



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Programa de Maestría y Doctorado en Música

Facultad de Música

Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología

Instituto de Investigaciones Antropológicas

Ívrida.

**Desarrollo de un módulo de procesamiento digital con reacción interactiva
analógica digital**

TESIS

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

PRESENTA

JONATHAN ANDRÉS PÉREZ DÍAZ

TUTOR

DR. FELIPE ORDUÑA BUSTAMANTE

(Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología)

CIUDAD DE MÉXICO, AGOSTO 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Declaro conocer el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, plasmado en la Legislación Universitaria. Con base en las definiciones de integridad y honestidad ahí especificadas, aseguro mediante mi firma al calce que el presente trabajo es original y enteramente de mi autoría. Todas las citas de obras elaboradas por otros autores, o sus referencias, aparecen aquí debida y adecuadamente señaladas, así como acreditadas mediante las convenciones editoriales correspondientes.

Agradecimientos

Me gustaría agradecer enormemente a Leticia y a María, las personas más importantes en mi vida. Muchas gracias por su apoyo incondicional, cariño, cuidado y paciencia. Son la base por la cual esto es una realidad.

Agradezco también a mi tutor, el Doctor Felipe Orduña Bustamante, por su guía y cuestionamientos a lo largo de todo este proceso académico.

A mis compañerxs de generación: Jocelyn, Xavier, Gustavo y Martín por sus lecturas y compañerismo en los tiempos pandémicos que nos tocaron.

A mis amigas, Elizabeth y Vasthi por su cercanía y apoyo a este proyecto.

Al Doctor Jorge David García Castilla, por su acompañamiento y apoyo desde mis tiempos de licenciatura.

A la Doctora Iracema de Andrade que ha estado presente en la evolución de mi carrera académica como maestra, comentarista y sinodal.

A mis sinodales, el Maestro Pablo Silva, el Doctor Hugo Solís, el Maestro Antonio Pérez López y la Maestra Emilia Bahamonde por sus atentas lecturas y comentarios.

Al Posgrado en Tecnología Musical, nicho del cual me enorgullece pertenecer. Gracias a lxs compañerxs de Maestría y Doctorado por mostrarme posibilidades musicales y tecnológicas distintas.

A Jasmín Ocampo y Mónica Sandoval por su excepcional trabajo y apoyo desde la administración y coordinación del Posgrado.

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

Contenido

Introducción	7
Téchne	11
Capítulo 1: Antecedentes	13
Instrumentos	16
Procesadores y sintetizadores	23
Influencias analógicas	26
Laudería digital	29
Reflexiones	37
Capítulo 2: Ívrida	41
Premisa conceptual	41
Módulo Digital	43
Aportaciones y características particulares	48
Capítulo 3. Reporte Técnico	51
Lista de materiales	52
Manual de construcción	53
Códigos y programas utilizados	67
Encuesta parametrizada	69
Hibris	73
Capítulo 4. Ivridaciones	75
Incitaciones	75
Animaciones	85
Conclusiones	89
Bibliografía y referencias	95
Referencias web de procesadores	98
Recursos web, instructivos y plataformas	99
Tabla de Ilustraciones	101

Lista de Tablas.....	102
Anexos	103
Anexo 1. Catálogo de antecedentes instrumentales	105
Violonchelos comerciales.....	123
Anexo 2. Catálogo de procesadores/sintetizadores	129
Anexo 3. Diseño integrado y módulo analógico	105

Introducción

Como intérprete de violonchelo eléctrico e improvisador, el acceso a herramientas digitales ha sido una necesidad continua en mi práctica¹. Esta atracción a los sonidos “artificiales” enraizada en el contacto con diversos estilos musicales donde la síntesis asistida por computadora y la producción musical, particularmente de naturaleza comercial, son temas centrales de la estética que abrió la puerta a la experimentación con software de programación musical como Pure data y Supercollider. Paralelamente, un interés que desde infante tuve hacia los circuitos y proyectos de electrónica complementó esta experimentación con la construcción de algunos osciladores sencillos, un controlador MIDI y la clonación de un sintetizador digital basado en Arduino, del que se hablará más adelante en el segundo capítulo de este escrito.

Entendiendo estos intereses, fue muy orgánica la realización de que el violonchelo eléctrico que utilizo² en mi práctica necesitaba de un dispositivo de procesamiento que transformara la señal de audio para encontrar diferentes formas de experimentar con el sonido. Sin embargo, además del procesamiento, la necesidad de una interfaz de audio digital portátil se hizo evidente cuando en mis presentaciones el equipo necesario incluía el violonchelo, una computadora personal, una pedalera comercial de efectos y una interfaz de audio; sin olvidar los cables, bocinas y amplificadores claramente necesarios para la difusión del sonido. Desde el punto de vista de la conveniencia en la portabilidad y eficiencia de los recursos utilizados, el equipo mencionado es demasiado; por lo que es deseable encontrar formas de compactarlo.

Debido a lo anterior, al comenzar los estudios de maestría, se propuso un proyecto de interfaz de audio digital para violonchelo que pudiera conectarse directamente a una

¹ Ver el apartado Incitaciones del capítulo cuatro para más información de esto

² En el apartado de Antecedentes se revisa este instrumento

computadora personal, sustituyendo la interfaz y suprimiendo la pedalera. No obstante, la investigación realizada a lo largo de los semestres dio pie a la conceptualización de un dispositivo todavía más eficiente en recursos que pudiera concentrar la interfaz de audio, la computadora de procesamiento, la pedalera e incluso un par de bocinas estéreo para monitoreo en un único artefacto portátil.

A este artefacto se le nombró Ívrida:

Interfaz para Violonchelo con Reacción Interactiva Digital Analógica

En las siguientes páginas se describirá el desarrollo y construcción de este artefacto como un dispositivo de procesamiento autónomo para violonchelos acústicos y eléctricos ya existentes.

Por lo anterior, la investigación necesaria para el diseño de este artefacto tuvo a bien considerar trabajos previos sobre instrumentos experimentales de cuerda frotada, dispositivos portátiles de síntesis y procesamiento de audio e instrumentos digitales; además de consideraciones en torno a la laudería digital y el diseño de interfaces. Estos trabajos dieron pie a que la conceptualización de Ívrida abarcara no sólo un dispositivo de digitalización y procesamiento de audio, sino la conformación de un sistema híbrido embebido con reacción interactiva analógica digital con dos módulos: el ya mencionado artefacto producto de la reflexión anterior que, a partir de este momento, será llamado módulo digital incluyendo la interfaz de digitalización, síntesis y procesamiento y un grupo de sensores analógicos. El módulo que completa el sistema es un módulo analógico, entendido como un instrumento de cuerda extendido semejante al violonchelo, pero con características adicionales provenientes de otros instrumentos de cuerda. El sistema embebido considera ambos módulos como complementos cibernéticos, integrándose como un solo sistema híbrido, modular, analógico/digital.

Tomando en cuenta esto, es importante recalcar que a lo largo del texto el módulo digital tendrá mayor atención y profundidad en su desarrollo descriptivo debido a que este es el

producto que se presenta como desarrollo tecnológico terminado, tangible y funcional de los estudios de maestría. Sin embargo, resulta imprescindible situar al módulo digital como el desarrollo que inicia la transformación de un paradigma instrumental violonchelístico; en principio como dispositivo autónomo y luego como parte de un sistema modular del que asume características y funcionalidades, mismas que son producto del tejido de ideas que dio origen al sistema completo.

Para lograr el desarrollo mencionado, se involucraron diversas tecnologías y herramientas tanto de hardware (instrumentos acústicos y eléctricos, sintetizadores, microcontroladores Arduino y Bela), como de software (Arduino IDE, Pure Data y Bela IDE). Sobre esta base tecnológica se integraron algunos sensores digitales y analógicos para promover un performance aumentado, donde se rebasan las tradicionales técnicas de interpretación en instrumentos acústicos de cuerda frotada, abriendo la puerta a nuevas formas de práctica musical e instrumental. Las tecnologías mencionadas fueron adaptadas, modificadas y transformadas con el fin de lograr un producto nuevo que satisficiera una necesidad de hibridación sonora (en la que se profundizará en el cuarto capítulo) entre fuentes acústico-mecánicas, su análoga señal eléctrica y síntesis y procesamiento digital. Todo lo anterior empaquetado en un artefacto portátil, autocontenido que busca su independencia de procesadores, computadores o altavoces externos para su funcionamiento.

Para comenzar a revisar las partes que constituyen el mapa general del presente texto, veremos que está dividido en dos, contrastantes a la vez que complementarias.

La primera parte, que lleva como nombre *Téchne*, se vuelca al análisis y recopilación de datos técnicos, estos que ayudan a sustentar el desarrollo tecnológico sobre bases firmes que representen la plataforma desde la cual se erige la propuesta. En el primer capítulo se encuentran los antecedentes en los que se enmarca el desarrollo tecnológico. En el segundo capítulo se diseccionan las partes constituyentes de la propuesta formal de *Ívrida* como sistema completo donde se profundiza en el módulo digital. En el tercer capítulo se presenta un reporte técnico de construcción de este módulo; este reporte da pie a una de las

aportaciones más relevantes de este trabajo, un manual de construcción en línea accesible a toda persona interesada en replicarlo.

La segunda parte, nombrada Hibris, es una prosa en estilo libre quasi capriccioso. Un ensayo que toma el rol de justificación del proyecto. En él se encuentran las motivaciones y experiencias subjetivas que dieron origen al sistema, las consideraciones en torno a su diseño y al mismo tiempo las aproximaciones estéticas que atraviesan el desarrollo de Ívrida. Esta narración intercala descripciones, paisajes sonoros cotidianos que revelan imaginarios culturales propios, reflexiones auditivas que definen un lugar de enunciación, una postura estética. Estos paisajes sonoros son los acompañantes de una idea materializada, son las imágenes disociadas que buscan convertirse en instrumento, en interfaz, en objeto tangible. Imprescindibles. Aunque de estilo libre, el texto se sustenta con un aparato crítico en los casos necesarios sin permitir que ello estanque la libertad creativa, caótica, holística.

Al terminar la Hibris se puede encontrar una sección de conclusiones donde se vierten reflexiones en torno a las herramientas utilizadas en este desarrollo y se vislumbran parajes para futuras aplicaciones y desarrollos subsecuentes posibles. Ívrida es una promesa, una exploración de posibilidades mas no una herramienta estática.

Finalmente, en los anexos de este trabajo se pueden encontrar en mayor detalle los antecedentes revisados de los que se desprende el primer capítulo y los avances del módulo analógico realizados al momento de la publicación de este texto.

Capítulo 1: Antecedentes

El proyecto que se relata en el presente texto sigue la línea de investigación y trabajo que comenzó en 2017 con la construcción del primer violonchelo eléctrico de seis cuerdas hecho en México (Pérez Díaz, 2018). Este instrumento tuvo influencia de otros ya existentes en el mercado; sin embargo, fue realizado con recursos e investigación-experimentación personal y del laudero Salvador Soto. Se logró un instrumento completamente funcional que desde entonces se ha puesto a prueba en diversos contextos de la vida profesional y académica; ha sido utilizado en salas de concierto, estudios de grabación y escenarios de público masivo.



Ilustración 1 Violonchelo eléctrico de seis cuerdas, 2017

Como violonchelista, las motivaciones para adquirir un instrumento eléctrico radicaron en la necesidad de ampliar la paleta de colores tímbricos y posibilidades de interacción tecnológica que surgieron de mi relación con música proveniente de diversos contextos, no sólo los propios de mi formación académica clásica. La decisión de construir localmente este violonchelo se debe al alto costo de instrumentos comerciales de similares características; o en su defecto, en el caso de opciones más accesibles, la baja calidad de los materiales y la pobreza del sonido que producen. La inversión económica y en investigación realizada resultó en un instrumento diseñado específicamente para mis necesidades y objetivos como ejecutante. Si bien es cierto que como parte del desarrollo se experimentó con diversos transductores, tipos y materiales de cuerda y métodos de amplificación; la versión final del instrumento incluyó cuerdas fabricadas para violonchelo, un transductor piezoeléctrico y un preamplificador diseñado originalmente para guitarra, pues estos elementos balancearon el timbre para acercarlo lo más posible al de un violonchelo acústico, aunque con un producto sonoro final de características muy particulares. Además de lo anterior, se eligieron un amplificador, gabinete y procesador de audio para bajo eléctrico para así equilibrar lo mejor posible frecuencias graves y agudas.

Por ser de seis cuerdas, este violonchelo tiene un registro ampliado, las cuatro cuerdas tradicionales (Do₃, Sol₃, Re₄, La₄), y la adición de una cuerda Fa₂ abajo y una Mi₅ arriba, con un registro total de seis octavas en el diapasón, registro muy cercano al de un piano de concierto, cualidad relevante para la elección del circuito previo y su amplificación. Se fabricaron, para comodidad del instrumentista, dos prótesis de sujeción, una con espiga y tres brazos retractiles para emular el cuerpo acústico y apoyarse en el piso y otra prótesis con correa para hombros y cintura para tocar de pie. Tanto el diseño físico del violonchelo, como las prótesis se basaron en los diseños de la marca estadounidense NS Design³.

³ <https://thinkns.com/instrument/ns-design-electric-cello/> (Último acceso 28 de abril 2021)

Aunque este instrumento continúa en uso y su rendimiento sigue siendo efectivo, el presente texto expone un proyecto con algunas ideas que no fue posible emprender anteriormente.

Por su importancia, se considera a este instrumento como el primer antecedente tecnológico directo. Junto a este desarrollo, una serie de percepciones musicales, búsquedas estéticas y motivaciones personales dan origen al presente proyecto. Estas últimas, de carácter teórico y estético, que toman como eje el concepto de hibridación, se pueden encontrar en la segunda parte, Hibris, de este escrito, en el [capítulo cuatro](#).

En la parte más técnica de los antecedentes, relacionada con las tecnologías musicales, este primer capítulo presenta diversos desarrollos tecnológicos en el campo de la organología, diseño de instrumentos musicales y laudería digital. La búsqueda de los antecedentes apropiados para este trabajo empieza por delimitar lo que en un principio se propuso como proyecto de investigación y desarrollo tecnológico. El objetivo primario fue el desarrollo de una interfaz de audio digital para violonchelo eléctrico, que permitiera el procesamiento y síntesis sonora con herramientas virtuales desde una computadora personal, que estuviera optimizada para el rango de frecuencias del violonchelo, su técnica instrumental y fuera lo suficientemente versátil para usarse en diversos contextos de la práctica interpretativa.

Son observables y relevantes para este trabajo tanto dispositivos electrónicos de procesamiento de audio como instrumentos experimentales y comerciales de la familia de las cuerdas, particularmente de cuerda frotada y concretamente instrumentos semejantes al violonchelo acústico y eléctrico. Estos antecedentes provienen de dos grandes nichos: el académico y el comercial y, aunque en ambos encontramos desarrollos en torno a instrumentos y procesadores de audio, en esta revisión se hará una distinción precisa donde se le dará mayor peso en lo que se refiere a las innovaciones instrumentales al el contexto académico e independiente, ya que en estos se rastrean búsquedas experimentales de autor con fuerte identidad instrumental y performática. Y, por otro lado, los antecedentes relacionados con procesadores y sintetizadores portables provienen en su mayoría del

nicho comercial pues éste encuentra su fortaleza en el desarrollo y empaquetado eficiente de dispositivos electrónicos portátiles.

Estos dos ámbitos atienden diferentes necesidades y distinguen claramente sus propuestas, no obstante, ambos nutren con igual fuerza el presente proyecto como las dos caras de una moneda. A continuación, se describen los desarrollos que resultan de mayor interés tomando en cuenta su importancia histórica, innovación instrumental, sus interfaces de usuario y, en el caso de los procesadores, la versatilidad de la herramienta para adaptarse a diversos contextos instrumentales y artísticos.

Instrumentos

Se incluyen en este apartado propuestas electrónicas, híbridas⁴ y aumentadas que han abordado la expansión digital de instrumentos de cuerda y las características particulares que resulten afines a lo que se busca en el presente proyecto: la hibridación entre timbres analógicos y digitales y su interfaz de usuario aumentada. Para mayor información de los instrumentos descritos en este texto y complementar la lectura con otros desarrollos arrojados por la investigación, se puede consultar el [Anexo 2](#).

Las tecnologías en torno al violonchelo eléctrico y sus variantes son visibles a partir de la última década del siglo XX donde, pese a ser homólogo de su predecesor acústico, se exploran sus posibilidades y limitaciones particulares gracias a la experimentación de algunos intérpretes, académicos y desarrolladores.

4 Para más información sobre lo que en este texto se entiende como instrumentos híbridos y aumentados, ver el apartado Animaciones del Capítulo 4.

Dos de los pioneros en este campo exploratorio fueron Chris Chafe y Tod Machover. Como académico de la Universidad de Stanford, Chafe en 1988 desarrolló su [Celleto](#), violonchelo eléctrico caracterizado por un sistema de transducción que incluye cuatro micrófonos individuales para cada cuerda y un transductor general capturando la vibración total del instrumento. Además integró el entonces joven protocolo MIDI para interacción digital del audio a través de los



Ilustración 2 Chris Chafe con su Celleto

movimientos del arco pues como violonchelista, Chafe entendía que gran parte del control y gestualidad musical en el instrumento provienen del arco.

Poco después, en 1991, Machover presentó desde el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) el [Hypercello](#), producto del trabajo realizado sobre lo que llamó



Ilustración 3 Tod Machover con el violonchelo RAAD conectado al sistema Hypercello

Hiperinstrumentos. Esta innovación dirigió su atención a la programación de los controladores digitales y procesamiento de la señal de audio en dos pasos mediante un entorno digital escrito en el lenguaje de programación Lisp donde en el primer paso se digitalizan los datos de control de diversos sensores analógicos y

posteriormente se aplican rutinas de procesamiento con los datos obtenidos. Este proyecto no se centró en la construcción del instrumento de cuerda en sí mismo, pero se utilizaron

diversos instrumentos acústicos y eléctricos de donde se tomó la señal de audio y control. Este desarrollo contó con la participación del célebre violonchelista Yo-Yo Ma.

Estos primeros ejemplos al ocaso del siglo XX marcaron una senda que transitarían posteriores exploradores en la dos primeras décadas del siglo XXI. Esta senda, basada en la mancuerna construcción experimental de instrumentos y digitalización de técnicas instrumentales y su transformación en datos de control virtual, se ensancharía con el uso de sensores analógico-digitales y diversas técnicas de transducción en conjunto con técnicas de síntesis y procesamiento de audio “in the box”⁵.



Ilustración 4 BoSSa



Ilustración 5 Curtis Bahn con el sBaSS

Ejemplos notables de esto son el [BoSSa](#) (2000) y el [sBaSS](#) (2001) de Dan Trueman que utilizan rutinas de audio programadas en Max/MSP, desde una computadora personal, en artefactos digitales que emulan los métodos de entrada del violín y contrabajo con arreglos de 12 bocinas de salida de audio.

El siguiente paso para el violonchelo eléctrico vino de la mano de la cellista Frances-Marie Uitti en colaboración con

⁵ Anglicismo que hace referencia a la producción de material sonoro musical con las herramientas virtuales desde una computadora, comúnmente una estación de audio digital (DAW), y que no requiere de sintetizadores o procesadores físicos.

Adrian Freed y un equipo de investigadores del CNMAT en la Universidad de Berkeley en 2005. Interviniendo un instrumento de salida polifónica del constructor Eric Jensen, desarrollaron un [violonchelo eléctrico aumentado](#) (2005) optimizado para la técnica a dos arcos y polifonía extendida, este instrumento incorpora varios sensores táctiles, capacitivos y giratorios



Ilustración 6 Puente y sensores del Violonchelo aumentado

en lugares estratégicos del cuerpo para que la intérprete modifique parámetros del audio

digitalizado. Pocos años más tarde estos dos colaboradores se reunieron de nuevo para desarrollar un prototipo de [controlador digital sin cuerdas](#) (2008) donde una vez más el uso de sensores es el aspecto central, pero ahora suprimiendo las cuerdas del instrumento y toda huella acústica en los métodos de entrada utilizados. Igual que los instrumentos es procesada por patches de Max/MSP.



Ilustración 7 Frances Marie Uitti con su controlador sin cuerdas

Desde Europa, en 2008, se presentó el [Halldorophone](#), un instrumento eléctrico aumentado diseñado y conceptualizado desde 2005 por Halldor Úlfarsson de la Universidad de Sussex que, mediante electrónica analógica, aprovecha la retroalimentación positiva de un bucle de sonido amplificando cada cuerda del instrumento para crear un producto sonoro poco explorado. El *Halldorophone* crea diversas texturas sonoras dependiendo de la configuración de las ganancias en cada cuerda del instrumento, se puede incrementar el bucle de retroalimentación llegando al punto en que se pueda perder el control y

estabilidad del mismo bucle o, por el contrario, lograr un diálogo orgánico entre instrumentista e instrumento; además de esta característica central, unas versiones incluyen palancas para cambiar la afinación de las cuerdas durante la performance. Habiendo construido numerosas versiones del instrumento, cada una explorando diferentes posibilidades, en 2018, el desarrollador construyó una versión controlada digitalmente de este instrumento, utilizando la tarjeta de desarrollo *belab*⁶ como procesador. Este desarrollo disfruta de un éxito que muy pocos instrumentos creados en las últimas décadas tienen; esto radica en el hecho de que diversos intérpretes y compositores se han interesado en tocarlo y componer para este. A diferencia del resto de los desarrollos instrumentales en este apartado, el autor de este instrumento no es el mismo intérprete, es decir, no fue desarrollado para satisfacer las necesidades personales de un instrumentista particular, busca expandir las posibilidades musicales para diferentes intérpretes.



Ilustración 8 Halldor Ulfarsson y su Halldorophone

⁶ <https://bela.io/> (Último acceso 28 de abril 2021)



Ilustración 9 KNURL

También desde Europa, pero de concepción latinoamericana, la chelista y compositora brasileña Rafele Andrade propone desde 2019, en el Real Conservatorio de la Haya, un proyecto de innovación instrumental con su [KNURL](#). Esta propuesta es una de las más ambiciosas de los últimos años pues incorpora una gran cantidad de tecnologías: está impreso en 3D, con celdas solares de carga eléctrica, altavoces integrados y programable mediante la plataforma *bela*, este instrumento aumentado tiene 16 cuerdas alrededor de un cuerpo cónico. Busca ser autónomo de una fuente eléctrica externa y procesadores de



Ilustración 10 Laurel Pardue con el Svampolin

audio y además promueve la interacción a distancia durante la ejecución con un software diseñado por la desarrolladora. Otros desarrollos que también incorporan la plataforma *bela* y nutren este trabajo son el [Svampolin](#) (2019) de Laurel S. Pardue, instrumento semejante al

violín y el [Banjela](#) (2020) de Jonathan Reus.

La plataforma de desarrollo *bela*, mencionada en el anterior párrafo, toma particular relevancia en este momento del trabajo pues, además de estar incorporada en los desarrollos recientemente mencionados, juega un rol central en el presente proyecto, visible a partir del siguiente capítulo. Esta una plataforma de código abierto optimizada para el procesamiento de audio en tiempo real con 0.5 ms de ultra baja latencia que incluye en su hardware, hasta la primera mitad del año 2021, dos tarjetas de desarrollo, múltiples sensores capacitivos y lo que en plataformas como Raspberry o Arduino se denomina “shields” o “módulos” con funciones dedicadas a objetivos específicos. Este grupo de trabajo además da soporte continuo a su plataforma e incentiva el intercambio entre su nutrida comunidad de usuarios mediante foros y blogs donde es posible interactuar con los desarrolladores y compartir proyectos y aplicaciones.

Con la incorporación de tarjetas de desarrollo especializadas como es el caso de esta, el término “in the box” que comúnmente se aplica a la explotación del procesamiento de datos en computadoras multipropósito con sistema operativo Windows, Mac, Android, etc., vuelve aún más concreto su significado pues en la generación y difusión de un producto sonoro no sólo interviene el uso de una herramienta virtual, sino que su creciente uso como principal unidad de procesamiento de datos en el diseño y construcción de interfaces de audio digital, control virtual e instrumentos digitales promueve la sustitución progresiva de estos ordenadores multipropósito por dispositivos dedicados que aprovechan la programación de rutinas especializadas en el procesamiento de audio digital en escenarios donde el performance en tiempo real, la practicidad, portabilidad y la manipulación directa sobre la herramienta flexibilizan la experimentación sonora y el diseño de productos a medida del usuario. De esta manera se observa que esta “box” se hace más eficiente, reduce su tamaño empaquetándose en el mismo artefacto generador de sonido, se concentran sus recursos en lo más necesario y útil (criterio otorgado por el mismo usuario), ofrece la flexibilidad de reprogramar la herramienta cuando y cuantas veces se crea conveniente y uno de los aspectos más interesantes es la posibilidad de explorar novedosas

formas de interactuar con el mundo material y sensorial a través de la programación de sensores analógico-digitales.

Ya que estos últimos párrafos se acercan peligrosamente a la sección de procesadores, retomaremos las características de *bela* y su aplicación en el siguiente capítulo.

Procesadores y sintetizadores

En seguida, se presentan algunos procesadores digitales de audio que, en general pero no exclusivamente, están diseñados para guitarras y bajos eléctricos. Debido a la enorme cantidad de pedales y procesadores de efectos que se encuentran en el mercado, este estudio gira la mirada hacia los más portables, los que analizan y rastrean la frecuencia o, en su defecto, altura aproximada y amplitud entrante para sintetizar sonido y mezclarlo con el sonido analógico (amplificado) del instrumento al que están conectados. La investigación arrojó una cantidad importante de pedales sintetizadores con efectos analógicos, pedales



Ilustración 12 Pedal sintetizador C4 Synth

digitales e incluso pedales programables por el usuario; esta nutrida selección de procesadores se puede encontrar en el [Anexo 3](#) con las respectivas características de cada uno de estos dispositivos.

Nos concentraremos, sin embargo, en los procesadores programables para esta revisión, especialmente relevantes para nuestro estudio tomando en cuenta la versatilidad en el modelado de audio, su interfaz

de usuario y la posibilidad de procesar el sonido a la medida del usuario ya que apuestan por nutrir sus productos con patches y programas diseñados por su comunidad de usuarios.

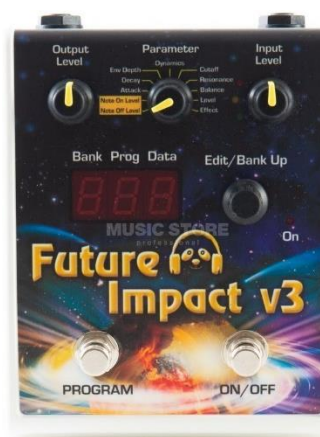


Ilustración 11 Sintetizador y procesador Future Impact v3

Los pedales [C4 Synth](#) de Source Audio y [Future Impact v3](#) de pandaMIDI son pedales digitales similares donde un botón para pie (footswitch) y un grupo de potenciómetros programables en un gabinete minimalista son la interfaz física de usuario. Estos están diseñados como sintetizadores modulares digitales, vienen con preconfiguraciones de síntesis y efectos de fábrica, sin embargo, encuentran su máximo potencial conectando el dispositivo a una computadora y descargando su software propietario que ofrece la posibilidad de modelar con mayor detalle tanto la síntesis de sonido como el procesamiento de la señal de audio con múltiples herramientas que encontraríamos en un sintetizador modular analógico.



Ilustración 13 ZOIA

El sintetizador modular en forma de pedal con nombre [ZOIA](#) de Empress, incluye en su hardware de fábrica más de 80 módulos para diseño de sintetizadores, procesadores de audio, secuenciadores, etc. A diferencia de otros pedales, ZOIA se caracteriza por su interfaz física con una matriz de 5x8 almohadillas que sirven para organizar, activar y modificar los módulos a gusto del usuario desde el dispositivo mismo con la ayuda de una pantalla LCD además de botones y perillas para la navegación a través de su banco. Aún con toda esta cantidad de opciones, se pueden expandir todavía más las posibilidades del dispositivo, al crear y modificar módulos escritos en lenguaje de programación C desde el ordenador.



Ilustración 15 OWL

Finalmente, el [OWL](#) de Rebel Technology y el [Organelle](#) de Critter & Guitari son dos propuestas que se sienten más cómodas con el software libre y, en el caso del OWL, pone también a disposición de su comunidad los diagramas electrónicos de su hardware. A diferencia de los anteriores, el *Organelle* en realidad no es un pedal, es una computadora musical de

sobremesa con un teclado a dos octavas y pantalla LCD con diversas perillas de control de parámetros. Este dispositivo tiene gran cantidad de programas tanto de síntesis como de procesamiento, puede ser utilizado incluso con samples cargados en una tarjeta SD, las rutinas programadas para este dispositivo están desarrolladas en Pure Data y optimizadas para el hardware. El OWL, por otro lado, es una caja de efectos más tradicional en formato pedal, en realidad una caja en blanco susceptible de cargar cualquier programa que el



Ilustración 14 Organelle

usuario desee en la tarjeta controlador. Las posibilidades en este caso crecen al poder cargar patches diseñados o modelados en Pd, Super Collider, Faust y C++.

Influencias analógicas

Si bien es cierto que los dispositivos recién revisados son claras influencias y referencias directas para el proyecto actual, los siguientes son algunos ejemplos de instrumentos eléctricos de cuerda con un diseño que atravesaron el desarrollo de este trabajo. Análogamente a los procesadores, estos instrumentos provienen de contextos comerciales y desarrolladores independientes. Cabe aclarar que estos desarrollos no están incluidos en los anexos por lo que se incluye el enlace web para cada caso a pie de página.



Ilustración 16 Bajo Stash

Los bajos eléctricos Stash⁷ de Stan Potyrala y Gittler⁸ de Allan Gittler son instrumentos atractivos para este proyecto por estar contruidos con piezas tubulares de acero inoxidable pulido cuyo diseño minimalista permite sólo lo estrictamente necesario para su funcionamiento. Además, en el caso del Stash, el diapasón y brazo

son completamente cilíndricos, sujetando las cuerdas a lo largo de una sección de su circunferencia. El Gittler, por otro lado, resulta interesante por su diseño funcional en lo referente al método de tensión y afinación de cuerdas en la base del instrumento.

⁷ <http://stashstainlessbass.com/bass-specs> (Último acceso 29 de abril 2021)

⁸ <https://gittlerinstruments.com/gittler-electric-bass> (Último acceso 29 de abril 2021)

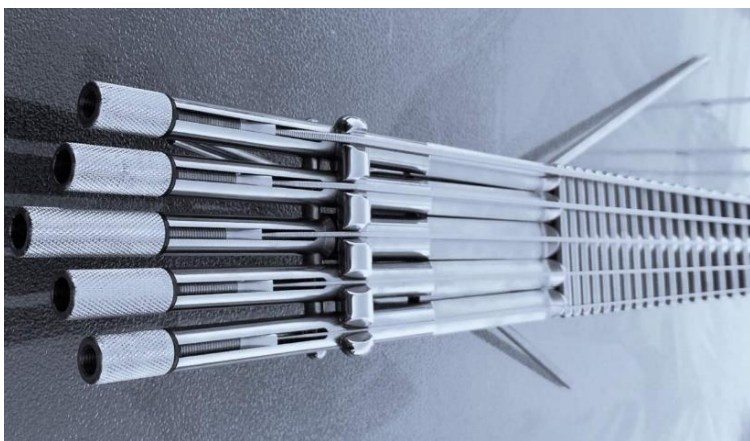


Ilustración 18 Bajo Gittler

El instrumento conocido como Whamola⁹ ocupa gran parte de la base de diseño del módulo analógico de Ívrida. Whamola es un monocordio eléctrico de acción simple con amplificación electromagnética a través de transductores y cuerda generalmente de bajo

eléctrico. Este instrumento está basado en el washtub bass¹⁰ que, a su vez, es una de las tantas variaciones de instrumentos monocordios que se encuentran alrededor del mundo.

Aparentemente el primer músico en utilizar esta configuración con palancas y discos rotatorios fue el bajista estadounidense Les Claypool y a partir de entonces se ha extendido su construcción y uso. Lo más apreciable de este instrumento para su incorporación al proyecto es la posibilidad de interactuar con la tensión de sus cuerdas al momento de la interpretación, logrando *glissandi* no temperados dentro de un intervalo máximo de quinta justa, a través de palancas en su parte superior; junto a lo



Ilustración 17 Les Claypool con el Whamola

9 <https://thickstrings-blog.tumblr.com/post/21230679219/what-tha-f-is-a-whamola-durante-las-d%C3%A9cadas> (Último acceso 29 de abril 2021)

10 https://en.wikipedia.org/wiki/Washtub_bass (Último acceso 29 de abril 2021)

anterior, hacer vibrar las cuerdas mediante percusión y no frotamiento o pulsación, resulta atractivo por lo sencillo e intuitivo del método de su ejecución.



Ilustración 19 Guitarra Art Deco de Buzz Feiten

En cuanto al diseño físico del módulo digital, bebe de lo observado en la mezcla de materiales y patrones lumínicos del Vivisi Violin (Phillips, 2018), la geometría de la guitarra Art Decó (Amat, 2019) de Buzz Feiten y el proceso de diseño y construcción de la guitarra personalizada¹¹ de Aaron Lehnhardt.



Ilustración 20 Vivisi Violin de Foster Phillips

¹¹ <https://www.instructables.com/Customizable-Electric-Guitar-Design-process/> (Último acceso 29 de abril 2021)

Laudería digital

Los desarrollos tecnológicos digitales revisados hasta el momento fueron diseñados para generar sonido desde la programación de sintetizadores o, en su defecto, para procesar señales de audio analógico. Los procesadores de audio a los que hemos hecho alusión son dispositivos que ponen el acento en el diseño de audio digital y, consecuentes con las convenciones de su nicho, se controlan mediante perillas y botones; muy pocos exploran interfaces de control enfocado al *performance* escénico. Por otro lado, los instrumentos experimentales estudiados ponen al centro del discurso un *performance* aumentado con base en técnicas instrumentales hegemónicas o, por lo menos, la emulación de estas técnicas mediante la incorporación de sensores. En este caso, el producto sonoro es consecuencia de los idiomatismos y lógicas instrumentales preexistentes por las que fueron diseñados estos instrumentos.

Aunque diferentes, estas dos vertientes, son manifestaciones de *Laudería Digital* pues se toman en cuenta para su conceptualización tanto la intervención de computadores y tarjetas programables para el desempeño de rutinas de producción creativa de audio, como la construcción y diseño de interfaces y métodos de control para el usuario. Si entendemos en profundidad lo anterior, cualquier iteración que involucre actividades de programación, diseño y construcción con propósitos sonoros y musicales cae en la categoría de laudería digital. De esta manera, las interfaces pueden ser gráficas, mecánicas o de cualquier otra índole, es decir, el desarrollo de tecnologías relacionadas al *performance* sonoro permite posibilidades que van más allá de las relaciones construidas con tradiciones interpretativas hegemónicas.

Una de las figuras que ayudaron a reconfigurar los paradigmas en el diseño de interfaces e instrumentos digitales es Joseph Paradiso, cuyo trabajo enfocado en desarrollar controladores con base en contacto físico, o la ausencia de este, sobre cierto tipo de

superficies vuelca su atención a una investigación centrada en el *performer*¹² (Jorda, 2005). Esto radicaliza el performance sonoro pues, al centrar el diseño de interfaces en la experiencia del usuario, la presencia de músicos especializados deja de tener la importancia crítica a la que estamos acostumbrados en contextos musicales más tradicionales, cobrando cada vez mayor importancia la inclusión de músicos aficionados e incluso no músicos que interactúen con nuevos diseños instrumentales. Lo anterior es visible en el giro que dio el MediaLab del MIT en los últimos años del siglo XX, pues de estar centrado en la investigación sobre Hiperinstrumentos (enfoque dirigido a músicos especializados); se abrió la puerta a una visión tecnológica distinta con el proyecto *Brain Opera*¹³, una instalación dirigida por Tod Machover abierta a la participación de todo público que aprovecha las más de 300 almohadillas de percusión del instrumento *Rhythm Tree* (Paradiso, 1997).



Ilustración 21 Instalación Brain Opera

12 El anglicismo *performer* se utiliza en este texto como una categoría para designar a las personas involucradas en ciertos procesos de creación y recreación artística. Esta categoría se diferencia de los roles tradicionales de intérprete o ejecutante ya que la experticia no es requisito indispensable para desenvolverse en su acto, incluso el acto puede partir de la exploración lúdica. Desde este punto de vista, un *performer* no es necesariamente un especialista técnico de las disciplinas del acto en el que participe, pero sí un agente activo en la ideación creativa.

13 Video de Tod Machover explicando *Brain Opera* <https://www.youtube.com/watch?v=gpWU5a07g7s>

A raíz de esta investigación, Paradiso elabora una clasificación de controladores agrupándolos según la manera en que el *performer* interactúa con ellos más que en su funcionamiento o la visión del diseñador (Jorda, 2005). Esta clasificación recoge controladores de distintos tipos que se pueden rastrear hasta los años setenta del siglo pasado y que exploran diversos tipos de control.

Un tipo de controlador recogido en esta taxonomía que es de particular interés es el de las *batutas* pues en su uso se pueden observar gestos semejantes a los utilizados por cuerdistas cuando tocan con sus arcos. Dentro de esta categorías se observan dispositivos como *The Radio Baton*¹⁴ (1977) de Max Mathews o *Lightning*¹⁵ (1991) de Don Buchla que fuera incorporado en el *celletto*. Diseños más recientes con explícito enfoque al arco de la cuerda frotada son el *K-Bow*¹⁶ de Keith Mcmillen o *vBow* de Charles Nichols (Nichols, 2002).

Una segunda categoría son los controladores (*wearables*) que porta el *performer*; estos incluyen exoesqueletos, guantes, colectores de señales biomecánicas y cualquier otro método que incluya textiles o componentes añadidos directamente al cuerpo. En esta categoría se pueden observar propuestas como *Pikapika* (2002) de Tomie Hahn y Curtis Bahn, un traje con sensores y altavoces que involucra movimientos coreográficos; *BioMuse* (1993) de Atau Tanaka que recopila señales musculares, movimiento de ojos y ondas cerebrales del usuario mediante un dispositivo médico para crear un instrumento musical; o el guante para violín aumentado *Mugic*¹⁷ (2008) de Mari Kimura, un controlador colocado en un guante originalmente diseñado para violinistas pero que se ha extendido entre diversos instrumentistas y directores que aprovecha la gestualidad de las manos a partir de la captura de datos inerciales durante el performance.

¹⁴ Max Mathews explicando el funcionamiento de *Radio Baton* <https://www.youtube.com/watch?v=3ZOzUVD4oLg&t=478s> (Último acceso 26 de julio 2021)

¹⁵ Video de Joe Davel utilizando el controlador *Lightning* <https://www.youtube.com/watch?v=l6wXiQHRFFI> (Último acceso 26 de julio 2021)

¹⁶ <https://www.keithmcmillen.com/labs/k-bow/> (Último acceso 26 de julio 2021)

¹⁷ Página web del desarrollo <https://mugicmotion.com/our-story> (Último acceso 26 de julio 2021)



Ilustración 22 Mari Kimura portando el guante MUGIC

Según las taxonomías de controladores utilizados en laudería digital que recoge Sergi Jordá en su tesis de Doctorado (Jorda, 2005), persisten tres tipos: A) controladores semejantes a instrumentos, B) controladores extendidos y C) controladores alternativos. La propuesta de Ívrida se guía por esta convención al estar basado en un instrumento de cuerda y recurre franca y directamente al idiomatismo instrumental del violonchelo. En consecuencia, los controladores provenientes de las notas digitadas y tocadas se hacen presentes al momento de digitalizar la señal y requerir métodos de control analógico digitales desde el instrumento para modificar parámetros del audio digital (tipo A). Por otro lado, no olvidemos que, aunque el módulo digital de Ívrida puede funcionar adecuadamente para cualquier violonchelo, el instrumento sobre el que se desarrolló es el violonchelo de seis cuerdas y registro ampliado construido en colaboración con Salvador Soto y en su desempeño con el módulo analógico finalizado como sistema completo e integrado, tendrá el mismo grupo de seis cuerdas que el ejemplar mencionado y dos más, de acción percusiva y control de afinación mediante palancas. Las características extendidas de estos instrumentos, a partir de los cuales se conceptualizó el módulo digital, promueven el uso y creación de técnicas y maneras poco convencionales, incluso desconocidas, de tocar el instrumento. Lo anterior, en conjunción con los controladores inerciales integrados al arco y los sensores táctiles son

recursos de gran utilidad para el performance aumentado que apuntan al tipo B de controladores mencionados. Finalmente, los sensores de proximidad permiten controles alternativos en el uso del cuerpo más allá de las extremidades superiores, comúnmente usadas para la ejecución y relacionadas a una práctica instrumental tradicional. La versatilidad de estos sensores y su programación apuntan a la expresión sonora y performativa mediante movimientos corporales no normados dentro de la tradición interpretativa canónica.

No obstante, el diseño conceptual y la propuesta para la interfaz de usuario de este módulo se desarrollaron tomando inspiración de propuestas como el Stretchi¹⁸, una interfaz muy sencilla diseñada por Hugh Aynsley cuyas propiedades sonoras no radican en sus características acústicas, ya que este es un controlador digital de cuerda con acción punzada para dar una sensación “acústica”, diferenciándose de la usual interfaz de tecla en los controladores.



Ilustración 23 Objetos de la instalación Of Nature of Things

La instalación “*Of Nature and Things*” de Fedde ten Berge (Berge, F.), desarrollada junto con el ceramista Frank van Os. Es un ensamble de tres objetos que exploran aspectos visuales, sonoros y que, gracias a los materiales y su forma, invitan al observador a interactuar con

18 <https://stretchi.org/> (Último acceso 29 de abril 2021)

ellos de manera libre e independiente. Los tres objetos presentan diferentes tipos de sensores analógicos con los que se puede interactuar físicamente desencadenando eventos sonoros. Este trabajo es relevante pues la interacción que se propone con los asistentes a la instalación y su producto sonoro se antoja muy orgánica e intuitiva.

Del otro lado, desde un punto de vista mecánico e industrial, una fuerte influencia performática viene de Tristan Shone, un músico y diseñador industrial que construye interfaces para su proyecto de música doom industrial Author & Punisher¹⁹. Utiliza las plataformas Arduino y Raspberry para controlar mediante MIDI y OSC diversos procesos de síntesis y manipulación digital de audio. Lo notable son sus diseños de estilo industrial que invitan a una interacción física más acentuada agrandando perillas y potenciómetros deslizables y utilizando movimientos más demandantes que con los tradicionales controladores de perillas, teclados y almohadillas, además de transductores en la garganta, tubos y máscaras amplificadoras, rieles con actuadores lineales y botones, entre otros.



Ilustración 24 Tristan Shone tocando en vivo sus instrumentos

¹⁹ <http://www.tristanshone.com/#section-7> (Último acceso 29 de abril 2021)

El último proyecto que se revisa en esta sección es Ork.1. Esta es una orquesta automática de instrumentos motorizados de percusión y cuerda. Este ensamble está elaborado bajo una premisa de estética robótica con instrumentos/ejecutantes programados digitalmente manifestando movimientos físicos sobre materiales y superficies de producción sonora acústica. Su creador, Alexandre Berthaud diseña, construye los instrumentos/ejecutantes y compone las piezas ejecutadas por la orquesta (Ork1).



Ilustración 25 Instrumentos de Ork.1

Por lo que podemos observar de esta brevísima recopilación sobre instrumentos aumentados y laudería digital, el campo que se ocupa del diseño de nuevas formas de expresarse a través del sonido es vastísimo. Desde luego, se han quedado fuera de esta recopilación una gran cantidad de desarrollos y tecnologías, por ejemplo, la ReacTable (Jorda, 2008) de Sergi Jordá y otros instrumentos virtuales que utilizan interfaces gráficas y tabletas digitales de corte interactivo. Además, cabe mencionar una vitrina pujante en esta

área: la Conferencia Internacional de Nuevos Instrumentos de Expresión Musical²⁰ (NIME) donde cada año, desde el 2001, se congregan cientos de investigadores de todo el mundo para presentar nuevos instrumentos, instrumentos aumentados e interfaces de control musical. Proyectos como los relatados anteriormente se muestran en esta conferencia, de hecho, muchos de los desarrollos recopilados en este trabajo fueron presentados en esta conferencia internacional.



Ilustración 26 Reactable de Setgi Jordá

²⁰ <https://www.nime.org/>

En este punto cerramos el relato de antecedentes pues los que hemos visto representan una generosa plataforma de diseño y consideraciones tecnológicas útiles para el desarrollo de la propuesta de Ívrida en el siguiente capítulo. No sin antes lanzar algunas reflexiones que se presentaron durante este proceso de recopilación.

Reflexiones

A través de la revisión de los antecedentes en este texto y los complementarios en los anexos 1 y 2 surgieron importantes consideraciones de lo que se desea integrar al proyecto original de interfaz digital. Por un lado, ahora sabemos que hay tecnologías que invariablemente ampliaron los elementos mínimos deseables en la primera propuesta de interfaz a desarrollar y, por otro lado, se encontraron posibilidades que otros desarrollos no habían implementado. De manera general, la perspectiva se dirige a la implementación de tecnologías ya existentes y que pueden ser relevantes para la práctica instrumental que se busca²¹. Al revisar tanto instrumentos eléctricos, aumentados, procesadores e interfaces de sonido con diferentes diseños y propuestas, se observa lo siguiente:

- Es evidente la falta de una oferta formal de procesadores y sintetizadores rastreadores de frecuencia optimizados particularmente para instrumentos de cuerda frotada, por lo que si un ejecutante de esta familia instrumental desea un equipo portátil e independiente debe de elegir un dispositivo diseñado para otro instrumento, de otra manera, es necesario transportar una computadora personal con procesadores previamente configurados para su instrumento.
- Como resultado de lo anterior, el uso de procesadores no optimizados para la cuerda frotada termina en un análisis poco preciso de parámetros como frecuencias y

21 Revisar la sección Incitaciones del cuarto capítulo de este trabajo

dinámicas, además de que la preconfiguración de los efectos no aprovecha el característico sonido continuo de la cuerda frotada y sus técnicas utilizadas.

- Los procesadores, pedales y pedaleras usan perillas, switches manuales y de pie, pedales de expresión como interfaces de control estandarizada, limitada a los pies y controles de piso durante el performance y no aprovechan métodos de control de otro tipo como sensores analógicos de proximidad u otros donde puedan intervenir gestos corporales más allá de los propios de las manos y dedos.
- Los instrumentos aumentados e híbridos estudiados provienen en su mayoría de instrumentistas y músicos especializados; estos se conforman dentro de la práctica instrumental y artística particular de cada desarrollador, condicionando el producto sonoro a las decisiones del propio ejecutante.
- En adición a lo anterior, la interactividad y colaboración entre dos agentes transformadores es necesariamente inter-instrumental a través de la señal eléctrica, pues no se ha establecido dentro de la familia instrumental de cuerda una técnica consistente en la que dos personas “toquen” o construyan un discurso sonoro independiente en el mismo instrumento como sería el caso del piano y de interfaces interactivas gráficas o instalaciones sonoras. Esto indica que el discurso cuerdistico se construye desde dos interfaces distintas comunicadas mediante la señal de un instrumento alimentando un procesador, p. ej. un instrumentista envía su señal de audio a un live coder que modifica parámetros desde su computadora; en pocos casos la interface de control se propone intra-instrumental, donde más de un agente transformador (intérprete) incida directamente sobre una parte del sonido del instrumento, resultando parte esencial del producto sonoro final. Calidad que puede ser especialmente deseable en contextos improvisatorios.
- Dado que el diseño ergonómico de la gran mayoría de instrumentos eléctricos y artefactos sonoros revisados semejantes al violonchelo recurre al modelo de técnica

y manera tradicional de tocar el instrumento acústico, el performance sonoro, musical y su expresión corporal están limitados por la posición del instrumentista en la silla; de esta manera los brazos, la parte superior del torso, el cuello y la cabeza se convierten en los únicos medios de expresión física del ejecutante durante una presentación o evento performático.

- Salvo un par de casos, los instrumentos y procesadores estudiados requieren de altavoces externos para la difusión del producto sonoro y esto supone que esta salida de audio se encuentra dislocada del objeto sobre el cual se interactúa, contribuyendo a la disociación del performance sobre el artefacto y su producto acústico.

Del aprendizaje y reflexiones alcanzadas a través de estos antecedentes se dieron las condiciones para proponer un módulo de procesamiento de audio que busca expandir la interfaz de control tradicionalmente usada en estos dispositivos mediante reacción analógica digital interactiva.

Capítulo 2: Ívrida

Premisa conceptual

Como se planteó anteriormente, el producto de esta investigación es un artefacto de procesamiento sonoro digital para violonchelo acústico y eléctrico que a su vez es parte de un proyecto más grande que lleva por nombre Ívrida. En este momento del trabajo es necesario hablar de Ívrida como un sistema modular, integrado por dos interfaces complementarias y al mismo tiempo autónomas:

1. Módulo digital
2. Módulo analógico

El módulo digital es la unidad de procesamiento, desde el cual se sintetizará y se ejecutarán rutinas para procesar el audio digital que se reproducirá finalmente como sonido. Esta interfaz consta de tres operaciones gestionadas en su interior por la tarjeta *be1a*: señales de entrada, rutinas de síntesis-procesamiento y salida de audio. Las señales de entrada, analógicas y digitales, son suministradas por botones, potenciómetros, sensores de proximidad, sensores capacitivos táctiles y un acelerómetro. Estos capturan y digitalizan señales de control analógico como gestos físicos, proximidad de objetos y aceleración de movimientos provenientes del ejecutante para posteriormente ser procesadas por rutinas diversas en Pure Data (precargado en la tarjeta misma y que a partir de este momento utilizaremos las iniciales Pd para referirnos a éste); las rutinas usadas se dividen en síntesis y procesamiento, por lo que cada sensor o método de entrada se puede programar para estas funciones. Después del procesamiento de audio, se convierte la señal digital a analógica para ser reproducida mediante altavoces en configuración estéreo.

El instrumento analógico de cuerda, que por el momento continúa en fase de desarrollo y no se presenta como producto finalizado, es un cuerpo cilíndrico con ocho cuerdas mezclando características de diferentes instrumentos como violonchelo, bajo eléctrico y

whamola. El anverso del instrumento funciona como violonchelo expandido, 6 cuerdas afinadas en quintas (Fa², Do³, Sol³, Re⁴, La⁴, Mi⁵) sobre un puente curvo según la convención del instrumento. En el reverso, las cuerdas restantes se afinan en Sib y Do abajo del Fa grave del lado violonchelístico; sin embargo, esta afinación no es fija, pues en lugar de un puente y cejilla superior fijos, tiene discos giratorios (poleas) por donde corren las cuerdas, de manera que se puede modificar la tensión y afinación por una palanca mecánica coronando el instrumento de la misma forma que lo hace la whamola. Este instrumento acústico-analógico carece de una caja de resonancia y su cuerpo no es más que la pieza de madera y metal sobre la que se tensan las cuerdas con su respectiva maquinaria y un diapasón para digitar, recordando al *Stick* de Emmet Chapman²². La transducción eléctrica es doble, incluyendo un transductor piezoeléctrico general con salida monoaural y un arreglo de pastillas electrodinámicas para amplificar las cuerdas de manera individual. En la base del instrumento se encuentran dos salidas, la monoaural en Jack plug de 1/4" y una salida con 8 pines que lleve cada señal individual de audio para ser tratadas como entrada analógica en el procesador/interfaz de control digital.

Se espera que cada módulo pueda y sea utilizado individualmente según el contexto lo requiera; que el instrumento de cuerda pueda servir como instrumento eléctrico pasivo para contextos más tradicionales y, por otro lado, que el módulo digital pueda ser utilizado como sintetizador o procesador de otros violonchelos, sean acústicos, eléctricos o virtuales. Independientemente de esto, al usarse en conjunto se explotaría su completo potencial puesto que los procesadores y sintetizadores dentro del microcontrolador digital están diseñados para intervenir la señal de audio del instrumento analógico ya sea por el mismo ejecutante o por otra persona.

A partir de aquí se detalla únicamente lo referente al módulo digital en su calidad de producto terminado para esta maestría; sin embargo, los avances logrados hasta el

²² <http://www.stick.com/> (Último acceso 29 de abril 2021)

momento en el diseño integrado del sistema y el módulo analógico se pueden observar en el [Anexo 1](#).

Módulo Digital

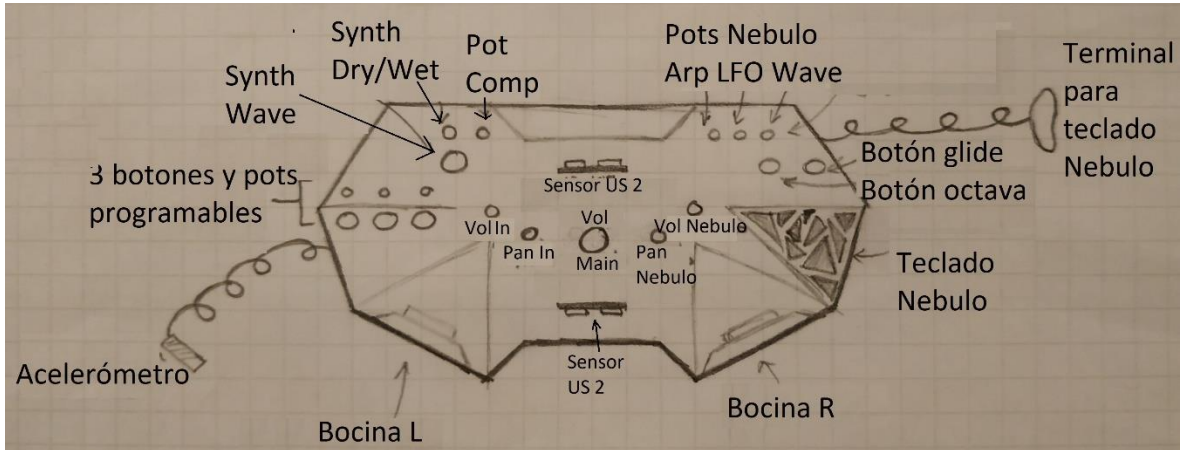


Ilustración 27 Primer boceto a mano alzada del módulo digital

El módulo digital, que en este momento de desarrollo puede ser usado como un dispositivo independiente (stand alone), se divide para su estudio en tres partes:

- El objeto material y su interfaz de usuario física
- El flujo de la señal y su interfaz digital
- La recolección y fuente de los programas contenidos y su funcionamiento

El objeto material se define como una caja o gabinete que, en este primer prototipo, fue construido artesanalmente en fibracel y alberga en su interior una tarjeta/controlador *bela* funcionando como la unidad de procesamiento del dispositivo desde la cual se realizan las rutinas de digitalización y procesamiento de datos de diversas señales analógicas y digitales entrantes. Esta tarjeta incorpora un puerto USB A mini (ver Ilustración 36, p. 56) con la

función de conectarse a computadoras personales soportando sistemas operativos Windows, Linux y Mac; desde esta tarjeta se pueden modificar y cargar los programas. La tarjeta obtiene energía al conectarse a una batería externa mediante un conector de barril. Se cuenta, además, con un segundo puerto USB B para conectar dispositivos MIDI para controlar la tarjeta en caso de ser necesario.

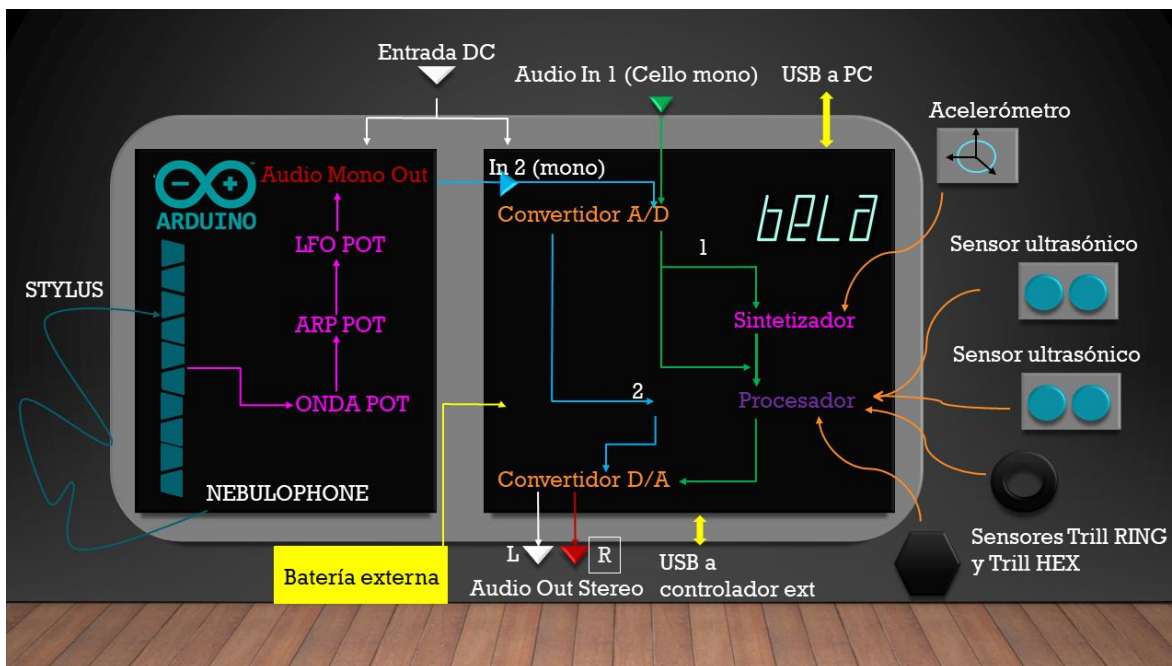


Ilustración 28 Diagrama de ruteo de hardware

En la ilustración 28 se puede observar un diagrama general de conexiones. Se observan señales de entrada analógica al dispositivo que incluyen dos canales de audio monoaural, donde uno proviene del instrumento eléctrico de cuerda (módulo analógico) o el transductor/micrófono de uno acústico y en el canal restante es posible conectar otro instrumento, micrófono o sintetizador para complementar las necesidades artísticas del intérprete; dos sensores capacitivos con respuesta de presión táctil Trill (desarrollados por el equipo desarrollador de *belá*), dos sensores ultrasónicos de proximidad HC-SR04 y un acelerómetro montado en el arco del intérprete se utilizarán para modificar parámetros de audio digital, tanto en síntesis como procesamiento. Además de las anteriores, otros

métodos de entrada contemplan dos potenciómetros y dos botones programables para diversas operaciones de control. Se añade, como módulo secundario, una versión replicada durante esta investigación del sintetizador digital Nebulophone²³ de la compañía Bleep Labs basado en Arduino para ser conectado al canal 2 de audio. En la salida de audio del dispositivo, se encuentra un plug hembra de 3.5 mm con la señal estéreo amplificada para su conexión a altavoces.

Junto a esta salida de audio plug, se incorporan al gabinete dos actuadores²⁴ con respuesta de frecuencias de 60 – 20,000 kHz en condiciones óptimas. La incorporación de esta tecnología obedece a las necesidades de monitoreo personal del sonido producido en ambientes controlados y para generar una experiencia física vibratoria en el ejecutante semejante a la que obtiene al interpretar un instrumento acústico, de manera que toda interacción con el procesamiento sonoro o incluso con el simple hecho de tocar las cuerdas del instrumento se obtiene vibración acústica auditiva y táctil. Esta peculiaridad obliga a que el gabinete sea dividido en dos para acentuar la experiencia estéreo en dos objetos vibratorios independientes.

En lo referente al flujo de señal al interior del dispositivo (véase Ilustración 29), la entrada analógica de audio proveniente de las dos fuentes es digitalizada con un convertidor A/D, incluido en la tarjeta de desarrollo, y enviada en una primera instancia para aplicación de un supresor de ruido digital (*Noise Gate*) y compresión de ambas señales y así acondicionarlas para el resto del procesamiento. En una segunda instancia, se divide el recorrido de las señales, la señal “1”, del instrumento de cuerda, continúa hacia una rutina que rastrea la altura del sonido analógico y mediante una tabla de onda se realiza síntesis digital a consideración del usuario, tomando como base las frecuencias de entrada. Dentro

23 <https://bleeplabs.com/product/nebulophone/> (Último acceso 29 de abril 2021)

24 Estos componentes requieren de un panel rígido para poder reproducir como sonido la señal de audio. Su respuesta en frecuencia y calidad de sonido dependen del material y sus dimensiones, así como de cómo y dónde sean adheridos a ese panel. Para mayor información revisar la hoja de datos y características de los componentes en siguiente enlace: <https://www.digikey.com.mx/en/products/detail/pui-audio-inc/ASX05408-HD-R/7227653> (Último acceso 23 de junio 2021)

de este paso en la cadena, se tiene la posibilidad de elegir entre la señal entrante limpia, la sintetizada o una mezcla de estas a través de una perilla programable. Luego de este paso, para esta misma señal, se incluye un looper activable previo a la siguiente etapa, de procesamiento, o posterior a ella.

La señal "2", del sintetizador, no pasa por la instancia de rastreo de frecuencia, entra directamente a la fase de procesamiento pues en su carácter de sintetizador que incluye un secuenciador en sí mismo, es innecesaria.

La rutina de procesamiento de audio puede incluir efectos como ecualización, distorsión, tremolo, chorus, pitch shifter, modulación de anillo, delay, reverb, entre otros, estos pueden activarse y desactivarse libremente por el usuario mediante los botones programables montados. Finalmente, las dos señales pasan a una fase de paneo y mezcla para salir del sistema mediante un convertidor D/A como única señal estéreo hacia los transductores vibratorios y el plug de salida a altavoces.

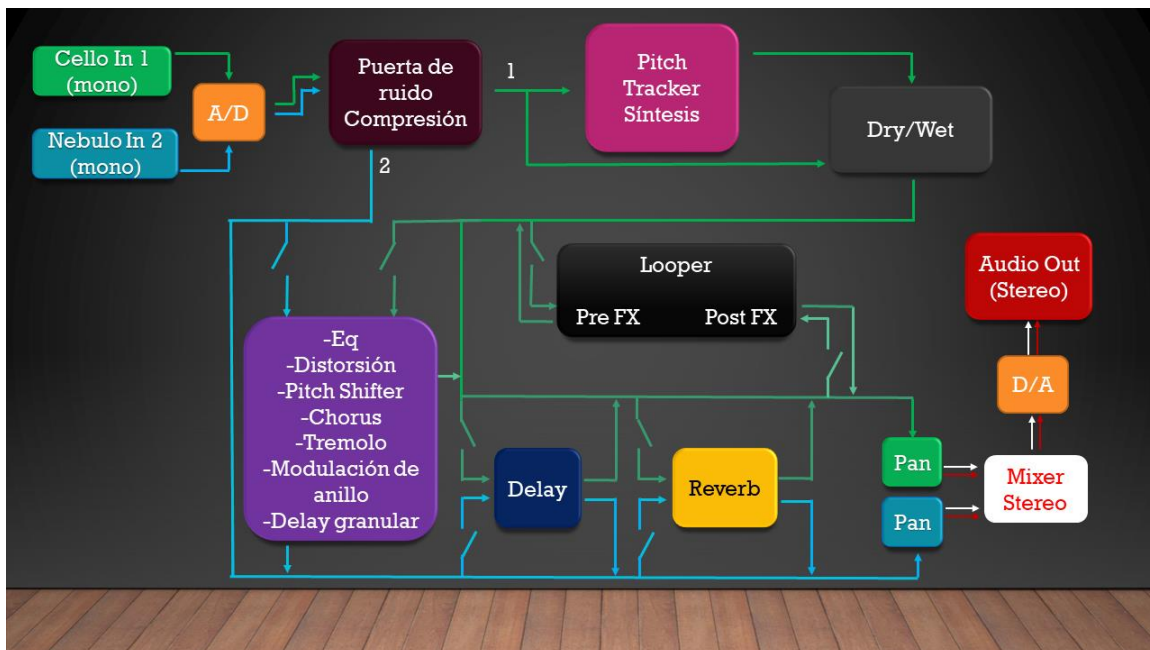


Ilustración 29 Cadena de audio digital

La tarjeta de desarrollo *belá* puede trabajar en distintos sistemas operativos y programarse accediendo a su ambiente de desarrollo (IDE) desde cualquier navegador al conectarse al

ordenador. En este ambiente se tiene acceso a la programación de bajo nivel en lenguaje C desde donde se puede gestionar la programación de sensores y hardware, además de cargar diversas librerías y paquetes de desarrollo de los softwares libres de audio soportados: Pd, Super Collider y CSound. Al cargar la paquetería de estos softwares, es posible trabajar su programación desde el IDE, a excepción de Pd pues sólo se carga una imagen estática de su característico ambiente gráfico, esto exige trabajar el *patch* deseado en el cliente Pd instalado en el ordenador para posteriormente importarlo o actualizar las versiones. Para este proyecto todos los patches que realizan las tareas de audio digital están programados en Pd. El inconveniente del paso extra necesario para la actualización de los patches se balancea con la optimización que tiene esta tarjeta en relación con la programación de sensores analógicos y digitales, en nuestro caso los sensores Trill, los ultrasónicos de proximidad y el acelerómetro son programados para controlar parámetros diversos de síntesis y procesamiento de audio.

Los procesos de síntesis y efectos de audio que se incluyen en este módulo digital son sólo un ejemplo de lo que se puede lograr con la tarjeta, en tanto hardware y software. Estos patches fueron elegidos tomando en cuenta consideraciones estéticas que nacen de una búsqueda personal de expresión e hibridación sonora alrededor del procesamiento y su producto sonoro²⁵. No obstante, también se incluyen las consideraciones de un grupo de colegas instrumentistas especializados en instrumentos de cuerda frotada eléctricos y amplificados. Estas consideraciones son el reflejo de una encuesta parametrizada donde se le preguntó a los participantes cuáles efectos consideran más útiles y cuáles les resultan más interesantes para experimentar dentro de su práctica profesional creativa. Más adelante, en el apartado dedicado a este instrumento metodológico en el Capítulo 3, se pueden ver algunos resultados de este estudio. No sobra decir que un instrumentista

25 Ver Capítulo 4

interesado en la programación puede diseñar sus propios patches y cadenas de efectos según sus propias necesidades y preferencias.

La programación misma de los patches representa una cantidad de tiempo y esfuerzo colosal, semejante a un trabajo de maestría, por lo que he decidido nutrir este proyecto con el trabajo colaborativo de otras personas en búsquedas similares a las mías, a quienes se otorga el reconocimiento y el crédito correspondientes en el apartado destinado a los programas y patches utilizados. Los patches han sido recopilados de diversas fuentes, plataformas como patchstorage²⁶, rebeltech²⁷, critter & guitari²⁸ o foros²⁹ de usuarios y grupos públicos³⁰ de Pd; de compañeros de este posgrado, como es el caso de Andrea Sorrenti que realiza una investigación de Doctorado en torno al concepto de Hyperintérprete; además de los realizados por uno mismo. En el caso de los patches que son producto de plataformas virtuales, han sido elegidos según la licencia con la que son publicados, licencias de acceso, distribución y modificación libre GPL y los patches que provienen de foros y colaboradores personales son utilizados con el consentimiento de sus autores para el uso académico y creativo que se les va a dar en el actual proyecto.

Aportaciones y características particulares

La propuesta particular y aportaciones del módulo digital del sistema Ívrida se pueden resumir en cuatro puntos:

26 <https://patchstorage.com/platform/bela/> (Último acceso 29 de abril 2021)

27 <https://www.rebeltech.org/patch-library/patches/latest> (Último acceso 29 de abril 2021)

28 <https://www.critterandguitari.com/organelle-patches> (Último acceso 29 de abril 2021)

29 <https://forum.pdpatchrepo.info/> (Último acceso 29 de abril 2021)

30 <https://www.facebook.com/groups/4729684494> (Último acceso 29 de abril 2021)

- Es autónomo, no requiere de una computadora multipropósito externa para el procesamiento de audio en tiempo real y funciona con baterías recargables.
- Incorpora actuadores estéreo (altavoces vibratorios) cubriendo dos propósitos: Monitoreo personal, eliminando la necesidad de adquirir un altavoz externo que pueda ser difícil de conseguir y represente equipo adicional. Los actuadores permiten sensación vibratoria al momento de tocar el instrumento para ayudar a emular una mejor sensación acústica. Además de los actuadores, se incluye un puerto de salida de audio para equipos de alta fidelidad.

Y los que personalmente considero más relevantes:

- Está desarrollado con tecnologías libres y abiertas tanto en hardware como software y es producto del trabajo colaborativo y comunidad de usuarios de diversas plataformas, por lo que, siguiendo esta filosofía tecnológica, este dispositivo está abierto a la comunidad.
- Es un procesador de audio digital optimizado en frecuencias y técnica instrumental para instrumentos de cuerda frotada, principalmente violonchelo, característica imprescindible pues esta investigación no ha encontrado un dispositivo similar.
- Ofrece una segunda entrada de audio para sintetizadores o micrófonos, útil cuando el intérprete requiere ampliar las posibilidades sonoras y performáticas
- Promueve la integración de un discurso corporal expandido en el performance mediante la reacción/interacción con sensores de proximidad, acelerómetro, sensores táctiles y la vibración física del dispositivo mismo.

Capítulo 3. Reporte Técnico

La investigación que abrió la puerta al proyecto Ívrida y sus piezas constitutivas provienen de diversas fuentes de hardware y software abierto y libre, y por esta razón resulta imprescindible que el desarrollo que se ha logrado en este proyecto comparta esas características. Tanto el prototipo de hardware, los materiales utilizados para el gabinete y diseño electrónico, sensores, microcontroladores y tarjetas de desarrollo como los programas y rutinas de software se incluyen detalladamente en este capítulo, junto con un instructivo [en línea](#)³¹ para la clonación del módulo digital de Ívrida disponible en el [repositorio del proyecto](#)³² donde se pueden encontrar los recursos de hardware y software producto de esta investigación. Esta inclusión resulta en una de las aportaciones más significativas y relevantes de esta investigación para la comunidad del posgrado y futuros trabajos académicos en torno a instrumentos e interfaces de audio aumentadas.

Se destaca que los materiales del gabinete y los componentes electrónicos se pueden encontrar con relativa facilidad en tiendas de electrónica y mercados locales, en este caso adquiridos en la Ciudad de México. La tarjeta de desarrollo *bea*, los sensores capacitivos Trill y los transductores vibratorios fueron adquiridos en línea a través de plataformas web de compra, siendo los únicos que fueron importados explícitamente para este proyecto, en la Tabla 1: Lista de materiales se detallan los enlaces de compra para estas piezas. Sobre la clonación del sintetizador Nebulophone, todos los componentes, materiales e instructivos se pueden encontrar en estos dos recursos web:

<https://bleeplabs.com/product/nebulophone/>

<https://www.instructables.com/DIY-Arduino-Nebulophone-Synth/>

31 https://github.com/lvrida/modulo_digital/tree/main/Hardware

32 https://github.com/lvrida/modulo_digital

Nota: El último acceso a los enlaces en este capítulo de reporte técnico se realizó el 30 de abril 2021

Lista de materiales

Tabla 1 Lista de materiales

Dispositivos	Componentes electrónicos
-1x Bela Original https://shop.bela.io/products/bela-starter-kit	-2x Potenciómetro 10 kΩ
-Batería portátil USB 10400 mAh	-1x Interruptor ON/OFF (dos patas)
Sensores	-2x Botón Push Button 12mm
-2x Sensor ultrasónico HC-SR04	-2x Plug Jack mono hembra 6mm
-2x Bases para sensor HC-SR04	-1x LED
-1x Sensor Trill Ring https://shop.bela.io/products/trill-ring	-1x Resistencia 220 Ω
-1x Sensor Trill Hex https://shop.bela.io/products/trill-hex	-2x Resistencia 20kΩ
-1x Acelerómetro ADXL345	-4x Resistencia 10kΩ
Transductores	-1x Conector USB A macho
-2x Actuador 8Ω, 104 dB ASX05408-HD-R, PUI Audio, Inc. https://www.digikey.com.mx/en/products/detail/pui-audio-inc/ASX05408-HD-R/7227653	-1x Conector eléctrico de barril 5mm
Gabinete	-1x Protoboard de 400 puntos
-1 hoja de fibracel de 40x60 cm, 3 mm de grosor.	-Jumpers Dupont macho a macho
-12 palitos de madera cuadrados	-Jumpers Dupont macho a hembra
-Lápiz	-Cable 22 AWG
-Reglas y escuadras	-Cable dúplex 22 AWG (rojo con negro)
-Bote de pegamento para madera	-10x tornillos M2 de 10 mm con tuerca
-Navaja cutter o x-acto	

Construcción del gabinete

Esta sección describe el proceso de construcción del gabinete diseñado durante esta investigación, este fue dibujado, recortado y construido manualmente; sin embargo, para propósitos de documentación y compartición, se elaboró posteriormente un modelo CAD (Ilustraciones 30 y 31) en el repositorio en línea del proyecto antes citado³³.

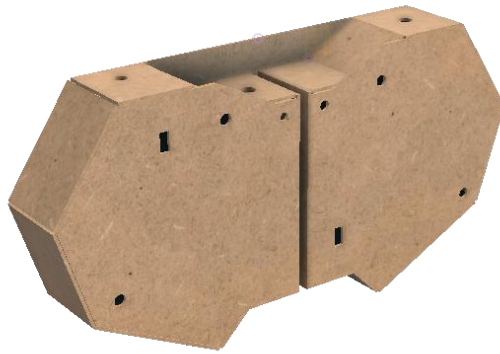


Ilustración 30 Modelo CAD del gabinete con perforaciones para componentes

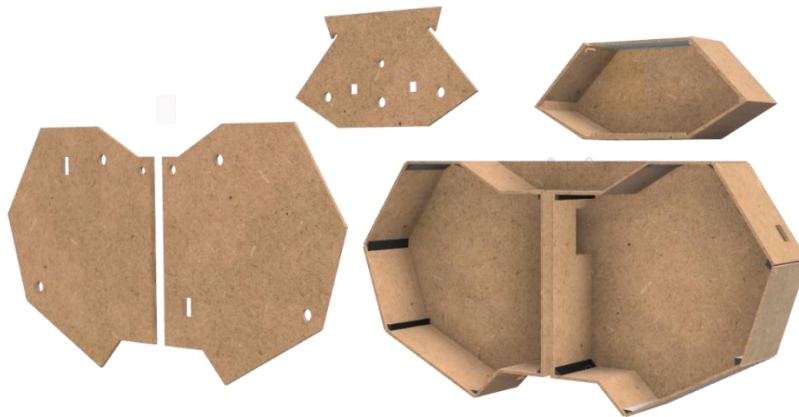


Ilustración 31 Modelo CAD con el submódulo construido para el Nebulophone

33 El archivo se encuentra en la carpeta Hardware, con nombre: *Ivrida_Digimod* y formatos: .f3d (Fusion360) y .dwg (AutoCad).

Este primer prototipo funcional se hizo con fibracel, material hecho con fibras de papel reciclado de fácil acceso, manipulación y bajo costo. Una hoja de fibracel de 40x60 cm y 3 mm de grosor (Ilustración 32) fue suficiente para todas las partes necesarias del gabinete, incluso las partes de un pequeño gabinete secundario modular diseñado para alojar el Nebulophone replicado. Está contemplado un rediseño del gabinete y su construcción en acrílico y aluminio para una versión más definitiva que se integre con el módulo analógico.

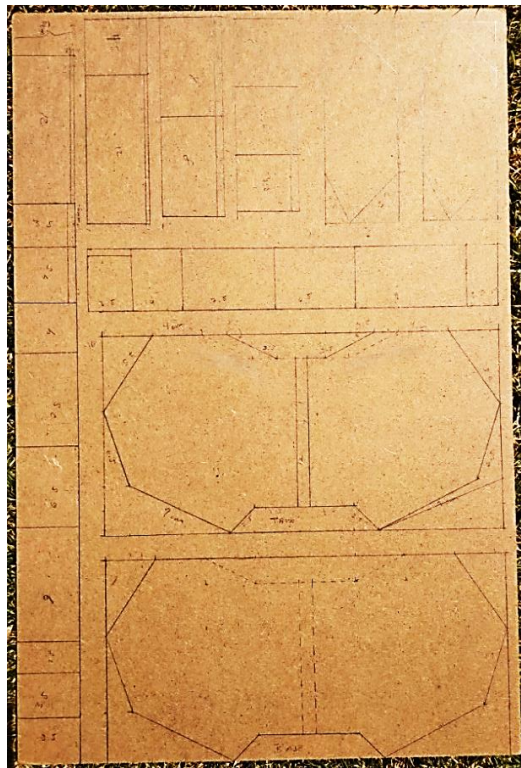


Ilustración 32 Plano del gabinete sobre pieza de fibracel³⁴

Recordemos que, por la necesidad de aislar la vibración de los dos actuadores para crear un efecto estéreo, el gabinete se dividió en dos mitades reflejadas simétricas con paredes y tapas independientes, aunque comparten base para dar estabilidad a la estructura. En el plano de la ilustración anterior se observan dos rectángulos de 16x32 cm a lápiz donde se

³⁴ El plano de la Ilustración 24 fue hecho a mano sobre la misma hoja de fibracel con la que se hizo el gabinete sin ayuda de recursos digitales utilizando lápiz, regla y escuadra.

trazan la base, paredes y tapas individuales del diseño del gabinete; como se puede observar, la base tiene una leve diferencia con respecto de las tapas puesto que se busca crear un pequeño cajón en la parte posterior del gabinete donde se pueda ensamblar el sintetizador. Las líneas punteadas son líneas guía sobre las cuales se pegan algunas de las paredes sobre la cara del material. Siguiendo esta lógica, las paredes externas del gabinete tienen altura diferente a las posteriores y a las interiores. Cada mitad del gabinete tiene nueve paredes dispuestas de la siguiente manera:

Tabla 2 Medidas de las paredes individuales recortadas

<p>Pared interna L</p> <p>A = 12 x 4.6 cm</p>	<p>Pared interna R</p> <p>A = 12 x 4.6 cm</p>
<p>Paredes externas L</p> <p>B = 3.5 x 5 cm</p> <p>C = 2.5 x 5 cm</p> <p>D = 9 x 5 cm</p> <p>E = 6.5 x 5 cm</p> <p>F = 7.5 x 5 cm</p> <p>G = 4 x 5 cm</p>	<p>Paredes externas R</p> <p>B = 3.5 x 5 cm</p> <p>C = 2.5 x 5 cm</p> <p>D = 9 x 5 cm</p> <p>E = 6.5 x 5 cm</p> <p>F = 7.5 x 5 cm</p> <p>G = 4 x 5 cm</p>
<p>Paredes posteriores L</p> <p>H = 4.5 x 4.4 cm</p> <p>I = 3.5 x 4.4 cm</p>	<p>Paredes posteriores R</p> <p>H = 4.5 x 4.4 cm</p> <p>I = 3.5 x 4.4 cm</p>

El trazado del plano hecho a lápiz es sencillo, sin embargo, modelos preliminares de este gabinete demostraron la necesidad continua de rectificación de las líneas y ángulos durante el proceso para no perder la cuadratura del gabinete cuando tenga su forma final. Terminado el



Ilustración 33 paredes y tapa cortada

trazado sobre el material, se

cortaron las piezas individuales para tapas, paredes y base con ayuda de una navaja y una regla para posteriormente comenzar el montaje. Con pegamento, la base fue fijada por su canto a las paredes exteriores del gabinete de manera que estas últimas “abracen” la base



Ilustración 34 Palitos de madera para soporte

y las tapas teniendo cuidado de mantener un ángulo de 90°. Para mantener la estructura del gabinete, se pegaron palitos de madera en todos los ángulos internos.

Se realizaron algunas perforaciones y recortes necesarios a algunas piezas para el montaje de conectores de audio y otros componentes, además de una ventana necesaria entre las dos paredes interiores para comunicar ambas mitades del gabinete. Estas perforaciones se

hicieron antes y durante el montaje.

Las piezas que requieren perforación son:

- Paredes internas de ambas mitades, se cortó una ventana de 1.5 cm x 3 cm en la base para hacer un túnel de comunicación para ambas mitades.

- Pared externa “C” de la mitad izquierda, se cortó una ventana de 1.5 x 1 cm para conexión USB de la bela a PC.
- Pared externa “G” de la mitad izquierda, se perforó con una broca de ¼ de pulgada para montar el conector estéreo de 3.5 mm para la salida de audio.
- Pared posterior “I” de la mitad izquierda, se perforó con una broca de 3/8 de pulgada para montar un conector de audio de 6 mm para entrada de audio 2.
- Pared externa “G” de la mitad derecha, se perforó con una broca de 3/8 de pulgada para montar un conector de audio de 6 mm para entrada de audio 1.
- Tapa izquierda, se perforaron dos orificios con una broca de ¼ de pulgada para montar un potenciómetro y un botón; se perforó un orificio de 1/64 de pulgada para montar un LED indicador de encendido del dispositivo; se cortó una ventana de 13 x 7 mm para montar el sensor TRILL HEX.
- Tapa derecha, se perforaron tres orificios con una broca de ¼ de pulgada para montar un potenciómetro, un interruptor de encendido y un botón; se cortó una ventana de 13 x 7 mm para montar el sensor TRILL RING.



Ilustración 35 Gabinete terminado sin perforar

Conexión de componentes electrónicos y sensores

Luego de ensamblar el gabinete con los orificios perforados, comenzó el montaje de los componentes electrónicos, para facilitar la comprensión de esta sección incluyo los diagramas de pines de *bela*, el esquemático y para prototipado del circuito:

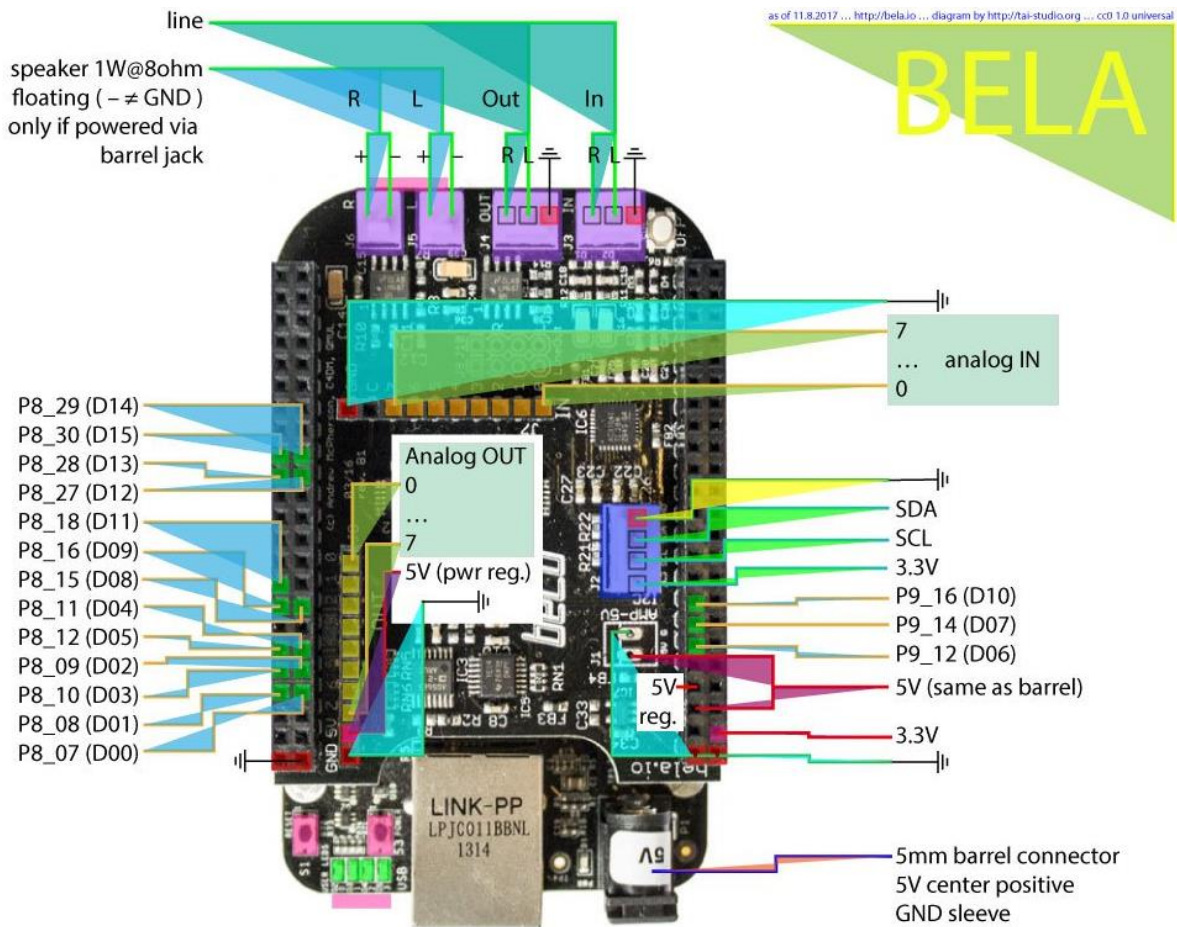
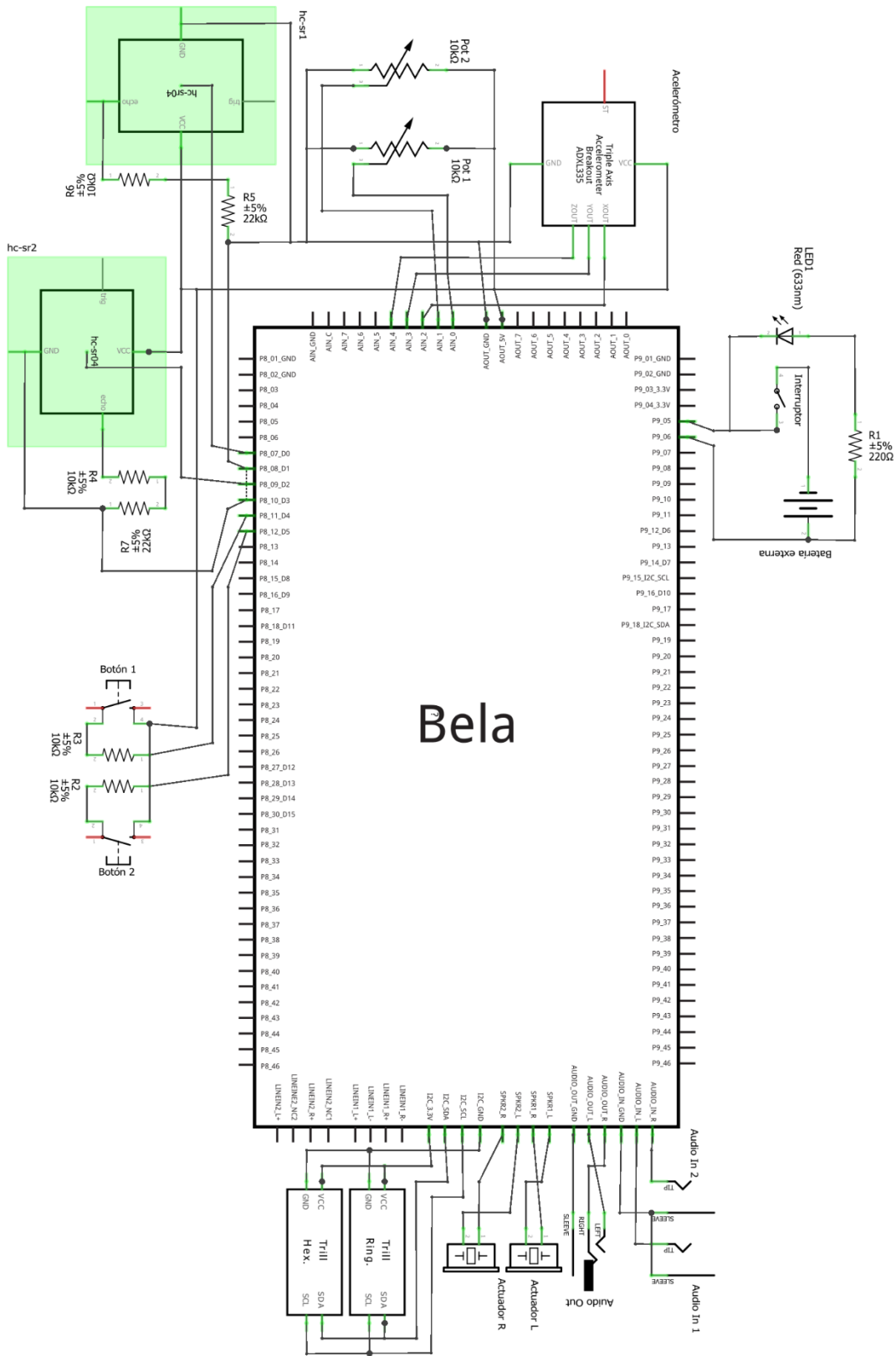


Ilustración 36 Diagrama de pines bela³⁵

35 Extraído de <https://tai-studio.org/2017/08/16/bela-pin-diagram.html>



Bela

Ilustración 37 Diagrama esquemático del circuito

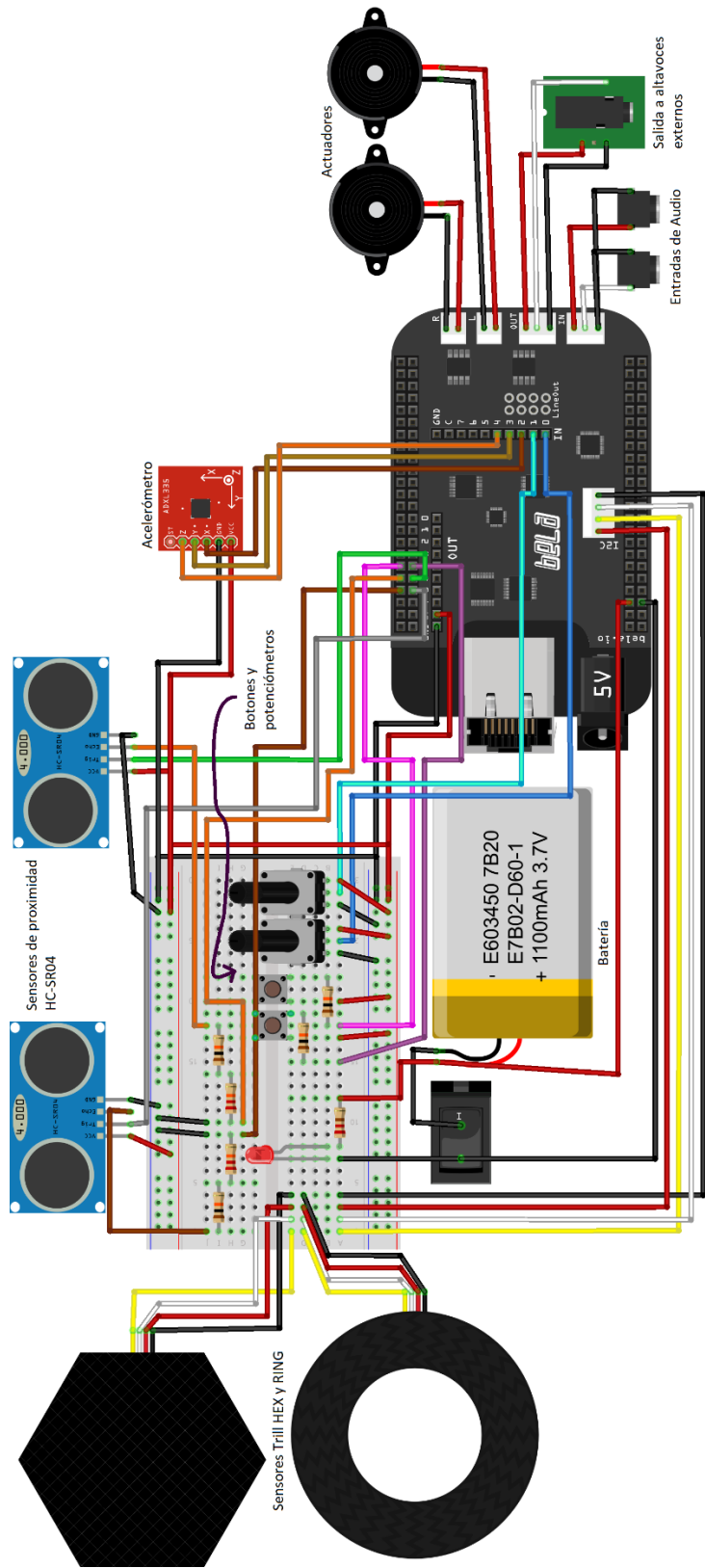


Ilustración 38 Diagrama de prototipado

1. Montaje y conexión de actuadores. Los primeros componentes electrónicos fijados al gabinete fueron los actuadores al interior de las tapas, este primer paso fue crucial pues de esto depende la respuesta acústica y vibratoria de las superficies. Realizando múltiples pruebas de funcionamiento con los actuadores, diferentes tipos de música, pruebas con barrido de frecuencias y sintetizadores se decidió fijar los actuadores ligeramente elevados sobre el eje "Y" de las tapas y relativamente cerca de las paredes interiores de cada mitad del gabinete por ser este sitio donde se encontró un balance adecuado de frecuencias del rango audible, intentando obtener un registro bajo muy presente y medios y agudos balanceados; esto debido a que el violonchelo eléctrico requiere de un mayor apoyo de frecuencias graves para balancear su sonido.

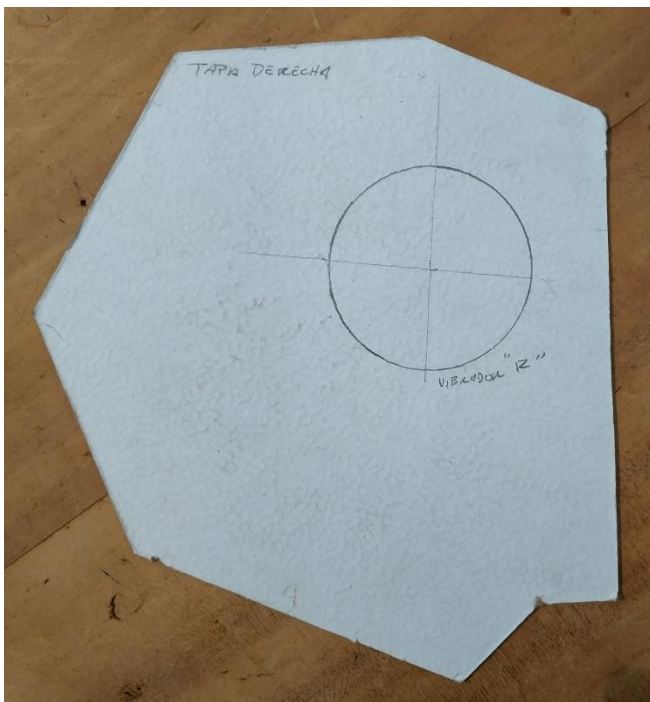


Ilustración 39 Posición del transductor "R" dentro al interior de la tapa derecha del gabinete

Ya fijos ambos actuadores, se conectaron a la *bela* mediante dos jumpers Dupont macho a hembra al actuador (L), donde el extremo macho del conector se soldó al actuador y el extremo hembra se conectó a la tarjeta deslizándolo pues no es necesario soldar, se eligió este tipo de cables porque los puertos de entrada y salida de audio de *bela* están montados con un conector molex macho. El actuador (R) fue conectado de la misma manera con la adición de una

extensión de cables soldada entre el extremo macho del jumper y el actuador pues por el sitio en que se decidió fijar la tarjeta, es necesario que los cables crucen casi todo el gabinete. Recordemos que la tarjeta tiene dos tipos de salidas de audio, una salida estéreo integrada y dos salidas monoaurales amplificadas con 1 W de potencia. Los

actuadores fueron conectados a las salidas amplificadas. La salida de audio estéreo integrada fue destinada para equipos de audio amplificados de alta fidelidad, y en este caso sólo se conectó uno de los plug hembra estéreo de 3.5 mm incluido en el paquete de la tarjeta con su conector molex; este plug fue fijado al gabinete con la tuerca incluida.



Ilustración 40 Transductor vibratorio montado

2. Montaje y conexión de plugs de entrada de audio. Se montaron dos conectores monoaurales de 6 mm para las entradas de audio externo donde la entrada 1 está destinada para el violonchelo y la 2 es usada por el sintetizador utilizado en este proyecto o para otro instrumento, micrófono, etc. Se continuó con el uso de jumpers macho a hembra para la conexión añadiendo una extensión al cable de la entrada 1 que cruza el gabinete. Debido a que la entrada de audio en la *bela* es estéreo integrada en conector molex macho, se hizo un puente de tierra entre los dos plug de audio. En el grupo de tres pines del conector molex de la tarjeta (ver ilustración 11, diagrama de conexión), la tierra es el pin izquierdo, la señal 1 es el central y la señal 2 el pin derecho.
3. Montaje de *bela* y batería portátil en el gabinete, instalación de interruptor ON/OFF y LED indicador. Se decidió montar la tarjeta al interior de la mitad izquierda del gabinete y la batería portátil en la derecha considerando la ubicación de los transductores vibratorios y optimizar el espacio interior para el cableado interno. Para fijar la tarjeta se

retiró el *cape* de *bela* de la *Beagleboard* y así tener acceso a los orificios de montaje en la tarjeta. Esta fue fijada con tornillos M2 de 10 mm de largo y, aprovechando los palitos de madera sobrantes se cortaron e integraron como espaciadores cuadrados de 5x5 mm y 4 mm. Tanto el conector de barril y el puerto USB de datos de la tarjeta quedaron dirigidos al centro del gabinete por lo que se abrió una ventana en la pared externa “C” para conectar el cable USB al puerto de datos.

A manera de espejo, la batería portátil se fijó en la mitad derecha del gabinete en el mismo lugar que la *bela* con cinta de montaje doble cara para no dañar los componentes internos de la batería. Como cable de alimentación para la tarjeta se utilizó un cable dúplex conectado a un

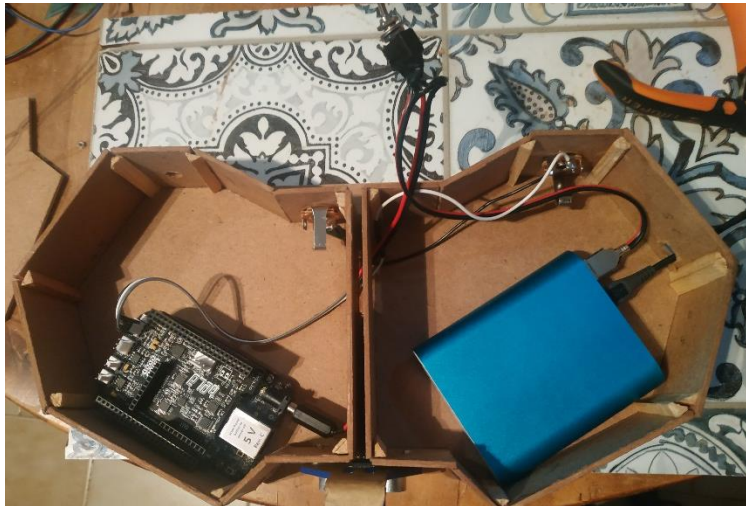


Ilustración 41 Mitad izquierda contiene la tarjeta bela y mitad derecha contiene batería portátil

interruptor de encendido y LED indicador. En un extremo el dúplex se soldó a un conector USB A macho, donde, por convención el pin 1 lleva el positivo (color rojo) y el pin 4 lleva el negativo (color negro). Para instalar el LED indicador y el interruptor de energía, se peló el cable rojo y se soldó un extremo de una resistencia de 220 Ω y el ánodo (pata larga) del LED; el cable negro se cortó y la terminal proveniente del conector USB se soldó a una de las patas del interruptor, mientras que la terminal del otro extremo se soldó a la otra pata del interruptor junto con el cátodo (pata corta) del LED. Finalmente, en el otro extremo del cable dúplex, el positivo (cable rojo) se soldó a la pata interna de un conector barril y el negativo (cable negro) a la pata externa. La operación anterior nos ayuda a mantener conectados los dispositivos, y poder hacer corte de energía cuando lo deseemos ayudándonos de la luz indicadora de encendido pues la tarjeta tarda algunos

segundos en cargar el programa que corre en automático y puede ser confuso saber si está siendo alimentada en esos primeros segundos de operación.

4. Montaje y conexión de potenciómetros y push buttons programables. Con un jumper macho a macho se conectó el pin GND de la *bela* a la tira de pines laterales azules de una Protoboard, con un segundo jumper la tira lateral roja del Protoboard al pin 5 V de la tarjeta. Utilizar el Protoboard ayudó a concentrar los positivos y negativos que necesitaremos para los potenciómetros y el negativo en los botones. Con la ayuda de jumpers macho a hembra se conectaron los pines extremos de los potenciómetros a los pines de la Protoboard, por ejemplo, el pin derecho de los potenciómetros a la fila de 5 V y el pin izquierdo a GND. El pin central de los potenciómetros se conectó directamente a los pines ANALOG IN 0 (potenciómetro 1) y ANALOG IN 1 (potenciómetro 2). Los botones, por su parte, además de los pines GND y 5 V de la Protoboard concentradora, necesitaron una resistencia de 10 kΩ cada uno para hacer lo que se conoce como *pull-down*³⁶. Los botones fueron conectados a la Protoboard con una de sus cuatro patas al pin 5 V y en una segunda pata (indistinta) se conectó un extremo de la resistencia de 10 kΩ y a la tarjeta en DIGITAL 4 (botón 1) y DIGITAL 5 (botón 2) y, el

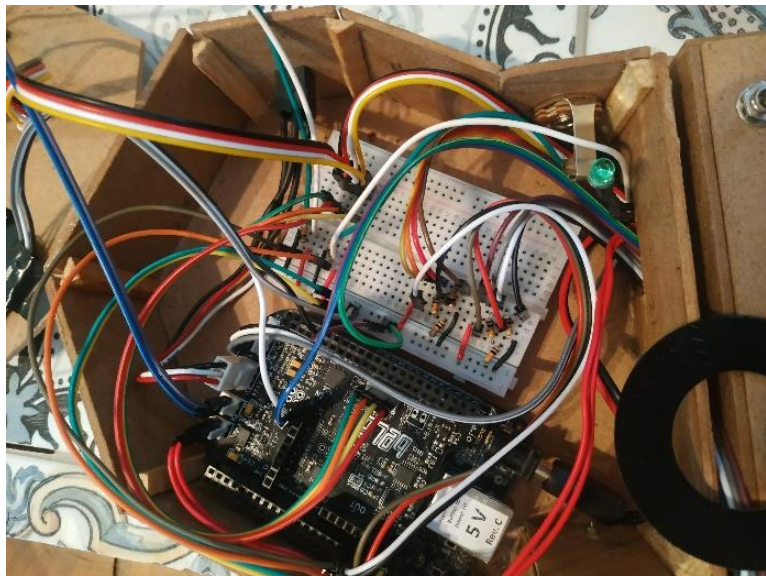


Ilustración 42 Protoboard y bela conectadas

³⁶ Una resistencia *pull-down* es usada para reducir al mínimo el voltaje y mantener la tensión a niveles apropiados para la correcta lectura del pin digital, sin esta los valores de voltaje fluctuarían demasiado, ensuciando la lectura y no se sabría cuando es presionado o no.

otro extremo de la resistencia se conectó a GND.

5. Conexión y montaje de los sensores HC-SR04. Estos sensores mandan un pulso ultrasónico con determinada frecuencia a un transductor de salida a través del pin TRIG del módulo del sensor, un segundo transductor conectado al pin ECHO ingresa la señal de nuevo a la tarjeta mostrándonos el valor

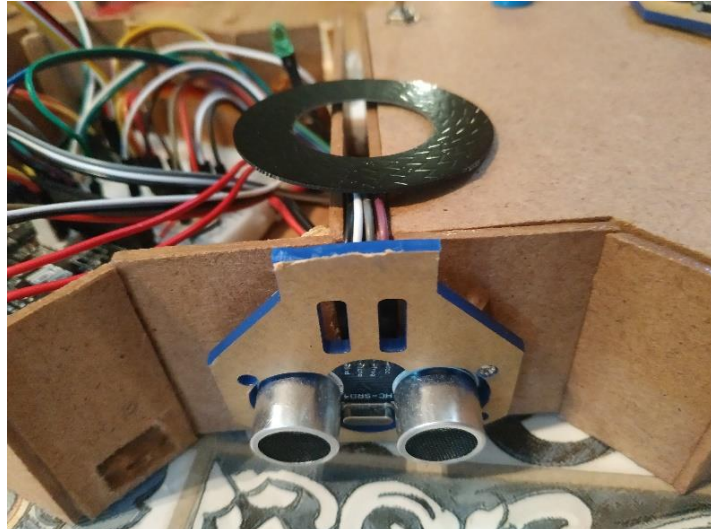


Ilustración 43 Sensor 1 hc-sr04 ubicado al frente del gabinete

de la distancia de los objetos cercanos al sensor. El montaje de estos sensores de proximidad se hizo en dos diferentes puntos del gabinete para tener variedad de movimientos. El sensor 1 se colocó centrado al frente del gabinete para interactuar con él con movimiento en el eje horizontal; el sensor 2 se montó sobre la tapa de la mitad derecha del gabinete de manera que con la ascensión de la mano en eje vertical se interactúe con este. Estos sensores tienen cuatro pines, por lo que también se ocupó la Protoboard conectando los correspondientes pines GND y Vcc de cada sensor a las filas GND y 5 V de la Protoboard con jumpers macho a hembra y los pines TRIG de cada sensor se conectaron directamente a la tarjeta en los pines DIGITAL 0 (sensor 1) y DIGITAL 2 (sensor 2). Los sensores son alimentados con 5 V de energía para su operación, pero las entradas digitales de *belá* a las que son conectados sólo admiten 3.3 V, por lo que se debe hacer un divisor de voltaje pasivo con resistencias, si no se hace esto se puede quemar la tarjeta. Para hacer el divisor de voltaje, la salida del pin ECHO de cada sensor debió conectarse a un extremo de una resistencia de 10 k Ω , al otro extremo de esta resistencia se conectaron en paralelo una segunda resistencia de 20 k Ω que va a GND en la Protoboard y al pin DIGITAL 1 (sensor 1) y DIGITAL 3 (sensor 2).

6. Conexión y montaje de los sensores TRILL RING y HEX. Estos sensores son los más fáciles de conectar pues al estar creados por los mismos desarrolladores que la tarjeta *be1a*, sólo fue necesario tomar cuatro pines de la proto concentradora para conectar los pines I2C de la tarjeta a donde cada uno de los sensores también se conectará correspondiendo con los pines. Los pines I2C tienen por defecto una dirección (address) que destinan para cada sensor de manera que no es necesario conectar las salidas de los sensores a pines individuales como en los casos anteriores, además de que la tarjeta los detecta particularmente, simplificando así su conexión.



Ilustración 44 Módulo digital ensamblado

Códigos y programas utilizados

La plataforma *bela* está basada en la tarjeta de desarrollo *Beaglebone Black*³⁷, sobre esta los diseñadores de *bela* montaron un hardware (*cape*) desarrollado en la Universidad Queen Mary en Londres. Este *cape* está basado en Linux con extensiones XENOMAI³⁸ de tiempo real (McPherson, 2015).

El *cape* fue programado para dar alta prioridad a los procesos de audio a través de XENOMAI, incluso sobre el kernel de Linux. De esta manera consiguen que el audio tenga ultra baja latencia (0.5 ms) y no se vea afectado por la carga del sistema Linux. Para asegurar esto, desarrollaron un controlador para los códec de audio y el sensor ADC/DAC (convertidor analógico-digital, digital-analógico), este controlador utiliza la PRU (unidad de programación en tiempo real) de la Beaglebone actuando como un controlador de acceso directo a la memoria. La PRU lanza datos entre el hardware y un buffer de memoria, finalmente las rutinas de audio de XENOMAI procesan los datos de este buffer. Lo anterior sugiere que los procesos de audio corren independientes de la carga del sistema, sin embargo, la carga de sistema sí depende de las rutinas de audio pues mientras más complejas sean las operaciones sobre el audio, se reduce la capacidad de cómputo del sistema operativo Linux, por lo que el *cape* de *bela* está diseñado para dispositivos embebidos con único propósito. En la práctica esto significa que sólo se podrá cargar una sola rutina de audio en la tarjeta, de manera que los diversos procesos que *Ívrida* requiere deben estar contenidos en este único *patch* de Pd.

En lo que respecta a las rutinas y procesos contenidos en *Ívrida*, están divididos en dos: las librerías y programación de bajo nivel para el hardware incluyendo los sensores, es decir,

37 <https://beagleboard.org/black>

38 XENOMAI es un marco de desarrollo en tiempo real que coopera con el kernel de Linux para proporcionar soporte completo, independiente de la interfaz y en tiempo real. <https://en.wikipedia.org/wiki/Xenomai>

los controladores y elementos funcionales del dispositivo escritos en C++ y los programas de naturaleza creativa, diseño de patches orientado al producto sonoro, escritos en Pd.

Una de las ventajas de trabajar con *belá* es que sus diseñadores ya integran las librerías necesarias para correr Pd de manera nativa. Los sensores que se integran en *Ívrida* son capacitivos, acelerómetro y ultrasónicos. Los sensores capacitivos TRILL RING y TRILL HEX fueron desarrollados por la misma plataforma *belá* por lo que no es necesario hacer una modificación para incorporarlos al entorno de trabajo o a Pd. Para el acelerómetro tampoco es necesario hacer programación particular, también existe integración en Pd de parte del equipo de *belá*³⁹. Sin embargo, sí es necesario adaptar las librerías de Pd para integrar los sensores ultrasónicos HC-SR04 de proximidad. En el [repositorio](#) antes citado⁴⁰ se puede encontrar el archivo `render.cpp`, una implementación necesaria de las librerías de Pd que carga la tarjeta *belá* que incluye las librerías `PulseIn` que define las funciones de los sensores de proximidad para integrarlos a Pd. A través del IDE de la tarjeta se importa este archivo para llamar a “Sensor1” y “Sensor2” dentro del ambiente Pd y utilizar sus datos para modificar parámetros del patch de audio.

```
770     distance = duration / gRescale;
771     libpd_float("Sensor1", distance);
772     if(count > 5000){
776         ++count;
777     }
778     // Logging to the scope the pulse inputs (gEchoDigitalInPin) and the distance
779     scope.log(digitalRead(context, n, gEchoDigitalInPin), distance/100);
780 }
781 for(unsigned int n = 0; n<context->digitalFrames; n++){
782     gTriggerCount2++;
783     if(gTriggerCount2 == gTriggerInterval){
787     } else {
791     int pulseLength = pulseIn2.hasPulsed(context, n); // will return the pulse duration(in samples) if a pulse just ended
792     float duration = 1e6 * pulseLength / context->digitalSampleRate; // pulse duration in microseconds
793     static float distance = 0;
794     if(pulseLength >= gMinPulseLength){
795         static int count = 0;
796         // rescaling according to the datasheet
797         distance = duration / gRescale;
798         libpd_float("Sensor2", distance);
799         if(count > 5000){ // we do not want to print the value every time we read it
800             rt_printf("pulseLength: %d, distance: %fcm\n", pulseLength, distance);
801             count -= 5000;

```

Ilustración 45 `render.cpp` en la sección `void` señalando la integración de sensores de proximidad

39 <https://learn.bela.io/tutorials/pure-data/sensors/accelerometer/#practice-tasks>

40 https://github.com/lvrida/modulo_digital

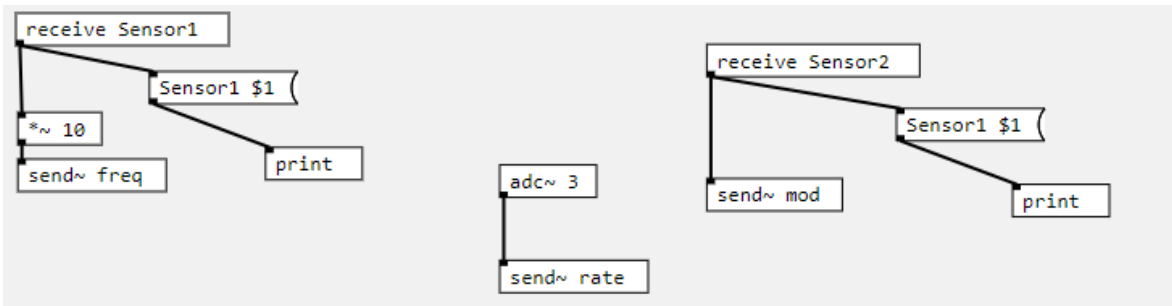


Ilustración 46 Integrando "Sensor1" y "Sensor2" a Pure data

En la ilustración anterior vemos cómo se integran los datos de los sensores HC-SR04 a Pd mediante los objetos `receive`; estos están dentro de un *patch* sencillo de síntesis FM, donde los datos del sensor 1 ingresan para definir la frecuencia de la señal portadora y los datos del sensor 2 ingresan para definir la frecuencia de la señal moduladora. Es importante notar que un objeto `adc~ 3` está presente, los datos de este objeto provienen del potenciómetro 1 y definen la cantidad de modulación de una señal sobre la otra. Los objetos `adc~` son entradas analógicas del hardware de *bela* que son tratadas como señal analógica o de audio.

Además de la programación en lenguaje C++ dirigida al hardware para su integración con el ambiente de Pd, los *patches* con las rutinas de audio deben ser escritos en el lenguaje gráfico de Pd fuera del IDE de *bela* y posteriormente importarse o actualizarse en el IDE para cargarse a la tarjeta. Este doble paso es necesario pues dentro del IDE sólo se puede modificar código fuente, no permite modificación gráfica.

Encuesta parametrizada

Las rutinas de síntesis y procesamiento de audio seleccionadas para el proyecto se consideraron con base en perspectivas personales y de un grupo de colegas especialistas en instrumentos de cuerda eléctricos y amplificadas. Estas perspectivas buscan tanto la experimentación sonora como el acondicionamiento de la señal para emular condiciones

de escucha acústica. Los datos de las preferencias del grupo mencionado se recopilaron a partir de la aplicación de dos encuestas parametrizadas: una preliminar enfocada al interés que un grupo de violonchelistas acústicos tendría para adquirir o acercarse a un instrumento eléctrico con interacción digital; la segunda encuesta estuvo dirigida a conocer las necesidades particulares de violonchelistas eléctricos y amplificadas. En ambos casos la encuesta parametrizada fue, en un principio, una herramienta de investigación cuantitativa con opción a que los participantes pudieran expresar preferencias a través de un espacio en blanco para escribir texto no controlado por la encuesta, de esta manera las respuestas abiertas resultaron en una herramienta cualitativa tomando en cuenta aspectos elementales de las prácticas instrumentales de los colegas.

La segunda encuesta también incluyó preguntas sobre métodos de entrada e interacción con un hipotético dispositivo de procesamiento de audio para instrumentos de cuerda frotada que arrojó información pertinente para futuras versiones del desarrollo pero que para este prototipo no son tan relevantes. Del 100% de los participantes 60% son violonchelistas, 30% violinistas y 7% contrabajistas experimentales mexicanas y mexicanos con formación musical académica de diversas escuelas y facultades radicados en un 90% en la Ciudad de México y el resto de otras ciudades de la República Mexicana y aunque la muestra recopilada fue relativamente pequeña pues la cantidad de instrumentistas eléctricos no es tan amplia como la de instrumentistas tradicionales, ilustra las necesidades del grupo y representan un primer acercamiento al medio al que está dirigido el estudio y a partir del cual se pudo dar forma al primer prototipo funcional del módulo digital de Ívrida. Los resultados son los siguientes:

En la gráfica siguiente (Ilustración 39) se muestran los resultados al preguntar a los participantes cuáles efectos de audio consideran de mayor utilidad para sus necesidades, los participantes marcaron todas las opciones aplicables.

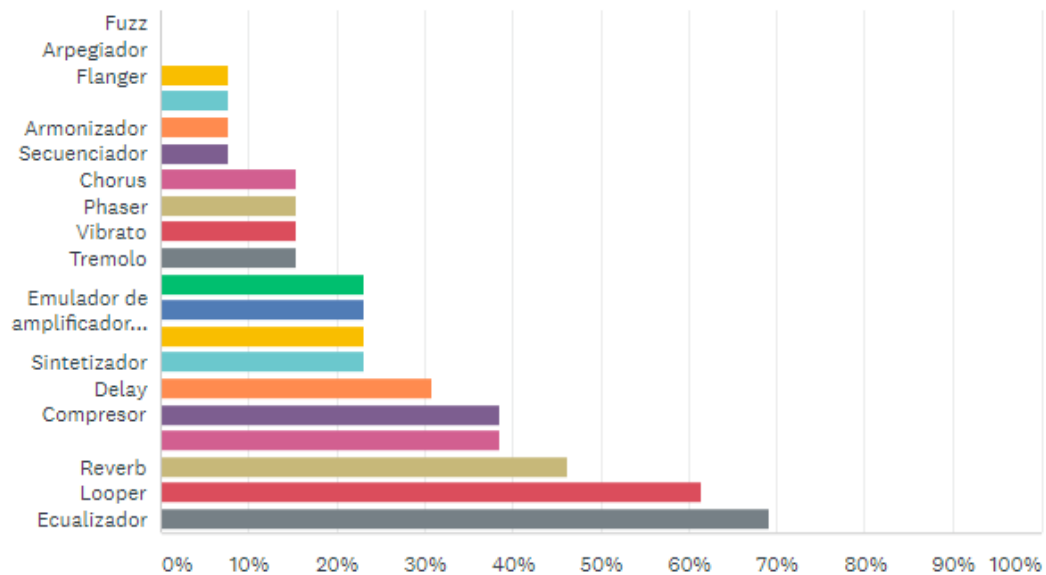


Ilustración 47 Efectos necesarios

En la gráfica siguiente se observan los resultados al preguntarles con cuáles efectos les gustaría experimentar.

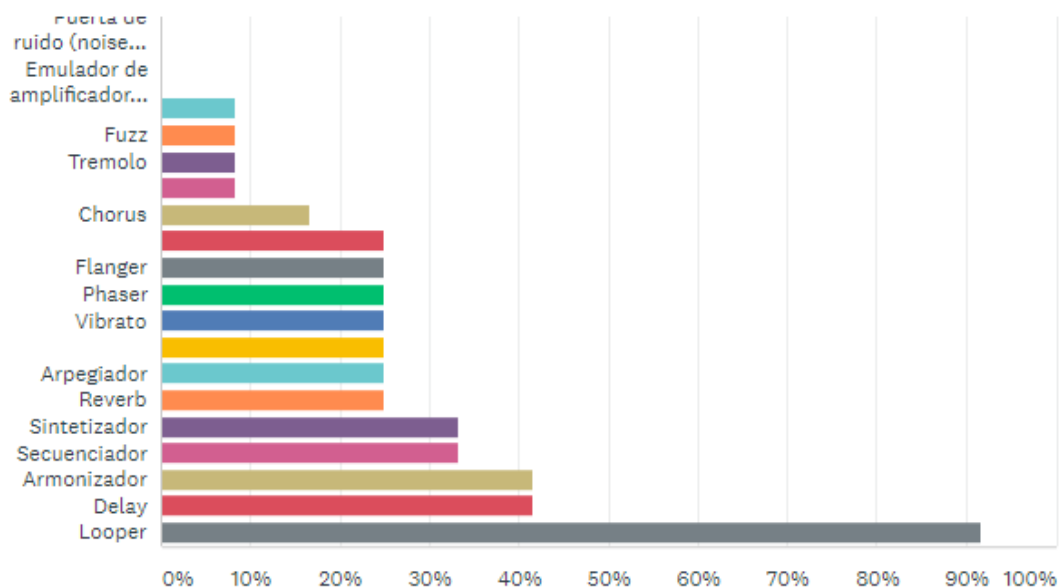


Ilustración 48 Efectos deseables para experimentar

En el repositorio antes citado se pueden encontrar los programas de Pd recopilados a partir de los resultados de esta encuesta.

La escucha nos lleva a lugares donde no llega la mirada. Los oídos ven a través de las paredes y a la vuelta de la esquina (Schafer, 2005)

Capítulo 4. Ivridaciones

Incitaciones

La persecución del sonido a través de imágenes se ha instalado en la estancia

De entre las sombras de las hojas y los rayos de luz colándose por las ramas altas se asoman los nerviosos movimientos de un canario. Su pecho amarillo, que se confunde con la floración inusual de invierno, apenas se distingue por su silbido más que por su figura. De pronto, los cohetes del pueblo truenan, el ave se fuga en un aleteo impetuoso. La sombra de una avioneta volando bajo recorre el pasto como un espectro reptante. El sol, pleno, arroja su calidez mientras un intermitente y frío viento azota las copas de los árboles en la zona. Corridos norteños.

-Una parte de la colectividad-

En 2018 estrenamos *Replicant Voice*, una pieza colaborativa de cinco movimientos para violonchelo eléctrico, electrónica y soprano (Pérez Díaz, 2018), una pieza que, sin saber, fue el primer tabique de la búsqueda detrás de *Ívrída*. Sobra decir que esta pieza está basada en la novela *Do Androids Dream of Electric Sheep?* de Philip K. Dick (Dick, 1968) y su adaptación cinematográfica, *Blade Runner* (Deeley, 1982). En este montaje participamos Fernando Montes y yo colaborando en la Ciudad de México, la diseñadora Mayela de la Huerta desde Monterrey, la artista interdisciplinaria Tania Tovar desde Morelia y la soprano Teresa Navarro Agraz brindando, además de su voz para el estreno, su asesoría para la parte vocal. Mientras que Fernando y yo jugamos el rol conceptualizador de la pieza y la composición musical, Mayela se desempeñó como compositora visual para el cuarto movimiento pues este presenta una partitura gráfica digital compuesta e imaginada por ella a partir de la escucha de un grupo de fragmentos de los anteriores movimientos y motivos sonoros improvisados que le fueron enviados sin mayor información del proyecto que la

selección sonora; este procedimiento impidió que el resultado visual estuviera invadido por construcciones teóricas alrededor de la pieza. A partir de la imagen abstracta resultante, la electrónica y el violonchelo realizan una improvisación sonora, cerrando el bucle creación/recreación audio/visual. El quinto movimiento, modular, aleatorio, es un collage de cuatro alusiones a géneros de música popular “*mainstream*”: Electrónica/Pop, Rock/Metal, Trip-Hop e Industrial. La representación gráfica de estos módulos fue elaborada por Tania y es producto de la influencia del compositor George Crumb y su trabajo en *Makrokosmos I y II* (Crumb, 1973).

La construcción de esta pieza incorporó intereses y visiones de todos los participantes involucrados, terminándose como una creación colaborativa donde categorías como ejecutante o compositor, roles muy comunes y definidos dentro de la práctica de música académica, se desdibujan y/o funden gracias a la agencia de cada participante desde su área de *expertise*. Este tipo de práctica se relaciona con lo que la Dra. Iracema de Andrade llamó *creación-interpretación colaborativa* (de Andrade, 2017).

Incluso el instrumento, violonchelo eléctrico, con que se estrenó la pieza fue un producto colaborativo donde el laudero Salvador Soto aportó su conocimiento en construcción para materializar el primer violonchelo eléctrico de seis cuerdas hecho en México completamente funcional que ha sido puesto a prueba en escenarios de música académica, popular y experimental.

Sin embargo, más allá de las colaboraciones realizadas, el diseño sonoro de *Replicant Voice* juega un rol importante en su composición, especialmente la síntesis sustractiva y procesamiento de audio aplicados al sonido analógico del violonchelo. En principio, se experimentó con elementos como cuerdas metálicas de bajo y guitarra, piezoeléctricos, pastillas electromagnéticas y preamplificadores diversos. Una grabación de la versión del instrumento con cuerdas de níquel y preamplificador de bajo eléctrico se puede encontrar

[aquí](#)⁴¹. Una sección (módulo) del quinto movimiento con la versión con cuerdas de chelo y preamplificador de guitarra, la versión prevaleciente, se puede escuchar [acá](#)⁴². Es cierto que esta exploración marcó un camino a seguir, implantó una idea tímbrica y una necesidad de manipulación sonora desde el instrumento.

Un agresivo golpeteo retumba en la nave industrial vecina, que esté a más de 200 metros de aquí no es suficiente para perder el nerviosismo con cada percusión de su ritmo seco. En la nuca aparece un martilleo, distinguible, madera, breve, correctivo. Mientras pienso en las variaciones de ese martilleo un camión cruza la caseta y acelera para seguir su camino, el sonido del mofle se aleja y en mi recuerdo vuelvo a oler ese penetrante humo dejando partículas en mis fosas nasales. Continúa el golpeteo. Y más, el sonido de un motor no identifico, maquinaria pesada, eso es seguro. Creí que la obra estaba suspendida.

-El frío sonido del metal-

De la exploración realizada en *Replicant Voice* surgieron algunas inquietudes instrumentales y tímbricas, el tema de los androides y la pregunta sobre su posible humanidad e inversamente, la mecanicidad del ser humano. Esta paradoja me sugiere sonidos metálicos, viene a mi mente la banda sonora de *Terminator 2* (Fiedel, 1991) y a la vez, unos sonidos menos “fríos”, como las armonías suaves, aunque sintéticas de la banda sonora de *Blade Runner* (Vangelis, 1994). La misma dualidad que vive el androide en su interior se hace evidente cuando sintetizamos sonido y cuando escribimos música instrumental. La convivencia entre estos dos mundos es la gema de este proyecto, pero más vale no trivializar el concepto, lo atractivo de esta radica en el contraste y convivencia entre lo rugoso y lo pulido, lo brillante con lo opaco, lo orgánico y lo artificial. Al ser un músico formado académicamente en la tradición instrumental europea, la interfaz musical externa

41 <https://soundcloud.com/enevol/el-brayan-tras-la-selene>

42 <https://soundcloud.com/enevol/replicant-voice-v1>

Nota: El último acceso a los enlaces de la sección Incitaciones se realizó el 3 de mayo 2021

a mi propio cuerpo con la que tuve mayor desarrollo fue el violonchelo. Sin embargo, el potencial expresivo a través de este instrumento, su variedad de timbres y la técnica instrumental desarrollada que, por tantos años ayudó a encontrar una manera de comunicar ideas y emociones, no fue suficiente; la referencia a mundos sonoros electrónicos eclipsó en diversos momentos de mi carrera la idealización académica del violonchelo. El balance necesita ser encontrado.

Mi desarrollo personal fruto del contacto con música popular y comercial lleva la voz principal, ejemplo de esto es que una referencia más genuina de canción de amor sería el *Te quiero tanto, tanto*⁴³ que el *Nessun Dorma*⁴⁴, así como es clara la manera en que no puedo contener el llanto escuchando *Wings for Marie pt 1 y 2*⁴⁵, cosa que no pasa con la *Pasión según San Mateo*⁴⁶. El contexto social, los referentes familiares, incluso formacionales imponen la necesidad de expresión sonora mediante procesamiento de audio y herramientas de síntesis, lejanas reimaginaciones de la orgánica “pureza” de los instrumentos acústicos. La estética de la música industrial desde la adolescencia ha sido un referente que se ha dejado sentir desde diferentes puntos de vista, tanto por la energía que encapsula como lo agresivo y saturado de su producción. A partir de la escucha de este estilo musical basé muchas de las cosas que me gusta escuchar en mi propia música. No obstante, tampoco se trata de sepultar los paradigmas acústicos ni lo aprendido en esos años de formación académica pues su fruto está en el conocimiento de las herramientas teóricas y el desarrollo de las habilidades prácticas desde las que se escribe este documento. En el camino se han encontrado proyectos y exploraciones híbridas que han dado pauta a reconocer lo magnífico de la estética académico/popular o la acústico/electrónica; de estos proyectos pulso algunos botones: la banda Igorrr⁴⁷, Den Sorte

43 Canción del grupo mexicano Onda Vaselina, incluida en el álbum *Entrega Total* de 1997

44 Aria de Giacomo Puccini en la Ópera *Turandot*

45 Cortes del álbum *10,000 Days* de 2006, de la banda de metal progresivo TOOL

46 Oratorio de Johann Sebastian Bach con número de catálogo BWV 244

47 Proyecto musical francés con influencias de música doom, barroca, folk y electrónica <https://igorrr.com/>

Skole⁴⁸ con sus sinfonías para sampler y orquesta de cámara, Colin Stetson⁴⁹ y sus producciones musicales altamente experimentales y la crudeza sonoras de Venetian Snares⁵⁰.

De esta manera la estética se hibrida, la efectividad sonora de un violonchelo acústico impacta la profundidad de un bajo sintetizado; a su vez, el sonido metálico al tocar *sul ponticello* invita a exaltar esta particularidad tímbrica mediante síntesis substractiva, paralelamente un arpegiador emula el juego de cuerdas y el *legno batutto* brinca caprichosamente como gránulos; más allá, a lo lejos un LFO interviene una onda senoidal asemejándose a un *glissando* y ahí, al final de la cadena, un *delay* se acompaña con un *reverb* para darnos un cuerpo sonoro firme y envolvente.

Ya pasó más de un año desde que asistí a un concierto de música pop y ofrecí uno de música clásica. ¡Qué diferencia! Mientras que el bombo de la batería retumba en el piso y los guitarrazos pregrabados penetran despiadadamente en los desprevenidos oídos, en la bóveda de la iglesia apenas podemos probar la articulación de los arcos antes de que se pierda en la masa sonora. Afortunadamente los silencios entre cambios armónicos nos dan un respiro para que el oído exigido no confunda la secuencia armónica del Concierto op. 6 no. 8 de Arcangelo Corelli. Menos... contenemos la respiración y las miradas tensas esperan. Crece... por fin relajamos los músculos y por fin regresamos a la tónica con un pequeño y grácil gesto de cierre. Pero no te vayas, mantente aquí, todavía nos falta la fuga antes de poder acomodarnos en el asiento. Súbitamente la vibración del subwoofer mueve mis pies, me saca la tranquilidad, el sudor en mi frente se mete a mis ojos. Tan cerca del compañero de al lado, tan cerca de la compañera al otro. Esto es un horno. El DJ, en su caótica catársis musical prepara el ambiente para que la cantante desgarré su voz con gritos estremecedores, la batería surge del niente con ritmos sincopados descolocando el movimiento corporal antes de este caos y luego una emotiva melodía, la expectativa se desvanece. Eso se experimenta en un concierto de Igorrr.

48 Colectivo de DJ con base en Copenhage <https://densorteskole.net/avprojects>

49 Saxofonista y compositor experimental canadiense <https://www.colinstetson.com/>

50 Productor musical canadiense que recurrentemente utiliza técnicas de sampleo de voces y grabaciones sinfónicas para intervenirlas y recontextualizarlas. <https://venetiansnares.bandcamp.com/>

Otra necesidad, la de expresión física, se hace presente en el momento en que una visión musical se filtra por la sensibilidad del cuerpo, quizá un escalofrío, un motivo rítmico o la suavidad de una melodía cantabile provocan una agitación interna que es justo externar. Como instrumentista e improvisador el uso del cuerpo juega un rol determinante. Ejercicios para la relajación del cuerpo y evitar lesiones, cursos de técnica Alexander, trabajo y conciencia de la respiración y meditación son herramientas para equilibrar las tensiones físicas. Pero nada ayudó tanto a soltar los prejuicios corporales y conocer mejor mi expresión física que bailar coreografías de Kpop⁵¹, un acercamiento al performance desde el juego y la experimentación hasta la caricaturización de movimientos abrió la puerta incluso para la práctica de danza contemporánea de manera más seria.

Es en el performance, en la actuación en directo donde los personajes fluyen y se disocian de la persona, que el cuerpo adquiere un nuevo valor. El performance de Loco Mía⁵² lo es todo, la plasticidad, la gracia, los colores, las miradas, los abanicos, tan seductor que por poco se nos olvida la música misma; pero espera, aunque la música en este caso juega un rol envoltorio, el punto medular se encuentra en la experiencia al momento del performance, una visión tan impactante como un concierto de Author & Punisher⁵³ donde los gestos ahora no vienen acompañados de brillantina, acá vienen con grasa, metal y gruñidos. El esfuerzo visible en las articulaciones, el sudor y los músculos tonificados son evidencia de lo que se pone en juego: el flujo de la energía física del humano y en ocasiones su relación con la máquina. Y, para que el performance sea eficaz, es necesario el dominio

51 Subgénero de música Pop surcoreano que en su segunda ola desde 2007 impactó contundentemente a un sector juvenil mexicano a través de videos musicales en alta definición con alto nivel de producción audiovisual.

52 Grupo español de música pop que apareció a finales de la década de 1980, con éxito comercial en Iberoamérica durante los primeros años de la década de 1990. Ver <https://www.youtube.com/watch?v=fIMj4EAslcY>

53 Proyecto de música doom de Tristan Shone donde construye los controladores digitales con los que se presenta en vivo. Ver <https://youtu.be/72xrS-ezmA4>

de la herramienta; si la herramienta es el cuerpo, entonces este se cultiva para ser el mejor vehículo de la expresión estética del performer; si, por otro lado, la herramienta es un instrumento o artefacto externo, la apropiación de este privilegia un uso corporal contenido que desborde las capacidades físicas aplicadas al objeto. Basta con mirar presentaciones en vivo de improvisadores como Daedelus⁵⁴ y Ale Hop⁵⁵ para notar el compromiso con el momento performático y la catarsis a través de sus instrumentos. Semejante a estos últimos ejemplos es la Marble Machine de Wintergatan⁵⁶, una máquina musical con vida propia cuya respiración es tocada por el impulso de la mano humana. Author & Punisher⁵⁷ y Wintergatan, entre otros, diseñan y construyen sus propias interfaces dejando muy en claro la importancia del performance en su quehacer musical y su particular estética se refleja en los materiales y las técnicas instrumentales a las que recurren.

Hay tantas razones para continuar con las técnicas instrumentales ya conocidas, pero entonces me pregunto: ¿de qué manera complementar las tradicionales técnicas de cuerda frotada con algo que lleve nuestro performance físico más allá de los lugares que ya conocemos desde el siglo XVIII? Un camino ya lo conocemos con la asimilación de la llamada técnica extendida que se estableció durante el siglo XX, un estudio sobre este rompimiento del horizonte técnico lo hace Frances Marie Uitti cuando observa obras que en su momento se percibieron disruptivas y ahora son canónicas (Uitti F. M., 2000). Pero, ¿acaso ahí nos debemos detener? Quizá habría que tomar más en serio la irreverencia de Rushad Eggleston⁵⁸ y perderle el miedo/respeto a nuestros instrumentos para llevarlos y llevarnos a la inestabilidad de lo desconocido.

54 Productor de música electrónica californiano que recurre a la improvisación para sus presentaciones en vivo. Ver https://www.youtube.com/watch?v=Z_zlvFYQWig

55 Compositora, artista e improvisadora peruana con sede en Berlín. Ver <https://www.youtube.com/watch?v=0JE0sfWbxpg>

56 Banda sueca de música minimalista y folktrónica <https://wintergatan.net/>

57 <http://www.tristanshone.com/>

58 Músico y violonchelista estadounidense conocido por su técnica instrumental, composición lúdica influenciada por el bluegrass <https://www.instagram.com/rushadicus/?hl=es>

Teniendo en mente el desarrollo e implementación de la técnica instrumental, esta discusión se torna intersubjetiva⁵⁹ pues los convenios y negociaciones necesarias para el establecimiento de maneras de tocar, escuchar, percibir e incluso de significar los fenómenos sonoros en principio se manifiestan a partir de las preferencias subjetivas del intérprete o creador y que, mediante su encuentro con otras subjetividades, se refuerza y valoriza su pertinencia dentro de este nicho específico.

Pensando en estas expresiones técnicas valoradas y aplicadas a un artefacto sonoro, percibo algunos fetiches en la instrumentación de herramientas de naturaleza electrónica y digital que atorán la divergencia. Uno es el uso casi exclusivo de interfaces de teclado, así sea desde la computadora o a través de sintetizadores de tecla; adherido a otro fetiche, el de las perillas y botones; uno más, la manipulación de código y las virtualmente infinitas posibilidades que ofrece. Pues he aquí nuestro fetiche, sabemos que nuestros dedos sobre las cuerdas se sienten en casa y es la primera necesidad que Ívrida intenta satisfacer: poner en las manos de instrumentistas de cuerda frotada las herramientas tecnológicas de síntesis y procesamiento de sonido a través de la interfaz más familiar que tienen, el instrumento de cuerda pues este fetiche posibilita la transmisión de ideas sonoras complejas.

La divergencia de la técnica instrumental en la cuerda frotada puede ser compleja, cientos de años de reafirmación intersubjetiva dan forma a nuestros cuerpos, callos y desarrollo muscular especializado y estas adaptaciones son muestra cualitativa de la relación casi simbiótica con nuestro instrumento. El uso focalizado de estos músculos específicos en

59 La teoría de la intersubjetividad es una construcción de objetividad desarrollada a partir de una subjetividad trascendental (que incluye al sujeto corpóreo, fáctico y eidético, con la totalidad de sus experiencias y sus respectivos correlatos objetivos, esto es, al sujeto y su mundo circundante, fuente Wikipedia) correlacionada intencionalmente con el alter ego (otras subjetividades trascendentales), de manera que se constituye un mundo objetivo común a todos, cobrando sentido y validez de realidad en mi subjetividad (Husserl, 1986). La intersubjetividad es ampliamente estudiada en psicología y otras ciencias sociales. Dentro de este texto se utiliza a través del sentido y validez en la que una tradición se conviene y reproduce, una suerte de sentido común, que compartimos pero que es susceptible de modificar y negociar.

ocasiones puede significar la limitación de otras partes del cuerpo que se mueven nerviosa incluso torpemente, cuando las necesitamos.

Desde mi propia práctica en música experimental, particularmente con el proyecto *Teseracto*⁶⁰, puedo observar las contradicciones. *Teseracto* es una banda de tres integrantes que componemos y producimos material audiovisual. La propuesta está basada en música electrónica experimental, material visual digital y VJ⁶¹. En las presentaciones en vivo de este proyecto toco el violonchelo eléctrico con arco y pizzicato con función de bajo eléctrico, disparo secuencias y manipulo proceso de audio en tiempo real. Y sí, recurriendo a los fetiches antes mencionados. Pero una realidad inevitable que se hizo visible durante las presentaciones en vivo de *Teseracto* es que la técnica dividida entre la parte idiomática del instrumento de cuerda y la inmediatez de la manipulación sonora a través de los botones y perillas trae consigo una división del personaje performático, como si un *Trastorno de Personalidad Múltiple* se manifestara de una pieza a otra. Intentando ser más preciso, el instrumentista de cuerda tiende a un ejecutante que interpreta y propone a partir de las *affordances*⁶² inherentes en el instrumento; pero, aunque se contemplen todas las físicamente posibles, las más probables son las que se basan en un lenguaje sonoro y musical filtrado por un convenio intersubjetivo depositado en la representación social del instrumento mismo y su tradición interpretativa, aquí se ubica al personaje de formación académica. Por otro lado, el *beatmaker*⁶³ o DJ tiene referentes y enfoques diametralmente distintos al instrumentista respecto a la interpretación en directo; se conserva cierta negociación de las *affordances* pero en este caso la construcción de la pieza cambia su estética pues su lenguaje sonoro no está necesariamente emparentado con los principios

60 <https://www.facebook.com/Teseracto-105133411017662>

61 Video Jockeying, manipulación de video en tiempo real.

62 Affordance es un término propuesto por James J. Gibson que se define como las posibilidades de acción presentes en el entorno, sean objetos, animales, sustancias, etc., que son medibles e independientes del reconocimiento de un individuo, aunque siempre en relación y dependientes con las capacidades de un agente. (Gibson, 1986)

63 Término que se refiere a la persona que hace ritmos, se les llama tradicionalmente así a los que crean las bases rítmicas de la música Hip Hop.

técnicos del otro y se centra en otras posibilidades estilísticas, quizá más directas, donde el simple hecho de girar una perilla controlando el metrónomo puede cambiar drásticamente el contenido sonoro y la energía del escucha.

Este encuentro de multiplicidades en los roles asumidos abre potenciales caminos de expresión personal desde dos interfaces sonoras distintas, pero al mismo tiempo abre la pregunta de ¿qué tipo de interacción con el artefacto de cuerda se origina cuando el producto sonoro es distinto al de la convención instrumental reconocida? Es decir, si separamos al artefacto de cuerda de su tradicional sonido, ¿cambiará y de qué manera el lenguaje musical propio del intérprete? ¿se fundirán las experiencias polarizadas para encontrar un nuevo lenguaje o se impondrá una lógica sobre la otra? En estas preguntas se observa una divergencia en la intersubjetividad performática.

Estas preguntas surgieron, durante las presentaciones en vivo y desde el performance personal dentro de *Teseracto*, de la necesidad de controlar audio desde el instrumento de cuerda sin mediación del idiomatismo violonchelístico, mejor dicho, sin el condicionamiento causa-efecto violonchelístico; pero sí con la lógica manual del instrumento. Incluso la intención de romper las restricciones corporales dentro de la tradición interpretativa del violonchelo es una buena condición para la experimentación, incluso para el replanteamiento de lo que conocemos como el genio en la figura del instrumentista y del virtuosismo interpretativo.

Un espasmo, la respiración agitada. A lo largo de las piernas adormecidas un cosquilleo recorre el pellejo; el cosquilleo se extiende milímetro a milímetro y otro espasmo reactiva brevemente la mente, sólo un segundo. Se cierran las pupilas golpeadas por el reflejo súbito de la luz, girar la cabeza mientras los ojos automáticamente se cierran es la única solución. Aunque corto, el tiempo que tomó cerrar los ojos no evitó el encandilamiento cuando un golpe seco impacta en las costillas. Se va el aliento. Todo gira, ¿qué es esto? La confusión no se va e intentando reconocer el propio cuerpo se presenta un nuevo espasmo. Luego de incorporarse y con una sensación desesperada se busca estabilizar la respiración. No hay éxito. La mente se fuga, no hay pensamientos, sólo un cuerpo descompuesto en completa tensión. Con cada paso, los músculos se vuelven más pesados, es imposible mantener la cabeza arriba, pesa mucho. Hace algún tiempo que el único sonido viene del interior, ni siquiera del interior, es la idea de un posible sonido.

Lo *híbrido* puede aludir a diferentes disciplinas de estudio y tecnologías, sin embargo, así sea desde la biología, química, mecánica o programación de software, la hibridación es el fenómeno producto del cruce de dos partes de diferentes naturalezas. Lo híbrido se conforma como algo nuevo, posee características de dos (o más) preexistencias distintas y no es ni una ni otra sino ambas, manteniendo su unicidad.

Este mestizaje se da de muchas maneras dentro de este texto y se articula tomando en cuenta diversos puntos de vista. Uno de los más evidentes son las tecnologías entrecruzadas, este documento ha relatado el uso indistinto de tecnologías analógicas y digitales con propósitos musicales y estéticos. Los instrumentos eléctricos, acústicos y el resultado de su hibridación, los aumentados, son la muestra más clara y directa de lo dicho; apelan a una interfaz de usuario y actuación mecánica y, sin embargo, la propagación de su sonido es electroacústica. En otra esfera de la hibridación están estos mismos instrumentos electroacústicos analógicos y su cruce con los virtuales, producto de las tecnologías

digitales, y son lo que, en su amplio espectro, este texto considera como instrumentos híbridos.

Aumentados e híbridos, desde el punto de vista de la intersección tecnológica las dos categorías podrían ser la misma cosa pero esto daría como resultado un acercamiento tecnocéntrico (Davies, 2017) al fenómeno hibridador; sin embargo, trascendiendo este enfoque, lo aumentado e híbrido se puede observar también con base en las prácticas estéticas y artísticas presentes en su utilización, echando por tierra una visión determinista donde la tecnología opera de manera autónoma, ajena a las transformaciones del tejido social. En este supuesto, ¿en qué radica su diferencia? Uitti resalta el uso de técnicas “no tradicionales” de afinación de cuerdas, el uso de dos arcos durante la interpretación e incluso la captación de gestos y movimientos secundarios a la producción sonora convencional (poner sensores para dedos que no intervienen en la digitación de cuerdas y manejo de arco) en su violonchelo aumentado (Freed & al., 2006); la incorporación de perspectivas similares la comparten muchos de los ejemplos de instrumentos aumentados que fueron revisados como antecedentes, incluso es prescindible en cierta medida la electrónica digital o la virtualidad pues como el *Halldorophone* demuestra, los gestos divergentes pueden aparecer acústicamente en forma de palancas mecánicas (Úlfarsson, 2018). Para complementar lo anterior, si concluimos que los instrumentos aumentados son la combinación de instrumentos acústicos tradicionales y sonidos electrónicos (Lahdeoja, 2008) y que además permiten su expansión mediante capacidades gestuales adicionales a las técnicas tradicionales (Overholt, 2005), los híbridos necesariamente tendrían otras características o, por lo menos, más.

Los instrumentos híbridos pueden categorizarse con un criterio similar, si observamos las características del *KNURL*, por ejemplo, comparte con los aumentados el uso de técnicas extendidas, la unión de una interfaz mecánica con un producto sonoro electrónico, aumentación de afinación a través de sus 16 cuerdas, la incorporación de sensores táctiles para expandir la gestualidad al instrumento pero además, como parte medular de su identidad instrumental, reclama de su usuaria habilidades de programación y todavía mayor

interactividad entre el humano y la máquina, no obviando que esta última es un agente en sí mismo que propone *affordances* particulares, desafiando y conflictuando la noción de control que tenemos sobre el objeto material (Borgo, 2014), trampa en la que en otros casos podemos caer con facilidad.

Estas *affordances* no son inocentes pues son las posibilidades de acción que ofrece el entorno que pueden ser percibidas y aprovechadas por los humanos y promueven una metafísica de superficies, concebida como una ontología de características y no sólo de propiedades relacionales (Kaptelinin, 2014). Aplicando lo anterior al proyecto que este texto ha descrito, el módulo digital de Ívrida se conceptualizó y constituyó como un artefacto aumentado que se hibrida mediante la interacción recíproca humano-máquina a través de sensores reactivos que representan al artefacto como agente de transformación sonora que el intérprete debe considerar como parte de la performance.

Aparentemente esta definición de hibridación pone al centro del discurso la finalidad o el propósito de los desarrollos tecnológicos; no obstante, la hibridación instrumental en la música se percibe desde otras dimensiones, quizá de concepción más filosófica que teleológica. En su Teoría Actor-Red, Bruno Latour señala que un objeto material no puede determinar una acción, pero tampoco es inerte o inconsecuente a una acción del humano actante; los objetos “permiten, sugieren, bloquean, autorizan, prohíben y más” (Latour, 2005) conformándose una interagencia entre ambos. Esta noción redondea la cualidad del artefacto sonoro de ser un elemento activo en la conformación de una idea estética.

Por otro lado, desde el punto de vista del performance, el producto sonoro híbrido representa retos y posibilidades; si contraponemos, por ejemplo, a un intérprete que trabaja con tecnologías digitales o virtuales con uno que trabaja con instrumentos acústicos. Según Ferguson, es probable que el primero genere más confusión en su audiencia debido a lo difícil que es atribuirle una causalidad a la relación performances-sonido; cosa que no sucede con el segundo, donde estas expectativas se cumplen (Ferguson, 2013). El ejemplo anterior me sugiere la fusión de estas dos personas en una para evitar la eventual

monotonía de ver y ser el intérprete acústico al beneficiarse de una expectativa de producción sonora mucho más abierta y a su vez, complementar la relación del intérprete digital con su audiencia al hibridarse con la interfaz mecánica que al ojo resulta más rastreable.

Más allá de la función musical que en este campo damos a nuestra relación con la tecnología, estas manifestaciones tecnológicas se tejen entre ellas constantemente en la vida cotidiana del siglo XXI tecnologizado y aparecen ante nosotros, en nuestro rol de usuario pasivo, como “black boxes”⁶⁴. La opacidad de los dispositivos cotidianos, de los que en alguna medida dependemos, tienen sentido para nosotros en tanto los alimentamos con algún tipo de estímulo y obtenemos de estos una acción, aunque no comprendamos cómo operan. Causa y efecto.

En ese sentido podríamos pensar que la manera en que vivimos la existencia en esta reducida parcela de tiempo es híbrida. Orgánica y artificial. Lo artificial existe desde que la humanidad transforma su entorno para su conveniencia y, sin embargo, la interdependencia de la relación humano-máquina, producto del desarrollo tecnológico computacional es visible en casi todo aspecto de la vida entrando a la tercera década del siglo XXI; incluso esta dependencia robustece la exploración de interfaces cerebro-ordenador que darían pie, en el mejor de los casos, a una singularidad tecnológica donde los dos agentes encuentran un balance en su existencia simbiótica o cibernética, no lo sabemos.

64 Concepto abstracto procedente de las ciencias computacionales y teoría de sistemas que se define como un sistema visto en términos de sus entradas y salidas del que no se tiene conocimiento de cómo opera. Ejemplos de cajas negras son los microprocesadores, algoritmos computacionales o el cerebro humano. Para más información, consultar Bunge, M., (1963). “A general black-box theory”, *Philosophy of Science*, Vol. 30, No. 4, pp. 346-358 https://www-jstor-org.pbidi.unam.mx:2443/stable/186066?Search=yes&resultItemClick=true&searchText=mario+bunge+black+box&searchUri=%2Faction%2FdoBasicSearch%3FQuery%3Dmario%2Bbunge%2Bblack%2Bbox&ab_segmen ts=0%2FSYC-5770%2Ftest&refreqid=fastly-default%3Acec45e958f9754cff29716b367a78d74&seq=12#metadata_info_tab_contents

Conclusiones

Después de dos años de estudios de maestría y a la luz de los resultados de la investigación tanto en sus dimensiones teórico/documental y práctica con el desarrollo tecnológico surgen diversas reflexiones y cuestionamientos alrededor del diseño y construcción del módulo digital de Ívrida y de los retos enfrentados en el proceso.

Este proyecto se centró en el desarrollo de una herramienta de expresión sonora donde coinciden diferentes tecnologías. El contacto con todas ellas supuso una inmersión en temas de programación, programación musical, diseño electrónico, diseño de interfaces, investigación y exploración entorno a materiales como madera, acero o aluminio, uso y programación de sensores analógico digitales, etc.

Asumir un rol que abarca estas y otras diferentes disciplinas es una circunstancia en la que viven los y las músicos interdisciplinarios de América Latina. Invariablemente se revela su pertinencia en un modelo de mundo tecnologizado. El cruce entre disciplinas es necesidad y vocación pues además de la técnica instrumental, la improvisación o el refinamiento de repertorios canónicos, el contacto con perspectivas fuera del campo musical como las tratadas en este proyecto como la ingeniería electrónica y el diseño de interfaces o incluso otras que aquí no fueron tratadas pero con las que uno se enfrenta en la cotidianidad como lo son la gestión cultural y el diseño de proyectos con impacto social enriquecen al músico contemporáneo y le obligan a divergir de la tradición virtuosística romántica en el espectro académico europeo de la disciplina musical.

La realización de este rol multifacético viene con el acercamiento a distintas formas de hacer y experimentar la creación sonora. El trabajo colaborativo es una de las claves para construir conocimiento desde el rompimiento de narrativas hegemónicas y la implantación de metodologías orientadas a la horizontalización de las disciplinas. En la región latinoamericana además se evidencia la aplicación recurrente de la “Recursividad y

rebusque” (Estévez Trujillo, 2008) ya que, desde la perspectiva subalterna de nuestros países, el reciclaje de materiales y tecnologías “de punta”, el acercamiento a plataformas libres, las estrategias de trabajo colaborativo y el Hágalo Usted Mismo cobran valor significativamente.

La investigación de los antecedentes reveló numerosos dispositivos afines a la búsqueda inicial de esta investigación; la tarjeta programable *belá* fue un gran descubrimiento pues a través de ella se hizo posible la materialización del proyecto tecnológico. Sobre esta tecnología, *belá* ha demostrado ser una herramienta sumamente poderosa y efectiva para el procesamiento de audio analógico en tiempo real; durante los primeros semestres de la maestría se intentó explotar las capacidades de plataformas como Arduino y Raspberry, sin éxito. Aunque la investigación arrojó alternativas especializadas en procesamiento de audio como *Axoloti*⁶⁵ o incluso el Audio Hacker de Nootropic Design⁶⁶, desafortunadamente no tienen las capacidades que *belá* tiene. La investigación demandaba una plataforma que pudiera procesar audio de al menos 16 bits con baja latencia y el primer anzuelo de esta plataforma son los 0.5 ms (McPherson, 2015) de retardo declarado en su página web⁶⁷; este número sumado a su tasa de muestreo de 44.1 kHz en sus dos entradas optimizadas para audio, la perfilaron como la opción más viable para el desarrollo que se tenía en mente. Puedo decir que la experiencia de usuario con la tarjeta, la búsqueda de documentación necesaria, el acceso a los foros y sus contenidos, sin olvidar el soporte de los desarrolladores deja un grato sabor de boca. Se siente, desde la experiencia que he tenido en programación y diseño tecnológico, un producto robusto, con buenas cualidades y mucho futuro.

Es visible la inversión de trabajo y dinero en el producto y no sorprende que un producto desarrollado académicamente⁶⁸ tenga esa continuidad y que se le inyecten fondos

65 <http://www.axoloti.com/product/axoloti-core/>

66 <https://nootropicdesign.com/audio-hacker/>

Nota: El último acceso a los enlaces de la sección de Conclusiones se realizó el 4 de mayo 2021

67 <https://belá.io/about>

68 La plataforma *belá* fue desarrollada en el Augmented Instruments Lab, adscrito al Centre for Digital Music de la Queen Mary University of London, Inglaterra. <http://instrumentslab.org/>

constantemente para mantener al equipo de trabajo soportando y desarrollando nuevas implementaciones; tampoco sorprende que la misma plataforma se mantenga a flote, en mayor o menor medida, gracias a su propio establecimiento en el mercado. Sin embargo, se desprenden algunas reflexiones en torno a la pertinencia del uso de este producto en el contexto desde donde se enuncia este escrito. Crea sensaciones encontradas que una herramienta así de efectiva provenga de los lugares comunes, la Unión Europea y Estados Unidos, estamos acostumbrados a importar tecnología “de punta” y sí, nos ofrecen herramientas innovadoras pero la vitrina se empaña cuando muy pocas personas tienen acceso a este tipo de tecnología. El costo de esta tarjeta excede sin problemas el costo de otras como la Raspberry Pi 4 o incluso la tarjeta Arduino más costosa y aunque *bela* es una tecnología de hardware libre, al menos por ahora no se tiene acceso a versiones genéricas de ella manufacturadas por terceros a bajo costo como es el caso de Arduino. Una de las razones de su elevado costo es el hecho de que *bela* es una capa de software-hardware diseñada sobre otra plataforma, Beagleboard⁶⁹. Esta situación deja un amargo sabor de boca pues, pese a que Beagleboard es un hardware libre que fue creado con propósitos educativos, uno de los elementos más importantes para este trabajo es que el desarrollo emprendido sea lo más accesible posible para los colegas instrumentistas cuyas prácticas experimentales y artísticas provienen de América Latina y la cadena de mando y producción que se rastrea en esta tarjeta de desarrollo es de nicho estadounidense y europeo. Esto representa al menos dos obstáculos considerables: la necesidad de importar la tecnología y los costos que esto representa. A través de la observación de esta realidad latinoamericana se diverge y sostiene una práctica tecnológica basada en la luthería experimental y el reciclaje de componentes y materiales en la región. Recursividad y rebusque.

Si vamos más allá de lo referente al capital económico y el acceso que podamos o no tener a este y nos movemos al marco de las agencias presentes en esta tarjeta, encontramos

⁶⁹ <https://beagleboard.org/>

algunos inconvenientes, por ejemplo la integración de *bela* con Pd, el mayor contratiempo es que el flujo de trabajo se ve interrumpido por la necesidad de trabajar en dos ambientes paralelamente, el IDE de la tarjeta y el cliente Pd pues el IDE presenta una imagen estática de la interfaz gráfica de Pd, por lo que toda actualización y debugging se debe realizar fuera del ambiente de *bela*. Otro inconveniente que se observa es que el proceso de compilación y carga a la tarjeta impide un flujo de trabajo con modificación de audio en tiempo real (como el que se busca en el live coding) e incluso aunque es posible actualizar las rutinas mientras estas corren, es necesaria la recompilación y ejecución de estas. Es claro que la tarjeta está diseñada para correr programas con las variables previamente programadas y relacionadas a una pieza de hardware para poder modificar el audio en tiempo real, no es posible la modificación en profundidad que el código hace posible.

En otros temas, una metodología implementada para la delimitación de este proyecto fue la encuesta parametrizada. Los resultados de este instrumento arrojaron luz sobre posibles áreas de desarrollo y crecimiento para un primer escenario de este módulo digital y también para futuras versiones del sistema completo *Ívrida*. Sin embargo, es difícil asegurar que sean representativos de una práctica instrumental unificada o estandarizada, pues la experimentación en el campo de los instrumentos de cuerda frotada eléctricos, digitales o intervenidos es aún joven y su devenir se puede volcar por sitios aún desconocidos. Por otro lado, esta versión particular del módulo digital de *Ívrida* está enfocada a satisfacer ciertas necesidades de exploración técnica y corporal con la integración de los sensores elegidos, de manera que para futuras versiones del dispositivo se implementarán diferentes criterios de desarrollo de hardware y software.

Tomando en cuenta lo recién contemplado, como trabajo a futuro en el corto plazo se propone continuar la construcción del módulo analógico puesto que la integración de estos módulos es de suma relevancia. Además, la revisión sobre el módulo digital es necesaria para dar seguimiento al proyecto puesto que en este momento este módulo es una versión funcional, pero aún prototípica. La primera modificación contemplada se dirige a los materiales y el rediseño del gabinete, pues se pretende su construcción con aluminio y

acrílico para mejorar su estética y resistencia; el rediseño se precisa para tener la opción de integrar ambos módulos en un solo dispositivo o mantenerlos separados físicamente, pero unidos en funcionamiento.

Una vez integrado el sistema completo se vislumbran dos frentes de acción:

- Trabajo colaborativo. Ívrida es un desarrollo que toma influencia de diversos contextos y tecnologías, pero muy particularmente toma las herramientas técnicas e instrumentales del violonchelo, que han sido refinadas a través de los siglos de vida del instrumento. Por esta razón es imprescindible conocer los alcances y limitaciones que este desarrollo pueda tener en manos de otros colegas instrumentistas, tanto los de acercamiento más tradicional como los de ímpetu experimental. El trabajo con compositores también resulta relevante pues, aunque es cierto que este desarrollo se concibe desde una práctica donde se borran las líneas que dividen creador, intérprete y desarrollador, el oficio del compositor como creador abstracto envuelve perspectivas fundamentales para el cuestionamiento de los *affordances* implícitas en la propuesta. Expandiendo esto último, se pretende también el contacto con improvisadores, programadores y artistas multidisciplinares, de manera que se puedan intervenir la programación y las interfaces de usuario para obtener perspectivas particulares sobre la performance y exploración sonora y enfocar el desarrollo a la optimización de la experiencia de usuario fuera de una tradición instrumental establecida. Finalmente, ya que Ívrida pone en un papel central la expansión performática, la colaboración con personas que puedan ofrecer perspectivas sobre diversidad funcional y cuerpos no normativos es un punto que no se puede pasar por alto.
- A través de las colaboraciones antes mencionadas se espera conformar un corpus de herramientas técnico instrumentales y de obra artística que tenga como centro gravitatorio el uso recurrente de Ívrida en prácticas musicales y experimentales. Dentro de las herramientas técnicas, se contempla la implementación de nuevos

paradigmas instrumentales que sean añadidos a las técnicas que en la segunda década del siglo XXI consideramos idiomáticas, propias del violonchelo empujando la creatividad y viendo en este artefacto un agente de cambio para abrir caminos que promuevan la transformación y adaptación del violonchelo a nuevas maneras de crear música. Por ser desarrollado a partir de referentes audiovisuales, performáticos y sonoros de naturaleza experimental, la creación de obra que se busca promover con Ívrida gira en torno a estas disciplinas, por lo que se espera que el hardware y métodos de entrada particulares de este sistema propicie la exploración desde estas y otras disciplinas creativas.

Finalmente, me parece que las aportaciones de este trabajo se mueven en dos líneas. Por un lado, la idea conceptual del dispositivo, el sistema en su totalidad es una propuesta que no tiene precedente en este posgrado, enlaza íntimamente tecnologías de audio analógico, digital y el diseño de nuevos instrumentos mecánicos poniendo especial énfasis en la desestabilización de las técnicas tradicionales en instrumentos de cuerda frotada y busca la evolución de las interfaces de usuario de esta familia instrumental. Por otro lado, la aportación tecnológica tangible de esta maestría es el desarrollo del módulo digital de Ívrida el cual ya puede ser usado en diversos contextos y prácticas sonoras y musicales y poner a prueba su funcionamiento acompañado de instrumentos acústicos, eléctricos artesanales⁷⁰ y eléctricos comerciales⁷¹.

70 Violonchelo eléctrico Díaz-Soto de 2017

71 Violonchelo eléctrico Yamaha adquirido con el apoyo PAEP 2020 del Posgrado en Música de la UNAM

Bibliografía y referencias

El último acceso de los enlaces aquí vertidos fue el 4 de mayo 2021

Amat, H. (2019). Obtenido de <https://www.guitarristas.info/noticias/buzz-feiten-rinde-tributo-bo-diddley-guitarra-unica-estilo-art-deco/8363>

Andrade, R. (2020). *Knurl-lab.in*. Obtenido de <https://www.knurl-lab.in/home>

Bahn, C., & Trueman, D. (2001). Interface: Electronic chamber ensemble. *International Conference on New Interfaces for Musical Expression 2001*, (págs. 19-23). Seattle, USA.

Bela. (s.f.). Obtenido de <http://bela.io/>

Berge, F. (s.f.). Obtenido de <http://www.feddetenberge.nl/>

Borgo, D. (2014). The Ghost in the Music, or the Perspective os an Improvising ANT. *Oxford Handbook of Improvisation Studies*.

Chadabe, J. (1997). *Electric Sound: the past and promise of electronic music*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.

Chafe-website. (s.f.). Obtenido de <http://chrischafe.net/portfolio/celletto-pieces/>

Cobra-cello. (s.f.). Obtenido de <https://www.woodviolins.com/cobra/>

Crumb, G. (1973). *Makrokosmos II*. Editions Peters.

Davies, T. (2017). The Feral Cello: A Philosophically Informed Approach to an Actuated Instrument. *International Conference on New Interfaces for Musical Expression 2017*. Copenhagen, Denmark.

de Andrade, I. (2017). El intérprete y la praxis musical en el siglo XXI: desafíos en la consolidación de una tradición interpretativa en obras electroacústicas mixtas con sistemas computacionales interactivos. *Heterofonía*.

Deeley, M. K. (Productor), & Scott, R. (Dirección). (1982). *Blade Runner* [Película]. US: The Ladd Company.

Dick, P. K. (1968). *Do Androids Dream of Electric Sheep?* US: Doubleday.

- Estévez Trujillo, M. (2008). *UIO/BOG Estudios Sonoros desde la Región Andina*. Quito, Ecuador: Trama Editores.
- Ferguson, J. (2013). Imagined Agency: Technology, Unpredictability and Ambiguity. *Contemporary Music Review*, 135-149.
- Fiedel, B. (1991). Terminator 2: Judgement Day Soundtrack. Varese Sarabande.
- Freed, A., & al., &. (2006). Augmenting the cello. *Nime 06*, (págs. 409-413). París, Francia.
- Gibson, J. J. (1986). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Psychology Press, Taylor and Francis Group.
- Gittler. (s.f.). Obtenido de <https://gittlerinstruments.com/the-original-gittler>
- Husserl, E. (1986). *Meditaciones Cartesianas*. Fondo de Cultura Económica.
- Jensen-website. (s.f.). Obtenido de <https://web.archive.org/web/20050121024421/http://dslweb.nwnexus.com/jensmus/cello.htm>
- Jorda, S. (2005). *Digital Lutherie. XCrafting musical computers for new musics' performance and improvisation*. Barcelona: Universitat Pompeu Fabra.
- Kaptelinin, V. (2014). Affordances and design. En *The Encyclopedia of Human-Computer Interaction*.
- Lahdeoja, O. (2008). An Approach to Instrument Augmentation: the Electric Guitar. *Conference of New Instruments for Musical Expression 2008*, (págs. 53-56). Genova, Italy.
- Latour, B. (2005). *Reassembling the Social: An Introduction to Actor-Network Theory*. Oxford University Press.
- Machover, T. (1992). *Hyperinstruments: A progress report 1987-1991*. MIT.
- McPherson, A. Z. (2015). An environment for submillisecond-latency audio and sensor processing on BeagleBone Black. *Proc. AES 138th Convention*. Warsaw, Poland.
- Nebulophone. (s.f.). Obtenido de <https://bleeplabs.com/product/nebulophone/>
- Nichols, C. (2002). The vBow: A virtual violin bow controller for mapping gesture to synthesis with haptic feedback. *Organized Sound*, 7(2), 215-220.
- NS Design. (s.f.). Obtenido de <https://thinkns.com/>

- Ork1. (s.f.). Obtenido de <http://alexandreberthaud.com/portfolio/ork-1-septuor-pour-corps-en-mouvement/>
- Overholt, D. (2005). The Overtone Violin. *International Conference on New Interfaces for Musical Expression 2005*, (págs. 34-37). Vancouver, Canada.
- Paradiso, J. (1997). Electronic Music: New ways to play. *IEEE Spectrum*, 18-30.
- Pardue, L. S. (2019). Separating sound from source: sonic transformation of the violin through electrodynamic pickups and acoustic actuation. *International Conference on New Interfaces for Musical Expression 2019*. Porto Alegre, Brazil.
- Pardue, L. S., & al., e. (3-6 de June de 2019). Separating sound from source: Sonic transformation of the violin through electrodynamic pickups and acoustic actuation. *International Conference on New Interfaces for Musical Expression 2019*, (págs. 278-283). Porto Alegre, Brazil.
- Pérez Díaz, J. A. (2018). *De la cuerda de tripa a la síntesis sonora: La evolución del violonchelo, su repertorio y lenguaje técnico-musical a través de tres modelos instrumentales*. Ciudad de México: UNAM.
- Phillips, F. (2018). *Illuminating music: A research and production design study applying Synesthesia and ambient peripheral display theory to the violin*. Auburn, Alabama.
- Reus, J. (2019). *Banjela*. Obtenido de https://blog.bela.io/2020/06/05/hacking-the-banjo-jonathan-reus/?fbclid=IwAR1zPijNtwoRMDk17nPQ1Kq_8l4jwwtAWoMh-N7BJWA6QOzihzr9t1jZjLY
- Schafer, R. M. (2005). *Hacia una educación sonora*. (J. Sarmiento, Trad.) México: CONACULTA.
- Setapen, A. (2010). *Adam Setapen...how to make (almost) anything*. Obtenido de <http://fab.cba.mit.edu/classes/863.10/people/adam.setapen/index.html>
- Shone, Tristan. (s.f.). Obtenido de <http://www.tristanshone.com/#section-7>
- Stash. (s.f.). Obtenido de <http://stashstainlessbass.com/bass-specs>
- Stretchi.org. (s.f.). Obtenido de <https://stretchi.org/>
- Theoi.com. (s.f.). Obtenido de <https://www.theoi.com/Daimon/Hybris.html>
- Trueman, D., & Cook, P. (2000). BoSSa: The Deconstructed Violin Reconstructed. *Journal of New Music Research*, 29(2), 121-130.

Uitti, F. M. (2000). The Frontiers of Technique. En . En R. S. (Ed.), *The Cambridge Companion to the Cello* (págs. 211-223). Cambridge University Press.

Uitti, F.-M. (2008). *Introducing a stringless cello controller for two bow performance*. Obtenido de <http://www.uitti.org/Inventions.html>

Úlfarsson, H. (2018). The Halldorophone: The ongoing innovation of a cello-like drone instrument. *International Conference on New Interfaces for Musical Expression 2018*, (págs. 269-274). Blacksburg, Virginia, USA.

Vangelis (1994). *Blade Runner Soundtrack*. East/West.

Whammy. (s.f.). Obtenido de <https://www.digitech.com/whammy-pitch/>

Whamola. (s.f.). Obtenido de <https://thickstrings-blog.tumblr.com/post/21230679219/what-tha-f-is-a-whamola-durante-las-d%C3%A9cadas>

Yamaha-Silent. (s.f.). Obtenido de https://mx.yamaha.com/es/products/musical_instruments/strings/silent_series/index.html

Zeta-violins. (s.f.). Obtenido de <https://zetaviolins.com/catalog>

Referencias web de procesadores

C4 Synth, Source Audio. https://www.sourceaudio.net/c4_synth.html

Future Impact v2, pandaMIDI <http://pandamidi.com/bass-guitar-synth/>

Data Corrupter, Earthquaker Devices <https://www.earthquakerdevices.com/data-corrupter>

Enzo, Meris <https://www.meris.us/product/enzo/#featuresspecs>

Línea SY, Boss https://www.boss.info/global/categories/guitar_synthesizers/

M3, Subdecay <https://subdecay.com/effect/m3-guitar-synthesizer>

Micro Synthesizer, Electro Harmonix <https://www.ehx.com/products/micro-synthesizer>

Micro Synthesizer Bajo, Electro Harmonix <https://www.ehx.com/products/bass-micro-synthesizer>

Moutarde Extra Forte, Glou Glou <https://glou-glou.org/moutarde-extra-forte/>

Organelle, Critter & Guitari <https://www.critterandguitari.com/organelle#overview>

OWL, Rebel Technology <https://www.rebeltech.org/product/owl-pedal/>

Squaver p1+, Sonic Smith <https://sonicsmith.com/products/squaver-p1/>

Synthotron II, Red Witch <https://red-witch-pedals.myshopify.com/products/synthotron-ii>

ZOIA, Empress <https://empresseffects.com/products/zoia>

Recursos web, instructivos y plataformas

Hardware OWL <https://github.com/pingdynasty/OwlWare>

Instructivo de construcción Nebulophone <https://www.instructables.com/DIY-Arduino-Nebulophone-Synth/>

Nebulophone <https://bleeplabs.com/product/nebulophone/>

PatchStorage Bela <https://patchstorage.com/platform/bela/>

Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1 Violonchelo eléctrico de seis cuerdas, 2017	13
Ilustración 2 Chris Chafe con su Celletto	17
Ilustración 3 Tod Machover con el violonchelo RAAD conectado al sistema Hypercello	17
Ilustración 4 BoSSa	18
Ilustración 5 Curtis Bahn con el sBaSS.....	18
Ilustración 6 Puente y sensores del Violonchelo aumentado	19
Ilustración 7 Frances Marie Uitti con su controlador sin cuerdas.....	19
Ilustración 8 Halldor Ulfarsson y su Halldorophone.....	20
Ilustración 9 KNURL	21
Ilustración 10 Laurel Pardue con el Svampolin	21
Ilustración 11 Sintetizador y procesador Future Impact v3	23
Ilustración 12 Pedal sintetizador C4 Synth	23
Ilustración 13 ZOIA	24
Ilustración 14 Organelle	25
Ilustración 15 OWL	25
Ilustración 16 Bajo Stash	26
Ilustración 17 Les Claypool con el Whamola	27
Ilustración 18 Bajo Gittler.....	27
Ilustración 19 Guitarra Art Deco de Buzz Feiten	28
Ilustración 20 Vivisi Violin de Foster Phillips	28
Ilustración 21 Instalación Brain Opera	30
Ilustración 22 Mari Kimura portando el guante MUGIC	32
Ilustración 23 Objetos de la instalación Of Nature of Things.....	33
Ilustración 24 Tristan Shone tocando en vivo sus instrumentos	34
Ilustración 25 Instrumentos de Ork.1.....	35
Ilustración 26 Reactable de Setgi Jordá.....	36
Ilustración 27 Primer boceto a mano alzada del módulo digital	43
Ilustración 28 Diagrama de ruteo de hardware	44
Ilustración 29 Cadena de audio digital	46

Ilustración 30 Modelo CAD del gabinete con perforaciones para componentes	53
Ilustración 31 Modelo CAD con el submódulo construido para el Nebulophone	53
Ilustración 32 Plano del gabinete sobre pieza de fibracel.....	54
Ilustración 33 paredes y tapa cortada	56
Ilustración 34 Palitos de madera para soporte	56
Ilustración 35 Gabinete terminado sin perforar	57
Ilustración 36 Diagrama de pines bela	58
Ilustración 37 Diagrama esquemático del circuito.....	59
Ilustración 38 Diagrama de prototipado	60
Ilustración 39 Posición del transductor "R" dentro al interior de la tapa derecha del gabinete	61
Ilustración 40 Transductor vibratorio montado.....	62
Ilustración 41 Mitad izquierda contiene la tarjeta bela y mitad derecha contiene batería portátil	63
Ilustración 42 Protoboard y bela conectadas.....	64
Ilustración 43 Sensor 1 hc-sr04 ubicado al frente del gabinete.....	65
Ilustración 44 Módulo digital ensamblado.....	66
Ilustración 45 render.cpp en la sección void señalando la integración de sensores de proximidad.....	68
Ilustración 46 Integrando "Sensor1" y "Sensor2" a Pure data.....	69
Ilustración 47 Efectos necesarios	71
Ilustración 48 Efectos deseables para experimentar	71
Ilustración 49 Primer boceto del sistema integrado visto de frente buscando semejanza con instrumentos eléctricos existentes.....	105
Ilustración 50 Boceto preliminar del módulo/instrumento analógico de cuerda.....	106

Lista de Tablas

Tabla 1 Lista de materiales52

Tabla 2 Medidas de las paredes individuales recortadas55

Anexo 1. Diseño integrado y módulo analógico

El diseño del cuerpo instrumental integrando los dos módulos del sistema puede aludir a una guitarra o bajo eléctrico tomando en consideración los dos elementos primordiales de estos instrumentos: un brazo con diapasón y clavijas unida a una pieza de madera sólida alojando los circuitos eléctricos y donde se coloca el puente y tiracuerdas del instrumento. Este diseño no es muy diferente al del violonchelo u otros instrumentos acústicos de cuerda donde en lugar de madera sólida, el cuerpo cumple la función de caja de resonancia; en ambos casos, eléctricos y acústicos, estos instrumentos utilizan este cuerpo de mayor volumen para que en él ocurran los procesos de amplificación sonora.

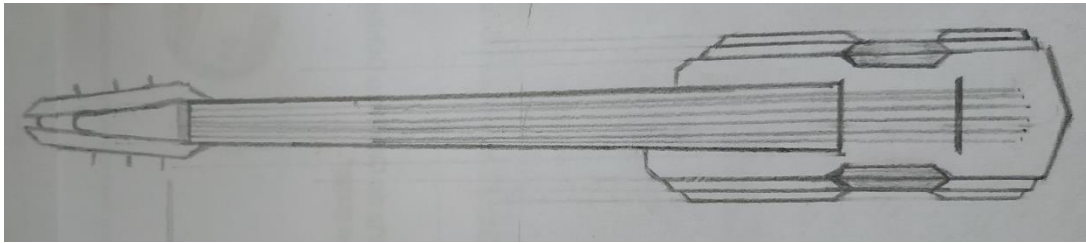


Ilustración 49 Primer boceto del sistema integrado visto de frente buscando semejanza con instrumentos eléctricos existentes

El diseño de Ívrida sigue estas lógicas, como fue mencionado en el capítulo anterior, está inspirado en algunos instrumentos ya existentes. El módulo analógico es un brazo extendido, considerando el largo total de la cuerda vibrante, con dos diapasones, un sistema doble de transducción piezoeléctrico/electrodinámico, dos puentes y dos juegos de tensores para afinar las cuerdas de cada lado, este brazo tiene además la función de soporte estructural y eje; alrededor de este se colocará el gabinete del módulo digital. El módulo digital consta de los componentes electrónicos, controles y sensores necesarios para la operación; además de estos, se proponen dos actuadores sujetos por dentro a dos paredes del gabinete, a manera de altavoces, convirtiéndolo en una caja acústica y vibrante. De esta manera, al estar unidos ambos módulos se crea la sensación de un solo cuerpo electroacústico cuyas dimensiones, aunque más pequeñas, ayudan a emular las de un instrumento acústico.

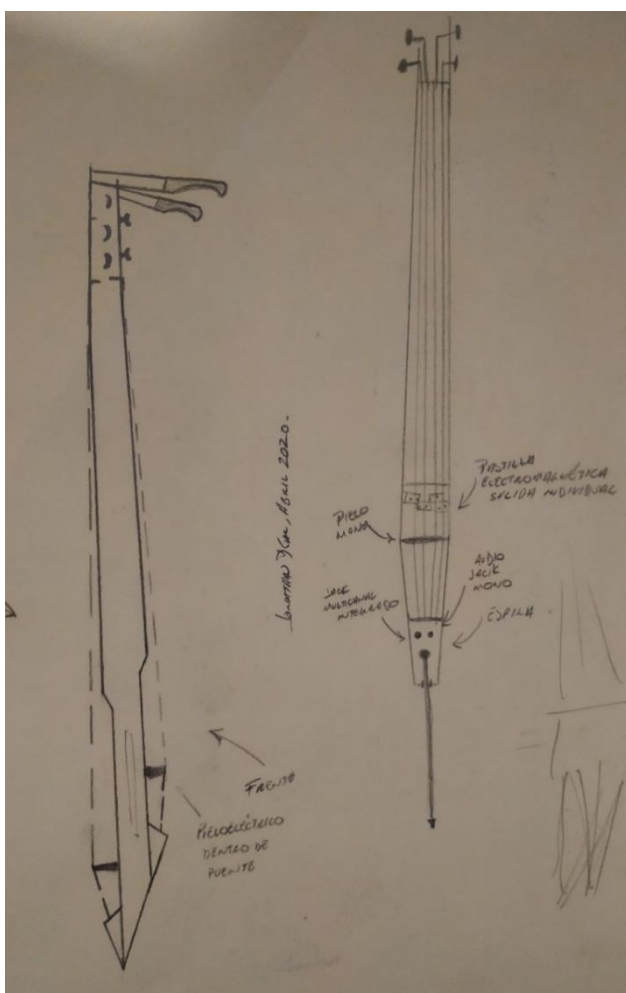


Ilustración 50 Boceto preliminar del módulo/instrumento analógico de cuerda

El módulo analógico, entendido como un instrumento de cuerda expandido, no se presenta como objeto terminado en el actual trabajo; sin embargo, se lograron algunos avances en diseño y se definieron algunas de las tecnologías que se implementarán en cuanto las condiciones permitan retomar su construcción.

El diseño propuesto sugiere ciertas problemáticas a resolver, por ejemplo, la hibridación misma del instrumento donde dos caras de este requieren ser utilizadas y que esto no comprometa la integridad estructural del instrumento al tener tensión de cuerda en el anverso y reverso del cuerpo, sumado a esto, buscar en todo momento la comodidad

de movimientos técnicos del intérprete. En este respecto se han consultado a lauderos, trabajadores del metal y carpinteros, cuyas opiniones sobre el diseño de la estructura principal han sido positivas y han dado lugar a animadas conversaciones y múltiples recomendaciones sobre uso de materiales y acabados para estos. En la siguiente imagen se presenta un prototipo preliminar a escala 1:1 realizado por el constructor mexicano Edgar Xalli donde se ensayaron las dimensiones del instrumento.



En la imagen se puede observar que el prototipo se realizó con un tubo de PVC de tres pulgadas de circunferencia actuando como soporte estructural. Sobre una de sus caras se ensaya un diapasón flotante, fijo en dos puntos. En la parte superior de la estructura de soporte se fijaron las cuerdas del anverso del instrumento y más arriba se observan dos apéndices tensores para las dos cuerdas del reverso del instrumento. En la parte baja de la estructura tubular los tensores de las cuerdas anteriores están fijadas en la base, permitiendo la afinación de las cuerdas del violonchelo y en la parte posterior se fijan las cuerdas del whamola. Es visible también el juego de tensiones en el instrumento donde las cuerdas son sustituidas con cables tensores, así demostrando que la estructura es perfectamente capaz de resistir la tensión continua en ambas caras. A este prototipo se le añadió un pequeño gabinete de MDF para emular una posible caja de resonancia donde además se alojarían los circuitos electrónicos y microcontroladores. Este prototipo se le entregó al laudero Salvador Soto para comenzar la construcción formal del módulo.



La construcción de la estructura de soporte del instrumento y sus partes móviles están previstas en acero inoxidable pulido con discos rotatorios como puente móvil en el reverso y el puente del anverso en madera de abeto, los dos diapasones flotantes en acrílico curvado y una pantalla de laca resistente a la abrasión. Las cuerdas usadas en el reverso son cuerdas de bajo eléctrico de níquel y en el anverso, cuerdas de acero para violonchelo, ambos juegos de marca comercial.

Sobre los aspectos técnicos de los sistemas electrónicos en este módulo, se contempla un doble sistema de transducción piezoeléctrico/electrodinámico funcionando en paralelo con dos salidas:

1. Electrodinámico. Pastillas individuales de transducción electrodinámica para cada una de las seis cuerdas en el anverso, semejantes a las usadas por Laurel Pardue (Pardue & al., 2019). En este sistema uno de los extremos de las cuerdas es aterrizado, mientras que dos imanes de Neodimio son montados sobre el cuerpo cilíndrico generando un campo electromagnético ubicándolos debajo de cada cuerda, en el otro extremo de la cuerda se conecta un preamplificador individual con la salida de audio. Las salidas son, en consecuencia, individual por cuerda, polifónicas, integradas en un conector de 8 pines.
2. Piezoeléctrico. Debajo de ambos puentes, anverso y reverso, se fijan dos láminas piezoeléctricas para captar la vibración indistinta de las cuerdas. Estos transductores serán conectados a un switch selector de tres vías (anverso, reverso y mezcla), y luego a una misma salida monoaural con el propósito de amplificar la suma de las vibraciones o discriminar uno de los transductores piezoeléctricos.

Los métodos de interacción con este instrumento recurren a técnicas tradicionales como pizzicato y arco en cualquiera de los dos lados, tapping y slap en el anverso y percusión con baqueta o arco (col legno batutto) en el reverso. En el anverso, de carácter más tradicional, es posible el uso de técnicas extendidas en la tradición de instrumentos de cuerda frotada y punteada. Por otro lado, en el reverso se espera una mayor experimentación por parte del intérprete intentando explotar las posibilidades del mecanismo manual de afinación, técnica de percusión, drones (notas pedal) aprovechando la cuerda metálica y sus distintas tensiones, etc.

Anexo 2. Catálogo de antecedentes instrumentales

Celletto



En 1988, Chris Chafe, académico de la Universidad de Stanford, creó uno de los primeros violonchelos eléctricos que ofrecían la posibilidad de digitalizar datos, el *celletto*.⁷² En este instrumento además de amplificar las características tímbricas de un violonchelo sin caja de resonancia, se montaron en el puente cinco transductores, cuatro individuales para cada una de las cuerdas y un transductor general que recibe la vibración general del instrumento, aprovechando la colaboración de Max Matthews en el diseño del circuito electrónico. Adicionalmente, años más tarde el desarrollador, también violonchelista, incorporó un dispositivo para capturar y digitalizar el movimiento del arco con un acelerómetro, esta tecnología utiliza un detector infrarrojo, basado en *The Lightning* de Don Buchla (Chadabe, 1997, pág. 228), para transformar, mediante protocolo MIDI, la información obtenida de la interacción mecánica y así procesar una señal digital en tiempo real que refleje la gestualidad en el arco del intérprete.

Constructor/desarrollador(es): **Chris Chafe, Max**

Matthews

Año: **1988**

Institución: **Stanford University, E.U.**

Fuente: (Chafe-website, s.f.)

No. de cuerdas: **4**

Transducción: **Electromagnética analógica; 5**

transductores: 4 individuales 1 general

I/O: **MIDI mediante piezoelectricidad y**

acelerómetro montado en el arco.

Materiales: **Arce**

⁷² <http://chrischafe.net/portfolio/celletto-pieces/>

Nota: El último acceso de los enlaces en los Anexos 1 y 2 fue el 4 de mayo 2021

Hypercello

En 1991, Tod Machover presentó un desarrollo desde el MIT, el *hypercello* (Machover, 1992), producto de la investigación que realizaba desde 1987 en torno a lo que él llamaba *hyperinstruments*. La propuesta no se centró en la fabricación de un nuevo instrumento

materialmente hablando, sino la expansión de los ya existentes mediante la intervención del sonido y gestos interpretativos con múltiples sensores analógicos para capturar y procesar la señal de audio. Machover diseñó un



programa con el mismo nombre del instrumento dentro del entorno *Hyperlisp*, una reimplementación de CommonLisp. El programa recopila y almacena los datos capturados por los sensores dispuestos en el arco, diapasón y cuerpo del instrumento para después analizarlos. Machover considera que el protocolo MIDI resulta poco práctico en la captura directa de datos de un instrumento como el violonchelo pues estos (arco, digitación, peso, aceleración) son demasiados, por lo que prefiere digitalizar los datos analógicos y posteriormente utilizar MIDI dentro del programa de Hyperlisp donde manipula y procesa la señal de audio virtualmente. Al utilizar instrumentos ya existentes, es relevante para el desarrollo que los sensores se puedan poner y quitar fácilmente y que estos no resulten intrusivos para la interpretación natural y fluida en el instrumento.

Constructor/desarrollador(es): **Tod Machover**

Año: **1991**

Institución: **MIT, E.U.**

Fuente: (Machover, 1992)

No. de cuerdas: **4**

Transducción: **Piezoeléctrico (RAAD cello)**

I/O: **Sensores capacitivos en el arco,**

Software: **Hyperlisp (CommonLisp)**

Hardware: **Tarjetas Audiomedía DSP, Macadisos**

II/16

BoSSa

BoSSa es un acrónimo que se refiere a Bowed-Sensor-Speaker-Array, traducido como arreglo de sensor de arco y altavoces. Esta es una interface que, según su constructor y diseñador Dan Trueman (Trueman & Cook, 2000), es producto de su investigación previa con interfaces de violín y toma inspiración del violín mismo, de cómo el ejecutante interactúa física y gestualmente con él (input) y la difusión particular que el instrumento hace del sonido (output). El BoSSa tiene una característica forma de dodecaedro con un arreglo de 12 canales de altavoces y en sustitución de las cuerdas, incorpora sensores-esponjas sobre los cuales se desliza el arco.

Su input emula el del violín, con dedos sobre un diapasón y arco. En el lugar equivalente al diapasón del violín está montado un sensor lineal para la mano izquierda, como si fuera una sola cuerda que controla datos de altura y pitch bend, además incluye 4 puntos de presión para la mano derecha a manera de agujeros de flauta para digitación con sensibilidad al



toque, emulando el pizzicato. Las esponjas dedicadas al deslizamiento del arco son 4, sustituyendo las cuerdas del violín, estos sensores distinguen el arqueado hacia abajo o hacia arriba del ejecutante según sea el caso. El arco es uno regular de violín con sensores de presión y un acelerómetro agregado. De manera general, Trueman utiliza 3 tipos de sensores para diferentes instrucciones:

- Resistores sensores de fuerza (FSR) en las esponjas, sensores de presión del arco y los sensores de mano derecha en el diapasón
- Acelerómetro en el arco
- Sensor de posición lineal en el diapasón para la mano izquierda

Estos sensores capturan los datos y los encaminan a microcontroladores que los convierten en datos MIDI de control continuo. En el output, se colocaron 12 altavoces con rango de frecuencias entre 180 y 16,000 Hz aislados y sellados para evitar resonancias indeseables.

Constructor/desarrollador(es): **Dan Trueman**

Año: **2000**

Institución: **Princeton University, E.U.**

Fuente: (Trueman & Cook, 2000)

No. de cuerdas: N/A

I/O: **Resistores sensores de fuerza, acelerómetro y sensor de posición lineal en el arco, diapason y esponjas para arco. 12 canales de altavoces**

Materiales: **Madera de pino y fibra acústica para aislar los altavoces**

Software: **MAX/MSP**

SBaSS

Esta interfaz y el BoSSa comparten desarrollador por lo que son similares, sin embargo, se encuentran algunas diferencias. En principio, este instrumento incluye cinco cuerdas de contrabajo eléctrico y, por lo tanto, requiere de un arreglo de transductores, entre



estos, un micrófono de contacto en la punta del arco. Trueman colabora para este desarrollo con el contrabajista Curtis Bahn cuya técnica está más dirigida al pizzicato que al arco. Por lo anterior, colocan los diferentes sensores (deslizables, FSR's, potenciómetros, acelerómetros biaxiales y un pequeño touch-pad de mouse) en el cuerpo mismo y en la base del diapason del instrumento. Igual que en el BoSSa, los sensores recogen gestos del ejecutante y vierten los datos MIDI en un microcontrolador que los encamina a un patch de MAX/MSP con diferentes rutinas de síntesis granular, modelado físico y delays. El propósito principal de este instrumento es la libertad en la improvisación.

Constructor/desarrollador(es): **Curtis Bahn, Dan Trueman**
Año: **2000**
Institución: **Rensselaer Polytechnic Institute, E.U.**
Fuente: (Bahn & Trueman, 2001)

No. de cuerdas: **5**
Transducción: **Piezoeléctrico en puente y arco**
I/O: **FSR, sensores deslizables, potenciómetros, touch-pad. 12 canales de altavoces**
Materiales: **Madera de pino y fibra acústica para aislar los altavoces**
Software: **MAX/MSP**

Halldorophone

El Halldorophone es un instrumento eléctrico aumentado cuyo desarrollo comenzó en 2005 por el diseñador industrial Halldor Úlfarsson. Hasta 2018, cuando se dio la última actualización formal tanto en su sitio web⁷³ como en un documento para la Conferencia Internacional de Nuevos Instrumentos-interfaces para la Expresión Musical (NIME) (Úlfarsson, 2018), el constructor tenía tres instrumentos terminados en 2008, 2011 y 2014; además de que esperaba construir dos más en el restante 2018.

Este instrumento, basado en la técnica, cuerpo e idiomatismo del violonchelo, utiliza el fenómeno de retroalimentación positiva de sonido como un elemento estético de generación sonora. Tiene ocho cuerdas, cuatro de ellas son las principales que se pueden tocar con dedos o arco y digitar como en un violonchelo tradicional; mientras que las cuatro cuerdas restantes son simpáticas y corren debajo del diapasón y el puente interactuando con ellas sólo electrónicamente, integrándolas o excluyéndolas de un bucle de retroalimentación mediante controles de volumen o pedales. Este bucle se crea colocando un transductor con ganancia regulable



73 <https://www.halldorophone.info/>

independiente a cada cuerda, al hacer vibrar las cuerdas el producto eléctrico de esta vibración se envía a un cono amplificador en la parte posterior del instrumento donde a su vez, la vibración del cono hace que el resto del sistema vibre induciendo retroalimentación positiva en las cuerdas.

Sumados al uso de la retroalimentación, el instrumento tiene un cuerpo de madera que más que caja resonante funciona como filtro de frecuencias, agregando ancho de banda al sonido producido. En la parte superior del brazo algunas versiones tienen un *whammy*⁷⁴ individual para cada cuerda.

Constructor/desarrollador(es): **Halldór Úlfarsson**

Año: **2008**

Institución: **University of Sussex, UK.**

Fuente: (Úlfarsson, 2018)

No. de cuerdas: **8; 4 principales y 4 de resonancia**

Transducción: **Electromagnética individual**

I/O: **Bocina de retroalimentación, potenciómetros**

deslizantes, whammy manual

Materiales: **Madera, acero**

Software: **Bela IDE**

Augmented Electric Cello

Este proyecto interviene un instrumento construido por Eric Jensen (Jensen-website) y es producto de la colaboración entre la chelista Frances-Marie Uitti y un grupo de investigadores del CNMAT en Berkeley, California. (Freed & al., 2006). Se desarrolló para explotar las técnicas a dos arcos y los diversos tipos de afinación y digitaciones polifónicas posibles en el diapasón de la intérprete y la digitalización y procesamiento en tiempo real.

⁷⁴El Whammy es un pedal de efectos diseñado para guitarra y bajo eléctrico por la marca Digitech. El pedal altera electrónicamente la altura de la señal de audio, pudiendo dar como resultado el cambio entre distintas octavas del registro sonoro o su armonización en diversos intervalos al duplicar la señal. El método utilizado para esto es un pedal de expresión manipulado por el músico. <https://www.digitech.com/whammy-pitch/> A diferencia de esta característica electrónica del pedal, en instrumentos acústicos el método de cambio de altura es mecánico, a través de las clavijas del instrumento mismo; el nombre que tradicionalmente se le da a este efecto sonoro no involucrado con instrumentos acústicos es *scordatura*.

En la parte del hardware, el violonchelo eléctrico tiene 6 cuerdas con transductores individuales y, desarrollado en colaboración de Uitti con Jensen, un puente que permita la técnica a doble arco. Esta técnica requiere del uso de dos arcos en la mano derecha, uno corriendo entre las cuerdas y el cuerpo del



instrumento (con un máximo de dos cuerdas tocables debido a la curvatura del puente) y el otro corriendo de manera tradicional sobre el puente (teniendo la posibilidad de tocar hasta cuatro cuerdas). Para lograr la variación en las afinaciones, se incorporó al cuerpo del instrumento un dispositivo modulador de tensión para cada cuerda, con la posibilidad de alterar mecánicamente la afinación en micro tonos, $\frac{1}{4}$ de tono, $\frac{1}{2}$ tono y tono completo. Otros sensores incorporados incluyen un potenciómetro deslizante *dry/wet* variando la mezcla entre el sonido directo del violonchelo y el audio producto del procesamiento, una matriz de botones debajo del puente para cambiar las configuraciones durante el performance y otros FSR's dispuestos en diferentes puntos del instrumento para interacción con la mano izquierda de la intérprete. En el arco se montó un sensor rotatorio que codifica y envía un voltaje determinado según su ángulo. En la base del instrumento se monta una rueda de codificación que, al girar con el frotamiento del arco, asemeja a la técnica de tocar cuerdas debajo del puente. Todos los sensores, switches, resistores y piezoeléctricos son acondicionados para estar en el rango de 0 a 5 V mediante sencillos divisores de voltaje y conectados por un cable multifilar al *Connectivity Processor* (Freed & al., 2006) del CNMAT.

Constructor/desarrollador(es): **Freed, Wessel, Zbyszinsky, Uitti, Jensen**

Año: **2005**

Institución: **CNMAT, Berkeley E.U.**

Transducción: **Piezoeléctrico en puente**

I/O: **FSR, potenciómetro deslizante, sensores rotatorios y de giro, touch-pad, tensores regulables de cuerda.**

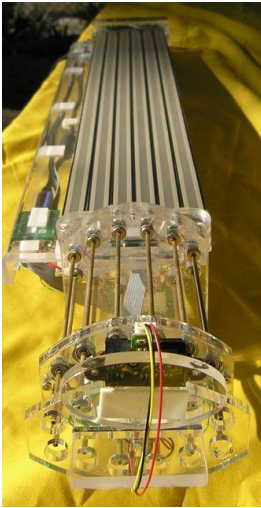
Fuente: (Freed & al., 2006)

No. de cuerdas: 6

Materiales: **Madera de pino y fibra acústica**

Software: **MAX/MSP, protocolo OSC.**

Controlador cello sin cuerdas



De nuevo colaboran Frances-Marie Uitti y Adrian Freed (Uitti F.-M. , 2008), esta vez proponiendo un instrumento/controlador, fabricado de acrílico y sin cuerdas. Siguiendo la línea de trabajo sobre la técnica a dos arcos y buscando capturar diversos gestos, este instrumento tiene en lugar de cuerdas, sensores giratorios para medir velocidad y dirección del arco. Seis sensores, a manera de cuerdas, sobre el que sería equivalente a un puente, se replican en espejo en la parte posterior del puente, ampliando las posibilidades de doble arqueado que en un instrumento de cuerda se encuentran. Como extensión de estos sensores, en el diapasón plano del instrumento se observan 6 franjas con sensores de presión al frente y 6 en la parte posterior; en conjunto, las cuerdas virtuales del diapasón y de arqueado dan un total de 12. En la base del instrumento, una lámina flexible emula el cuerpo del instrumento ofreciendo sujeción para las piernas; un sensor infrarrojo dispuesto en los extremos de la lámina funciona como controlador de expresión midiendo el ancho de la apertura del soporte en las piernas. John McCallum y Andy Schmeder desarrollaron el microcontrolador interno y el patch de MAX/MSP que procesa las señales digitales (Uitti F.-M. , 2008).

Constructor/desarrollador(es): **Freed, Uitti, McCallum, Schmeder**

Año: **2008**

Institución: **CNMAT, Berkeley E.U.**

Fuente: (Uitti F.-M. , 2008)

No. de cuerdas: **12 virtuales**

I/O: **FSR, sensores rotatorios y de giro, touch-pad.**

Materiales: **Acrílico**

Software: **MAX/MSP, protocolo OSC.**

Electrello

El autor de este proyecto busca que el instrumento reconozca los movimientos del intérprete y fue desarrollado en el Media Lab del MIT. El instrumento está construido en madera de caoba, con algunas piezas móviles de aluminio, impresión plástica en 3D, compuestos de resina epóxica y reutiliza el brazo, espiga, cordal y clavijas de un violonchelo acústico. En la parte electrónica, el autor diseñó, imprimió y soldó las placas de circuito para sensores, microcontrolador y preamplificador, posteriormente programa el



microcontrolador para cargarle datos provenientes de un acelerómetro y sensor capacitivo montados en el arco. Utiliza una película piezoeléctrica conectada al preamplificador. Con la ayuda de una tarjeta XBee logra que los sensores en el arco se comuniquen con el microcontrolador inalámbricamente. (Setapen, 2010)

Constructor/desarrollador(es): **Adam Setapen**

Año: **2010**

Institución: **MIT Media Lab**

Fuente: (Setapen, 2010)

No. de cuerdas: **4**

Transducción: **Piezoeléctrico sobre diseño**

I/O: **LCD, acelerómetro en arco, sensores capacitivos**

Materiales: **Caoba, plástico impresión 3D, aluminio, grafito**

Software: **Processing**

Feral Cello



Producto de la colaboración de Tom Davies con la chelista Laura Reid este proyecto asume las perspectivas filosóficas del posthumanismo y postfenomenología, explora interacciones humano-máquina e interagencia dentro del performance musical y rechaza la postura del determinismo tecnológico (Davies, 2017).

Feral cello es un sistema cuyo diseño permite que el sonido acústico sea alterado en tiempo real por el instrumento mismo. Un transductor envía la señal acústica del violonchelo a una computadora con Max/MSP donde se procesará por sus características espectrales en el dominio temporal que posteriormente entrarán en una implementación del software del IRCAM *Gesture Follower*. Para presentaciones en vivo se graban previamente distintos gestos sonoros que contrasten su contenido espectral y que al momento de la presentación se buscará igualar; una vez igualados, el DSP aplica determinadas transformaciones al sonido a través de una interface gráfica manipulada y predefinida por el compositor. El audio procesado se transmite al instrumento mediante actuadores dispuestos en diferentes puntos del cuerpo o puede reproducirse a través de bocinas para balancear el sonido acústico y la señal eléctrica procesada. El autor considera que este sistema, incluyendo el patch de MAX y el violonchelo acústico son un solo instrumento aumentado híbrido. Este sistema está diseñado principalmente para la improvisación.

Constructor/desarrollador(es): **Tom Davies, Laura**

Reid

Año: **2017**

Institución: **Bournemouth University, UK.**

Fuente: (Davies, 2017)

No. de cuerdas: **4**

Transducción: **Piezoeléctrico en puente**

I/O: **Actuadores, bocinas externas**

Software: **MAX/MSP**

Svampolin

Es una propuesta híbrida acústico-electrónica similar en lógica instrumental, sensación y cuerpo al violín, pero que no busca emular o representar el sonido acústico de este. Este instrumento con cuerpo de *stick*, es decir, el cuerpo necesario sólo para montar las cuerdas, el puente y diapasón, sin caja de resonancia. En este cuerpo se encuentran las 4 cuerdas, sus afinadores y el sistema de transducción electrodinámica (Pardue L. S., 2019). Para aprovechar la caja de resonancia, este instrumento es montado sobre el cuerpo de un violín acústico para transmitir la señal procesada electrónicamente.



El sistema de transducción, basado en el sistema *StringAmp* de Michael Edinger de MusikLab en Dinamarca, es electrodinámico, genera una señal a partir de la inducción eléctrica del campo magnético creado entre imanes de neodimio y cada una de las cuerdas, las cuerdas mismas funcionan como conductores del voltaje inducido al aterrizar en la cejilla superior del instrumento y en la parte inferior se conduce su voltaje a un preamplificador de bajo ruido. Los imanes están colocados debajo de las cuerdas, cerca del puente, de esta manera se toma la vibración horizontal de la cuerda más que la vertical a lo largo de ella y con esto la vibración es más limpia que si tuviera mayor presencia la resonancia del puente o del resto del cuerpo del instrumento, creando mejores condiciones para la aplicación de modelos de análisis y facilitando una señal polifónica que toma cada cuerda individual.

La señal de salida, acondicionada por su preamplificador a 2 V, es procesada en tiempo real por la microcomputadora interna Bela mini. Esta computadora es alimentada por una batería externa y trabaja a 44 kHz y 16 bits. Tras el procesamiento digital, la señal se

conduce a la caja de resonancia acústica a través de un chip amplificador de audio y un transductor vibratorio de 30 W colocado cerca de donde estaría el puntal del violín con las “f” boca abajo para mejor radiación del sonido. La vara/violín eléctrico se monta también a la caja de resonancia con correas y una pieza gruesa de espuma para mantenerlo fijo y aislar el sonido entre el transductor vibratorio y la vibración acústica de las cuerdas y no tener retroalimentación.

Constructor/desarrollador(es): **Laurel S. Pardue,**

Slawomir Ganiec

Año: **2019**

Institución: **Aalborg University, Copenhagen.**

Fuente: (Pardue & al., 2019)

No. de cuerdas: **4**

Transducción: **Electrodinámica, imanes de neodimio**

I/O: **Actuadores de transducción D/A Tectonic.**

Software: **Bela IDE**

Banjela



Este banjo aumentado de cinco cuerdas, desarrollado por Jonathan Reus en el Laboratorio de Instrumentos Aumentados en C4DM⁷⁵ de Londres, tiene como propósito explorar técnicas extendidas tanto digitales como performáticas (Reus, 2019). Fue construido DIY de un kit de la tienda Backyard Music⁷⁶, incluye sensores magnéticos Magpick, la tarjeta Bela y sus sensores táctiles prototipo Trill. Los sensores magnéticos fueron montados en el parche del instrumento para recibir datos del pulgar derecho en rasgueos y golpeteos, mientras que los sensores táctiles Trill se ubicaron en el brazo, cerca de la unión con la caja resonante y sobre ella. En cuanto a la transducción del sonido analógico del instrumento,

75 <https://c4dm.eecs.qmul.ac.uk/>

76 <https://www.backyardmusic.com/banjos.html>

tiene un sistema híbrido: una parte electrodinámica basada en el sistema recientemente visto con el Svampolin de Laurel Pardue y en el sistema StringAmp de Michael Edinger; la otra parte usa piezoelectricidad a través de un transductor detrás del puente para capturar el sonido acústico del instrumento. Dentro del Banjela se encuentra una tarjeta Bela mini que recibe las señales de las 5 cuerdas individuales y los 3 sensores magnéticos en sus 8 entradas analógicas, mientras que los sensores Trill se conectan a la tarjeta mediante tecnología I2C, encaminando estas señales a diferentes rutinas de síntesis y procesamiento escritas en SuperCollider y cargadas en la Bela; por otro lado, el transductor piezoeléctrico se conecta a una entrada de audio estéreo de la tarjeta con mayor resolución que los pines analógicos antes mencionados. Todas estas características hacen un instrumento híbrido completamente autónomo al conectarse a una batería USB o si es el caso, conectarse a cualquier ordenador a través de USB para reprogramar en tiempo real y hacer live coding. Finalmente, la salida de audio es estéreo con un Jack de 3.5 mm.

Constructor/desarrollador(es): **Jonathan Reus**

Año: **2019**

Institución: **Augmented Instruments Lab, C4DM, Londres.**

Fuente: (Reus, 2019)

No. de cuerdas: **5**

Transducción: **Híbrida: electromagnética, piezoeléctrica.**

I/O: **Sensores táctiles Trill en brazo y caja, sensores magnéticos en parche.**

Materiales: **Madera, acrílico, impresión 3D.**

Software: **Super Collider, Bela IDE**

Knurl

Este instrumento híbrido fue creado y dirigido por Rafaele Maria Andrade, junto a un equipo de colaboradores, durante sus estudios en el Real Conservatorio de La Haya, en Holanda. De forma cónica, está construido con plástico reciclado impreso en 3D, tiene 16 cuerdas, dos pares de bocinas estéreo montadas en el cuerpo del instrumento, además de que la forma cilíndrica del brazo funciona como caja de resonancia. En la base del instrumento, una caja aloja los tensores de las cuerdas y el circuito que incluye una tarjeta programable Bela que realiza las funciones del procesador de audio. En su parte externa tiene 16 paneles solares que durante presentaciones



funcionan como sensores de luz y para recargar dos baterías recargables que alimentan el microcontrolador y circuitos internos. Está autocontenido, no necesita dispositivos externos para funcionar. En las cavidades formadas por la geometría del brazo 8 botones capacitivos conmutan diferentes programas y opciones del instrumento. En el arco se monta una pantalla OLED funcionando como consola de control de los procesos. El instrumento tiene cuatro modos de funcionamiento: síntesis, detección, programación y analógico, todos contenidos y accesibles desde el microcontrolador. Es completamente reprogramable, tanto para live coding como patches de procesamiento, la autora propone interacción remota de audiencia o colaboradores mediante conexión wi-fi y protocolo OSC (Andrade, 2020).

Constructor/desarrollador(es): **Rafaele Andrade**

Año: **2018**

Institución: **Koninklijk Conservatorium, Den Haag, Netherlands**

Fuente: (Andrade, 2020)

No. de cuerdas: **16**

Transducción:

I/O: **Botones capacitivos, bocinas estéreo, sensores de luz, paneles solares**

Materiales: **PTEG reciclado**

Software: **Bela, SuperCollider**

Mientras que los ejemplos que acabamos de revisar son propuestas altamente personalizadas cuyo valor se estima en un contexto académico, los siguientes instrumentos son opciones dirigidas a un público mayor, productos comerciales cuyos avances tecnológicos rodean la emulación del sonido acústico del violonchelo y aprovechan la producción a gran escala. Se incluyeron las marcas y modelos con mayor proyección comercial por ser estos los de mayor investigación y desarrollo tecnológico y, en algunos casos, con vigencia de patentes.

Violonchelos comerciales

Zeta Cello



Los violonchelos eléctricos de Zeta Violins vienen en versiones de 4 y 5 cuerdas, en ambos casos montadas sobre un puente Strados, patentado por la marca. Este puente tiene altura regulable y consta de 5 o 4 “dedos” donde se coloca un piezoeléctrico dual para cada cuerda, con la posibilidad de manipular su volumen individual gracias al preamplificador en el interior del instrumento. Si se desea, se puede conectar a procesadores digitales con

aplicaciones MIDI con un canal diferente por cuerda.

Marca: **Zeta Violins**

Fabricado en: **EUA**

Fuente: <https://zetaviolins.com/catalog>

No. de cuerdas: **4, 5**

Transducción: **Piezoeléctrico**

Particularidades: **Puente Strados con preamplificador, posibilidad MIDI**

Series 2000 Polyphonic cello

El constructor Eric Jensen (Jensen-website) ofrecía una variedad de violonchelos eléctricos de autor, bajo pedido y altamente personalizados. Su construcción, a manera de laudero tradicional, paró en 2017 debido a su fallecimiento, por lo que se pueden encontrar pocos instrumentos con su



nombre. Además de los aspectos generales en la construcción personalizada como tipos de madera, acabados y barnices específicos, ofrecía opciones como:

- 4, 5 y 6 cuerdas
- Tres modelos con cuerpos diferentes: Standard, Air Travel y Orion
- Transducción piezoeléctrica monofónica con múltiples sensores por cuerda en colaboración con Richard Barbera o polifónica con salida individual para cada cuerda y polifónica con opción MIDI para controlar sintetizadores, samplers u otros dispositivos a través de convertidores *pitch-to-MIDI* ofrecidos por marcas como Yamaha, Roland, Axon o ZETA.
- Sistemas electrónicos Wireless
- Accesorios para ampliar el largo de las cuerdas graves, injertos para digitación extendida, etc.
- Atriles para montar el instrumento o correas para sujeción al cuerpo
- Electrónica montada en el instrumento y bahía de parcheo externa para flexibilizar la salida polifónica a gusto del intérprete.

Constructor: **Eric Jensen**

Fabricado en: **Seattle, E.U.**

Fuente: <https://web.archive.org/web/20050121024421/http://dslweb.nwnexus.com/jensmus/celloop.htm>

No. de cuerdas: **4, 5, 6**

Transducción: **Piezoeléctrico individual por cuerda**

I/O: **MIDI mediante dos sensores por cuerda, puede controlar hardware diverso usando el convertidor pitch-to-midi, compatible con procesadores Roland. Ofrecen una matriz de parcheo y mezclador para ampliar opciones de control de señales y audio**

Silent Cello



Dentro de la serie Silent de la marca japonesa Yamaha se pueden encontrar guitarras, violines, violonchelos y contrabajos eléctricos. Los modelos SVC50, SVC110 y SVC210 (de izquierda a derecha en las siguientes imágenes) son las opciones de violonchelo eléctrico y estas se dirigen a diversos perfiles de usuario y presupuestos. El largo de cuerda de los tres modelos es de 4/4, tienen cuatro cuerdas, jack para audífonos, selector de reverberación digital, control de volumen, Jack y control de volumen de entrada auxiliar y montan sensores piezoeléctricos y Jack de salida de audio para su amplificación. El SVC50 y SVC210 tienen secciones de rodilla y pecho retractiles para favorecer un transporte compacto, siendo el SVC50, el instrumento de menor precio. Los SVC110 Y SVC210 albergan en el interior de sus pequeños cuerpos de madera un espacio hueco para dar un poco más de profundidad al sonido. La versión más costosa y con mayor calidad de sonido es la 210, en la página web de Yamaha se incluye en su descripción que fue desarrollado “en cooperación con algunos de los mejores chelistas del mundo” (Yamaha-Silent).

Marca: **Yamaha**

Fuente: https://mx.yamaha.com/es/products/musical_instruments/strings/silent_series/index.html

No. de cuerdas: **4**

Transducción: **Piezoeléctrico**

Particularidades: **Ajustes de reverberación integrado, jack para audífonos, los modelos SVC210 Y SVC50 se pliegan para un transporte compacto**

NS Design

Los violonchelos de la marca NS Design se dividen en tres series: CR, gama alta; NXTa, gama media y WAV, gama de entrada. Estos instrumentos ofrecen la posibilidad de regular la altura del puente y la tensión de las cuerdas. Todos incluyen el método de transducción “Polar Pickup System”, patentado por la marca (NS Design). Este método distingue entre tocar pizzicato o con el arco mediante una palanca selectora. En la versión más económica se encuentran controles de



volumen y tono, mientras que en las versiones más costosas se observan circuitos activos con perillas de filtro de frecuencias agudas y graves. También se puede seleccionar entre violonchelos de 4, 5 y 6 cuerdas, con o sin trastes en el diapasón.

Como se puede observar en la imagen, el diseño de estos instrumentos es más semejante a una guitarra que a un violonchelo, por lo que ofrecen distintos medios para soporte y sujeción: bastones con espigas para apoyar sobre el suelo (a la manera del violonchelo acústico), tripies retráctiles, correas para colgarlo al torso del ejecutante y otros accesorios diversos para adaptar el instrumento a las necesidades del usuario.

Marca: **NS Design**

Fabricado en: **República Checa e India**

Transducción: **Polar System (sistema**

piezoeléctrico patentado)

Fuente: <https://thinkns.com/>

No. de cuerdas: **4, 5, 6**

Particularidades: **Ajuste de elevación en puente, con o sin trastes, pasivo o activo con preamplificación**

Cobra Cello

El modelo Cobra de Wood Violins se ofrece con el cuerpo del instrumento hueco para aligerar su peso y en versiones de 4, 5 y 6 cuerdas, con trastes sin trastes o trastes fantasma (marcas sobre la madera que no interfieren con la continuidad del diapasón). El puente tradicional envía la vibración de las cuerdas a un sistema piezoeléctrico Barbera con dos transductores por cuerda. En la imagen se presenta el modelo King Cobra con apoyos para piernas y pecho, espiga y silueta para emular un cuerpo acústico.

Marca: **Wood Violins**

Fabricado en: **EUA**

Fuente: <https://www.woodviolins.com/cobra/>

No. de cuerdas: **4, 5, 6**

Transducción: **Barbera multipiezo**

Particularidades: **Con o sin trastes, cuerpo hueco**



Anexo 3. Catálogo de procesadores/sintetizadores

Se analizaron poco más de 30 dispositivos comerciales de este tipo, pero se incluyen las reseñas de un puñado de ellos por ser los que, desde el punto de vista de esta investigación, resultan más interesantes y afines a lo que se propone en este texto.

C4 Synth, Source Audio

https://www.sourceaudio.net/c4_synth.html

Source Audio lanzó el C4 synth para bajo y guitarra en 2019. Este es un pedal que pretende ser una alternativa de síntesis modular polifónica con base y características similares al Eurorack. La interface de usuario tiene un switch y 4 perillas programables. De fábrica tiene 6 ajustes de síntesis precargados; sin embargo, se pueden usar las aplicaciones de escritorio y móvil que la marca ofrece para que el usuario modele sus propios sonidos. Dentro de la



aplicación es posible modelar hasta 4 osciladores individuales incluyendo formas de onda senoidales, cuadradas, diente de sierra, efectos de distorsión, ecualización, filtrado, LFO, envolventes y síntesis FM, modulación AM y de altura, arpegiadores y panoramizadores para mezclarse entre ellos y con el sonido analógico del instrumento. Es polifónico. Además de las perillas de control programable en el cuerpo del pedal, se incluye un Jack de entrada para pedales de expresión y mediante MIDI se pueden expandir y modificar los 6 bancos disponibles hasta 128. La aplicación móvil ofrece descarga de diseños sonoros creados por la comunidad de usuarios además de los desarrollados por la marca.

Data Corrupter, Earthquaker Devices

<https://www.earthquakerdevices.com/data-corrupter>

Es un pedal armonizador monofónico de tres voces basado en un circuito integrado PLL (Phase-Locked Loop), es decir, toma la señal de entrada y compara su frecuencia y fase con un oscilador, generando una señal proporcional a la diferencia entre las dos y, con esta, alimenta un oscilador; al estar este oscilador siempre amarrado a la frecuencia de entrada, se produce una frecuencia



sintetizada. El oscilador en su primer paso genera una onda cuadrada que se envía y multiplica o divide en un generador de subarmónicos y un oscilador maestro con perillas selectoras a distintos intervalos de 2ª, 3ª, 5ª, 7ª y diferentes octavas de la frecuencia de entrada. Después de esta secuencia, la señal se puede enviar a un modulador de frecuencia donde se encuentra una perilla de ajuste de cantidad de modulación y un switch que selecciona si se genera vibrato o deslizamiento entre la frecuencia portadora y moduladora.

Enzo, Meris

<https://www.meris.us/product/enzo/#featurespecs>

Es un sintetizador polifónico con cuatro opciones disponibles: polifonía, detectando acordes; monofonía, sigue notas individuales con un oscilador dual; arpegiador, armando secuencias según lo tocado y dry que, aunque no procesa sonido sintetizado, deja disponibles opciones de filtrado y cambio de altura. Se encuentran perillas modificando



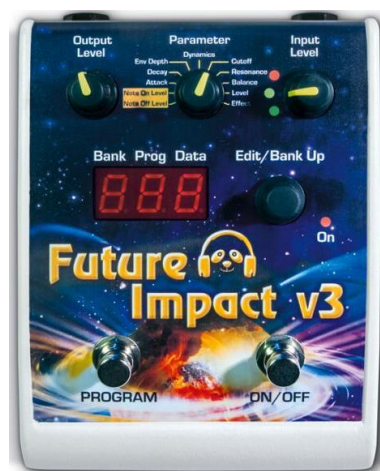
parámetros como: cambio de altura, desde -2 y -1 octava, cambios por semitono, hasta +1 y +2 octavas; 6 tipos de filtro, desde pasa bajos, pasa banda y pasa altos; cantidad de modulación de anillo, ajuste de sustain para la señal limpia y sintetizada; filtro de envolvente con ataque y decaimiento regulable y mezcla; botón Alt que accede a otros

modificadores para cada perilla mencionada y switch TAP que ajusta tiempo de delay y arpegiador. La salida es estéreo e incluye un Jack multipropósito con 4 modos de operación: pedal de expresión, botón TAP, botón de 4 presets y MIDI. Convierte la señal analógica a digital y viceversa a 24 bits y su procesador digital de señales opera a 32 bits flotantes.

Future Impact v3, pandaMIDI

<http://pandamidi.com/bass-guitar-synth/>

Este dispositivo es un sintetizador virtual dirigido principalmente al bajo, aunque puede funcionar también con guitarra, teclado e instrumentos eléctricos de viento. Tiene un banco de 99 diseños sonoros de fábrica optimizados para los instrumentos antes mencionados; estos son modificables desde una aplicación para ordenadores, esta aplicación está construida como un sintetizador modular virtual, con 4 módulos VCO con ondas cuadradas, triangulares y diente de sierra y opciones complementarias de modelado, VCF, VCA, envolventes ADSR, MIDI, diversos tipos de LFO, distorsiones y los efectos normalmente usados como EQ, phaser, chorus, flanger, reverb, delay, armonizadores, etc. Expandiendo el modelado general de los bancos, se ofrecen 4 perillas Flexi Controller que se encargan de modificar en tiempo real los parámetros que se deseen. La descarga de la aplicación contiene una carpeta donde se pueden descargar diseños creados por su comunidad. En el chasis del pedal se encuentran dos footswitch para encendido y seleccionar preajustes, perilla de volumen de entrada y otra de salida, un selector de bancos cuya doble función permite controlar parámetros predefinidos y seleccionables en una perilla en la parte superior del chasis, la pantalla digital ayuda a la navegación a través de los bancos y parámetros. Los convertidores A/D, D/A trabajan a 24 bits con el procesador interno trabajando a 32 bits.



M3, Subdecay

<https://subdecay.com/effect/m3-guitar-synthesizer>

Sintetizador monofónico de tres osciladores digitales para guitarra. Basado en el MS-20 de Korg. Tiene una perilla con 11 combinaciones de sonidos, producto de la mezcla entre ondas cuadradas y diente de sierra de los osciladores, una perilla de algoritmos selecciona una modulación entre 11 disponibles con filtros, LFO, emuladores de amplificación, PWM, envolventes, entre otros y una perilla de parámetros altera la modulación seleccionada y perillas de resonancia del filtro y volumen general.



Micro Synth, Electro Harmonix

Este es un pedal analógico con versiones para guitarra⁷⁷ y bajo,⁷⁸ teniendo la misma disposición y características con pocas diferencias entre ellos. Los controles están en forma de potenciómetros deslizables, las opciones de procesamiento son: cuatro voces (pudiéndose mezclar a gusto), un deslizador



trigger que ajusta la sensibilidad del efecto sintetizado, un retraso de ataque que provoca efectos de fade in o crescendo; por último, una sección de filtrado de frecuencias con control de resonancia, frecuencia de entrada y salida que crean un efecto de wah y una perilla que ajusta el cambio entre estas frecuencias.

77 <https://www.ehx.com/products/micro-synthesizer>

78 <https://www.ehx.com/products/bass-micro-synthesizer>

Moutarde Extra Forte, Glou Glou

<https://glou-glou.org/moutarde-extra-forte/>

Este es un fuzz basado en 4 integrados PLL osciladores de onda cuadrada. La característica saturada del sonido de este pedal se puede modular mediante 4 filtros de resonancia con controles de frecuencia de corte, resonancia y cantidad de modulación y es aplicable a la señal de entrada limpia, a un PLL y al fuzz generado por un transistor PNP. Uno de los PLL controla la sensibilidad de



la señal entrante y qué tanto se adhiere a ella para su ataque, una perilla y selector laterales generan glissando entre notas y limitan el rango de respuesta de la altura del sonido producido. Este pedal permite la transposición de la señal a través de diferentes octavas e intervalos y una perilla conmuta entre las diferentes posibilidades entre estas transposiciones y procesos. Se incluye un LFO y una modulación de amplitud para ajuste de envolventes de ataque y decaimiento. En controles externos encontramos un Jack para pedal de expresión que también se puede utilizar como CV y una resistencia fotosensible que controla la velocidad de la modulación y el LFO justo a un lado del footswitch.

Organelle, Critter & Guitari

<https://www.critterandguitari.com/organelle#overview>



Según sus desarrolladores, es una computadora musical. El Organelle empaqueta una gran cantidad de

instancias de procesamiento y síntesis de audio además de una bocina, micrófono, conectores MIDI y un alojamiento para cuatro baterías AA para autonomía. Trabaja con patches de Pd, haciendo posible cargar al instrumento secuenciadores, samplers, cajas de ritmos, efectos de todo tipo, procesadores de audio que pueden actuar sobre instrumentos

externos mediante su entrada de audio estéreo. Los programas pueden descargarse de la página oficial de Organelle, aunque los desarrolladores promueven que el usuario diseñe sus propios programas en Pd. Los sintetizadores digitales, con diversas formas de onda y técnicas de síntesis, tienen como método de entrada un teclado de madera de maple, mismo que se puede usar para disparar muestras de audio, secuencias, etc., cuatro perillas de control que cambian su comportamiento según el programa cargado y una pantalla OLED para facilitar la navegación por los diferentes programas. Se incluyen conectores para pedal de expresión y salidas de audio estéreo para amplificación. Tiene una frecuencia de muestreo de 44.1 Hz a 16 bits. La tarjeta interna monta un procesador ARM Cortex A53 Quad-core 64-bit a 1.2GHz con 1GB de RAM corriendo Linux, está incluida una tarjeta microSD de 8GB partida para sistema operativo y programas. Como extras incluye una salida HDMI, conector de audífonos, dos entradas USB para carga de programas y controladores externos y conector eléctrico de pared.

OWL Pedal, Rebel Technology

<https://www.rebeltech.org/product/owl-pedal/>

Según su página web, este es un pedal de efectos programable diseñado para músicos, hackers y programadores, por lo que es de código y hardware abierto y está publicado bajo la licencia GNU GPL.⁷⁹ El pedal viene precargado con 40 *patches* (programas) de



todo tipo; sin embargo, se pueden encontrar y descargar gratuitamente más de 150 patches creados por la comunidad de usuarios y programadores desarrollados en Pd, MAX/MSP y Faust, incluyendo efectos de audio, máquinas de ritmos o sintetizadores polifónicos etc.

⁷⁹ Información y detalles tanto del código como del hardware se pueden encontrar en el repositorio <https://github.com/pingdynasty/OwlWare>

La tarjeta dentro del pedal es un microcontrolador con las siguientes características:

- ARM Cortex M4 de 32bit a 168MHz
- 192Kb de RAM y 1Mb memoria Flash
- Tiene un procesador de señales digitales (DSP), unidad de punto flotante (FPU) y acceso directo a memoria (DMA) integrados
- Su motor de audio trabaja a 24 bits con una frecuencia de muestreo de 48kHz con 3500 operaciones por muestra

En el chasis del pedal encontramos 4 perillas programables, jacks de entrada y salida estéreo, pedal de expresión y puerto micro USB MIDI. El pedal es autónomo al conectarlo a una fuente de 9 V vía USB o cable eléctrico.

Squaver P1+ y Convertor+, Sonicsmith

<https://sonicsmith.com/products/squaver-p1plus/>

El Squaver P1+ es un sintetizador semi modular analógico controlado por audio. Utiliza un oscilador de control de audio (ACO) y un circuito integrado Frequency Locked Loop (FLL) asistido digitalmente, se alimenta con una frecuencia de entrada y el FLL se amarra a ella para generar sonido. Es monofónico, con



ondas cuadrada y diente de sierra que se pueden mezclar, modular con PWM (Pulse Width Modulation), agregar sub armónicos y armonizar en diferentes intervalos y octavas. Una sección de filtrado brinda tres opciones: pasa bajos, pasa altos y pasa banda con controles de frecuencia, resonancia y



selección entre 12 y 24 dB. Control de envolventes a través de VCA, VCF o PWM, incluye un modulador de anillo, sidechain y otras características familiares con los sintetizadores modulares analógicos. Los tres botones para pie controlan la activación del sintetizador sobre la señal de entrada y los controles de CV internos del ACO y el sidechain.

A través de su bahía de parcheo es posible modular el sonido tanto interna como externamente. Un puerto para pedal de expresión permite alterar la señal con el octavador, filtro y armonizador. Es posible acondicionar la señal de entrada de audio con un filtro pasa bajos para evitar ruidos inconvenientes. Dentro de la familia de productos de esta marca se encuentra el ConVertor+ que es una versión más compacta y con menor cantidad de funciones pero que trabaja bajo el mismo principio que el Squaver; el ConVertor+ está más dirigido a complementar configuraciones modulares ya existentes para expandir posibilidades de CV.

Serie SY, Boss

https://www.boss.info/global/categories/guitar_synthesizers/



El SY-1000 es un pedal con opciones de modelado complejas. Se pueden guardar hasta 400 bancos configurables, asimismo se pueden mezclar distintos tipos de efectos y osciladores o configuraciones con hasta cuatro bancos paralelos, conmutando la

navegación y selección entre ellos. En el chasis de ambos pedales se encuentran botones y encoders rotatorios de edición para guardar en la memoria interna las preferencias del usuario y, como en otros pedales de la marca, un software de escritorio desde el cual es posible manejar extensamente estos bancos. Este pedal opera con



convertidores A/D y D/A a 24 bits y frecuencia de muestreo de 48 kHz y 32 bits. El SY-1000 tiene un Jack GK DE 13 pines, haciendo posible conectar a la guitarra el sistema GK de

Roland. Este incluye una pastilla que se monta directamente sobre el cuerpo de la guitarra o bajo con pequeños sensores para obtener la salida individual por cuerda y un conmutador funcionando como bahía de conexiones: la salida de audio mono de la guitarra, la pastilla polifónica, un selector de mezcla entre estas opciones, perilla de volumen y botones de navegación del dispositivo digital al que se conecta el sistema. Este sistema conectado al SY-1000 ofrece la posibilidad de múltiples procesos de síntesis ejecutándose paralelamente y captura y modificación de las cuerdas individuales para usar protocolo MIDI.

Synthotron II, Red Witch

<https://red-witch-pedals.myshopify.com/products/synthotron-ii>

Este es un pedal que incluye un oscilador analógico dual en dos canales con controles individuales de volumen, cambio de octava y decaimiento. Después de estos, un modulador de amplitud con rango variable, un filtro de banda y sample and hold. Estos osciladores y procesadores son modulares, es decir, se pueden activar y desactivar individualmente para dar flexibilidad al modelado.



ZOIA, empres

<https://empresseffects.com/products/zoia>



La marca define ZOIA como un sintetizador modular en forma de pedal donde, en lugar de ser un pedal de efectos, provee el sintetizador y procesador necesario para construir tus efectos. Contiene más de 80 módulos utilizables y organizados en módulos de interface, audio, CV y análisis y más de 20 efectos preprogramados y espacio de almacenamiento de 64 programas que se pueden compartir

y descargar con su comunidad a través de la plataforma patchstorage.⁸⁰ Se puede utilizar con entrada de audio desde guitarra u otro instrumento analógico, controladores MIDI y como sintetizador autónomo gracias a la flexibilidad de los módulos. Su interface es muy característica al optar por una matriz de 5x8 botones almohadilla con retroiluminación RGB donde se presentan todas sus opciones posibles y representan los módulos utilizados, sus parámetros modificables y la cadena de la señal. Para facilitar la comprensión de esta matriz, se incluye una pantalla OLED donde se navega a través de los módulos y efectos cargados en el dispositivo, estos están organizados dependiendo de su función. Un encoder rotatorio y cuatro botones más nos ayudan a seleccionar y movernos por las opciones para agregarlas a la cadena y modificarlas. Con tres footswitches conmutamos la activación del pedal y la navegación y selección entre programas predefinidos, útil para presentaciones en vivo. Tiene entrada y salida estéreo, MIDI IN, OUT, Jack de control externo y ranura para tarjeta SD, incluida por el fabricante para actualización de firmware y carga o sustitución de programas al dispositivo.

⁸⁰ <https://patchstorage.com/platform/bela/>