

Presentación de ponencia  
VI Jornada de Becarios y Tesistas UNQ 2016

**Autor:** Juan Mariano Ramos

**Título:** “*Diseño y desarrollo de aerófono electrónico inalámbrico*”

**Dirección electrónica:** juanramos87@hotmail.com

**Formación de grado en curso:** Licenciatura en Música y Tecnología (UNQ)

**Tipo de beca:** Beca de Formación Inicial en Investigación (BeFII - UNQ)

**Director de la beca:** Martín Matus Lerner

**Proyecto en cuyo marco se inscribe la beca y director del mismo:** “*Desarrollos tecnológicos digitales aplicados al arte*”, director Esteban Calcagno.

**Resumen**

El proyecto comprende el diseño y desarrollo de un instrumento electrónico musical de viento, de tipo controlador MIDI e inalámbrico, cuya curva de aprendizaje permita rápidamente producir música a cualquier individuo independientemente de sus conocimientos o pericia físico-técnica. El desarrollo estará basado en un microcontrolador Arduino y la alimentación eléctrica será provista por baterías con un sistema de recarga interno. Se ha escogido el protocolo MIDI para comunicarse con dispositivos sintetizadores de audio diversos. El proyecto contempla también un análisis de aerófonos existentes (acústicos y electrónicos) en colaboración con instrumentistas, a fin de determinar la mayor ergonomía y comodidad para el intérprete. Se estudiará con cuidado el sistema más conveniente de digitación para producir las diferentes notas musicales de la manera más intuitiva posible y versátil a la vez. Especial rigurosidad se pondrá en el diseño del sensor de velocidad/presión de aire, la embocadura y la respuesta devuelta al usuario por ésta, requisito fundamental para acortar la distancia perceptual existente en el intérprete entre la acción realizada y el resultado sonoro obtenido.

## **Tabla de contenidos**

Resumen.....	1
1. Introducción y justificación.....	3
2. Desarrollo del proyecto.....	5
2a. Sensado de velocidad/presión de aire.....	5
2b. Interfaz de digitación.....	6
2c. Otros sensores de expresión.....	7
2d. Interfaz de configuración.....	8
2e. Transmisión inalámbrica.....	8
2f. Alimentación eléctrica.....	9
2g. Carcasa y montaje interno.....	10
2h. Programación y lógica.....	11
3. Consideraciones finales.....	14

## **1. Introducción y justificación**

El campo de los instrumentos electrónicos lleva más de un siglo de desarrollo y avances, abarcando producciones muy diversas. Existe una tendencia generalizada a clasificarlos en dos grandes grupos: los que imitan el funcionamiento y diseño de instrumentos acústicos tradicionales, y aquellos que evitan en mayor o menor medida esta relación. Si bien el mundo de la música ha hecho uso extenso de estos recursos, existen ciertas problemáticas asociadas a ambos grupos que han dificultado su inserción en ámbitos académicos tradicionales, orquestales, pedagógicos y otros.

Los primeros son generalmente comparados con aquellos instrumentos acústicos a los que imitan, siendo considerados por los instrumentistas como versiones “exóticas” o hasta “risueñas” de ellos. Además, el uso de cables y alimentación eléctrica suelen ser factores de exclusión a la hora de considerar su uso en disposiciones orquestales. Como excepción pueden destacarse algunos instrumentos de teclado utilizados para ensayos y en reemplazo de originales acústicos muy costosos o de difícil transporte. Aún así, suele preferirse la ejecución con instrumentos acústicos.

El segundo grupo corre una suerte diferente ya que se los suele asociar con un tipo de música de índole modernista, en ocasiones “experimental”. Las sonoridades de éstos recaen, por lo general, en el campo de los sonidos no afinados, o presentan limitadas capacidades para interpretar música dentro de un lenguaje tradicional. Así es que, en la mayoría de los casos, se utilizan como complementos de otros instrumentos, como generadores de “efectos” sonoros (en lugar de portadores de información primaria), o como instrumentos solistas por sus particulares disposiciones visuales, técnicas o estéticas. Si bien esta problemática no es abarcable en su totalidad dentro del contexto de la presente investigación, se explora aquí un acercamiento inicial, teórico y práctico, a un posible camino para el tratamiento de esta situación.

Este proyecto trata entonces el diseño y desarrollo de un instrumento electrónico musical de viento,

inalámbrico, de tipo controlador MIDI<sup>1</sup>, cuya curva de aprendizaje<sup>2</sup> permita rápidamente producir música a cualquier individuo, independientemente de sus conocimientos o pericia físico-técnica. Al mismo tiempo, que presente la versatilidad suficiente como para ejecutar todo tipo y complejidad de propuestas sonoras.

De ello se desprende que el instrumento tenga una finalidad doble:

- Por un lado facilitar el acercamiento del estudiante novato al mundo de la música, permitiendo acortar el tiempo requerido para desarrollar la destreza técnica habitual demandada por cualquier instrumento acústico.
- Por otro admitir, por su calidad expresiva, variedad sonora e independencia del uso de cables, la posibilidad de integrarse en ensambles de música de todo tipo, tanto “académica” como “popular”, sin que su naturaleza electrónica lo condicione a una sonoridad específica y, en consecuencia, a un determinado ámbito musical, como es frecuente que ocurra en desarrollos similares.

---

<sup>1</sup> “Musical Instrument Digital Interface”. Ver <http://www.midi.org/techspecs/>

<sup>2</sup> Describe el grado de éxito obtenido durante el aprendizaje en el transcurso del tiempo.

## **2. Desarrollo del proyecto**

Tras un análisis inicial de la problemática planteada, de otras iniciativas relacionadas y estudiar los medios técnicos a disposición, se resolvió -a priori- subdividir la investigación en áreas discretas a trabajar de forma modular. A continuación se exponen estas áreas y el trabajo realizado en cada una.

### **2a. Sensado de velocidad/presión de aire**

Se exploraron diversas maneras de medir la velocidad/fuerza del soplo realizado por el usuario: sistemas rotatorios de hélice con dínamo o codificadores ranurados, obturadores ópticos y magnéticos con sensor de efecto hall. Finalmente el mejor resultado fue obtenido con sensores de presión piezorresistivos aplicados a un sistema que aprovecha el efecto Venturi, el cual predice que un fluido -el aire- en movimiento dentro de un conducto cerrado aumenta su presión cuando reduce la velocidad al pasar por una zona de sección mayor. Teniendo en cuenta que un humano es capaz de producir una presión al exhalar de alrededor de 15-20 kPa como máximo, se ha escogido el sensor MPX5010 de Freescale, el cual trabaja en el rango de 0-10 kPa y se alimenta con 5 v, lo que lo convierte en idóneo para la plataforma Arduino.

De esta manera, se ha previsto utilizar una boquilla de ingreso de aire conectada a una tubería doble mediante una pieza tipo “unión T”. Una sección conduce al sensor mencionado, mientras que la segunda provee una vía de escape para el flujo de aire hacia el exterior del instrumento. Esto último es necesario para dar la sensación de “soplo” al usuario, a la vez que permite la evacuación de la condensación del vapor de agua natural en la exhalación. La pieza “T” posee una sección ligeramente mayor que la tubería, lo cual crea un sector de mayor presión que ayuda a excitar más eficientemente al sensor. Cabe destacar que al no poseer salida, no existe flujo de aire en el conducto que se dirige al sensor, por lo que la condensación no accederá al mismo, sin embargo la presión en dicha sección variará en forma directamente proporcional a la velocidad del aire en el resto del sistema.

## **2b. Interfaz de digitación**

Si bien en un principio se contempló la utilización de diversos interruptores electromecánicos para hacer las veces de “llaves” como poseen muchos aerófonos acústicos, esto presentaba algunos problemas como diseñar un sistema mecánico de acción compatible con la posición de las manos y dedos del usuario, además de requerir puertos en exceso del Arduino. Por ello se ha explorado la alternativa de una interfaz táctil capacitiva y resultó ser el medio más adecuado para los objetivos del proyecto. De entre las opciones comerciales disponibles se ha escogido la interfaz MPR121. Esta provee una solución integrada para la utilización de hasta 12 electrodos táctiles, y demanda un mínimo de puertos ya que hace uso del protocolo serie I2C para comunicarse con microcontroladores. Este tipo de sistemas requieren de una superficie conductiva que, al ser tocada por el usuario, produce una drástica variación de capacitancia que es medida e interpretada por el sensor como un “toque”. De esta manera se han diseñado una serie de electrodos (para facilitar la exposición serán llamados “llaves”) de aluminio pulido “a espejo”, que además de aportar a la estética, optimiza el contacto con la piel del usuario.



*Vista posterior y anterior del cuerpo principal*

A priori el sistema de digitación utiliza un diseño comparable al de una flauta dulce, es decir, 7

notas diatónicas de base. A partir de allí, una 8va llave (#/b) puede configurarse para subir o bajar un semitono a cualquier nota, de modo que facilite la adecuación a distintas tonalidades o alteraciones armónicas. Del mismo modo que muchos aerófonos tradicionales, se han dispuesto dos llaves en la zona de acción del pulgar izquierdo para hacer las veces de portavoces, permitiendo en sus diferentes combinaciones utilizar hasta 4 octavas.

A pesar de lo mencionado, el sistema físico ha sido intencionadamente diseñado de manera totalmente simétrica, de manera que no existe diferencia para el usuario en caso de ubicar una u otra mano en la posición superior o inferior. Esto brinda la posibilidad a aquella persona sin experiencia en aerófonos de utilizar las manos en la forma que le resulte más conveniente, mientras que la mayoría de los instrumentos tradicionales requieren un posicionamiento específico que no es posible modificar sin comprometer seriamente la digitación.

## **2c. Otros sensores de expresión**

Además de la expresión dinámica controlada por el flujo de aire se ha dispuesto añadir dos opciones adicionales para el control de parámetros expresivos por parte del usuario. Ambas constan de sensores de fuerza resistivos (FSR), los cuales son capaces de reaccionar a la presión mecánica ejercida sobre ellos. La diferencia entre ambos radica en su implementación y método de excitación. El primer sensor, llamado “A”, se ha dispuesto en la zona de acción del pulgar derecho, de manera que el usuario pueda desplazarse sobre aquél y presionarlo para producir diferentes intensidades de variación a parámetros MIDI de control expresivo. El segundo sensor, “B”, aún se encuentra en fase de diseño, pero se prevé incorporarlo a la boquilla de soplido, para que funcione como “sensor de mordida”, es decir que se accione según la presión mecánica ejercida por la boca del usuario. Esto se ha contemplado para proveer una vía de expresión análoga a la que presentan los instrumentos de lengüeta principalmente, en los cuales pueden realizarse cambios de altura y otros según como se tome la boquilla/lengüeta y la presión ejercida sobre ella.

## **2d. Interfaz de configuración**

Dado que es necesario el monitoreo del estado de algunos parámetros y su personalización por parte del usuario, se ha incorporado una pantalla de visualización LCD monocromática 5110. Esta posee una resolución de 84x48 pixels y una retroiluminación LED susceptible de controlar por diversos medios. Se ha escogido por su adecuado tamaño, bajo costo y la facilidad con que pueden producirse todo tipo de aplicaciones gráficas en ella. Anexos a esta pantalla se han dispuesto 4 pulsadores sin retención para controlar el software del instrumento. En principio se prevé el control y monitorización de los siguientes elementos: instrumento sintetizado, parámetro MIDI de expresión dinámica, parámetros MIDI controlados por “A” y “B”, sensibilidad al soplo, transposición cromática, “#” o “b” para la 8va llave, encendido y estado del módulo inalámbrico y porcentaje de carga de la batería interna. Se contempla reservar uno de los pulsadores exclusivamente como “botón pánico” en caso de algún problema ocurrido en el sintetizador.

## **2e. Transmisión inalámbrica**

Se han realizado pruebas satisfactorias de transmisión MIDI por radiofrecuencia utilizando el “modo transparente” de los módulos Xbee. Se requiere sin embargo realizar adaptaciones eléctricas a la señal dado que dichos módulos operan con lógica de 3.3 v, mientras que Arduino y MIDI utilizan 5 v. Es imprescindible la creación de un dispositivo receptor para retransmitir la señal MIDI a los diversos sintetizadores, el cual también contempla utilizar una batería recargable y un -al menos rudimentario- sistema de visualización de estado. En el instrumento (emisor), la adaptación de señal la provee un divisor resistivo de relación 2/3. En el receptor esto aún no ha sido definido, sin embargo, dado que la especificación MIDI utiliza un optoacoplador en las entradas, no es estrictamente necesario proveer 5 v, sino una corriente que alcance para excitar el LED del sistema. Por ello es viable, en principio, acoplar la salida lógica de 3.3 v del módulo Xbee a la entrada MIDI del sintetizador, utilizando una resistencia de alrededor de 150 ohm en lugar de los 220 ohm establecidos en la especificación, a fin de proveer los 22 mA de corriente previstos. En el



instrumento el módulo inalámbrico puede ser encendido o apagado por el usuario mediante la interfaz de configuración para ahorrar batería. Esto es posible gracias a la utilización de un transistor NPN (337) que funciona como interruptor de corriente para la alimentación (3,3 v) del módulo Xbee, controlado por un puerto digital del Arduino. Cabe aclarar que este último no puede utilizarse de manera directa para alimentar al módulo ya que provee 5 v en lugar de 3.3 v y posee un límite absoluto de 40 mA, y el Xbee requiere de un mínimo de 45 mA.

## **2f. Alimentación eléctrica**

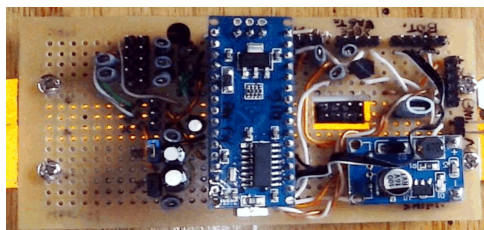
La alimentación es provista por una batería de iones de litio recargable, la misma tecnología que se utiliza en teléfonos celulares. Esta posee un rango de tensión que va desde 4.2 v con la carga completa, a alrededor de 3 volt totalmente descargada. Es necesario entonces elevar esta tensión -que además no es constante- a los 5 v estabilizados que requieren el Arduino y el sensor MPX5010. Para esta tarea se utiliza un elevador de conmutación (step-up) cuya eficiencia de conversión es superior al 90%, algo importante a tener en cuenta al trabajar con baterías, el cual provee una salida muy precisa y estable de 5 v siempre que la batería posea carga suficiente. Para los elementos que utilizan 3.3 v (la pantalla 5110, el módulo Xbee y el MPR121) se ha incorporado un regulador de tensión LM1117, el cual es de baja pérdida y provee una salida estable de 3.3 v a partir de los 5 v antes mencionados. Nuevamente, por limitaciones de corriente, no es posible utilizar la salida de 3.3 v del Arduino para alimentar este conjunto de elementos.

El estado de carga de la batería, que es proporcional a la tensión de la misma, es registrado a todo momento por una de las entradas analógicas. Por otro lado, se ha recurrido a la incorporación de un módulo basado en TP4056, el cual gestiona de forma integral la carga y protección de la batería. De este modo se puede conectar una fuente estándar de 5 v (como un cargador de celular) para cargar la batería del instrumento sin necesidad de abrirlo o desmontarlo. Todo este mismo sistema de alimentación es replicado en el receptor inalámbrico.

## **2g. Carcasa y montaje interno**

Como carcasa para el instrumento se ha utilizado, por su bajo costo y amplia disponibilidad, un tubo de PVC de 5 cm de diámetro y 30 cm de largo, que posteriormente fue colapsado mediante el uso de calor de manera que su sección adquiriera la forma aproximada de óvalo de 6 x 3 cm con dos caras planas paralelas. Esto provee una sensación continua al tacto, sin ángulos que pudieran interferir el agarre o la comodidad de las manos. Al mismo tiempo, sus caras planas brindan superficies adecuadas para el montaje de los diferentes componentes tanto internos como externos. Sobre una de ellas se ha efectuado un corte rectangular de 26 x 4 cm que servirá de tapa de acceso.

Se ha creado una base de madera terciada que sirve de anclaje para la mayor parte de los componentes internos y al mismo tiempo, mediante tuercas y tornillos, provee el agarre y los conductores eléctricos para las 8 llaves de la parte superior.



*Vista superior de la placa base*

Al mismo tiempo, ha sido necesario el diseño y manufactura de una placa base principal, que sirve de alojamiento para el Arduino Nano y provee terminales de conexión para todos los componentes del instrumento. También se alojan en ella todos los componentes electrónicos adicionales necesarios para las diversas funciones, como ser: resistencias varias, capacitores de filtrado, transistores, el regulador LM1117 y el elevador de conmutación para proveer la alimentación de 5v. Sobre la tapa removible se han colocado el conector MIDI-DIN, las dos llaves portavoces, el soporte para el pulgar derecho desde donde puede accionarse el sensor “A” y se prevé alojar también el interruptor de encendido general y el conector de carga de batería. Sobre la cara superior

externa de la carcasa han sido montadas las 8 restantes llaves de digitación, la pantalla 5110 y los 4 pulsadores de control. Actualmente se está trabajando en el montaje para los elementos relacionados al sensado del flujo de aire (MPX5010, pieza T, tubería, ingreso desde la boquilla y escape).

## **2h. Programación y lógica**

El instrumento ha sido concebido, al menos a priori, de manera monofónica, es decir está limitado a una sola nota en un mismo intervalo de tiempo. Hacerlo de otro modo implicaría un rediseño integral en algunos puntos centrales del proyecto, aunque no se descarta explorar la incorporación de capacidades polifónicas una vez alcanzados de manera satisfactoria los objetivos planteados en la investigación.

La generación de notas responde a la siguiente dinámica de eventos y condiciones: al superar un determinado umbral en el valor de presión recogido por el sensor MPX5010, es decir, al iniciarse el soplo por parte del usuario, se aguarda un pequeño intervalo de tiempo. Una vez transcurrido, se mide nuevamente el valor del sensor. Este segundo valor alcanzado tras un tiempo fijo conocido permite estimar la intensidad inicial del soplo del usuario, y asignar así un valor de Velocity (intensidad) con el que se producirá la nota. Este procedimiento es análogo al utilizado en los controladores MIDI de teclado sensitivos (pianos eléctricos, órganos, etc.) en los cuales la intensidad de cada nota es asignada al medir el diferencial de tiempo entre dos contactos físicamente desfasados en cada tecla. Existe una proporcionalidad entre la fuerza aplicada a la tecla y la velocidad en la que esta desciende y acciona ambos contactos, y es por ello que la especificación MIDI llama “Velocity” al parámetro que controla la intensidad inicial de las notas.

Una vez se ha determinado que una nota debe sonar tras el procedimiento anterior, se lee el estado de las 10 llaves de digitación. Primero se leen las 7 llaves diatónicas y se asigna una nota de referencia. Luego se le suma o resta un semitono si está siendo tocada la llave #/b. A continuación

se añaden múltiplos de 12 semitonos (una octava) según el estado de los portavoces. Finalmente, se aplica la suma o resta correspondiente al valor de transposición general escogida en la configuración por parte del usuario. Tras estas operaciones, se dispone de un número de nota MIDI y de un valor de Velocity y se procede a producir un mensaje de Note-On. El sintetizador escogido deberá entonces comenzar a reproducir el sonido correspondiente a la acción del usuario.

A partir de aquí se aplican una serie de condiciones nuevas. A intervalos regulares es leído el valor del sensor MPX5010 y se envía un mensaje MIDI de expresión (CC) según lo escogido por el usuario, a fin de controlar la evolución dinámica de la nota que está sonando. De este mismo modo son leídos los sensores “A” y “B” y enviados los mensajes correspondientes.

Si existe una modificación en el estado de las 10 llaves, es decir, que se ha cambiado la digitación en algún modo, el sistema entonces produce un nuevo mensaje de Note-On con Velocity según el estado actual del sensor MPX5010 y asignando una nota tras reproducir el procedimiento original. Inmediatamente tras esto, se produce un mensaje de Note-Off para apagar la nota anterior. Este es un punto único en el que existen técnicamente dos notas sonando al mismo tiempo, hasta que se ejecute el Note-Off. Ha sido concebido así tras contemplar la posibilidad de utilizar la capacidad de Portamento existente en algunos sintetizadores, el cual requiere para su funcionamiento que una nota se solape ligeramente con la siguiente.

La última situación procesada por el sistema es, naturalmente, el descenso del valor del MPX5010 por debajo del umbral mencionado (cese del soplado). Este evento produce un mensaje de Note-Off. Así quedan contempladas todas las posibilidades de producción e interrupción de sonidos. Cabe recordar la eventualidad de que el usuario utilice el pulsador de “pánico”, el cual enviará un mensaje de apagado de todas las notas y restablecerá los valores iniciales para cada parámetro expresivo. Este mismo recurso será utilizado por el software cuando el usuario modifique cualquier

parámetro en la configuración como cambiar de instrumento o valor de transposición.

Entre otras situaciones tratadas por el software se contempla la activación momentánea de la retroiluminación LED en la pantalla 5110 tras utilizar un pulsador de control, y su desactivación tras un período de tiempo de inactividad, de manera que pueda ahorrarse energía cuando no es requerida.

### **3. Consideraciones finales**

A la fecha de la publicación del presente artículo, el proyecto se encuentra en sus fases finales de desarrollo. La boquilla es el principal elemento a concluir, en particular existen dificultades técnicas para incorporar en ella el segundo sensor de fuerza “B”. De poder lograrse satisfactoriamente, brindaría una valiosa posibilidad expresiva al intérprete. Si bien otros componentes del proyecto han sido adquiridos, manufacturados o tomados de otros elementos en desuso, actualmente se está diseñando una boquilla en un software de modelado 3D, a fin de que pueda ser generada por una impresora 3D, ya que se la considera un elemento clave y debe ser cuidadosamente producida. Se ha realizado un análisis de la posición natural de los labios y la boca de una persona durante el soplado para asistir en dicho diseño. Del mismo modo resta definir el montaje que ésta utilizará, pero se contempla que posea un punto de pivote que permita un movimiento ligeramente independiente (sobre un eje) de la boquilla respecto del cuerpo del instrumento. Esto brindará una mayor libertad de acción al intérprete. La dificultad aquí reside en permitir este movimiento de pivote sin comprometer el correcto flujo de aire hacia el instrumento, siendo que este es conducido por una tubería de PVC de flexibilidad limitada.

Si bien resta concluir lo mencionado y refinar cuestiones estéticas como aplicar una terminación negra a toda la carcasa, las pruebas y prototipos funcionales que se han realizado en todos los aspectos contemplados por la investigación han arribado a resultados satisfactorios. Se contemplan numerosas propuestas de ampliación en su funcionalidad, mayores opciones de digitación, la documentación total del proyecto (incluyendo las vías exploradas y descartadas), su publicación en diversos medios y otros.