

Sistema Informático para el Aprendizaje de la Guitarra Eléctrica bajo una Estrategia de Juego Interactivo

German Rodriguez¹, Kristian Cortés¹, José Suarez¹, Wilmer Pereira^{1,2}
garodriguezr.11@gmail.com, kristcort@gmail.com, jsuarez@ucab.edu.ve, wpereira@ucab.edu.ve

¹ Escuela de Ingeniería Informática, Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela

² Departamento de Computación, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela

Resumen: Este trabajo ofrece una alternativa automatizada para el aprendizaje musical de la guitarra eléctrica, usando estrategias de juegos interactivos. Esta herramienta para la enseñanza musical, se implementó para dispositivos móviles con conexión a internet, permitiendo la comunicación con un servidor que brinda la información de texto, imágenes y sonidos; además permite la evaluación de los usuarios y medir el progreso del juego mediante preguntas. En el servidor se procesa la información que permite comparar notas, acordes y ritmos musicales emitidos por el guitarrista. Esto alimenta la dinámica del juego llevando las estadísticas de cada usuario. Así cada estudiante puede comparar sus resultados con el de los compañeros que también utilizan la aplicación. El sistema fue validado como herramienta para la enseñanza musical contra el método presencial tradicional, ya que se compararon los resultados de evaluaciones teóricas y prácticas para dos grupos de estudiantes de guitarra. El primer grupo estuvo conformado por personas que hicieron uso de la aplicación para aprender guitarra y el segundo por personas que asistían regularmente a clases presenciales de guitarra eléctrica. Los resultados muestran el potencial de la aplicación y las posibles mejoras para lograr un aprendizaje más eficiente.

Palabras Clave: Aprendizaje Musical; Juego Interactivo; Aplicación Cliente/Servidor; Reconocimiento de Notas; Acordes y Rítmica.

Abstract: This paper provides an automated alternative to the musical learning of the electric guitar, using interactive games strategies. This tool for music education was implemented for mobile devices with internet access, enabling communication with a server that provides the information in text format, images and sounds; also allows the user evaluation and measure progress of the game by questions. On the server the information is processed to compare notes, chords and rhythms issued by guitarist. This feeds the dynamics of the game, showing statistics for each user's score. So every student can compare their results with those of colleagues who also use the application. The system was applied and validated as a tool for teaching music in compare with the traditional classroom method, the results of theoretical and practical evaluations for two groups of guitar students were compared. The first group consisted of people who took the application to learn guitar and the second by people who regularly attended face classes of electric guitar. The results show the potential of the application and possible improvements for a more efficient learning.

Keywords: Musical Learning; Interactive Game; Client/Server Application; Recognition of Notes; Chords and Rhythmic.

I. INTRODUCCIÓN

El aprendizaje convencional de la teoría de la música y la ejecución de un instrumento, es un proceso lento que requiere mucha práctica, específicamente un trabajo constante y metódico de repetición. Los avances del aprendiz dependen de la disponibilidad de los profesores, una gran cantidad de tiempo y muchas veces recursos financieros del principiante. Algunas personas tienen la disponibilidad para cursos presenciales mientras que hay estudiantes, con otro tipo de obligaciones y responsabilidades, que les conviene un método más flexible. Más aún para este tipo de personas la disponibilidad debe ser inmediata para maximizar el aprovechamiento del tiempo. Es básicamente por esta razón que surge la necesidad de implantar la aplicación para

plataformas móviles y así aprovechar cualquier ocasión para el autoaprendizaje y mantener al estudiante inmerso en su objetivo de mejorar su nivel como ejecutante de guitarra.

II. TRABAJOS RELACIONADOS

Además de los manuales publicados por revistas especializadas de enseñanza de guitarra eléctrica y algunas aplicaciones sencillas vía Web, se está realizando mucha investigación en programas para el aprendizaje de diferentes tipos de instrumentos musicales. Específicamente se está proponiendo cada vez más el uso de la realidad aumentada para potenciar las posibilidades de ejecución del practicante. En [1], Liarokapis propone un sistema, en particular para guitarra, donde el aprendiz mediante realidad aumentada, puede ver claramente la posición de la mano y dedos sobre los

trastes y escuchar los sonidos. Esto claramente es de gran utilidad para el correcto posicionamiento ante el instrumento. No obstante no recibe ninguna retroalimentación de su ejecución sonora ni sobre su posicionamiento con respecto a la guitarra. Es decir, el sistema no le informa sobre sus avances y presupone que el estudiante tiene un conocimiento mínimo de teoría musical. En consecuencia no hay un seguimiento del aprendizaje durante su trabajo con el sistema.

Por otro lado, en [2] al igual que el artículo de Liarakapis, este trabajo ofrece indicaciones con realidad aumentada de las buenas posiciones del aprendiz pero a diferencia del anterior artículo, utiliza una cámara para hacer reconocimiento de patrones para asegurarse de que el estudiante efectivamente si manipula la guitarra de la manera adecuada. Tampoco graba la ejecución del aprendiz ni la compara con una base de datos para verificar la exactitud de la ejecución. Tampoco graba sonidos ...

El sistema propuesto en este artículo si graba el trabajo del practicante: notas, acordes y pautas rítmicas y compara su ejecución con patrones almacenados, en formato MP3, para asegurarse del desempeño del estudiante y poder ofrecer retroalimentación e indicaciones.

En lo que concierne a video juego y guitarra eléctrica sin ninguna duda la aplicación más conocida en el área es *guitar hero*. Este producto comercial ofrece al jugador melodías que debe seguir lo más fielmente posible mediante un dispositivo cuya interfaz es parecida a una guitarra eléctrica Gibson SG. El jugador aprende por repetición aunque no se le ofrece ningún conocimiento de música ni retroalimentación que le indique como mejorar su desempeño.

De hecho cuando es necesario dar retroalimentación sonora los problemas técnicos son numerosos pues las fuentes de ruido son difíciles de evitar y/o filtrar. Hay patentes que intentan resolver el problema como en [3] y [4] mediante sistemas computarizados para el reconocimiento de melodías. Específicamente en [3] se pretende enseñar a tocar cualquier instrumento agregando componente de video juegos competitivos para motivar al estudiante. En el caso del piano cambian la notación clásica de partituras por una nueva escala que se lee verticalmente. La segunda patente [4] es mucho más específica para el aprendizaje de la guitarra y da más indicaciones sobre cómo convertirse en un buen ejecutante, sin dejar de lado el aprendizaje de la teoría de la música.

III. PROCESAMIENTO DE SONIDO

En un primer momento se realizó un pequeño estudio comparativo para seleccionar el formato de audio más conveniente para el procesamiento de la información sonora. Para ello se grabó de antemano cada nota, acorde y pauta rítmica en dos formatos WAV y MP3 con un guitarrista experto. Cuando se desea comparar los resultados del estudiante, los sonidos generados, con su guitarra, se transfieren al servidor para cada formato y se comparan con lo almacenado en la base de datos. Con esto se verifican los tiempos de respuesta y el porcentaje de acierto de las muestras de sonidos. El objetivo es evaluar el desempeño para poder seleccionar el formato más adecuado para la aplicación.

Es claro que la calidad del formato juega un rol fundamental en la cantidad de espacio necesario para el almacenamiento.

De hecho, el formato WAV por tener buena calidad al reproducir la melodía, ofrece una riqueza sonora superior a MP3. Sin embargo, a pesar de comprimir con más pérdida, el formato MP3 sólo deja de lado aspectos que en la mayoría de los casos no son captados por el oyente. Las estrategias de enmascaramiento por frecuencia y el enmascaramiento temporal [5] sólo obvian aquellos detalles que no son percibidos por el oído humano y en consecuencia el oyente no pierde información sonora significativa.

Con el formato WAV, utilizando diversos algoritmos sin delimitación de espectrograma, al comparar dos archivos de audio, la calidad de los resultados es excelente pero los algoritmos requerían entre 30 segundos y hasta 8 minutos para arrojar un resultado de la comparación. En cambio, con el formato MP3, aunque para la codificación y decodificación no existen soluciones implementadas nativamente para el SDK de *Android*, el tiempo de procesamiento es menor. Se utilizó la librería LAME [6], para C++ que puede ser adaptada a *Android* NDK [7] junto con el *plugin* "MP3PLUGIN" encargado de suministrar métodos para transformar un arreglo de bytes a un arreglo de tipo *short*, facilitando así la comparación de notas, acordes y pautas rítmicas.

Tabla I: Comparación WAV vs MP3

Formato del Archivo	Tamaño del Archivo	Porcentaje de Acierto	Tiempo de Procesamiento
WAV	353 KB	95%	Hasta dos minutos
MP3	51,5 KB	85%	Hasta 2 segundos

Una vez tomada la decisión por el formato MP3, se implementa en el dispositivo móvil, la recepción del audio entrante por el micrófono del teléfono y se codifica en una tabla gracias a la clase "AudioRecorder" [8] dentro de la librería "LAME" y se envía al servidor. La decodificación de sonido se hace en el servidor y no en el dispositivo móvil debido a que los módulos de comparación requieren tal capacidad de procesamiento que haría muy lento el procesamiento. Los resultados de esta evaluación están en la Tabla I.

IV. SERVIDOR WEB

Con la finalidad de tener un sistema con mayor poder de procesamiento para la gestión de usuarios, comparación de archivos de audio, almacenamiento de las estadísticas de usuarios y la base de conocimiento musical, se implementó la aplicación bajo una arquitectura cliente/servidor. Esto además hace el sistema más escalable y facilita el mantenimiento.

El servidor web, con la información recibida de la aplicación móvil, sigue el progreso del juego, envía archivos como imágenes y/o sonidos al aprendiz a guitarrista y recoge los resultados de esta interacción para mantener la dinámica del juego. Para ello ofrece los siguientes servicios:

- Ingresar a la aplicación con Facebook y vincular a sus amigos, siempre que estén registrados en la aplicación como seguidores.
- Ver los niveles del juego con sus imágenes y nombres, filtrando por el progreso del estudiante. Consultar detalles de seguidores, con su puntaje.

- Acceder a los seguidores de un estudiante diferente al que ingreso en la aplicación.
- Descargar el listado de pruebas por nivel.
- Acceder a la totalización del puntaje obtenido una vez que se termina el nivel.
- Consultar los reportes del estudiante.

V. APLICACIÓN MÓVIL

Para conseguir una buena aceptación de parte de las personas interesadas en aprender teoría musical y ejercitarse como ejecutante de la guitarra eléctrica, es importante la motivación. Es por ello que la estrategia de videojuego interactivo, estructurado por niveles, es fundamental. El objetivo es que las pruebas sean lo suficientemente entretenidas para el usuario, mientras van aprendiendo conocimientos y nuevas destrezas, bajo un marco de competencia con sus amigos y usando como incentivo los puntajes de las pruebas.

A. Niveles

Para el sistema un nivel es el conjunto de 10 pruebas a ser completadas para progresar en el juego. Estos niveles están ubicados en la pantalla principal de la aplicación y pueden tener tres estados:

- **Disponible:** Son aquellos niveles, aún no completados por el estudiante, que deben concluirse para pasar al siguiente nivel.
- **Completado:** Son los niveles ya completados por el estudiante aunque están disponibles para su repetición. Estos no desbloquean nuevos niveles.
- **Bloqueados:** Son las actividades o niveles a los que el estudiante no puede acceder a menos que complete los niveles previos.

B. Pruebas

Para la enseñanza práctica y teórica de la guitarra eléctrica se deben considerar, tanto los fundamentos teóricos por los cuales se rige la música para su apreciación y escritura; como los principios básicos prácticos para la ejecución. Se deben tomar en cuenta desde las notas y acordes que emite la guitarra hasta las pautas rítmicas de una composición musical. Es por todo esto que se diseñaron varias pruebas, las cuales están en las siguientes categorías:

- **Teóricas:** ofrecen una breve descripción de un concepto musical, eventualmente con imágenes (Figura 1).



Figura 1: Información Musical Teórica

- **Pregunta V/F:** ofrecen la opción de avalar o rechazar algún concepto de la teoría musical, ya presentado en las pruebas teóricas (Figura 2).



Figura 2: Prueba de V/F o Respuesta por Selección de Imagen

- **Teórico-Prácticas para Notas:** Estas pruebas muestran al usuario una imagen con las indicaciones para poder emitir la nota o acorde con la guitarra. Junto con su descripción, el estudiante dispone de un audio del sonido asociado y la posibilidad de grabar su ejecución para la comparación con el patrón almacenado, mostrando gráficamente los sonidos en tiempo real en decibeles (Figura 3).



Figura 3: Respuesta sobre Notas con Teoría y Práctica

- **Teórico-Prácticas de Acordes Musicales:** Estas pruebas muestran al usuario una imagen que enseña el lugar donde se deben colocar los dedos para emitir el acorde. Junto a su descripción tiene un audio del cómo debería sonar el acorde musical y un grabador que registra los sonidos que ejecute el estudiante para compararlo con lo almacenado en el servidor. Se muestra gráficamente el sonido en tiempo real en decibeles (Figura 4).



Figura 4: Pregunta sobre Acordes con Teoría Práctica

- **Teórico-Prácticas de Pautas Rítmica:** Estas pruebas muestran una imagen sugiriendo la pauta rítmica, un metrónomo para que el usuario se guíe al momento de la interpretación, una muestra de cómo debería sonar el ritmo y un grabador que registra los sonidos que toque el estudiante con su guitarra. Esta muestra se usa para compararla con lo almacenado en el servidor, mostrando los sonidos en tiempo real en decibeles (Figura 5).



Figura 5: Pregunta Teórico-Práctico de Pautas Rítmicas con Metrónomo

- **Prácticas de Notas y Acordes:** Estas pruebas indican como colocar los dedos en los trastes de la guitarra para poder ejecutar el sonido y un grabador que se encargue de registrar el resultado. Además de mostrarse gráficamente

en tiempo real, se comparará con lo almacenado en el servidor (Figura 6).

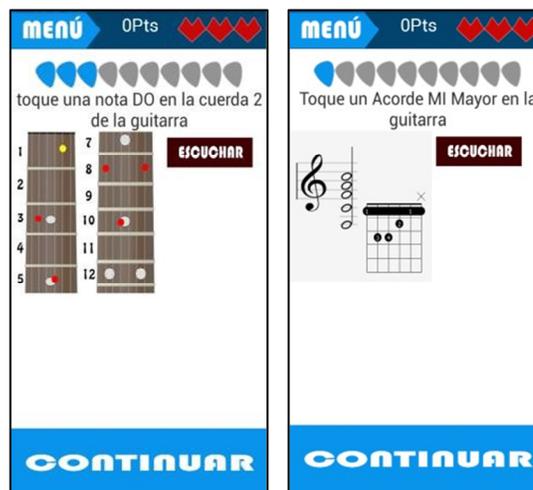


Figura 6: Pregunta Prácticas de Notas y Acordes

C. Notificaciones

Estas motivan al estudiante según la constancia con la que ingresa a los niveles de la aplicación. Se generan, después del ingreso del ejecutante, gracias a un calendario interno que se actualiza en función a la regularidad del aprendiz. También se le pueden enviar mensajes de alerta o felicitaciones a la bandeja de notificaciones de *Android* (Figura 7).

D. Integración con Facebook

Para lograr que la aplicación tenga un buen grado de aceptación, amigabilidad y simplicidad se decidió realizar el registro de jugadores mediante *Facebook*, ya que esta red social es muy utilizada a nivel mundial y brinda servicios que permiten tener un control de acceso, información del usuario y listado de amigos.

Para esta integración, *Facebook* provee un SDK para *Android* que proporcionar una documentación sencilla para su implementación y uso. El *framework Grails* posee un *plugin* para hacer uso de *Facebook* via Web, en donde el sistema hace la vinculación entre los amigos que posee el usuario en *Facebook* y los convierte en seguidores del usuario-estudiante de la aplicación.



Figura 7: Notificación sobre la Interfaz de Android

E. Sincronización de Archivos

Dado que el tiempo de procesamiento puede ser considerable y para agilizar la interacción entre los estudiantes, resulta conveniente que los archivos de los servicios que se utilizan regularmente solo sean descargados la primera vez que se les necesita. Para ello esta información se almacena localmente en una base de datos, para el dispositivo móvil con *Android*, llamada *Sqlite*.

El servidor envía a la aplicación del estudiante un listado de los identificadores de los archivos necesarios para la interfaz gráfica. Esta lista es comparada contra los archivos de base de datos local y, en caso de no tenerlos, se descargan desde el servidor.

F. Amigos

Este módulo tiene la capacidad de listar los amigos asociados que tiene el guitarrista aprendiz, junto con sus puntajes hasta la fecha de la consulta. Además se pueden ver los amigos de los amigos con el objeto de que pueda invitarlos y así generar un ambiente de mayor competitividad (Figura 8).

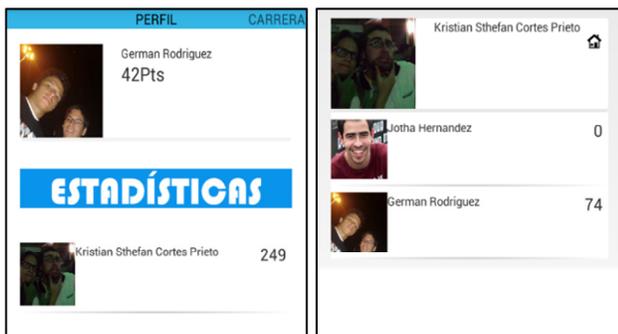


Figura 8: Amigos de un Usuario y Amigos de un Amigo

G. Reportes

Este módulo emite varios tipos de reportes, específicamente como serían las notas, acordes y pautas rítmicas tocadas por el aprendiz que consulta y por todos los demás estudiante. Algunas reportes son: notas o acordes más fáciles y difíciles de tocar, promedio de puntos ganados en teoría y en práctica, (Figura 9).



Figura 9: Pantallas de Reportes

realizó una investigación de los algoritmos de comparación de archivos de audio. Se seleccionó el método de reconocimiento de vocales, donde se parte de la identificación de formantes de un sonido en el dominio de la frecuencia, para diferenciar una vocal de otra. Según la bibliografía es usado para reconocimiento de sonidos en general y efectivamente resultó ser adecuado aunque no está explícitamente diseñado para reconocimientos de notas, acordes y pautas rítmicas.

Por otro lado, para encontrar las características asociadas a las ondas de los audios, se utilizó la Transformación Rápida de Fourier, la cual permite cambiar el dominio de tiempo de un audio a un dominio de frecuencia, mostrando las frecuencias de los formantes más significativas de un sonido.

A fin de cuentas, las características más significativas para comparar e identificar sonidos son principalmente la frecuencia y el rango de tiempo donde ocurre dicha frecuencia. Para las notas es sencillo pues basta con identificar el formante más cercano a dicha frecuencia. En el caso de los acordes se utiliza el mismo método de comparación pero ubicando todas las frecuencias de las notas que debe poseer ese acorde. Para las pautas rítmicas se debe añadir, además de las frecuencias y rangos, los intervalos de tiempos entre las notas para que el algoritmo pueda verificar si las frecuencias se encuentran en los instantes de tiempo esperados.

- **Análisis y Comparación de Notas:** Para identificar una nota musical se parte de la frecuencia almacenada previamente en la base de datos. Con el rango en el cual se encuentran dichas notas, el espectrograma de tiempo-decibelios (Figura 10) y dada la decodificación del archivo de audio enviado por el estudiante, se comparan los archivos para determinar el sonido generado por el guitarrista aprendiz.

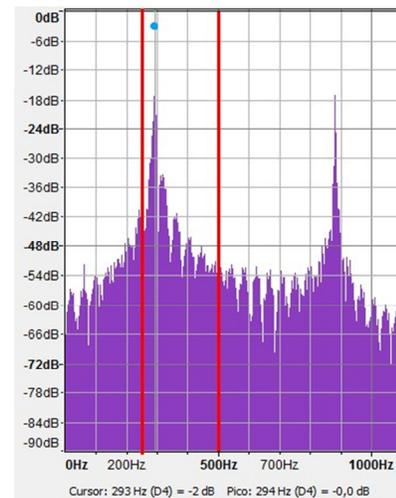


Figura 10: Verificación de una Nota con el Espectrograma de Frecuencia

Más detalladamente, el procedimiento consiste en tomar los valores en el rango donde debería estar la frecuencia de la nota buscada y se identifica cual es el primer formante o el formante con el valor más alto de decibelios. Con el programa *Audacity* se identifica el formante más alto, en este caso con el valor de 294 dB,

VI. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE NOTAS, ACORDES Y PAUTAS RÍTMICA

Con la finalidad de implementar un método eficiente para el procesamiento de las notas, acordes y pautas rítmicas, se

por lo que según los conocimientos teóricos, en este caso, el valor corresponde a la nota Re.

- **Análisis y Comparación de Acordes:** Sabiendo cada nota que compone el acorde y los rangos en que varían estas frecuencias, es posible lograr una comparación de las muestras obtenidas del estudiante y compararlas con lo almacenado en el servidor a través del método de comparación de acordes (Figura 11).

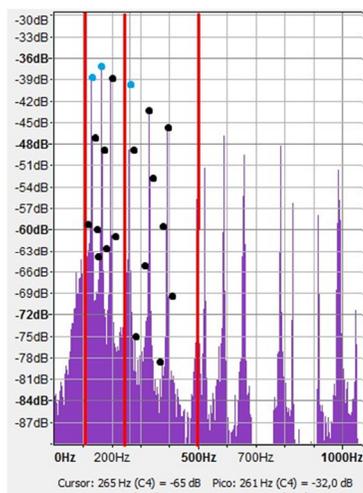


Figura 11: Verificación de un Acorde con el Espectrograma de Frecuencia

A partir del espectro de la muestra de audio se crean divisiones según los rangos de frecuencia en los que se encuentran las notas musicales que posee el acorde. En este caso, se trata del acorde Do Mayor, el cual posee las notas Do y La además del Do en otro rango de frecuencia. Una vez identificados los rangos se realiza el cálculo de los 10 formantes más altos de cada rango, los cuales son comparados contra las frecuencias buscadas para saber cuál es el formante más cercano a las frecuencias buscadas.

- **Análisis y Comparación de Pautas Rítmica:** Una vez identificadas las frecuencias de las notas musicales que posee la interpretación, los rangos de las frecuencias de estas notas musicales, y los tiempos entre cada una de ellas y, teniendo decodificada la muestra de audio del estudiante en un espectrograma Tiempo-Decibelios, se procede a realizar un análisis y comparación con los datos que se encuentran en la base de datos del servidor (Figura 12).

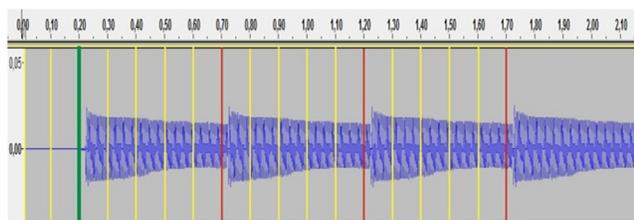


Figura 12: Verificación de una Rítmica

Con el algoritmo de reconocimiento de notas musicales, se van procesando los fragmentos de la muestra de audio, nota por nota dentro de la pauta rítmica. Una vez

seleccionada las notas se acopla su aparición usando el espectrograma rítmico y con un rango de error fijado como aceptable, se identifica la periodicidad y por ende la pauta rítmica.

En general el cálculo de la similitud entre dos acordes o dos pautas rítmicas tiende a ser más inexacto que el de las notas. Aunque se pueden encontrar algunas imperfecciones en la muestra de audio almacenada, la principal fuente de error para la identificación bajo el ruido ambiental. Este introduce armónicas que alteran la codificación del sonido. Para mitigar el grado de error, se decidió analizar los 10 formantes más significativos con el objetivo de aproximar la frecuencia más cercana a la nota buscada.

VII. MÓDULO DE AFINACIÓN

Para el módulo de afinaciones es preferible no acceder al servidor, ya que esto conllevaría a un amplio gasto de recursos y aumentaría el tiempo de espera del estudiante. Por esto se implementó dicho módulo en la aplicación móvil, donde mediante una interfaz de fácil uso (Figura 13), el usuario deberá seleccionar la cuerda que se quiere afinar. La aplicación va dando una referencia de la acción que debe tomar el estudiante, sobre la guitarra, para afinarla.

Se reutilizaron algunos códigos de identificación de sonidos del servidor y se cargaron localmente en el dispositivo móvil. La intención era tener una interfaz rápida, sencilla e intuitiva, de fácil uso para el aprendiz, sin conocimiento previo o adiestramiento en el sistema.

Para conseguir un resultado similar al de los métodos implementados en el servidor se reutilizó el método de codificación de audio MP3 a un arreglo de *shorts* utilizando la librería "LAME", aplicando a este el análisis y comparación de frecuencias. Esto, por supuesto, sabiendo de antemano la nota de cada cuerda, sin aplicar los dedos en ningún traste.

El método de análisis y comparación de frecuencias para la afinación utiliza la estrategia *FFT* sobre las muestras en tiempo real desde el micrófono, que son decodificadas por la librería "LAME" para su inmediata comparación con lo almacenado en la base de datos local.

Dependiendo de los resultados de la comparación se pueden determinar cinco situaciones: cuerda afinada, cuerda floja, cuerda muy tensa, silencio de la guitarra o existencia de mucho ruido. Una vez detecta la situación que acontece, se le notifica al practicante, en tiempo real, que acciones debe tomar para afinar la cuerda.

Para lograr que la aplicación sea intuitiva para el usuario, se diseñaron seis cuerdas diferenciadas con colores. Además la condición de la cuerda, durante la afinación, se indica con colores. Mientras más roja una cuerda, su tono es más agudo de lo debido. Mientras más azul por el contrario el tono es más grave de lo necesario.

Las cuerdas están ubicadas en la misma posición que en la guitarra configurada para diestros. En la parte inferior de la ventana se encuentra un recuadro que señala gráficamente los cuatro estados del sonido percibido tal como lo percibe la aplicación y la acción que se espera el estudiante realice para afinar esa cuerda.

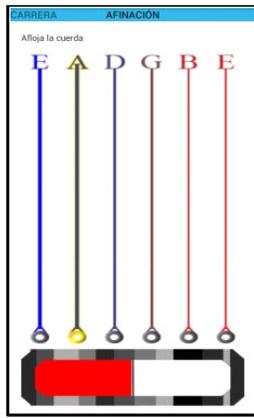


Figura 13: Módulo de Afinación

VIII. MEDICIÓN DEL APRENDIZAJE

Para conocer cuán útil puede resultar el sistema de enseñanza propuesto, se midió la diferencia de aprendizaje para dos universos de personas: un grupo que hiciera uso del sistema frecuentemente contra otro grupo que recibiera clases presenciales con un profesor que impartiera los mismos conceptos teóricos y prácticos.

Después de buscar entre los diferentes métodos de medición y recolección de datos, se seleccionó la metodología Pre-Test y Post-Test para analizar el aprendizaje entre las dos muestras de personas (Figura 14). Se constató, procesando probabilísticamente la información, cual de las dos metodologías logra mayor efectividad en la enseñanza teórico-práctica de la música usando guitarra eléctrica. Esta metodología exige la realización de cuatro actividades, las cuales son:

- **Instrumentos de Recolección de Datos:** Desarrollar el instrumento Pre-Test y Post-Test, gracias a encuestas, para verificar el conocimiento de las personas en un ámbito en específico. En este caso el conocimiento teórico-práctico de la música y la guitarra eléctrica, antes y después de aplicarse los métodos de enseñanza.

La metodología Pre-Test y Post-Test condiciona que las pruebas a ser desarrolladas deben tener un contenido equivalente o con el mismo comportamiento psicométrico. Por ello se montó en la aplicación propuesta el contenido didáctico que es presentado en los cursos presenciales, con pruebas teóricas y prácticas que manejan la misma terminología de las escuelas musicales.

Cada una de las pruebas se dividió en dos partes, en la primera parte se hacían 15 preguntas de la teoría musical, mientras que en la segunda parte se realizaron 5 ejercicios prácticos con una guitarra para un total de 20 puntos. Tanto las preguntas teóricas como prácticas fueron evaluadas simplemente como correctas o incorrectas.

- **Validación de Instrumentos:** Las pruebas deben pasar por un proceso de verificación, donde se involucran especialistas tanto en la rama de la psicología como expertos en música y guitarra. Estas personas revisan el contenido y la estructura de las pruebas para validar que los resultados sean significativos y que la comparación y la medición sean la adecuada.

Las personas que revisaron y argumentaron que la prueba seguían los lineamientos de una encuesta correcta se encuentran en la Tabla II.

Tabla II: Expertos que Validaron los Instrumentos

Psicólogo		Músico	
Nombre	Cargo	Nombre	Cargo
Kira Cook Aguilar (4 años de experiencia)	Psicóloga (CADH UCAB)	Raúl López (15 años de experiencia)	Profesor de Música (Academia Musical Luthier)
Ana Gabriela Pérez (23 años de experiencia)	Directora de la Escuela de Psicología (UCAB)	Javier Pérez (5 años de experiencia)	Profesor de Música (Academia Musical Luthier)
Juan Carlos Carreño (14 años de experiencia)	Profesor de Psicología (UCAB)	Víctor Solar (10 años de experiencia)	Profesor de Música (Complejo Cultural de Los Salias)

- **Definición de Criterios para la Selección de Poblaciones de Muestra:** Para la comparación estadística entre el aprendizaje mediante el método tradicional y la aplicación propuesta, se establecieron dos grupos de 15 personas cada uno, mayores de 15 años, que supiesen leer y escribir, sin diferenciar por género y que no tuvieran significativos conocimientos previos teórico-prácticos de música ni guitarra.

- **Aplicación del Instrumento:** Para la muestra que recibe clases con el método tradicional de enseñanza con un profesor (de ahora en adelante conocido como “Muestra Profesor”) se realizó una búsqueda en región capital (Caracas) con el fin de ubicar las escuelas musicales en las que los estudiantes pudieran brindar apoyo para la realización de las encuestas. Se logró obtener la ayuda de los estudiantes de 3 escuelas: *Academia Musical Luthier*, *Escuela Lino Gallardo* y *Complejo Cultural y Deportivo de Los Salias*.

Por otro lado, las personas que conformaron el grupo que haría uso del sistema para aprender a tocar guitarra eléctrica (de ahora en adelante conocido como “Muestra Aplicación”) fueron voluntarios en la Universidad Católica Andrés Bello, personas cercana a estas últimas y algunos familiares que no tuvieran experiencia o relación alguna con la teoría o práctica de tocar un instrumento.

La aplicación de estas evaluaciones evitaron sesgos relacionados con la intervención del profesor durante la realización de la prueba pre-test y la prueba post-test en cada una de las escuelas. Justamente al momento de la aplicación de las mismas, se pidió a los profesores que no ofrecieran ninguna ayuda a sus estudiantes.

- **Análisis de Resultados:** Con los datos recolectados por las encuestas, se procesó y analizó la información como se describe en [9] comenzando con el examen Pre-Test. Se procedió a aplicar estadística descriptiva y se analizaron con medidas de tendencia central (Moda y Media) y de variabilidad (Desviación estándar y Varianza), los resultados se presentan en la Tabla III.

Tabla III: Resultados de Tendencia Central y Variabilidad

Pre-Test	Muestra Profesor	Muestra Aplicación
Moda	1	1
Promedio	1.66	1.4
Varianza	2.23	0.97
Desviación Estándar	1.49	0.98

A partir de los resultados de tendencia central, se puede concluir que en general, ninguno de los grupos tenían conocimientos significativos con respecto a los temas mencionados en el Pre-Test ya que la moda es de 1 (Puntuación más repetida) y las medias tienen una calificación de 1.66 y 1.4, lo cual es un resultado muy bajo con respecto a la nota máxima (20).

Con respecto a las conclusiones arrojadas por los resultados de variabilidad obtenidos del cálculo de las varianzas (2.23 y 0.97) y las desviaciones estándar (1.49 y 0.98), se puede concluir que no existe para este caso una dispersión significativa de los resultados con respecto al promedio de cada una (1.66 y 1.4).

Finalmente se realizó una t-student para grupos independientes en la fase pre-test de la prueba donde se obtuvo una t de 0.576 con p establecida de 0.05 y una t obtenida de 0.570 (grados de libertad= 28), por lo que pueden indicarse que no existen diferencias significativas estadísticamente entre ambos grupos, es decir, se puede establecer que los grupos poseían notas similares antes de aplicar la intervención.

En una segunda parte del análisis se utilizaron las medias de los Pre-Test y los Post-Test para determinar el progreso de cada una de las muestras en el ámbito musical. El promedio de la muestra profesor obtuvo una mejoría de 9 puntos en el Post-Test, con respecto al promedio del Pre-Test mientras que el promedio de la muestra aplicación obtuvo una mejora de 15.53 puntos en el examen de Post-Test.

La segunda hipótesis parte de la verificación mediante una t-student para grupos correlacionados del progreso de las muestras del Pre-Test al Post-Test, En la muestra profesor se obtuvo una $t = 14$, con $p = 0.00$ (grados de libertad= 14, p criterio= 0.05) es decir, si existen diferencias significativas entre las notas de los alumnos en la prueba, antes de realizar la intervención con el profesor y luego de realizar la intervención.

A su vez, se aplicó en paralelo una t-student de grupos correlacionados para la muestra aplicación obteniéndose una $t = 26.95$ y una $p = 0.00$, (grados de libertad= 14, p criterio= 0.05), es decir, que si existen diferencias estadísticamente significativas entre las notas obtenidas antes y después de utilizar la aplicación o seguir la instrucción presencial.

Por último se realizó una t-student para grupos independientes entre las medidas de ambas muestras luego de aplicar la intervención, obteniéndose una $t_{student} = 6.902$ y una $p = 0.00$, por lo que puede indicarse que si existen diferencias significativas entre ambos grupos en las notas obtenidas luego de utilizar ambos métodos, siendo mayores las notas obtenidas para la muestra aplicación (media= 16.93) en comparación a las obtenidas para la muestra profesor (media= 10.06). Esto permite comprobar una mayor efectividad de la aplicación por

sobre la instrucción del profesor tomando como patrón las notas de los estudiantes en las pruebas.

Adicionalmente, se puede concluir que las oportunidades de estudio que permite una aplicación móvil sobre un profesor fueron determinantes para las diferencias entre los resultados de las dos muestras. Específicamente hay que resaltar: disponibilidad permanente que permite a la muestra aplicación practicar cuando lo deseen mientras que la muestra profesor estaba limitada a un horario que no incluía todos los días de la semana, Modulo de notificaciones para incentivar al usuario y ambiente competitivo gracias a la asociación de los amigos del estudiante por medio de Facebook.

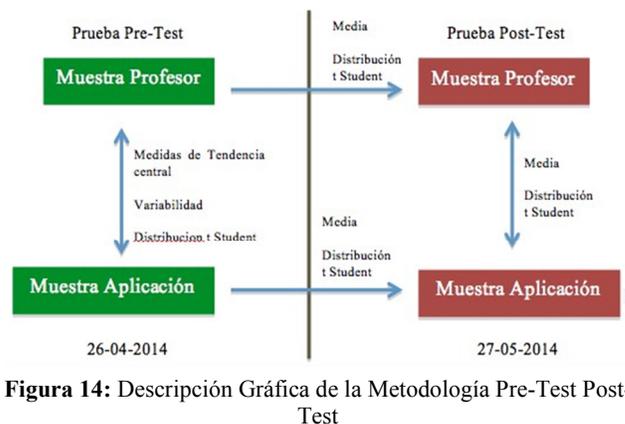


Figura 14: Descripción Gráfica de la Metodología Pre-Test Post-Test

IX. CONCLUSIONES

El sistema propuesto es sin duda una alternativa viable para el aprendizaje amigable de la guitarra eléctrica, tanto desde el punto de vista práctico como teórico.

En base a los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

- La precisión de las muestras de sonidos es claramente dependiente de la calidad del micrófono del dispositivo móvil. Por lo general estos dispositivos no tienen micrófonos de muy buena calidad.
- Dar el enfoque de videojuego, vinculando a los estudiantes con sus contactos en Facebook y contar con un módulo de reportes para las estadísticas de todos los jugadores, fue una decisión favorable para la aceptación de los aprendices con la aplicación. Esto genera una competitividad sana entre practicantes amigos y desconocidos que están registrados en la aplicación.
- Algunas de las pruebas de los algoritmos de reconocimiento de notas, acordes y pautas rítmicas se realizaron en base a sonidos artificiales (generados por computadora), por lo que existe la probabilidad de que cada uno de estos algoritmos tenga falsos positivos.
- El ruido externo es un factor determinante en la precisión del sistema. El ambiente debía ser estrictamente controlado para lograr resultados satisfactorios.
- Gracias a las posibilidades gráficas que brindan los dispositivos móviles actuales, los usuarios indicaron que la afinación de la guitarra eléctrica con la aplicación les

resultaba más intuitiva que con el afinador electrónico común.

- Aunque no se probó exhaustivamente, el reconocimiento de notas, acordes y pautas rítmicas también funciona para guitarras acústicas.
- Los análisis estadísticos efectuados arrojaron como resultado que las personas que utilizaron la aplicación móvil aprendieron más rápidamente los conocimientos teórico-prácticos que las personas que utilizaron el método tradicional. Esto demuestra que la inclusión de sistemas informáticos en el ámbito de aprendizaje musical es una solución favorable para las personas que se les dificulta tomar clases presenciales de música.

REFERENCIAS

- [1] F. Liarokapis, *Augmented Reality Scenarios for Guitar Learning*, in proceedings of the Third International Conference on Eurographics - Theory and Practice of Computer Graphics, pp. 163–170, Canterbury, United Kingdom, June 2005.
- [2] Y. Motokawa and H. Saito. *Support System for Guitar Playing using Augmented Reality Display*, IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2006), Santa Barbara, California, USA, October 2006.
- [3] E. Lenz, *System and Method for Learning Music in a Computer Game*, US Patent US7893337, February 2011.
- [4] J.C. Epstein, *Interactive Guitar Game Designed for Learning to Play the Guitar*, US Patent US20100137049 A1, June 2010.
- [5] D. Barzola, R. Cabrera, et al, *Comparación entre Compresión de Audio en Diferentes Formatos de Imágenes Equivalentes y el Formato MP3*, Reporte Interno de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, 2008.
- [6] M. Cheng, *Proyecto LAME*, <http://lame.sourceforge.net>, Octubre 2011.
- [7] Google, *Android NDK*, <https://developer.android.com/tools/sdk/ndk/index.html>.
- [8] Google, *Android Developers*, <http://developer.android.com/reference/android/media/AudioRecord.html>.
- [9] F. Kerlinger, *Investigación del Comportamiento*, McGraw Hill, México, 2002.