jazz. Los comentarios en este video van desde los que piensan que la canción no es atractiva porque suena mal, pasando por los que se muestran asombrados y hasta los que les ha gustado la canción.

A continuación se muestran algunos comentarios de este video: @tvu111974 (2020), “Esta canción es deprimente. Suena extraña. La letra y el instrumento suenan ‘HORRIBLE’. Además, la letra es cursi”,<sup>21</sup> este comentarista simplemente tiene otras expectativas de la música resultando en poco agrado por la canción. @thebigandroid (2020), “tecnológicamente hablando, es extremadamente impresionante, musicalmente hablando... tengo que decir que no es de mi gusto”;<sup>22</sup> en el comentario se reconocen los avances, pero al igual que el anterior, no parecen convenientes. @ethanwilson9406 (2020), “Sorprendentemente complejo, no puedo esperar a ver

---

<sup>21</sup>Traducción propia del comentario: “This song is depressing. It sounds weird. The lyrics and the instrument playing sounds ‘HORRIBLE’. Also... the lyrics are corny”.

<sup>22</sup> Traducción propia del comentario: “technologically speaking, it's extremely impressive; musically speaking... I'll just say it's not to my taste”.

el progreso. No puedo creer que se me haya quedado en la cabeza una letra escrita por una inteligencia artificial”,<sup>23</sup> aquí el usuario se encuentra abierto a la nueva propuesta y le sorprende que sea una inteligencia artificial la que haya creado una letra que sea de su agrado.

En el caso del video de One Hacker Band (2023a) se observa y escucha a una banda de robots interpretando una adaptación de la canción popular “Everybody Wants to Rule The World” de Tears for Fears y los comentarios del público son en su mayoría de asombro, algunos mencionando que realmente les gustó, y con un menor número de personas que consideran el resultado musical como de baja calidad. Esto se muestra en los siguientes comentarios.

Algunos internautas muestran agrado y curiosidad como @evertoashton1533 (2023), “esto es muy bueno, estoy de acuerdo con los demás. Definitivamente agradecería el video completo de esto”.<sup>24</sup> El siguiente comentario es de @josephdoldman (2023), “Aún no estoy seguro de que pensar sobre la cabeza decapitada que canta, aunque los instrumentos automáticos siguen siendo geniales”<sup>25</sup>, a quien le sorprenden los instrumentos automatizados, aunque está desconcertado por el robot que canta. El siguiente usuario se encuentra a la expectativa del desarrollo de la banda @jacobcaron2280 (2023), “Ahora estoy esperando que esto explote porque esto es impresionante y limpio”.<sup>26</sup>

Por último, uno de los robots musicales que pasa desapercibido son los dos pianos robóticos que programó Halldór Eldjárn para el músico Ólafur Arnalds. Este ejemplo ilustra como la programación y la composición se unen para que estos robots, que carecen de un cuerpo

---

<sup>23</sup> Traducción propia del comentario: “Surprisingly complex, can't wait to see it progress. I can't believe I got the beginning of a song written by an AI Stuck in my head”.

<sup>24</sup> Traducción propia del comentario: “this is so good, I'm with everyone else. Would definitely appreciate a full video of this”.

<sup>25</sup> Traducción propia del comentario: “Still not sure what to think about the singing decapitated head the automatic instruments are still cool though”.

<sup>26</sup> Traducción propia del comentario: “Now I am hoping this blows up because this is impressive, and clean”.

más allá del instrumento, puedan tocar de manera aleatoria de acuerdo con el ritmo propuesto por el usuario. Ólafur Arnalds nos dice que:

Cuando tocas con otras personas tú más o menos reaccionas a lo que ellos hacen. Y, en este caso, si toco este piano, los otros pianos reaccionan a lo que hago de acuerdo a nuestra programación del *software*. Pero, lo que es interesante es que yo debo reaccionar a lo que ellos hacen porque no sé exactamente qué es lo que van a hacer.<sup>27</sup> (Ólafur Arnalds, 2018, 32s)

Más adelante, el músico justifica por qué utiliza este tipo de robots para la creación y ejecución musical, él nos dice:

Entonces, ya más o menos esbocé el ritmo en el *software* y entonces logras tocar en el piano un ritmo que nunca podrías hacer con tus manos. Y ni si quiera podrías hacerlo con tus manos, es demasiado rápido y [las notas] están demasiado dispersas.<sup>28</sup> (Ólafur Arnalds, 2018, 2m 29s)

En el video de la obra *nyepi* de Ólafur Arnalds (2019) se observa que estos dos pianos robóticos están integrados en el ensamble. Hay tomas en las que se ven cómo se auto ejecutan, pero, en general, no se les resalta ni se les menciona a estos dos pianos robóticos, simplemente se dedican a hacer música todos juntos. Entonces, ¿qué dicen los comentarios de este video acerca de los pianos robóticos? Nada, los comentarios están encaminados hacia la música, hacia lo que

---

<sup>27</sup> Traducción propia de la siguiente transcripción, tomada de los subtítulos del video: “when you are playing with others, you kind of react on what they do. And, in this case, if I play this piano, the other pianos are reacting on what I do based on our software coding. But the interesting thing is I have to react on what they do because I don’t know exactly what they are going to do”.

<sup>28</sup> Traducción propia de la siguiente transcripción, tomada de los subtítulos del video: “So, I’ve already kind of drawn the rhythm into the software and then you just get to play piano in a rhythm that you would never do with your hands on a piano. And you couldn’t even do it with your hands, it’s too fast and it’s too all over the place”.

les transmite, les evoca o les hace sentir. Es verdad que la música tiende a ser bastante agradable a la escucha, lo cual puede favorecer su integración, pero también los robots pianistas hacen el tipo de música que el público esperaría de Ólafur Arnalds.

### ***2.1 Construcción de la percepción de la interacción musical***

Como se puede observar en la sección anterior, la percepción del público y del músico sobre la interacción musical pareciera ya estar predeterminada, ya sea en lo sonoro como en los movimientos o expresiones de los músicos. En un estudio realizado por Weinberg et al. (2020), nos mencionan que, tanto para el público como para el músico humano, el efecto que tiene el movimiento de la cabeza del robot musical para crear un contacto visual con los músicos humanos aumenta la sensación de que el robot toca mejor.

La característica cabeza de Shimon tiene una importante función para Weinberg et al. (2020), dado que ésta fue diseñada para poder comunicarse con sus compañeros músicos con movimientos que se asocian socialmente a la música, de este modo, Shimon puede expresar estados internos, como el ritmo o la emoción, además de que puede mostrar atención hacia los demás músicos.

Pero ¿por qué se busca que los robots se muevan de manera similar al humano? Para Kemper y Cypess (2019), la construcción de la expresión musical por parte del escucha se atribuye a formas visuales o tangibles de las acciones al momento de ejecutar música. Lo anterior quiere decir que, a lo largo de la vida del ser humano, la expresión musical se construye en buena parte por lo que se ve o lo que se dice de una presentación musical, debido a esto Shimon, Alter 3, Z-machines, Compressorhead, entre otros proyectos, buscaron o buscan que los robots tengan movimientos que atribuimos naturalmente al acto musical.

Continuando con Kemper y Cypess (2019), ellos encuentran otras interpretaciones donde se propone una teoría “intransitiva” de la expresión, esto es que el significado depende del escucha y no de la presencia de la “comunicación emocional” iniciada por un artista o ejecutante. Por lo tanto, es el escucha quien construye lo que la expresión corporal del músico quiere decir.

Esto significaría que las expresiones asociadas al acto musical, y sus posibles significados, quedarían libres al criterio de la percepción de cada persona, ya que ésta es quien construye los significados, pero ¿cómo se construye la percepción? Para Habermas (1999), es una acción que se adecúa a las reglas de un grupo en una sociedad, resultando ser un acto que nos regula y nos permite ver el mundo de una manera determinada. Por lo tanto, la percepción de un individuo dependerá de su entorno, ya que este le dará forma a su percepción.

También es posible entender el surgimiento de la percepción de la interacción musical siguiendo la construcción del conocimiento propuesta por Piaget (2000). En ésta, el conocimiento se desarrolla mediante el proceso de *asimilación* y *acomodación*, siendo así un proceso iterativo. La *asimilación* refiere a la organización que se realiza de los datos que nos rodean, la *acomodación* es la presión ejercida por el medio para modificar la organización de datos. Cuando existe un equilibrio entre *asimilación* y *acomodación*, se le llama adaptación.

Lo anterior mostraría que nuestra percepción de la interacción musical pasa por el mismo proceso desde el momento que se nos introduce por primera vez en la música. Por ejemplo, quienes introducen por primera vez al sujeto en la música pueden ser la madre, el padre o las personas que cumplan esa función, por lo tanto, la percepción del sujeto de la música y su interacción con ella pasará por el proceso de *asimilar* estos nuevos datos relacionándolos con elementos que ya se tengan previamente organizados. Un ejemplo de un primer elemento organizado serían las canciones de cuna que cantan las madres a los hijos, siendo éstas uno de los



primeros contactos que construirán la percepción de la interacción musical en el sujeto. El medio, en el caso de este ejemplo, sería la misma madre quien al repetir la canción de cuna estaría ejerciendo presión para que el sujeto organice los sonidos que emite la madre como canciones de cuna y después entender que son para calmar, dormir o cual sea el objetivo de la madre con la canción de cuna, de esta manera se estaría llevando la *acomodación*. Cada experiencia que construya la percepción de la interacción musical llevará un desequilibrio a lo adaptado por lo que este proceso se repetirá indefinidamente.

Una vez que se empieza a enseñar a los niños qué y cómo es la música, esto implica que la música puede escucharse, entenderse y verse desde un punto de vista que es dado por alguien más. En este sentido, Gumbrecht (2001) comenta que siempre que se forma una tradición en el arte, ésta tiende a silenciar y reprimir con el fin de conservar, del mismo modo establece un consenso del juicio estético que debe tener el sujeto.

Los padres, al ser regulados por la sociedad y sus instituciones, también regularán a sus hijos y les dirán cómo es un acto musical, cómo se ven los músicos, el tipo de música y cómo reaccionar a ella de acuerdo con la percepción que ellos tienen. Las instituciones dedicadas a la música son las que principalmente controlan estas reglas, creando tradiciones de qué y cómo debe ser escuchada, ejecutada y presenciada.

No es lo mismo ir a una sala de conciertos donde se presenta una sinfonía que a un concierto de música pop, puesto que, en el primer caso, nos han condicionado a simplemente sentarse y escuchar sin interrumpir la música. De este modo, la persona puede asociar los movimientos, las interacciones entre los músicos y las expresiones físicas que estos realizan como un reflejo de las emociones del ejecutante.

Caso contrario es la percepción de la interacción en la música popular, con la que se puede estar de pie, gritando y en general tener más libertad de movimiento. Aquí también los movimientos de los músicos son más libres, sus expresiones pueden ser más exageradas y éstas pueden parecer que muestran una gama de emociones más amplia, incluyendo la manera en la que los músicos tocan sus instrumentos. De esta manera es como se construye lo que se percibe sobre una interacción musical.

Como se ha demostrado, el movimiento de un intérprete en los músicos humanos es esencial para lograr una interacción tanto con el público como con otros músicos, además, estas asociaciones son parte de una cultura musical, es por ello que los que construyen robots musicales tratan de imitar los movimientos que realizan los humanos de acuerdo a la música que van a tocar. En el caso de Compressorhead, los robots se mueven como lo que se espera de los músicos humanos que tocan rock, por ejemplo: mover fuertemente la cabeza, inclinarse hacia el público o incluso hacer señas con las manos señalando al público. De este modo los robots musicales pueden ser construidos a partir de la percepción de la interacción musical que se espera de un público en específico, del músico o de quien construya al robot musical.

## ***2.2 Interacción musical con secuencias***

La interacción musical de los robots musicales podrá ser construida a partir de los elementos y acciones mencionados en este capítulo, estos son el cuerpo del robot, los movimientos que realiza, las expresiones que ejecute, la interacción con su[s] instrumento[s], la capacidad de ejecutar música o improvisar, tanto de forma individual como en un grupo conformado por humanos o robots, y la interacción que puedan tener con el público u otros músicos durante la ejecución de la obra.

Ya se ha mencionado previamente, en el Capítulo I y en otras secciones de este capítulo, la importancia del cuerpo del robot, de los movimientos que estos pueden hacer y que las expresiones, al ser vistas como intransitivas, pueden ser programadas de acuerdo con lo que el ser humano esperaría ver al ejecutar cierto tipo de música. En esta sección se abordará la interacción que el robot tiene con su instrumento en la ejecución de música que está basada en secuencias, como si se tratara de que el robot siga una partitura escrita, y de la interacción que tiene con el ser humano, ya sea éste un músico o parte del público.

La interacción musical con secuencias es la ejecución en la que el robot musical sigue a la perfección las instrucciones del orden de las notas, ritmos y dinámicas. El músico que ejecuta esta secuencia es quien reaccionaría principalmente a la misma, puesto que serían la apariencia del robot y los movimientos del músico los que reforzarían el aspecto musical en una presentación, pudiendo ser más llamativo o agradable para el público.

En este sentido, el cuerpo del robot también puede ser capaz de reaccionar a la misma secuencia, este concepto no es tan distinto a la idea de que el humano es quien reacciona a una pista de audio. En el caso de muchos de estos robots musicales, se parte de las secuencias MIDI que pueden ser una traducción de las partituras con las que los robots solo se dedican a ejecutar sus instrumentos. Los movimientos de los cuerpos de los robots también podrían ser secuencias pre-programadas diseñadas para cada obra musical en específico.

Uno de los mejores ejemplos de esta interacción musical es el arreglo que realiza Jacob Collier (2018) de la canción “Don’t Stop ‘Til You Get Enough” interpretada originalmente por Michael Jackson. El arreglo utiliza el primer robot musical descrito en el primer capítulo, el Disklavier de la empresa Yamaha, piano que funciona con MIDI tanto para grabar una ejecución musical como para ejecutar esta misma obra. Al inicio del video se observa una de las

interacciones con secuencias más fascinantes, en ésta Collier toca solo una nota y utiliza su cuerpo para seguir la secuencia de una escala ascendente. En el resto del video él toca y reacciona tanto a lo que él interpreta como a la secuencia que ejecuta el mismo Disklavier, resultando en una presentación que combina lo musical y teatral al mismo tiempo. La Figura 6 ilustra el momento en el que el piano se presiona automáticamente mientras el músico puede tocar e interactuar con la secuencia del piano.

### Figura 6

*Fotograma del video de “Don’t Stop ‘Til You Get Enough” de Jacob Collier*



*Nota:* En la imagen se ven las teclas presionadas por el robot al tiempo que el artista ejecuta la pieza [Fotograma], Don’t Stop ‘Til You Get Enough - Jacob Collier, (29 Ago 2018) You Tube.

<https://www.youtube.com/watch?v=KC3GrzoQG9U>

Otro curioso caso es el de una banda de robots musicales llamada Teddy Bear Orchestra. De acuerdo con *VICE news* (2018), Jay Vance es el cantante, compositor, coreógrafo y constructor de los osos de peluche robóticos musicales. En la entrevista realizada para *VICE news* se comenta que Vance “utiliza un secuenciador y un teclado MIDI tanto para la coreografía

como para escribir la música” (VICE News, 2018, 1m 9s), por lo tanto, toda la interacción que tienen estos osos robóticos musicales es creada previamente de acuerdo a cada canción, y Jay Vance interactúa con los robots de acuerdo a las secuencias determinadas y las canciones que presenta. En la Figura 7 se puede observar a Jay Vance dirigiendo a sus osos robóticos de una manera llamativa.

### **Figura 7**

*Teddy Bear Orchestra con Jay Vance*



*Nota.* Presentación de la Teddy Bear Orchestra en el 2020 [Fotografía], por teddy bear orchestra, (2023). <https://teddybearorchestra.com/>

Dejando de lado este tipo de interacción, Moritz Simon Geist nos propone una nueva manera de tenerla con los robots musicales al crear secuencias tipo *loops*: fragmentos musicales que se pueden crear al momento y se van repitiendo, dándole la oportunidad de ir modificando la kalimba electrónica robótica mientras esta repite la secuencia. Geist mismo nos muestra el

funcionamiento de Tripods One en el video titulado *Making Techno with Robots – Behind the scenes!* (2018b) en el que explica que todos los mini robots construidos son controlados por MIDI y muestra cómo estos producen sonido. El resultado sonoro y la interacción que él tiene con los robots se pueden observar en su obra *Entropy* (Moritz Simon Geist, 2018a).

Por otra parte está el MR-808 de, también de Geist, una instalación robótica de percusión que es programada por el público (*MR-808*, s/f-a) En este caso, el público tendría una interacción musical a partir de las secuencias que ellos mismos le van programando de acuerdo a lo que sienten o desean experimentar. En otras palabras, los integrantes del público se vuelven los compositores de ritmos musicales y pueden observar la ejecución de los robots con las instrucciones dadas. Este sería el único ejemplo donde el público pasa de ser espectador a actor del acto musical.

En la Figura 8 se observa, de una manera más clara, la instalación robótica conformada por múltiples instrumentos robóticos, estos están ejecutando las secuencias que va creando el grupo de personas que se aprecia en la imagen.

## Figura 8

*Público interactuando con la instalación robótica MR-808 mediante las secuencias creadas por ellos*



*Nota.* Público interactuando con la instalación robótica MR-808. [Fotografía], por MR-808, (s/f), Moritz Simon Geist. <https://www.moritzsimongeist.com/works/mr-808>

Para algunos músicos esta instalación les podrá ser familiar, ya que está basada en la caja de ritmos TR-808.<sup>29</sup> Generar este tipo de secuencias es algo común entre los ingenieros de audio y entre aquellos músicos que les gusta crear patrones de ritmos, armonías o melodías mediante secuencias; lo relevante de esta instalación es que los sonidos que obtenemos son provenientes de la ejecución de cada robot y sus instrumentos acústicos.

Inspirado en este tipo de interacción realicé mis primeras exploraciones con mi robot musical llamado A3, creando pequeñas miniaturas para familiarizarme con este tipo de

---

<sup>29</sup> TR-808 es un instrumento musical electrónico de la compañía Roland, este ofrecía la posibilidad de crear una composición de ritmos de manera rápida y sencilla utilizando secuencias y sonidos sintetizados, imitando a una batería. Actualmente se puede encontrar como un programa de instrumento virtual en la página web de Roland (Roland Corporation, 2023).

composiciones. La construcción de esta interacción como la programación, la composición musical y otros detalles que fueron surgiendo estarán detallados en el Capítulo III.

### ***2.3 Interacción musical pregunta – respuesta***

Durante varias pláticas que tuve durante la maestría con el Dr. Gonzalo Macías (comunicación personal, enero de 2022 - junio de 2023), siempre estaba presente la idea de la improvisación. Se planteó que sería interesante que el robot musical pudiera ofrecer algo musicalmente más elaborado que solo la reproducción de la secuencia. En esta lluvia de ideas sobre la improvisación me llegó a comentar sobre el pianista y compositor de jazz, Bill Evans y su disco titulado *Conversations with Myself*, en el que realiza una primera grabación para realizar una segunda grabación encima de la primera y finalmente una tercera encima de las dos anteriores, creando así un dialogo sonoro del propio Evans.

A partir de esta idea, se puede construir y programar una interacción entre robots y músicos humanos que se puede organizar como una pregunta sonora planteada por el ser humano y una respuesta del robot que depende de su programación en el contexto sonoro. Por lo tanto, este tipo de interacciones propone que los robots musicales sean capaces de crear sus propias ideas melódicas, armónicas o rítmicas, creando un diálogo musical entre humanos y robots musicales, aunque hasta ahora podría considerarse como una de las interacciones más complejas, sobre todo si el robot tiene una forma más allá del instrumento.

Shimon ejemplificaría esta idea perfectamente, como se comenta en una entrevista donde se habla del origen del robot, en la cual Weinberg comenta:

Shimon está basado en el verbo “escuchar” en hebreo. Y yo soy de Israel. Este es el primer robot que de hecho está diseñado para entender lo que el humano quiere y



entonces improvisar, sorprender y, quizás, inspirar al humano, lo que es opuesto a los robots del pasado que solo seguían instrucciones, entonces es por eso que [escuchar], Shimon, es el verbo y el núcleo de lo que él hace.<sup>30</sup> (vpro Vrije Geluiden extra, 2018. 45s)

Teniendo en cuenta esto, Shimon desde un inicio fue construido para poder contestar musicalmente a un intérprete humano, ya sea imitando melódicamente o improvisando de acuerdo con lo que va escuchando. Al mismo tiempo tiene características corpóreas que ayudan visualmente tanto al público como al músico. Además, la música en la que Shimon se desarrolla es el jazz, en el que la improvisación es la clave de la música.

Dentro del contexto de la interacción, también se encuentran los pianos robóticos que utiliza Ólafur Arnalds, ya que, como vimos anteriormente, estos tienen la capacidad de responder a lo que el músico humano toca en el piano, y el músico tiene la capacidad de ser influenciado por lo que escucha de la ejecución del robot para poder continuar y finalmente crear un dialogo musical entre robots y humanos.

Estas interacciones podrían realizarse y programarse para un uso interno en la computadora, pero, como hemos visto desde el primer capítulo, la búsqueda se centra en lo acústico, de tal forma que los robots puedan siempre interactuar con el instrumento acústico y no depender de la calidad del audio o de las bocinas.

---

<sup>30</sup> Traducción propia de la siguiente transcripción del video: “Shimon is based on the verb ‘to listen to’ in hebrew. And I am from Israel. This is the first robot that is actually designed to understand what the human wants and then improvise and surprise, and, hopefully, inspires them as opposed to robots in the past that were just following instructions, so that’s why he listens, Shimon, and it is the core of what he does.”

Es necesario mencionar que los robots musicales, a la hora de improvisar, siguen las mismas reglas musicales que se le otorga al músico de acuerdo con el contexto musical. En el caso de Shimon, su sistema de improvisación no utiliza algún tipo de inteligencia artificial:

El sistema en este trabajo no utiliza *machine learning*, en su lugar utiliza conocimiento heurístico que describe conceptos musicales de nivel superior. [...] Esta teoría [La teoría del jazz moderno] se ha presentado en numerosos libros y algunos de los conceptos de jazz de alto nivel de este sistema se codifican utilizando estas fuentes. Dos libros en particular, *Jazz Piano Book* de Mark Levine y *How to Improvise* de Hal Crook<sup>31</sup>. (Weinberg et al., 2020, p. 116)

Por último, existe una idea llamada enjambre de robots musicales. Esta idea que desarrolla Krzyżaniak (2021), es un grupo de robots musicales que tienen la capacidad de ser autónomos y son capaces de tomar decisiones musicales de manera individual de acuerdo a lo que escuchan. Este proyecto se basa en la interacción musical pregunta–respuesta, donde la capacidad de improvisar se puede implementar entre los mismos robots y el músico humano.

En este sentido, Krzyżaniak explica mejor el funcionamiento de su enjambre de robots musicales (2021): basándose en *machine learning*, los robots pueden decidir cuáles notas tocar y Krzyżaniak logra esto entrenando a sus robots musicales con múltiples obras de Bach a cuatro voces.

---

<sup>31</sup> Traducción propia del siguiente texto: “The system in this work does not utilize machine learning and instead employs knowledge-based heuristics that describe higher level musical concepts. [...] This theory has been presented in numerous book and some of the higher level jazz concepts of this system are codified using these resources. Two books in particular are the 'Jazz Piano Book' by Mark Levine and 'How to Improvise' by Hal Crook”.

Aunque la idea anterior requiere de mucha más exploración, en el proceso de este proyecto me propuse crear un algoritmo que pueda realizar algo similar a lo que pude observar en los robots pianistas de Ólafur Arnalds, por lo que construí el robot B1 que ejecuta un glockenspiel. Esta interacción que busque obtener con B1 es la interacción musical pregunta – respuesta, esto estará desarrollado en el Capítulo III, en el que se explica cómo funciona la integración de la composición y la programación para concebir este tipo de algoritmo que permite al robot crear una improvisación musical.

### **Capítulo III: A3, B1, robots musicales percusionistas**

En este capítulo se analizará mi experiencia durante el proceso de construcción de los robots musicales A3 y B1, así como la relación de la programación, electrónica, robótica y música para construir la interacción musical del robot, misma que se inspira por los múltiples proyectos que hemos visto hasta ahora, sumándole a lo anterior mi perspectiva sobre la interacción musical y el deseo de lograr un diálogo con un robot musical.

Durante los dos años de la maestría –agosto 2021 a junio 2023– construí dos robots musicales, primero el mini robot musical A3 y después el robot musical B1, cada uno teniendo un objetivo particular, pero ambos comparten la idea de que los robots musicales están contruidos para una interacción musical con un ser humano. A3 explora la interacción musical con secuencias y B1 explora ambas interacciones musicales mencionadas en el Capítulo II, secuencias y pregunta-respuesta.

La interacción musical de A3 y B1 está conformada por algunas características definidas en el Capítulo II, las cuales incluyen el cuerpo del robot musical, los movimientos que realiza, la interacción con su instrumento y la interacción a partir de secuencia o improvisación musical.

Para construir estos robots se parte desde dos interacciones, la que percibe de su entorno y la interacción con el instrumento. Mencionaré primeramente la interacción con el entorno, que tiene que ver con los movimientos que puede percibir a su alrededor y su reacción a ellos. Asimismo, la incorporación de unos LEDs<sup>32</sup> funcionan para transmitir un pulso visible para el músico humano.

---

<sup>32</sup> Por sus siglas en inglés, LED, la palabra significa Diodo Emisor de Luz (Fitzgerald & Shiloh, 2013), esto es, un diodo que enciende cuando recibe voltaje de electricidad; a diferencia de las antiguas bombillas, no necesita de filamentos conductores para emitir luz.

La segunda interacción que los robots tienen es con el instrumento, y radica en la ejecución del algoritmo en el instrumento musical para ejecutar una secuencia o una improvisación. Esta interacción está ligada propiamente a la composición, programación y robótica.

Es necesario aclarar que, aunque se mencionan solamente algunas disciplinas para la construcción de la interacción musical de los robots, esto no significa que puedan ser las únicas para lograr la construcción de la interacción musical que pueda tener el robot. En este caso, se tomaron como punto de partida por la cercanía que tengo con estas disciplinas.

A3 y B1 tienen distintos algoritmos con los que se probó la eficiencia a la hora de tocar el instrumento y la facilidad que estos dan al compositor para realizar arreglos y composiciones musicales. También se experimentó la integración de los robots musicales A3 y B1 como parte de un ensamble musical junto a un ser humano.

### **3.1 Convirtiendo señal MIDI a LED o Solenoide**

Inspirado en los proyectos vistos en el Capítulo I, decidí utilizar MIDI por su versatilidad para la ejecución de las notas musicales, y, por lo tanto, utilicé el programa Cubase<sup>33</sup> que permite usar MIDI y al mismo tiempo enviar una señal MIDI fuera del programa. Esta señal va hacia el programa LoopMIDI,<sup>34</sup> creando así un puerto MIDI virtual para dar la posibilidad de enviar datos hacia otros programas internos en la computadora. En este caso los envía a Hairless MIDI,<sup>35</sup> siendo éste un puente entre la tarjeta física de Arduino UNO<sup>36</sup> y LoopMIDI. En Arduino UNO se

---

<sup>33</sup> Software de producción musical (*Cubase: software de producción musical* / Steinberg, 2023).

<sup>34</sup> En esta página puedes descargar y saber un poco más acerca de LoopMIDI (*loopMIDI* / Tobias Erichsen, s/f).

<sup>35</sup> En esta página puedes descargar y saber un poco más acerca de HairlessMIDI (*The Hairless MIDI<->Serial Bridge*, s/f).

<sup>36</sup> Arduino UNO es una placa microcontroladora basada en el ATmega328P. Tiene 14 pines de entradas/salidas digitales y 6 entradas analógicas (*Arduino*, 2018).

procesan los datos de acuerdo con el algoritmo que el usuario haya programado en Arduino IDE<sup>37</sup> y, finalmente, pasará al pequeño circuito para encender el LED. Esta cadena de procesos es más clara en la Figura 9.

### Figura 9

*Diagrama de programas para encender un LED utilizando MIDI dentro de Cubase*



La idea de utilizar todo el entorno de Arduino es que ofrece la posibilidad de controlar *hardware* con un costo accesible, además también tiene su propio *software* para programar, lo que facilita su uso.

Se utiliza MIDI porque éste tiene la similitud en la luz emitida por el LED, ambos encienden, apagan y pueden traducir intensidad. Encender y apagar está relacionado con el presionar o no una nota, mientras que la intensidad en música está relacionada con la dinámica, en otras palabras, qué tan fuerte o suave puede sonar una nota.

Este principio también es válido para poder usarlo con un solenoide, sustituyendo o utilizando al mismo tiempo el LED. En este caso el solenoide se puede entender como si fuera una baqueta que permitirá percudir algún instrumento. En la Figura 10 se observa el diagrama del proceso para utilizar un solenoide y un LED al mismo tiempo.

<sup>37</sup> Arduino IDE es la interfaz que ofrece Arduino para realizar la programación que se enlazará a las tarjetas de Arduino (Arduino IDE 2.1.1, 2023).

## Figura 10

*Diagrama de programas para encender un LED y un solenoide utilizando MIDI dentro de Cubase*



Esta acción de traducir las notas musicales de MIDI a activar el LED o solenoide es la base que comparten ambos robots musicales, a partir de este punto realizo la construcción de la interacción musical del robot.

### 3.2 A3, *mini robot musical*

A3 es el nombre del robot musical percusionista. La idea de llamarlo “mini” se debe a su pequeño tamaño, que no excede los 15 cm de altura y de ancho sin contar los instrumentos que va a utilizar. La letra A hace referencia a un tipo de cuerpo que mantendrá similar durante sus variantes, además, la letra indica que es el primer robot musical que construí, mientras el número 3 indica la versión del cuerpo de este robot.

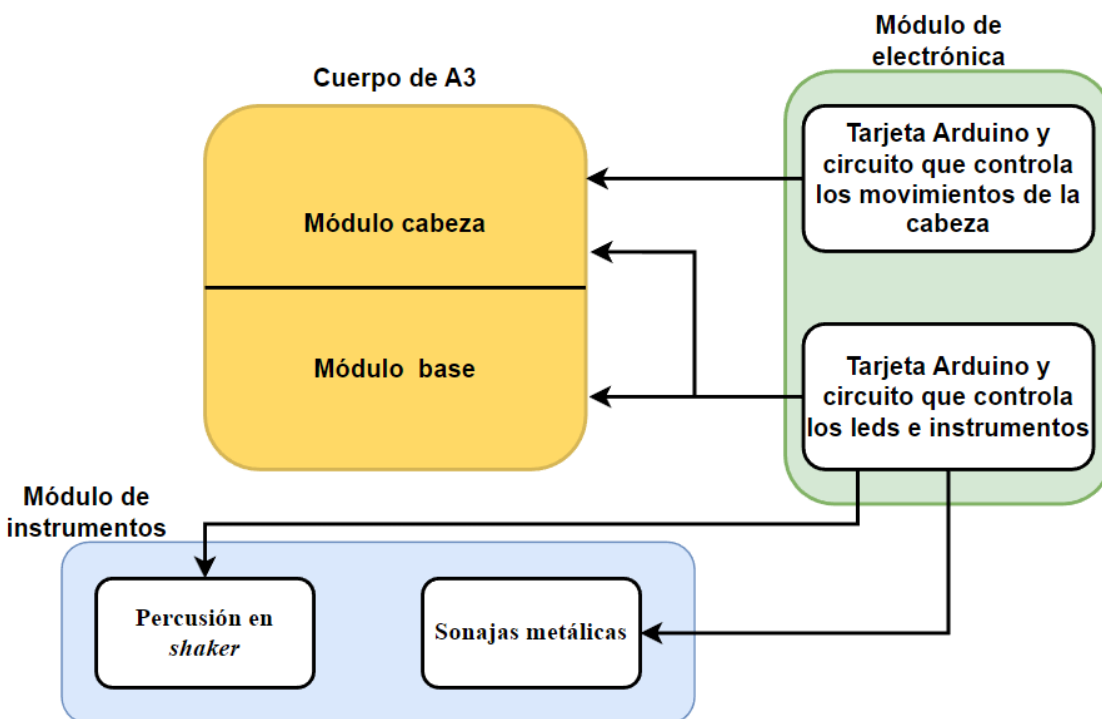
Cada versión anterior cumplió un objetivo, A fue la integración de la programación con la lectura de datos MIDI, utilizando la placa Arduino UNO y un pequeño circuito que activa los LEDs y solenoides; al mismo tiempo, A sirvió para entender los mecanismos que harían posible el funcionamiento del robot. A2 agrega un LED en la base y un LED en la parte superior de la cabeza que parpadea al tempo de la secuencia MIDI; por otra parte, A3 adquiere una columna interna que da soporte a la cabeza y oculta parcialmente el mecanismo que hace girar la cabeza.

El tamaño pequeño del robot presenta las ventajas de que es fácil de transportar y fácil de reensamblar. Se pensó que fuese construido por los siguientes módulos: una cabeza extraíble, la base de la cabeza, los instrumentos y el de la electrónica.

Estos módulos se pueden observar de manera gráfica en la Figura 11 para el caso del robot musical A3.

### Figura 11

*Módulos que componen al mini robot musical A3*



Este robot musical se construyó con la habilidad de tocar dos instrumentos utilizando dos solenoides para tocarlos. Estos se pensaron como si fuesen dos manos que le permiten tocar un pequeño *shaker*<sup>38</sup> de manera percutida y no sacudida, y también percute dos pequeñas sonajas metálicas.

<sup>38</sup> *Shaker* es un instrumento que produce sonido al sacudirse. El *shaker* que se utiliza en este proyecto tiene la forma de una pequeña caja de madera, es por eso que decidí percutirlo en vez de sacudirlo.

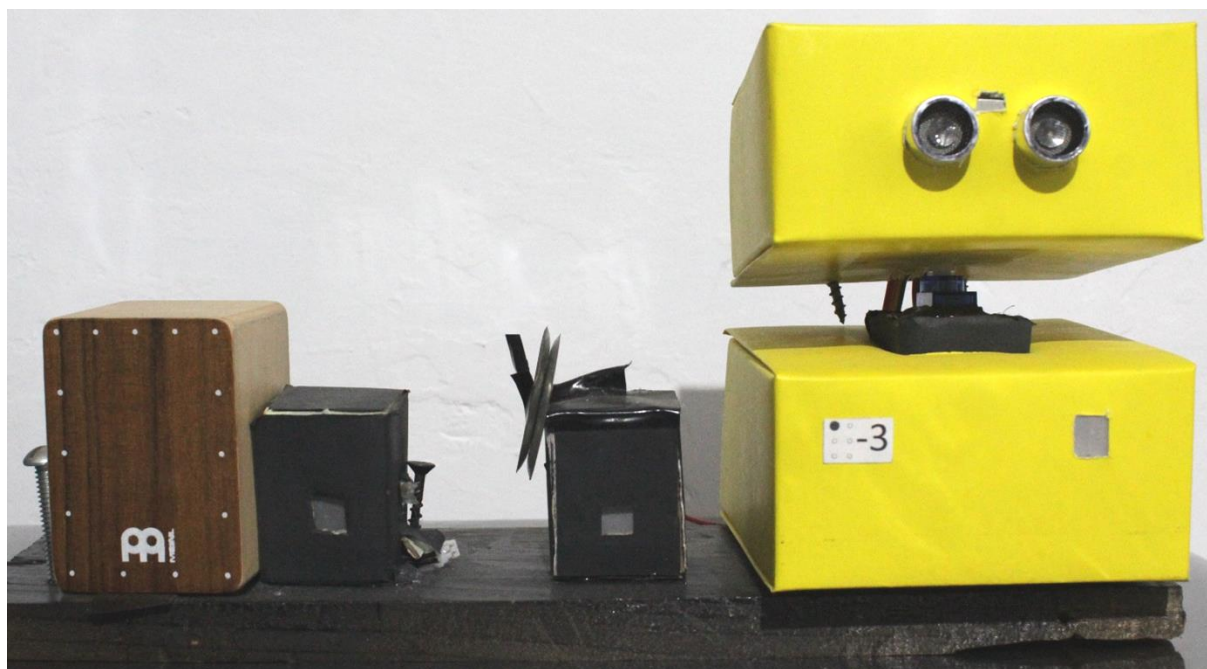


El robot tiene la capacidad de girar su cabeza aleatoriamente, lo que le da la apariencia de moverse con la ejecución de sus instrumentos, como si estuviese interactuando con ellos. El movimiento de la cabeza se realiza con una placa Arduino UNO independiente a la placa Arduino UNO que controla los LEDs y solenoides. Esto me facilitó el entendimiento y programación de cada parte.

En la Figura 12 se puede observar la última versión del robot A3 junto a las sonajas metálicas extraídas de un pandero y al *shaker* con forma de caja. En las pequeñas cajas negras están ocultos los solenoides que le permiten tocar estos instrumentos, estos incluyen un pequeño LED que se enciende al activarse los solenoides, mismo que permite mejorar la visualización de la ejecución, como si fuese el reflejo del movimiento de las manos al tocar estos instrumentos.

### Figura 12

*Mini robot musical A3 junto a los instrumentos que interpreta*



### 3.2.1 La forma de A.

A tiene un cuerpo antropomórfico y está inspirado en la forma del robot WALL·E de la película homónima. Mantener una forma similar a la del robot WALL·E crea la percepción de un objeto agradable y familiar, creando una sensación de fácil interacción con el robot. Para el robot A se decidió que su cuerpo fuese ensamblado por dos módulos: la cabeza, que tiene la capacidad de girar hacia los lados, y la base, que sirve para cubrir el mecanismo que hace girar la cabeza. Decidí que los dos módulos tuvieran la forma de un prisma cuadrangular para facilitar su construcción e integración con el servomotor<sup>39</sup> y un sensor ultrasónico.<sup>40</sup>

En la cabeza se integró el sensor de ultrasonido, el cual tenía el propósito de detectar algo que estuviese suficientemente cerca y detuviera el giro de la cabeza. Sin embargo, este proceso ya no fue implementado y solamente quedó como un adorno que aparentan ser sus ojos. La cabeza puede girar gracias a un pequeño servomotor oculto en la base y la distancia entre la base y la cabeza crea la idea de un pequeño cuello.

En la Figura 13 se observan algunos de los bocetos que realicé de este pequeño robot. Es posible observar cómo voy desarrollando la forma que podría tener este pequeño robot y la posible disposición espacial con sus posibles instrumentos. En este punto aún no se decidían los instrumentos que utilizaría para percudir. Los números indican el orden en el que fueron creados.

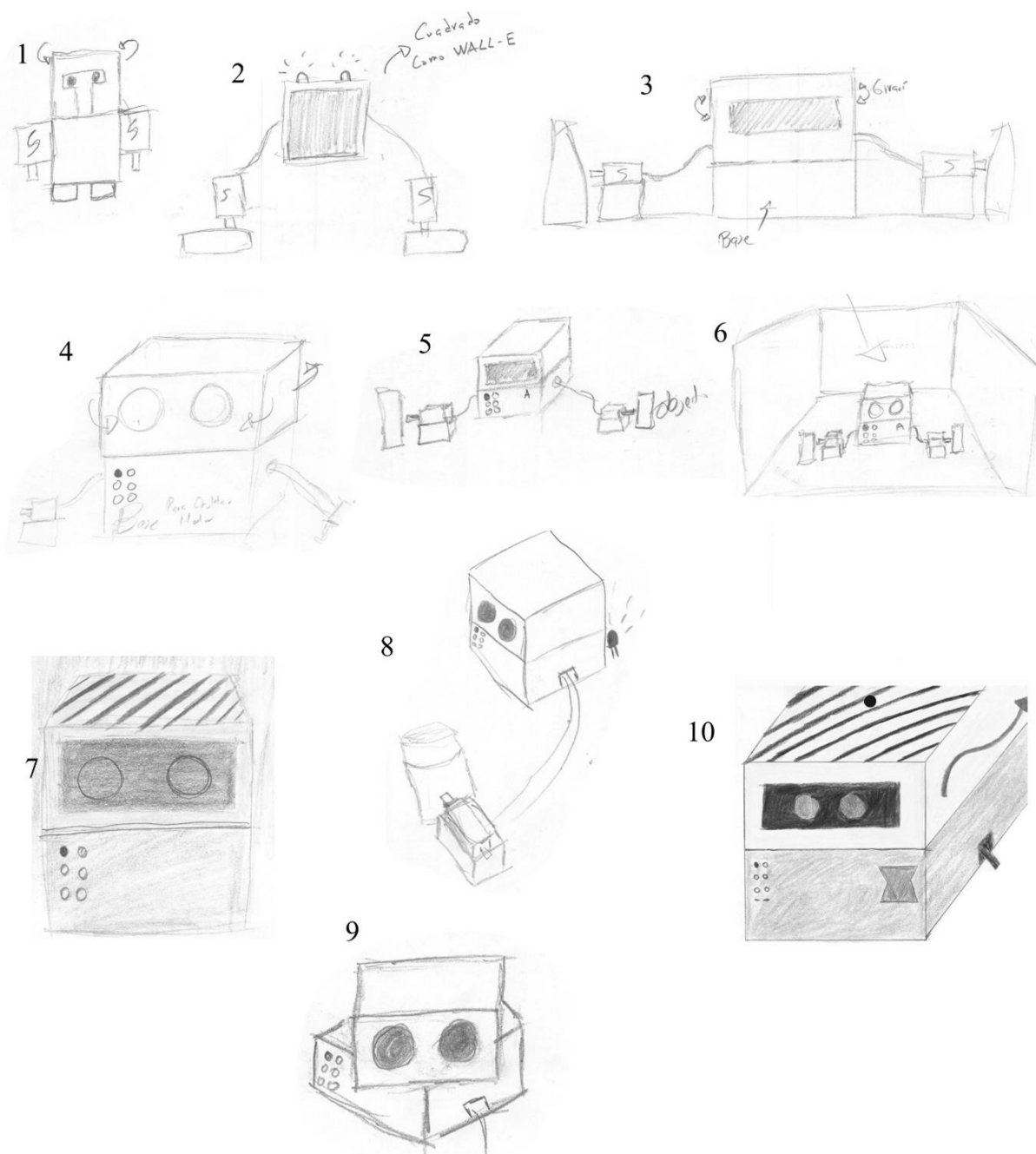
---

<sup>39</sup> “El servomotor es un tipo especial de motor que no gira alrededor de un círculo continuamente, sino se mueve a una posición específica y permanecen en ella hasta que se le diga que se mueva de nuevo” (Fitzgerald & Shiloh, 2013, p. 63).

<sup>40</sup> El sensor ultrasónico o sensor de ultrasonido es un detector de distancia que tiene hacia el objeto.

### Figura 13

Algunos bocetos del robot A creados el 20 y 21 de marzo del 2022, enumerados en orden de creación

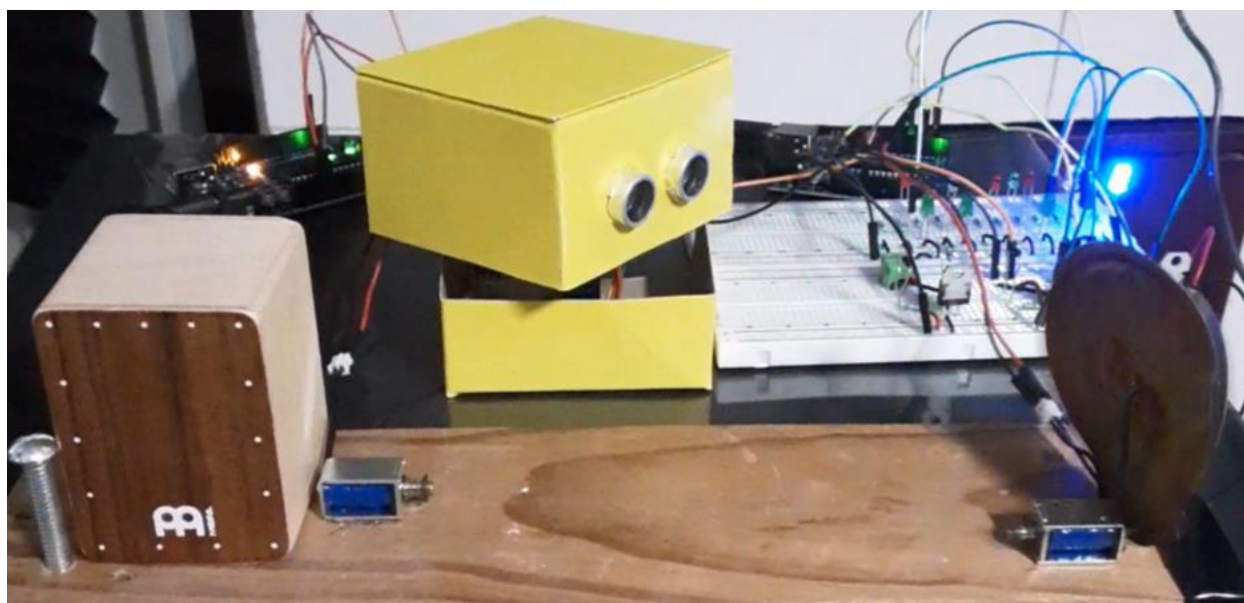


*Nota.* En los bocetos 1 al 3 se observan tres propuestas del mini robot, mientras que los bocetos 4 al 10 se enfocan en desarrollar la idea del boceto 3.

En la Figura 14 se puede observar la primera versión del robot A, la cabeza da la sensación de que está observando un par de latas que tenían la función de ser unas sonajas metálicas, a un costado de éstas se observa un solenoide que las percute. Del lado izquierdo se observa el *shaker* y a un costado se observa el solenoide que lo percute. Al otro lado del robot A se observa el circuito que permite encender los LEDs y activar los solenoides. La luz que se muestra tenía la función de visibilizar los pulsos del metrónomo, pero al quedar al exterior del cuerpo del robot, la atención se centraba en la luz y no en mirar el cuerpo del robot, por lo que se decidió incorporarlo en el cuerpo del robot para las siguientes versiones.

### Figura 14

*El robot A ejecutando una secuencia*



*Nota.* En la imagen se observa al robot A moviendo su cabeza y ejecutando una secuencia mientras encienden un led azul

De este modo se llegó a la última versión llamado A3, ilustrado en la Figura 12, donde el robot da la sensación de tener más vida y no solo de ser una máquina de secuencia rítmica aplicada en dos instrumentos acústicos.

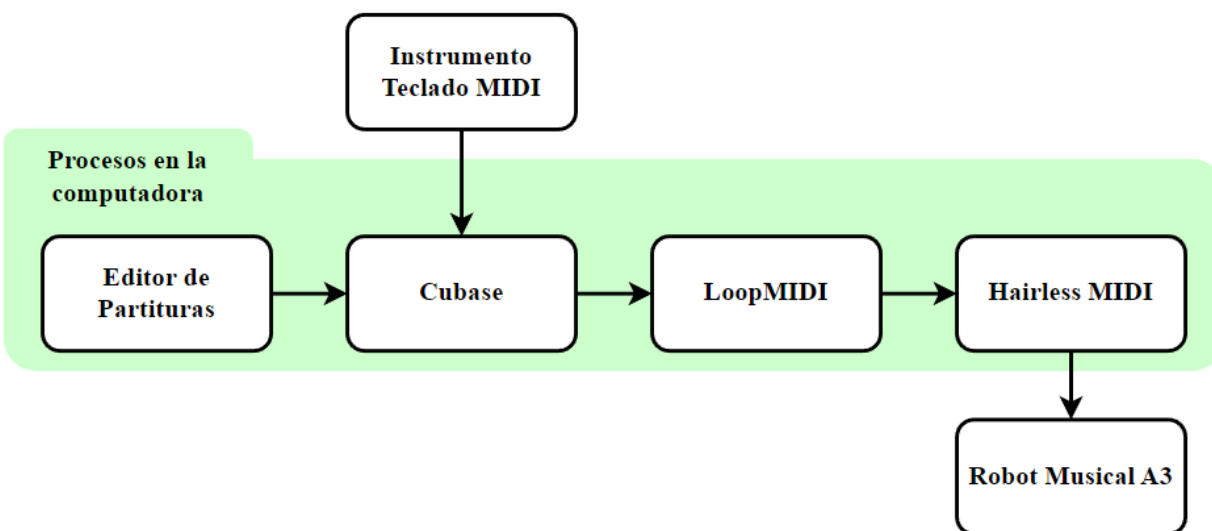
### 3.2.2 El algoritmo de A3.

Antes de explicar el algoritmo es necesario aclarar la cadena de procesos que necesita A3 para poder tocar sus instrumentos. Del mismo modo, es necesario recordar que A3 tiene dos tarjetas Arduino UNO que funcionan de manera independiente, y en esta sección solamente se abordará el algoritmo que le permite accionar sus mecanismos en los instrumentos y los LEDs que muestran el pulso interno del robot.

En la Figura 15 se observa el diagrama que refleja la cadena de procesos, estos incorporan al cuerpo del robot un teclado MIDI externo que permite escribir datos en Cubase y, al mismo tiempo, controlar los mecanismos del robot que dan hacia sus instrumentos. Al inicio de la cadena en los procesos de la computadora se agrega un editor de partituras que se utilizó para la facilidad de escribir las figuras rítmicas.

#### Figura 15

*Diagrama que indica la cadena de procesos*



El algoritmo de este robot se basa en los datos MIDI que puede recibir el robot, además de enviar la señal para encender y apagar los LEDs y solenoides que utilizará el robot musical para accionar el instrumento.

La página web creada por Raes (s/f-b) muestra una serie de tablas con datos MIDI y sus funciones, en ellas se explica que un mensaje MIDI está integrado por tres valores: comando, número de nota y velocidad de la nota. En este caso utilizaré el valor de comando 148, que indica cuándo una nota está presionada, comando 128 cuando se ha dejado de presionar, número de la nota MIDI, y, finalmente, la velocidad. Esta última es la presión aplicada a la nota y se indica con valores de 0 a 127, correspondiendo a nula presión hasta máxima presión.

La Tabla 8 indica el comando de encendido y apagado, así como la relación final que tienen las notas MIDI con la nota real que se utilizará para activar o desactivar la acción del robot A3.

**Tabla 8**

*Relación Valores MIDI y salidas físicas del robot A3*

<b>Comando</b>	<b>Nota MIDI</b>	<b>Nota musical</b>	<b>Acción</b>
148	48	Do	Activa LED y solenoide del <i>shaker</i> .
	50	Re	Activa LED y solenoide de las sonajas metálicas.
	52	Mi	Activa LED del cuerpo de A3 que indica el tempo.
124	48	Do	Desactiva LED y solenoide del <i>shaker</i> .
	50	Re	Desactiva LED y solenoide de las sonajas metálicas.
	52	Mi	Desactiva LED del cuerpo de A3.

La tarjeta Arduino tiene una serie de pines que pueden usarse como datos o señales de salida, de esta manera se envían hacia los circuitos de LEDs y solenoides del robot A3. Una vez listos todos los datos que se van a utilizar, procedo a crear el algoritmo para este robot.

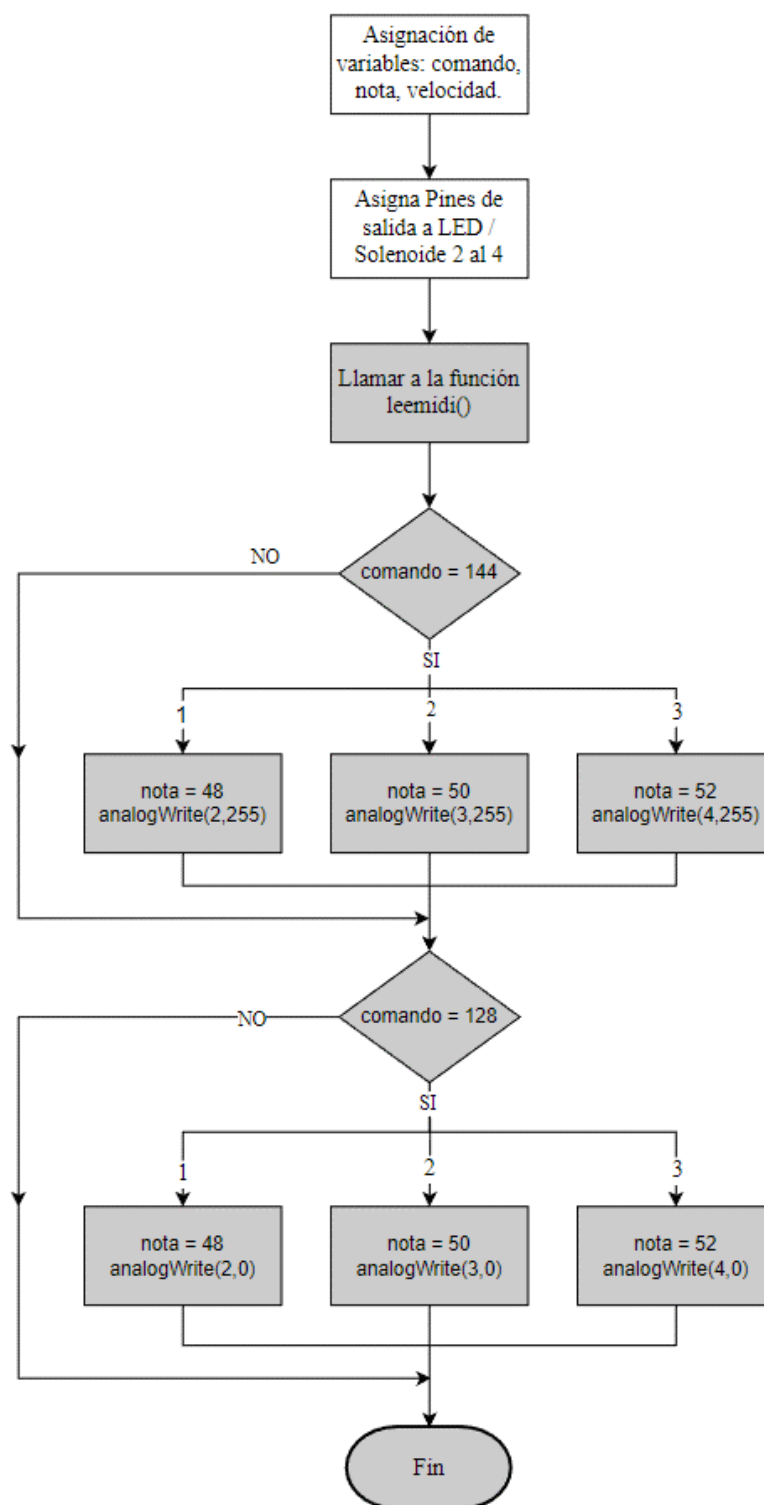
**a) Algoritmo del robot A3.**

1. Se asignan los nombres de las variables que se utilizarán para leer y guardar los datos MIDI que provienen del programa Hairless MIDI, estas variables son comando, nota y velocidad.
2. Se asignan los pines de salida de la tarjeta Arduino UNO, en este caso utilizaremos los pines 2, 3 y 4.
3. Llama a la función que nos permite leer los datos MIDI almacenados en las variables, comando, nota y velocidad.
4. Si una nota ha sido presionada, en otras palabras, que el comando tenga el valor de 144, procederá al paso 5. En caso de ser falsa procederá al paso 6.
5. Se preguntará, ¿cuál es el número de la nota?, al encontrar la nota se procede a encender el LED y el solenoide asignado a la nota correspondiente.
6. Se preguntará si la nota se ha dejado de presionar, el comando deberá tener el valor de 128, en caso de ser falso, procederá al paso 8.
7. Procederá a preguntar, ¿cuál es la nota que se dejó de presionar? Al encontrar la nota desactiva al LED y el solenoide asignado a la nota correspondiente.
8. Termina el algoritmo.

La programación en Arduino está diseñada para mantener en ciclo una parte del código, esto se puede observar en la Figura 16, en los bloques que están sombreados. Asimismo, esta figura es un diagrama del algoritmo anteriormente descrito.

**Figura 16**

Diagrama del funcionamiento del algoritmo de A3





El código, al estar en ciclo, se puede entender que está en un modo de espera de recepción de datos MIDI, ya sean que vengan de una secuencia dentro del programa Cubase o de un teclado externo que esté conectado con Cubase.

Es necesario aclarar que, aunque se leen los datos de la velocidad MIDI, estos no se aplicaron a los solenoides, ya que estos son de cinco voltios y se activan muy cerca de este valor, por lo que en el resultado sonoro no marcaban una diferencia significativa.

El algoritmo anterior incluye una función que nos permite leer los datos obtenidos por Hairless MIDI. Esta función, titulada “lee midi”, es un bloque de código que se encargará de leer y guardar en las variables de comando, nota y velocidad los datos MIDI, este proceso se describe de la siguiente manera:

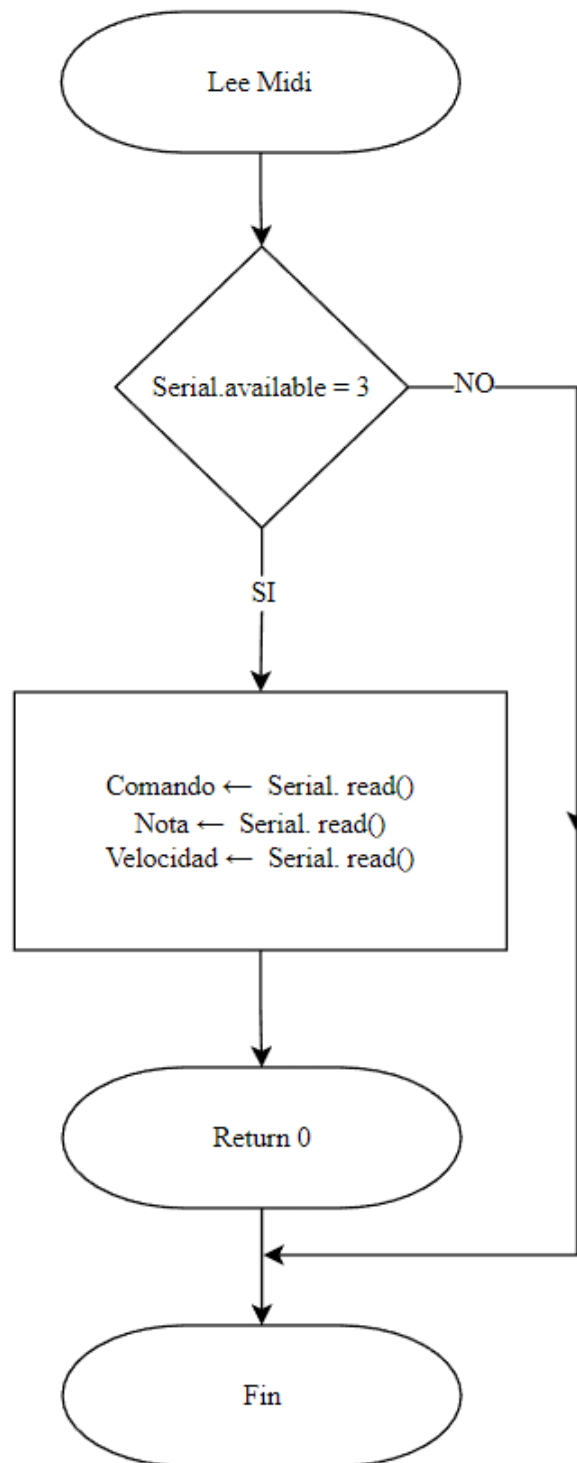
**b) Algoritmo de lectura de datos MIDI.**

1. Se inicia la función lee midi.
2. Se pregunta si hay tres datos disponibles en `Serial.available`, en caso de que no existan datos disponibles, continuar al paso 5.
3. Si hay datos, se asignan a las variables comando, nota y velocidad de los datos obtenidos de `Serial.read()`.
4. La función lee midi no regresa ningún valor.
5. Termina la función.

En la Figura 17 se observa el diagrama de bloques que muestra, de manera visual, el algoritmo descrito previamente.

**Figura 17**

*Diagrama de la función lee midi.*



Estos algoritmos resuelven fácilmente el tocar un instrumento, manteniendo activado el LED y los solenoides el mismo tiempo de duración que la nota musical. Sin embargo, esto genera un pequeño problema a la hora de percudir, ya que no permite que el sonido se emita correctamente al eliminar la vibración del instrumento.

La acción de percudir debe ser lo suficientemente rápida para que el sonido deseado en la percusión pueda emitirse correctamente. Por lo tanto, la edición de las notas MIDI en el programa de Cubase se realizarían de manera manual, ajustando la duración a aproximadamente entre 13 a 15 milisegundos. Esta situación no es algo del todo viable para el músico compositor, por ser un proceso que lleva mucho tiempo de edición, y puede empeorar si la obra o el arreglo es de larga duración.

Este problema del tiempo de la acción para percudir se tomará en cuenta para las próximas modificaciones y variantes del robot musical A. Para el robot B1 se toma en cuenta, en su algoritmo, el manejo del tiempo preciso para la improvisación.

### **3.2.3 Robot A y la interacción musical con un humano.**

Para poner a prueba la interacción musical entre robot musical y ser humano, se crearon dos pequeñas miniaturas musicales con el objetivo de experimentar la creación, la ejecución e interacción musical con el robot musical. El video titulado *Prueba 2 (Miniatura) Dúo [ R - H ] (Arduino)*<sup>41</sup> es el resultado de la prueba número dos que incluye los procesos de la programación en el robot musical, la composición musical, la edición de la secuencia en la computadora, el diseño del robot y las pruebas de ensamble musical entre robot y humano.

---

<sup>41</sup> Este video se puede ver y escuchar en la página de YouTube (Luis Alberto Castillo Flores, 2022a).

La miniatura que se escucha en el video está compuesta para el robot musical A y una guitarra interpretada por un ser humano. La armonía es una secuencia sencilla de acordes que combina una técnica de rasgueo similar a la rumba flamenca. La miniatura explora los ritmos a gran velocidad de ejecución del robot A sobre sus instrumentos, combinando la parte rítmica del rasgueo y percusión sobre la guitarra.

La edición de la secuencia fue algo pesado, ya que se tuvo que explorar el tiempo de activación de los solenoides, funcionamiento que se puede observar en el video: cómo los solenoides presentan variaciones en el tiempo de activación.

El proceso es bastante similar a cuando estás ensayando con otro músico, por lo que te olvidas de que estás tocando o ensayando con un robot. Te concentras más en aspectos del ensamble, como la sincronización y las dinámicas, y en este caso era importante el control de la dinámica en la guitarra para tratar de homogeneizar el sonido de ésta con el que producía el robot.

En el caso del tempo del robot, la prueba de seguirlo de manera visual con el LED que indica el tempo en el robot es exitosa, excepto cuando es para marcar la entrada que inicia la obra. En este caso recurrí a la idea de una pre-cuenta sonora para sincronizarme con el robot.

La cabeza del robot tiene un movimiento aleatorio, que a la hora de estar tocando da la sensación de que se está sincronizando con la música, como si estuviera interactuando conmigo y con los instrumentos. Si bien soy consciente de este proceso del robot, a la hora de estar tocando realmente no se siente de esta manera.

En la Figura 18 al fondo se observa la pantalla de la computadora donde se aprecian unas líneas rojas que indican la secuencia MIDI, tanto del tempo como de los instrumentos, estas

señales van hacia el robot musical con las que el músico se sincroniza, siendo esta prueba de la primera interacción musical entre el robot A y el guitarrista, compositor-constructor.

### Figura 18

*Robot musical A tocando una miniatura original con Luis Alberto Castillo Flores [Fotograma]*



*Nota.* Robot A y Luis Alberto Castillo Flores interpretando una obra original, se puede ver y escuchar en el siguiente enlace: <https://youtu.be/lyPFy9KtMvE?si=JQFiVHdPBMtmqWEd>.

La miniatura 2<sup>42</sup> ya es realizada con el robot A3, en esta pieza se continúa la exploración rítmica entre robot y músico humano, siendo una propuesta de preguntas y respuestas rítmicas pre escritas, con las que el músico humano trata de aproximarse a la hipervelocidad de A3 con los rasgueos, resultando en una obra de un virtuosismo rítmico entre robot y humano.

En la Figura 19 se puede observar el dueto de robot musical y humano ejecutando la miniatura 2, en este punto estoy más acostumbrado al robot, pero la miniatura, al ser más

---

<sup>42</sup> Es posible ver y escuchar la miniatura 2 en la página de YouTube de la Facultad de Artes -BUAP (2022a).

compleja rítmicamente, necesito observarla y escuchar con más atención para no retrasarme en el tempo del robot.

### Figura 19

*A3 y Luis Alberto Castillo Flores tocando la miniatura 2*



*Nota.* En la imagen se ve al robot A3 y al músico interpretando la obra titulada miniatura 2 [Fotograma], obtenida del video titulado Miniatura Robot musical BUAP trabajo de Luis Castillo (estudiante de la MAIT), Facultad de Artes -BUAP, (25 Nov 2021) YouTube. <https://youtu.be/YZSAVoufSrA>.

Estas dos obras muestran la construcción de la interacción musical del robot desde mi punto de vista, conformado por el movimiento del cuerpo del robot musical que interactúa con los instrumentos y por una secuencia MIDI creada previamente.

En un inicio el movimiento de la cabeza del robot me era suficiente para sentir que estaba interactuando con el robot, pero conforme fue pasando el tiempo y la novedad, me habitué a esta situación, por lo que solamente me concentraba en lo sonoro para ejecutar la música. Esta

situación produjo la inconformidad que me llevó a mejorar la interacción del robot con su entorno, siendo el punto de partida para construir el robot musical B1.

### ***3.3 B1, robot musical de glockenspiel***

El robot B1 recibe este nombre al ser el segundo robot que construí durante el proceso de la maestría. Este robot tiene la capacidad de ejecutar un instrumento de percusión llamado glockenspiel,<sup>43</sup> con el que se pretende que el robot sea capaz de ejecutar secuencias melódicas o armónicas. Al crear a B1 con estas capacidades, el músico humano puede interactuar con el robot de manera similar a como lo haría con un músico humano. Además, como compositor puedo explorar las posibilidades sonoras del robot con un glockenspiel.

Con el fin de tener esta interacción, se realizó el arreglo de tres obras musicales de Rodrigo y Gabriela,<sup>44</sup> éstas son “Capitán Casanova”, “Tamacun” y “11:11”. Los tres arreglos son interacciones musicales de secuencias, no obstante “11:11” es la única que se explora como si fuese un ensamble musical, lo cual se explicará en la última sección de este capítulo.

Con B1 decido explorar la interacción musical pregunta–respuesta, con la idea de que el robot pueda generar una propuesta sonora que esté ligada a las notas que el humano toca. De este modo se integra principalmente la composición musical y la programación considerando las limitaciones que B1 tiene para ejecutar su instrumento y las posibilidades del propio instrumento.

Se continúa utilizando MIDI como medio de comunicación entre el robot musical y los datos enviados por la computadora, solamente que en este caso la tarjeta Arduino será una que ofrece mayor número de salidas externas para enviar señales al circuito electrónico. En este caso

---

<sup>43</sup> “Metalófono que consiste en una serie graduada de barras de acero, por lo común ordenadas a manera de teclado de piano, que se golpean con baquetas duras de metal, de plástico o madera” (Latham, 2008, p. 662).

<sup>44</sup> Rodrigo y Gabriela es el nombre del dúo de guitarras integradas por Rodrigo Sánchez y Gabriela Quintero, quienes crean e interpretan obras propias y arreglos. Ver más en: <https://www.rodgab.com/>

se necesitan al menos 32 señales que permitan enviar los datos MIDI para activar los LEDs y solenoides que tendrán cada una de las notas del glockenspiel, por esta razón se decidió utilizar la tarjeta Arduino mega 2560 por ofrecer hasta 54 pines de salida, suficientes para la ejecución del instrumento.

El circuito electrónico es el mismo al de A3, solamente que éste se repite para tener los 32 LEDs y solenoides. Al igual que A3, tendrá dos placas Arduinos que controlarán, de manera independientemente, al robot, obteniendo así los siguientes resultados:

- La primera placa controla interacción con el espacio alrededor del robot y el movimiento de la cabeza, y
- La segunda placa se encargará solamente de la ejecución del instrumento y de los LEDs del cuerpo que sirven como identificadores del pulso de manera visual.

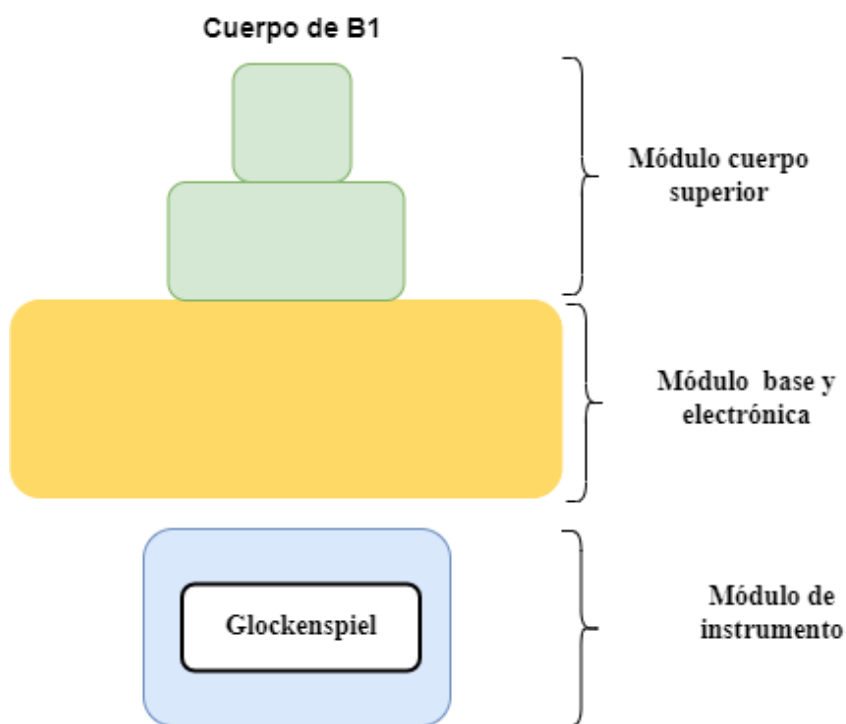
### **3.3.1 El cuerpo de B1.**

Está conformado de una manera similar al de A3, el módulo del cuerpo superior, el módulo base y electrónica, y el módulo del instrumento. Teniendo en cuenta lo anterior, en el diagrama de la Figura 20 se observa la disposición que hasta este momento tienen los módulos de B1.



**Figura 20**

*Diagrama de módulos que construyen el cuerpo de B1*



Al ser el cuerpo de B1 mucho más grande, se rescata la idea de ocultar los circuitos y cables dentro del robot, además, el módulo del instrumento requiere una adaptación especial para que pueda ensamblarse con el glockenspiel.

Se plantea que el cuerpo de B1 permita un fácil acceso a la parte interna del robot para manipular de manera sencilla los circuitos, en caso de que se necesitare alguna reparación o modificación. Del mismo modo se plantea que éste pueda desarmarse por secciones para que pueda ser fácilmente trasladado.

El cuerpo de B1 es quien tendrá la interacción física con su espacio, destacando principalmente el reconocimiento del lugar cuando el músico se acerque a éste. Esta interacción física tiene el objetivo de darle mayor vida al robot y aumentar la sensación de estar interactuando con el robot.

La forma del cuerpo que tiene B1 es antropomórfica, y, al igual que A3, también está inspirada en WALL·E. Esta forma, al ser completamente familiar, crea la sensación de ya conocerlo y facilita la interacción con el robot, misma facilidad que es aumentada porque el robot reconoce la cercanía de un ser humano.

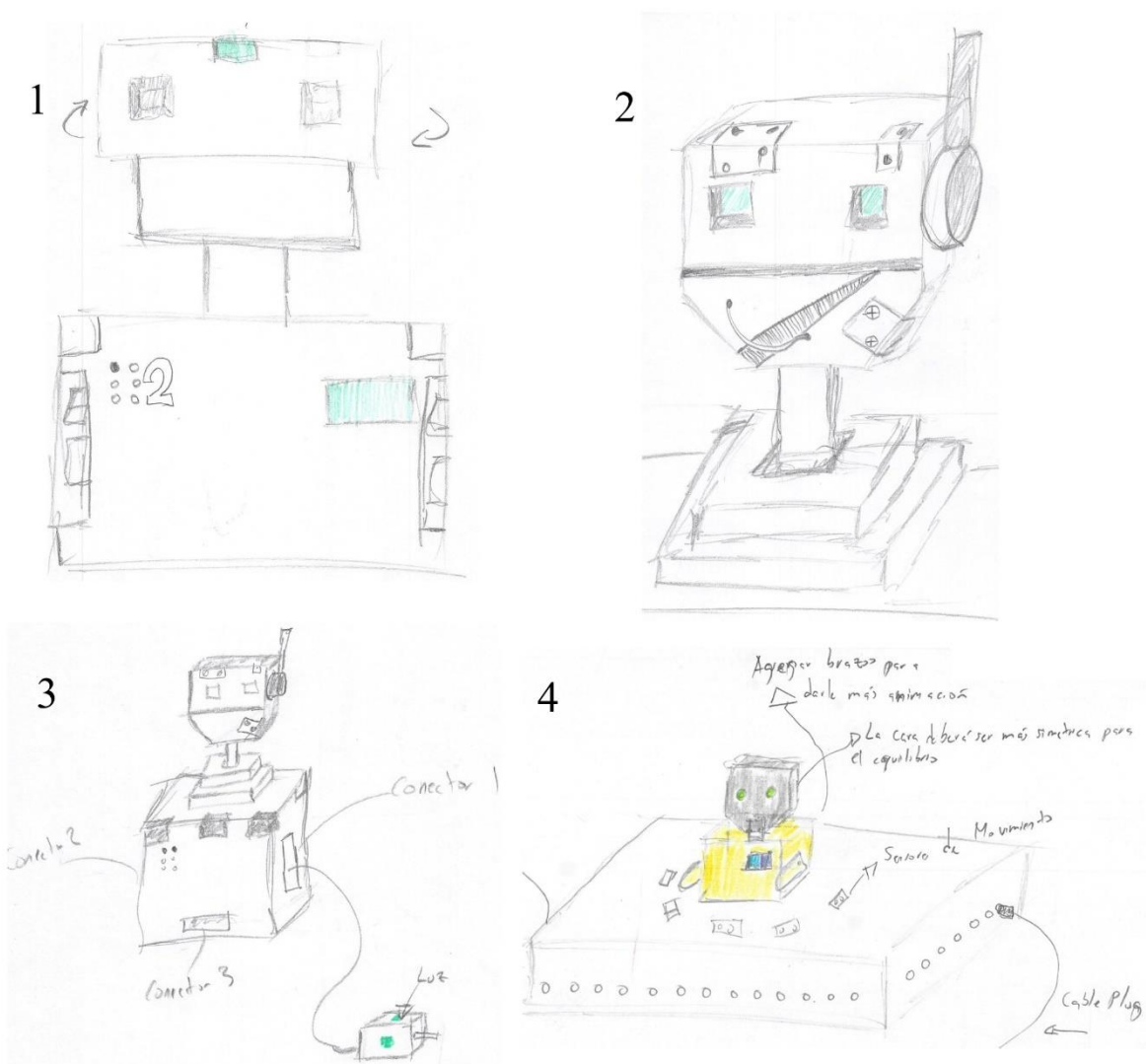
En los bocetos de cómo podría ser la nueva forma del robot, se planteaba que pudiera mover la cabeza en un eje horizontal y vertical. Están instalados los mecanismos para que éste pueda moverse en esos ejes, pero solamente se programó el movimiento horizontal, ya que durante este lapso de tiempo se le dio prioridad al algoritmo de interacción de pregunta-respuesta.

En la Figura 21 se observan algunos bocetos del proceso de B1 que originalmente iba a ser una continuación del desarrollo de A3 en mayor tamaño. Los cambios para convertirlo en B1 se dieron al conseguir un glockenspiel como su instrumento principal, por lo que se tenía planeado instalarle unos brazos que reforzaran los movimientos de B1, lo que aumentaría sus expresiones. Esta última idea no se ve plasmada en B1, pero se considera integrarla en un futuro cercano.

El cuerpo de B1 se considera un prototipo, ya que éste pretende mostrar las debilidades y funcionalidades, tanto de la construcción, programación, posición de circuitos y de la interacción, que pueda tener para dar paso a un posible robot B2.

**Figura 21**

*Bocetos de B1, enumerados en orden de creación, junio 2022*



*Nota.* El boceto 1 añade los primeros detalles al cuerpo, mientras que los bocetos 2 y 3 ilustran más detalles para la cabeza y el cuerpo. Es en el boceto 4 donde B1 adquiere una forma similar a la finalmente presentada en este proyecto.

### **3.3.1.1 Módulo cuerpo superior de B1.**

Este módulo está construido como si solo fuese A3, pero de mayor tamaño. Este cuerpo superior está subdividido en dos módulos más, la base intermedia y la cabeza. La base intermedia

es la que oculta el cuello de la cabeza de B1, igualmente oculta la tarjeta Arduino UNO que envía las señales a los servomotores y recibe las señales de los sensores de ultrasonido que están ubicados en el cuerpo.

La cabeza es el módulo que tiene los mecanismos que lo hacen girar, los cuales están integrado por dos pequeños servomotores que permiten girar la cabeza de manera horizontal y vertical, siendo un movimiento similar a cuando gesticulamos “sí” o “no” con la cabeza. En su parte interior se encuentran tres LEDs, uno de estos sirve para hacer visible el tempo de la obra y el otro par de LEDs funcionan como sus ojos, y son controlados por el módulo base y electrónica del instrumento.

### ***3.3.1.2 Módulo base y electrónica de B1.***

El módulo base es la parte inferior del cuerpo de B1, éste tiene la función de sostener el cuerpo superior y es la parte que conecta hacia el instrumento musical. La parte interna de la base es hueca para ocultar la tarjeta Arduino, batería, circuitos y cables.

En los costados tiene pequeños agujeros que le dan salida a los cables que van hacia el módulo del instrumento. De igual modo tiene una pequeña abertura para la conexión USB B de la tarjeta Arduino Mega 2560, permitiendo un fácil acceso para su conexión con la computadora.

### ***3.3.1.3 Módulo del instrumento de B1.***

El módulo del instrumento tiene una estructura que se coloca encima del glockenspiel, en la que se encuentran los 32 solenoides que permiten tocar cada una de las notas del instrumento. Se podría decir que tiene 32 dedos que le permiten tocar el instrumento. Se construyó así pensando en que este módulo sea fácil de quitar para que permita guardar y transportar al instrumento.

En el mes de diciembre del 2022 se agregaron los LEDs en esta estructura, de este modo se indica cuál nota se está activando y permite darle una mayor visualización que muestra la interacción del robot con el instrumento, además de aumentar su atractivo visual.

### 3.3.2 Algoritmo de secuencia MIDI.

Este algoritmo sigue las mismas indicaciones que el algoritmo de A3, solamente se agregan las 32 notas MIDI que se utilizarán para este robot, con sus 32 salidas de la tarjeta Arduino hacia los LEDs y solenoides.

La Tabla 9 muestra los números de las notas MIDI que se utilizan para el Robot B1 para tocar el glockenspiel. En la primera fila se indica el nombre de la nota musical, en la primera columna se encuentran los índices de estas notas. Se empieza en la nota Fa, ya que es la nota más grave del instrumento mientras que Do es la más aguda.

**Tabla 9**

*Notas MIDI que se utilizan para el robot B1*

	<b>Do</b>	<b>Do#</b>	<b>Re</b>	<b>Re#</b>	<b>Mi</b>	<b>Fa</b>	<b>Fa#</b>	<b>Sol</b>	<b>Sol#</b>	<b>La</b>	<b>La#</b>	<b>Si</b>
<b>3</b>						65	66	67	68	69	70	71
<b>4</b>	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83
<b>5</b>	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
<b>6</b>	96											

### 3.3.3 La improvisación musical de B1.

Hasta ahora la música y el accionar del robot están basados en secuencias pre escritas por el compositor, por lo que el robot no puede aportar ideas o variantes nuevas en la música.

Teniendo en cuenta lo escrito en el Capítulo II, en la sección de interacción musical pregunta-respuesta, me doy a la tarea de crear un código que permita al robot crear una respuesta a las notas que el músico llegue a tocar.

Esta improvisación está inspirada en el trabajo del músico Ólafur Arnalds, de quien observamos su relación con los pianos robóticos capaces de contestarle musicalmente creando una interacción y diálogo con ellos.

Esta sección se enfoca en la creación de la improvisación musical. Aunque por lo pronto la incorporación de movimientos del cuerpo de B1 reaccionando a la improvisación no está integrado en este punto, se continuará trabajando para integrarlo en un futuro cercano.

La improvisación musical que realizará este robot estará acotada por una serie de reglas que indicarán el ritmo, el tempo, las notas y la duración que tenga la improvisación del robot. Estas variables pueden ser preprogramadas con valores distintos que a continuación se explicarán.

La primera regla es asignar valores a las siguientes variables antes de cargar el código a la placa de Arduino, éstas son:

- El tempo basado en bpm;<sup>45</sup>
- El tipo de compás;
- Número de compases que va a durar la improvisación, y
- Un valor para calcular en milisegundos la duración de la figura del compás.

---

<sup>45</sup> *Beats per minute*, lo que significa en español el número de pulsos por minuto.

En esta exploración se encontró que esta última variable es fija de acuerdo a la figura que escojamos del compás, en el caso de ser la figura blanca tendrá el valor de 120, la negra de 60, la corchea de 30, la semicorchea de 15 y la fusa de 7.

Por ejemplo, si escogemos los valores del tempo en 60 bpm, un compás de 4/4 y un compás de duración de la improvisación, de acuerdo a lo mencionado en el párrafo anterior se podría saber que el valor de la figura corresponde al de la negra, siendo de 60. A continuación, la operación para saber el valor en milisegundos de la figura se realiza automáticamente de la siguiente manera: se multiplica el valor de la figura por 1000 y este resultado se divide entre el tempo; en este ejemplo el valor en milisegundos entonces es de 1000. Este valor es de suma importancia, ya que nos ayudará a contar el tiempo al momento de realizar la acción de percutir y obtener un buen sonido.

Para emitir un buen sonido, el solenoide necesita ajustarse por espacio de entre 13 y 15 milisegundos, por lo que teniendo en cuenta el ejemplo anterior, el programa deberá contar 15 milisegundos para mantener activo el LED y solenoide. Una vez transcurrido esos milisegundos deberá desactivar y contar hasta que se alcancen los milisegundos de la figura del tempo, siguiendo el ejemplo anterior, esto significaría hasta que llegue a los 1000 milisegundos. Así volvería a contar hasta terminar la duración del compás.

De la misma manera, al momento en que el músico toca una nota, el robot sabrá que nota es. Supongamos que el músico humano está tocando la nota Do, por lo tanto, el robot podrá escoger cualquiera de las tres notas Do que tiene a su disposición en el glockenspiel. De igual modo podrá escoger si en una parte del tiempo del compás podrá tocar o no alguna de las notas Do, resultando en algunos ritmos indicados con máxima y mínima longitud de acuerdo con el compás.

Si la duración de la improvisación dura un compás de 4/4, la figura más pequeña con la que podría improvisar en este caso será la de 1/4, lo que es equivalente a la figura de la negra. De este modo se crea una malla rítmica en la que el robot escogerá cuál nota puede ser.

En la Tabla 10 se ilustra el ejemplo de esta malla rítmica, en la primera fila se indica cuál es el compás y los pulsos que tiene este compás, la segunda fila indica las nota aleatorias o silencios que podrá ir escogiendo el robot por cada pulso.

**Tabla 10**

*Ejemplo de improvisación a una sola nota del robot B1*

Compás de 4/4	Pulso 1	Pulso 2	Pulso 3	Pulso 4
Notas aleatorias de B1	Do4	Silencio	Do6	Do5

En la Figura 22 se aprecia el resultado en la partitura del ejemplo anterior:

**Figura 22**

*Ejemplo de improvisación a una sola nota del robot B1 en partitura*



La complejidad sonora de la propuesta del robot puede variar si el músico humano toca más de dos notas. Con esta improvisación cada nota lleva su propia cuenta de compás, por lo que podría existir un desfase en la improvisación del robot si el músico humano ingresa una nota desfasada.



Por ejemplo, si tenemos un compás de 4/4 con una duración de un compás de improvisación y el músico ingresa las notas Do y Mi simultáneamente y luego la nota Sol al siguiente pulso, el resultado se observa en la Tabla 11, que muestra el desfase y una propuesta posible del robot, mismo resultado que se ve, pero en partitura, en la Figura 23:

**Tabla 11**

*Ejemplo de una improvisación del robot B1: dos notas simultáneas y una desfasada*

Compás de 4/4	Pulso 1	Pulso 2	Pulso 3	Pulso 4	
<b>Nota Do</b>	Do4	Silencio	Do5	Do5	
<b>Notas Mi</b>	Silencio	Mi4	Mi5	Silencio.	
		Pulso 1	Pulso 2	Pulso 3	Pulso 4
<b>Nota Sol</b>		Sol4	Silencio	Sol4	Sol5

**Figura 23**

*Ejemplo de una improvisación del robot B1 en partitura: dos notas simultáneas y una desfasada.*



### 3.3.3.1 El algoritmo de improvisación musical de B1.

Una vez entendido el funcionamiento de la improvisación, el algoritmo tendría la siguiente estructura:

#### c) Algoritmo de la improvisación.

1. Se asignan los nombres y valores a las variables:

- Variables MIDI: comando, nota, velocidad.

- **Variables musicales:** bpm, tempofigura, figura, cuantasfiguras, compás, numerodefigurasencompas, activa.
  - **Variables para recordar notas:** bandera65on ... bandera96on con el valor de Falso, banderafigura ... banderafigura12 inicializada en cero, estadodelafigura ...estadodelafigura12 inicializada en cero.
  - **Variables para contadores:** contador ... contador12 inicializado en cero.
  - **Variables para contar tiempo:** tiempoactualfigura ...tiempoactualfigura12 inicializado en cero, intervalofigura ...intervalofigura12 inicializada en cero, tiempoanteriorfigura ... tiempoanteriorfigura12 inicializada en cero.
  - **Variables con valor aleatorio:** r1 ... r12 inicializada en cero.
2. Se asignan los pines de salida del 2 al 13 y del 22 al 41. Estos mandaran la señal a los LEDs y solenoides.
  3. Realiza la operación para saber cuántas figuras tendrá el compás, multiplicando la variable compas por cuantasfiguras.
  4. Realiza la operación para saber el valor en milisegundos de la figura del compás.
  5. Llama a la función lee midi().
  6. Llama a la función Bandera midi(), esta nos permite recordar que notas se han tocado y mantener el proceso activo de la improvisación.
  7. Sí la nota MIDI 72, 84 o 96 está activada, ve al paso número 8, si no, ve al paso 19.
  8. Guarda el tiempo interno de la placa en la variable tiempoactualfigura y en intervalofigura guarda el resultado de restar el tiempoactualfigura menos tiempoanteriorfigura.

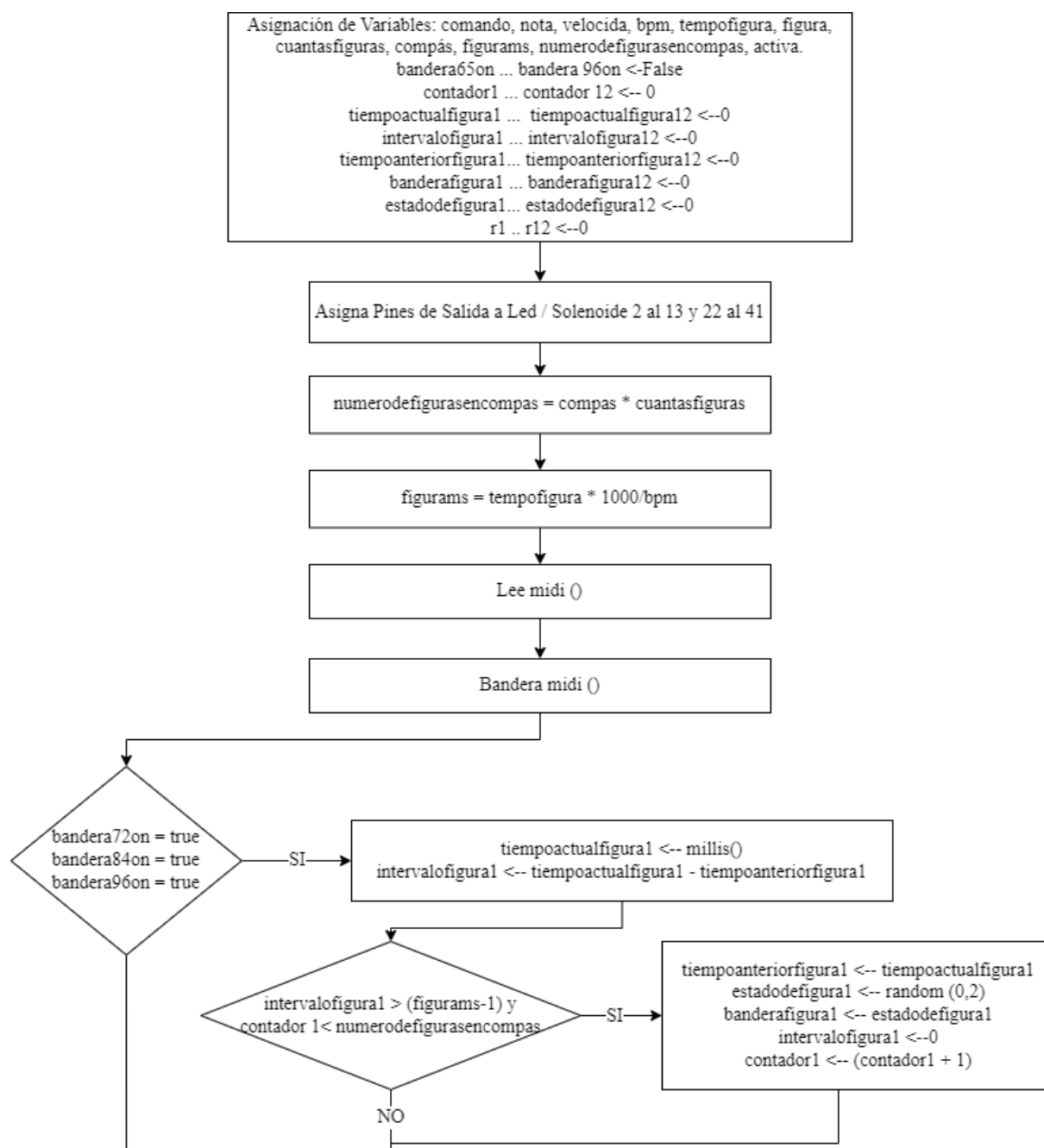
9. Si el `intervalofigura` es mayor al tiempo de la figura del compás y el `contador` es menor al `númerodefigurasencompás`. Si es verdadero ve al paso 10, si es falso ve al paso 11.
10. `Tiempoanterior` tendrá el valor de `tiempoactualfigura`, estado de figura tendrá un valor aleatorio de 0 o 1, la `banderafigura` tendrá el valor del estado de figura, `intervalofigura` tendrá el valor de 0 y `contador` sumará 1.
11. Si la `banderafigura` es verdadero, ve al paso 12, si es falso ve al paso 15.
12. Asigna a `r1` un valor aleatorio entre 0 y 2.
13. Busca si `r1` es igual al caso que le corresponde para encender el LED y solenoide.
14. Cambia el valor de `banderafigura` a falso.
15. Si la `banderafigura` es igual a falso y el `intervalofigura` es mayor a `activa`, ve al paso 16. Si es falso ve al paso 17.
16. Apaga todos los LED y solenoides de la nota seleccionada.
17. Si `banderafigura` es igual a falso y `contador` es igual a `númerodefigurasencompas` y el `intervalodefigura` es mayor a `activa`, ve al paso 18, si es falsa ve al paso 19.
18. `Contador` se reinicia al valor de cero, las banderas de las notas Do tendrán el valor de falso.
19. Fin.

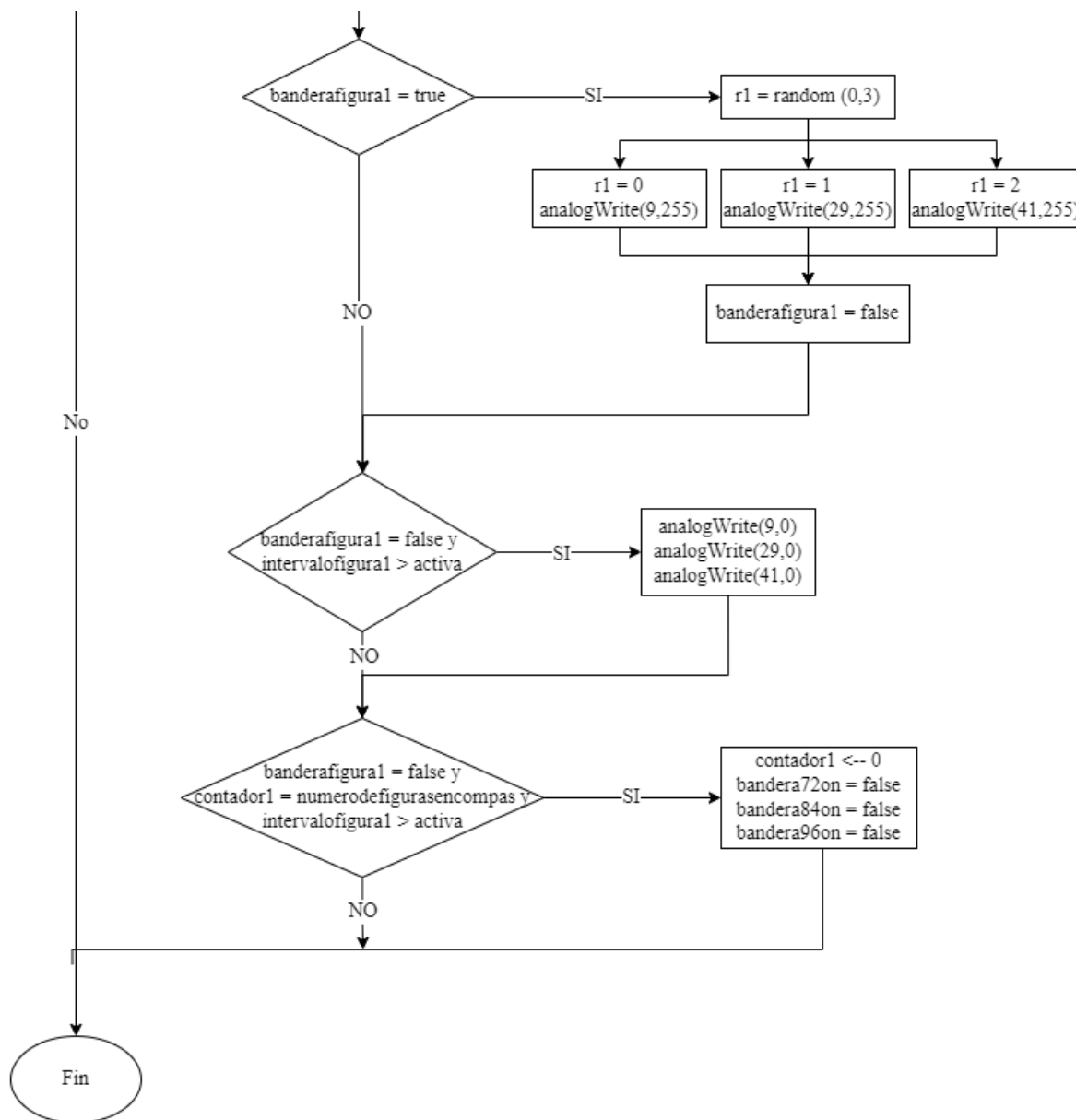
Del paso 7 al paso 19 en realidad solo ha realizado la operación para saber si el músico ha tocado alguna nota Do y realiza su improvisación, estos mismos pasos se repetirán, pero con la nota Do# y sucesivamente hasta pasar por todas las notas cromáticas.

En la Figura 24 se ilustra el algoritmo previamente descrito, los datos que se representan realizan el proceso solo para la nota Do, ya que, como se mencionó, es el mismo proceso para las demás notas.

**Figura 24**

*Diagrama del algoritmo de improvisación de B1*





El algoritmo anterior incluye una función llamada Bandera midi, esta se ocupa para que pueda recordar la nota que se ha presionado y se mantenga activa durante el tiempo indicado en el proceso de ejecución del algoritmo de improvisación. Este proceso se describe de la siguiente manera:

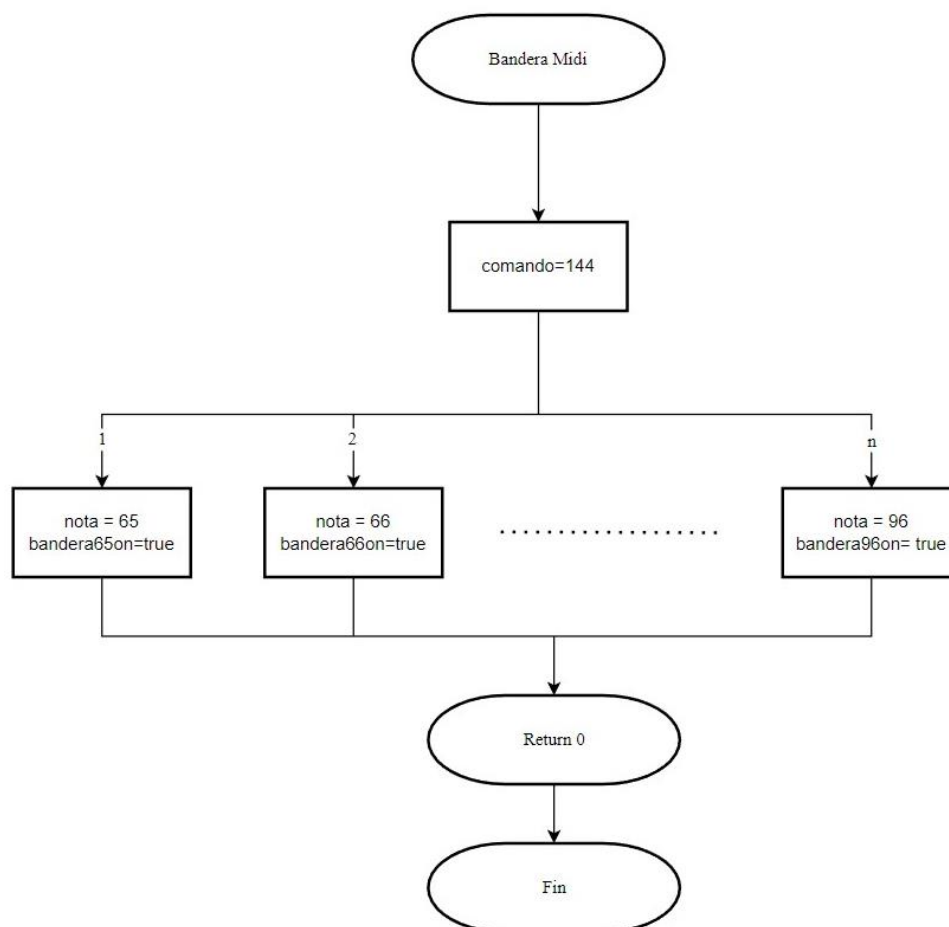
**d) Algoritmo de Bandera midi.**

1. Se inicia la función Bandera midi.
2. Si comando es igual al valor de 144.
3. Buscará el caso que corresponda a la nota MIDI y cambiará el valor de la variable banderaon a true.
4. La función Bandera midi no regresa ningún valor.
5. Termina la función.

En la Figura 25 se observa el diagrama de bloques el algoritmo descrito previamente.

**Figura 25**

*Diagrama de la función Bandera midi*



### 3.3.4 Interacción musical con humano.

La interacción musical de secuencias con B1 se puede observar en los videos que realicé en mi estudio. Estos dos arreglos que realicé de las obras de Rodrigo y Gabriela son “Tamacun”<sup>46</sup> y “Capitán Casanova”.<sup>47</sup>

En el video del arreglo de “Tamacun” se observa la construcción que le di para la interacción musical que tiene B1. Ésta se muestra con la cabeza del robot moviéndose aleatoriamente, pero con la diferencia de que éste puede detectar y voltear a la dirección donde estoy cuando me acerco a él. Esta interacción da la sensación de que me presta atención cuando estamos tocando.

En este arreglo toco la guitarra de pie, con lo que puedo probar la combinación aleatoria de los movimientos de la cabeza del robot en combinación con mis movimientos y la detección al acercarme a él. En su conjunto, estos movimientos reflejan el comportamiento al tocar con un músico humano y crean una sensación más fuerte de interacción musical que la que se tenía con A3.

Al escribir nota por nota el arreglo de la secuencia MIDI, pude probar con el robot que, al inicio, éste ejecutara las notas como si apagara un poco el sonido, lo cual funciona para darle una variedad sonora a modo de introducción. Aquí se buscó respetar la obra original que se toca a dos guitarras, y la guitarra que tiene la melodía al principio tiene notas que apagan el sonido de las cuerdas para posteriormente tocar las cuerdas sin apagarlas. Este proceso se imita para B1.

---

<sup>46</sup> El video está disponible en el siguiente enlace <https://www.youtube.com/watch?v=wByhH06yz14>, Luis Alberto Castillo Flores (2022b)

<sup>47</sup> El video está disponible en el siguiente enlace <https://www.youtube.com/watch?v=bflWCWPxPH4>, Luis Alberto Castillo Flores (2022c)

Teniendo en cuenta estas variantes, es notorio que el nivel de interacción musical es mucho mayor que en el caso del robot A3. Los movimientos del robot, junto a una escritura detallada de la secuencia MIDI, hacen que el resultado de la interacción musical entre robot musical y humano sea más satisfactorio.

En el arreglo de “Capitán Casanova” se agrega una pista extra que realicé después de grabar el video y audio del dueto entre humano y B1 para complementar el audio de este dueto. El objetivo de este arreglo es continuar practicando la interacción musical en secuencias, el detalle que se agrega es un pequeño cambio de tempo que ocurre entre las dos partes principales de la obra. Este cambio va de 130 a 140 bpm, este es pre-programado en la secuencia MIDI que ejecuta el robot, por lo que en mi caso lo estudié varias veces para poder ensamblarme correctamente con el tempo del robot.

Estos arreglos me enseñaron que la programación de la secuencia MIDI puede darme beneficios que puedan darle mayor riqueza a la hora de la ejecución de la música, de esta manera el robot podría tener una ejecución de apariencia más la de interpretación, esto de acuerdo con lo que el compositor o arreglista desea de la obra. Además de que la presentación podría tener una parte más teatral para que el robot y el humano refuercen la interacción musical.

### ***3.4 Ensemble musical de A3, B1 y músico humano***

El ensamble musical es parte de la exploración de lo que se podría hacer con estos robots en un aspecto musical, teniendo a B1 como el robot musical principal encargado de melodías, a A3 como el encargado de una sección rítmica de percusión sin afinación y al músico humano tocando una guitarra encargada de llevar la parte armónica de la obra.



El funcionamiento de estos robots es controlado por una sola computadora que envía la señal a los robots, por lo que estos robots no tienen un carácter individual. Las señales de A3 vienen dadas por el robot B1, pese a lo cual sus cuerpos dan la sensación de que están controlados de manera individual.

En la Figura 26 se observa a los robots musicales B1, A3 y al guitarrista tocando el arreglo de la obra “11:11” de Rodrigo y Gabriela.

### Figura 26

*Fotograma del video titulado Robot Musical BUAP (Luis Castillo)*



*Nota.* En la imagen se ve al ensamble de A3, B1 y al músico interpretando el arreglo de la obra “11:11” de Rodrigo y Gabriela [Fotograma], por Robot Musical BUAP (Luis Castillo), Facultad de Artes -BUAP, (13 Dic 2021) YouTube. <https://youtu.be/ZdurYBk1xow>.

El arreglo de esta obra es la primera prueba de este ensamble y se planteó con la interacción musical por secuencias, lo que significa que las notas que tocan los robots fueron arregladas y acomodadas una por una para crear la secuencias MIDI. Esta prueba se grabó para

la materia de Diseño y Producción de la maestría, por lo que es posible ver este video en Facultad de Artes -BUAP (2022b).

En esta prueba, B1 crea la sensación de que reacciona a la música al voltear a ver a otros lugares, sin embargo, los movimientos son aleatorios. En el caso de A3, éste no mueve su cabeza, pero es el único de los dos que visibiliza el tempo que llevan los robots en esta obra. Esto sucedió por la falta de corriente eléctrica que necesitaba para los robots, ya que ese día olvidé llevar la batería que alimenta a ambos robots musicales.

Podría parecer que los robots musicales nunca se equivocan, pero observé en este proceso que el robot B1 por momentos omitía una o dos notas, como cuando un humano se equivoca y se salta o toca otra nota. Estos errores no están programados ni en la secuencia MIDI ni en el algoritmo, por lo que mi única respuesta es una posible caída de la corriente eléctrica en el circuito del robot B1.

Si bien, esto podía corregirse si hubiera llevado la batería, en su momento daba la sensación de que B1 tenía una vida propia a la hora de ejecutar la música, por lo que decidí mantenerlo así para este video. Los errores en la ejecución musical me hacían sentir que se humanizaba la ejecución del robot musical, por ejemplo, En uno de estos errores se escucha cómo a una nota le faltó fuerza en su ejecución (Facultad de Artes -BUAP, 2022b, 2m 40s).

Tocar junto a robots es un gran reto en el sentido que debes de llevar un tempo lo más semejante al del robot. Al inicio de la obra hay una cuenta sonora del tempo que inicia el robot A3 con la que puedo sincronizarme fácilmente, pero cuando A3 deja de tocar, mantener el tempo se vuelve difícil por lo que volteo muchas veces a ver a A3 para seguir el tempo y así tratar de sincronizarme con los robots.

Para poder ensamblar correctamente tuve que realizar varios ensayos previamente a la grabación del video, con los que me acostumbraría a ver a A3 para saber el tempo que lleva. Este proceso es bastante similar a cuando te acoplas con otros músicos humanos, y sigues los movimientos que estos puedan hacer y el significado que tengan para la ejecución de la obra.

En este punto, el módulo del instrumento de B1 no tiene los LEDs y noté que solía observar más al instrumento que al cuerpo de B1, esta fue una de las primeras razones para ponerle LEDs a los solenoides, ya que así puedo observar cómo va tocando. De este modo es posible observar lo que espero de la interacción musical en un ensamble de robots y humano, esto es: la correcta ejecución de la música con algunos movimientos o LEDs que sirvan para entender el tempo o las secciones en las que va la obra.

La sensación que me da tocar con estos robots es bastante similar a la de tocar con un ser humano. Si bien, sé que los robots A3 y B1 están predeterminados en su ejecución y los movimientos de los robots musicales de momento están limitados, eso no es obstáculo para darle un significado musical y disfrutar la buena ejecución como lo haría cuando se toca con un músico humano.

## Conclusiones

Al principio temía que existiera un fuerte rechazo hacia el robot musical, de que su manera particular de ejecutar el instrumento no tuviera que ver nada con la música, sin embargo, hasta el momento no he encontrado mucha oposición, al contrario, he recibido comentarios alentadores y de sorpresa, ya que al integrar un robot musical mediante la interacción con un ser humano hace sentir que el robot no es solamente una fría máquina, al contrario, se siente como si fuese un compañero con quien poder disfrutar el hacer música.

Al encontrar proyectos que se dedican a hacer bandas o solistas de robots musicales e integrarlos a escenarios comunes para los músicos humanos, me hace pensar que es muy posible que los robots musicales puedan sustituir a un músico interprete humano en ciertas instancias donde requieren música en vivo, como eventos sociales, bodas, fiestas o hasta eventos culturales. Esto se pudo observar con el *Disklavier*, que ya puede realizar estas acciones, aunque tiene la desventaja de que no es fácil de trasladar por su gran tamaño. Por otro lado, el robot guitarrista Kuzma ya realiza estas funciones y tiene la gran ventaja sobre el *Disklavier* de que es más fácil de trasladar a cualquier lugar.

Teniendo en cuenta el buen resultado de la construcción de mis robots musicales, he decidido crear un grupo musical llamado A3B1, con el cual me dedicaré a integrar robots musicales en la ejecución de obras y la posibilidad de tener presentaciones en eventos culturales en los que se pueda mostrar que la interacción entre robots musicales y músicos interpretes humanos es un camino para una nueva posibilidad de ejecutar, crear y presentar música en múltiples festivales, eventos culturales en mi estado y país.

Durante el proceso de investigación comprobé que la interacción musical de un robot musical es el resultado de la construcción de la percepción del sujeto, la cual me hizo darme

cuenta de que a la hora de construir mis robots, solamente les estaba dando movimientos que yo espero de un ser humano. Esta lectura del movimiento en mi caso está arraigada por mi formación musical, sin embargo, observé que para el público estos movimientos podrían tener distintos significados y asociarlos a un modo de expresión del sentir del músico. Estos movimientos tienen que ver con el cuerpo y la interacción que realizamos con el instrumento, en mi caso, observo principalmente la cara cuando el otro voltea a verme y algún movimiento con el que pueda seguir el tempo de la otra persona. Al ponerle un LED al cuerpo del robot parecía suficiente para resolver este tema, pero me di cuenta de que también suelo observar el instrumento, lo cual es algo que hago con músicos humanos, observo las manos para poder leer el tempo de la obra, sobre todo si esa persona lleva la melodía, esto me llevó a instalarle LEDs al módulo del instrumento del robot con lo que puedo seguirle en tempo, además de que me parece bastante llamativo seguir luces en lugar de manos.

La interacción que me hizo sentir que el robot y yo somos un grupo musical fue la de pregunta–respuesta, por lo que esta interacción es el camino en el que basaré mis futuras composiciones y en seguir construyendo un algoritmo que me permita integrar las interacciones por secuencias con la de pregunta–respuesta, y de esta manera seguir en la búsqueda de nuevos algoritmos para tener nuevas posibilidades de interactuar musicalmente para hacer aún más posible la integración de inteligencia artificial en la interacción musical. Esto sin olvidar el crear algoritmos más sofisticados para los movimientos de la cabeza de B1 que puedan aparentar una expresividad de la música de acuerdo a mi percepción.

Cabe recalcar, nuevamente, la importancia de que el robot musical tenga un cuerpo más allá del propio instrumento, puesto que ello facilita la empatía e interacción tanto del instrumentista como de un público. Dado que el cuerpo es una parte esencial en la ejecución de

la música en vivo, desde el punto de vista del instrumentista es bastante importante la corporeidad del robot, ya que nos permite entender el tempo que está llevando el robot y así poder seguirlo en una interacción musical de secuencias.

Pude notar que, para un robot percusionista, la interacción con el instrumento es la primera construcción de toda la interacción musical, y fue completamente revelador que al agarrar una baqueta e impactarla al objeto musical, aunque para nuestro nivel de realidad sea una acción tan obvia, usualmente olvidamos que estamos usando valores aleatorios del tiempo que durará la acción presionando el objeto y la fuerza realizada para generar una dinámica en esta acción aparentemente simple. Una vez entendiendo esta pequeña parte de la ejecución del instrumento es cuando puede pasar a ser integrado en los algoritmos del robot para tocar o improvisar en el instrumento, siguiendo con la creación de códigos para la interacción entre cuerpos y reconocimiento visual para poder crear la interacción musical como si se tratase de un miembro más en un ensamble musical.

Una de las múltiples preguntas que me hacían era acerca de la inteligencia artificial y su uso en mis robots musicales. La razón por la que en este proyecto no se buscó desde un principio la interacción musical mediante inteligencia artificial fue que se necesitaba una gran cantidad de base de datos de ejecución de un instrumento determinado y de la traducción de un lenguaje musical a lenguaje de programación en poco tiempo, a esto se suma que este proyecto se realizó en la dificultosa transición del aislamiento por COVID-19 a realizar actividades de manera presencial. A pesar de este inconveniente, he demostrado que es posible construir un robot musical y tener una interacción musical con ellos.

A partir de esta tesis he encontrado nuevos problemas que no había considerado al crear mi robot musical, ya que se deberá ampliar el concepto de miembro o integrante para que se les

pueda incluir de manera legal para las convocatorias de becas o apoyos, las cuales exigen que un grupo musical debe estar integrado por mínimo tres miembros y te piden la firma de estos. Si bien un robot puede ejecutar uno o más instrumentos como si fuese un miembro más, de momento éste no puede firmar un consentimiento de aceptar o rechazar a un ser humano como representante del grupo, e incluso, en caso de que en algún momento se pudiera, se debería crear un padrón de robots como si fuesen actas de nacimiento, por lo tanto estas convocatorias deberán especificar que pueden existir grupos musicales integrados por puros robots musicales o grupos con miembros humanos y robóticos, de lo contrario podría obstaculizar la integración de los robots musicales en la escena musical mexicana.

Finalmente, lo que más me ha dejado maravillado, y pienso que es el objetivo de la música que deseo hacer con mis robots musicales, es que pueda integrarlos de tal modo que no se hable de otra cosa más que de la música y lo que ésta pueda despertar en la percepción de cada sujeto, tal y como le sucedió a Ólafur Arnalds.

## Bibliografía

- Adler, S. (2006). *El estudio de la orquestación*. (1a. ed. en lengua Española, correspondiente a la 3a. ed. en Inglés). Idea Books.
- admin-45. (2020, junio 30). *Jason Barnes and Gil Weinberg create a record-breaking prosthetic – Guinness Book Of Records*. Jason Barnes. <https://www.jasonbarnes.me/jason-barnes-created-a-record-breaking-prosthetic-after-losing-his-arm/>
- Angklung*. (2023). Soundiron. <https://soundiron.com/products/angklung>
- Arduino*. (2018, febrero 5). Arduino. <https://www.arduino.cc/>
- Arduino IDE 2.1.1*. (2023). Arduino. <https://www.arduino.cc/en/software>
- Art and Technology Harmonize in School of Music*. (2023). [Fotografía]. Georgia Tech. <https://www.research.gatech.edu/music>
- Arteaga, S. (2020, enero 23). *Alter 3, el robot capaz de dirigir una orquesta*. Computer Hoy. <https://computerhoy.com/noticias/life/robot-director-orquesta-568079>
- ASALE, & RAE. (2023). *Antropomórfico, antropomórfica | Diccionario de la lengua española*. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/antropomorfico>
- Bakare, L. (2014, abril 4). *Meet Z-Machines, Squarepusher's new robot band*. <https://www.theguardian.com/music/2014/apr/04/squarepusher-z-machines-music-for-robots>
- Birchum, J. (2019, marzo 13). *SXSW Music Review: Moritz Simon Geist/Daniel Brandt* [Fotografía]. The Austin Chronicle. <https://www.austinchronicle.com/daily/sxsw/2019-03-14/sxsw-music-review-moritz-simon-geist-daniel-brandt/>



Blitz City DIY. (2020, mayo 27). *The Robot Xylophone Has Landed*. [Archivo de video].

Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=xXg7IdtSOg4>

Clark, L. (2020). *Wireless BLE MIDI Robot Xylophone*. Adafruit Learning System.

<https://learn.adafruit.com/wireless-ble-midi-robot-xylophone/overview>

*Cubase: Software de producción musical | Steinberg*. (2023).

<https://www.steinberg.net/es/cubase/>

Cyborg News Channel. (2014, febrero 14). *Battle of the robot music bands: Z Machines vs Compressorhead* [Archivo de video]. Youtube.

<https://www.youtube.com/watch?v=h0DyYLLf3m8>

Davies, A., & Crosby, A. (2016). *Compressorhead: The Robot Band and Its Transmedia Storyworld* (Vol. 9549, p. 189). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-42945-8\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-319-42945-8_14)

*Disklavier—Yamaha—España*. (s/f). Recuperado el 28 de junio de 2023, de

[https://es.yamaha.com/es/products/musical\\_instruments/pianos/disklavier/index.html](https://es.yamaha.com/es/products/musical_instruments/pianos/disklavier/index.html)

@ethanwilson9406. (2020). *Surprisingly complex, can't wait to see it progress. I can't believe I got the beginning of a song written by* [Comentario en el video de Into Your Mind by Shimon the Robot]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=sHl-Cg2KDbg>

@evertoashton1533. (2023). *this is so good, I'm with everyone else. Would definitely appreciate a full video of this* [Comentario en el video de Everybody Wants To Rule The World - Tears for Fear #guitar #bass #drums #keyboard #robot #band]. Youtube.

<https://youtu.be/pRIVd4a8bag>

Facultad de Artes -BUAP. (2022a, noviembre 25). *Miniatura Robot musical BUAP trabajo de Luis Castillo (estudiante de la MAIT)* [Archivo de video]. Youtube.

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

- Facultad de Artes -BUAP. (2022b, diciembre 13). *Robot Musical BUAP (Luis Castillo)* [Archivo de video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=ZdurYBk1xow>
- Fitzgerald, S., & Shiloh, M. (2013). *Arduino Libro de Proyectos*. Autoedición.  
<https://openlibra.com/es/book/arduino-libro-de-proyectos>
- [Fotografía]. (2023). Teddy bear orchestra. <https://teddybearorchestra.com/>
- Georgia Tech. (2020, febrero 26). *Shimon: Singer and Songwriter* [Archivo de video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=BOck0kPtlfk>
- Georgia Tech Center for Music Technology. (2020, febrero 24). *Into Your Mind by Shimon the Robot* [Archivo de video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=sHl-Cg2KDbg>
- Gumbrecht, H. U. (2001). Sociología y estética de la recepción. En D. Rall (Comp.) *En busca del texto: Teoría de la recepción literaria* (Trad. S. Franco et al., pp. 223-244). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Habermas, J. (1999). *Teoría de la acción comunicativa, I* (M. Jimenes Redondo, Trad.). Tauris.  
[https://pics.unison.mx/doctorado/wp-content/uploads/2020/05/Teoria-de\\_la\\_accion\\_comunicativa-Habermas-Jurgen.pdf](https://pics.unison.mx/doctorado/wp-content/uploads/2020/05/Teoria-de_la_accion_comunicativa-Habermas-Jurgen.pdf)
- Haile. (2011, 2018). Robotics today. <https://www.roboticstoday.com/robots/haile-description>
- Insider (Director). (2022, mayo 31). *Robotics Expert Rates 11 Robots from Movies and TV | How Real Is It? | Insider*. <https://www.youtube.com/watch?v=KfZ7Hd7H6EQ>
- Jacob Collier. (2018, agosto 29). *Don't Stop 'Til You Get Enough—Jacob Collier* [Archivo de video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=KC3GrzoQG9U>
- @jacobcaron2280. (2023). *Now I am hoping this blows up because this is impressive, and clean* [Comentario en el video de Everybody Wants To Rule The World - Tears for Fear #guitar #bass #drums #keyboard #robot #band]. Youtube. <https://youtu.be/pRlVd4a8bag>

@jannekrusing. (2014). *Z machines looks cooler, but Compressorhead have more personality and are funnier. Tough choice!* [Comentario en el video Battle of the robot music bands: Z Machines vs Compressorhead.]. Youtube.

<https://www.youtube.com/watch?v=h0DyYLLf3m8>

*Jason barnes and gil weinberg create a record-breaking prosthetic – guinness book of records.*

(2020, febrero 30). [Fotografía]. Jason Barnes. <https://www.jasonbarnes.me/jason-barnes-created-a-record-breaking-prosthetic-after-losing-his-arm/>

@josepholdman. (2023). *Still not sure what to think about the singing decapitated head the automatic instruments are still cool though* [Comentario en el video de Everybody Wants To Rule The World - Tears for Fear #guitar #bass #drums #keyboard #robot #band]. Youtube. <https://youtu.be/pRlVd4a8bag>

Kapur, A. (2005). *A History of robotic Musical Instruments*. International Conference on Mathematics and Computing. <https://www.semanticscholar.org/paper/A-History-of-robotic-Musical-Instruments-Kapur/fb6ca275674f67806e9f0796529e704305b098d7>

Kemper, S. (2023). Musical Robotics. *Steven Kemper*.

<https://stevenkemper.com/wp/hardware/musical-robotics/>

Kemper, S., & Cypess, R. (2019). Can Musical Machines Be Expressive? Views from the Enlightenment and Today. *Leonardo*, 52(5), 448–454.

[https://doi.org/10.1162/leon\\_a\\_01477](https://doi.org/10.1162/leon_a_01477)

Kidd, C., & Breazeal, C. (2004). Effect of a robot on user perceptions. En *2004 IEEE/RSJ International conference on intelligent robots and systems* (Vol. 4, p. 3564 vol.4).

<https://doi.org/10.1109/IROS.2004.1389967>

- Krzyżaniak, M. (2021). Musical robot swarms, timing, and equilibria. *Journal of New Music Research*, 50(3), 279–297. <https://doi.org/10.1080/09298215.2021.1910313>
- Krzyżaniak, M. J., & Bishop, L. (2021, diciembre 18). *Professor Plucky—RITMO Centre for Interdisciplinary Studies in Rhythm, Time and Motion*. University of Oslo. <https://www.uio.no/ritmo/english/projects/professor-plucky/index.html>
- Kuzma *Self-Playing Guitars: Any Song. Any Guitar. Anywhere. | United States*. (s/f). SelfPlayingGuitars. Recuperado el 26 de junio de 2023, de <https://www.selfplayingguitars.com>
- Latham, A. (2008). *Diccionario enciclopédico de la música*. Fondo de cultura económica. *Logos Foundation—Stichting Logos*. (s/f). Recuperado el 26 de julio de 2023, de [https://www.logosfoundation.org/instrum\\_gwr/automatons.html](https://www.logosfoundation.org/instrum_gwr/automatons.html)
- loopMIDI | Tobias Erichsen*. (s/f). Recuperado el 30 de julio de 2023, de <https://www.tobias-erichsen.de/software/loopmidi.html>
- Luis Alberto Castillo Flores. (2022a, mayo 20). *Prueba 2 (Miniatura) Dúo [ R - H ] (Arduino)* [Archivo de video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=lyPFy9KtMvE>
- Luis Alberto Castillo Flores. (2022b, diciembre 13). *[Cover] Tamacun (Dúo con Robot Musical B1)* [Archivo de video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=wByhH06yz14>
- Luis Alberto Castillo Flores. (2022c, diciembre 23). *Capitán casanova (Cover)(Dúo Robot Arduino—Humano)* [Archivo de video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=bfLWCWPxPH4>
- Macuil Priego, I. (2020, enero 13). *Tocotin RNN Video 4 Recital PECDA 2019* [Archivo de video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=o5mMJB4xvHw>

Maes, L., Raes, G.-W., & Rogers, T. (2011). The Man and Machine Robot Orchestra at Logos.

*Computer Music Journal*, 35, 28–48. [https://doi.org/10.1162/COMJ\\_a\\_00089](https://doi.org/10.1162/COMJ_a_00089)

MichaelKrzyszaniak (Director). (2021, julio 27). *What is a musical robot swarm?*

<https://www.youtube.com/watch?v=rVeiIcR4YM4>

MichaelKrzyszaniak—YouTube. (2023). <https://www.youtube.com/@MichaelKrzyszaniak>

@Mikfix. (2016). *I know robots don't have any feelings, but the drummer from Compressorhead*

*looks like he's having a hell of a time!* [Comentario en el video Battle of the robot music bands: Z Machines vs Compressorhead.]. Youtube.

<https://www.youtube.com/watch?v=h0DyYLLf3m8>

MIT Robotics. (2022, mayo 15). *MIT Robotics—Ayanna Howard—Robots socialmente*

*interactivos para obtener resultados sanitarios equitativos* [Archivo de video]. Youtube.

<https://www.youtube.com/watch?v=rzFL0SbdQOE>

@mjtuumainen. (2016). *I fucking love this. It's scary as fuck but at the same time the most*

*amazing thing in music I've!* [Comentario en el video Squarepusher × Z-MACHINES.].

Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=VkUq4sO4LQM>

Moritz Simon Geist. (2018a, septiembre 10). *Entropy* [Archivo de video]. Youtube.

<https://www.youtube.com/watch?v=wHrCkyoe72U>

Moritz Simon Geist. (2018b, septiembre 10). *Making Techno with Robots – Behind the Scenes!*

[Archivo de video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=zL3wJpk0OV0>

MR-808. (s/f-a). Moritz Simon Geist. Recuperado el 15 de julio de 2023, de

<https://www.moritzsimongeist.com/works/mr-808>

MR-808. (s/f-b). [Fotografía]. Moritz Simon Geist. Recuperado el 15 de julio de 2023, de

<https://www.moritzsimongeist.com/works/mr-808>

- @nicknco66. (2014). *It appeals for the moments we are engaged visually. Less so when I close my eyes. The achievement is amazing* [Comentario en el video Squarepusher × Z-MACHINES]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=VkJUq4sO4LQM>
- Nicolescu, B. (1996). *LA TRANSDISCIPLINARITÉ*. <http://www.basarab-nicolescu.ciret-transdisciplinarity.org/BOOKS/TDRocher.pdf>
- Ólafur Arnalds. (2018, marzo 14). *The Player Piano pt. II (All Strings Attached – EP6)* [Archivo de video]. Youtube. <https://youtu.be/d1zMVWO1PM4>
- Ólafur Arnalds. (2019, octubre 24). *Ólafur Arnalds – nyepi (live in münchen)* [Archivo de video]. Youtube. <https://youtu.be/Quum8qoG7v0>
- One hacker band. (2023a, marzo 20). *Everybody Wants To Rule The World—Tears for Fear* #guitar #bass #drums #keyboard #robot #band [Archivo de video]. Youtube. <https://youtu.be/pRIVd4a8bag>
- One hacker band. (2023b, julio 4). *All Star by #smashmouth* #allstar #robot #band #guitar #keyboard #drums #animatronics [Archivo de video]. Youtube. <https://www.youtube.com/shorts/pzx31qFs5CM>
- onehackerband. (s/f). *One Hacker Band (@onehackerband)*. Recuperado el 26 de julio de 2023, de <https://www.instagram.com/onehackerband/>
- Pedroza Meléndez, A. (2021). *Don Cuco, El guapo, orgullo de México. Anatomía y fisiología de un robot pianista* (Primera edición). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Pérez, J. B., & Martínez, I. C. (2020). Encontrarnos en la performance: Cuerpo e interacción social en la improvisación en jazz. *Encounters in musical performance: Social and embodied interaction in jazz improvisation.*, 8(2), 45–69. Fuente Académica Plus.

- Petersdorf, M. (2017, noviembre 30). *Roboter-Band Compressorhead—Unmenschlicher Schwermetall*. Deutschlandfunk Kultur. <https://www.deutschlandfunkkultur.de/roboter-band-compressorhead-unmenschlicher-schwermetall-100.html>
- Piaget, J. (2000). *El nacimiento de la inteligencia en el niño*. Crítica.
- @poljakov13. (2016). *Compressorhead sounded more natural* [Comentario en el video Battle of the robot music bands: Z Machines vs Compressorhead.]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=h0DyYLLf3m8>
- RAE. (2023, mayo 21). *Sitar* / *Diccionario histórico de la lengua española*. «Diccionario histórico de la lengua española». <https://www.rae.es/dhle/sitar>
- Raes, G.-W. (s/f-a). *Hurdy: An an experimental hurdy gurdy robot*. Recuperado el 26 de julio de 2023, de [https://logosfoundation.org/instrum\\_gwr/hurdygurdy.html](https://logosfoundation.org/instrum_gwr/hurdygurdy.html)
- Raes, G.-W. (s/f-b). *Midi-Standard*. Kursus Experimentele Muziek. Recuperado el 1 de agosto de 2023, de <https://logosfoundation.org/kursus/1075.html>
- Raes, G.-W. (s/f-c). *Zi: An automated Zither*. Recuperado el 10 de julio de 2023, de [https://logosfoundation.org/instrum\\_gwr/zi.html](https://logosfoundation.org/instrum_gwr/zi.html)
- Reuters. (2020, febrero 15). *Robot humanoide dirige una orquesta sinfónica y divide opiniones entre el público* [Fotografía]. Business Insider México. <https://businessinsider.mx/robot-humanoide-dirige-una-orquesta-sinfonica-y-divide-opiniones-entre-el-publico/>
- Robots – Robocross Machines*. (s/f). Recuperado el 26 de julio de 2023, de <https://robocross-machines.com/robots/>
- Roland Corporation. (2023). *Roland—TR-808 / Rhythm Composer de software*. Roland. [https://www.roland.com/mx/products/rc\\_tr-808/](https://www.roland.com/mx/products/rc_tr-808/)
- Shimon*. (2011, 2018). Robotics today. <https://www.roboticstoday.com/robots/shimon>

Soutech2010. (2010, noviembre 10). *Don Cuco El Guapo Benemérita Universidad Autónoma de Puebla* [Archivo de video]. Youtube.

[https://youtu.be/PWRd4L\\_QzX4?si=WrgM1E0JX71T-4ih](https://youtu.be/PWRd4L_QzX4?si=WrgM1E0JX71T-4ih)

@StatikDynamikDubstep. (2014). *People put far too much emphasis on the performance rather than composition, and yet they wonder why music isn't like* [Comentario en el video Squarepusher × Z-MACHINES.]. Youtube.

<https://www.youtube.com/watch?v=VkUq4sO4LQM>

Suzuki, Y. (2023). *Yuri Suzuki / Z Machines*. <https://www.yurisuzuki.com/design-studio/z-machines>

*Technological Contributions to Alter 3 / Sustainability*. (s/f). MIXI, Inc. Recuperado el 26 de julio de 2023, de <https://mixi.co.jp/en/sustainability/materiality/innovation/technology/>

*The Hairless MIDI<->Serial Bridge*. (s/f). Recuperado el 30 de julio de 2023, de

<https://projectgus.github.io/hairless-midiserial/>

@thebigandroid. (2020). *technologically speaking, it's extremely impressive; musically speaking... I'll just say it's not to my taste* [Comentario en el video de Into Your Mind by Shimon the Robot]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=sHl-Cg2KDbg>

@Tikayyan. (2014). *Both are cool, but gonna have to go Compressorhead all the way. They're built around real instruments, their "body" movements* [Comentario en el video *Battle of the robot music bands: Z Machines vs Compressorhead*]. Youtube.

<https://www.youtube.com/watch?v=h0DyYLLf3m8>

Toyota. (2011, 2018). Robotics today. <https://www.roboticstoday.com/institutions/toyota-products>



*Toyota Unveils Personal-transport, Violin-playing Robots.* (2007, diciembre 6). Toyota.

<https://global.toyota/en/detail/275807>

*Tripods One.* (s/f). Moritz Simon Geist. Recuperado el 8 de julio de 2023, de

<https://www.moritzsimongeist.com/works/tripods-one>

VICE News. (2018, abril 25). *This Guy Built a Teddy Bear Robot Band Because He Hates*

*Playing With Humans (HBO)* [Archivo de video]. Youtube.

<https://www.youtube.com/watch?v=4MY706N38jQ>

Vlahos, N. (2022, septiembre 1). *Innovation of the year.* Peoria Magazine.

<https://www.peoriamagazine.com/article/innovation-of-the-year/>

vpro Vrije Geluiden extra. (2018, octubre 7). *Gil Weinberg about robots and music (Giovanna*

*interview @TitoliVrendenburg Utrecht).* [Archivo de video]. Youtube.

[https://youtu.be/UgbAaH\\_77j4](https://youtu.be/UgbAaH_77j4)

Was Rahman. (2020). *AI and Machine Learning.* Sage Publications Pvt. Ltd; eBook Academic

Collection (EBSCOhost).

Weinberg, G. (2019). Robotic Musicianship and Musical Human Augmentation. *ACM/IEEE*

*International Conference on Human-Robot Interaction, 305–306.*

Weinberg, G., Bretan, M., Hoffman, G., & Driscoll, S. (2020). *Robotic Musicianship: Embodied*

*Artificial Creativity and Mechatronic Musical Expression* (Vol. 8). Springer International

Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-38930-7>

Weinberg, G., & Driscoll, S. (2006). Toward Robotic Musicianship. *Computer Music Journal,*

*30(4), 28–45.* JSTOR.

Yelton, G. (2015). The Story of MIDI. *Electronic Musician, 31(11), 36–41.*

ZIMA Zmachines. (2013, septiembre 4). *Squarepusher* × *Z-MACHINES* [Archivo de video].

Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=VkUq4sO4LQM>