



**HERRAMIENTA PROTOTIPO PARA ESCRIBIR TABLATURAS DE FORMA
AUTOMÁTICA A TRAVÉS DE UNA GUITARRA**

GIANLUCCA AGUADO RENDON

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN
TULUÁ
2020**



**HERRAMIENTA PROTOTIPO PARA ESCRIBIR TABLATURAS DE FORMA
AUTOMÁTICA A TRAVÉS DE UNA GUITARRA**

GIANLUCCA AGUADO RENDON

201556124-3743

JOSHUA DAVID TRIANA, ING

DIRECTOR TRABAJO DE GRADO

CARLOS ANDRES DELGADO, Msc.

CODIRECTOR TRABAJO DE GRADO

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

TULUÁ

2020

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	8
Capítulo 1 : El Planteamiento del Problema	
1.1 Descripción del Problema.	9
1.2 Formulación del Problema.	10
Capítulo 2 : Objetivos	
2.1 Objetivo General.	11
2.2 Objetivos Específicos y Resultados Esperados.	11
Capítulo 3 : Justificación y Alcance	
3.1 Justificación.	12
3.2 Alcance.	13
Capítulo 4 : Marco de Referencias	
4.1 Marco Teórico.	14
4.1 Trabajos Relacionados.	16
4.2 Marco Conceptual.	18
Capítulo 5 : Planificación	
5.1 Actividades.	20
5.2 Cronograma.	21
Capítulo 6 : Diseño y desarrollo del proyecto	
6.1 Conversión de Sonido Análogo a Digital.	23
6.2 Análisis de Señales de Audio.	24
6.2.1 Essentia.	25
6.2.2 Algoritmos de Depuración de Notas.	28
6.2.3 Frecuencias Reales.	34
6.2.4 Beats Por Minuto (BPM).	37

6.3 Construcción de la Tablatura.	38
6.4 Interfaz de usuario.	41
Capítulo 7 : Pruebas de Precisión	
7.1 Elaboración del Problema.	43
7.2 Definición de la Población Objetivo.	43
7.3 Desarrollo de la Prueba.	43
7.4 Conclusión de la Prueba.	52
Capítulo 8 : Trabajos Futuros	52
Capítulo 9 : Conclusiones	
9.1 Registro de melodías con métricas de guitarra.	53
9.2 Depuración y coherencia entre notas.	53
9.3 Construcción de tablaturas.	53
9.3 Desarrollo de la Prueba.	53

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Objetivos y Resultados.	11
Tabla 2 : Equivalencia de notas en segundos.	29
Tabla 3 : Comparativa de Notas	32
Tabla 4 : Notas y sus Frecuencias	34
Tabla 5 : Comparativa para Resultado Esperado.	36
Tabla 6 : Costo en L.	40
Tabla 7: Información Canción Uno.	44
Tabla 8 : Tablatura Real.	44
Tabla 9 : Tablatura del Prototipo para Canción Uno.	45
Tabla 10 : Comparativa Riff Uno Canción Uno	46
Tabla 11 : Comparativa Riff Dos Canción Uno	46
Tabla 12: Comparativa Riff Tres Canción Uno	46
Tabla 13: Comparativa Riff Cuatro Canción Uno	47
Tabla 14: Resultado Canción Uno	46
Tabla 15: Información Canción Dos.	48
Tabla 16: Resultado Canción Dos.	48
Tabla 17: Información Canción Tres.	49
Tabla 18: Resultado Canción Tres.	49
Tabla 19: Información Canción Cuatro.	49
Tabla 20: Resultado Canción Cuatro.	50
Tabla 21: Información Canción Cinco.	50
Tabla 22: Resultado Canción Cinco.	51
Tabla 23: Resultado de las Pruebas.	51

TABLA DE FIGURAS

Figura 1: Analizador de Espectro.	15
Figura 2: Frecuencia.	17
Figura 3: Cronograma.	22
Figura 4 : Información del Archivo.	26
Figura 5 : Información de Notas.	27
Figura 6 : Árbol de notas.	28
Figura 7 : Notas Pivotes.	30
Figura 8: Notas Depuradas.	33
Figura 9: BPM.	37
Figura 10 : Diapasón de Guitarra.	38
Figura 11 : Diapasón de Guitarra Ejemplificada.	39
Figura 12 : Interfaz de Usuario.	41
Figura 13 : Tablatura del Prototipo.	42

RESUMEN

El presente trabajo de grado describe el desarrollo de una herramienta prototipo para escribir tablaturas de forma automática a través de una guitarra. Enfocado a músicos aficionados, se procesan sus melodías de guitarra para automatizar la forma en cómo se escriben las tablaturas digitales sin la necesidad de pasar por un estudio previo en teoría o estructuración musical.

Haciendo uso del lenguaje de programación Python y diferentes librerías como Essentia, se desarrollan algoritmos para el procesamiento de sonido con el fin de obtener sus frecuencias y durabilidad para depurarlas y así procesarlas al resultado esperado.

Se evidenciará a lo largo del documento como la herramienta procesa sus entradas de sonidos y dinámicamente creará las correspondientes tablaturas ejecutando unos algoritmos que inicialmente, guardará la información de las entradas para luego depurar la información con la finalidad de aumentar la correctitud de los resultados y finalmente armar de manera más conveniente la tablatura para el usuario.

El usuario final con ayuda de la interfaz de la herramienta podrá grabar sus melodías que corresponden a los datos de entrada, escucharlas o eliminarlas y así decidir cuáles de las melodías desea procesar para almacenar su respectiva tablatura en formato PDF.

El documento contendrá pruebas de precisión para determinar qué tan asertivo es el resultado final entregado al usuario y con esto concluir las mejoras posibles.

INTRODUCCIÓN

La tablatura es un formato de notación musical física o digital que le indica al músico de forma numérica dónde debería digitar una nota en su instrumento, permitiendo interpretar melodías musicales con más facilidad que en las partituras.

En esta propuesta se pretende crear un prototipo de software para músicos aficionados que permita registrar de forma digital notas musicales con sus respectivos tiempos, obtenidas de una guitarra que se encontrará conectada a un computador; para que el músico digite sus melodías y posteriormente obtenga una tablatura que cumpla con las normas de métricas; esto para que no tenga que pasar por el proceso de escribir manualmente una tablatura digital.

El presente documento de anteproyecto de trabajo de grado está estructurado de tal forma que se logre captar la problemática planteada, su importancia y todos los conceptos necesarios para comprenderla. También se mencionan trabajos o estudios similares para finalmente, mostrar el plan de trabajo para la ejecución de esta propuesta. Partiendo de esta introducción, se tendrá el siguiente orden en el documento:

En el capítulo 1 se describe y formula el problema. También se encuentran los objetivos y los resultados esperados de dichos objetivos.

El capítulo 2 expone la importancia de desarrollar la herramienta prototipo para la generación automática de tablaturas digitales, también se delimita el alcance del proyecto.

Para el capítulo 3, se definen los conceptos teóricos de relevancia para el desarrollo del proyecto.

En el capítulo 4, se define la metodología a utilizar para desarrollar el proyecto, también se especifican las actividades a realizar por cada objetivo y el cronograma de las mismas.

Por último, se tiene el capítulo 5. En este se evidencia la planificación para alcanzar los objetivos del proyecto. También se puede apreciar el presupuesto para la ejecución del plan de trabajo; incluyendo los gastos para equipos físicos y el personal involucrado en la investigación.

CAPÍTULO 1

EL PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del Problema

La escritura de tablaturas digitales con ayuda de editores de tablaturas es una tarea tediosa y extensa para un músico aficionado, y más aún para alguien que no cuenta con una formación musical que le permita prescindir de las tablaturas.

En promedio dos de cada diez músicos aficionados logran escribir una tablatura de forma adecuada (cumpliendo con ciertas reglas de tiempo en la música). Una pieza musical con una duración de cinco minutos podría tardar más de una hora en ser escrita completamente, debido principalmente a la dificultad que existe entre digitar una nota en el instrumento y transcribirla al software mediante un teclado convencional o medio físico cualquiera.

La comunicación musical entre instrumentistas de una misma agrupación debería ser dada por medio de tablaturas o (partituras si dominan el lenguaje musical), pero el desconocimiento en la creación de las mismas motiva el uso de medios alternativos y poco adecuados para lograr una fluidez en el aprendizaje musical, destacando principalmente videos con la ejecución de la pieza musical, grabaciones de audio o enseñanza directa de las melodías musicales por parte de un tercero.

Cuando una agrupación o un músico quiere obtener los derechos de autoría de sus composiciones, deberá presentar prueba de que esta le pertenece, dichas pruebas pueden ser mediante grabaciones de estudio, tablaturas o partituras. Resultando apropiado para un músico aficionado adentrarse en la escritura de tablaturas para construir el pilar inicial de su carrera musical.

1.2 Formulación del Problema

¿Cómo generar una herramienta que permita a los músicos aficionados obtener sus tablaturas digitales de guitarra?

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Desarrollar una herramienta prototipo que permita generar tablaturas digitales a partir de melodías de guitarra.

2.2 Objetivos Específicos y Resultados Esperados

Objetivos	Resultados esperados
Identificar las características del registro de melodías de guitarra	Informe con las frecuencias de las notas musicales y su durabilidad.
Desarrollar un algoritmo que procese las métricas de las melodías de guitarra	Código fuente que entregue métricas correctas de los compases
Desarrollar algoritmo que permita digitar las notas más cercanas posibles	Código fuente que entregue notas musicales agrupadas por cercanía y de fácil ejecución en el instrumento
Implementar una aplicación que permita obtener las tablaturas a partir de melodías de guitarra.	Prototipo de software que genere una tablatura coherente con la melodía de entrada.
Realizar pruebas de precisión de las tablaturas generadas	Informe con el resultado de una encuesta con población objetivo de personas que han interactuado con tablaturas.

Tabla 1 : Objetivos y Resultados. Elaboración propia .

CAPÍTULO 3

JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE

3.1 Justificación

Un músico aficionado puede llegar al momento en el que se enfoque en composiciones propias las cuales no garantizan de que este haya pasado por estudios previos musicales, en este punto puede hacer composiciones como solista o agrupación, en ambos casos es sumamente recomendable hacer uso de las tablaturas por razones como lo son:

No olvidar sus composiciones: A menudo el músico por tener varias composiciones propias o melodías por separado suele olvidar estas. Esto se debe a que mantiene explorando nuevas composiciones o simplemente deja de interpretar las que ya ha realizado.

Añadir: El músico puede agregar otros instrumentos a una misma composición y también puede añadir nuevas melodías a su composición.

Editar: Podría llegar al caso de modificar algo que ya ha escrito

Compartirlas con otros músicos: Compartir las tablaturas en una misma integración es de vital importancia ya que el ahorro en tiempo y esfuerzo es bastante alto y de esta manera, cada integrante puede disponer de esta a su voluntad para estudios o alguno de los tres casos anteriores.

Registrarlas: La finalidad del artista se basa en que reconozcan sus obras y los derechos de autor son el primer paso que garantiza esta meta, pero una grabación profesional podría ser muy costosa o de mucho tiempo e incluso hay estudios de grabación que exigen las partituras, la forma más efectiva es registrar las obras musicales con partituras o tablaturas (podremos encontrar software que convierten tablaturas en partituras y viceversa).

Esta aplicación puede ayudar al aprendizaje de la escritura musical ya que, el músico aficionado obtendrá sus propias tablaturas y observará cómo son representadas para asociarlas con sus melodías.

No se evidencia en la literatura una aplicación similar que haga uso de un instrumento musical, por lo cual, el desarrollo de la herramienta en sus primeras etapas será de uso gratuito hasta el punto de garantizar un funcionamiento efectivo y ampliado a otros tipos de instrumentos.

3.2 Alcance

Para el desarrollo del proyecto se identificarán únicamente punteos sencillos de guitarra sin ningún tipo de técnica añadida o arpeggios en los cuales se toque más de una nota al mismo tiempo ya que la herramienta del software podría confundirse al captar más de dos notas o notas alteradas y entregaría un mal resultado o ninguno.

La herramienta recibirá las notas previamente capturadas mediante un dispositivo conversor análogo-digital.

La herramienta prototipo será usado con guitarras eléctricas o electroacústicas sin algún efecto de pedal o software que alteren su sonido limpio y este será previamente capturadas mediante un dispositivo conversor análogo-digital la cual debe estar con afinación estándar la cual se validará al comienzo de cada uso.

Por términos de tiempo de 8 meses se entrega una aplicación para pruebas.

No se garantiza que la tablatura generada sea 100% correcta en todos los casos debido a que es una aplicación experimental.

Las pruebas de precisión se limitarán a la realización de encuestas a personas que tengan conocimientos en lectura de tablaturas y de guitarra.

CAPÍTULO 4

MARCO DE REFERENCIA

4.1 Marco Teórico

Estructuras de datos: Cuando hablamos de programación, la estructura de datos está representada por una forma determinada que tenemos de organizar los datos de un equipo informático para que podamos utilizarlos de la manera más efectiva posible. Dependiendo del tipo de aplicación o recurso que vayamos a usar, requerimos una estructura de datos independiente y distinta a las demás, dado que cada una encaja en el contexto de forma determinada y con una serie de objetivos. [4]

Afinación musical: Cuando se habla de afinación se hace referencia a dos realidades diferentes en música. Una tiene que ver con la selección de las frecuencias que se consideran notas musicales, dando lugar a los sistemas de afinación, y la otra representa la acción de poner en tono justo los instrumentos musicales en relación con una nota fijada, a la que se llama diapasón (en el caso de la guitarra). Evidentemente, para que un instrumento suene afinado hace falta que se tengan en cuenta las dos acepciones anteriores. Se debe conseguir que el instrumento sea capaz de producir notas afinadas entre sí, es decir que las distancias entre unas notas y otras se correspondan con las de algún sistema de afinación. Pero además, el intérprete, o el técnico, debe conseguir que las notas producidas se ajusten al diapasón, puesto que de otro modo no podrían sonar varios instrumentos a la vez. Para distinguir estos dos tipos de afinación, a la primera, que depende en mayor medida del constructor, le llamaremos afinación estructural y a la otra afinación de ajuste. [6]

Frecuencia de las notas musicales (Hz): Podemos obtener sonidos de diferentes tonos con instrumentos de cuerda pulsando cuerdas de diferentes longitudes y grosores o también obligando a las ondas sonoras a viajar por tubos de diferentes longitudes en el caso de instrumentos de viento. Cuando dos notas musicales suenan, bien juntas o bien una tras la otra, la combinación es a veces agradable y a veces desagradable. Esto es en parte un asunto subjetivo y de origen cultural, puesto que el rock o la música tradicional japonesa suenan desagradables a los no aficionados y muy agradables a los aficionados. Todas las notas musicales viajan a la misma velocidad, la del sonido, y se diferencian en su frecuencia. Es costumbre en Occidente hablar de siete notas musicales (do, re, mi, fa, sol, la si) y cada una tiene su frecuencia. Al conjunto de siete notas se le llama octava y tras el final de una octava (nota si) comienza la siguiente (nota do). He aquí las frecuencias de las notas de dos octavas:

- La 220 Hz 440 Hz 880 Hz
- Si 247,5 Hz 495 Hz
- Do 264 Hz 528 Hz
- Re 297 Hz 594 Hz
- Mi 330 Hz 660 Hz
- Fa 352 Hz 704 Hz
- Sol 396 Hz 792 Hz

Se puede observar que la frecuencia de una nota en una octava es la mitad de la frecuencia de la misma nota en la siguiente octava. [8]

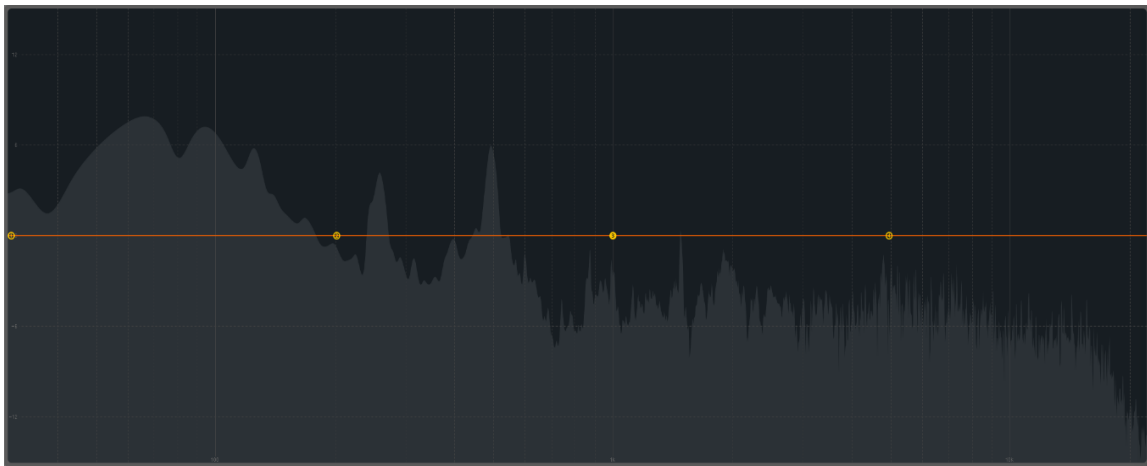


Figura 1 : Analizador de espectro. [7]

Un analizador de espectro es una representación gráfica de los niveles (amplitud) de las frecuencias de una señal de audio. En la gráfica el eje horizontal se refiere a las frecuencias, mientras que el eje vertical a la amplitud y se lee de izquierda a derecha. Teniendo una lectura de frecuencias graves, medias y agudas. Por lo mismo si en la gráfica vemos un bache en la parte de los graves significa que el sonido tiene mayor energía en las frecuencias bajas.

Usualmente los analizadores de espectro muestran todas las frecuencias que se encuentran dentro de los 20Hz a los 20 kHz (el rango audible del humano) . [7]

4.2 Trabajos Relacionados

Flat: Es un Software de notación musical en línea para un principiante o un compositor profesional. Es un software de composición musical fácil de usar que brinda todas las herramientas necesarias para hacer su propia partitura. Permite escribir, escuchar, compartir y descubrir partituras en un navegador web en cualquier dispositivo. [10]

Guitar Pro: Software que permite editar partituras y tablaturas para guitarra, bajo y ukelele, así como crear pistas de acompañamiento para batería o piano. Esta es una herramienta más completa pero fácil de usar para músicos que desean mejorar componer o simplemente tocar [9]. Es un software de pago que está en constantes actualizaciones que buscan perfeccionar y agregar nuevas características para mejorar sus salidas de sonido y ediciones.

Lilypond: LilyPond es un programa de tipografía musical o edición de partituras, consagrado a la producción de partituras de la calidad más alta posible. Lleva la estética de la música tipografiada de la forma tradicional a las partituras impresas mediante ordenador. LilyPond es software libre y forma parte del Proyecto GNU[11]. Este software es muy característico debido a su forma tan única de la escritura musical basada en un lenguaje de programación y algoritmos en archivos de texto planos que posteriormente generarán un tablatura o partitura en pdf como salida.

Musescore: Software profesional para notación musical totalmente gratuito, sin restricciones. Fácil de utilizar, pero aún así, poderoso. De Código fuente abierto que permite entrada a través de teclados MIDI para la generación de las tablaturas indicadas. Transfiere desde/hacia otros programas mediante MusicXML, MIDI y otros formatos de diferentes Softwares de notación musical. [12]

Melodyne: Permite trabajar con audio de una manera completamente nueva. Una manera musical, excelente, clara y casi mágica. Trabajar con Melodyne es como decirle a un/a cantante “conserva esta nota un poco más de tiempo” o a un pianista “dale un poco menos de peso a la tercera en este acorde”, horas, semanas, hasta incluso, años después de la sesión de grabación.

Las excelentes posibilidades de edición, la asombrosa calidad de sonido y su operación intuitiva y musical, hacen de Melodyne una herramienta incomparable sin la cual sería difícil imaginar la producción moderna de música. [14]

Ofrece algoritmos para cada tipo de audio: voces, instrumentos, sonidos percusivos, ruidos, mezclas completas. El algoritmo determina cómo se interpreta y visualiza el material de audio.

Los algoritmos Melódico y Polifónico te ofrecen, para el caso de voces y también para instrumentos monofónicos y polifónicos, acceso total a las notas de las que está compuesto el sonido y también a sus parámetros musicales.

El algoritmo Universal es ideal para aplicar estiramientos/compresión de tiempo o para transportar mezclas completas o pistas de instrumentos polifónicos, en casos cuando no se requiere acceso a notas individuales. Ofrece muy bajo consumo de recursos y también permite fraccionar el material a lo largo del eje de tiempo.

Los algoritmos de Melodyne te permiten hacer cualquier cosa en tu material de audio, desde mejoras sutiles a las más extremas. Cualquiera sea la naturaleza, la calidad de sonido obtenida es óptima en cada caso. [15]

Shazam: Funciona a través de algo llamado la huella digital acústica, que no es más que una técnica de reconocimiento de patrones en base a las frecuencias de una señal de audio.

¿Qué quiere decir esto? que cuando una máquina procesa un audio, genera un espectrograma, que es la representación de un sonido y se ve así:

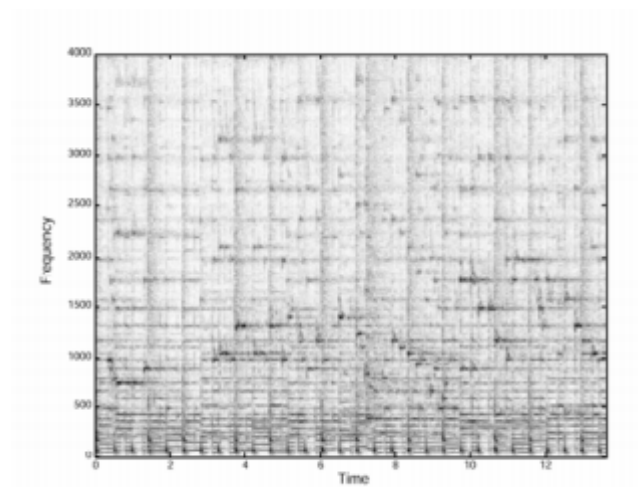


Figura 2 : Frecuencias [14]

Shazam, a través de su algoritmo, identifica unos puntos de anclaje en las ondas del espectrograma, la identificación da como resultado unos hashes que posteriormente son comparados con los que se encuentran en la base de datos de los servidores de Shazam, allí es donde también hace el proceso de *scoring*, es decir, califica las coincidencias encontradas de las secuencias de hashes de una canción (hay que recordar que lo que se compara son fragmentos de canciones).

Algoritmo: Avery Wang, uno de los fundadores e ingeniero de la universidad de Stanford, publicó un documento en donde describe el funcionamiento de Shazam. De manera resumida, dice que el algoritmo hace lo siguiente:

1. Genera y analiza un espectrograma del archivo grabado.
2. Construye un mapa de constelaciones basado en el espectrograma.
3. Hace un proceso llamado hash combinatorial en un área determinada del mapa.
4. Búsqueda en la base de datos.
5. Puntuación de posibles coincidencias.

4.3 Marco Conceptual

Partitura: La partitura musical es una forma escrita a mano o impresa de anotaciones musicales que utilizan símbolos de música moderna para indicar las melodías, ritmos y acordes de una canción o pieza instrumental. [1]

Compás musical: Todas las partituras son segmentadas en pequeñas partes, las cuales funcionan como muestra del tiempo de la música; a estas partes las denominamos compases musicales. En la música, los compases son unidades de medición de tiempo, segmentos rítmicos, de una obra musical. Están conformados por la cantidad de notas que señale la cifra indicadora al principio de la obra. [2]

Nota (sonido): En música, una nota es un sonido determinado por una vibración cuya frecuencia fundamental es constante. Así pues, por ejemplo, el término «nota musical» se emplea para hacer alusión a un sonido con una determinada frecuencia en sí; mientras que para aludir al signo (♪, ♫) que se utiliza en la notación musical para representar la altura y la duración relativa de un sonido, se suele emplear la acepción «figura musical».[2]

Nota: La nota musical puede ser entendido como el elemento más básico y primordial del sonido y de la música. La nota musical es el elemento a partir del cual se arman las diferentes melodías y armonías en la música ya que cada una de ellas representa un sonido particular e indivisible que, puesta en conjunto con otras, arma un sonido más complejo y

duradero. Las notas musicales son elementos abstractos pero se representan de manera simbólica en los pentagramas para que puedan ser leídas e interpretadas por los músicos.[3]

Tablatura: Tablatura es una forma de notación musical, que dice al intérprete dónde colocar los dedos en un determinado instrumento en lugar de informar qué notas tocar. La tablatura es la mayor parte del tiempo encontrada para instrumentos de cuerdas trasteadas.[5]

CAPÍTULO 5

5.PLANIFICACIÓN

5.2 Actividades

Objetivo específico 1: Identificar las características del registro de melodías de guitarra.

- Actividad 1.1: Comunicar guitarra con el computador por medio de línea.
- Actividad 1.2: Convertir señal análoga a digital de las frecuencias en las notas musicales para su almacenamiento.
- Actividad 1.3: Extraer y almacenar la durabilidad de cada nota.
- Actividad 1.4 : Asociar notas con sus respectivos tiempos.

Objetivo específico 2: Diseñar un algoritmo que procese las métricas de las melodías de guitarra.

- Actividad 2.1: Crear algoritmos para identificar qué patrones rítmicos del compás serán los más probables a utilizar.
- Actividad 2.2: Crear algoritmo que hace uso de los tiempos almacenados y los adecúe para almacenarlos en una representación de métricas de compases.

Objetivo específico 3: Diseñar algoritmo que permita digitar las notas más cercanas posibles.

- Actividad 3.1: Crear algoritmo que hace uso de las notas almacenadas y las agrupa de tal forma que estas se encuentren cercanas respecto al diapason de la guitarra .
- Actividad 3.2 : Agrupar en estructura de datos el conjunto de notas por compás.

Objetivo específico 4: Implementar una aplicación que permita obtener las tablaturas a partir de melodías de guitarra.

- Actividad 4.1: Unificar algoritmos creados para relacionar salidas en estructura de datos que representarán una tablatura.
- Actividad 4.2: Generar tablaturas digitales.

Objetivo específico 5: Realizar pruebas de precisión de las tablaturas generadas.

- Actividad 5.1: Crear pruebas de precisión.
- Actividad 5.2 : Ejecutar las pruebas de precisión en una muestra de la población de músicos aficionados.
- Actividad 5.3 : Analizar las pruebas de precisión.

5.3 Cronograma

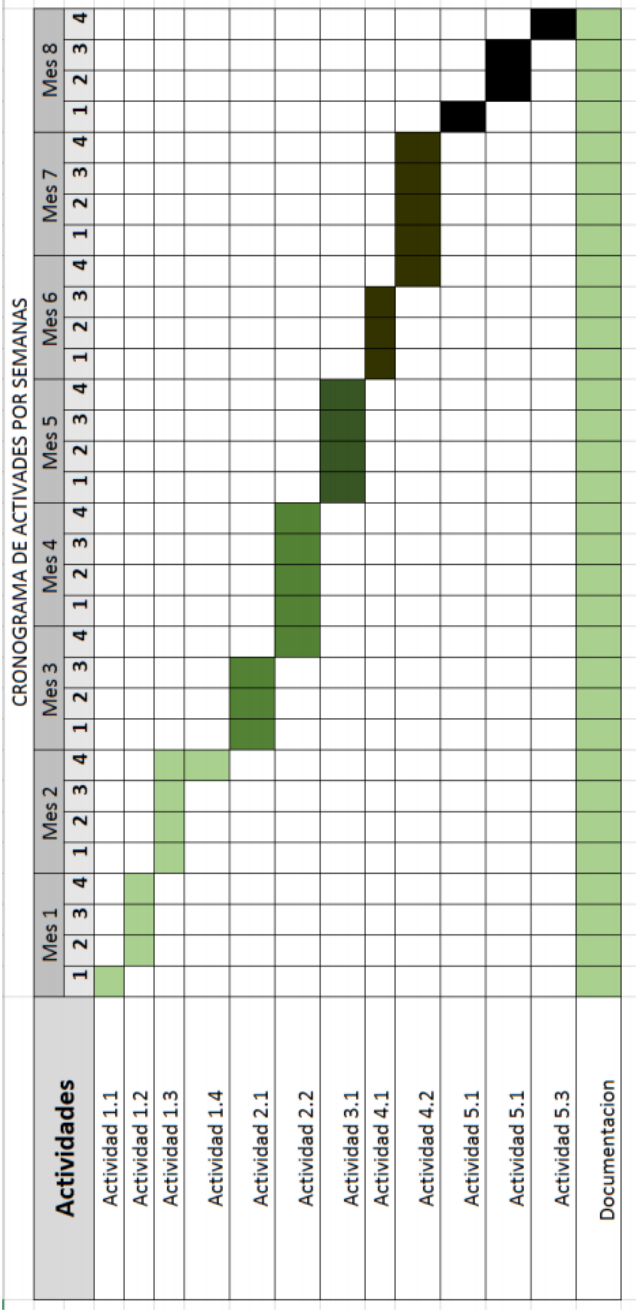


Figura 3 : Cronograma. Elaboración propia

CAPÍTULO 6

Desarrollo y Diseño del Prototipo

6.1 Conversión de Sonido Análogo a Digital

La composición de una guitarra eléctrica en su estructura, consta de uno o varios micrófonos que captan las frecuencias de sonido análogo de cada encordado para posteriormente pasar esta información obtenida de las ondas a un ambiente amplificado o digital.

Tener este conjunto de frecuencias en un ambiente digital permitirá manipular a favor su información, pero para esto se debe hacer la conversión de sonido análogo a un sonido digital.

La librería Pyaudio y Wave de Python brinda la posibilidad en su implementación, el tratamiento de sonido captado a través de un micrófono detectado por el sistema operativo del computador. En este caso, se configura el micrófono interno de la guitarra eléctrica como método de entrada de sonido externo en el sistema a través de una línea auxiliar. Con conceptos del ámbito musical se desarrolló un algoritmo capaz de hacer la conversión de sonido análogo a digital, almacenarlo y reproducirlo, con el fin de que el usuario final logre apreciar la calidad de la conversión a través de la reproducción de sonido digital para posteriormente descartarla, generar la tablatura o continuar añadiendo otra conversión.

Los samples (muestras), son porciones de audio extraídas de archivos de sonidos que vienen en diferentes formatos, puede ser .WAV, .mp3, .mp4, entre otros. El tipo de sonido puede ser emitido por voces, percusiones, ambientes, cuerdas, vientos y otros instrumentos. Un sample es la muestra mínima de la que se compone el audio digital.

Un segundo de audio digitalizado a 44.1khz contiene 44100 muestras (samples) por segundo. Una canción puede estar compuesta por muchos samples, y cada sample estará formado a su vez por muchos samples.

La primera variable que se define corresponde al nombre de “FORMAT“, es el formato de los samples a manejar que será “paInt16“. La segunda variable es el número de canales que corresponde a 2. El algoritmo de conversión procesa una información de flujo continuo como es el sonido. Por ello, y para evitar que el sistema pueda colapsar en el procesado de la misma, tendremos que descomponer dicha información en unidades de memoria menores que se almacenarán durante la

transmisión de datos. El número de tales unidades menores de memoria es el que vendrá dado por la variable “CHUNK” que tendrá un valor de 1024 frames, almacenando, en cada una de ellas un “RATE” de 44100 frames por segundo.

Un archivo WAV nos ayudará a almacenar momentáneamente la información obtenida de la señal analógica con la cual se desarrolla el proceso. El archivo tiene un formato de extensión “.WAV” o “.riff” que es un estándar en audio digital para computadoras, estos archivos contienen información del audio del mundo real. Se le añade un nombre genérico a cada archivo con el propósito de reconocerlo en el siguiente proceso de análisis de sonido.

La calidad de la conversión se convierte en un factor clave al momento de querer obtener resultados precisos en la generación de tablatura, por consiguiente, la calidad y precisión del micrófono de cada guitarra eléctrica y el medio de transmisión de la línea auxiliar, se convierten en un factor primordial para la calidad de la conversión. Entre mejor sea la calidad del sonido continuo generado para la conversión, mejor resultado habrá en la generación de la tablatura.

Hay que resaltar que en el proceso de conversión no se contará con estrategias de reducción de ruido ambiental o interferencias y que el sonido captado debe ser monolítico. La frecuencia de las ondas permitidas en el proceso estará en un intervalo de [70, 1318.51] en Hertzios.

6.2 Análisis de Señales de Audio

El volumen de información que genera nuestra sociedad actual requiere un tratamiento especial para que estos flujos de bits se puedan categorizar, interpretar y realizar un proceso de descubrimiento de conocimiento que apoye el desarrollo de nuevas tecnologías y es dentro del dominio del Big Data que se encuentra un campo enfocado al Análisis de señales de audio, que a diferencia del procesamiento de texto o de otros tipos de procesamiento multimedia, el análisis de señales (y específicamente de audio), enmarca un componente con una intrínseca relación de desarrollo en múltiples industrias dependientes de la información para escalar aplicaciones al diario vivir. Es en estas industrias donde la información como recurso toma un preciado valor, al punto de apodarlo como “el nuevo oro” del siglo. Empresas de la talla de IBM, Google, Facebook, Amazon y Microsoft; dedican gran esfuerzo en materia investigativa al mejoramiento y creación de soluciones o algoritmos en los tres pilares fundamentales de la música: el ritmo, la melodía y la armonía. Cada una con sus propios campos de aplicación, por ejemplo, la melodía es utilizada para identificar trastornos de la voz, identificar música tarareada mediante lo que se le denomina Query by Humming o de paso canciones solo con fragmentos de la misma

como lo hace Shazam; la armonía utilizada para detectar sonidos específicos en ambientes ruidosos o con otro tipo de sonidos superpuestos. Las aplicaciones son infinitas.

Aunque el avance del análisis de sonido ha mostrado grandes resultados y como prueba de ello son los algoritmos que separan distintos instrumentos en piezas musicales o intentan predecir para una señal las entradas para producir la misma; también es de mencionar que respecto a otras áreas de investigación paralelas, el análisis de sonido aún se encuentra en una fase relativamente temprana pero que cuenta grandes aplicaciones en nuestro diario vivir, ejemplo de ellas son las recomendaciones musicales en reproductores musicales (de YouTube por ejemplo) o la detección de la patrones de voz para el reconocimiento de personas.

Múltiples librerías han aparecido para que lo investigadores se centren en crear y no reinventar la rueda, pero también merece la pena resaltar que el avance va a pasos de gigante, el ser humano es naturalmente musical y siempre busca mejores formas de aprovechar la información, y por supuesto, la que transmite del sonido.

Librerías especializadas en este estudio, permite analizar las señales de audio propias con mayor facilidad y eficacia, omitiendo el trabajo engorroso de ejecutar las transformadas de fourier y la detección de los inicios de cada nota (onsets). Cabe destacar que estos análisis no son 100% efectivos, este estudio aún no es preciso y se busca mejorar al pasar del tiempo.

6.2.1 Essentia

Essentia es una librería de Python para el análisis de sonido que facilita la extracción de la información de un archivo de audio en diferentes formatos, permitiendo extraer del archivo la durabilidad, lista de tiempos en segundos, lista de los valores de las notas en Hz , bits por minutos, lista de confianza de las notas, transformadas de fourier y donde ocurre el inicio de cada nota respecto al tiempo.

La detección automática del inicio en tiempo de cada nota es un algoritmo propio de la librería el cual entrega resultados que no son precisos, pero facilitan el desarrollo del proyecto. Frecuentemente detectará los tiempos en los que ocurre la nota de forma incorrecta, detectando notas adicionales a las reales. Para esto se desarrollan algoritmos propios de depuración que mejoran la precisión del valor de las notas que realmente ocurren en el archivo y mejoran la precisión del tiempo en el que son digitadas las notas por el usuario.

En las listas entregadas por la librería se evidencia el tiempo y la frecuencia del archivo momentáneo de audio “.wav” usadas para graficar y evidenciar la información que contiene. La siguiente gráfica corresponde a un archivo de sonido para pruebas llamado

“monos_ebrios.wav” con el cual se ejecutarán el resto de procesos. El eje X corresponde al tiempo en segundos y el eje Y a la frecuencia.

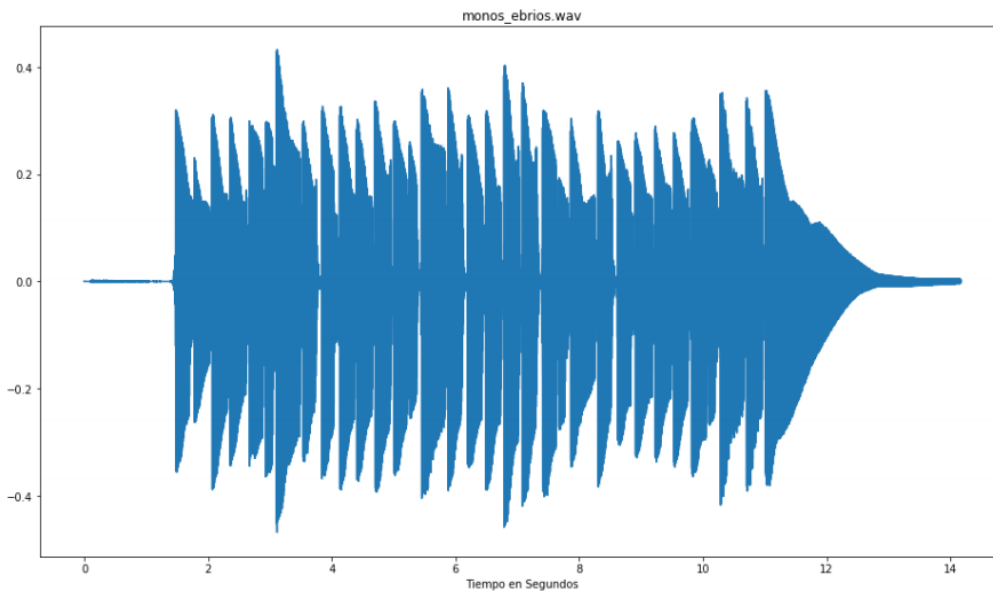


Figura 4 : Información del Archivo. Elaboración propia.

La entrega de los tiempos donde ocurren notas detectadas por la librería corresponde a la siguiente lista en unidad de segundos. Lo cual indica en qué segundo detecta secuencialmente la digitación de una nueva nota.

Segundos Librería = [1.4628571 1.6950567, 1.7879364, 2.020136, 2.3219955, 2.6122448, 2.8908844, 3.041814, 3.4829931, 3.7384126, 3.8429024, 4.040272, 4.133152, 4.376961, 4.655601, 4.9458504, 5.2128797, 5.3754196, 5.4566894, 5.8398185, 6.095238, 6.199728, 6.431927, 6.733787, 7.0124264, 7.3026757, 7.4071655, 7.627755, 7.7786846, 7.859955, 8.266304, 8.510114, 8.614603, 8.835193, 8.916463, 9.183492, 9.485352, 9.752381, 10.05424, 10.20517, 10.28644, 10.669569, 10.959819] (seg)

Con esta información entregada por la librería podremos extraer el valor de las notas buscando el índice en la lista total de todos los tiempos del archivo, este índice será el mismo para la lista total de valores de la nota.

Índices = [126, 146, 154, 174, 200, 225, 249, 262, 300, 322, 331, 348, 356, 377, 401, 426, 449, 463, 470, 503, 525, 534, 554, 580, 604, 629, 638, 657, 670, 677, 712, 733, 742, 761, 768, 791, 817, 840, 866, 879, 886, 919, 944]

Valor de las notas = [0.0, 165.76962, 197.13461, 195.99919, 197.13461, 194.87032, 176.64426, 176.64426, 201.74243, 193.74794, 163.86559, 173.60959, 195.99919, 200.58047, 194.87032, 192.63202, 174.61531, 177.66754, 194.87032, 197.13461, 193.74794, 165.76962, 174.61531, 195.99919, 201.74243, 193.74794, 164.81485, 173.60959, 184.99854, 176.64426, 193.74794, 193.74794, 149.39986, 174.61531, 197.13461, 195.99919, 195.99919, 194.87032, 174.61531, 182.87364, 194.87032, 197.13461, 192.63202]

La longitud de las listas indica el número de notas que encontró la librería el cual corresponde a un valor de 43 notas. La siguiente gráfica muestra los onsets de las notas con líneas verticales para evidenciar en donde ocurre cada nota respecto al tiempo.

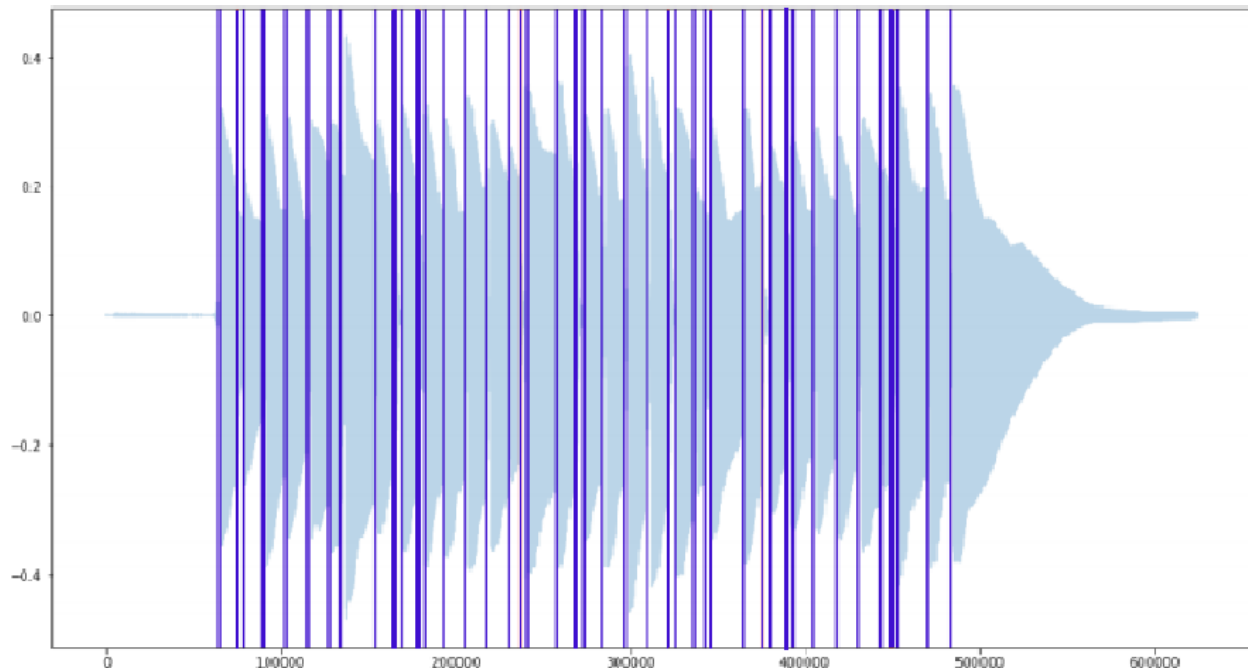


Figura 5 : Información de Notas. Elaboración propia.

Estas notas graficadas en su mayoría son correctas. El archivo de audio de prueba se ha testado manualmente para garantizar la correctitud en la comparación de la información real con base a la encontrada. Se cuenta con 43 notas encontradas algorítmicamente en comparación a las 33 notas reales del archivo, por consiguiente, se evidencia la imprecisión que se observa de 10 notas de diferencia. Para tratar esta imprecisión se implementa un algoritmo de depuración que se encarga de minimizar los errores en la mayoría de los casos. Este algoritmo consta de dos estrategias, inicialmente un filtrado por tiempo y posteriormente un filtrado por diferencia a base de medias en el valor de las notas.

6.2.2 Algoritmos de Depuración de Notas

Las figuras rítmicas representan la duración correcta de cada nota, se observa en un árbol la mejor manera de ejemplificar estas figuras.

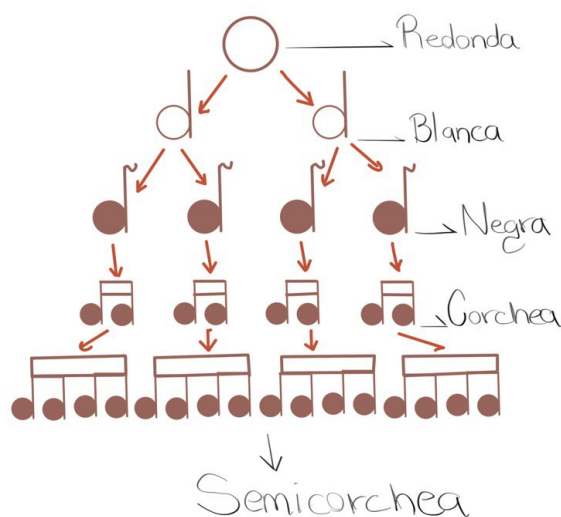


Figura 6: Árbol de notas. Elaboración propia.

Tiempos correspondientes asociados a las notas en segundos

NOTAS	SEGUNDOS
Redonda	4
Blanca	2
Negra	1
Corchea	1/2
Semicorchea	1/4
Fusa	1/8
Semifusa	1/16

Tabla 2 : Equivalencia de notas en segundos. Elaboración propia.

Esta información permite apuntar a las posibles notas erróneas presentes en las notas que se encontraron, La nota semifusa dura 1/16 de segundo, lo cual es una medida de tiempo muy corta entre notas que son digitadas en una guitarra, las notas que se encuentran a esta corta distancia entre ellas son marcadas como posibles errores con el argumento de la imposibilidad que un músico en la guitarra digite lapsos de tiempos tan cortos. Una vez marcadas los posibles errores, continúa la depuración con estrategias matemáticas, almacenando el promedio de n notas de los valores de las notas encontradas por la librería y todas las notas existentes en el archivo. En la siguiente gráfica se ejemplifica como se saca la media a razón de un pivote.

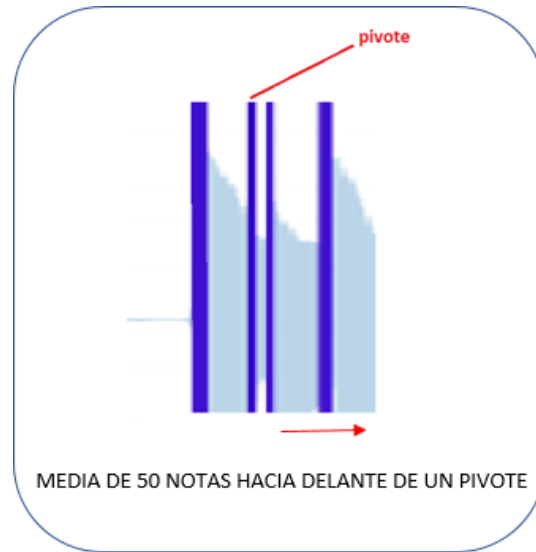


Figura 7: Notas Pivotes. Elaboración propia.

Este pivote del ejemplo, al momento de obtener su media, se encontrará con un pico de una frecuencia de un onset que ocasionará una diferencia mayor a la siguiente nota que se tomará como pivote. Al momento de comparar ambas notas por su cercanía y posibilidad de error, se descarta la nota con mayor diferencia. Se genera una lista con los valores reales del archivó para poder comprobar la correctitud de la depuración. El promedio de notas no solo ayuda a descartar notas erróneas, también mejora el valor de las notas que son halladas por la librería.

Nota: el promedio de notas en el algoritmo, mirara 25 notas hacia adelante y 25 notas hacia atrás respecto a su pivote.

La siguiente lista corresponde a los valores reales (elaborados manualmente) del archivo de prueba que se añaden los errores donde se sabe que realmente ocurren.

```
Mis_notas_manuales = [ 164.81 , "error" , 196 , 196 , 196 , 174.61 , 174.61 , 196 , 196 , "error" ,
164.81 , "error" , 196 , 196 , 196 , 174.61 , 174.61 , "error" "error" , 164.81 , 196 , 196 , 196 , "error"
, 174.61 , 174.61 , "error" "error" , 164.81 , "error" , 196 , 196 , 196 , 174.61 , 174.61 , "error" ]
```

```
promedio de las notas = [ 141.27, 185.24, 196.31, 193.92, 194.75, 178.4, 176.18, 189.67, 197.6
1,180.86, 164.73, 185.59, 196.0, 192.52, 198.79, 178.66, 174.9, 182.7 2, 196.41, 195.91,
177.35,165.08, 191.0, 188.61, 196.55, 177.29, 172. 93, 175.09, 193.29, 192.48, 197.37, 174.33,
162.01,194.01, 196.72, 19 6.74, 194.18, 179.39, 173.05, 197.03, 196.83, 194.23, 174.92]
```

Se anexa una tabla para apreciar las comparaciones entre las notas reales agregadas manualmente , las notas detectadas por la librería y las notas promediadas. El índice indicará donde se ubica la nota en la lista.

Notas Manuales	Notas Detectadas por la librería	Índice	Notas promediadas por el algoritmo
164.81	0.0	126	141. 27
error	165.76962	146	185.24
196	197.13461	154	1 96.31
196	195.99919	174	1 93.92
196	197.13461	200	1 94.75
174.61	194.87032	225	178.4
174.61	176.64426	249	176.18
196	176.64426	262	1 89.67
196	201.74243	300	1 97.61
error	193.74794	322	180.86
164.81	163.86559	331	164.73
error	173.60959	348	185.59
196	195.99919	356	1 96.0
196	200.58047	377	1 92.52
196	194.87032	401	1 98.79
174.61	192.63202	426	178.66
174.61	174.61531	449	174.9
error	177.66754	463	182.72
196	194.87032	470	1 96.41
196	197.13461	503	1 95.91

error	193.74794	525	177.35
164.8 1	165.76962	534	165.08
196	174.61531	554	1 91.0
196	195.99919	580	165.08
196	201.74243	604	196.55
error	193.74794	629	177.
174.61	164.81485	638	172.93
174.61	173.60959	657	175.09
error	184.99854	670	193.29
196	176.64426	677	192.48
196	193.74794	712	197.37
error	193.74794	733	174.33
164.8	149.39986	742	162.01
error	174.6153 1	76 1	194.01
196	197.1346 1	768	196.72
196	195.99919	79 1	196.74
196	195.99919	817	194.18
174.6 1	194.87032	840	179.39
179.39	179.39	866	173.05
error	182.87364	879	197.03
196	194.87032	886	196.83
196	197.1346 1	919	194.23
164.8 1	192.63202	192.63 202	174.92

Tabla 3 : Comparativa de Notas. Elaboración propia.

Nótese que en el proceso manual de agregar las notas existen 10 errores de los cuales se habían mencionado anteriormente de su existencia.

Se evidencia que el promedio ayuda a mejorar el valor de la nota con respecto a la detectada por la librería y, además, causa una diferencia amplia entre el promedio y la nota detectada en los casos de error por cercanía de tiempos.

Al ejecutar estos dos algoritmos de filtrados, se eliminará en la mayoría de los casos, las notas erróneas detectadas por la librería, para efectos prácticos, se anexa la grafica con las notas erróneas marcadas con rectas verticales de color rojo y las validas con rectas verticales azules.

```
notas detectadas -> 43  
notas detectadas depuradas -> 33
```

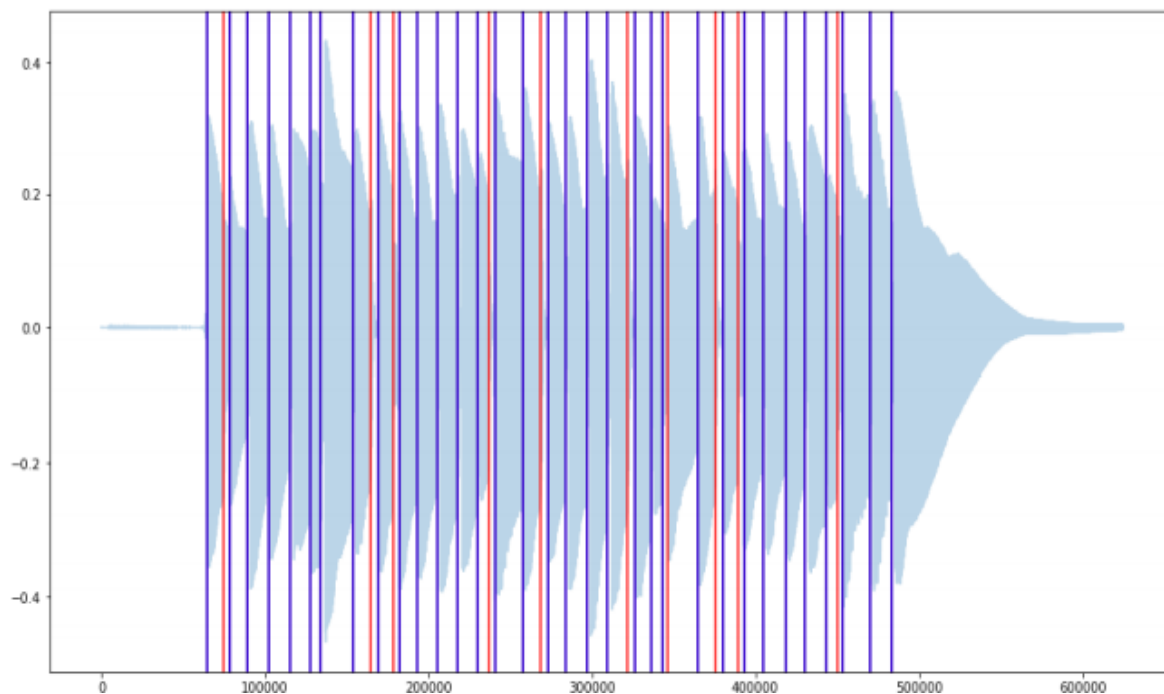


Figura 8: Notas Depuradas. Elaboración propia.

6.2.3 Frecuencias Reales

El siguiente proceso implementa un algoritmo encargado de aproximar las notas depuradas al valor real más cercano de las frecuencias. Usando las frecuencias existentes en la guitarra podremos determinar estas aproximaciones.

La siguiente tabla ilustra las notas musicales y sus frecuencias en el diapasón:

MI	82.41	164.81	329.63
FA	87.31	174.61	349.23
FA #	92.50	185.00	369.99
SOL	98.00	196.00	392.00
SOL #	103.83	207.65	415.30
LA	110.00	220.00	440.00
LA #	116.54	233.08	466.00
SI	123.47	246.94	493.88
DO	130.81	261.63	523.25
DO #	138.59	277.18	554.37
RE	146.83	293.66	587.33
RE #	155.56	311.13	622.25

Tabla 4: Notas y sus frecuencias. Elaboración propia.

Todas las notas depuradas siempre tendrán dos posibles candidatas (frecuencias reales en la guitarra) a las cuales se pueda aproximar, en caso de que la nota depurada se encuentre por fuera del rango de las frecuencias de la guitarra en una afinación estandar, será controlado y marcado como desbordamiento. Si escogemos una de las notas depuradas como bien puede ser **172.93** sus posibles aproximaciones son 164.81 y 174.61 debido a que se encuentra entre estas dos frecuencias reales. La toma de decisión se basa en seleccionar a la nota con la que tenga el menor valor absoluto en su diferencia.

$$| 172.93 - 164.81 | = 8,64$$

vs

$$| 172.93 - 174.61 | = 1,68$$

La frecuencia real seleccionada es 174.61, ya que **172.93** tiende más a esta que a 164.81. Por consiguiente, el algoritmo recibe como parámetro la lista de notas promediadas que pasaron por los dos algoritmos de depuración anteriores para entregar como salida la lista de frecuencias reales a las que tienden.

Aproximación del valor de las notas:

Notas promediadas por el algoritmo	Notas Aproximadas por el algoritmo (Resultado)	Resultado esperado
141.27	146.83	164.81
196.31	196.00	196
193.92	196.00	196
194.75	196.00	196
178.4	174.61	174.61
176.18	174.61	174.61
189.67	185.00	196
197.61	196.00	196
164.73	164.81	164.81
196.0	196.00	196

1 92.52	196.00	196
1 98.79	196.00	196
178.66	174.61	174.61
174.9	174.61	174.61
1 96.41	196.00	196
1 95.91	196.00	196
165.08	164.81	164.8 1
191.0	196.00	196
165.08	164.81	196
196.55	196.00	196
172.93	174.61	174.61
175.09	174.61	174.61
192.48	196.00	196
197.37	196.00	196
162.01	164.81	164.8
196.72	196.00	196
196.74	196.00	196
194.18	196.00	196
179.39	174.61	174.6 1
173.05	174.61	179.39
196.83	196.00	196
194.23	196.00	196
174.92	174.61	164.8 1

Tabla 5 : Comparativa para Resultado Esperado. Elaboración propia.

6.2.4 Beats Por Minuto (BPM)

La información de los bpm que ocurren en un archivo de sonido, ayuda al desarrollo de un algoritmo capaz de determinar los compases y métricas sobre los cuales construir una tablatura.

La librería de Essentia ofrece la posibilidad de conocer estos bpm en el archivo, después de capturar esta información, se ejemplifica en una gráfica donde se constan los bpm del archivo de prueba.

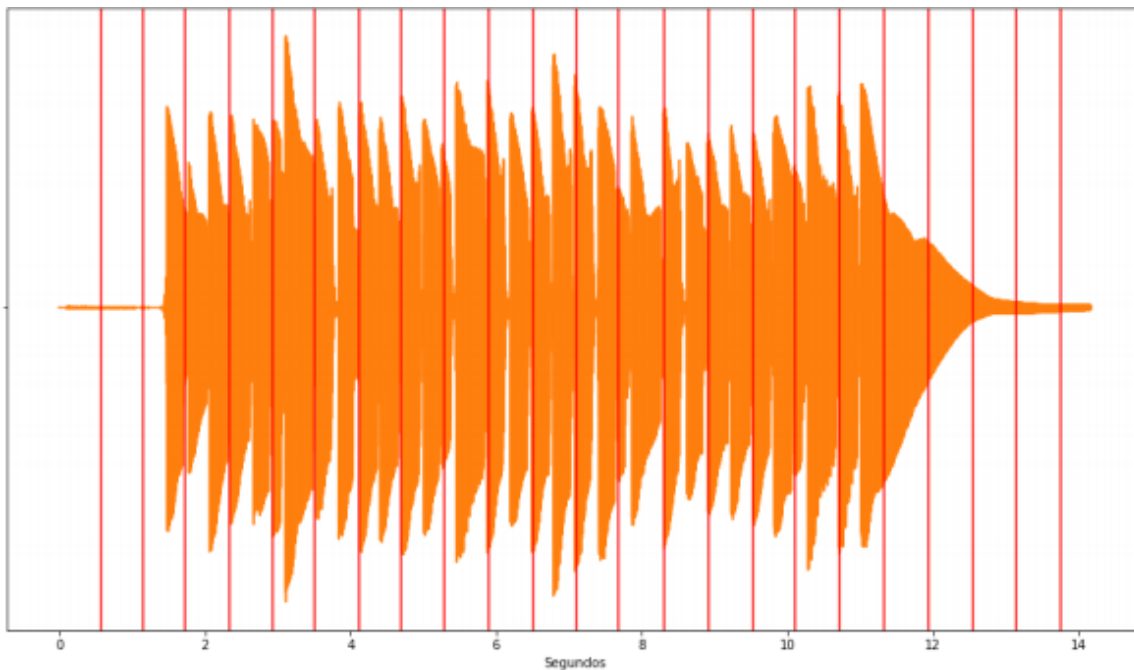


Figura 9 : BPM. Elaboración propia.

Leyendo esta información veremos que el primer beat ocurre en el segundo 0.5688889 y el último beat en el segundo 13.746213 y que la cantidad de beats detectados son 23

```
Beats (segundos) = [ 0.5688889 1.1493877 1.7298865 2.3336053 2.9257143 3.5062132  
4.109932 4.7020407 5.2825394 5.897868 6.5015874 7.093696 7.685805 8.301134 8.916462  
9.520182 10.11229 10.716009 11.331338 11.935057 12.538775 13.142494 13.746213]
```

El interés recae sobre el mismo resultado que entrega la librería que determina con la información anterior cuál es el BPM presente en el archivo de ejemplo, estos BMP equivalen a 100.2087631225586. Con esta información entregada al usuario al usuario final, se le indica a cuantos BPM podrá configurar un metrónomo para saber las métricas en las que podrá interpretar las tablaturas por cada riff.

6.3 Construcción de la Tablatura

Recolectando los resultados de los algoritmos anteriores, se continúa con un nuevo proceso el cual se divide en dos algoritmos. El primero de ellos determina la forma más adecuada de construir la tablatura y el segundo algoritmo construye como tal el PDF de la tablatura basado en la información entregada por el algoritmo previo.

El siguiente problema a solucionar se debe a que una misma nota musical aparece más de una vez en el diapasón de la guitarra. Poniendo como el ejemplo más complejo la nota MI (E) que sus frecuencias presentes en la guitarra son 82.41, 164.81, 329.63 y que estas tres frecuencias aparecen múltiples veces en el diapasón como 329.63 que aparece cinco veces.

# CUERDAS														
1	329.63	349.23	369.99	392.00	415.30	440.00	466.00	493.88	523.25	554.37	587.33	622.25	659.26	698.46
2	246.94	261.63	277.18	293.66	311.13	329.63	349.23	369.99	392.00	415.30	440.00	466.00	493.88	523.25
3	196.00	207.65	220.00	233.08	246.94	261.63	277.18	293.66	311.13	329.63	349.23	369.99	392.00	415.30
4	146.83	155.56	164.81	174.61	185.00	196.00	207.65	220.00	233.08	246.94	261.63	277.18	293.66	311.13
5	110.00	116.54	123.47	130.81	138.59	146.83	155.56	164.81	174.61	185.00	196.00	207.65	220.00	233.08
6	82.41	87.31	92.50	98.00	103.83	110.00	116.54	123.47	130.81	138.59	146.83	155.56	164.81	174.61
# TRASTES	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Figura 10 : Diapasón de Guitarra. Elaboración propia.

Entonces, 329.63 es seleccionada en el momento, ¿cómo saber cual de las 5 posiciones donde se presenta se debe elegir?. Para esta respuesta se definen una serie de criterios a razón de la experiencia personal para afrontar la problemática. El primer algoritmo se encargará de seguir estos criterios impuestos para saber las elecciones más oportunas a tomar. Son 6 cuerdas existentes en la guitarra, lo común y frecuente es que el músico elija como preferencia tocar de la sexta cuerda hacia la primera cuerda, debido a que su sonido, facilidad y durabilidad es mayor. Por lo general las melodías principales de una canción se interpretan en las últimas cuerdas de la guitarra. Basados en esto, el primer criterio dictara que si una frecuencia se encuentra en la primera, segunda, tercera y cuarta cuerda (el caso de 329.63), la primera decisión sea escoger la cuerda más alta, la cuarta. Esta elección solo se hará con la nota inicial de cada riff.

En las siguientes notas no es adecuado seleccionar bajo el mismo criterio, ya que si la primera nota se encuentra por ejemplo en la cuerda dos y la siguiente se decide va en la cuerda seis, dificulta enormemente la interpretación de la tablatura para el músico aficionado conociendo que podría ser la cuerda 3. Para todas las siguientes notas de la inicial, se implementa criterios de decisión diferentes y que está basado en el Algoritmos de inteligencia artificial “Camino en L” o “Distancia Manhattan”, el la cual, pasar de un Traste a otro se le dará una dificultad de 1 y pasar de una cuerda a otra una dificultad de 0.2, esto basado en que es más difícil pasar de una cuerda a otra que seguir en la misma cuerda.

Veamos un ejemplo de este caso, tomemos como nota inicial a RE# con su frecuencia de 155.56 y como siguiente nota a FA con su frecuencia de 185.00, si estamos ubicados en 155.56 de la quinta cuerda, ¿Qué 185.00 debemos seleccionar de los tres posibles?, para esto ubicamos graficamente el problema en el cual el inicio estara de amarillo y las posibles metas de verde.

# CUERDAS															
1	329.63	349.23	369.99	392.00	415.30	440.00	466.00	493.88	523.25	554.37	587.33	622.25	659.26	698.46	739.99
2	246.94	261.63	277.18	293.66	311.13	329.63	349.23	369.99	392.00	415.30	440.00	466.00	493.88	523.25	554.37
3	196.00	207.65	220.00	233.08	246.94	261.63	277.18	293.66	311.13	329.63	349.23	369.99	392.00	415.30	440.00
4	146.83	155.56	164.81	174.61	185.00	196.00	207.65	220.00	233.08	246.94	261.63	277.18	293.66	311.13	329.63
5	110.00	116.54	123.47	130.81	138.59	146.83	155.56	164.81	174.61	185.00	196.00	207.65	220.00	233.08	246.94
6	82.41	87.31	92.50	98.00	103.83	110.00	116.54	123.47	130.81	138.59	146.83	155.56	164.81	174.61	185.00
# TRASTES	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Figura 11: Diapasón de Guitarra Ejemplificada. Elaboración propia.

Tomando el diapasón como una matriz 2x2, el inicio estará dado por (6,5) y las posibles metas son (4,4), (9,5) y (14,1). El algoritmo se encarga de calcular las distancias en L para posteriormente, basados en los criterios de costos preestablecidos, decidir cual es el camino menos costoso.

Cálculos:

INICIO	META	COSTO
(6,5)	(4,4)	$0,2+1+1+1 = 3,2$
(6,5)	(9,5)	$1+1+1 = 3$
(6,5)	(14,1)	$0,2+1+1+1+1+1+1+1+1+1 = 9,2$

Tabla 6: Costo en L. Elaboración propia.

El camino más corto es (9,5) con un costo de 3, el algoritmo continuará colocando la meta ganadora como nuevo punto de partida y tomando la siguiente nota como nueva meta y así, de manera sucesiva, se seleccionan todas las posiciones hasta que la última nota equivalga a la nueva meta. Por consiguiente se entrega un resultado positivo de cómo se cree, debería interpretar la mayoría de músicos aficionados las tablaturas generadas. Estos resultados de donde se deben colocar las notas, se almacenan en una estructura de datos de Diccionario, más la información de los BPMS asociados para que, el segundo algoritmo sea capaz de recibir la información e interpretarla e ir construyendo de manera dinámica una tablatura en formato PDF de los riff grabados por el usuario y finalmente terminar con todos los procesos.

6.4 Interfaz de Usuario

Un punto clave para el desarrollo del proyecto, es la manera en cómo el usuario final deberá interactuar con el prototipo. Para esto, se desarrolla una interfaz de una única pantalla con el objetivo de tener centralizado los recursos que se le brinda al usuario. Esta pantalla contiene la posibilidad de que el usuario grabe sus melodías sin límite de tiempo impuesto, pueda reproducirlas y decidir si incluirlas o no en la generación de las tablaturas, las grabaciones darán inicio mediante un botón que tendrá un contador de 4 segundos para que el usuario tenga el tiempo prudente de organizar en su instrumento.

Con límite de 10 grabaciones (riff) máximos por sesión que son nombrados por el mismo sistema de forma numérica y son almacenados temporalmente antes de generar la tablatura. Un botón de generación que podrá ser activado únicamente cuando el usuario no se encuentra grabando. El usuario nombrará el pdf que se le exportará como resultado final en una ruta seleccionada por el mismo.



Figura 12 : Interfaz de Usuario. Elaboración propia.



DOLPHings Tabs!

Nombre: Riff_Uno.

Duración: 14.164172335600908 seg.

BPM :100.2087631225586

Tablature for Riff_Uno. The tablature is presented in four systems, each with six lines (e, B, G, D, A, E) and an Error line. The notes are represented by numbers 8, 9, and 10, indicating fret positions.

System 1:

e |
B |
G |
D |
A | 9 10 10 8 8 9 10 9 9 |
E | 9 |

Error |

System 2:

e |
B |
G |
D |
A | 10 10 8 8 9 10 8 10 9 10 |
E |

Error |

System 3:

e |
B |
G |
D |
A | 8 8 10 10 8 10 10 10 8 8 |
E |

Error |

System 4:

e |
B |
G |
D |
A | 10 10 8 |
E |

Error |

Figura 13 : Tablatura del Prototipo. Elaboración propia.

CAPÍTULO 7

Pruebas de Precisión

8.1. Elaboración del Problema.

Se han desarrollado cinco extensas pruebas basadas en tablaturas escritas manualmente, las cuales contarán con una correctitud del 100% con la finalidad de comparar el resultado de estas mismas tablaturas pero generadas por el prototipo y con esto, obtener la asertividad y calidad del resultado del prototipo para sacar conclusiones de precisión.

8.2. Definición de la Población Objetivo.

La población objetivo son los músicos aficionados que interpretan instrumentos de cuerdas ubicados en el municipio Tuluá-Valle del Cauca, que cuentan con una experiencia empírica en el instrumento de la guitarra eléctrica y se han relacionado con la escritura musical de manera que logran interpretar una tablatura.

8.3 Desarrollo de la Prueba.

El siguiente ejemplo ilustrado en el documento, es una de las cinco pruebas definidas que se usa para evidenciar el desarrollo de las pruebas de precisión. Las pruebas restantes serán igualmente aplicadas pero solo se registraron sus comparativas y resultados para con estas determinar la precisión del algoritmo en 10 casos.

. Ejemplo de prueba uno:

Esta prueba consta de una canción de 3.37 minutos que se divide en 4 riff para un total de 436 notas. Cada Riff se repetirá 4 compases, por lo tanto sus notas evaluadas será una cuarta parte de sus notas totales.

Canción Uno		
Riff	Notas Presentes	Duración en Segundos
UNO	112 (28*4)	45
DOS	84 (21*4)	33
TRES	112 (24*4)	67
CUATRO	128 (32*4)	57

Tabla 7 : Información Canción no. Elaboración propia.

Resultado esperado Riff Uno (x4)

28 notas * (4 repeticiones) = 112 notas .

Lo que indica que la siguiente tablatura se repetirá cuatro veces del mismo modo.

The image displays four staves of guitar tablature, each representing a different part of a riff. Each staff is divided into two measures. The first measure of each staff contains a sequence of four notes: Staff 1 (4, 6, 6, 7), Staff 2 (4, 6, 6, 5), Staff 3 (4, 6, 6, 3), and Staff 4 (3, 6, 7, 7). The second measure of each staff contains three zeros (0, 0, 0), indicating a rest or a specific technique. The tablature is presented within a rectangular frame.

Tabla 8 : Tablatura Real. Elaboración propia.

Resultado Obtenido del prototipo: Riff uno, canción uno.

Diagram illustrating the alignment of three DNA sequences (e, B, G) with a reference sequence (D) and an error sequence (A) across three positions. The sequences are aligned using a sliding window approach, with the reference sequence (D) and error sequence (A) shown in red and the aligned sequences (e, B, G) shown in green.

Sequence 1 (Top):

- Reference (D): 9 11 11 14 17 15 14 14
- Aligned (e, B, G): 14 17 15 14 14
- Error (A): 14 16

Sequence 2 (Middle):

- Reference (D): 16 14 0 0 0
- Aligned (e, B, G): 14 0 0 0
- Error (A): 14 0 0 0

Sequence 3 (Bottom):

- Reference (D): 6 6 3 3 4 4 6 7 7
- Aligned (e, B, G): 3 3 4 4 6 7 7
- Error (A): 3 3 4 4 6 7 7

Tabla 9: Tablatura del Prototipo para Canción Uno. Elaboración propia.

comparativa riff Uno	
notas correctas	notas erradas
26 de 34 (28)	13 de 34 (28)
asertividad	
62%correctas + 38% fallos = 100% notas	

Tabla 10: Comparativa Riff Uno Canción Uno. Elaboración propia.

Este ejemplo anterior acompañado de tablatura, se adjunta como ilustración al proceso de las pruebas, comparando una un segmento de una tablatura real contra el mismo segmento entregado por el prototipo. A continuación veremos las tablas de resultados de los siguientes 3 riff los cuales se expusieron a la misma prueba.

comparativa riff Dos	
notas correctas	notas erradas
24 de 29 (21)	5 de 29 (21)
asertividad	
82%correctas + 18% fallos = 100% notas	

Tabla 11: Comparativa Riff Dos Canción Uno. Elaboración propia.

comparativa Riff Tres	
notas correctas	notas erradas
21 de 31 (28)	10 de 31 (28)
asertividad	
68%correctas + 32% fallos = 100% notas	

Tabla 12: Comparativa Riff Tres Canción Uno. Elaboración propia.

comparativa riff Cuatro	
notas correctas	notas erradas
28 de 34	6 de 34
asertividad	
82%correctas + 18% fallos = 100% notas	

Tabla 13: Comparativa Riff Cuatro Canción Uno. Elaboración propia.

Resultado canción uno
Riff Uno = 62%correctas + 38% fallos
Riff Dos = 82%correctas + 18% fallos
Riff Tres = 68%correctas + 32% fallos
Riff Cuatro = 82%correctas + 18% fallos
asertividad TOTAL canción UNO
73,5%correctas 26,5% fallos

Tabla 14: Resultado Canción Uno. Elaboración propia.

Como resultado de la primera canción, se asume que existe una precisión del 73,5%. Ahora para mejorar el proceso de pruebas de precisión, se expondrán 4 canciones más al mismo proceso de prueba y se anexan sus tablas de información y totales para posteriormente buscar un promedio a razón de las 5 canciones.

Canción Dos		
Riff	Notas Presentes	Duración en Segundos
UNO	189 (63*3)	124
DOS	172 (43*4)	89
TRES	46 (23*2)	12
CUATRO	60 (15*4)	28
CINCO	87 (29*3)	35

Tabla 15 : Información Canción Dos. Elaboración propia.

Resultado canción Dos
Riff Uno = 71%correctas + 29% fallos
Riff Dos = 63%correctas + 37% fallos
Riff Tres = 84%correctas + 16% fallos
Riff Cuatro = 67%correctas + 33% fallos
Riff Cinco = 81%correctas + 19% fallos
asertividad TOTAL canción Dos
73,2%correctas 26,8% fallos

Tabla 16: Resultado Canción Dos. Elaboración propia.

Canción Tres		
Riff	Notas Presentes	Duración en Segundos
UNO	75 (25*3)	71
DOS	208 (52*4)	93
TRES	102 (34*3)	56

Tabla 17 : Información Canción Tres. Elaboración propia.

Resultado canción Tres
Riff Uno = 91%correctas + 9% fallos
Riff Dos = 72%correctas + 28% fallos
Riff Tres = 75%correctas + 25% fallos
asertividad TOTAL canción Tres
79,3%correctas 21,7% fallos

Tabla 18: Resultado Canción Tres. Elaboración propia.

Canción Cuatro		
Riff	Notas Presentes	Duración en Segundos
UNO	304 (76*4)	98
DOS	84 (21*4)	33
TRES	96 (24*4)	67
CUATRO	114 (38*3)	52

Tabla 19 : Información Canción Cuatro. Elaboración propia.

Resultado canción Cuatro
Riff Uno = 63%correctas + 37% fallos
Riff Dos = 76%correctas + 24% fallos
Riff Tres = 78%correctas + 22% fallos
Riff Cuatro = 68%correctas + 32% fallos
asertividad TOTAL canción Cuatro
71,25%correctas 28,75% fallos

Tabla 20: Resultado Canción Cuatro. Elaboración propia.

Canción Cinco		
Riff	Notas Presentes	Duración en Segundos
UNO	115 (23*5)	98
DOS	152 (38*4)	154
TRES	76 (38*2)	38
CUATRO	159 (53*3)	123

Tabla 21: Información Canción Cinco. Elaboración propia.

TOTAL canción Cinco
Riff Uno = 54%correctas + 46% fallos
Riff Dos = 66%correctas + 34% fallos
Riff Tres = 78%correctas + 22% fallos
Riff Cuatro = 57%correctas + 43% fallos
asertividad TOTAL canción Cinco
63,75%correctas 36,25% fallos

Tabla 22: Resultado Canción Cinco. Elaboración propia.

ASERTIVIDAD TOTAL DEL PROTOTIPO SEGÚN LAS PRUEBAS ESTIPULADAS	
Canción Uno	73,5%correctas
Canción Dos	73,2%correctas
Canción Tres	79,3%correctas
Canción Cuatro	71,25%correctas
Canción Cinco	63,75%correctas
	TOTAL
	72,2%Asertividad

Tabla 23: Resultado de las Pruebas. Elaboración propia.

7.4. Resultados de las Pruebas.

El resultado de las tablaturas dependen de varios factores, principalmente de la calidad del sonido que se procesa, esta calidad depende del sonido ambiental, la calidad de la guitarra, la calidad del micrófono y la calidad de la línea de transmisión. Si el usuario cuenta con una interfaz de grabación, la precisión del prototipo mejoraría considerablemente ya que es un sonido más limpio que es posible procesar. Para el desarrollo de las pruebas se usaron diferentes guitarras y en diferentes lugares, todo para apuntar a lo que se cree sería el escenario más común para un músico aficionado. Con un 72,2% de asertividad en las tablaturas generadas por el prototipo dan satisfacción a la población objetivo pero eso si, no se descarta el que sea posible aumentar la asertividad mejorando o añadiendo algoritmos de depuración de sonido.

CAPÍTULO 8

Trabajos Futuros

Una de las virtudes del proyecto es la posibilidad de ampliar sus características y complementos.

Es cierto que el prototipo se encuentra limitado a un prototipo de escritorio de linux, esto será una limitante para el uso de los usuarios a los cuales podría llegar. Para resolver esta limitante, bastaría implementar el prototipo como un servicio web.

El análisis de sonido tiene la cualidad de procesar cualquier tipo de frecuencia, lo que posibilita quitar el límite en cuanto a instrumentos musicales y ampliar el espectro a distintos límites, eso sí, lo más probable es desarrollar nuevos algoritmos de depuración y modificar la forma en que se generan los pdf de las tablaturas.

Al igual que muchos reproductores de tablaturas o partituras, existe la posibilidad de volver reproducible las tablaturas generadas por el prototipo ya sea en el mismo sistema o en sistemas externos, en caso de ser íntegro con el prototipo se podrá decir si generar un sonido midi o conservar el sonido original de grabación de cada canción o incluso, agregarles plugins de sonidos modificables por el usuario.

El permitir elegir al usuario si desea una tablatura, partitura o ambos como resultado final, será un trabajo fácil de integrar en el prototipo.

La experiencia de usuario es de los factores primordiales en el mundo del desarrollo, el suplir todas las necesidades del usuario crea una mejor experiencia cuando se relaciona con el sistema, para esto, el contar con metrónomo, editor y reproductor de tablaturas, afinador de instrumentos en el mismo sistema dará un valor añadido inigualable al usuario final.

Con el avance del estudio de la ciencia de datos, el prototipo podrá detener el límite de procesar una sola nota a la vez y extenderse a capturar cualquier sonido musical del instrumento para procesar arpeggios almacenado en una gigantesca base de datos.

CAPÍTULO 9

Conclusiones

9.1 Registro de melodías con métricas de guitarra.

Gracias al avance del análisis de sonido y la gran comunidad de desarrolladores de código libre, es posible hacer uso de librerías de código que nos facilitan el trabajo de analizar y saber todo lo que ocurre en una melodía para tomar registro. Se concluye que debido a esto, el paso inicial del desarrollo del proyecto se logró y se simplificó exponencialmente.

9.2 Depuración y coherencia entre notas.

Los algoritmos desarrollados empíricamente con ayuda matemática, permitieron mejorar la precisión de las notas considerablemente. Las estrategias de inteligencia artificial dieron coherencia a la mayoría de resultados esperados. Se concluye que la implementación de algoritmos de depuración impactan drásticamente al prototipo. La mejora de los algoritmos implementados o el desarrollo nuevos algoritmos a base de nuevas estrategias se deben tener en consideración.

9.3 Construcción de tablaturas.

Independientemente de la precisión de las notas como resultado, el algoritmo de construcción de tablaturas en sus parámetros esperará un conjunto de notas en estructura json para construir dinámicamente una tablatura en PDF. Se concluye que este algoritmo se puede ver como un desarrollo independiente del prototipo que puede ser utilizado por otras partes interesadas en sus propios desarrollos o incluso, ser una herramienta para los músicos.

9.4 Conclusión de Pruebas.

La propuesta de las pruebas desarrolladas permitieron evaluar la precisión del prototipo y conocer las mejoras que son necesarias en desarrollos futuros. Teniendo en cuenta el público al que es dirigido el prototipo, es claro que entre mayor número de pruebas de precisión se apliquen, mejor se podrá desarrollar la depuración del análisis y por consiguiente, se logrará satisfacer mayormente a la población objetivo.

REFERENCIAS

- [1] Qué es una Partitura: Definición, Elementos, Usos y Tipos. PromocionMusicales. España <https://promocionmusical.es/partituras/que-es-una-partitura/>
- [2] Compás musical. Escribir Canciones. Argentina <https://www.escribircanciones.com.ar/teoria-musical/4448-compas-musical.html>
- [3] (2020). Nota (sonido). Wikipedia [https://es.wikipedia.org/wiki/Nota_\(sonido\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Nota_(sonido))
- [4] Bemibre, C. (2010). Definición de Nota Musical. Definición ABC. <https://www.definicionabc.com/audio/nota-musical.php>
- [5] (2020). Tablatura. educalingo. <https://educalingo.com/es/dic-pt/tablatura>
- [6] Liern Carrión, V. (2010). Matemáticas para afinar instrumentos musicales. España <https://revistasuma.es/IMG/pdf/65/099-104.pdf>
- [7] ¿Que es un analizador de espectro y para qué sirve?. KARATE AUDIO <http://karateaudio.com/analizador-de-espectro/>
- [8] LOS TONOS MUSICALES Y SUS FRECUENCIAS <http://ciencia.elortegui.org/datos/LAC/Actividades%20LAC/F41%20Tonos%20musicales%20y%20frecuencias.pdf>
- [9] Guitar Pro 7.5 Wide-ranging new features and enhancements, for creating, playing, and sharing your tabs!. Guitar Pro. <https://www.guitar-pro.com/en/index.php?pg=home>
- [10] Write your music scores online. Flat <https://flat.io>
- [11] La belleza de las partituras. LilyPond. <http://lilypond.org/index.es.html>
- [12] Crea, reproduce e imprime magníficas partituras. Musescore. <https://musescore.org/es>
- [13] (2020). DIRECCION NACIONAL DE DERECHO DE AUTOR. Derechosdeautor. <http://www.derechodeautor.gov.co>
- [14] ¿Qué es Melodyne?. celemony www.celemony.com/es/melodyne/what-is-melodyne
- [15] ¿Qué puede hacer Melodyne?. celemony <https://www.celemony.com/es/melodyne/what-can-melodyne-do>
- [16] Rodriguez, F. (2019). ¿cómo funciona específicamente Shazam? ¿En que se basa su algoritmo?. Quora. <https://es.quora.com/Cómo-funciona-específicamente-Shazam-En-qué-se-basa-su-algoritmo>