

# **Deafsic: Aplicación de Escritorio para Enseñanza de Instrumentos de Cuerda Frotada para Niños con Discapacidad Auditiva**

## *Deafsic: Desktop Application for Teaching Bowed String Instruments to Hearing Impaired Children*



**Gutiérrez Jáuregui, Tania Doniangelis**

Universidad Católica Andrés Bello / Ciudad Guayana, Venezuela  
[tania2308@gmail.com](mailto:tania2308@gmail.com)  
ORCID 0009-0009-9787-4639

**Saavedra Rondón, Luis Fernando**

Universidad Católica Andrés Bello / Ciudad Guayana, Venezuela  
[luifersr@gmail.com](mailto:luifersr@gmail.com)

**Fonseca Droy, José Francisco**

Universidad Católica Andrés Bello / Ciudad Guayana, Venezuela  
[jfonseca@ucab.edu.ve](mailto:jfonseca@ucab.edu.ve)  
ORCID 0000-0003-2732-1528

### **Resumen**

La sordera en niños a una temprana edad genera limitaciones de aprendizaje. La música se aprecia a través de vibraciones en el aire que son captadas por el oído; este no es el único proceso para interpretar estas vibraciones. Se han desarrollado trabajos que relacionan enseñanza/aprendizaje musical con la discapacidad auditiva, pero este tema no se ha desarrollado por completo. Deafsic es un prototipo que ayuda a niños con discapacidad auditiva a tocar instrumentos de cuerda frotada en una etapa inicial, capta las notas ejecutadas en el violín, las traduce a un lenguaje vibratorio y visual, compara la ejecución con la partitura y muestra los errores en tiempo real. Se usó la metodología Kodaly, que cuenta con un sistema de señas para cada nota, y la sinestesia “sonido-color”. Este trabajo se desarrolló en la UE Especial “Manuel Piar”, ubicado en la Parroquia Unare Puerto Ordaz, como aporte al logro del ODS 10 de la ONU sobre “Reducir la desigualdad en los países”, se usó tecnología arduino, algoritmo de la Transformada Rápida de Fourier, Ventana de Hamming, se desarrolló un algoritmo para comparar los espectros de frecuencia de las notas, se adaptaron las librerías OpenSheetMusicDisplay para la visualización de partituras y OSMD Audio Player para la reproducción.

**Palabras clave:** Inclusión, violín, Fourier, procesamiento.

### Abstract

Deafness in children at an early age generates learning limitations. Music is appreciated through vibrations in the air that are captured by the ear; This is not the only process to interpret these vibrations. Work has been developed that relates musical teaching/learning to hearing impairment, but this topic has not been fully developed. Deafsic is a prototype that helps hearing-impaired children play bowed string instruments at an early stage, captures the notes played on the violin, translates them into vibratory and visual language, compares the performance with the score and shows errors in real time. The Kodaly methodology was used, which has a sign system for each note, and “sound-color” synesthesia. This work was developed in the “Manuel Piar” Special EU, located in the Unare Puerto Ordaz Parish, as a contribution to the achievement of UN SDG 10 on “Reducing inequality in countries”, Arduino technology, Transform algorithm, was used. Fast Fourier, Hamming Window, an algorithm was developed to compare the frequency spectra of the notes, the OpenSheetMusicDisplay libraries were adapted for viewing scores and OSMD Audio Player for playback.

**Key words:** Inclusion, Violin, Fourier, Processing

## **Introducción**

En la actualidad las personas con discapacidad auditiva todavía mantienen barreras al momento de realizar actividades que usualmente son sencillas para aquellas personas con una audición estable. La interpretación de la música es ajena para la mayoría de personas con estas discapacidades. Como bien lo menciona Hash (2003): “la educación musical es posible, pero a causa de instructores reacios con temor a que impacten negativamente a las interpretaciones se les niega la oportunidad de poder crecer en el área musical”. (p. 2)

Es importante resaltar que la educación musical en niños a temprana edad ayuda a las conexiones neuromusculares, como también cultivar la afectividad, concentración, entre otros beneficios para el desarrollo del cuerpo, a su vez ayuda a desarrollar la percepción de sonidos a través de otros medios con el fin de poder desenvolverse mucho mejor a una edad más avanzada.

Debido a lo expuesto anteriormente el objetivo de esta investigación fue el desarrollo de una aplicación de escritorio de enseñanza con instrumentos de cuerda frotada en niños con discapacidad auditiva acompañado de un dispositivo vibratorio, que ayude al niño a iniciarse en la interpretación del violín.

## **Desarrollo**

A continuación se definen los aspectos básicos de soporte teórico de la investigación:

*Método Kodaly.* su base principal es el canto, utiliza la fononimia, usa signos manuales para representar los sonidos de la escala musical y su altura, los alumnos verbalizan ritmos y los reproducen con percusiones sencillas como las palmadas, para interiorizar el ritmo.

*Código Boomwhacker,* es un grupo de reglas básicas en la mezcla de colores para lograr el efecto deseado combinando colores de luz y pigmentos. Para la obtención de estas combinaciones primero se creó el círculo cromático que es una rueda dividida generalmente por 12 partes:

*OpenSheetMusicDisplay*, software de código abierto creado por Phonicscore como una solución a aquellos desarrolladores que crean APIs y programas que requieren tanto renderizar las partituras de las canciones como su reproducción en sí.

*Neutralino.js*, un ligero y portable marco de trabajo de desarrollo para aplicaciones de escritorio multiplataforma utilizando HTML, CSS y JavaScript, utilizando la librería de navegador web ofrecida por el sistema operativo e implementando una conexión de WebSockets.

*Arduino Uno*, es una placa de microcontrolador basado en el ATmega328P que permite ser programado mediante el entorno de desarrollo integrado Arduino Software (IDE).

*Transformada Rápida de Fourier (FFT)*, es un algoritmo que permite calcular eficientemente la Transformada de Fourier Discreta y su inversa, con la cual se obtiene el Espectro de Frecuencias de la señal analizar.

*Ventana de Haming*, es una función matemática que es usada con frecuencia en el análisis y procesamiento de señales para evitar la discontinuidad existente al principio y al final de los bloques a ser analizados, ayuda a obtener el Ancho de Banda Efectivo a partir del Espectro de Frecuencias.

Se desarrolló el hardware usando Arduino Uno para recolectar sonidos provenientes de un violín usando un micrófono, procesarlos para obtener la frecuencia más cercana a la nota sonada en tiempo real y dar una retroalimentación sensorial con un motor vibratorio colocado en la cabeza del niño. El proyecto MIDImike, Vonk (2022) ayudaron al entendimiento del diseño a seguir para poder obtener las notas deseadas provenientes de instrumentos; sin embargo, MIDImike está centrado principalmente en el procesamiento de otros tipos de instrumentos, se aplica los algoritmos de la Transformada Rápida de Fourier, siglas en inglés FFT, y Ventana de Hamming para determinar el espectro de cada nota ejecutada. Se realiza un análisis del espectro obtenido para la identificación única

de cada nota tocada, por lo que se desarrolló un algoritmo que reduciría la cantidad de valores almacenados en memoria mediante el cálculo de las diferencias entre las amplitudes de los armónicos que constituyen la nota. Al ser obtenida la frecuencia aproximada de la nota tocada en tiempo real, esta es mapeada entre los rangos de 110 y 255 que equivalen a la cantidad de pulsos que puede realizar el motor vibratorio mediante el uso de modulación de ancho de pulso, siglas en inglés PWM, simultáneamente se envía el valor de la nota a la aplicación de escritorio. La sincronización entre el dispositivo y la aplicación dependerá del modo que se esté utilizando en el momento, a saber:

En el modo ejecución, la sincronización depende del dispositivo vibratorio, en este caso la computadora espera por datos para poder procesarlos con la nota actual en el pentagrama. El dispositivo solo procesa las notas interpretadas, envía la frecuencia a la computadora y al motor vibratorio de acuerdo a la nota.

En el modo práctica, la sincronización depende de la aplicación que envía datos al

dispositivo para que pueda procesar la frecuencia y permitir la correcta ejecución tanto en intensidad como en tiempo en el motor vibratorio.

La aplicación de escritorio cumple con los siguientes requerimientos:

.Cargar/eliminar partituras de cualquier índole, preferentemente violín, en formato musicXML o XML.

.Visualizar partituras.

.Mostrar las notas y figuras musicales de la partitura con los colores acordes al sistema de colores propuesto.

.Tener dos modos de interpretación: modo Práctica y modo Ejecución, donde el modo Práctica permitirá al niño leer la partitura en tiempo real con motivo de estudio de la misma, así como el modo Ejecución que evaluará la interpretación del niño a través del dispositivo complementario.

.Colorear las notas correctas en verde, las incorrectas en rojo en el modo Ejecución, para indicar al niño su desempeño durante la interpretación de la partitura.

.Reproducir, pausar y parar la partitura.

.Permitir resetear a los colores originales de la partitura después de finalizar la interpretación de la partitura en modo Ejecución.

### **Proceso de implementación de la innovación**

En el laboratorio se realizaron las pruebas y ajustes al dispositivo y a la aplicación de escritorio, se procedió a ir a la Unidad de Análisis, en este caso se trató de la Unidad Educativa Especial “Manuel Piar” ubicada en la Parroquia Unare, en la Ciudad de Puerto Ordaz Venezuela, que tiene una población de 26 niños con edades comprendidas entre los 7 y 12 años, la población no tenía iniciación musical por lo que se trabajó este aspecto durante ocho semanas con toda la población aplicando las metodologías escogidas y juegos didácticos, pasado este periodo se seleccionaron tres niños con los que se trabajó el aprendizaje de las partes del violín, postura correcta del violín y agarre del arco, para posteriormente trabajar con el dispositivo y la aplicación de escritorio, esta etapa duró otras seis semanas.

### **Objetivo Especifico 1: Determinar las metodologías de enseñanza de violín**

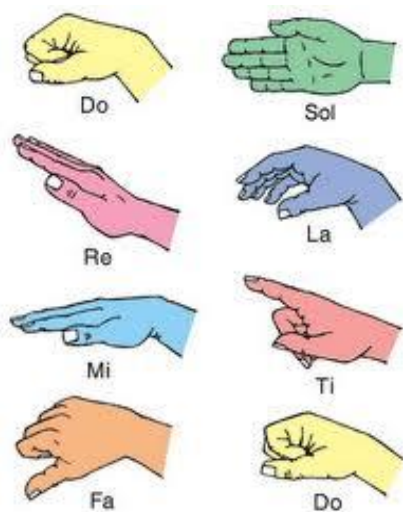
Para la selección de una metodología de enseñanza adecuada para los niños con discapacidad auditiva en la población, se realizó una investigación preliminar de los métodos, consejos y sugerencias más populares para esta población, también tomando en cuenta variables como la falta de atención del niño, edad, entre otros factores, que pueden hacer la enseñanza más complicada, el Método Kodaly (Zuleta,2005) se destacaba por contar con un sistema simbólico, creado por John Curwen, para representar las notas musicales a través de señas, lo cual es ideal para niños con discapacidad auditiva, ya que su lenguaje principal de comunicación son las señas, se combinó con el Código de Colores Boomwhacker, ver figuras 1 y 2

Tabla 1.- Comparativa de los métodos de enseñanza musicales más populares

	Objetivo	Elemento Principal	Materiales y recursos
Ward	Iniciar en el conocimiento de la música y el canto	Canto	Voz, ritmo, improvisación
Dalcroze	Desarrollo del sentido del ritmo	Ritmo y movimiento	Ritmo, instrumentos de percusión, motricidad
Kodaly	Adquisición de capacidad de lectura y práctica coral	Canto	Fononimia (asociación de in gesto a un sonido), improvisación
Martenot	Desarrollar el canto y respiración	Canto y ritmo	Fórmulas rítmicas, movimiento, ejercicios de canto
Willems	Desarrollar el instinto rítmico y educación del oído	Sonidos melódicos, canto y ritmo	Improvisación, memoria, juegos de escucha
Orff	Desarrollar ritmo	Ritmo y movimiento	Instrumentos de percusión, ritmo, canto

**Nota:** Adaptado de “327613216 Cuadro por Williams Alvites, 2021.

Figura 1. Símbolos del Método Kodaly



**Fuente:** El método Kodaly y su fononimia, Coro de niños de la Fundación Caja Duero, tomado de: <https://corofundacioncajaduero.wordpress.com/2012/03/12/el-metodo-kodaly-y-su-fononimia>

Figura 2. Código de Colores Boomwhacker



**Fuente:** Cartas de las Notas Musicales “Pequeño Mozart”, tomado de: <https://www.pequenomozart.com/producto/cartas-de-las-notas-musicales/>

## Descripción de la innovación

Para el primer encuentro, se realizó una prueba de audición a distancia con el violín, para verificar el nivel de audición de cada niño presente. Debido a que ningún sujeto de la población posee sordera profunda según lo indicado por el personal docente del plantel, todos pudieron escuchar el instrumento a diferentes niveles de volumen, destacando que diferenciaban más las notas graves que las agudas.

Figura 3. Prueba de audición a distancia con la población de la U. E. Especial "Manuel Piar".



**Objetivo Específico 2:** Instruir a la población seleccionada en teoría musical y violín.

Se impartieron clases de lenguaje musical a toda la población asistente por seis semanas consecutivas. Estas se realizaron dos veces a la semana, los días lunes y miércoles, en el

horario de 9:00am a 10:00am. Se implementó la enseñanza a través de juegos didácticos, figuras 4 y 5

Figura 4. Juego del piano para aprender las notas musicales.



Figura 5. Aprendizaje de figuras musicales y ritmo.



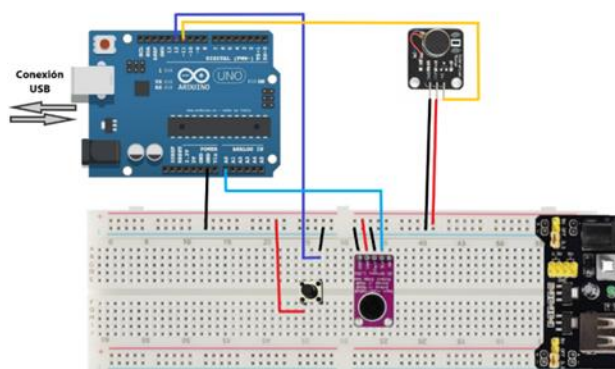
Con los tres niños seleccionados se les instruyó Aprendizaje de las partes del violín, postura correcta del violín y agarre del arco, Figura 6.



Figura 6. Trabajo con los niños ya con el instrumento.



Figura 7. Diagrama del circuito principal del dispositivo.



**Objetivo Específico 3:** *Diseñar un dispositivo que permita percibir las notas transmitidas por el instrumento y transformarlo en señales vibratorias.*

En la Figura 7 se muestra el diagrama base del circuito para el dispositivo. Los resultados de los estudios arrojan que la Transformada Rápida de Fourier es ideal para el procesamiento digital de audio, dado que ayuda a transformar la onda existente en el dominio del tiempo a un espectro que pertenezca al dominio de frecuencias, permitiendo analizar y procesar distintos tipos de ondas no sinusoidales.

Sin embargo, se debe mencionar que la Transformada Rápida de Fourier tiene sus

limitaciones con respecto al rango de frecuencias que se puede obtener, estando sujeto por el número de muestras a ser usadas dependiente de la cantidad de memoria disponible para almacenarlos, donde en el caso del Arduino Uno, se presenta muy poca memoria de almacenamiento dejando así un total de 128 muestras a ser utilizadas, sin embargo para el alcance propuesto en esta investigación, que es la iniciación en los niños, fue más que suficiente el uso de estas muestras ya que las notas a ser registradas en el dispositivo no sobrepasan las frecuencias máximas al momento de ser calculados.

En la tabla 2 se muestran las frecuencias con el pico más alto en amplitud,

por lo que arrojaban resultados no deseados en la aplicación. Una vez identificado el problema, se plantearon soluciones relacionadas al problema con el fin de encontrar la frecuencia fundamental de los armónicos tocados en cada nota.

Tabla 2.- Comparación entre frecuencias de notas tocadas.

Nota tocada en Violín / Frecuencia esperada	Frecuencias obtenidas con arduinoFFT
C4 / 261.626	~532 y ~266
D4 / 293.665	~877
E4 / 329.628	~994
F4 / 349.228	~1040
G4 / 391.995	~780, ~1960 y ~1570
A4 / 440	~870 y ~1480
B4 / 493.883	~990 y ~490

**Nota:** Las frecuencias obtenidas con la librería de arduinoFFT son aproximadas, algunas notas pueden tener diferentes picos máximos.

Se utilizó el algoritmo para la detección de los armónicos con picos más dominantes resultante del proceso de la Transformada Rápida de Fourier. Actualmente se detectan los cinco armónicos más dominantes, que posteriormente se analizan y permitan crear un algoritmo que pueda identificar las notas deseadas en tiempo real. Para cada nota se registraron los valores mostrados en la terminal de Arduino IDE:

Figura 8. Espectro de la nota A4 tocada a tiempo real.



La gráfica presentada en la Figura 8 refleja las magnitudes pertenecientes a cada armónico entre el rango de 192 Hz a 2048 Hz, este rango se toma de la fórmula mostrada a continuación:

$$frecuenciaAproximada = fp_2 \pm (32 * (\frac{m_2}{m_1}))$$

- $fp_2$  = Frecuencia del segundo armónico con pico más alto
- $m_1$  = Magnitud del pico más alto
- $m_2$  = Magnitud del segundo pico más alto

Así, conseguir la cantidad de frecuencia necesaria para acercarse o alejarse de la frecuencia intermedia, dejando la siguiente fórmula:

$$frecuencias = \frac{i * 4096}{128}$$

Una vez obtenido el algoritmo adecuado para esta primera versión del dispositivo se realizaron pruebas con cada una de las notas anteriormente mostradas dando así resultados

aceptables dentro del rango de frecuencias esperadas por la aplicación. Para las notas C, F y G entre la 3ra y la 5ta octava se calibraron nuevamente de manera que pudieran dar mejores lecturas al momento de ser tocadas por el violín. Este tipo de ajustes es causado por la afinación y configuración del violín al momento de tocarse, cambiando de esta manera tanto drásticamente como ligeramente los armónicos capturados en el dispositivo.

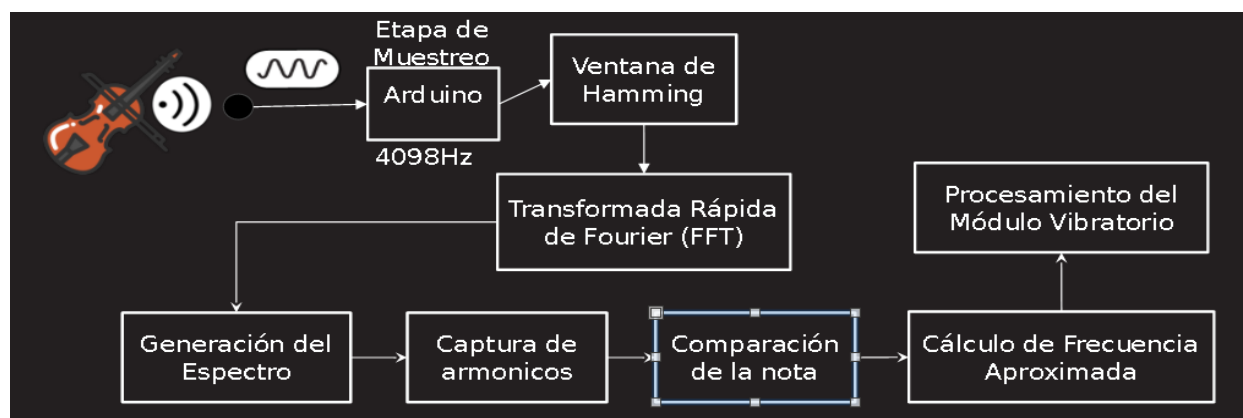


Figura 9.- Etapas de procesamiento en el dispositivo.

Al ser obtenida la frecuencia aproximada de la nota tocada en tiempo real, esta es mapeada entre los rangos de 110 y 255 que equivalen a la cantidad de pulsos que puede realizar el motor vibratorio mediante el uso de modulación de ancho de pulso.

**Objetivo Especifico 4:** *Desarrollar una aplicación de escritorio que permita llevar un seguimiento de su interpretación musical, pruebas de campo.*

Luego de realizar las respectivas comparaciones, se puede recalcar que la alta complejidad de Musescore, el desconocimiento del lenguaje de programación por parte de los investigadores y el tiempo limitado de desarrollo dejan por fuera la posibilidad de utilizarlo como base

para la implementación. De igual manera, a pesar de que ABCWeb sea open-source, está implementado para utilizar un archivo HTML principal con un patrón específico, por lo que dificulta su integración con el diseño de pantallas de la aplicación; así como también el resaltado de las notas en tiempo real no es adecuado, ya que resalta todo el compás actual en vez de la nota actual. Tomando en consideración lo anterior, tanto Musescore como ABCWeb no cumplen para ser candidatos adecuados para la implementación del sistema, por lo que OpenSheetMusicDisplay fue seleccionado como tecnología de visualización de partituras para la aplicación, de ahora en adelante, mencionado con sus siglas OSMD.

Tabla 3. Comparativa entre tecnologías de visualización de partituras.

	Musescore	OpenSheetMusicDisplay	ABCWeb
<b>¿Tiene playblack o player?</b>	Si	Si (no oficial)	Si
<b>¿Es Open-Source?</b>	Si	Si	Si
<b>Lenguaje de programación</b>	C++ QT	Javascript/Typescript	Javascript
<b>Complejidad de uso</b>	Alta	Media-Baja	Media-Baja
<b>¿Utiliza archivos musicXML o XML?</b>	Si	Si	Si
<b>¿Es activamente mantenido?</b>	Si	Si	No

Con respecto a la tecnología de desarrollo para aplicaciones de escritorio, se realizó una comparación entre tecnologías que soporten

multiplataforma que a su vez generen una aplicación ligera y que utilice como lenguaje de programación Javascript, ver tabla 4.

Tabla 4. Comparativa de recursos utilizados por el exportable generado por cada marco de trabajo.

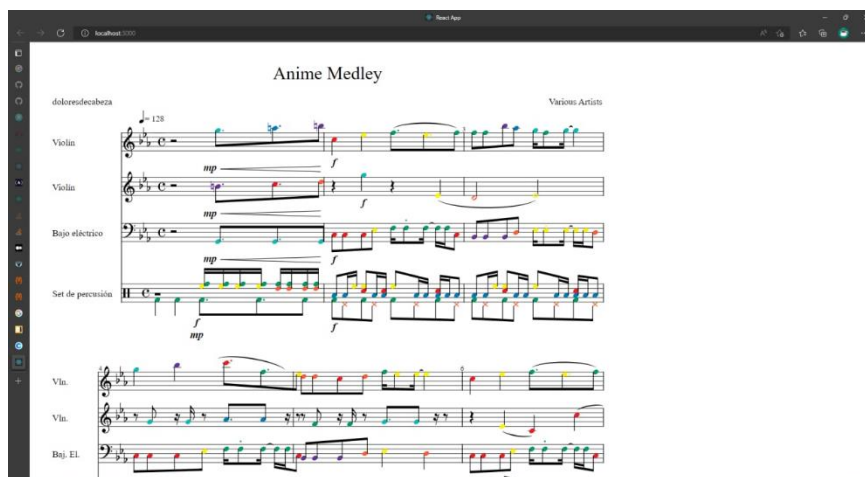
		Electrón	NW.js	NodeGui	Neutralino
Tamaño de Ejecutable	Windows (x64)	≈226MB	≈330MB	≈171MB	≈2MB
	MacOS (x64)	≈358MB	≈554MB	?	≈1MB
	Linux (x64)	≈231MB	?	≈67MB	≈1MB
Uso de Memoria		≈66MB	≈73MB		
	Windows (x64)	(Debug) =>	(Debug) =>	≈128MB	≈64MB
		(Release)	(Release)	(Debug)	(Debug)
			≈63MB	≈102MB	
	MacOS (x64)	(Debug) =>	(Debug) =>	≈107MB	(Debug) =>
		(Release)	(Release)	(Debug)	(Release)
			≈152MB		≈198MB
	Linux (x64)	(Debug) =>	≈90MB	≈145MB	(Debug) =>
		(Release)	≈150MB	(Debug)	(Debug)
			(Debug)	≈213MB	
			(Release)	(Release)	

**Nota:** Datos recuperados de <https://github.com/Elanis/web-to-desktop-framework-comparison>

Apreciando los datos anteriores, se destaca la ligereza y poca memoria utilizada por parte de Neutralino, además de su soporte para los principales sistemas operativos, por lo que se seleccionó como marco de trabajo para el desarrollo de la aplicación; se seleccionó React.js como marco de trabajo front-end

debido a la experticia de los investigadores. Se realizaron modificaciones en la librería OSMD Audio Player para agregarle el nivel de comunicación con el dispositivo vibratorio y control de los modos de interpretación, Figuras 10 y 11:

Figura 10. Prueba de colores en la partitura con OSMD.



Se hicieron modificaciones en la librería OSMD Audio Player para agregarle el nivel de comunicación con el dispositivo vibratorio

y control de los modos de interpretación, Figura 12.

Figura 11. Resultados de prueba de primera iteración.

Después de obtener los resultados deseados alcanzando el cumplimiento del Requerimiento, se procedió a agregar el soporte completo para los dos modos de interpretación.

Primero, se implementó el sistema de comunicaciones con el dispositivo complementario; para ello, se utilizó la librería serialPort.js para la comunicación computadora-dispositivo y el módulo de extensiones de Neutralino.js para la comunicación aplicación-dispositivo como se ve en la Figura 12.

Finalmente, se realizaron pruebas para el modo Ejecución. Para esta prueba se les colocó a los niños la partitura de *Los pollitos dicen*, anteriormente estudiada en las clases de violín pertinentes, donde el objetivo de la misma fue verificar la precisión de la interpretación de los niños. Previamente, el investigador experto realizó una prueba en el mismo ambiente para tomarla como referencia para evaluar el desempeño de los niños. Como los niños tuvieron una iniciación muy básica en el violín, su precisión en el sonido de las notas es precaria,

por lo que afecta la lectura del dispositivo en gran medida, además que se contaba con ruido de fondo para también corroborar el

nivel de sensibilidad del micrófono del dispositivo.

Figura 12. Comunicación aplicación-dispositivo.

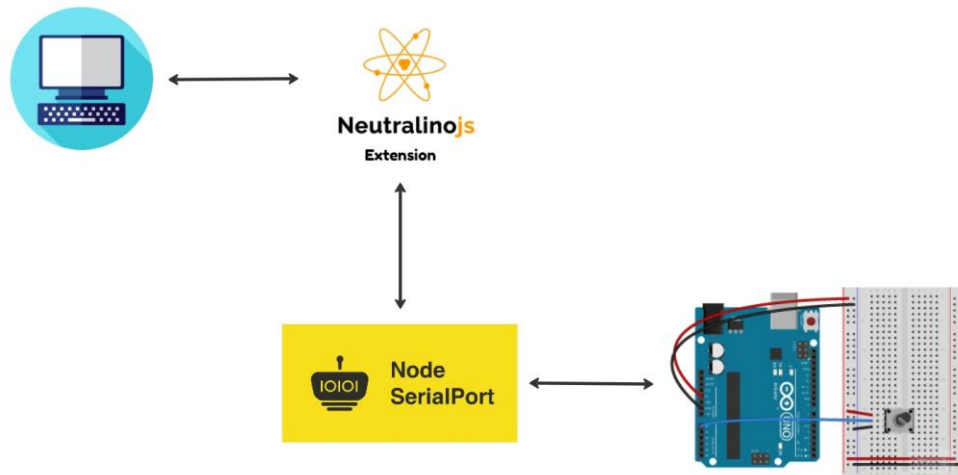


Figura 13. Prueba aplicación-dispositivo en modo práctica.





Figura 14. Prueba de referencia con el investigador experto en violín, en condiciones similares al entorno de prueba.

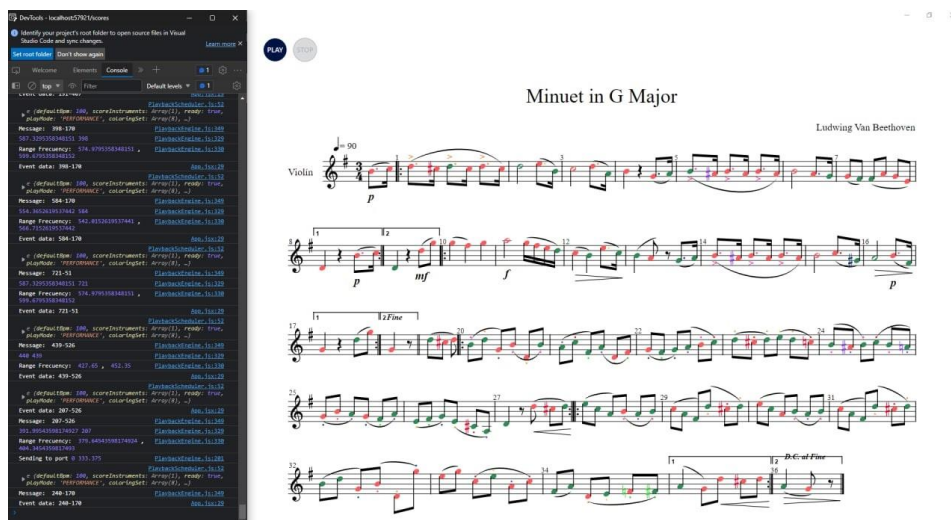


Figura 15. Prueba 1, niña sin implante interpretando “Los pollitos dicen” y resultado.



Figura 16. Prueba 2, niño con implante interpretando “Los pollitos dicen”.



### **Discusión y conclusiones**

De acuerdo a los objetivos específicos planteados, se pueden destacar los siguientes resultados:

Gracias a la revisión documental llevada a cabo, se identificó y comparó las metodologías de enseñanza de teoría musical más populares, de las cuales el Método Kodaly fue el más adecuado para los niños

gracias a que cuenta con un sistema de señas para las notas musicales, ayudando a niños con esta discapacidad a memorizar y asimilar en menos tiempo las notas musicales. Después de realizar investigaciones sobre los métodos de enseñanza de violín actuales, como el método Suzuki, se llegó a la conclusión de que ningún método preseleccionado contaba con alguna ventaja comparativa para los niños con discapacidad

auditiva, ya que la mayoría se centra en la repetición constante y entendimiento de la interpretación musical, por lo que la responsabilidad recae en el profesor encargado del niño, el cual se debe basar en su experiencia para enseñar la ejecución del violín según las características y necesidades de cada niño.

Se enseñó teoría musical a la población participante, observando un latente potencial en tres niños que fueron capaces de entender y asimilar las notas, sus colores, y la relación de estas con el violín, al punto de aprender de manera muy precaria la canción “Los pollitos dicen”.

Para el desarrollo de la aplicación propuesta se hizo una revisión documental de las librerías de visualización y reproducción de partituras open-source, con la finalidad de escoger una aplicación ligera, rápida, sencilla, multiplataforma y que no consumiera demasiados recursos del computador; entre los que se evaluaron se pueden mencionar MuseScore, realizado en C++ con el Framework QT 5; ABCWeb creado en Javascript y OpenSheetMusicDisplay creado igualmente en Javascript, este último fue

elegido para la visualización de partituras y OSMD Audio Player para la reproducción. Se modificó en parte la librería 64 OSMD Audio Player para ser adaptada al diseño propuesto por la comunicación aplicación dispositivo, así como también expandirlas para agregar las funcionalidades comunicación con el dispositivo vibratorio, la coloración de las notas en tiempo real según el modo de interpretación seleccionados y el soporte de audio sin necesidad de conexión a internet.

En las pruebas de comunicación, donde se verificó el tiempo de respuesta entre el dispositivo y la aplicación, la latencia entre los mensajes y la facilidad de instalación del dispositivo en un computador, determinaron que la aplicación y el dispositivo se comunican de manera rápida y eficiente para el correcto estudio o interpretación del alumno; adicionalmente se cumplió con los requisitos funcionales identificados entre los que se menciona la carga de partituras; coloración de las notas acorde al sistema de colores seleccionado y en tiempo real; la capacidad de reproducir, pausar y parar la partitura actual, comunicarse con el

dispositivo, creando una interfaz sencilla y a su vez una aplicación ligera capaz de ejecutarse en los principales sistemas operativos como Windows, Linux y MacOS para cubrir la mayor cantidad de dispositivos posibles.

Para el desarrollo del dispositivo, se hizo una investigación sobre los distintos métodos y funciones de captura y procesamiento de muestras, análisis de datos y manipulación de resultados en el audio. Algunas funciones se usaron directamente en la lógica del dispositivo, como la FFT, Ventana de Hamming y la Convolución, pero otros se modificaron tomando la idea principal y en base a ello se crearon otros métodos personalizados que cumplieran con las tareas descritas anteriormente en el desarrollo de este proyecto, agregando también una característica adicional que es la implementación de un nuevo modo que es activado cuando un botón es presionado permitiendo al dispositivo trabajar de forma independiente a la aplicación en el caso de no tener disponible la misma.

Los resultados obtenidos en las pruebas unitarias, funcionales y de campo realizadas con el dispositivo, tanto de forma independiente como en conjunto con la aplicación, determinaron que es capaz de procesar las notas tocadas por los niños, permitiendo discriminar hasta 65 frecuencias que son transmitidas tanto al motor, que da ayuda a la percepción del sonido mediante vibraciones notables cerca de la zona del cráneo para mejor recepción de las vibraciones, como a la aplicación en tiempo real. Estas señales vibratorias se modificaron durante las pruebas para no generar inconvenientes de aturdimiento o algún tipo de malestar en el niño, permitiendo así mejorar la calibración y sensación de las vibraciones. El dispositivo a su vez está adaptado para ser utilizado con la alimentación independiente a través de una batería en caso de no tener la disponibilidad de usar la aplicación.

## **Referencias Bibliográficas:**

- Acevedo, M. (2002). La Percepción Sinestesia: Vínculos entre lo auditivo y lo visual. Segunda reunión anual de SACCOM. Quilmes, Argentina. Acosta, S. (2006).
- Arduino. (2022). What is Arduino? Obtenido de Arduino:  
<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> Arias, F. G. (2012).
- Arduino Music: Notes and Chord Detector. Obtenido de HACKADAY.IO:  
<https://hackaday.io/project/173805-arduino-music-notes-and-chord-detector>
- Correa Narváez, R. A., & Santamaría, A. O. (2017). CASETO: sistema interactivo basado en sinestesia para la enseñanza/aprendizaje de la música para niños con discapacidad auditiva entre 7 a 11 años. (Trabajo de Grado pregrado), Universidad de San Buenaventura, Santiago de Cali, Colombia.
- Darrow, A.-A., & Gfeller, K. (1991). A study of public school music programs mainstreaming. *Journal of Music Therapy*, 28, 28, 23-39. 68
- Equipo editorial, Etecé. (13 de Junio de 2022). Teoría del color. Argentina. Obtenido de concepto: <https://concepto.de/teoria-del-color/>
- FIAPAS. (2013). Manual Básico de Formación Especializada sobre Discapacidad Auditiva. Madrid: FIAPAS.
- Gago, I. B., & Borrego, M. C. (18 de Mayo de 2018). ¿Qué es la Sordera? Barcelona, España: Clínic Barcelona. Obtenido de <https://www.clinicbarcelona.org/asistencia/enfermedades/sordera> Guerra Sigcho, C. K., & Vallejo Vallejo, F. X. (2016).
- Hash, P. (2003). Teaching Instrumental Music to Deaf and Hard of Hearing Students. *Research & Issues in Music Education*, 1.
- Hoppenot, D. (2000). El violín interior. Madrid, España: Real Musical. Hormigos, J., & Cabello, A. (2004). La construcción de la identidad juvenil a través de la música. *RES(4)*, 259-270.

- Jauset, J. (2008). *Música y neurociencia: La musicoterapia. Sus fundamentos, efectos y aplicaciones terapéuticas*. Barcelona: UOC.
- Martenot, M. (1979). *Método Martenot: solfeo, formación y desarrollo musical*. Buenos Aires, Argentina: Ricordi Americana.
- Martín Hoyos, C. (2015). *Relación entre la teoría de las inteligencias múltiples de Howard Gardner y la música a través de la iniciación musical*
- Material Didáctico Para Aprendizaje De Notas Musicales Básicas Para Estudiantes Del 10mo Año Del Instituto De Sordos De Chimborazo. (Trabajo de Grado pregrado), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Música para sordos. <https://www.europeanacustica.com/aislamiento-acustico/el-sonidocaracteristicas> Anónimo.
- Neutralinojs. (2022). Obtenido de <https://neutralino.js.org/> OpenSheetMusicDisplay.org. (2022).
- Open Sheet Music Display. Obtenido de <https://opensheetmusicdisplay.org> Organización Mundial de la Salud. (2 de Marzo de 2021).
- OSMD Audio Player. Obtenido de GitHub: <https://github.com/jimutt/osmd-audio-player>
- Pérez, J. N. (2016). *Estimulación Musical en el niño con Discapacidad Auditiva*. (Trabajo de Grado pregrado), Universidad Zaragoza, Zaragoza, España.
- React: Una biblioteca de JavaScript para construir interfaces de usuario. Obtenido de <https://es.reactjs.org/> Montoya Rubio, J. C. (2014).
- Sánchez Sánchez, L. (2021). *El Aprendizaje del Violín en Alumnado con Discapacidad Auditiva*. *Música Hodie*, 21.
- Villavencio. Solectro. (26 de Agosto de 2020). *¿Qué es PWM y cómo usarlo?* Obtenido de Solectro: <https://solectroshop.com/es/blog/que-es-pwm-y-como-usarlo--n38>
- Vonk, J. (2022). MIDI MIKE. Obtenido de Coert Vonk: <http://coertvonk.com/category/sw/arduino/pitch-detector>
- Zuleta, A. (2005). *El método Kodály y su adaptación en Colombia*. *Cuadernos de Música, Artes Visuales y Artes*, 1, 66-95

**Reconocimientos:**

Nuestro reconocimiento y agradecimiento a la directora y a las maestras de la U.E. Especial “Manuel Piar” por su apoyo en la ejecución de la presente investigación.