Controlador MIDI para Guitarra Eléctrica

Rafael Rebolleda
Grado Multimedia
75.663 TFG Arduino

Antoni Morell Pérez
Pere Tuset Peiró

10 de Junio de 2018

Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 España de Creative Commons

FICHA DEL TRABAJO FINAL

Título del trabajo:	*Controlador MIDI para Guitarra Eléctrica*
Nombre del autor:	*Rafael Rebolleda Muñoz*
Nombre del consultor/a:	*Antoni Morell Pérez*
Nombre del PRA:	*Pere Tuset Peiró*
Fecha de entrega (mm/aaaa):	06/2018
Titulación::	*Grado Multimedia*
Área del Trabajo Final:	*75.663 Arduino*
Idioma del trabajo:	Español
Palabras clave	*MIDI, Controlador, Instrumento*

Resumen del Trabajo (máximo 250 palabras): *Con la finalidad, contexto de aplicación, metodología, resultados i conclusiones del trabajo.*

El proyecto explora las posibilidades de integración de un controlador MIDI en una guitarra eléctrica para dotarla de unas posibilidades expresivas, en términos de control de parámetros en tiempos real, similares a otros instrumentos contemporáneos como sintetizadores o superficies de control. Apoyada en la especificación oficial del estándar MIDI y las características nativas de la plataforma arduino, la aproximación metodológica tiene una vocación eminentemente práctica que culmina con la implementación de un prototipo completamente integrado y funcional en una guitarra comercial con mínimas modificaciones.

Abstract (in English, 250 words or less):

The project explores the available possibilities to integrate a MIDI controller in an electric guitar, so as to provide the player with the same expressive possibilities, in terms of real time control of parameters, as other contemporary instruments like synthesizers and control surfaces. Built upon the official and standard MIDI spec, as well the native capabilities of the arduino platform, the methodological approach is eminently practical, leading up to an actual fully functional, completely integrated implementation in an off-the-shelf guitar with minimum modifications.

Índice

Introducción 7
- Contexto y motivación 7
  - La guitarra eléctrica en el panorama musical y tecnológico contemporáneo 7
  - Necesidades del guitarrista en estudio y en directo 8
  - ¿Qué es MIDI? 8
  - Fundamentos del protocolo 9
  - Un caso concreto: Cambio en Controlador 9
  - Circuito de conexión MIDI OUT 11
  - Incomprensión y mitos populares. 11
- Pioneros 12
  - Casio MIDI Guitar 12
  - Guitarras MIDI Yamaha 13
  - Zivix Jamstik 13
- Equipamiento contemporáneo compatible con MIDI 14
  - Pedales independientes 14
  - Multiefectos 15
  - Software 15
  - iPad 17
  - Otros accesorios 18
- Superficies de Control 18
  - Pedaleras MIDI 18
  - Controladores MIDI inalámbricos 19

Propuesta conceptual 21
- Algunos casos de uso 21
  - Control de los parámetros del amplificador 21
  - Modificación de parámetros de los efectos en tiempo real. 21
  - Control de parámetros en equipamiento virtual 21
- Principios de diseño 22
  - Ergonomía 22
  - Estética 22
  - Estándares 23
- Factibilidad 23
- Innovación 23

Planteamiento del Proyecto 24
- El mueble 24
  - Una opción popular 24

Limitaciones de espacio 24
Interfaz 25
Opciones de alimentación 25
Esquema de funcionamiento 25
Elección de la placa 25
Criterio 25
Principales alternativas 26
Aproximación 27
Factibilidad empírica 27
Instalación 27
Pruebas finales y documentación 28

Desarrollo del Proyecto 29
Pruebas de concepto 29
Pulsador / Interruptor 29
Potenciómetro 29
Conexión y mensajería MIDI 30
Pruebas de los componentes finales 32
Pulsador 32
Potenciómetros 33
Alimentación 33
Montaje inicial 34
Liberando espacio interno y reconfiguración de controles 34
Conexiones 35
Pruebas 36
Montaje final 38
Aislamiento 39
Soporte para la placa 39
Pruebas 41
Monitorización De Mensajes Midi Con La Aplicación Midi Monitor 41
Control Mediante Los Pulsadores Del Botón “Solo” En Las Pistas De Ableton Live 41
Control De Parámetros De Un Instrumento Virtual En Ableton Live 41
Control De Parámetros En El Multiefectos Line6 Helix. 42
Tabla de implementación MIDI 43
Resultado final 43

Casos de Uso 45
Control de parámetros de un efecto 45
Control de varios parámetros simultáneamente 46
Registro de la automatización en estudio de grabación 46

Conclusiones 49
Rendimiento 49

Botones 49
Potenciómetros 49
Mensajes MIDI 49
Batería 49
Elecciones 49
Instrumentos 49
Conexiones 50
Placas arduino 50
IDE 50
Software 50
Posibles Desarrollos Futuros 51
Viabilidad de Productización 52
Costes 52
Facilidad de instalación 53
Kit 53

ANEXOS 54
1. Tabla de implementación estándar MIDI 1.0 54
2. Relación de Muestras de Audio y Vídeo 57

Referencias 58
The Complete MIDI 1.0 Detailed Specification 58
MIDI DIN Electrical Specification 58
Make: Learn to solder 58
Getting started with soldering 58
Arduino: A Quick Start Guide 58
Make: Basic Arduino Projects 58
Make: Electronics 58
Make: More Electronics 58
Basic electronics for Arduino makers 58
Encyclopedia of Electronic Components, Vols. 1, 2 & 3 58
The Hardware Startup 58
Arduino Playground - MIDI Library Reference 58
Librería MIDI for Arduino 58
Documentación: Arduino MIDI Library v. 4.3.1 59
The Language of New Media 59

Introducción

Contexto y motivación

La guitarra eléctrica en el panorama musical y tecnológico contemporáneo

La guitarra eléctrica, como instrumento analógico, no ha evolucionado prácticamente nada desde su industrialización en los años 50. Esto quiere decir que tecnológicamente y —sobre todo— expresivamente es en esencia el mismo instrumento.

Sin embargo, la instrumentación ha visto en esa misma época el nacimiento de los sintetizadores y de la informática musical (y general, en verdad), que no parecen haber tenido ningún impacto en la guitarra eléctrica y sin embargo han afectado profundamente otros instrumentos clásicos como el piano.

Lo que sí ha avanzado notablemente es el ecosistema alrededor de la guitarra y el guitarrista. Muchos efectos están basados en procesadores digitales, como lo son en la práctica totalidad los entornos de grabación y producción. Incluso en el mercado de la amplificación, que durante décadas se ha resistido también a esta tendencia, han implementado muchas más soluciones y controles digitales que en las guitarras.

Necesidades del guitarrista en estudio y en directo

A diferencia de un teclista o un baterista, por poner dos ejemplos de instrumentos populares que están muy al día en términos de tecnología musical contemporánea, el guitarrista está muy limitado a la hora de explotar las opciones de expresividad que el mercado ha puesto a su disposición a lo largo de las últimas décadas a través de multitud de equipamiento físico y virtual.

Sin duda, entre estas opciones una de las más importantes es modificar parámetros de su equipo en tiempo real, como parte de la interpretación. Otra necesidad muy común es la de cambiar de sonidos para distintos momentos de un tema. Ambos escenarios se pueden solucionar fácilmente mediante el uso de un controlador MIDI, siempre que esté cerca del lugar donde ocurre la interpretación físicamente (las partes de interacción de la guitarra) y no haya que dejar el instrumento o desplazar las manos lejos de éste.

MIDI en el contexto de la guitarra eléctrica

¿Qué es MIDI?

MIDI es el acrónimo inglés de , y se trata de un estándar concebido en 1981 por Ikutaro Kakehashi, fundador de Roland (líder en el mercado de equipamiento musical de todo tipo) y publicado en 1983 junto con otros fabricantes con el fin de facilitar la interoperabilidad entre instrumentos y equipos musicales de distinta índole y marca.

Hasta la fecha, no había una manera unificada para que distintos equipos se comunicaran. Los dos métodos más comunes eran el control analógico por voltaje, usado en muchos sintetizadores de la época y presente hasta nuestros días pero con un interpretación particular en cada equipo, o el de Roland, que de hecho fue la base para MIDI.

Mediante MIDI, un equipo puede enviar y recibir mensajes como notas, información sobre la expresividad, modulación, etc. además de una serie de mensajes de control como el tempo o el cambio de cualquier parámetro de sonido o configuración del equipo..

Así, es posible —entre muchas otras cosas— programar una partitura para orquesta y que diversos dispositivos generadores de sonidos reproduzcan los mismos acordemente. Otro uso muy común es sincronizar automáticamente efectos de iluminación con una función musical.

En realidad las posibilidades son infinitas, pues es un sistema muy abierto que cumple los principios de los nuevos medios en los términos propuestos por Manovich en .

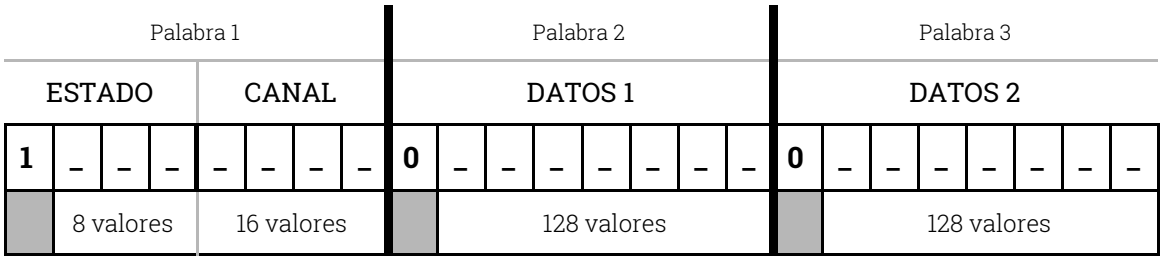
[1] Manovich, L. p.27+. 2001 MIT Press

Fundamentos del protocolo

En el anexo hay información detallada sobre la tabla de implementación estándar MIDI, pero vamos a ver algunas características del protocolo para entender su rol y adecuación en el contexto de este proyecto.

En esencia, se trata de un **protocolo de comunicación en serie a 31.250 kbits/s**, cuyos mensajes están conformados por tres palabras de 8 bits, de los cuales el primero denota el tipo de palabra (si es de "estado" o "datos"), acompañados de unos bits de principio y fin de palabra. Los mensajes se pueden organizar por canales, de manera que distintos equipos puedan seleccionar o descartar mensajes según sea conveniente. En MIDI, **el valor por defecto de la línea (en ausencia de transmisión) es de 5V.**

ANATOMÍA DE UN MENSAJE MIDI



Aunque existe una especificación general y varias extensiones de la misma, típicamente, cada dispositivo con capacidad MIDI se acompaña de una que describe a qué mensajes responde y en general cómo efectúa y/o interpreta la comunicación.

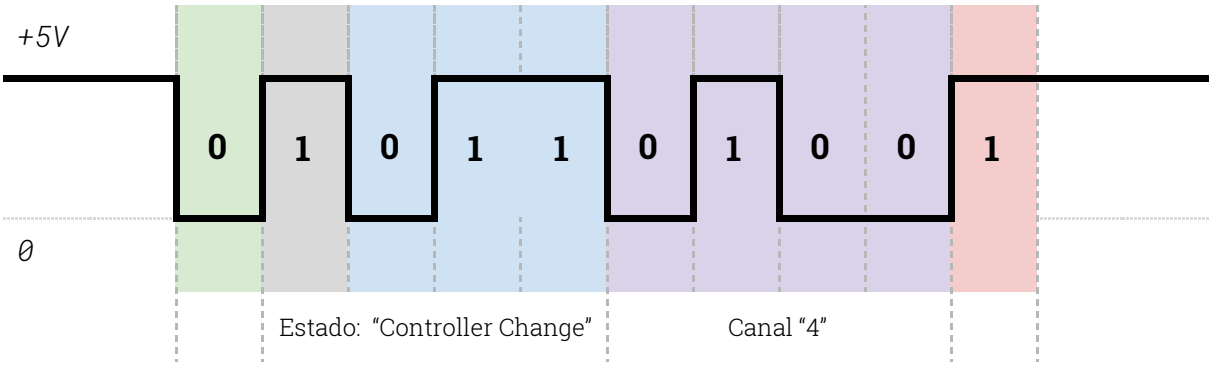
Un caso concreto: Cambio en Controlador

Como veremos más adelante, un mensaje relevante para el proyecto es el Cambio en Controlador. Imaginemos un fragmento de una tabla de implementación como la siguiente:

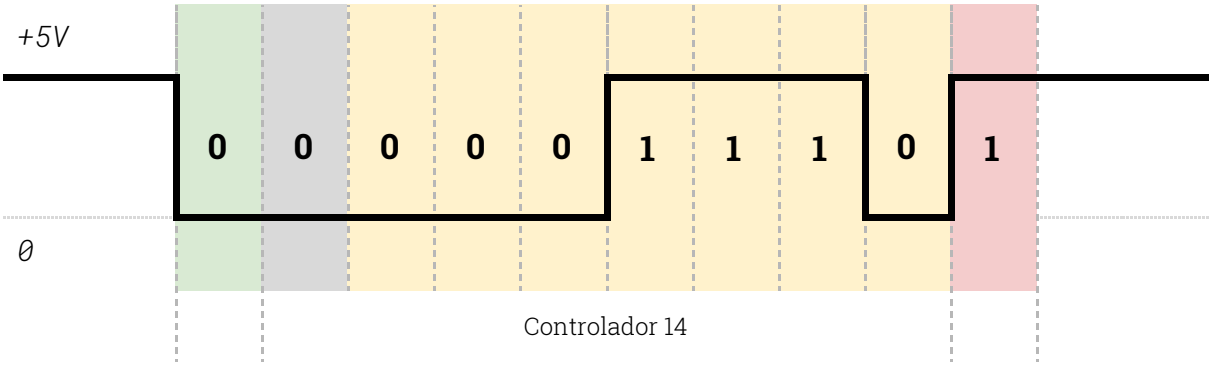
Estado	Datos 1	Datos 2	Mensaje	Parámetros		
1001NNNN	0KKKKKKK	0VVVVVVV	Note On	N= Canal	K = Nota	V = Velocidad
1011NNNN	0CCCCCCC	0VVVVVVV	Controller Change	N = Canal	C = Controlador	V = Valor
1100NNNN	0PPPPPPP	–	Program Change	N = Canal	P = Preset	

Veamos cómo codificar un mensaje como el destacado según el protocolo MIDI, en concreto el siguiente:

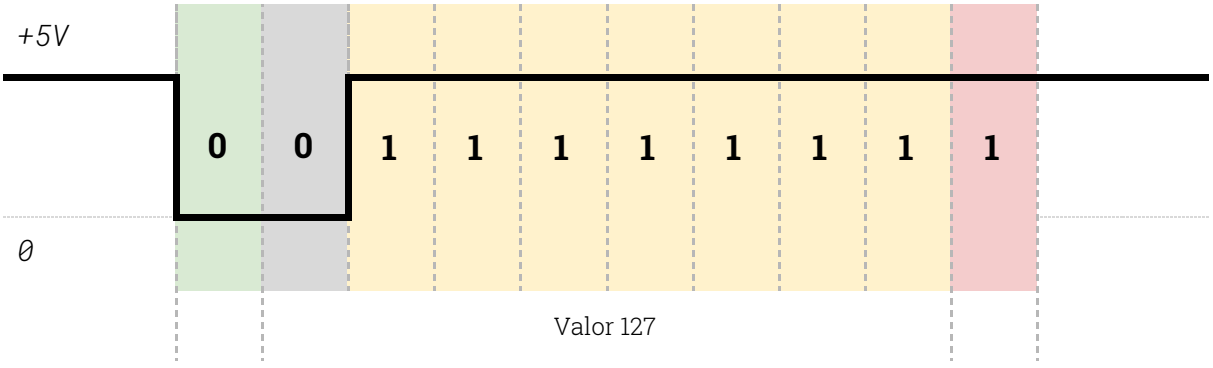
La primera palabra será un mensaje de estado:



La segunda palabra será el primer bloque de datos, que según la tabla de implementación se refiere al número de controlador que queremos cambiar::

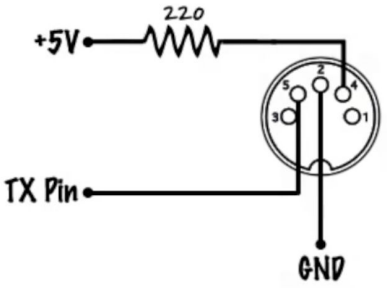


La tercera y última palabra es el valor que queremos asignar a dicho controlador, en este caso 127. En muchas ocasiones, cuando se quiere utilizar un controlador para encender o apagar alguna funcionalidad del equipo, se utilizan respectivamente los valores 127 y 0.



Como veremos más adelante, este protocolo de comunicación y su implementación de entrada y salida serán la base del controlador MIDI para guitarra eléctrica objeto de este proyecto.

Circuito de conexión MIDI OUT



Incomprensión y mitos populares.

Una de las desafortunadas realidades de la relación entre guitarras eléctrica y MIDI, pendiente de saber si es causa o efecto, es el mal uso de la terminología.

Es frecuente, por ejemplo, hablar de cuando en realidad a lo que se está refiriendo la persona (¡o incluso el fabricante!) es a una pastilla magnética tradicional compuesta de salidas independientes para cada cuerda que posteriormente, en software, son convertidas mediante análisis de frecuencias —y en general con poco éxito— en notas independientes susceptibles de ser enviadas vía MIDI.

En cualquier caso es cierto que en la mayor parte de los casos, cuando un guitarrista habla de MIDI en el contexto del instrumento y no del equipamiento accesorio (pedaleras, efectos, etc, como veremos más adelante) a lo que se refiere es a la conversión de una señal de audio en una MIDI con la información de las notas.

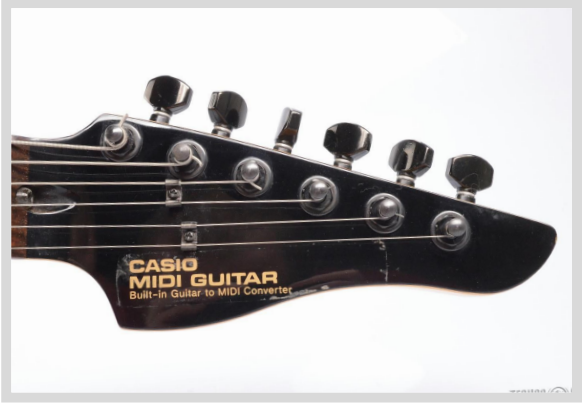
De hecho hay varios productos en el mercado que trabajan en esta línea, como el Fishman Triple Play[2], similar a la Roland GK y al que, para liarlo todo un poco más, la compañía se refiere como "Controlador MIDI". Técnicamente lo es, pero su función es la de convertir la señal de tono en notas MIDI, no controlar parámetros.

Thomann[3], probablemente la tienda online más grande y popular de Europa, tiene una categoría de instrumentos titulada "Guitarras MIDI/Digital/Modeling" que contiene sólo 17 instrumentos (en comparación con las de guitarras disponibles en su catálogo), y ninguno de ellos es un controlador en el sentido en el que se plantea en este proyecto, sino como los mostrados anteriormente, es decir, o directamente no son MIDI y es un uso incorrecto o se usan para generar notas mediante conversión por análisis de frecuencias.

Pioneros

Casio MIDI Guitar

A finales de los '80, Casio, Ibanez y Roland sacaron algunas guitarras con una estética un tanto futurista y que ya iban en la línea de lo comentado: generar directamente sonidos sintéticos o convertir, con poco éxito, las notas de la guitarra en MIDI.



Como veremos más adelante, este tipo de aproximaciones van directamente en contra los principios de diseño de este proyecto, ya que si bien eran productos

[2] https://www.fishman.com/products/series/tripleplay/tripleplay-wireless-guitar-controller/
[3] https://www.thomann.de/

tecnológicamente avanzados en su época, no comparten ni la ergonomía ni la estética del instrumento anfitrión. No estaban centrados en el músico.

Guitarras MIDI Yamaha

Con líneas de producto como EZ-AG y EZ-EG, Yamaha sacó al mercado algunas "guitarras" que eran funcionalmente como un teclado maestro MIDI con forma de guitarra. Es decir, no producían ningún sonido de manera acústica o analógica; toda su salida era a través del sintetizador interno o en forma de notas MIDI.

Zivix Jamstik

Se trata de una versión moderna del concepto introducido por Yamaha. Basado en una solución tecnológica diferente, con un tamaño más reducido y conexión Bluetooth. La idea es no obstante la misma: mandar notas MIDI para reproducir cualquier sonido en un sintetizador o software compatible.

Equipamiento contemporáneo compatible con MIDI

Pedales independientes

Muchos (cientos, si no miles) pedales de efectos para guitarristas, de multitud de fabricantes y en todo el rango de precios, ofrecen la posibilidad de controlar sus parámetros mediante MIDI, típicamente a partir de mensajes de Cambio en Controlador.

Sobre el por ejemplo, Source Audio dice en su manual de usuario[4]:

Efectivamente, la documentación mencionada[5] contiene 9 (!) páginas sobre la implementación MIDI de este pedal.

Sin embargo, dada la ausencia de controladores de este tipo, el uso más frecuente de esta funcionalidad es con diferencia el de cambiar de mediante comandos MIDI de Cambio de Programa. Un desperdicio de su potencial.

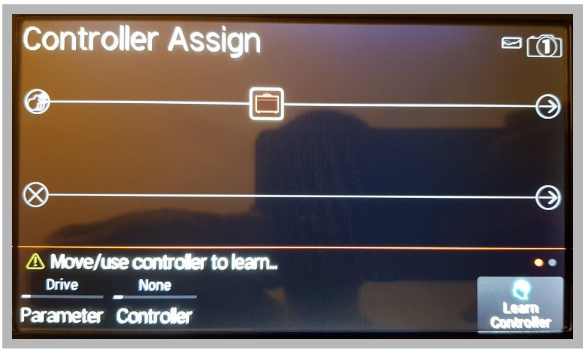
[4] https://www.sourceaudio.net/uploads/1/1/5/1/115104065/nemesis_delay_usermanual.pdf
[5] https://www.sourceaudio.net/uploads/1/1/5/1/115104065/nemesis_midi_implementation_1_01.pdf

Multiefectos

La mayoría de los multiefectos son digitales y en general incorporan funcionalidad MIDI. En muchos casos, estos propios multiefectos se pueden conectar a su vez al ordenador, lo que permite extender, a través del propio multiefectos, el alcance de la manipulación de parámetros vía MIDI a otras aplicaciones.

El caso del multiefectos es particularmente relevante porque, a diferencia de los efectos individuales, éste por definición permite utilizar varios efectos simultáneamente. Sin embargo, acceder a cada uno de ellos y sus parámetros suele ser tedioso y/o confuso, a través de una serie de menús a menudo en una diminuta pantalla. Mediante MIDI, es posible establecer una relación directa mediante un control físico y el parámetro de un efecto, otorgando propiedades táctiles a un constructo puramente virtual.

Más aún, en muchos casos estos dispositivos tienen la funcionalidad con la que no es necesario programar nada: sólo hay que conectar los cables, elegir un parámetro y mover el controlador físico que se quiere utilizar, y automáticamente quedarán vinculados. Es posible además ajustar el comportamiento de este controlador: rango, permanente vs. temporal, etc.



Software

El software musical es muy utilizado en la producción en estudio, y cada vez más en directo, a medida que la fiabilidad y rendimiento de los ordenadores ha aumentado. En esencia, es el caso del multiefectos llevado al extremo: la misma idea con mucha más capacidad y funcionalidad.

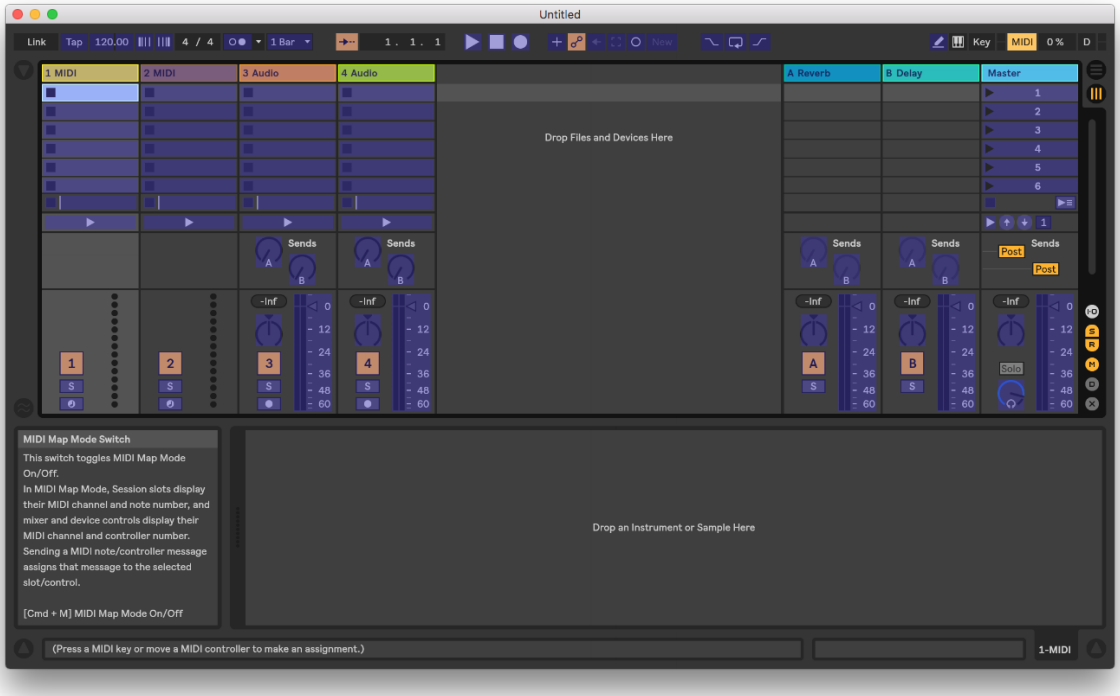
La interacción en estos casos es aún peor que en los multiefectos. Si bien un ordenador tiene unas opciones de interfaz mucho más ricas, la realidad es que la desconexión con el acto de interpretación es mucho mayor. Lo ideal es extraer el sonido y explotar todas sus posibilidades, pero manteniéndose en la medida de los posible en la zona de ejecución con el instrumento. Este cambio de actitud es muy importante.

Existen muchos accesorios para controlar este tipo de software con los pies, como las pedaleras MIDI que veremos más adelante, y aunque están muy bien y complen su función, tienen varios incovenientes:

- La mayor parte de la funcionalidad es cambiar de programa o on/off
- Los pedales de expresión están bien para algunos efectos diseñados para ser usados con el pie, pero en general no para ajustar la mayoría de parámetros.
- Son excepcionalmente caras, en muchas ocasiones más que el propio software.

En otro orden, Ableton Live es una de los aplicaciones de producción e interpretación más populares, tanto en estudio como en directo, como su propio nombre indica. Parte de este éxito es precisamente la que es posible conseguir con el mismo, ya que casi toda su funcionalidad es asignable a controladores MIDI externos.

Uno de los usos más populares de Live es la grabación de , pequeños fragmentos que se repiten y en conjunto van formando una composición dinámica. Controlar el lanzamiento de estos , el volumen o simplemente comenzar la grabación desde el propio instrumento sería una gran ventaja a la hora de mantener el flujo creativo, y es de hecho totalmente factible con un controlador MIDI.



iPad

El iPad se ha convertido una plataforma de música muy completa y prolífica. Grandes marcas del mundo físico como Korg o Moog tienen versiones digitales de sus sintetizadores analógicos. Además del control táctil, que en muchos casos no es adecuado o carece de precisión, interactuar con un iPad mediante controles físico vía MIDI es muy sencillo: es posible hacerlo vía una interfaz MIDI USB, WiFi o Bluetooth.

Por esta razón se ha convertido también en una gran plataforma de software de efectos para guitarristas:

Construyendo sobre este éxito en aplicaciones virtuales, algunos fabricantes han construido específico para sacar el máximo partido a las mismas:

Otros accesorios

Un caso muy especializado pero digno de mención el de dispositivos que intermedian, vía conector MIDI clásico de 5 pins, con otros dispositivos que sólo aceptan MIDI a través de USB. Estos intermediarios abren la puerta a un mundo de expresividad a través de cualquier controlador MIDI para muchos pedales de efectos y amplificadores que únicamente disponen de conexión USB para un ordenador.

Otra funcionalidad interesante que ofrece el Primova es la posibilidad de utilizar los mensajes MIDI como instrucciones para una pareja de relés, lo que abre aún más el abanico de dispositivos con los que es posible interactuar. Lo que sigue faltando es el controlador MIDI en el instrumento que haga llegar esos mensajes.

Superficies de Control

Pedaleras MIDI

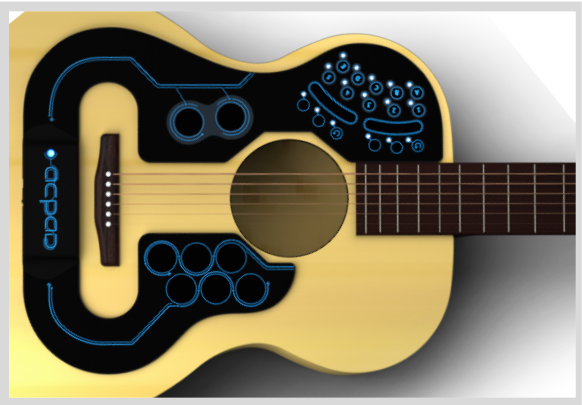
Hemos comentado antes la existencia de controladores MIDI para los pies, conocidos como “pedaleras”. Como se explicaba, aunque tienen un uso muy satisfactorio de acuerdo a sus objetivos, también es limitado. No es una cuestión de incapacidad

tecnológica, pues a estas alturas poco más se le puede pedir, si acaso, a una pedalera como Roland FC-300 que se muestra a continuación.

Desde un punto de vista de interfaz, de interacción, hay muchos casos en los que su comportamiento no es óptimo. Por ejemplo, controlar con el pie el nivel de ganancia de un amplificador virtual es tecnológicamente trivial; sin embargo, hacerlo con precisión es casi imposible y que el pedal se mantenga en la misma posición es altamente improbable. A esto hay que unir que el instrumento va siempre con el intérprete, mientras que la pedalera permanece en algún sitio fijo del escenario.

Controladores MIDI inalámbricos

Todo el discurso anterior nos lleva a la creación muy moderna de dispositivos como los que se muestran a continuación: controladores MIDI —esta vez sí, en el mismo sentido que lo que se propone en este proyecto— incorporados directamente sobre —no "en"— la guitarra.



Estos controladores no han tenido sin embargo aceptación entre el público general, cuando en realidad lo que proponen es lo habitual en otros instrumentos populares como un teclado.

Dos posibles hipótesis al respecto:

- La disposición accesoria del dispositivo y su falta de integración fomenta que caigan en desuso.
- La conectividad inalámbrica no genera confianza

Es claro para cualquier guitarrista que, sin entrar en su estética discutible, las soluciones mostradas más arriba tienen claros problemas de ergonomía y usabilidad, generando interferencias a la hora de interpretar con el instrumento.

Por otro lado, los dispositivos basados en conexiones inalámbricas sólo permiten interactuar con equipamiento virtual en un ordenador o en un iPad, pero no con la mayoría de dispositivos "tradicionales" como pedales o multiefectos.

Sea como fuere, el problema no es el interés del consumidor final. Por ejemplo, en ,[6] uno de los foros más populares del mundo sobre equipamiento musical, una búsqueda sobre "Guitar MIDI Controller" muestra varios hilos en los que se discute precisamente este tema sin que la comunidad (o el mercado) pueda ofrecer conclusiones definitivas.

[6] https://www.thegearpage.net/

Propuesta conceptual

Como se ha visto en los ejemplos mostrados anteriormente, la cantidad de dispositivos con capacidad MIDI con los que interactúa un guitarrista contemporáneo es muy alta, y sin embargo no hay interfaces de interacción adecuadas al instrumento y a la expresividad de su intérprete que se presenten de manera **integrada y fluida**.

Algunos casos de uso

Control de los parámetros del amplificador

En muchos casos, especialmente en directo sobre el escenario, el amplificador no está al alcance de la mano. En otros casos, acercarse para manipularlo puede generar efectos indeseables como .

Con un control MIDI remoto sería posible modificar con comodidad y en cualquier momento parámetros tan variables e importantes como la ganancia o la ecualización.

Modificación de parámetros de los efectos en tiempo real.

Igualmente, los pedales de efectos (ya sea de manera independiente o agrupados en pedaleras) suelen estar en el suelo, por lo que es complicado modificar los parámetros con una guitarra colgada. Hacerlo puede dañar el instrumento temporal o permanentemente, y/o generar ruidos en el proceso.

Mediante control remoto sería posible controlar uno o varios parámetros en varios efectos simultáneamente (decenas si fuera necesario) en un contexto interpretativo donde la interfaz no supone una barrera, sino un medio, a la expresividad

Control de parámetros en equipamiento virtual

Cada día son más las soluciones de equipamiento completamente virtual utilizadas por músicos y profesionales. La flexibilidad, rendimiento y coste que ofrecen es simplemente incomparable a su contrapartidas físicas. Sin embargo, su problema principal es que la interacción queda escondida detrás de una pantalla y, si bien puede funcionar bien en un contexto de estudio, en muchos casos es incompatible con la interpretación en directo.

Un controlador MIDI pone a mano —nunca mejor dicho— la interfaz física necesaria para controlar los parámetros necesarios en cada caso. Si además está integrado en la guitarra, se convierte en una herramienta de interpretación más que de gestión.

Principios de diseño

Ergonomía

Un principio fundamental en mi aproximación a cualquier diseño es que esté centrado en el usuario. En el caso del diseño de producto físico que nos ocupa, esto se traduce en gran medida en la ergonomía.

En el caso de la guitarra eléctrica, ningún control debe interferir con la capacidad de interpretación; al contrario, el acceso a los controles adicionales debe estar especialmente cuidado para que controlador cumpla su objetivo de aumentar y mejorar la expresividad del intérprete.

En el concepto propuesto, la mayoría de los controles se sitúan exactamente en el mismo sitio que los controles tradicionales, y en menor medida a su lado. En cualquier caso no interfieren con la capacidad de interpretación del músico.

Estética

Un instrumento es un objeto con el que se establece un vínculo muy íntimo. Parte de esta relación es sentirse cómodo, inspirado y alineado con la estética del mismo. Es por eso que otro de los principios fundamentales del proyecto debe ser mantener un estética que respete la tradición del instrumento. Creo que muchos de los proyectos que apuntaban en una dirección conceptual similar han fracaso precisamente por no cuidar este aspecto, o hacerlo en un sentido que no ha generado el vínculo esperado.

Idealmente, la existencia del controlador debe pasar completamente desapercibida para cualquiera que no sea el intérprete, e incluso para éste debe resultar totalmente integrada con el resto del instrumento. Por tanto, los elementos de interacción deben ser similares a los habituales en la medida de lo posible, y todo lo demás debe quedar convenientemente oculto.

Estándares

Finalmente, a pesar de la diversidad de opciones para aproximar un proyecto como éste, una de las piedras angulares debe ser acogerse a los estándares más amplios del mercado que nos ocupe, esto es, el equipamiento y los instrumentos musicales.

Hoy en día es posible comunicar MIDI a través de ethernet, WiFi o Bluetooth, entre otros. También es concebible diseñar, reutilizar o modificar otros conectores. La elección más común, no obstante, es el conector DIN-5. Esto garantiza la compatibilidad e integración natural con el resto del ecosistema MIDI de multitud de épocas.

Factibilidad

Arduino puede ser la plataforma adecuada para este proyecto por diversas razones:

- Tiene un puerto de serie que es capaz de transmitir a la velocidad adecuada
- Funciona directamente a 5V
- Hay una variedad de placas con el tamaño adecuado para ser integradas en el instrumento
- Posibilidad de alimentación por baterías, especialmente 9V
- Entorno de programación ágil y dinámico
- Bajo consumo
- Bajo coste

Innovación

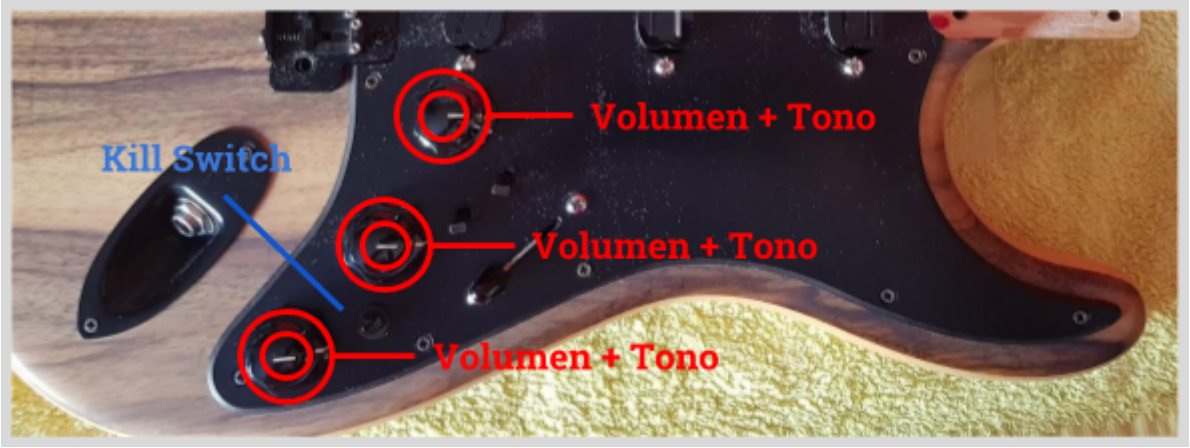
Como se ha mostrado en el recorrido histórico entre la guitarra y las interfaces MIDI, a lo largo de la investigación hemos encontrado otros productos que comparten el espíritu del proyecto en términos de ofrecer expresividad interpretativa en el contexto del instrumento, pero hasta la fecha no parece haber una productización comercial concreta que cumpla los objetivos propuestos desde el punto de vista de la implementación en la guitarra eléctrica.

Planteamiento del Proyecto

El mueble

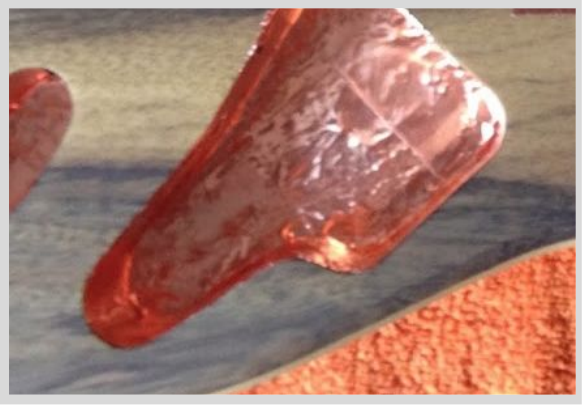
Una opción popular

Para la realización del proyecto me he decantado por la integración del controlador en un guitarra tipo Fender Stratocaster, que no sólo es uno de diversos modelos que tenía a mi disposición, sino que es el modelo de guitarra eléctrica más popular del mundo. De cara a validar la viabilidad del proyecto, esto era un punto importante.



Limitaciones de espacio

La Stratocaster es una de las guitarras eléctricas con menos espacio disponible para la electrónica, lo que por un lado supone un gran reto pero también una gran validación como prueba de concepto. Si es posible hacerlo en este modelo, otros ofrecerán aún más posibilidades.



Interfaz

De acuerdo con los principios de diseño expuestos anteriormente, particularmente en los apartados de Ergonomía y Estética, la idea es concentrarse en elementos que ya aparecen de manera natural en instrumentos, especialmente guitarras eléctricas. Hablamos, por tanto, de potenciómetros e interruptores que servirán como generadores de señales a convertir en mensajes MIDI.

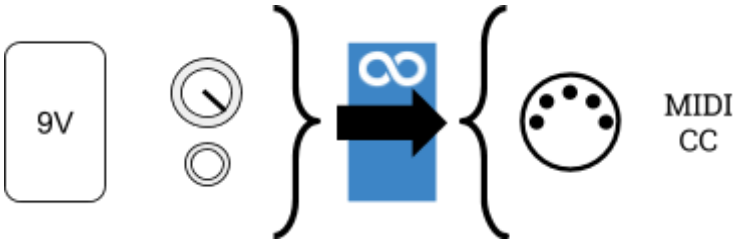
Opciones de alimentación

Inicialmente se plantean diversas opciones, en cualquier caso teniendo en mente que las soluciones sean fáciles de adquirir o formen parte del ecosistema existente.

- La pila de 9V es el estándar en la mayoría de equipamiento para guitarristas. Es barata y está disponible en cualquier sitio, así que sería la opción ideal.
- Varias pilas AA en serie pueden ser una alternativa.
- Baterías portátiles con salida USB para cargar móviles. Tienen mucha capacidad en un espacio relativamente reducido y son fáciles de recargar.
- Baterías especiales junto con algún módulo específico para cargarlas.

Esquema de funcionamiento

Dadas las premisas descritas anteriormente, el esquema de funcionamiento es conceptualmente sencillo:



Una batería de 9V (la más común en equipamiento musical) y un conjunto de potenciómetros y pulsadores conectados a una placa de arduino que convierte las lecturas de los mismos en mensajes de Cambio en Controlador MIDI.

Elección de la placa

Criterio

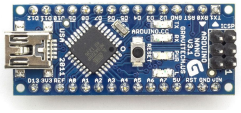
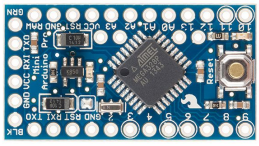
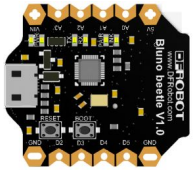
Dados algunos de los condicionantes expuestos anteriormente, algunas criterios eran particularmente relevantes:

- Al menos 4 entradas analógicas y 2 digitales
- Funcionamiento a 5V
- Aceptar entrada de alimentación “en bruto” de 9V
- Tamaño

Otros cuestiones relevantes pero no determinantes:

- Presencia y tipo de conector
- Facilidad y velocidad de adquisición
- Soporte oficial

Principales alternativas

	Número de Entradas	Entrada 9V	Salida 5V
 **Nano**	• 6 Analógicas • 12 Digitales • Rx + Tx	✔	✔
Pro Micro	• 9 Analógicas • 12 Digitales • Rx + Tx	✔	✔
 **Pro Mini**	• 6 Analógicas • 14 Digitales • Rx + Tx	✔	✔
Micro	• 12 Analógicas • 20 Digitales • Rx + Tx	✔	✔
 **Beetle**	• 4 Analógicas • 4 Digitales • Rx + Tx	✘	✔
µduino	• 6 Analógicas • 12 Digitales • Rx + Tx	✔	✔

Como se puede observar en la tabla, en general en número de entradas y salidas analógicas no eran relevantes, pues las placas pre-seleccionadas y muchas otras no tenían problemas en este sentido. Las cuestiones de alimentación y voltaje interno tampoco han resultado problemáticas, salvo en el caso del Beetle, que era una placa muy prometedora por su reducido tamaño. La µduino era una alternativa interesante, pero los tiempos de adquisición y el precio (en comparación) no jugaba a su favor, especialmente considerando la posibilidad de roturas a lo largo del camino.

La Nano parece ser la más accesible y asequible, pero resultaba un poco grande. La Micro compartía el problema del tamaño y además parece que es muy complicado obtenerla con rapidez.

De las restantes, la Pro Mini y la Pro Micro eran las más atractivas por tamaño. Si bien ninguna de las dos continúa desarrollándose oficialmente, parecen seguir en producción clónica, con facilidad y rapidez de compra ante eventualidades desafortunadas, y a un precio comparativamente razonable.

Entre estas dos, la Pro Micro es más sencilla de conectar y programar gracias a la conexión USB integrada y el reset automático al subir el código. Sin embargo, parece ventajosa la idea de una instalar una placa con la opacidad de no tener ningún puerto sobre el que usuario pudiera tener la tentación de actuar, de modo que la Pro Mini se establece como la candidata más adecuada, aunque sea un poco más incómoda a la hora de programar debido al reset manual.

Aproximación

Factibilidad empírica

En términos generales, la aproximación es la de validar que efectivamente los controles presentes en instrumentos como la guitarra eléctrica son capaces de establecer la comunicación adecuada con una placa arduino y que ésta, a su vez, es capaz de interpretarla y comunicarla a través del protocolo MIDI.

Configuración del producto

Una vez establecida la factibilidad empírica, y a partir de los aprendizajes de la misma, el siguiente paso es determinar cuál podría ser la configuración del producto: elementos concretos y su disposición en la guitarra. De esta manera podemos validar no sólo que funcionalmente es posible, sino que es factible materializarlo en el contexto de aplicación final.

Instalación

A menudo las cosas funcionan bien en el entorno controlado de desarrollo y pruebas, pero surge algún inconveniente imprevisto cuando se traslada al contexto de uso real. Por tanto, no hay que descartar en absoluto que en el momento de la instalación haya que realizar adaptaciones y modificaciones al diseño del controlador para superar problemas eventuales.

En este caso concreto, dadas las limitaciones de espacio, el montaje en sí mismo para un reto más allá de protocolos y voltajes.

Pruebas finales y documentación

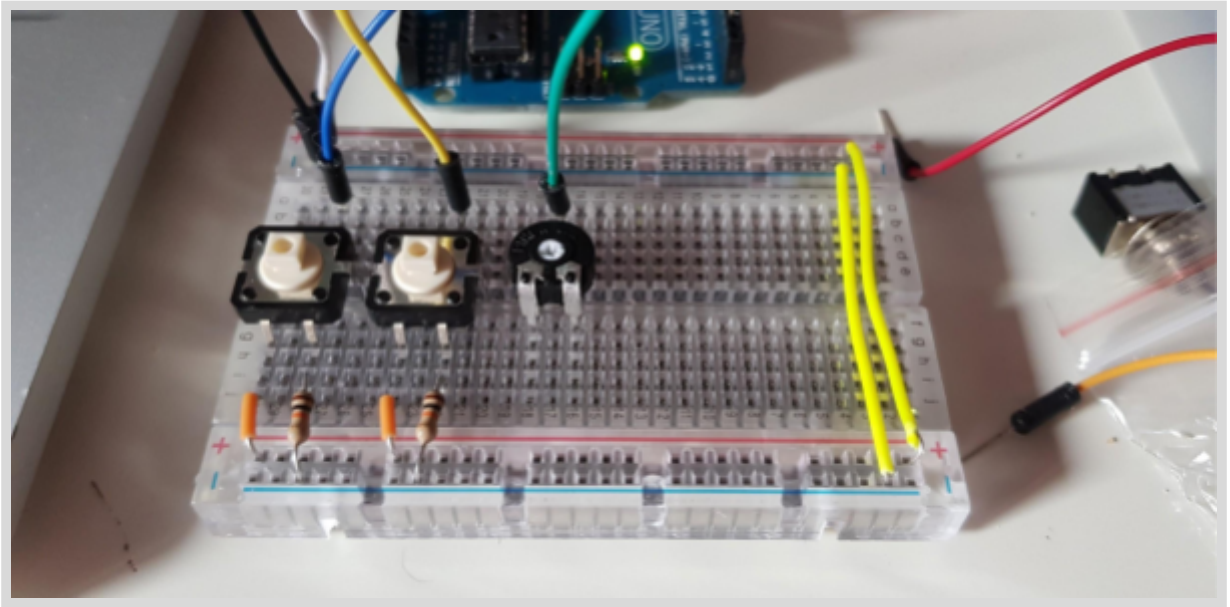
Una vez completado el grueso de la fase de desarrollo, queda realizar las últimas pruebas, pulir detalles y documentar.

Desarrollo del Proyecto

Pruebas de concepto

La idea inicial de esta fase es simplemente familiarizarme con el entorno de arduino en general, desconocido por completo hasta la fecha, así como comprobar que aquello que en teoría es posible se puede efectivamente materializar.

Los comienzos fueron con la placa UNO, pero enseguida el desarrollo se movió a la Pro Micro y posteriormente a la Pro Mini, que habían resultado las candidatas más evidentes de cara a la implementación final.



Pulsador / Interruptor

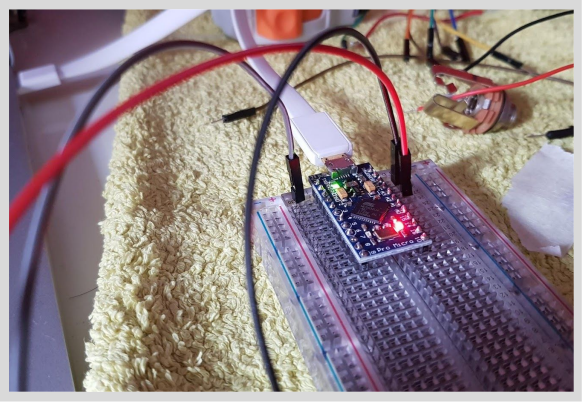
En este ejercicio se pretendía usar el pulsador como conmutador temporal y como interruptor. El aprendizaje más relevante fue el concepto de que aplica a la hora de estabilizar las lecturas de un pulsador donde pequeñas interferencias o la propia construcción física del mismo pueden generar inestabilidad, y que más adelante resultaría muy relevante.

Potenciómetro

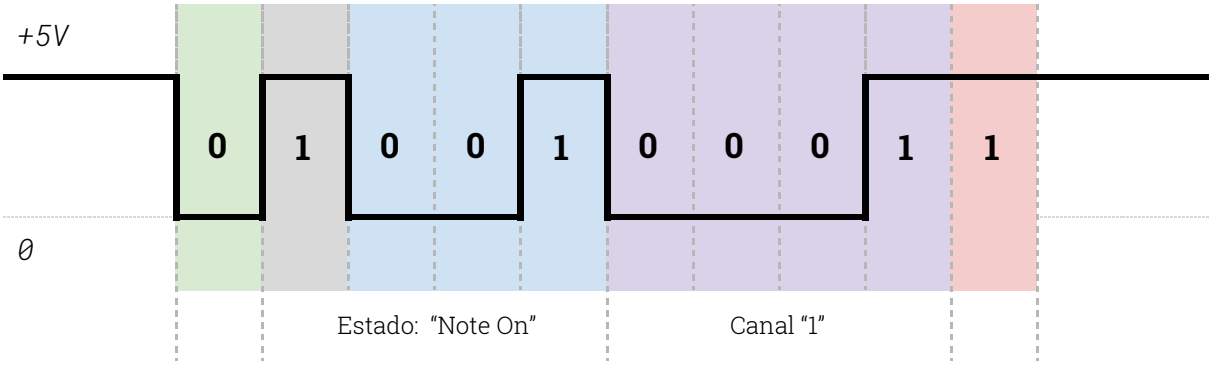
En este caso, se trataba de un pequeño que controlara la velocidad de los intervalos en los que se ilumina el LED de la propia placa. En retrospectiva algo muy sencillo, pero fueron unos primeros pasos necesarios para entender el funcionamiento y las conexiones.

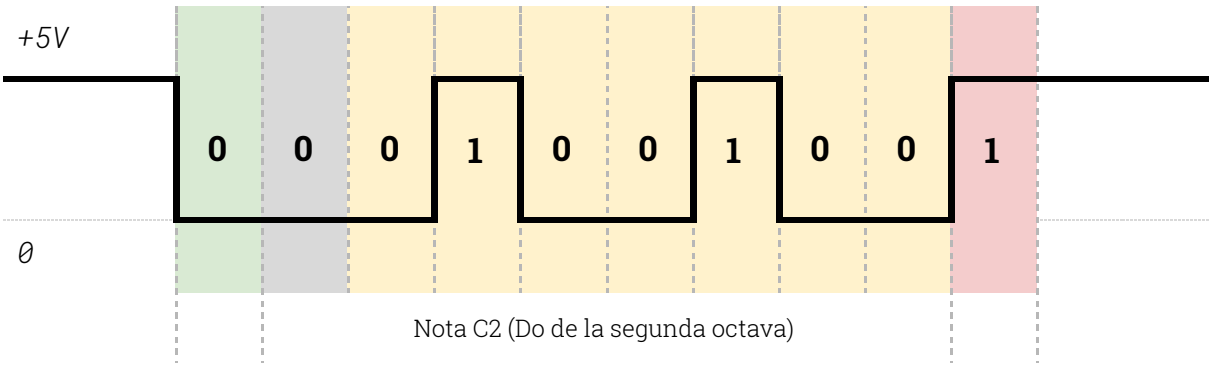
Conexión y mensajería MIDI

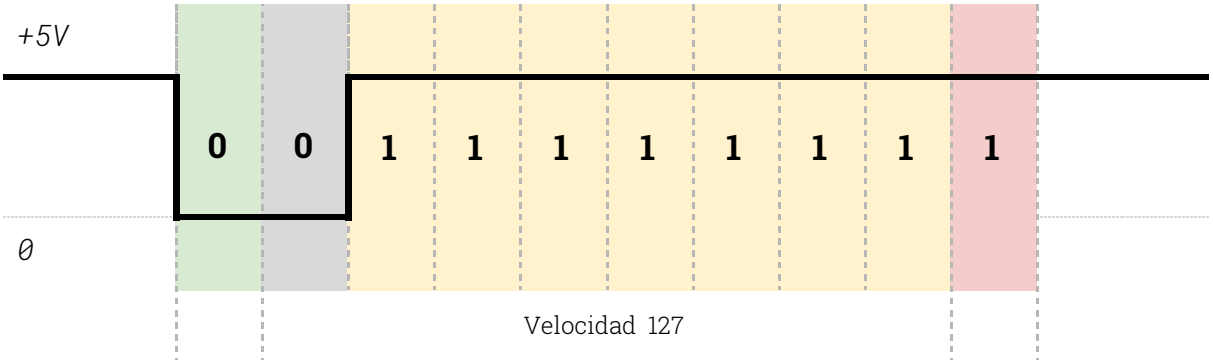
Esta era realmente la prueba clave, ya que su éxito o fracaso condicionaba la continuidad del proyecto. No obstante, la conectividad no presentó ningún reto especial y la mayor parte de la carga residía en la parte software.



Para la prueba utilicé un de demostración que recorre las 12 notas en una octava (de Do a Do) enviando los correspondientes por el puerto de serie.







Envío de estos en código:

```
void setup() {
  // Establecer la velocidad de transmisión adecuada para MIDI
  Serial.begin(31250);
}

void loop() {
  // Reproducir las notas desde C2 (0x24) hasta C3 (0x30):
  for (int note = 0x24; note < 0x30; note ++) {
    Serial.write(0x90); // Estado "Note On" en el canal 1
    Serial.write(note); // Valor de la nota
    Serial.write(0x7F); // Máxima intensidad
    delay(100);
  }
}
```

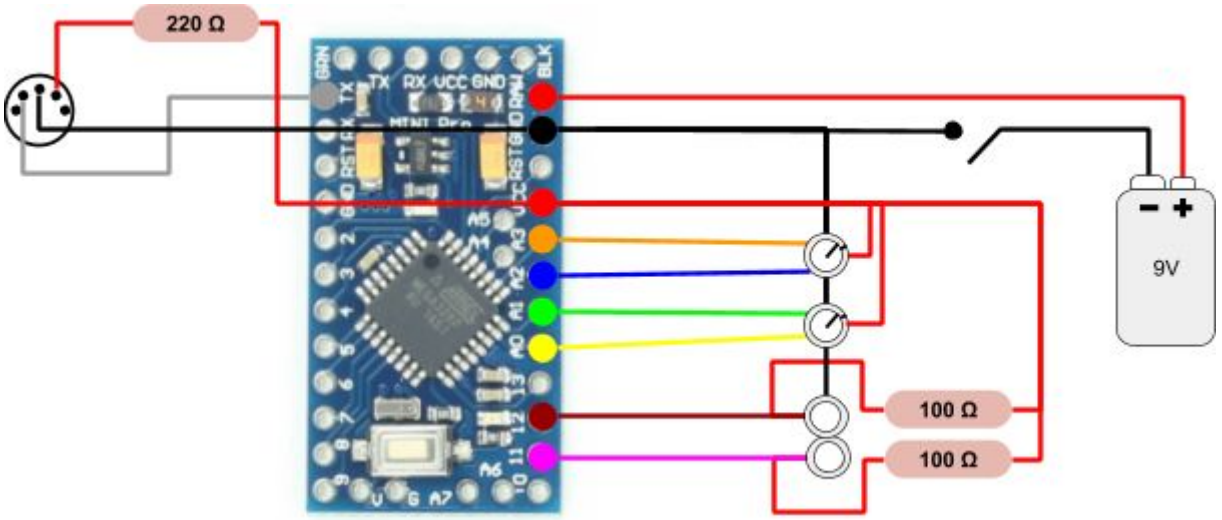
Estos mensajes son recogidos por una interfaz MIDI conectada al ordenador e interpretados por un instrumento virtual (un piano en este caso) sobre Ableton Live:

El resultado de la prueba se puede escuchar en el siguiente archivo, adjunto a la memoria y catalogado en el anexo.

Muestras de audio
1. MIDI Test Escala de notas.mp3[7]

[7] http://bit.ly/TFG_RafaelRebolleda

Pruebas de los componentes finales



Una vez validada la factibilidad general de los elementos fundamentales del proyecto (componentes y uso del protocolo MIDI), restaba despejar cualquier duda sobre los componentes finales.

Pulsador

Uno de los aspectos curiosos es que los pulsadores que se utilizan con frecuencia en la tabla de prototipado tienen cuatro patillas. Los que se montan en la guitarra, del tipo , sólo tienen dos patillas. Esto generó cierta confusión en un principio, complementada por los efectos de la interferencia estática antes del .

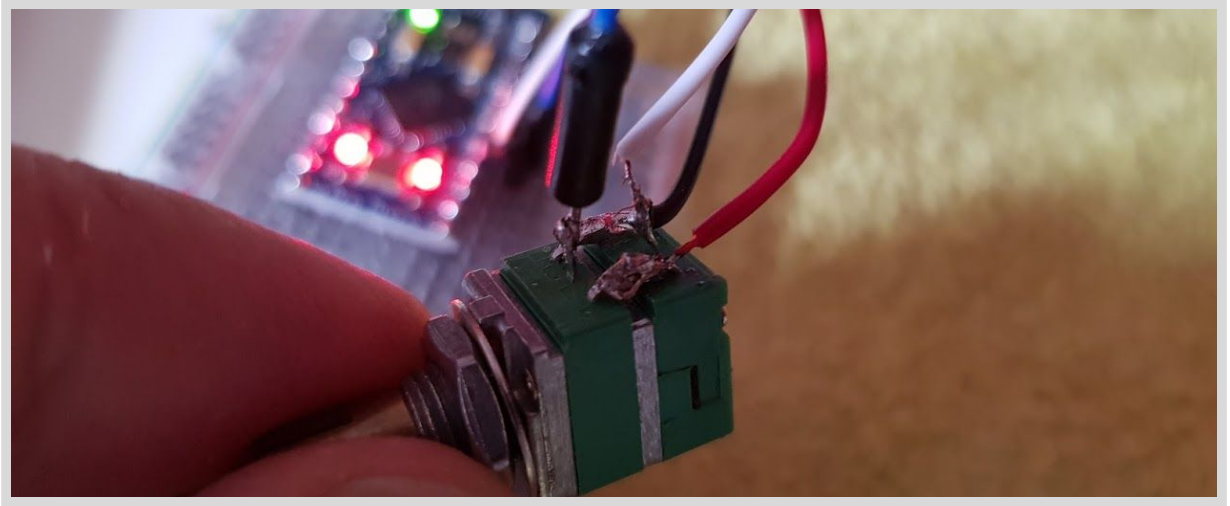
El funcionamiento en cualquier caso es similar, ya que internamente las supuestas cuatro patillas de los mini-pulsadores están conectadas entre sí a pares. Sin embargo, este detalle facilita la conexión de algunos componentes y lleva a menos equívocos, como el que se puede apreciar en la primera aproximación:

Con la configuración que se observa en la fotografía el comportamiento era muy errático. El problema, conocido en inglés como y la solución era el conocido : una resistencia según el circuito . Una vez aplicado esto el circuito se estabilizó frente a las interferencias.

Potenciómetros

Una de las cosas que se mencionan con frecuencia era que los potenciómetros debían ser de 10K Ω, al parecer debido a la velocidad de lectura del valor de los mismos a raiz de los condensadores presentes en la entrada de cada pin. Sin embargo, las pruebas con otros valores mucho mayores (250K Ω y 500K Ω, que son precisamente los que se usan en las guitarras eléctricas) no reportaron diferencias, al menos en lo que a la aplicación a este proyecto se refiere (salvo la que hay en tamaño, que es muy notable).

Este dato no ha terminado de ser relevante por la configuración final en este caso, pero es sin duda muy útil de cara a otras soluciones conceptualmente semejantes pero con contextos distintos.



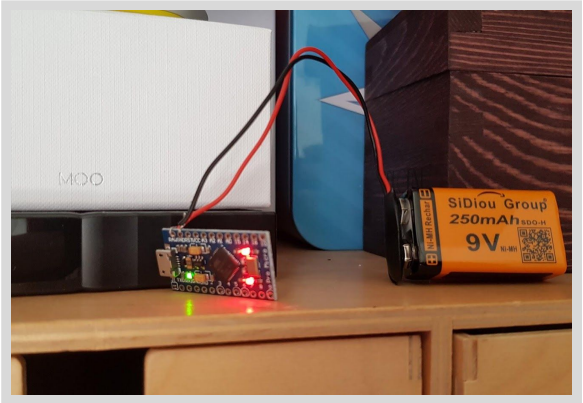
Alimentación

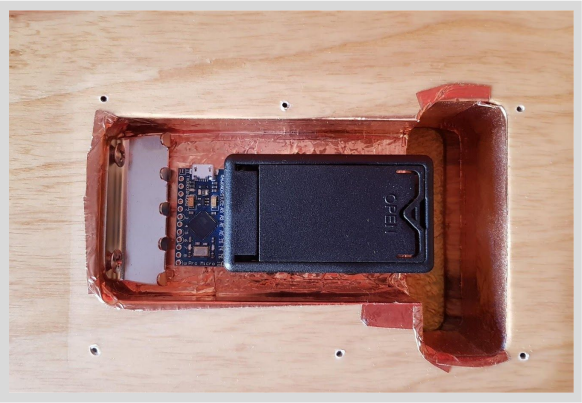
A este respecto, había dos aspectos importantes a estudiar. En primer lugar, si efectivamente era posible alimentar la placa con una batería de 9V durante un tiempo razonable. Es claro que por especificación es posible, pero la preocupación era que el consumo fuera excesivo y no resultara práctico.

Al contrario, se comprueba consistentemente que el sistema puede funcionar durante unas 10-12 horas con una batería recargable de 250mAh (que es poco en comparación con las de litio o las alcalinas).

El otro aspecto relevante era la integración de esta batería. Por supuesto una opción frecuente es simplemente hacer una cavidad adicional en la guitarra, pero esto es algo

que no salía del alcance de este proyecto. Finalmente, fue posible hacerlo reconfigurando el espacio de la cavidad para el vibrato, y utilizando sólo dos muelles con más tensión. Un receptáculo para la batería irá encastrado en la tapa de dicha cavidad..





Otro detalle relacionado con la alimentación era usar el propio de instrumento como interruptor para la batería. De este modo no sería necesario ningún elemento adicional, y el uso de la batería estaría directamente relacionado con el uso de la guitarra. A tal efecto se realizaron unas primeras pruebas con un jack estéreo y un clavija mono que resultaron prometedoras.

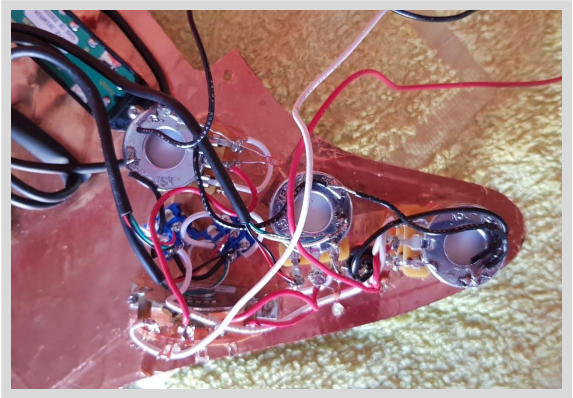
Montaje inicial

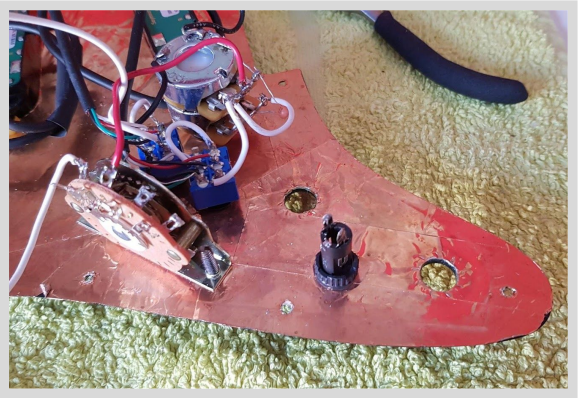
El objetivo de este primer montaje es comprobar que todos los componentes se pueden instalar y conectar satisfactoriamente en el guitarra, mientras se mantiene la placa en la base de prototipado para seguir depurando la funcionalidad e identificar con más facilidad posibles problemas.

Liberando espacio interno y reconfiguración de controles

En la configuración de esta Stratocaster, y a diferencia de los modelos más clásico, hay un potenciómetros concéntricos con tono y volúmen para cada pastilla. En la nueva configuración, que requiere la parte “tradicional” de la guitarra casi por completo. Todo el control de volumen y tono para todas las pastillas se resume en el primero de los potenciómetros concéntricos, y los otros dos dejarán lugar a sendos potenciómetros concéntricos —de distinta índole— que servirán en este caso como controladores MIDI.

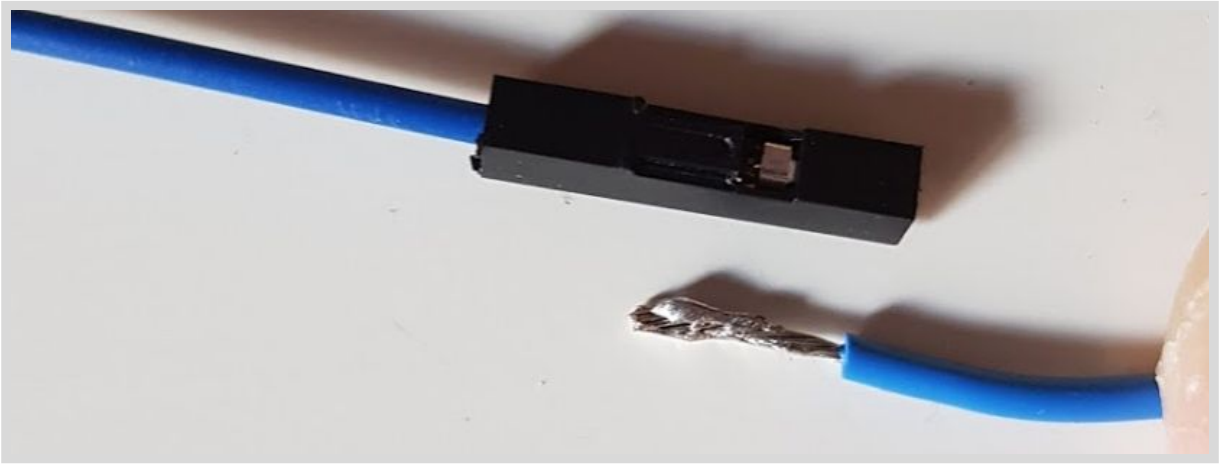
Además, la guitarra tenía instalados dos conmutadores para cambiar la impedancia de dos de las tres pastillas (asunto irrelevante en este proyecto salvo por el espacio que ocupan), así como lo que se conoce como (un interruptor temporal de la señal) que, por un lado, será reutilizado como pulsador MIDI y, por otro, habrá que sustituir en algún otro lugar.





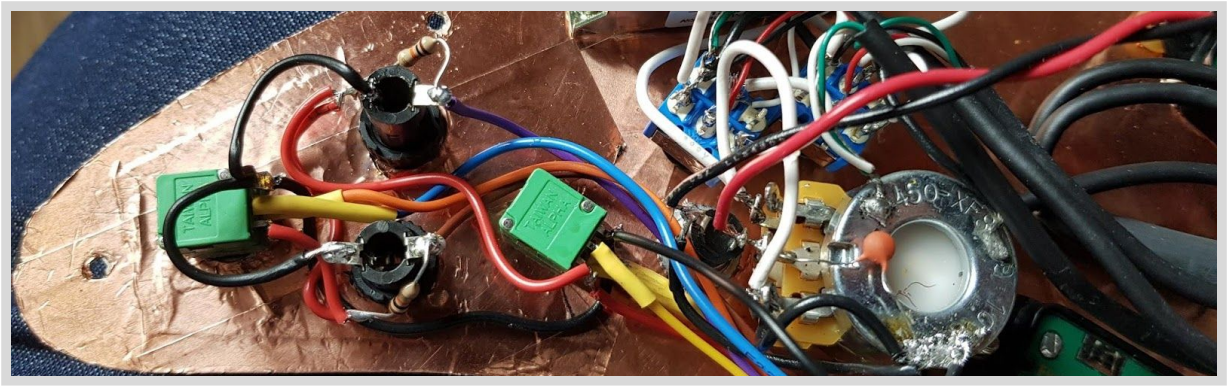
Conexiones

El uso de cables de diferentes colores fue fundamental para mantener la relación de los componentes con los de la placa. A su vez, para hacer llegar las conexiones relativamente cortas de la instalación hasta la placa de prototipado, se utilizaron unas conexiones intermedias, manteniendo el código de color.



En este punto hubo un detalle relevante, y es que en términos de conexión con arduino no es muy relevante la polaridad del potenciómetro. Sin embargo, en el montaje final, el sentido de rotación del potenciómetro que se percibe como creciente o decreciente está muy arraigado. Era necesario por tanto hacer varias pruebas hasta configurar las conexiones de manera que la rotación fuera natural para el modelo mental del intérprete, y acorde con el resto de potenciómetros de la guitarra.

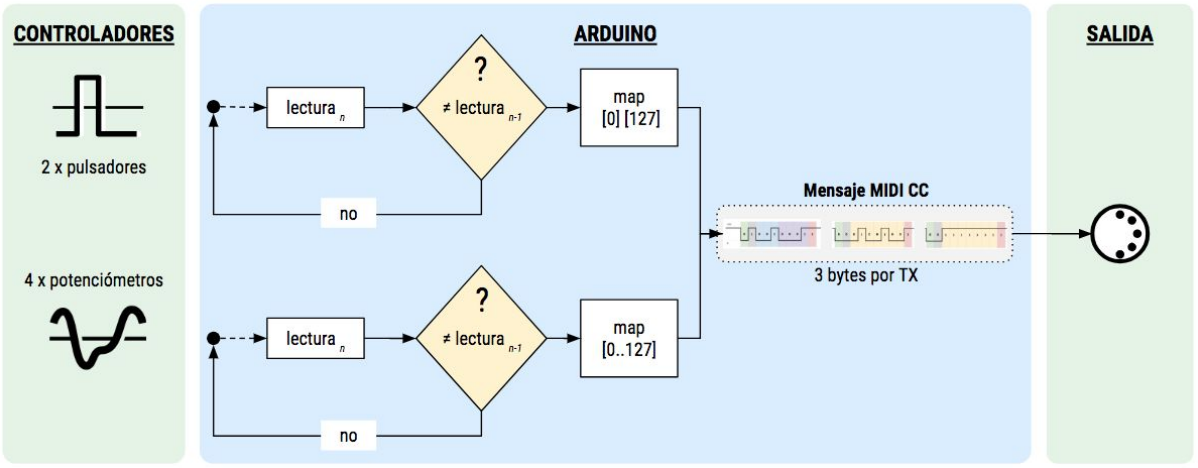
Otro aspecto relevante es que en este punto se empieza a apreciar la notable limitación de espacio. Es implica que conexiones potencialmente peligrosas, no sólo en términos de ofrecer datos erróneos sino de quemar la placa, están físicamente cerca de entrar en contacto. Para evitar este problema están los canutillos termoretráctiles en algunos puntos.



Pruebas

Una vez que los controles responden como se espera y todo el montaje en la guitarra funciona como se espera, es el momento de enlazar finalmente el movimiento de los controles con los mensajes MIDI correspondientes.

Conceptualmente, el funcionamiento del programa es el siguiente:



Como se puede ver, se toma la lectura tanto de los pulsadores como de los potenciómetros, y se comprueba que es distinta de la anterior para evitar mandar mensajes constantemente. Una vez ha cambiado el valor, en el caso del pulsador los valores 0 y 1 se mapean a "0" o "127" respectivamente, y en el caso de los potenciómetros, los valores entre 0 y 1023 mapean a otro dentro del rango [0—127]. Finalmente se transmite por el puerto de serie este valor para cada controlador de acuerdo al protocolo MIDI.

Los valores de los controladores usados (14 y 15 para los pulsadores y 16, 17, 18, y 19 para los potenciómetros) han sido elegidos por estar disponibles para cualquier uso en la especificación del estándar MIDI, cuya tabla de implementación se puede consultar en el anexo de la memoria.

A tal efecto, el siguiente código será el que resulta funcionalmente completo. Está realzado con la librería MIDI de arduino por facilitar la lectura del código con sus funciones de alto nivel, pero aunque hubiera sido perfectamente factible realizarlo mandando directamente los bytes correspondientes como en las pruebas anteriores.

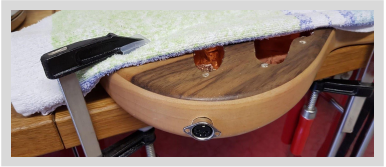
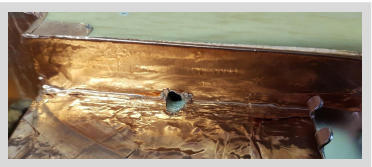
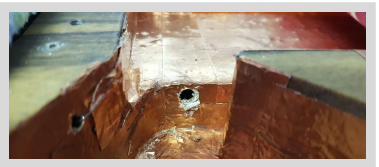
```
#include <MIDI.h>

// Instanciar la interfaz MIDI
MIDI_CREATE_DEFAULT_INSTANCE();

const int Pot1T = A0;
      int Pot1TValue = 0;
const int Pot1B = A1;
      int Pot1BValue = 0;
const int Pot2T = A2;
      int Pot2TValue = 0;
const int Pot2B = A3;
      int Pot2BValue = 0;

const int Button1 = 11;
      int Button1Value = 0;
const int Button2 = 12;
      int Button2Value = 0;

 void setup()
 {
     MIDI.begin(MIDI_CHANNEL_OMNI);
 }

 void loop()
 {
    // Medimos la diferencia entre valores para mandar un mensaje
    // sólo si verdaderamente hay un cambio.
    if (abs(PotCC(Pot1T) - Pot1TValue) > 2) {
      MIDI.sendControlChange(16, PotCC(Pot1T), 1);
      Pot1TValue = PotCC(Pot1T);
    }

    if (abs(PotCC(Pot1B) - Pot1BValue) > 2) {
      MIDI.sendControlChange(17, PotCC(Pot1B), 1);
      Pot1BValue = PotCC(Pot1B);
    }

    if (abs(PotCC(Pot2T) - Pot2TValue) > 2) {
      MIDI.sendControlChange(18, PotCC(Pot2T), 1);
      Pot2TValue = PotCC(Pot2T);
    }

    if (abs(PotCC(Pot2B) - Pot2BValue) > 2) {
      MIDI.sendControlChange(19, PotCC(Pot2B), 1);
      Pot2BValue = PotCC(Pot2B);
    }
```

```
    if (digitalRead(Button1) != Button1Value) {

     switch (digitalRead(Button1)) {
       case 1:
       MIDI.sendControlChange(14, 0, 1);
       Button1Value = 1;
       break;

       case 0:
       MIDI.sendControlChange(14, 127, 1);
       Button1Value = 0;
       break;
     }
    }

    if (digitalRead(Button2) != Button2Value) {

     switch (digitalRead(Button2)) {
       case 1:
       MIDI.sendControlChange(15, 0, 1);
       Button2Value = 1;
       break;

       case 0:
       MIDI.sendControlChange(15, 127, 1);
       Button2Value = 0;
       break;
     }
    }
 }

int PotCC(int pin) {
  // Mapeo de los valores estándar de arduino al rango MIDI
  return map(analogRead(pin), 0, 1023, 0, 127);
}
```

También es el momento para hacer, con todos los componentes conectados, incluyendo MIDI al ordenador, algunos tests adicionales sobre el consumo de batería. Los resultados vuelven a confirmar que una batería normal de 9V puede durar varias sesiones de varias horas sin problemas.

Montaje final

Con el trabajo de los componentes en el plástico protector bastante avanzado, junto con buenos resultados de las pruebas intermedias, era el momento de modificar de manera definitiva la guitarra en preparación para la instalación final.

Aislamiento

Uno de los aspectos más esquivos del montaje final, y que de hecho se saldó con una placa, es que toda la superficie que encuadra la electrónica es conductora a tierra. Esto es así porque actúa como antes las interferencias, impidiendo que se filtren a través de las bobinas de los fonocaptores.

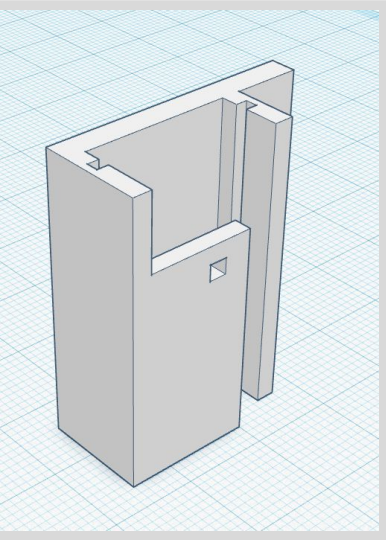
Sin embargo, dado lo apretado del espacio y la presión del montaje final, algunas conexiones que llevan los 5V tocan esta jaula, produciendo un cortocircuito. Fue necesario revisar y aislar más cuidadosamente todas las conexiones. Un problema similar ocurría con el interruptor de la batería en el de instrumento, y en este caso la solución fue retirar el material conductor de las paredes.

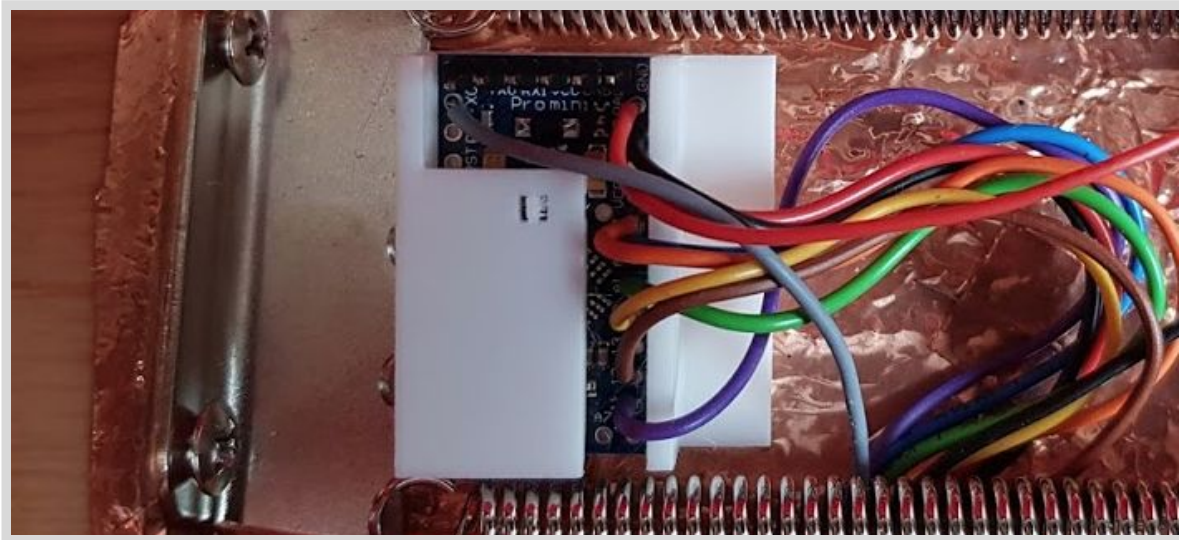
Soporte para la placa

Como se ha comentado con anterioridad, el hecho de estar completamente inmerso en una jaula de Faraday resulta muy útil de cara a tener una señal clara y sin ruidos. Sin embargo, el riesgo de que alguna parte de la placa entre en contacto con esta jaula podría suponer la destrucción de la misma.

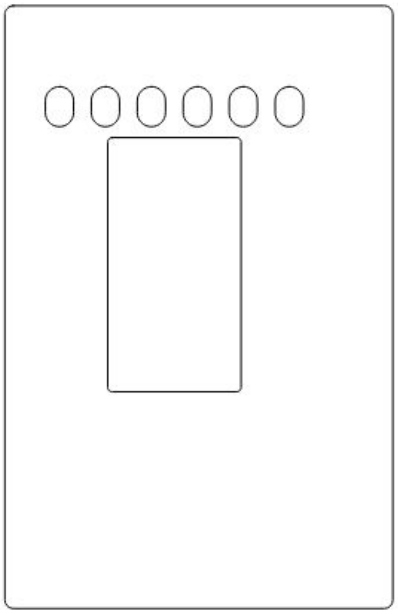
Es por esta razón que una solución que cubra la placa en gran medida, especialmente aquellos puntos con las soldaduras expuestas, y que a la vez sirva de soporte a la placa y medio de fijación a la guitarra se convierte en una prioridad.

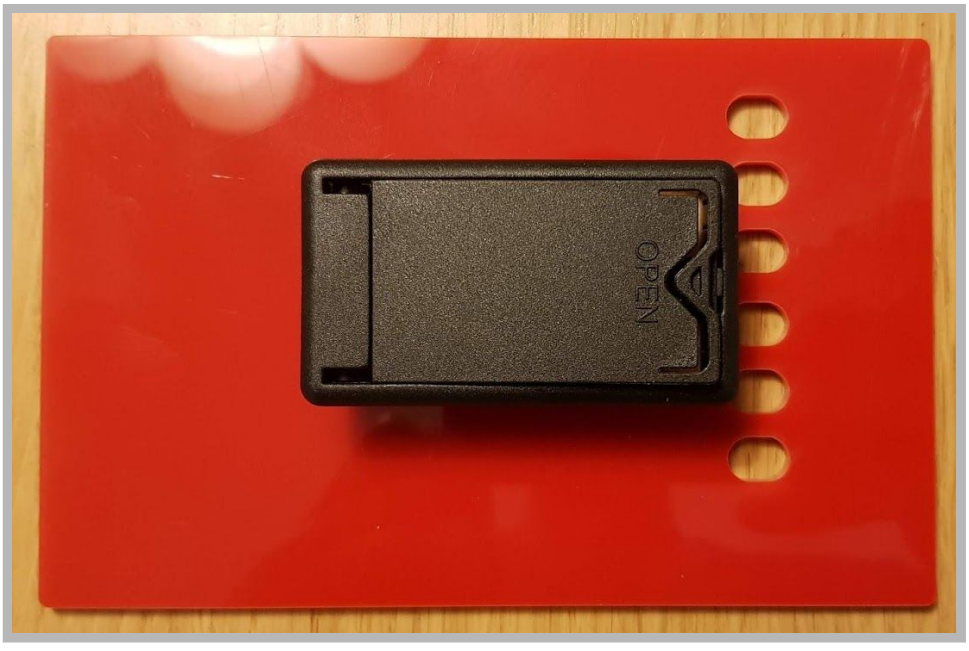
A tal efecto, se ha diseñado específicamente para este proyecto y fabricado mediante impresión 3D una carcasa y soporte a medida que cumple los objetivos propuestos. Complementando a la misma, existe también una funda para los sobresalientes verticalmente.





Complementariamente, era necesario modificar la tapa de la cavidad posterior para incluir un receptáculo para la batería. En este caso, se optó diseñar específicamente una pieza y realizar un corte láser sobre una base de metacrilato:





Pruebas

Una vez instalado todo en la guitarra se realizó, con conclusión satisfactoria, una nueva batería de pruebas:

Monitorización De Mensajes Midi Con La Aplicación Midi Monitor[8]

El primer paso es leer que los mensajes se están mandando correctamente y los controles responden adecuadamente a la interacción. Con la aplicación MIDI Monitor podemos los mensajes MIDI entrantes:

Time	Source	Message	Chan	Data	
04:09:19.587	From Port 2	Control	1	Controller 14	127
04:09:19.591	From Port 2	Control	1	Controller 14	0
04:09:20.710	From Port 2	Control	1	Controller 15	127
04:09:20.885	From Port 2	Control	1	Controller 15	0

04:09:28.883	From Port 2	Control	1	General Purpose 1 (coarse)	97

04:09:27.765	From Port 2	Control	1	General Purpose 2 (coarse)	115

04:09:22.577	From Port 2	Control	1	General Purpose 3 (coarse)	83

04:09:23.780	From Port 2	Control	1	General Purpose 4 (coarse)	103

Control Mediante Los Pulsadores Del Botón "Solo" En Las Pistas De Ableton Live

El siguiente paso consiste en una aplicación práctica, por ejemplo la asignación de uno de los pulsadores a un interruptor virtual, como puede ser el botón para aislar un pista en Ableton Live. Con la funcionalidad de Ableton Live es tan fácil como seleccionar el botón y accionar el pulsador en el controlador.

Control De Parámetros De Un Instrumento Virtual En Ableton Live

De manera similar, podemos asignar cualquier potenciómetro del controlador de la guitarra a algún elemento de control continuo en Ableton Live, como por ejemplo el parámetro del sintetizador .

[8] https://www.snoize.com/MIDIMonitor/

Control De Parámetros En El Multiefectos Line6 Helix.

La última prueba consiste en conectar un aparato con interfaz limitada, de manera que se opera más "a ciegas" y no hay opciones de depuración. Por otro lado, es el caso más próximo al uso real. En este caso, la conexión se realiza a un multiefectos Line6 Helix.

En este caso, este multiefectos dispone también de la función , pero hacerlo manualmente es igualmente sencillo: no hay más que elegir el número de controlador adecuado (el 14 en este ejemplo).

En la imagen podemos ver cómo el potenciómetro con CC #14 está asignado al parámetro de un amplificador. Un valor 0 en el controlador resultará en un valor 0 en el parámetro y un valor de 127 resultará en 10 en el parámetro

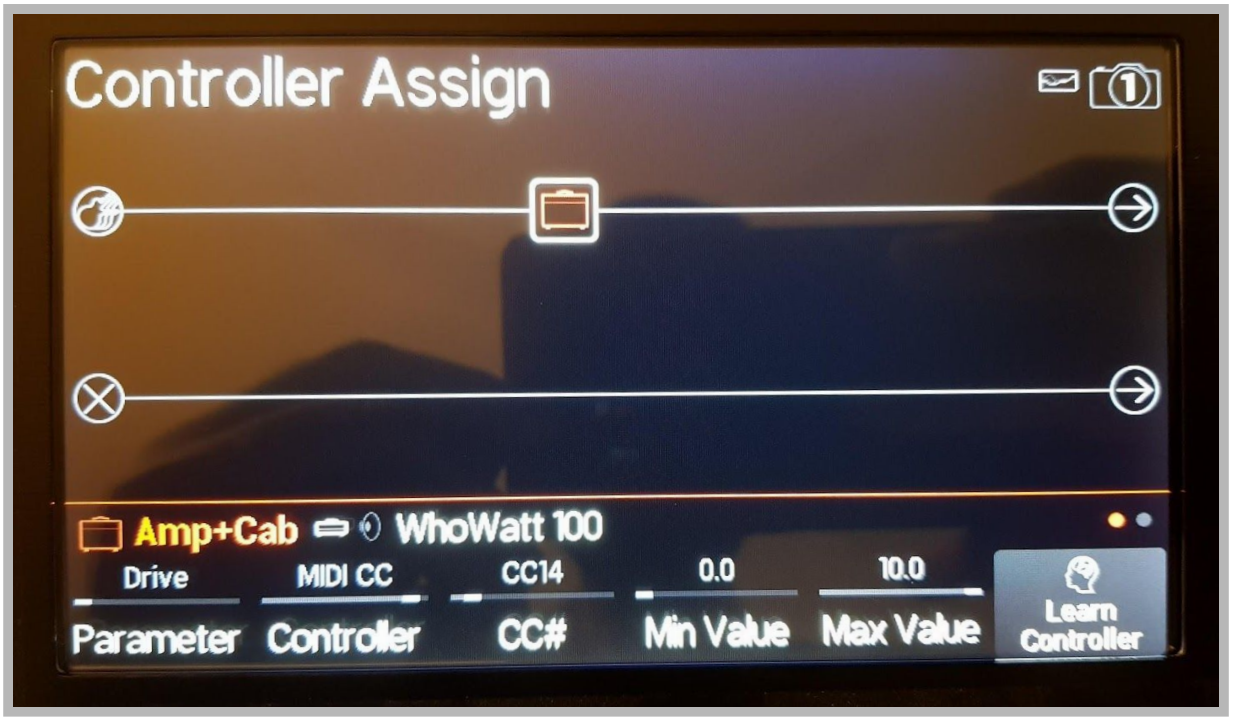


Tabla de implementación MIDI

Interfaz	Comportamiento	Mensaje	Canal	Rango
Pulsador 1	Controlador	CC 14	1	[0] [127]
Pulsador 2	Controlador	CC 15	1	[0] [127]
Potenciómetro 1 Arriba	Controlador	CC 16	1	[0..127]
Potenciómetro 1 Abajo	Controlador	CC 17	1	[0..127]
Potenciómetro 2 Arriba	Controlador	CC 18	1	[0..127]
Potenciómetro 1 Abajo	Controlador	CC 19	1	[0..127]

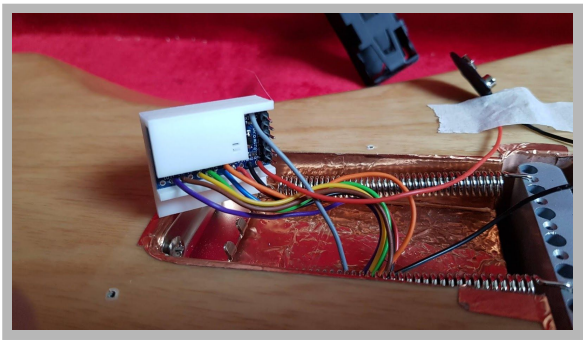
Estos mensajes MIDI por sí mismos no producen ningún sonido ni ninguna alteración del mismo hasta que no son asignados a algún parámetro concreto en el aparato receptor. Es decir, no se puede inferir nada sobre la influencia que tendrán, pues puede ser cualquiera, en función de la asignación que se haga en cada momento y en cada dispositivo. Es más, podrían controlar varios parámetros en varios dispositivos simultáneamente, ¡incluso en el equipo (instrumento o efectos) de otro(s) miembro(s) de la banda!

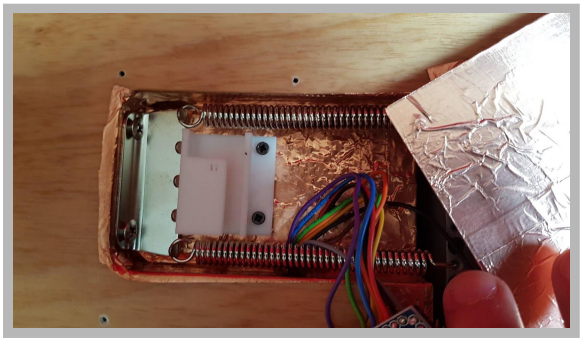
En esto reside precisamente la potencia y flexibilidad de este estándar: verdaderamente las posibilidades son infinitas y está pensado como herramienta fundacional, como medio, no como fin.

No obstante, un poco más adelante se exponen algunos ejemplos complementados con el material audiovisual adjunto[9].

Resultado final

[9] http://bit.ly/TFG_RafaelRebolleda





Casos de Uso

El controlador que se presenta, como el mismo protocolo MIDI, ofrece verdaderamente infinidad de posibilidades. A continuación se detallan tres casos concretos, basados en situaciones reales de interpretación en directo y estudio, que pueden servir de ejemplo. En los materiales adjuntos, catalogados en el anexo, se pueden consultar en audio y/o vídeo implementaciones concretas de estos ejemplos.

Control de parámetros de un efecto

Los efectos tradicionales analógcos tienen potenciómetros y conmutadores para controlar sus parámetros. Sin embargo, en los efectos digitales la modificación se suele hacer a través de una pantalla mediante menús o con el ratón, perdiendo la tactilidad e inmediatez.

En este caso se presenta la actuación sobre un trémolo, que modula el volumen de salida siguiendo la frecuencia de un oscilador, de modo que es fácil apreciar el efecto. En este caso el potenciómetro controla mediante MIDI la frecuencia de dicho oscilador.

Muestras de audio
2. Uso del potenciómetro.mp3[10]

Este tipo de control puede resultar muy expresivo en efectos de eco, filtros, moduladores de frecuencia, reverbs o incluso el propio trémolo presentado.

Otro caso interesantes es gestionar la activación temporal de un efecto mientras se toca el instrumento. La práctica totalidad de los efectos del mercado tienen un interruptor on/off, pero no es posible activarlo momentáneamente. En el siguiente ejemplo lo vemos aplicado de nuevo sobre un trémolo con un oscilador muy rápido que sería imposible accionar manualmente. Sin embargo, mientras mantenemos pulsado el controlador se obtiene el efecto de cortar el sonido varias veces, y perfectamente sincronizado con el tempo de la canción.

Muestras de audio
3. Uso del pulsador.mp3[11]

Este uso resulta muy expresivo en efectos de eco, , , cambio de frecuencia...

[10] http://bit.ly/TFG_RafaelRebolleda
[11] http://bit.ly/TFG_RafaelRebolleda

Control de varios parámetros simultáneamente

Una de las principales ventajas del control digital es que no hay que cablear y el enrutamiento de mensajes es muy flexible. Así, es posible asignar un mismo CC a varios parámetros, como se puede ver en el siguiente vídeo, donde se enlazada un potenciómetro de la guitarra con tres controles del amplificador: , y

Muestras de video
1. Control de varios parámetros simultáneamente.mp4[12]

En la práctica tradicional, con el control de volumen de una guitarra eléctrica es posible influenciar, de manera analógica a través del circuito que conforman, la ganancia del amplificador. Así, es posible pasar de sonidos saturados, con el volúmen de la guitarra a tope, a sonidos más "limpios" o "claros" a medida que se baja. Sin embargo, al hacerlo se influencian de manera no deseada el volumen general de salida y el tono: a medida que se aclara el sonido, se pierde volumen y se pierde brillo (altas frecuencias) en el sonido.

Usando el controlador MIDI propuesto no sólo es posible controlar simultáneamente las tres variables, manteniendo exáctamente la misma interfaz que antes (un potenciómetro —el mismo, de hecho— en la guitarra), sino que podemos además moverlas en la dirección que más nos conviene, y ajustar el rango de influencia a una fracción del recorrido. En este caso, cuando baja la ganancia, buscamos aumentar la presencia y el volumen general.

Muestras de video
2. Control de varios parámetros simultáneamente.mp4[13]

Como se puede ver en el vídeo, esto resuelve el problema de las influencias indeseadas comentadas. Esta misma técnica se puede aplicar en muchos contextos, por ejemplo para controlar simultáneamente el número de repeticiones y el volumen de un eco, parámetros que a menudo están muy relacionados.

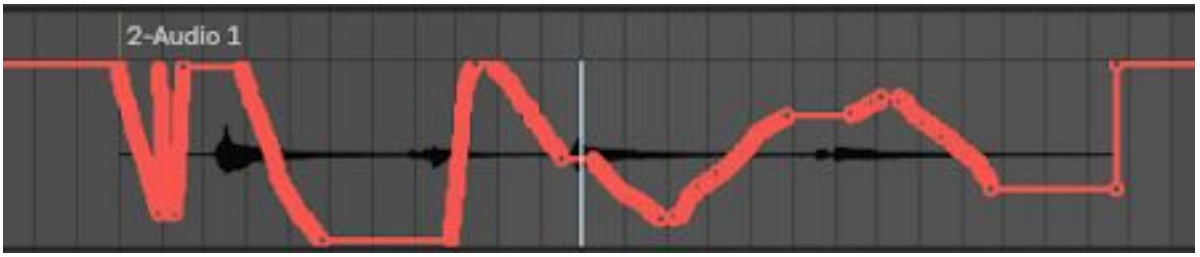
Registro de la automatización en estudio de grabación

En general, el controlador MIDI implementado puede funcionar con cualquier dispositivo compatible con MIDI, analógico o digital. En muchos casos pueden ser pedales, amplificadores o multiefectos. No obstante, un caso particularmente

[12] http://bit.ly/TFG_RafaelRebolleda
[13] http://bit.ly/TFG_RafaelRebolleda

interesante es la conexión a un ordenador, algo muy sencillo —y económico— mediante una interfaz MIDI USB.
En este caso es posible registrar en el software de grabación o DAW (acrónimo del inglés no sólo las pistas de audio del instrumento, sino los movimientos de los potenciómetros o acciones en los pulsadores. De esta manera se puede modificar posteriormente la interpretación o aplicar a otros parámetros.

A continuación podemos ver el registro en Ableton Live de los ejemplos anteriores con el trémolo, en primer lugar el movimiento del potenciómetro y en segundo la actividad del pulsador. Los valores más altos son 127 y los más bajos 0.

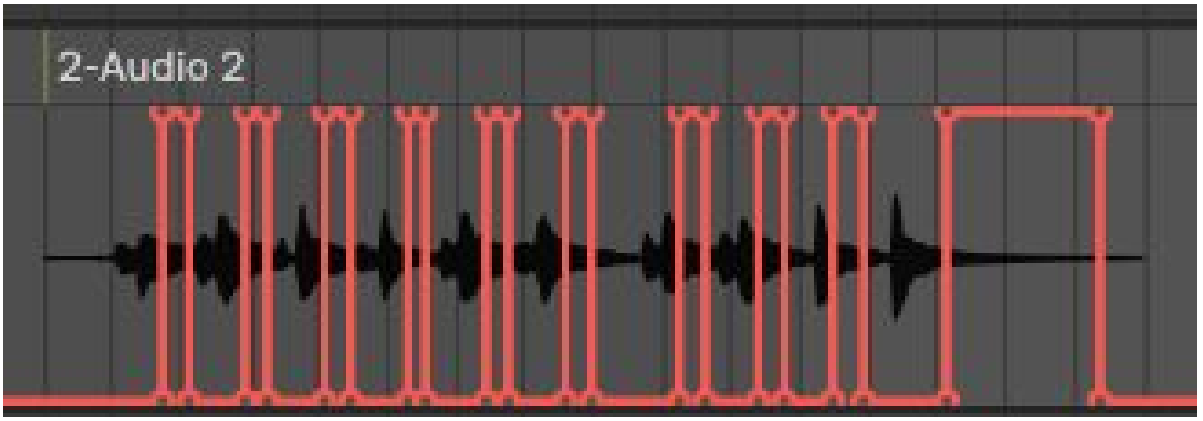


En el siguiente vídeo podemos ver la de esta automatización sobre el efecto de trémolo. El movimiento de los controles del parámetro no está controlado en tiempo real por el controlador de la guitarra, sino que la interpretación grabada se está volviendo a ejecutar.

Muestras de video
3. Registro de la automatización del potenciómetro.mp4[14]

A continuación podemos ver un ejemplo similar, en este caso con el registro de la interpretación con el pulsador momentáneo, que sólo manda valores on/off, es decir, transforma 0 y 1 en 0 y 127.

[14] http://bit.ly/TFG_RafaelRebolleda



Una vez más, en el siguiente vídeo podemos ver cómo afecta la de esta automatización al efecto, en este caso a la activación momentánea del mismo.

Muestras de video
4. Registro de la automatización del pulsador.mov[15]

Registrar la automatización resulta de gran utilidad en estudio, ya que permite grabar el sonido directo de la guitarra, sin ningún efecto, y aplicarlo directamente en el software, registrando todos los parámetros. De esta manera, es posible variar la interpretación en cualquier momento en el futuro, liberados de haberla dejado grabada directamente en la pista de audio final.

[15] http://bit.ly/TFG_RafaelRebolleda

Conclusiones

Rendimiento

Botones

Los pulsadores elegidos funcionan de manera correcta, pero el tacto es mejorable. En el futuro sería interesante sustituirlos por unos que de una mayor sensación de robustez y tengan un movimiento más suave.

Potenciómetros

La resistencia al movimiento de los dos tipos de potenciómetros existentes es muy similar, de manera que la interacción resulta muy natural. No obstante, los ejes son distintos (con o sin muesca), y esto hace que las tapas se comporten de manera ligeramente distinta. Sería interesante encontrar unas tapas que funcionen mejor en ambos casos, o diferenciar la cobertura de los controles dedicados a los fonocaptores y al control MIDI.

Mensajes MIDI

La elección de los mensajes es correcta y funciona como se espera. En distintas ocasiones puede ser interesante cambiar el comportamiento de los pulsadores a interruptor, aunque en general es una opción disponible en el dispositivo receptor (como es el caso de Ableton Live).

Es razonable pensar en cambiar el mensaje de los pulsadores por el Cambio de Programa, o quizás incluso habilitar la posibilidad de configurarlo directamente desde el instrumento. No obstante, no querríamos caer en el exceso de controles y opciones de configuración que terminan siendo un impedimento en lugar de una fuente de inspiración.

Batería

La batería se ha comportado mejor de lo que sugerían las especificaciones sobre consumo, y es probable que pueda ser optimizado aún más desactivando algunas funciones de la placa de arduino o usando una aún más básica.

No obstante, el rendimiento actual es mejor que el habitual en otros equipos destinados a un uso semejantes, como podrían ser los pedales de efectos o los sistemas de pre-amplificación integrados.

Elecciones

Instrumentos

La elección de la Stratocaster ha sido un acierto como validación. Quizás sólo algunas Fender Telecaster tienen aún menos espacio. Otra modelos populares, como la Gibson Les Paul, ofrecen incluso más posibilidades de control manteniendo una interfaz similar a la original.

Conexiones

La conexión DIN es un acierto por su universalidad y ligero impacto en la estética del instrumento. Ciertamente, una interfaz USB ofrece ventajas como alimentación integrada y comunicación bidireccional, pero sólo ofrece compatibilidad con ordenadores, un dispositivo que todavía no se ha ganado la confianza de la mayoría de músicos. No obstante, es una posibilidad que merece ser explorada, especialmente si se puede combinar con una interfaz de audio integrada.

Otras opciones que podrían encontrar vías interesantes de desarrollo serían TRS o incluso TRRS, para llevar alimentación y comunicación bidireccional con un conector relativamente estándar y compatible con versiones anteriores.

Dicho todo esto, las soluciones actuales no presentan problemas o limitaciones destacables, así que tampoco hay una necesidad ni una ventaja aparente en el cambio.

Placas arduino

El desarrollo ha sido realizado tanto en la Pro Micro como en la Pro Mini. Esta última necesita un reset manual con cada subida de código, hecho que en ocasiones ha llegado a resultar frustrante. Además, el adaptador de conexión por USB al puerto de serie necesita sus propios y en general todo este esfuerzo adicional no aporta nada a la etapa de desarrollo.

Sin embargo, es apreciable positivamente que la placa de instalación final no tenga puertos a la vista. Quizás la alternativa más adecuada es desarrollar en placas placas cómodas como la UNO y pasar a las finales únicamente para las últimas pruebas y la instalación final.

IDE

Finalmente la mayoría del desarrollo se ha realizado en el IDE de arduino, que era el que mejor se relacionaba con el reset manual de la Pro Mini.

Codebender es una buena opción y el hecho de trabajar en la nube tiene sus ventajas, pero la experiencia con el reset manual puede ser frustrante.

Software

En retrospectiva, el uso de la librería MIDI me resulta una dependencia innecesaria. La funcionalidad que ofrece es muy completa, pero es relevante en otro tipo de proyectos MIDI. Para el caso que nos ocupa, es perfectamente posible lanzar los mensajes MIDI escribiendo directamente en el puerto de serie, como en las pruebas iniciales, si acaso haciendo una simple función que abstraiga el envío de los tres del mensaje y mejore la legibilidad del código.

Posibles Desarrollos Futuros

Quizás la evolución más evidente es facilitar la instalación mediante sistemas de conexión que no necesiten soldadura y que además proporcionen simultáneamente aislamiento en las conexiones.

Viabilidad de Productización

Costes

A continuación se puede ver la relación de componentes y costes asociados (como minorista), que —en resumen— son muy contenidos en comparación con otros sistemas para guitarra similares en complejidad y tipología de componentes.

#	Componente	Precio Ud.	Total
1	Wingoneer Pro Mini	4,66 €	4,66 €
2	Potenciómetros Alpha Dual Concentric 9mm 10K Ω	3,60 €	7,20 €
2	Interruptores momentáneos normalmente abiertos	0,25 €	0,50 €
2	Resistencias 100 Ω	0,06 €	0,12 €
1	Resistencia 220 Ω	0,06 €	0,06 €
8	1m de cable de color	0,03 €	0,24 €
1	Jack hembra estéreo 6,3 mm	0,28 €	0,28 €
1	Conector hembra DIN 5	0,35 €	0,35 €
1	Impresión 3D Soporte: 1,5 m filamento PLA	0,03 €	0,03 €
1	Tapa para la cavidad del vibrato	1,6 €	1,6 €
1	Soporte de Batería	1,05 €	1,05 €
4	Tornillos	0,01 €	0,04 €
		TOTAL	**16,13 €**

En comparación, veamos el precio de venta[16] de algunos para guitarra de diversa funcionalidad y similar complejidad:

Roland GK-3 Kit	98 €
Graph Tech Acousti-Phonic Kit	143 €
Graph Tech Ghost Hexpander Preamp Kit	252 €
Schaller FlagShip Guitar Preamp Kit	165 €
Fishman Triple Play	319 €

[16] PVP en Thomann.es o eBay.es a fecha de entrega de la memoria

Como se puede observar, aún contabilizando mano de obra y distribución, hay espacio para margen comercial.

Facilidad de instalación

Como se ha comentado antes, sistemas de conexión sin soldadura pueden hacer el sistema más accesible, rápido y quizás incluso más barato. Sin lugar a dudas, también menos frustrante. Mejorar el método de conexión e instalación puede reducir notablemente el tiempo dedicado a la modificación del instrumento.

En cualquier caso, la dificultad es similar a la instalación de otras modificaciones que tienen el mismo tipo de componentes. El tiempo aproximado de instalación con el sistema actual sería de 2h.

Kit

Quizás una opción de productización es la oferta en modo de kit auto-instalable, similar a los que ofrecen fabricantes como Fishman, Roland o EMG entre muchos otros.

Desde luego no hay ningún impedimento técnico y de hecho sería posible preparar todos los materiales de manera que la instalación fuera más sencilla y segura, reduciendo el tiempo de modificación hasta los 30 minutos.

ANEXOS

1. Tabla de implementación estándar MIDI 1.0

CC #	Propósito	Descripción
0	Selección de Banco	Complementa el comando Cambio de Programa. Entre ambos proporcionan 16.384 combinaciones.
1	Modulación	En general modula la frecuencia
2	Soplido	Intensidad del soplido en instrumento digitales de viento
3	INDEFINIDO	
4	Pedal	Típicamente para el control
5	Portamento	Controla la velocidad de portamento entre dos notas
6	Entrada de datos: Bit más alto	Controla valores para los parámetros NRPN y RPN
7	Volumen	Controla el volumen del canal correspondiente
8	Balance Estéreo	En un panorama estéreo. 0 a la izquierda y 127 a la derecha.
9	INDEFINIDO	
10	Balance Mono	0 a la izquierda y 127 a la derecha.
11	Expresión	Como porcentaje del volúmen.
12	Controlador de Efecto #1	Controla algún parámetro de un efecto en el instrumento
13	Controlador de Efecto #2	Controla algún parámetro de un efecto en el instrumento
14-31	INDEFINIDOS	
32-63	Bit menos significativo	Para los CC 0-31
64	Pedal de	Valores [0-63]: Off. Valores [64-127]: On
65	Portamento On/Off	Valores [0-63]: Off. Valores [64-127]: On
66	Sostenuto	Similar al #64, pero sólo aplica a notas en curso
67	Pedal de suavizado	Reduce el volumen. Valores [0-63]: Off. Valores [64-127]: On
68	Legato	Valores [0-63]: Off. Valores [64-127]: On
69	Sostenuto #2	Similar a #64 y #66, pero respeta el parámetro de del instrumento. Valores [0-63]: Off. Valores [64-127]: On
70	Controlador de Sonido #1	Por defecto: Variación
71	Controlador de Sonido #2	Por defecto: Resonancia
72	Controlador de Sonido #3	Por defecto:

73	Controlador de Sonido #4	Por defecto: Ataque
74	Controlador de Sonido #5	Por defecto: Corte de frecuencia en el filtro
75	Controlador de Sonido #6	Indefinido
76	Controlador de Sonido #7	Indefinido
77	Controlador de Sonido #8	Indefinido
78	Controlador de Sonido #9	Indefinido
79	Controlador de Sonido #10	Indefinido
80	Interruptor #1	Valores [0-63]: Off. Valores [64-127]: On
81	Interruptor #2	Valores [0-63]: Off. Valores [64-127]: On
82	Interruptor #2	Valores [0-63]: Off. Valores [64-127]: On
83	Interruptor #2	Valores [0-63]: Off. Valores [64-127]: On
84	Portamento	Intensidad del
85-90	INDEFINIDOS	
91	Intensidad de Efecto #1	Por defecto: Reverb
92	Intensidad de Efecto #2	Por defecto: Tremolo
93	Intensidad de Efecto #3	Por defecto: Chorus
94	Intensidad de Efecto #4	Por defecto: Detune
95	Intensidad de Efecto #5	Por defecto: Phaser
96	Incremento +1 en Dato	Para mensajes RPN y NRPN
97	Decremento -1 en Dato	Para mensajes RPN y NRPN
98	Bit menos significativo NRPN	Para los controladores #6, #38, #96 y #97
99	Bit más significativo NRPN	Para los controladores #6, #38, #96 y #97
100	Bit menos significativo RPN	Para los controladores #6, #38, #96 y #97
101	Bit más significativo NRPN	Para los controladores #6, #38, #96 y #97
102-119	INDEFINIDOS	
120	Apagar todos los sonidos	Apaga todos los sonidos, incluyendo aquellos sostenidos
121	Reset	Deja todos los controladores en sus valores por defecto
122	Loop On/Off	Previene repetición de notas por bucle en la comunicación

123	Corta todas las notas	Similar a #120, pero respeta el en marcha.
124	Modo Omni Off	
125	Modo Omni On	
126	Mono	Cambia el dispositivo a funcionamiento monofónico
127	Modo Polifónico	

Resumen de Controladores sin especificar:

- 3
- 9
- 14-15
- 20-31
- 85-90
- 102-119

2. Relación de Muestras de Audio y Vídeo

El material adjunto se encuentra disponible en una carpeta de Google Drive en la siguiente URL:
http://bit.ly/TFG_RafaelRebolleda

La distribución es la siguiente:

- Muestras de audio
    - 1. MIDI Test Escala de notas.mp3
    - 2. Uso del potenciómetro.mp3
    - 3. Uso del pulsador.mp3
- Muestras de vídeo
    - 1. Control de varios parámetros simultáneamente.mp4
    - 2. Control de varios parámetros simultáneamente.mp4
    - 3. Registro de la automatización del potenciómetro.mp4
    - 4. Registro de la automatización del pulsador.mp4

Referencias

The Complete MIDI 1.0 Detailed Specification
MIDI Association, 1996
https://www.midi.org/specifications/item/the-midi-1-0-specification

MIDI DIN Electrical Specification
MIDI Association, 1996
https://www.midi.org/specifications/item/midi-din-electrical-specification

Make: Learn to solder
— 2012 Maker Media Inc.

Getting started with soldering
2017 Maker Media Inc.

Arduino: A Quick Start Guide
2011 Pragmatic Programmers LLC

Make: Basic Arduino Projects
— 2014 Maker Media Inc.

Make: Electronics
2009 Maker Media Inc.

Make: More Electronics
2014 Maker Media Inc.

Basic electronics for Arduino makers
2017 Packt Publishing

Encyclopedia of Electronic Components, Vols. 1, 2 & 3
2012, 2014 y 2016 respectivamente, Maker Media Inc.

The Hardware Startup
— 2015 O'Reilly Media

Arduino Playground - MIDI Library Reference
https://playground.arduino.cc/Main/MIDILibraryReference

Librería MIDI for Arduino
— 2016 (MIT License)
https://github.com/FortySevenEffects/arduino_midi_library

Documentación: Arduino MIDI Library v. 4.3.1
— 2016 (MIT License)
http://arduinomidilib.fortyseveneffects.com/

The Language of New Media
. — 2001 MIT Press