

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INFORMÁTICA

**INTERPRETACIÓN MUSICAL EN PIANO:
SOFTWARE DE APRENDIZAJE DE ESCALAS**

ROBERTO ALEJANDRO HORMAZÁBAL AZÚA

INFORME FINAL DE PROYECTO
PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE EJECUCIÓN EN INFORMÁTICA

Noviembre 2017

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INFORMÁTICA

INTERPRETACIÓN MUSICAL EN PIANO: SOFTWARE DE APRENDIZAJE DE ESCALAS

ROBERTO ALEJANDRO HORMAZÁBAL AZÚA

Profesor Guía: Ismael Figueroa Palet

Profesor Co-referente: Ignacio Araya Zamorano

Carrera: Ingeniería de Ejecución en Informática

Noviembre 2017

Dedico esto a mi padre Roberto Hormazábal Ibarra quien siempre me dijo que sería uno de los mejores ingenieros, a mi abuelita Perla Soto quien me crió mientras mis padres trabajaban, a mi madre Eddy Azúa Soto quien es un apoyo incondicional que he tenido a lo largo de mi vida y es la mujer quien me convirtió en el hombre que soy hoy, a mi familia que seamos tan unidos y como siempre buscamos la forma de sacarnos unos a otros adelante y a los amigos que fui formando a través de los años como lo son Flavia, Leonardo, Victor, Sebastian, Gonzalo, Jhohann, Chamaca, Mauro, Alejandro quienes siempre estuvieron ahí para mí cuando más los necesite.

*"Primero tienes que aprender las reglas del juego, y después jugar mejor que nadie".
Albert Einstein*

R. Hormazábal

Índice

Resumen.....	iii
Abstract.....	iv
Glosario.....	v
Lista de Figuras.....	vi
Lista de Tablas.....	viii
1 Introducción.....	1
2 Marco general del proyecto.....	2
2.1 Descripción general.....	2
2.2 Historia del MIDI y los Sintetizadores.....	2
2.2.1 Cualidades del MIDI.....	5
2.3 Resumen esencial de teoría musical.....	6
2.3.1 El Pentagrama y Figuras musicales.....	7
2.3.2 Escala Musicales.....	8
3 Objetivos del Proyecto.....	10
3.1 Objetivo General.....	10
3.2 Objetivos Específicos.....	10
4 Situación de estudio.....	11
4.1 Descripción de la Situación Actual.....	11
4.2 Identificación de los problemas detectados.....	11
4.3 Estado del Arte.....	11
5 Análisis.....	14
5.1 Definición de requerimientos.....	14
5.1.1 Requerimientos funcionales.....	14
5.1.2 Requerimientos no funcionales.....	15
6 Propuesta de solución.....	16
6.1 Descripción general de la solución.....	16
6.1.1 Alcances y limitaciones.....	16
6.2 Metodología.....	16
6.3 Herramientas de desarrollo.....	17
7 Implementación de la solución.....	18

7.1	Corrección en notas tocadas.....	18
7.2	Análisis de legato.....	18
7.3	Análisis de crescendo y diminuendo.....	18
7.4	Entrega de retroalimentación y calificación.....	19
8	Implementación de los Objetivos y Requerimientos.....	21
8.1	Poseer MIDI de pianistas profesionales.....	21
8.2	Sistema de métricas.....	22
8.3	Asignar puntaje: Correcta ejecución de la escala.....	22
8.4	Asignar puntaje: Correcta ejecución de Legato.....	23
8.5	Correcta ejecución de Crescendo/Diminuendo (Intensidad).....	24
8.6	Establecer un mecanismo de visualización de la retroalimentación.....	25
8.7	Requerimientos no cumplidos.....	27
9	Conclusión.....	28
10	Referencias.....	29

Resumen

El presente informe se profundizará en mayor detalle en cómo se puede ayudar, con el uso de la tecnología, a los estudiantes y profesores del Conservatorio de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, frente a la problemática de no poder contar todo el tiempo con un profesor especializado en algún instrumento (Piano) que pueda entregar una oportuna retroalimentación al estudiante de interpretación musical para ir midiendo su avance y, a la vez, irle dando puntos a mejorar.

En el caso particular de este proyecto, se acotará la solución a un software capaz de analizar la interpretación de una escala musical efectuada por un estudiante, comparando los datos de ella gracias a la utilización de un archivo MIDI formado luego de la interpretación, contra los datos entregados por unos archivos MIDI facilitados por el IMUS PUCV (Instituto de Música de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso) realizados por pianistas profesionales. Dentro de los datos a comparar, se realizará un estudio de las matices, articulaciones y velocidades con las que el estudiante ejecuta la escala, dando como resultado un análisis cuantitativo con indicadores de desempeño en distintas áreas, e idealmente con algún comentario cualitativo respecto a puntos a mejorar con los que el estudiante podrá ir viendo su progreso a medida que practica y utiliza el software. Los profesores además podrán tomar esta información como un complemento en su propia evaluación como expertos.

Palabras Claves: Archivos MIDI, Interpretación Musical, Piano, Matices, Articulación, Velocidad, Teoría Musical.

Abstract

The present report will go into more detail on how to help, with the use of technology, the students and professors of the Conservatory of the Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, facing the problem of not being able to count all the time with a teacher specialized in some instrument (Piano) that can deliver a timely feedback to the student of musical performance to measure his progress and, at the same time, giving him points to improve.

In the particular case of this project, the solution will be delimited to a software capable of analyzing the interpretation of a musical scale made by a student, comparing the data of it thanks to the use of a MIDI file formed after the interpretation, against the data delivered by MIDI files provided by the IMUS PUCV (Institute of Music of the Pontificia Universidad Católica de Valparaíso) made by professional pianists. Within the data to be compared, a study will be made of the shades, articulations and speeds (Tempo) with which the student executes the scale, resulting in a quantitative analysis with performance indicators in different areas, and ideally with some qualitative comment regarding points to improve with which the student can see their progress as they practice and use the software. Teachers can also take this information as a complement in their own evaluation as experts.

Key words: MIDI Files, Musical Interpretation, Piano, Shades, Articulation, Tempo, Musical Theory.

Glosario

Archivos MIDI: Un archivo MIDI contiene una serie de instrucciones que el sintetizador u otro generador de sonido utiliza para reproducir el sonido en tiempo real. Estas instrucciones son mensajes que indican al instrumento cuáles son las notas musicales, su duración, la fuerza de toque y las modulaciones de los parámetros de los sonidos, información necesaria para la generación de sonidos. Cada sonido emitido por un MIDI está formado por paquetes de órdenes en formato numérico.

Articulación: Se refiere a la forma en que se reproducen las notas de una canción. Los efectos de articulación se representan con marcas de articulación, las cuales modifican la ejecución de las notas y crean ligaduras entre ellas.

Interpretación Musical: Es el arte de ejecutar en un instrumento obras musicales de compositores de distintos períodos y estilos, conjugando el conocimiento del lenguaje musical, el dominio técnico y sonoro del instrumento y la sensibilidad, expresión y entrega del intérprete.

Matices: Son los signos de expresión con los cuales se puede controlar lo fuerte o flojo que se tocan los sonidos que produce el instrumento.

Piano: Instrumento musical de cuerda percutida, cuya caja de resonancia contiene una serie de cuerdas de diferente longitud y diámetro que son golpeadas por macillos accionados por resortes articulados con el teclado, y producen sonidos claros y vibrantes.

Tempo: Indica básicamente la velocidad a la que se interpreta la pieza musical.

Teoría Musical: Es un campo de estudio que tiene como objetivo la investigación de los diversos elementos de la música, entre ellos el desarrollo y la metodología para analizar, escuchar, comprender y componer música.

Lista de Figuras

Figura 2.1 Helmholtz Sound Synthesizer.....	3
Figura 2.2 Dynamophone o Telharmonium.....	3
Figura 2.3 Melochord.....	4
Figura 2.4 Moog.....	4
Figura 2.5 Buchla.....	5
Figura 2.6 Prophet-600.....	5
Figura 2.7 Pitch.....	7
Figura 2.8 Intensidad.....	7
Figura 2.9 Timbre.....	7
Figura 2.10 Pentagrama Musical.....	7
Figura 2.11 Relación entre figuras y silencios.....	8
Figura 2.12 Escala de Do Mayor.....	9
Figura 2.13 Escala de Re Mayor.....	9
Figura 4.1 Interfaz de usuario Synthesia.....	12
Figura 4.2 Interfaz de usuario Guitar Pro.....	12
Figura 8.1 Archivos formato .mid.....	21
Figura 8.2 Archivos formato .mat.....	21
Figura 8.3 Notas tocadas correctas.....	22
Figura 8.4 Notas tocadas incorrectas.....	22
Figura 8.5 Calificación notas correctas.....	23
Figura 8.6 Calificación notas incorrectas.....	23
Figura 8.7 Notas incorrectas.....	23
Figura 8.8 Correcta ejecución de legato.....	23
Figura 8.9 Ejecución incorrecta de legato.....	24
Figura 8.10 No hay presencia de legato.....	24
Figura 8.11 Notas tocadas.....	24
Figura 8.12 Equivocación en Crescendo o Diminuendo.....	24
Figura 8.13 Correcta ejecución de Crescendo.....	25
Figura 8.14 Correcta ejecución de Diminuendo.....	25
Figura 8.15 Primera pestaña.....	26
Figura 8.16 Segunda pestaña.....	26

Figura 8.17 Tercera pestaña.....27

Lista de Tablas

Tabla 2.1 Articulación.....	9
Tabla 5.1 Requerimientos funcionales.....	14
Tabla 5.2 Requerimientos no funcionales.....	15

1 Introducción

El término interpretación musical hace alusión al arte que se ha consolidado en la cultura occidental en los últimos siglos. Se refiere a que un músico especializado pueda traducir un texto musical de una partitura, en una pieza audible en uno o más instrumentos musicales. Con el paso del tiempo, ha ido aumentando el requerimiento y la necesidad de contar con músicos especialistas capaces de interpretar la música, sin haber sido de su composición. Algunas de las especialidades de intérpretes musicales que se pueden encontrar son el músico de orquesta, es un miembro de una orquesta el cual debe participar de manera coordinada con muchas decenas de otros músicos bajo la puesta en escena guiada por un director; el solista, es el único responsable de la idea y versión de una obra musical; el director de orquesta, de coro, de banda y de conjuntos de cámara, es quien debe comprender profundamente no solo el sonido, técnica u otros aspectos de diversos instrumentos o cantantes, sino que, debe tener la claridad para plasmar en cada conjunto la música que está más allá de cada nota, frase y obra; el músico de cámara, es quien profundiza en la relación entre sonido y textura que compromete a un reducido grupo de músicos, como lo son los dúos, tríos, cuartetos.[1]

Dentro de los instrumentos en los que se puede estudiar la interpretación musical se encuentra el piano, instrumento que se ha podido beneficiar del avance tecnológico ya que en la actualidad existen pianos y teclados electrónicos muy sofisticados con sistemas que implementan ayudas para los estudiantes. Uno de los sistemas que ha favorecido mucho en el aprendizaje de la interpretación musical en piano es el sistema de los archivos MIDI (*Musical Instrument Digital Interface*: interfaz digital para instrumentos musicales). Utilizando la tecnología MIDI se puede realizar un estudio de la manera en que un estudiante de piano clásico ejecuta una escala musical, entregando de manera objetiva un análisis de su interpretación con puntos como matices, articulación y velocidad, también, se entregará una breve introducción a lo que es la Teoría Musical y algunos de los términos asociados a ella.

2 Marco general del proyecto

En este punto, se explicarán la descripción general del proyecto, se expondrá de una breve historia del formato MIDI junto a su implementación y un resumen mínimo de teoría musical para así contextualizar el desarrollo de este proyecto.

2.1 Descripción general

Para los estudiantes y/o autodidactas de lo que es la disciplina de la interpretación musical, específicamente en piano, se encuentra el inconveniente de que les es difícil evaluar su avance en el aprendizaje de manera correcta cuando no cuentan con la presencia y observación de un profesor especializado. Esta dificultad está también presente en el contexto de la enseñanza en un instituto o universidad, ya que a menudo el profesor tiene tantos alumnos que dirigir que cuesta el focalizar toda la atención a un solo alumno, a fin de ofrecerle retroalimentación pertinente. Hay por lo tanto un problema en cuanto a la entrega oportuna de retroalimentación. Por otro lado, y gracias a los diversos avances tecnológicos y su aplicación en las necesidades educativas, es posible desarrollar herramientas que permitan ayudar tanto a alumnos como a profesores en diversas áreas, para que puedan tener mayor acceso a la materia y a evaluaciones que no requieran necesariamente la presencia del profesor. Un área en específico donde es pertinente el uso de la tecnología para el apoyo de la enseñanza es en de la retroalimentación sistemática e inmediata, en este caso, en el contexto de la enseñanza musical y la interpretación en piano.

Poniéndolo en términos más concretos, se tiene que es posible utilizar la tecnología MIDI (interfaz digital para instrumentos musicales) para almacenar la interpretación de los alumnos, con el fin de otorgar retroalimentación de manera automática o asistida, facilitando así el acceso del estudiante a una retroalimentación adecuada en cuanto a su desempeño, y permitiendo al profesor trabajar de manera más eficiente con mayores cantidades de estudiantes.

2.2 Historia del MIDI y los Sintetizadores

Los primeros antecedentes de la tecnología MIDI aparecen por la década de 1860 donde Hermann Von Helmholtz, pionero en la utilización de la electrónica para la generación de sonidos, construye una serie de generadores electromecánicos capaces de la producción de tonos puros (Figura 2.1). Más adelante en 1897, Thaddeus Cahill construye el primer sintetizador de sonido llamado Dynamophone o también conocido como Telharmonium, una enorme máquina capaz de producir corrientes alternas a diferentes frecuencias. Su propósito general consiste en la producción de música transmisible eléctricamente por cable (Figura 2.2). [2]

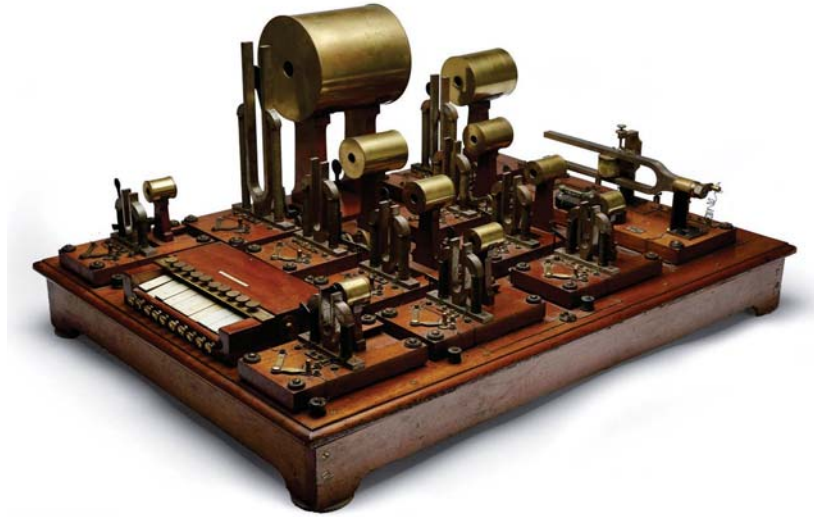


Figura 2.1 Helmholtz Sound Synthesizer.

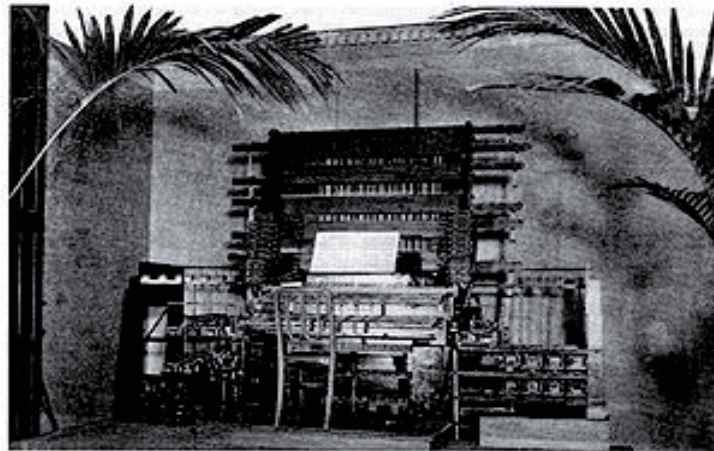


Figura 2.2 Dynamophone o Telharmonium.

En el año 1961, Harald Bode, crea el primer sintetizador controlado por voltaje llamado Melochord (Figura 2.3), demostrando el potencial de la tecnología MIDI en sintetizadores electrónicos. Años más adelante, en 1964 Robert Moog y Donald Buchla trabajando de forma independiente presentan la primera versión de sintetizador comercial en el año 1966, Moog presenta el sintetizador Moog (Figura 2.4) y Buchla el sintetizador Buchla (Figura 2.5).



Figura 2.3 Melochord.



Figura 2.4 Moog



Figura 2.5 Buchla

En 1982, en la National Association of Music Merchants (NAMM), se daría el lugar oportuno para que varios fabricantes, entre ellos Sequential Circuits, acordaron aumentar la velocidad de transmisión a 31.25 kbaudios y añadir optoacopladores a todos los terminales de entrada de la interfaz para evitar interferencia y ruidos. Finalmente compañías japonesas aportan mejoras al protocolo, aumentando su potencia y mejorando su elaboración. Como resultado surge lo que hoy se conoce como MIDI (Musical Instrument Digital Interface). En diciembre del año 1982, Dave Smith y su compañía Sequential Circuits lanzan al mercado el primer instrumento dotado con MIDI, el Prophet-600 (Figura 2.6).[3]



Figura 2.6 Prophet-600.

2.2.1 Cualidades del MIDI

Un instrumento con sistema MIDI recibe y procesa mensajes en tiempo real. El mensaje más básico es *Note On* con el cual reproduce la nota adecuada; por su lado, el mensaje *Note Off*, finaliza la reproducción de la nota correspondiente. El protocolo MIDI tiene gran variedad de mensajes y parámetros, entre los que además de la nota a reproducir se tiene: el canal, el volumen, la velocidad o intensidad de la nota, instrucciones de control, etc. En caso que los datos MIDI deban ser almacenados en forma de archivos o editarlos mediante el uso de un secuenciador, se deberá utilizar algún medio que permita indicar la temporización correcta de los eventos. [4]

Los secuenciadores MIDI son capaces de manejar múltiples flujos de datos MIDI o “pistas”, existen 3 formatos de MIDI:

1. Formato 0: Almacena los datos de distintas pistas en una sola.
2. Formato 1: Permite almacenar los datos en un solo archivo como una colección de pistas independientes.
3. Formato 2: Almacena varios patrones independientes, no suele utilizarse con secuenciadores.

El formato 1 es el más utilizado pues es más sencillo a la hora de visualizar y editar su contenido musical. [5]

2.3 Resumen esencial de teoría musical

Antes de hablar de los signos de expresión, se realizará una breve introducción a los que es la teoría musical, dando algunas definiciones y explicaciones sobre qué se trata. Para hablar de teoría musical, uno se debe preguntar ¿Qué es la música?, la respuesta a esta pregunta ha tenido diversas definiciones a lo largo del tiempo.

Desde el primer músico, hasta el día de hoy han habido diferentes definiciones para lo que es la música, en la antigüedad veían la música como un elemento organizador del trabajo en serie, trabajadores martillando al mismo tiempo o compás para saber la cantidad de producción y soldados marchando a un mismo ritmo buscando uniformidad que da la ilusión de disciplina. Para otros podría ser considerado como un medio de preservación de la especie, utilizando en el cortejo, lo cual es útil aun hoy en día. En Japón, la práctica del arte musical era algo indispensable para el vivir del emperador, ya que la música le permite llevarlo a un estado de divinidad. La música, al ser un lenguaje universal, puede expresar con sonidos las emociones que quedarían cortas en cualquier otro idioma. [6]

Definición: *“La música es el arte de combinar sonidos agradablemente al oído según las leyes que lo rigen”*. [7]

Las propiedades del sonido son [8]:

1. **Altura (Pitch):** Informa la velocidad de vibración del cuerpo sonoro, mientras más vibre, más agudo será el sonido; mientras menos vibre, más grave será el sonido (Figura 2.7). Se conoce normalmente como “la nota”.
2. **Intensidad:** Se refiere al tamaño de las crestas o picos de la onda, es un equivalente a la amplitud y volumen (Figura 2.8), mientras más grande sea la onda, con mayor fuerza esta fue ejecutada.
3. **Duración:** Es el espacio temporal que ocupa desde su aparición hasta su extinción, es equivalente al tiempo.
4. **Timbre:** Identifica la fuente de la cual proviene, por la forma de las ondas, asegurando que en las mismas condiciones el sonido producido será semejante al anterior (Figura 2.9). Se asocia al sonido característico de un instrumento musical.



Figura 2.7 Pitch.

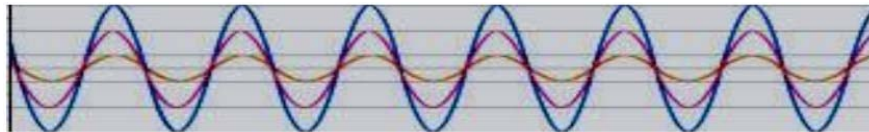


Figura 2.8 Intensidad.

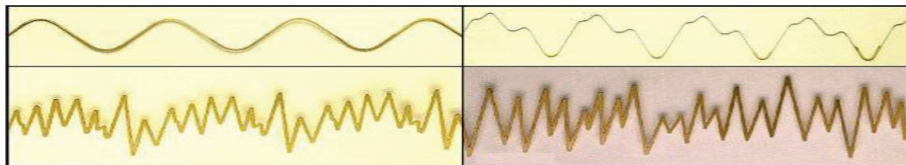


Figura 2.9 Timbre.

2.3.1 El Pentagrama y Figuras musicales

Pentagrama viene de la unión de las palabras griegas *pentha* (cinco) y *grafos* (líneas), está compuesto por 5 líneas horizontales paralelas y equidistantes, es donde se escriben las notas musicales y otros símbolos como los compases y fórmulas del compás, como se puede ver en la Figura 2.10 [9].

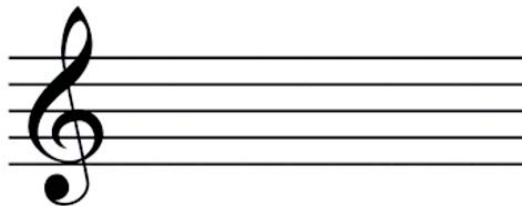


Figura 2.10 Pentagrama Musical.

La música se anota en el pentagrama mediante la anotación de *figuras musicales* las que determinan la altura, duración, e intensidad de las notas. De forma complementaria, los silencios son pausas que corresponden en duración al valor de una determinada figura rítmica, tal como se explica en la Figura 2.11 [10].

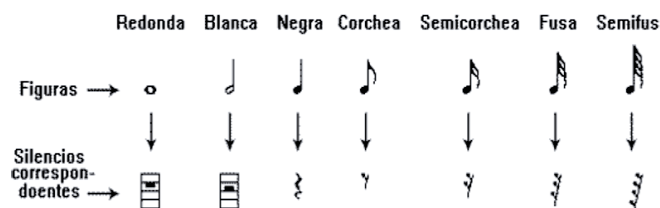


Figura 2.11 Relación entre figuras y silencios.

Cada figura y silencio correspondiente, representa un tiempo de duración diferente, siendo este:

1. Redonda: 4 tiempos.
2. Blanca: 2 tiempos.
3. Negra: 1 tiempo.
4. Corchea: ½ tiempo.
5. Semicorchea: ¼ tiempo.
6. Fusa: ⅛ tiempo.
7. Semifusa: 1/16 tiempo.

Si bien no hay una duración específica para los “tiempos”, ya que son un concepto relativo, se suele usar el concepto de “Beats per Minute” (BPM) para ajustar un metrónomo, o bien se suele utilizar frases técnicas como “Allegro”, “Andante” u otras que indican al intérprete la velocidad de interpretación diseñada por el compositor.

2.3.2 Escalas Musicales

En estricto rigor, una escala musical es simplemente una secuencia de notas. Sin embargo, el concepto se asocia tradicionalmente al concepto de “Escala Mayor” presente en la música occidental. Así por ejemplo, la escala de DO (Figura 2.12) consiste en la sucesión de notas: DO-RE-MI-FA-SOL-LA-SI; o bien la escala de RE (Figura 2.13) consiste en la sucesión de notas: RE-MI-FA#-LA-SI-DO#-RE. Además de las escalas Mayores y Menores, existen muchos otros tipos de escalas tales como: escala pentatónica, escala de blues, o la escala cromática.

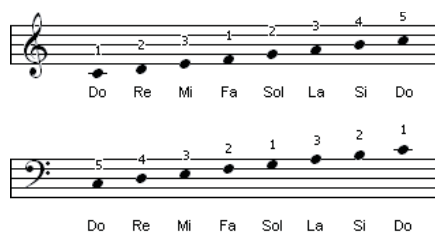


Figura 2.12 Escala de Do Mayor.



Figura 2.13 Escala de Re Mayor.

La interpretación de escalas puede hacerse de diversas formas: con una o ambas manos, en sentido paralelo (ambas manos en la misma dirección) o sentido contrario (una mano asciende en la escala, mientras la otra desciende). Además se tienen estilos de interpretación de frases musicales, conocidos como *articulaciones* (ver Tabla 2.1), que se refieren a la transición entre una nota a otra, entre los que destacamos: [11]

Tabla 2.1 Articulación.

Nombre	Efecto
Staccato o picado	acorta la duración de cada nota
Legato o ligado	se tocan todas las notas unidas
Portato	se destaca la nota apoyándose en ella
Acentuado	se destaca la nota que lleva el acento

3 Objetivos del Proyecto

Una vez expuesta una descripción general, es pertinente el explicar los objetivos que se tiene para el proyecto, en esta parte se hará mención de los diferentes objetivos que se posee.

3.1 Objetivo General

El objetivo es el realizar un software que entregue retroalimentación a los estudiantes de primer año del Conservatorio de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, en cuanto a su interpretación musical, acotando en lo que respecta a una escala en piano.

3.2 Objetivos Específicos

1. Utilizar uno o más archivos MIDI de pianistas profesionales proporcionado por el conservatorio de la PUCV para la comparación con el archivo MIDI del estudiante.
2. Definir un sistema de métricas o ponderaciones para poder entregar retroalimentación efectiva al estudiante, en cuanto a su ejecución musical.
3. Asignar un puntaje en cuanto a la correcta ejecución de la escala, es decir, que el estudiante haya tocado las teclas en el orden correspondiente a la escala considerando criterios de correctitud, como por ejemplo el no haber tocado 2 teclas juntas, o saltarse una tecla.
4. Asignar un puntaje en cuanto a que los tiempos de ejecución sean adecuados a un estilo de interpretación y articulaciones tales como Legato, Staccato, u otros por definir.
5. Asignar un puntaje para comparar la intensidad con la que toca la escala, es decir, si alguna nota la toca de manera más fuerte que otra (por ejemplo, Tenuto, Acento, Marcato, Crescendo o Diminuendo).
6. Establecer un mecanismo de visualización de la retroalimentación generada por la herramienta, que sea entendible para el estudiante, y que entregue detalles más finos al profesor.

4 Situación de estudio

En este punto, se dará a conocer el estado actual del proyecto, los problemas actualmente presentados, ya sea internos o externos.

4.1 Descripción de la Situación Actual

Teniendo en cuenta las necesidades del cliente, las cuales son:

1. Dificultad a la hora de evaluar el avance en el aprendizaje de los estudiantes de interpretación musical en piano clásico.
2. En el caso de autodidactas, no cuenta con la presencia de un profesor especializado.
3. El profesor al poseer una buena cantidad de alumnos a los que dirigir, le cuesta tener el tiempo o espacio para ocupar en un solo alumno en particular, por lo que dificulta la entrega de retroalimentación aún más personalizada.
4. Los software actuales no proporcionan retroalimentación, solo enseñan como tocar de forma mecánica una pieza musical sin exponer la teoría que se encuentra detrás.

Una vez tomadas en cuenta las necesidades del cliente, se procedió a realizar y establecer propuestas tecnológicas con uso de comparación de archivos MIDI. Luego de tenerla aprobada, se comenzó la con la captura y los análisis de requerimientos, donde se realizan una seguidillas de reuniones.

4.2 Identificación de los problemas detectados

- El sistema educacional actual presente en el Instituto de Música de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (IMUS), impide que el estudiante posea una retroalimentación más detallada y un análisis pertinente con respecto a su desempeño al tocar una escala.
- Los profesores al tener tantos alumnos a su cargo y no disponer de mayores instancias para impartir clases o realizar reuniones de avance, no pueden dedicar el tiempo necesario a un alumno en particular, es por ello que no siempre logran dar la retroalimentación que quisieran.
- Los estudiantes que son autodidactas o los que no pueden costearse la ida a un conservatorio de música, no logran obtener la guía necesaria como la obtendrían con un profesor de interpretación musical.

4.3 Estado del Arte

En la actualidad existen varias aplicaciones para aprender a tocar piezas musicales con la ayuda de archivos MIDI, tenemos entre estos programas los siguientes software:

1. Synthesia: Es un juego para practicar melodías en piano, bastante parecido a lo que es el juego Guitar Hero, lo que hace el software es cargar archivos MIDI y mostrar las notas de manera dinámica para que uno las vaya tocando y practicando (Figura 4.1). Lamentablemente, como se dijo anteriormente, se trata de un juego cuyo objetivo es acertar la mayor cantidad de notas en cuanto a altura, duración y ritmo. [12]

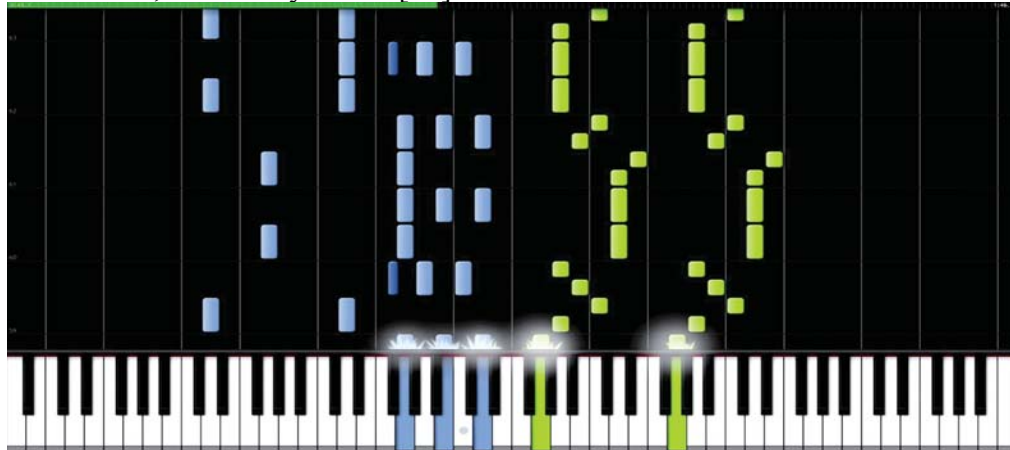


Figura 4.14 Interfaz de usuario Synthesia.

2. Guitar Pro: Es un software para editar y reproducir acordes de guitarra, en versiones anteriores como la 4 o 5 también se cuenta con un teclado para reproducir acordes, posee una serie de funciones como loops, reducción de tiempo, etc. [13] Este Software está pensado más como una ayuda para compositores, ya que las funcionalidades de poseer es de múltiples instrumentos. (Figura 4.2)

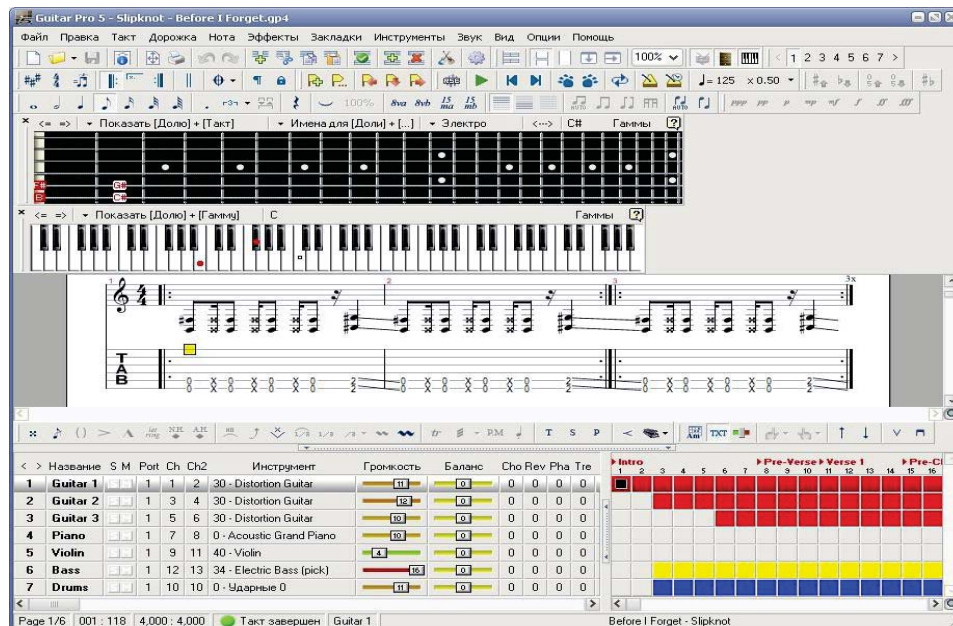


Figura 4.15 Interfaz de usuario Guitar Pro.

Lamentablemente estos programas solo ayudan a aprender a tocar una canción sin ahondar en cómo uno la toca, no poseen una retroalimentación con respecto a evaluaciones en el desempeño de la ejecución de la pieza musical.

Los software actuales se enfocan en que se aprenda una melodía de manera mecánica, sin tener consideración en la teoría que hay detrás de esta, no enseñan los diferentes elementos musicales que hay entre una nota y otra que el estudiante toca. Tampoco entregan en detalle el desempeño del alumno ni un seguimiento de mejoría de este.

5 Análisis

En este apartado del informe se darán a conocer los tipos de requerimientos que posee el sistema (Funcionales como No Funcionales).

5.1 Definición de requerimientos

En esta sección se definirán los requerimientos funcionales y no funcionales para la creación del software.

5.1.1 Requerimientos funcionales

Como requerimientos funcionales, se tiene:

Tabla 5.2 Requerimientos funcionales.

ID	Sigla	Descripción	Prioridad
01	RF01	El software debe poseer una cantidad de archivos midis de profesionales con los cuales el estudiante pueda comparar su midi propio.	Obligatorio
02	RF02	El software debe permitir que el estudiante solo cargue archivos con extensión .mid.	Obligatorio
03	RF03	El software debe poseer un sistema de métricas con las cuales entregar una retroalimentación efectiva al estudiante.	Obligatorio
04	RF04	El software debe poseer un sistema de puntuación en cuanto a la correcta ejecución de la escala a analizar, siendo esta que las notas tocadas coincidan con las notas de la escala a analizar.	Obligatorio
05	RF05	El software debe poseer un sistema de puntuación en cuanto a los tiempos de ejecución como Legato u otros.	Obligatorio
06	RF06	El software debe poseer un sistema de puntuación en cuanto a la intensidad con la que se ejecute la escala como Crescendo, Diminuendo u otros.	Obligatorio

5.1.2 Requerimientos no funcionales

Como requerimientos no funcionales se tiene:

Tabla 5.3 Requerimientos no funcionales.

ID	Sigla	Descripción	Prioridad
07	RNF01	El software debe poseer un mecanismo de visualización de la retroalimentación amigable y sencillo de entender para el estudiante.	Obligatorio
08	RNF02	El software debe poseer un mecanismo de visualización de la retroalimentación detallado para la ayuda de la labor del docente.	Obligatorio
09	RNF03	El software debe ser capaz de ser instalado en cualquier sistema operativo.	Opcional

6 Propuesta de solución

A continuación se expondrá un breve resumen de la motivación del proyecto y cómo será realizado.

6.1 Descripción general de la solución

Recapitulando lo anterior, la solución a tratar en este proyecto consiste en el desarrollo de un software que entregue retroalimentación al estudiante de interpretación musical en piano, de manera que él pueda ver su avance y que aspectos necesita mejorar en su interpretación musical. Más específicamente, y como contexto acotado para este Proyecto de Título, se considerará solamente la interpretación de escalas en dicho instrumento.

Este software se desarrollará con la ayuda y participación de profesores del conservatorio de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, los cuales proporcionarán los conocimientos en la interpretación musical del piano, archivos MIDI, tanto de estudiantes como de pianistas profesionales, para la comparación entre ellos y servirán de contraparte o cliente, en el desarrollo de esta herramienta.

6.1.1 Alcances y limitaciones

- Solo se centrará en la ejecución de una escala musical en piano clásico.
- Se entregará retroalimentación correspondiente a los siguientes puntos:
 - Orden correcto de la escala
 - Tiempo síncrono entre una nota y otra, aceptando una muy pequeña cantidad de desfase.
 - Que la intensidad con la que se toquen las notas corresponda a cómo desea ejecutar la escala el estudiante.

6.2 Metodología

Se abarcará el modelo de software proceso unificado (UP) [14], gracias a las distintas ventajas que presenta, tales como:

- Mitigación Temprana de posibles riesgos altos.
- Progreso Visible en las etapas tempranas.
- El conocimiento adquirido en una iteración puede ser aplicarse de iteración a iteración.
- Los usuarios están involucrados continuamente.

Se tratará de abordar en su totalidad una de las fases más importantes (Transición), debido a su ajuste de errores y defectos encontrados en las pruebas de aceptación, así como capacitar a los usuarios y presentar el soporte correspondiente, generando así un software de calidad. También el uso de dividir el trabajo en etapas, conlleva a un trabajo controlado además de demostrar un incremento al final de cada una de estas.

6.3 Herramientas de desarrollo

Se procederá a listar las distintas herramientas a utilizar durante el desarrollo del proyecto, tales como:

- MATLAB (Herramienta para el análisis): Es una herramienta de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Está disponible para las plataformas Unix, Windows, Mac OS X y GNU/Linux.
- GitHub (Respaldo y Control de Versiones del Proyecto): Es una plataforma de desarrollo colaborativo, será utilizada para que los desarrolladores suban los avances del proyecto manteniendo el control de las versiones del proyecto evitando pérdidas o fallas humanas en el transcurso.
- Slack (Como Control de Tareas, Avance y Respaldo de Información): Es una herramienta de comunicación de equipo. Será utilizada para compartir documentación, respaldo de información relevante, ver avances de tareas entre otras cosas.

7 Implementación de la solución

A continuación se expondrá el análisis implementado para llegar a la solución, dentro de los puntos a tocar, también se mostrará como es la entrega de la retroalimentación y el sistema de calificación presente en el software.

7.1 Corrección en notas tocadas

El primer análisis implementado corresponde a la correcta ejecución de la escala que se está estudiando, es decir, que el estudiante toque las notas de manera que siga el orden establecido por la escala a realizar sin equivocaciones y sin tocar dos notas pegadas.

La manera en que este análisis se realiza es creando un código que guarda en un arreglo las notas que se deben tocar, en el orden en que deben ejecutarse y comparándolas con un arreglo de notas tocadas por el estudiante, las notas que se deben tocar se encuentran previamente cargadas en el software.

7.2 Análisis de legato

Para poder analizar legato se debe en primera instancia ejecutar de forma correcta las notas tocadas, una vez realizada una buena interpretación de la escala se define una métrica tal que asegura el hecho de no haber soltado una nota para comenzar con la siguiente, la idea de esto es que no se realice una interrupción del sonido mientras se ejecuta la escala.

La forma en que se realiza este análisis es formulando un código que toma primeramente los ONSET en beats (momento en que se toca la nota), la DURATION en beats (tiempo en que se mantuvo presionada la nota) creando un arreglo “result_onset_duration” él cual contiene la suma del ONSET y la DURATION de la nota. Esto se hace para, en segunda instancia, crear otro arreglo “diff_onset_duration” él cual contiene la diferencia entre él “result_onset_duration” de la nota actual menos el ONSET de la nota siguiente.

Para finalizar este análisis, se define que para haber presencia de legato se necesita que el dato presente en “result_onset_duration” sea mayor o igual a 0 y menor o igual a 0.37, en caso de cumplir dichas condiciones se realizó de forma correcta la articulación de legato. En caso contrario, si el dato es menor que 0 se define que no hay presencia de legato y si el dato es mayor que 0.37 se define que no se ejecutó de manera correcta el legato.

7.3 Análisis de crescendo y diminuendo

Para poder analizar crescendo o diminuendo, como en el caso de legato, se debe ejecutar correctamente las notas tocadas, una vez realizada una buena interpretación de la escala se define una métrica tal que asegura el hecho de haber aumentado paulatinamente la intensidad de las notas (en el caso de crescendo), o disminuido paulatinamente la intensidad de las notas

(en el caso de disminuyendo). La idea de esto es que se debe aumentar o disminuir gradualmente la intensidad del sonido.

Para analizar crescendo o disminuyendo se crea un arreglo que contiene las VELOCITY (intensidad con la que se toca la nota) para luego comparar que, en caso de crescendo, la VELOCITY de la nota actual sea menor a la VELOCITY de la nota siguiente y en el caso de disminuyendo, la VELOCITY de la nota actual sea mayor a la VELOCITY de la nota siguiente.

7.4 Entrega de retroalimentación y calificación

En este software existen 3 tipos de retroalimentación:

1. **Ejecución de las notas:** Se visualiza tanto las notas esperadas como las notas tocadas en formato de escala diatónica (C-D-E-F-G-A-B) y se entrega como respuesta cuales fueron las notas erradas y cual se esperaba que fuera.
2. **Ejecución de la articulación:** En el caso de seleccionar Legato, la retroalimentación entrega como respuesta si hay legato entre las notas, si no hay presencia de legato entre las notas o si no se hizo una correcta ejecución del legato. En el caso de Crescendo o Diminuendo, entrega como respuesta si esta la presencia de la articulación a analizar y en el caso de haber un error, enseña entre que notas es donde fue y deja de seguir midiendo la articulación.
3. **Pitch de notas esperadas como de notas tocadas:** Enseña 2 gráficos, uno de notas esperadas y otro de notas tocadas, la intención de esto es mostrar al estudiante de manera más simple la comparación entre lo que se esperaba y lo ejecutado. En caso de estar midiendo la articulación Crescendo o Diminuendo, en el gráfico también se enseña la intensidad con la que se tocaron las notas.

En este software existen 3 calificaciones:

1. **Correcta ejecución de las notas tocadas:** Se califica según la correcta ejecución de la escala que se desea analizar, a medida que se encuentra con errores, dependiendo de la cantidad de ellos, se va disminuyendo la calificación. Si la escala no presenta ningún error en este punto el estudiante es calificado con la puntuación máxima siendo esta un 70, si se equivoca en una o más notas, la calificación disminuye de la siguiente manera:
 - Si hay 1 error, la calificación es de 65.
 - Si hay 2 errores, la calificación es de 59.
 - Si hay 3 errores, la calificación es de 52.
 - Si hay 4 errores, la calificación es de 44.
 - Si hay 5 errores, la calificación es de 35.
 - Si hay 6 errores, la calificación es de 25.
 - Si hay 7 errores, la calificación es de 14.
 - Si hay 8 o más errores, la calificación es de 10.
2. **Correcta articulación de legato, crescendo o diminuendo:** Si no se obtiene una nota inferior a 70 en el punto anterior, no se puede medir la articulación, el

software exige que primero se debe ejecutar correctamente las notas tocadas. Si la escala no presenta ningún problema en su ejecución, la calificación se medirá según la articulación a analizar:

- Por legato se presenta con la siguiente fórmula, “ $\text{calification} = \text{round}(70 - \text{mistakes} * 8.5)$ ” siendo “mistakes” los errores al momento de la interpretación los cuales pueden ser de 0 a 7, en caso de tener más de 7, el software inmediatamente entrega como calificación un 10.
- Por Crescendo o Diminuendo se presenta con la siguiente fórmula, “ $\text{calification} = \text{round}(10 + \text{correct} * 8.5)$ ” siendo “correct” la correcta ejecución de la articulación entre nota y nota los cuales van desde 0 hasta 7.

3. Calificación final: Es la calificación resultante como promedio entre la calificación por notas y la calificación por articulación, en caso de no haber alguna de las 2, la calificación final da como resultado “----”.

8 Implementación de los Objetivos y Requerimientos

En esta sección se mostraran los objetivos con los requerimientos asociados a ellos y como se dio su solución, además de eso se insertaran unas figuras que muestran como esta implementado en el software y como es el software en si.

8.1 Poseer MIDI de pianistas profesionales

Objetivo: “Utilizar uno o más archivos MIDI de pianistas profesionales proporcionado por el conservatorio de la PUCV para la comparación con el archivo MIDI del estudiante.”

Requerimientos:

- RF01: “El software debe poseer una cantidad de archivos midis de profesionales con los cuales el estudiante pueda comparar su midi propio.”
- RF02: “El software debe permitir que el estudiante solo cargue archivos con extensión .mid.”

El software posee una base de midis con los cuales comparar el midi del estudiante, estos fueron traspasados del formato .mid (Figura 8.1) a un formato .mat (Figura 8.2) con el que fueron cargados al software.

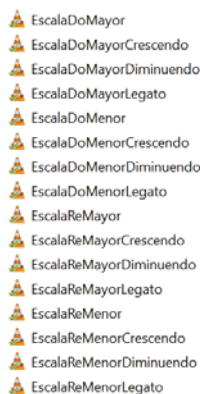


Figura 8.16 Archivos formato .mid.

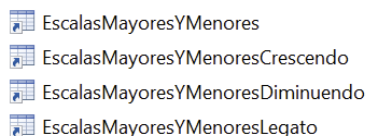


Figura 8.17 Archivos formato .mat.

8.2 Sistema de métricas

“Definir un sistema de métricas o ponderaciones para poder entregar retroalimentación efectiva al estudiante, en cuanto a su ejecución musical.”

Este objetivo se puede ver en mayor detalle en el punto 7.4 de este informe.

Requerimiento RF03: “El software debe poseer un sistema de métricas con las cuales entregar una retroalimentación efectiva al estudiante.”

8.3 Asignar puntaje: Correcta ejecución de la escala

“Asignar un puntaje en cuanto a la correcta ejecución de la escala, es decir, que el estudiante haya tocado las teclas en el orden correspondiente a la escala considerando criterios de correctitud, como por ejemplo el no haber tocado 2 teclas juntas, o saltarse una tecla.”

Requerimiento RF04: “El software debe poseer un sistema de puntuación en cuanto a la correcta ejecución de la escala a analizar, siendo esta que las notas tocadas coincidan con las notas de la escala a analizar.”

Se muestra primero que notas se esperaban y cuáles fueron las tocadas (Figura 8.3 y Figura 8.4), para calificar según eso (Figura 8.5 y Figura 8.6).

Notas Esperadas	C4 D4 E4 F4 G4 A4 B4 C5
Notas Tocadas	C4 D4 E4 F4 G4 A4 B4 C5

Figura 8.18 Notas tocadas correctas.

Notas Esperadas	C4 D4 E4 F4 G4 A4 B4 C5
Notas Tocadas	C4 D4 D4# F4 G4 G4# A4# C5

Figura 8.19 Notas tocadas incorrectas.

Tocaste las notas correctas, FELICIDADES

Tu Calificación es de: 70

Figura 8.20 Calificación notas correctas.

Se esperaba que la nota 3 fuera: E4 y tocaste: D4#
Se esperaba que la nota 6 fuera: A4 y tocaste: G4#
Se esperaba que la nota 7 fuera: B4 y tocaste: A4#
Tu Calificacion es de: 52

Figura 8.21 Calificación notas incorrectas.

8.4 Asignar puntaje: Correcta ejecución de Legato

“Asignar un puntaje en cuanto a que los tiempos de ejecución sean adecuados a un estilo de interpretación y articulaciones tales como Legato, Staccato, u otros por definir.”

Requerimiento RF05: “El software debe poseer un sistema de puntuación en cuanto a los tiempos de ejecución como Legato u otros.”

En caso de no ser las notas correctas no se puede medir legato (Figura 8.7), en caso contrario se puede medir y este puede dar como resultado la presencia de legato (Figura 8.8), que no se haya ejecutado correctamente legato (Figura 8.9) o no hay presencia de legato (Figura 8.10).

No se puede medir legato si no tocas las notas correctas

Figura 8.22 Notas incorrectas.

Entre las notas: C4 y D4 Hay legato
Entre las notas: D4 y D4# Hay legato
Entre las notas: D4# y F4 Hay legato
Entre las notas: F4 y G4 Hay legato
Entre las notas: G4 y G4# Hay legato
Entre las notas: G4# y A4# Hay legato
Entre las notas: A4# y C5 Hay legato
Tu Calificacion es de: 70

Figura 8.23 Correcta ejecución de legato.

Entre las notas: C4 y D4 No hiciste una buena ejecución del legato
 Entre las notas: D4 y E4 No hiciste una buena ejecución del legato
 Entre las notas: E4 y F4 No hiciste una buena ejecución del legato
 Entre las notas: F4 y G4 No hiciste una buena ejecución del legato
 Entre las notas: G4 y A4 No hiciste una buena ejecución del legato
 Entre las notas: A4 y B4 No hiciste una buena ejecución del legato
 Entre las notas: B4 y C5 No hiciste una buena ejecución del legato
 Tu Calificación es de: 11

Figura 8.24 Ejecución incorrecta de legato.

Entre las notas: C4 y D4 No hay presencia de legato
 Entre las notas: D4 y E4 Hay legato
 Entre las notas: E4 y F4 No hay presencia de legato
 Entre las notas: F4 y G4 Hay legato
 Entre las notas: G4 y A4 No hay presencia de legato
 Entre las notas: A4 y B4 Hay legato
 Entre las notas: B4 y C5 No hay presencia de legato
 Tu Calificación es de: 36

Figura 8.25 No hay presencia de legato.

8.5 Correcta ejecución de Crescendo/Diminuendo (Intensidad)

“Asignar un puntaje para comparar la intensidad con la que toca la escala, es decir, si alguna nota la toca de manera más fuerte que otra (por ejemplo, Tenuto, Acento o Marcato).”

Requerimiento RF06: “El software debe poseer un sistema de puntuación en cuanto a la intensidad con la que se ejecute la escala como Crescendo, Diminuendo u otros.”

En este caso, al igual que en el caso de legato, se exige que las notas tocadas sean las correctas (Figura 8.11). Si el estudiante se equivoca en alguna parte aparece inmediatamente en donde fue el error y deja de seguir midiendo (Figura 8.12), cuando hay una correcta ejecución de crescendo (Figura 8.13) o una correcta ejecución de diminuendo (Figura 8.14) el software entrega como resultado la mayor calificación.

Notas Esperadas	D4 E4 F4# G4 A4 B4 C5# D5
Notas Tocadas	D4 E4 F4# G4 A4 B4 C5# D5

Figura 8.26 Notas tocadas.

Entre las notas: D4 y E4 Es donde te equivocaste
 Tu Calificación es de: 10

Figura 8.27 Equivocación en Crescendo o Diminuendo.

Entre las notas: D4 y E4 Hay crescendo
Entre las notas: E4 y F4# Hay crescendo
Entre las notas: F4# y G4 Hay crescendo
Entre las notas: G4 y A4 Hay crescendo
Entre las notas: A4 y B4 Hay crescendo
Entre las notas: B4 y C5# Hay crescendo
Entre las notas: C5# y D5 Hay crescendo
Tu Calificacion es de: 70

Figura 8.28 Correcta ejecución de Crescendo.

Entre las notas: D4 y E4 Hay diminuendo
Entre las notas: E4 y F4# Hay diminuendo
Entre las notas: F4# y G4 Hay diminuendo
Entre las notas: G4 y A4 Hay diminuendo
Entre las notas: A4 y B4 Hay diminuendo
Entre las notas: B4 y C5# Hay diminuendo
Entre las notas: C5# y D5 Hay diminuendo
Tu Calificacion es de: 70

Figura 8.29 Correcta ejecución de Diminuendo.

8.6 Establecer un mecanismo de visualización de la retroalimentación

“Establecer un mecanismo de visualización de la retroalimentación generada por la herramienta, que sea entendible para el estudiante, y que entregue detalles más finos al profesor.”

Requerimientos:

- RNF01: “El software debe poseer un mecanismo de visualización de la retroalimentación amigable y sencillo de entender para el estudiante.”
- RNF02: “El software debe poseer un mecanismo de visualización de la retroalimentación detallado para la ayuda de la labor del docente.”

Primera pestaña muestra las notas esperadas y las notas tocadas, junto con el gráfico del Pitch del midi profesional y del midi realizado (Figura 8.15).

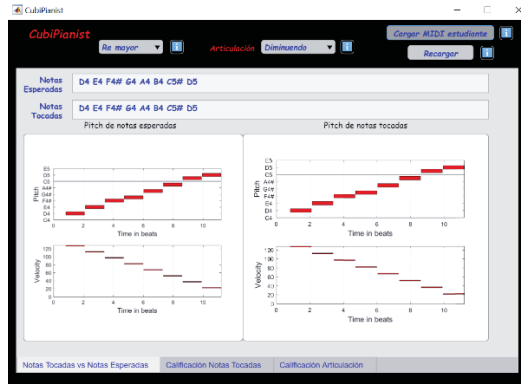


Figura 8.30 Primera pestaña.

La segunda pestaña muestra en detalle más fino la ejecución de la escala en tema de notas tocadas (Figura 8.16).



Figura 8.31 Segunda pestaña.

La tercera pestaña muestra en detalle más fino la ejecución de la escala en tema de la articulación seleccionada, la calificación final y permite que se pueda escuchar los midis tanto el esperado como el realizado (Figura 8.17).

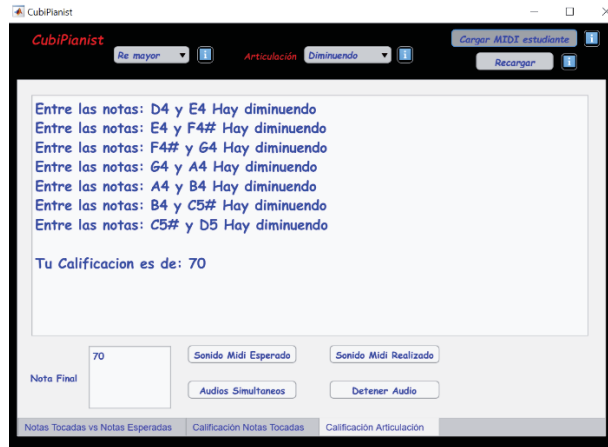


Figura 8.32 Tercera pestaña.

8.7 Requerimientos no cumplidos.

RNF03: “El software debe ser capaz de ser instalado en cualquier sistema operativo.”

Esto se debe a que MATLAB no permite realizar una aplicación para cualquier sistema operativo y tiene por condición que MATLAB debe estar instalado en el sistema operativo, esto produce como impedimento que si se realiza una aplicación en MATLAB de 64 bits, este debe ser ejecutado por un MATLAB de 64 bits, lo mismo para el caso de sistemas operativos de 32 bits.

9 Conclusión

La tecnología va avanzando a pasos agigantados hoy en día, el poder utilizarla para la creación de sistemas evaluativos es una excelente medida para ayudar a que, tanto alumnos como profesores, puedan realizar una labor más óptima en lo que son las asignaturas o estudios de diferentes áreas.

Al crear un sistema que sea capaz de realizar un análisis y entregar una retroalimentación sobre el desempeño del estudiante, se logra que este pueda ir viendo cómo ha ido mejorando sus habilidades a medida que pasa el tiempo, de esta manera puede lograr una mayor motivación en lo que está haciendo. En cuanto al profesor, al poseer este tipo de ayuda, puede crear planes de estudios personalizados para alumnos en particular, con los que puedan mejorar las falencias que aun posean.

La finalidad de este software es la entrega de una retroalimentación a alumnos de primer año de interpretación musical del Instituto de Música de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (IMUS), para ello se implementó un sistema de comparación entre como ejecuta una escala musical un estudiante y como ejecuta la misma escala un pianista profesional ya formado, con el feedback generado por el programa, el maestro a cargo de dichos alumnos podrá seguir el avance de su o sus alumnos y de esta manera el sabrá que puntos deberán poseer mayor atención.

10 Referencias

- [1] Luis Orlandini Robert. (Diciembre 2012). *La interpretación musical*. Revista musical chilena Recuperado de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-27902012000200006.
- [2] Yolanda Pascual Franquet. (29 de Octubre de 2014). *La evolución de los sintetizadores*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/yolandacoconut/la-evolucion-de-los-sintetizadores>.
- [3] Ricardo Moreno. (25 de Mayo de 2013). *Historia del MIDI*. Recuperado de <http://www.diffusionmagazine.com/index.php/biblioteca/categorias/historia/335-historia-del-midi>.
- [4] Dominique Vandenneucker. (1992). *MIDI Tutorial*. Recuperado de <https://www.cs.cmu.edu/~music/cmsip/readings/MIDI%20tutorial%20for%20programmers.html>.
- [5] David Mellinas. (2002). *Secuenciadores y archivos estándar MIDI*. Recuperado de <http://www.css-audiovisual.com/areas/guias/midi-seqs.htm>.
- [6] Guevara, J. (2010). *Teoría de la música: Una guía seria para toda aquella persona que quiera afianzar sus estudios de música.*, https://www.teoria.com/articulos/guevara-sanin/guevara_sanin-teoria_de_la_musica.pdf, pp. 4.
- [7] Guevara, J. (2010). *Teoría de la música: Una guía seria para toda aquella persona que quiera afianzar sus estudios de música.*, https://www.teoria.com/articulos/guevara-sanin/guevara_sanin-teoria_de_la_musica.pdf, pp. 5-7.
- [8] Mario. (2017). *Propiedades del sonido: altura, duración, intensidad y timbre*. Recuperado de <http://mariomusica.com/teoria/propiedades-sonido-altura-duracion-intensidad-timbre.html>.
- [9] R. Mario. (2017) *Teoría musical - Lección 2: El pentagrama*. Recuperado de <http://www.aprende-gratis.com/teoria-musical/curso.php?lec=pentagrama>.
- [10] R. Mario. (2017). *Teoría musical - Lección 5: Figuras de valor y fórmula de compás*. Recuperado de <http://www.aprende-gratis.com/teoria-musical/curso.php?lec=duracion-sonidos>.
- [11] R. Mario. (2017). *Teoría musical - Lección 14: Los signos de expresión*. Recuperado de <http://www.aprende-gratis.com/teoria-musical/curso.php?lec=signos-expresion>.

- [12] El pianista. (2017). *Synthesisia: ¡Un sistema para aprender a tocar el piano jugando!*. Recuperado de <http://elpiano.es/synthesisia-un-sistema-para-aprender-tocar-el-piano-jugando/>.
- [13] Administrador. (2013). *Guitar Pro. Partituriza como un profesional*. Recuperado de <http://www.ispmusica.com/tecnologia-musical/software/670-guitar-pro-partituriza-como-un-profesional.html>.