

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL



CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AFINADOR ELECTRÓNICO PARA EL ESTUDIO DE DIFERENCIACIÓN DEL SONIDO EN UNA GUITARRA PRIMER ELECTROACÚSTICA

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

AUTOR: Carlos Alberto Catuta

TUTOR: Ing. Mauricio Alminati

Quito-Ecuador

2014

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Graduación certifico:

Que el trabajo de graduación “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AFINADOR ELECTRÓNICO PARA EL ESTUDIO DE DIFERENCIACIÓN DEL SONIDO EN UNA GUITARRA PRIMER ELECTROACÚSTICA**”, presentado por Carlos Alberto Catuta Pérez, estudiante de la Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal de Grado, que se designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Quito D. M., febrero de 2014

TUTOR

Ing. Mauricio Alminati V.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

AUTORÍA DE TESIS

El abajo firmante, en calidad de estudiante de la Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, declara que los contenidos de este Trabajo de Graduación, requisito previo a la obtención del Grado de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, son absolutamente originales, auténticos y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor.

Quito D.M., febrero de 2014

Carlos Alberto Catuta

CC: 1804500567

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado, aprueban la tesis de graduación de acuerdo con las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Tecnológica Israel para títulos de pregrado.

Quito D.M., febrero de 2014

Para constancia firman:

TRIBUNAL DE GRADO

PRESIDENTE

MIEMBRO 1

MIEMBRO 2

Agradecimiento

A mi Casona la Universidad Tecnológica Israel quien fue mi segundo hogar y donde nunca se perdió la esencia de la confianza depositada en mí para formarme íntegramente en muchos ámbitos, me llevo un gran recuerdo desde el primer día en que la pisé.

A mis maestros de los niveles iniciales que supieron cimentar las bases fundamentales de mi carrera, así como, a los docentes de niveles superiores que fortalecieron en mí la vocación de una persona involucrada en tecnología

A la bella ciudad de Quito que me abrió sus puertas, lugar ilustre donde estoy desarrollándome aún más como persona, llena de valores y donde emprendo proyectos en base a los conocimientos de mi carrera y otros talentos.

A mis queridos compañeros y amigos con los cuales compartimos un sinnúmero de anécdotas para alcanzar este objetivo y que de seguro en el ámbito profesional existirán muchas más.

A Trans-Telco S.A. donde puedo dar fe que se forjan muchos objetivos laborales afines a lo ya aprendido durante la carrera.

Finalmente agradecer a la música, su arte y su energía positiva que se depositó en mi voz y en mi mano izquierda para interpretarla, base de la inspiración para cualquier actividad. Arte innegable e irrenunciable para cualquier habitante del planeta: “Si en tu vida no existe música, simplemente no existe nada.”

Dedicatoria

A Dios por permitirme ser parte de la interacción vital en este planeta.

A mis amados padres Hernán y Yolanda, quienes sembraron en mi el talento y la capacidad para afrontarlo absolutamente todo con cariño, respeto y tenacidad sin amilanarse ante nada ni nadie. Grandes profesionales de esta nación de los cuales estoy muy orgulloso.

A Santiaguito, mi hermano mayor el ejemplo de mi superación permanente, mi mejor amigo y la persona quien de seguro la vida entera siempre le agradecerá por su labor.

A mis queridos abuelitos, tíos estoy seguro están orgullosos de ver siempre mi frente en alto y con el brazo de victoria levantado.

A mi ciudad natal Ambato porque confiaron en mí para representarla en la capital, en especial a mi querido colegio el I.T.S. "Bolívar" que de seguro celebrará esta victoria conmigo.

A mis maestros de escuela quienes en mi niñez visionaron llegaría este momento sin lugar a dudas.

A el amor, sobre todo de esas verdaderas damas quienes participaron de mis facetas personales en varios pasajes de mi vida universitaria. Su fidelidad, cariño, aliento y experiencias siempre enriquecieron mi personalidad.

A las personas que confiaron en mí durante todo este proceso y mucho más a las que no, pues es por ellos que más fuerza se obtuvo para seguir mejorando, posiblemente perdieron la oportunidad de compartir experiencias únicas, afortunadamente aún están a tiempo de hacerlo.

A todos los inventores, científicos, músicos, productores, escritores, pintores, diseñadores gráficos, deportistas es decir a cada uno de esos mentalizadores de genialidades que han dialogado conmigo personal o virtualmente compartiendo su vida y de los que siempre tendré una fuente confiable para enrumbar cambios positivos en bien de nuestro país y de nuestro planeta.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Página
CAPÍTULO 1 PROBLEMATIZACIÓN	
1.1 Antecedentes.....	18
1.2 Problema Investigado	19
1.3 Problema Principal.....	22
1.4 Problemas Secundarios	22
1.5 Justificación	22
1.6 Objetivos.....	23
1.6.1 Objetivo General	23
1.6.2 Objetivos Secundarios	23
1.7 Metodología Utilizada	23
CAPÍTULO 2 MARCO DE REFERENCIA	
2.1 Marco Teórico.....	25
2.1.1 El sonido.....	25
2.1.2 Espectros del sonido.....	26
2.1.3 Acústica	28
2.1.4 Instrumentos acústicos de cuerda: Guitarra acústica	29
2.1.5 Tratamiento del sonido	33
2.1.6 Tipos de sistemas de afinación	34
2.1.7 Composición musical	35
2.1.8 Amplificadores de potencia de audio	38
2.1.9 Ecuador	39

2.1.10 Adaptadores de audio	40
2.1.11 Regulador de Voltaje	40
2.1.12 Amplificadores Operacionales	40
2.1.13 Microcontroladores	41
2.1.14 Visualizadores.....	43
2.1.15 Cables de audio	43
2.2 Marco Conceptual:.....	44
2.2.1 Guitarra Primer American Classic P-CG10.....	44
2.2.2 Plug y Jack Mono 6.5mm a 3.5mm	46
2.2.3 Regulador NTE 960	46
2.2.4 Regulador LM7885	47
2.2.5 Switch Regulador MC33369	48

CAPÍTULO 3 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO QUE SE ADAPTE AL MODELO DE UNA GUITARRA ELECTROACÚSTICA PRIMER Y SIRVA DE GUÍA PARA AFINARLA

3.1 Síntesis y homologación de la información sobre los sistemas de afinación actuales para guitarras acústicas	49
3.1.1 Estudio de la afinación de una guitarra en base al oído humano	52
3.1.2 Estudio de la afinación de una guitarra en base a un silbato	54
3.1.3 Estudio de la afinación de una guitarra en base a un diapasón	54
3.1.4 Estudio de la afinación de una guitarra que tiene incluido un afinador en su ecualizador	55
3.1.5 Estudio de la afinación de una guitarra con un afinador que posee micrófono	55

3.1.6 Estudio de la afinación de una guitarra en base a un afinador con cable.....	56
3.1.7 Estudio de la afinación de una guitarra con un afinador que posee micrófono y también conexión por cable	56
3.1.8 Estudio de la afinación de una guitarra en base a pedal electrónico	57
3.1.9 Estudio de la afinación de una guitarra en base a software de simulación	57
3.1.10 Estudio de la afinación de una guitarra en base a software con conexión WIFI	58
3.1.11 Estudio de la afinación de una guitarra en base al ajuste automático de cuerdas.....	58
3.2 Estudio de diferenciación del sonido de la primera cuerda en una guitarra en base a un afinador	59
3.2.1 Resultados de afinadores con micrófono.....	59
3.2.2 Resultados de afinación mediante conexión por cable	60
3.2.3 Resultados de afinación mediante la guía de un sintetizador	60
3.2.4 Resultados de afinación mediante la guía de un pedal.....	61
3.3 Diseño de un afinador electrónica para guitarras electroacústicas	595
3.3.1 Diagrama de bloques referencial para el diseño del prototipo:.....	62
3.3.2 Diseño del Software del Sistema.....	53
3.3.3 Diseño Mecánico del Sistema.....	54
3.4 Montaje del Sistema.....	56
3.4.1 Montaje del circuito regulador de voltaje	56
3.4.2 Montaje del conversor análogo-digital	57
3.4.3 Montaje de la etapa de análisis y comunicación ATmega-LCD	57
3.5 Implementación de un dispositivo de afinación electrónica para el estudio del sonido en guitarras electroacústicas.....	59

3.5.1 Elaboración e implementación de la placa electrónica	59
3.5.2 Implementación de los elementos en la placa	61
3.5.3 Adaptación de la caja para la placa final	62
3.6 Validación del sistema de afinación para guitarras electroacústicas	64
3.6.1 Pruebas de validación del sistema.....	64
3.6.3 Pruebas de ingreso del sonido de la segunda cuerda desde una guitarra electroacústica Primer	66
3.6.4 Pruebas de ingreso del sonido de la tercera cuerda desde una guitarra electroacústica Primer	66
3.6.5 Pruebas de ingreso del sonido de la cuarta cuerda desde una guitarra electroacústica Primer	67
3.6.6 Pruebas de ingreso del sonido de la quinta cuerda desde una guitarra electroacústica Primer	67
3.6.7 Pruebas de ingreso del sonido de la sexta cuerda desde una guitarra electroacústica Primer	68
3.6.8 Pruebas de ingreso del sonido de la primera cuerda desde una guitarra electroacústica Primer cuando el selector está en otra opción	68

CAPÍTULO 4 RESULTADOS Y COSTOS

4.1 Análisis de resultados	69
4.1.1 Análisis de resultados de las pruebas de validación del sistema	69
4.2 Matriz FODA del producto	71
4.3 Matriz FODA del estudio.....	72
4.4 Costos del Proyecto	73

CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones	74
------------------------	----

5.2 Recomendaciones	75
BIBLIOGRAFÍA	76
LINKOGRAFÍA	77
ANEXOS.....	778

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Calibres y grosor (mm) de las cuerda en una guitarra	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 2.2 Distribución de cuerdas en una guitarra .	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.1 Sistemas de afinación y sus características	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.2 Testimonios y pruebas reales de guitarristas	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.3 Pruebas de afinación por micrófono	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.4 Pruebas de sonido afinación por cable ...	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.5 Pruebas de afinación por sintentizador...	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.6 Pruebas de afinación por pedal.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.7 Fase de comparación cuando una cuerda es presionada	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.8 Posibilidades de calibración del ecualizador EQ7545R antes de la fase de demostración	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.9 Condiciones físicas de temple y fuerza al tocar una cuerda en la demostración.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.10 Mensajes que mostrará el visualizador para interactuar con el usuario	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.11 Pruebas básicas de validación	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.12 Pruebas con la primera cuerda	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.13 Pruebas con la segunda cuerda.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.14 Pruebas con la tercera cuerda.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.15 Pruebas con la cuarta cuerda.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.16 Pruebas con la quinta cuerda.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.17 Pruebas con la sexta cuerda	¡Error! Marcador no definido.

Tabla 3.18 Pruebas especiales con la primera cuerda ¡Error! Marcador no definido.

Tabla 4.1 Costos del proyecto ¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1.1. Distribución de clavijas en una guitarra clásica estándar ¡Error! Marcador no definido.

Figura 1.2. Afinador cromático KORG CA-20 ¡Error! Marcador no definido.

Figura 1.3 Características técnicas KORG CA-20 ... ¡Error! Marcador no definido.

Figura 1.4 CT10 Chromatic Headstock..... ¡Error! Marcador no definido.

Figura 1.5 TunerMatic ¡Error! Marcador no definido.

Figura 2.1 Forma de ondas periódicas..... ¡Error! Marcador no definido.

Figura 2.2 Armónicos de Do Central ¡Error! Marcador no definido.

Figura 2.3 Forma de onda no periódica ¡Error! Marcador no definido.

Figura 2.4 Forma de onda aleatoria ¡Error! Marcador no definido.

Figura 2.5 Banda Entorno a los 830 Hz ¡Error! Marcador no definido.

Figura 2.6 Fuente imágenes para un espacio rectangular ... ¡Error! Marcador no definido.

Figura 2.7 Fuente imágenes para un espacio rectangular ... ¡Error! Marcador no definido.

Figura 2.8 Guitarra acústica ¡Error! Marcador no definido.

Figura 2.9 Tipos de guitarras ¡Error! Marcador no definido.

Figura 2.10 Reflexión del sonido en un espacio cerrado ¡Error! Marcador no definido.

Figura 2.11 Absorción del sonido que se produce entre 2 espacios ¡Error! Marcador no definido.

Figura 2.12 Difusión del sonido que se produce entre 2 espacios ¡Error! Marcador no definido.

Figura 2.13 Diapasón	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2.14 Cilindros de grabación de Edison	19
Figura 2.15 Dictáfono.....	19
Figura 2.16 Lingot / Software Libre de simulación de afinación	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2.17 RealStrat/AdobeAudition Software Privado para tratamiento del sonido	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2.18 Demostración del uso de RealStrat	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2.19 Vol Luthier	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2.20 Chilibina Modelo Santacto	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2.21 Diagrama de bloques simplificado de los megaAVR	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2.22 Diferentes Tipo de Visualizadores LCD	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2.23 Vista superior del EQ 7545R.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2.24 Tipo de cuerpo y tapa armónica de una guitarra Primer Classic	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2.25 Plug y Jack Mono 6.5mm a 3.5mm	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2.26 Distribución del NTE 960	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2.27 Distribución del LM7885	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2.28 Distribución y dimensiones del MC33369	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3.1 Prueba con afinador Cherub WST-520GB.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3.2 Prueba con afinador Eno Music ET 2005	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3.3 Prueba de afinación mediante la guía de un sintetizador	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3.4 Prueba de afinación mediante un pedal.	¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.5 Diagrama de bloques del sistema prototipo ¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.6 Circuito de regulación y transformación de señal digital..... ¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.7 Representación esquemática del integrado ATMEGA16 ¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.8 Representación esquemática del LCD ...¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.9 Diagrama Esquemático.....¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.10 Flujograma con la lógica del programa del sistema ¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.11 Método Burbuja¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.12 Representación gráfica de la caja vista de frente .. ¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.13 Fotografía de etapa de regulación de voltaje..... ¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.14 Fotografía del valor medido después de la etapa de regulación¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.15 Fotografía de etapa de transformación digital... ¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.16 Fotografía etapa de análisis y comunicación ATmega-LCD.. ¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.17 Pruebas de comunicación entre la etapa de conversión y análisis del integrado..... ¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.18 Visualizador funcionando después de las etapas de regulación, conversión análogo-digital y análisis. ¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.19 Uso del programa Proteus¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.20 Pistas resultantes de la distribución virtual (mirror) ¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.21 Screen de los elementos¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.22 Virtualización completa del circuito ¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.23 Montaje físico del circuito parcial ¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.24 Montaje físico del circuito completo ¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.25 Apertura del orificio rectangular para el display ¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.26 Apertura los orificios para los leds y botón de control ¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.27 Ampliación de los orificios para el ajuste de la placa a la caja ¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.28 Montaje completo del prototipo ¡Error! Marcador no definido.

RESUMEN

Producto de la necesidad de investigación en la ciencia de la electrónica y fusionando un arte como la música nace este estudio en donde se puede encontrar una visión muy detallada de los sistemas de afinación que existen en la actualidad.

Parte de este informe versiona testimonios reales con personas involucradas íntegramente a la música. De esta forma y con todos los antecedentes tecnológicos y las enseñanzas adquiridas en cuanto a la electrónica básica, de potencia y programación de microcontroladores se ha logrado encontrar una estrecha relación entre estas dos ramas.

El Capítulo 1 muestra la problemática hallada y con ella los objetivos que marcan el punto de partida para el desarrollo del estudio y el proyecto de implementación. Es una visión general de cómo se originó la idea para desarrollar la investigación.

Posteriormente se tiene un Capítulo 2 con un compendio de conceptos generales y específicos así como de cada uno de los elementos que actúan en cada etapa del circuito. Aquí se puede destacar las características de la familia ATmega posteriormente considerada como corazón de todo el sistema.

Para tener una visión más clara del procedimiento de estudio, diseño e implementación del sistema se tiene el Capítulo 3 en donde se ha agregado un informe con relevante información sobre los sistemas de afinación, su forma de uso, comparaciones y otros elementos que refuerzan el trabajo de investigación de manera considerable. Aquí se puede encontrar también los resultados obtenidos a manera de tablas.

Los Capítulos 4 y 5 desarrollan textualmente los resultados obtenidos, así como matrices con las fortalezas, oportunidad, debilidades y amenazas que identifican o identificarán al producto y al estudio de investigación realizados; así como también las conclusiones y recomendaciones resultantes respectivamente.

El estudio de investigación realizado a continuación busca promover que otras carreras universitarias tales como la Ingeniería en Sonido, Ingeniería en Sistemas y Producción Musical tengan un punto de partida para construir proyectos en conjunto.

ABSTRACT

Product of the need for research in the science of electronics and fusing an art like music born this study there is detailed pictures of the tuning system that exist today.

Part of this report revisits real testimonials with people involved entirely to music. In this way and with all the technological background and lessons learned about basic electronics, power and microcontroller programming has failed to find a close relationship between these two branches.

Chapter 1 shows the problem and found her goals that mark the starting point for the development of the study and the implementation project. It is an overview of how the idea originated to develop research.

Chapter 2 contains an overview of general and specific concepts as well as each of the elements that act at each stage of the circuit. Here you can highlight the characteristics of the ATmega family subsequently regarded as the heart of the whole system.

To get a clearer picture of the process of study, design and implementation of a system Chapter 3 has been added where a report with relevant information about tuning systems, its usage, comparisons, and other elements that reinforce the research considerably. Here there are the results obtained by way of tables too.

Chapters 4 and 5 develop verbatim from the results obtained, as well as matrices with the strengths, opportunities, weaknesses and threats identified or will identify the product and the research study conducted as well as the resulting conclusions and recommendations respectively.

The research study then seeks to promote other university courses such as Sound Engineering, Systems Engineering and Music Production have a starting point to build projects together.

CAPÍTULO 1

PROBLEMATIZACIÓN

Introducción:

En este capítulo se presentan los antecedentes de los orígenes y evolución de la guitarra acústica así como una referencia de los sistemas de afinación actual.

Se menciona también un diagnóstico donde se deducen los problemas principales y secundarios a ser analizados y resueltos en el proyecto.

Entonces se definen los objetivos principales y secundarios que sirven de guía para resolver la problemática anteriormente mencionada.

Adicionalmente se justifica teórica y prácticamente la realización del proyecto así como la metodología utilizada.

1.1 Antecedentes:

El origen exacto de la guitarra no está definido pero existen representaciones pictóricas halladas a través de la historia que indican que este instrumento desciende de la lira sumándole una caja de resonancia, y cuya estructura ha ido cambiando de acuerdo a la disponibilidad de recursos de los diseñadores o constructores y la necesidad de los músicos.

La lira es originaria en la antigua Grecia y su estructura básica era de 3 cuerdas (las cuales recibieron su nombre en honor a las 3 musas de Delfos: Nete, Mese, Hipate) y que con el tiempo fueron aumentando en su número: 4, 5, 6 y hasta 18 cuerdas. Es por esto que la evolución del instrumento data en otros sectores del continente europeo, Turquía, España, Francia, Italia por nombrar a los más relevantes hasta llegar a la actual guitarra clásica¹.

Actualmente consideradas las más utilizadas para la expresión de la música y composición, las guitarras acústicas están conformadas de 3 partes básicas que son la caja de resonancia, diapasón y clavijero; éste último comprende un sistema mecánico de clavijas que permite ajustar las cuerdas y templar conjuntamente con el traste principal al otro lado del instrumento.

Específicamente la marca de guitarra clásicas Primer posee un sistema de clavijas estándar colocadas en una distribución de 3 clavijas por cada extremo, cada clavija conectada a un sistema de engranajes que regula su posición.

En la actualidad las guitarras Primer ya cuentan con un sistema de ecualización y que también permite la conexión a amplificadores de audio.

Por otra parte, los métodos de afinación datan paralelamente a la creación y evolución de los instrumentos de cuerda, así se menciona todos los tipos de diapasones y sus modificaciones hasta llegar a prototipos de afinadores electrónicos.

¹ Wikipedia: Historia de la música

1.2 Problema Investigado:

Las cuerdas de una guitarra clásica en un gran porcentaje son susceptibles a desafinación por el uso constante de las mismas.

El guitarrista a lo largo de la historia ha utilizado varios métodos para afinar una guitarra acústica, siendo el más tradicional el procedimiento manual y actualmente con afinadores electrónicos que aún aportando con la guía, el instrumentista debe realizar el proceso convencional de ajuste.

Una guitarra clásica Primer con clavijero estándar posee una distribución ergonómica en el diseño de su clavijero como muestra la figura 1.1



Figura 1.1. Distribución de clavijas en una guitarra clásica estándar

La afinación de una guitarra puede darse por varios métodos como: un diapasón (el cual da la nota “la menor”), de oído (método convencional), con silbatos especializados, con la ayuda de otros instrumentos musicales, con armónicos naturales, con programas de computadora o con afinadores electrónicos, pero todos éstos no están sintetizados ni homologados en un solo estudio.

Los afinadores electrónicos actuales de guitarra dan la guía de la nota de cada cuerda para que el instrumentista ajuste la misma manualmente hasta obtener el sonido que crea adecuado, pero no existe un estudio profundo sobre los parámetros que estos dispositivos utilizan para la validación de la nota.

En las figuras 1.2 y 1.3 se muestran el afinador electrónico KORG CA-20 y parte de las especificaciones que consta en su manual de uso respectivamente:



Figura 1.2. Afinador cromático KORG CA-20²

Especificaciones

Afinación: 12 tonos templados de manera igual
Rango de Detección: A0 (27.50 Hz)-B7 (3951.07 Hz)
Precisión de Tono: ± 1 cent
Modos de afinación: AUTO, MANUAL
Función de Graduación: 430-449 Hz (pasos 1 Hz)
Clavija de conexión: ENTRADA
Alimentación de Corriente: dos baterías AAA de 3V (se venden por separado)
Vida de la batería: aproximadamente 100 horas (baterías convencionales. A4 entrada continua.)
Dimensiones: 99 mm (A) x 62 mm (P) x 15 mm (A)
Peso: 60 g (sin baterías)
Las especificaciones y la apariencia están sujetas a cambios sin aviso para el mejoramiento.

Figura 1.3 Características técnicas KORG CA-20³

Así también ya existen en el mercado afinadores de guitarras eléctricas como los que se muestran en las figuras 1.4 y 1.5:

² www.korg.com Sección instrumentación

³ http://www.hermes-music.com.mx/hermes_off/pdf_manuales/KORG/KRG1%20%20CA%2020.pdf



Figura 1.4 CT10 Chromatic Headstock⁴



Figura 1.5 TunerMatic⁵

El CT10 es un afinador que se ajusta como una pinza en todo el contorno del clavijero y funciona con un sistema de sensores muy especializados. En 2013 fue uno de los más usados por los guitarristas de nuestro país.

TunerMatic es un equipo electrónico que funciona para guitarras electroacústicas o eléctricas.

Funciona como una herramienta que ajusta automáticamente la cuerda, testea digitalmente la nota que corresponde le corresponde, pero su funcionamiento no tiene un estudio de validación tonal.

El precio en el mercado ecuatoriano de los afinadores actuales oscila entre \$30,00 USD y \$1890,00 USD.

1.3 Problema Principal:

⁴ <http://www.besportier.com/archives/chromatic-guitar-tuners-planet-wave-ct10-chromatic-headstock-tuner.html>

⁵ <http://www.tunermatic.com>

Para una guitarra electroacústica Primer no existe un estudio específico de su sonido en base a la afinación de sus cuerdas con la ayuda de un dispositivo electrónico construido manualmente.

1.4 Problemas Secundarios:

- Existe mucha información sobre sistemas de afinación actuales para guitarras electroacústicas pero no de forma sintetizada y homologada.
- La electroacústica es un campo muy amplio dentro del sonido por lo que sólo se puede puntualizar en un instrumento específico, no existen estándares ni generalidades.
- No existe diseños de dispositivos de afinación electrónica para guitarras electroacústicas construidos en Ecuador.
- No se ha implementado dispositivos de afinación electrónica para el estudio del sonido en guitarras electroacústicas en Ecuador.
- No hay registros de métodos validados de un sistema de afinación de guitarras electroacústicas.

1.5 Justificación:

El proyecto aplica conceptos en electrónica digital y de potencia debido a que se utiliza elementos como amplificadores operacionales, microcontroladores, amplificadores y demás, los cuales ayudan a conseguir la referencia para afinar una guitarra electroacústica y obtener la nota musical esperada.

Paralelamente esto contribuye a estrechar las relaciones de la tecnología digital con un arte como la música.

Es por esto que el proyecto permite al músico experimentar un proceso de afinación diferente a los convencionales y lo incentiva a conocer el funcionamiento lógico del mismo; así como en los diseñadores electrónicos buscar la innovación en sus sistemas.

A la vez se obtuvo una estadística que muestra los resultados de las pruebas en las condiciones normales y más complejas de afinación en una guitarra electroacústica.

Adicionalmente podemos incluir que varias de las pruebas se realizaron en estudios de grabación musical profesionales.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General:

- Diseñar e implementar un dispositivo electrónico que se adapte al modelo de una guitarra electroacústica Primer y sirva de guía para afinarla.

1.6.2 Objetivos Secundarios:

- Sintetizar y homologar la información sobre los sistemas de afinación actuales para guitarras acústicas.
- Realizar un estudio que diferencie cada característica del sonido en la guitarra en base al afinador.
- Diseñar un dispositivo de afinación electrónica para guitarras electroacústicas.
- Implementar un dispositivo de afinación electrónica para el estudio del sonido en guitarras electroacústicas.
- Buscar un método de validación de un sistema de afinación para guitarras electroacústicas.

1.7 Metodología Utilizada:

La fase de estudio se realizó mediante el método inductivo y de síntesis, debido a que con los conceptos particulares en afinación, electrónica digital y de potencia, así como los de la escala musical se pudo estructurar una idea más clara y depurada para empezar la fase de diseño.

La etapa de diseño se realizó a base del método de análisis ya que la idea obtenida en la fase de estudio se plasmó en un bosquejo inicial de la estructura del dispositivo, estudio de sus elementos, de la forma, del funcionamiento y de sus especificaciones técnicas.

Las fases de implementación, montaje y validación se realizaron mediante el método experimental debido a que se probó el dispositivo hasta obtener la afinación más cercana a la real para que en la guitarra acústica se pueda interpretar una melodía completa demostrando así su correcto funcionamiento.

CAPÍTULO 2

MARCO DE REFERENCIA

Introducción:

Este capítulo se divide en 2 partes, el marco teórico: donde se describe en forma general aquellos conceptos, tablas, gráficos de todos los elementos que fundamentarán el presente proyecto y el marco conceptual que detalla las características de los elementos que se implementarán en el diseño.

2.1 Marco Teórico:

2.1.1 El sonido:

Una onda longitudinal puede viajar a través de cualquier medio sea este líquido, sólido o gaseoso.

Entonces, el sonido puede estudiarse como la propagación de una onda sonora en el aire, considerando lo siguiente:

- Una onda definida consta de una frecuencia, amplitud y longitud.
- El oído humano es sensible a ondas que se encuentran dentro del intervalo de 20Hz a 20 kHz de frecuencia. Debajo de este intervalo las ondas toman el nombre de infrasónicas y sobre éste se denominan ultrasónicas.
- Las ondas sonoras suelen dispersarse en todas las direcciones a partir de la fuente de sonido, con una amplitud que depende de la dirección y distancia desde la fuente.⁶
- A una frecuencia dada, cuanto mayor sea la amplitud de presión de una onda sonora senoidal, mayor es el volumen percibido.⁷
- La intensidad de una onda se define como la razón media a la cual la onda transporta energía por unidad de área a través de una superficie perpendicular a la dirección de la propagación.
- Otros aspectos a considerar son el timbre, el ruido y la atenuación del sonido y sus efectos en el campo musical y acústico.

⁶ Física Universitaria Volumen 1 Edición 9 Sears, Zemanski, Young Freedman Capítulo 21

⁷ Física Universitaria Volumen 1 Edición 9 Sears, Zemanski, Young Freedman Capítulo 21

2.1.2 Espectros del sonido

2.1.2.1 Espectro Armónico:

Son aquellos componentes de frecuencia en relación armónica, en esta clasificación se encuentran todos los sonidos musicales

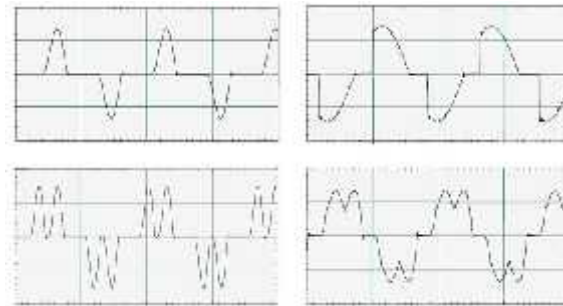


Figura 2.1 Forma de ondas periódicas⁸

En la escala musical se puede tomar como ejemplo los armónicos de Do central:

1er armónico 261,6 Hz

2do armónico 523,2 Hz

3er armónico 784,8 Hz

4to armónico 1046,4 Hz

5to armónico 1308 Hz, etc.

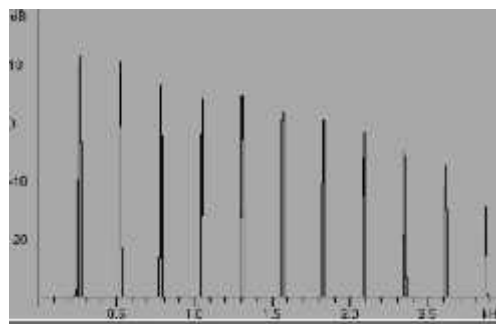


Figura 2.2 Armónicos de Do Central⁹

⁸ Quinto Armónico España Blog: <http://quintoarmonico.es/2010/11/09/38-calidad-de-red-%C2%BFque-son-los-armonicos/>

⁹ Escuela Universitaria de Música eMe, 2006 Curso dirigido a docentes de IPA Leonardo Fiorelli / Martín Rocamora

2.1.2.2 Espectro Inarmónico:

Se compone de elementos que no tienen ninguna relación armónica

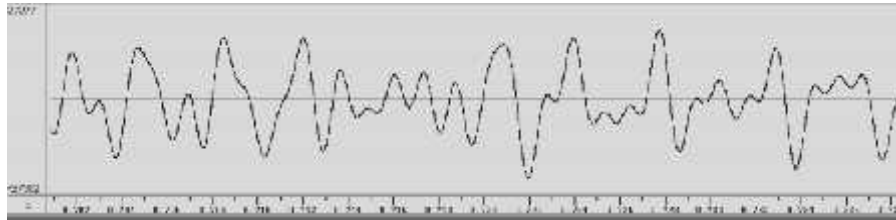


Figura 2.3 Forma de onda no periódica¹⁰

2.1.2.3 Espectro Continuo:

Son elementos que forman una onda de tendencia aleatoria, es así que el espectro no se estructura de componentes discretos sino por bandas de ruido.

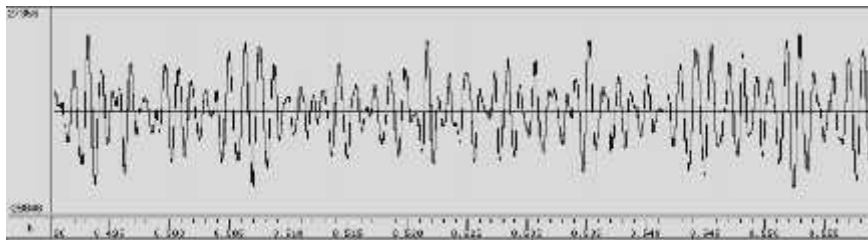


Figura 2.4 Forma de onda aleatoria¹¹

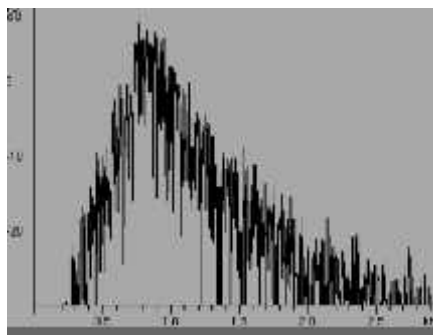


Figura 2.5 Banda Entorno a los 830 Hz¹²

¹⁰ Escuela Universitaria de Música eMe, 2006 Curso dirigido a docentes de IPA Leonardo Fiorelli / Martín Rocamora

¹¹ Escuela Universitaria de Música eMe, 2006 Curso dirigido a docentes de IPA Leonardo Fiorelli / Martín Rocamora

¹² Escuela Universitaria de Música eMe, 2006 Curso dirigido a docentes de IPA Leonardo Fiorelli / Martín Rocamora

2.1.3 Acústica

Es la rama de la física que estudia el sonido por medio de modelos físicos y matemáticos; de forma práctica se deriva de este estudio, la producción, transmisión, almacenamiento, percepción o reproducción del sonido.

2.1.3.1 Acústica en espacios:

Cuando en una sala se apaga repentinamente una fuente sonora, el sonido se sigue escuchando por un determinado tiempo, este fenómeno se conoce como reverberación y este depende del tamaño de la sala y los materiales que constituyen su superficie.

Así, en salas pequeñas o en aquellas que tienen grandes superficies absorbentes del sonido, la reverberación será corta, mientras que en salas grandes con poca absorción la reverberación es larga pudiendo alcanzar fácilmente algunos segundos.

En un lapso de 2 segundos el sonido ha recorrido aproximadamente 700 metros, impactando las superficies límites de la sala varias veces reflejándose en las paredes en distintos ángulos.

Cada reflexión en una superficie que sea 100% reflectante se puede considerar como proveniente de una fuente imagen.¹³

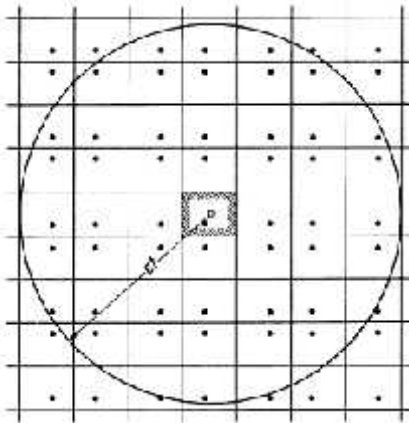


Figura 2.6 Fuente imágenes para un espacio rectangular¹⁴

¹³ Ingeniería Acústica: Teoría y Aplicaciones / Manuel Möser, José Luis Barros

¹⁴ Ingeniería Acústica: Teoría y Aplicaciones / Manuel Möser, José Luis Barros

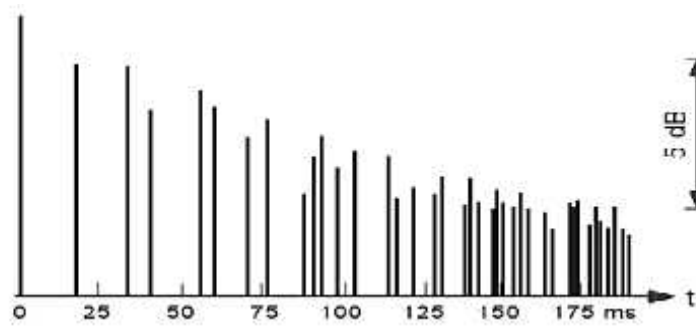


Figura 2.7 Fuente imágenes para un espacio rectangular¹⁵

2.1.4 Instrumentos acústicos de cuerda: Guitarra acústica

Las guitarras tienen una gran variedad de formas, tamaños y tipos, pero algunos aspectos son comunes en todas ellas. Una guitarra comprende de 3 partes básicas: un cuerpo, un mástil y un clavijero cabeza de afinación.

2.1.4.1 Cuerpo:

El cuerpo es donde se produce el sonido del instrumento está formado de la tapa armónica y la tapa posterior.

La tapa armónica está situada debajo de las cuerdas; la boca es un agujero redondo situado en el centro y desde la cual fluye el sonido; y la tapa posterior es normalmente del mismo tipo de madera de la tapa armónica.

Tipos de madera comúnmente usados: arce, caoba, aliso, fresno de pantano, entre otras.

En la Figura 2.8 tenemos la representación gráfica de una guitarra con todas sus partes detalladas, debemos considerar que a lo largo del tiempo esta ha sido la distribución convencional del instrumento pero no podemos obviar que han existido fábricas de instrumentos personalizados donde incluso ya no incluyen parte como la tapa armónica o el clavijero.

¹⁵ Ingeniería Acústica: Teoría y Aplicaciones / Manuel Möser, José Luis Barros

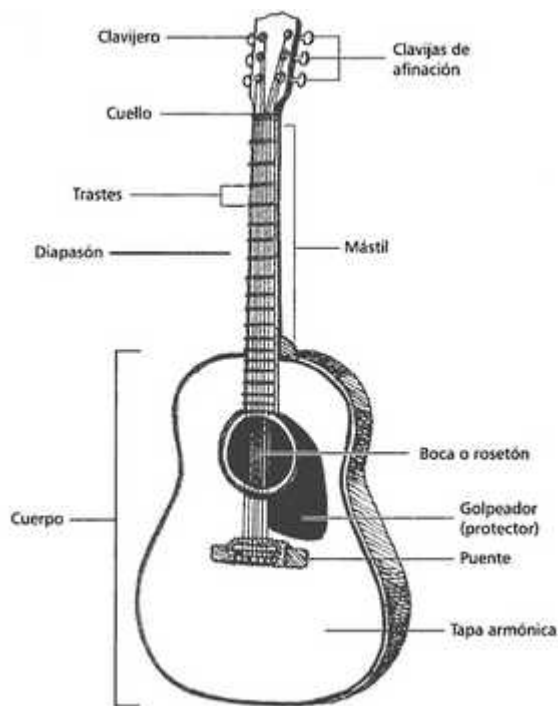


Figura 2.8 Guitarra acústica¹⁶

2.1.4.2 Mástil:

Es una pieza que une el cuerpo de la guitarra con el clavijero. Normalmente soporta una pieza plana de madera llamado diapasón, este a la vez está dividido en secciones simétricas llamados trastes. Las cuerdas pasan por encima del puente, se extienden por el mástil y cruzan la cejilla hacia las clavijas.¹⁷

2.1.4.3 Funcionamiento:

Al puntear una cuerda ésta empieza a vibrar. Esta vibración se transmite a través del puente al cuerpo del instrumento, provocándola resonancia en su interior, esa vibración recorre la tapa armónica y la tapa trasera, se crean las ondas sonoras en el interior del cuerpo que se expandirán a través de la boca.¹⁸

¹⁶ Manual para tocar la guitarra Escrito por Ernie Jackson, Imma Guàrdia, Ma Non Troppo (Firm), RobinBook (Firm)

¹⁷ Manual para tocar la guitarra Escrito por Ernie Jackson, Imma Guàrdia, Ma Non Troppo (Firm), RobinBook (Firm)

¹⁸ Manual para tocar la guitarra Escrito por Ernie Jackson, Imma Guàrdia, Ma Non Troppo (Firm), RobinBook (Firm)

2.1.4.4 Características de las cuerdas:

Son elementos de vida limitada que poseen diferentes calibres o grosores, estos últimos se miden en fracciones de pulgadas. Cuando más ligero es el calibre de las cuerdas más fácil resulta flexionarlas y dominarlas para interpretar la melodía; en cambio que con más grosor, más volumen, más sostenido el sonido y más fácil mantener la guitarra afinada.

Los calibres más comunes son:

Ultraligero	0,008 (primera cuerda) a 0,038 (sexta cuerda)
Extraligero	0,009 (primera cuerda) a 0,046 (sexta cuerda)
Regular	0,010 (primera cuerda) a 0,050 (sexta cuerda)
Ligero	0,011 (primera cuerda) a 0,052 (sexta cuerda)
Medio	0,013 (primera cuerda) a 0,056 (sexta cuerda)
Duro	0,014 (primera cuerda) a 0,060 (sexta cuerda)

Tabla 2.1 Calibres y grosor (mm) de las cuerda en una guitarra¹⁹

Las cuerdas pueden ser de tres tipos:

Nailon: usadas en guitarras españolas o clásicas.

De bronce: para instrumentos acústicos con cuerdas de metal, porque tienen cierto carácter eléctrico

De acero: para instrumentos acústicos y eléctricos. Este tipo están hechas con un hilo o parte central de acero, alrededor de la cual otro hilo de acero se entorcha herméticamente. Existen 3 tipos de entorchado

- Entorchado plano: el usado más frecuentemente en las guitarras de tapa arqueada o tallada. Este tipo de cuerdas consisten en una cinta plana de acero entorchada alrededor de un centro de acero.
- Entorchado redondo: usados más en guitarra eléctrica, El hilo de acero se enrolla alrededor de otro.
- Entorchado prensado: Tienen el mismo principio de las de estilo redondo con la particularidad de que se las prensa hasta adquirir una superficie parcialmente aplanada.

¹⁹ Manual para tocar la guitarra Escrito por Ernie Jackson, Imma Guàrdia, Ma Non Troppo (Firm), RobinBook (Firm)

2.1.4.5 Tipos de guitarras:

En el mercado actual se han distinguido varias marcas a lo largo del tiempo, dejando una diversidad de modelos, diseños, formas y modificaciones en los tipos de guitarras. En la figura 2.9 se muestra una parte de la gran variedad que han sido construidas.



Figura 2.9 Tipos de guitarras²⁰

2.1.4.6 Notas en el cuello de una guitarra para afinación estándar

La tabla 2.2 muestra detalladamente la distribución de una guitarra de 24 trastes (2 octavas) donde se toma como referencia el par **01** (Mi Natural).

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	TRASTES
I	E	F	F# Gb	G	G# Ab	A	A# Bb	B	C	C# Db	D	D# Eb	E	F	F# Gb	G	G# Ab	A	A# Bb	B	C	C# Db	D	D# Eb	E	MI
II	B	C	C# Db	D	D# Eb	E	F	F# Gb	G	G# Ab	A	A# Bb	B	C	C# Db	D	D# Eb	E	F	F# Gb	G	G# Ab	A	A# Bb	B	SI
III	G	G# Ab	A	A# Bb	B	C	C# Db	D	D# Eb	E	F	F# Gb	G	G# Ab	A	A# Bb	B	C	C# Db	D	D# Eb	E	F	F# Gb	G	SOL
IV	D	D# Eb	E	F	F# Gb	G	G# Ab	A	A# Bb	B	C	C# Db	D	D# Eb	E	F	F# Gb	G	G# Ab	A	A# Bb	B	C	C# Db	D	RE
V	A	A# Bb	B	C	C# Db	D	D# Eb	E	F	F# Gb	G	G# Ab	A	A# Bb	B	C	C# Db	D	D# Eb	E	F	F# Gb	G	G# Ab	A	LA
VI	E	F	F# Gb	G	G# Ab	A	A# Bb	B	C	C# Db	D	D# Eb	E	F	F# Gb	G	G# Ab	A	A# Bb	B	C	C# Db	D	D# Eb	E	MI

Tabla 2.2 Distribución de cuerdas en una guitarra²¹

²⁰ <http://ciudadlaspalmas.olx.es/clases-de-guitarra-iiid-118446548>

²¹ <http://foros.tibiahispano.com/showthread.php?t=54408->

2.1.5 Tratamiento del sonido

Los principios del tratamiento del sonido se asocian a conceptos relacionados con la acústica tales como:

Reflexión: Se llama así a la devolución de la energía que se incidió en una superficie en forma *especular* manteniéndola siempre con su forma original.

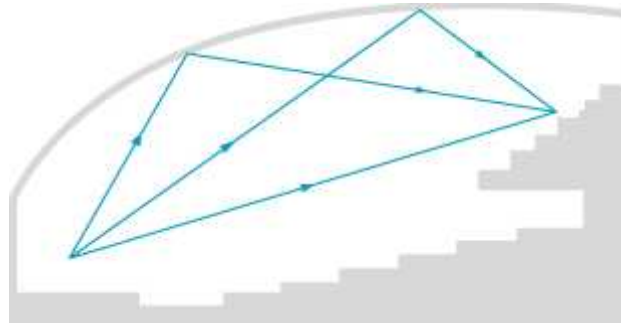


Figura 2.10 Reflexión del sonido en un espacio cerrado²²

Absorción: Es aquel fenómeno por el cual una onda sonora se refleja sobre una superficie en forma especular, pero la señal reflejada posee menos energía de la incidente. Es decir que parte de esa energía es consumida por la superficie.

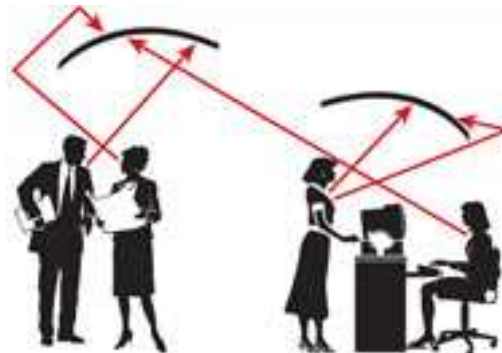


Figura 2.11 Absorción del sonido que se produce entre 2 espacios²³

²² http://www.educared.org/wikiEducared/Reflexi%C3%B3n_y_refracci%C3%B3n_del_sonido.html

²³ <http://www.armstrong.com/commclgam/latam1/ea/ar/sabin.html>

Difusión: Es aquel fenómeno de incidencia de una onda sonora sobre una superficie de tal manera que la misma es reflejada en múltiples direcciones aproximadamente de forma simultánea, cada una con menos energía de la que tenía originalmente. Es decir que la energía incidente se redistribuye en el tiempo y en el espacio.

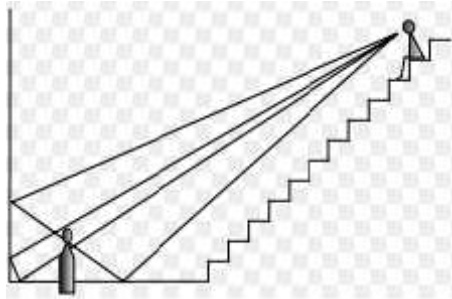


Figura 2.12 Difusión del sonido que se produce entre 2 espacios.²⁴

En el pasado no era posible realizar afinaciones de tipo automático es por eso que se dice que los sonidos eran más puros y sin ningún tipo de arreglos.

Actualmente se han desarrollado un sinnúmero de programas que facilitan la captura de los sonidos y poder tratarlo de acuerdo a las necesidades del usuario.

2.1.6 Tipos de sistemas de afinación

Diapasón: Es un elemento hecho de metal en forma de U que el momento de ser golpeado vibra a la frecuencia exacta de 440 Hz, es por eso que se utiliza para afinar instrumentos de una forma concreta siguiendo la escala de notas musicales. Este dispositivo marcó la pauta para construir elementos electrónicos con el mismo fundamento de afinación.



Figura 2.13 Diapasón²⁵

²⁴ http://es.wikipedia.org/wiki/Ac%C3%BAstica_arquitect%C3%B3nica

Afinadores Electrónicos: Hay varios datos que coinciden que los primeros afinadores de carácter digital obedecieron al principio del diapason, guardando en su configuración la frecuencia exacta de 440 Hz a la que se le asigna el la natural y a partir de ella la comparación del resto de notas y seguir la guía de visualización para afinar el instrumento.

2.1.6.1 Parámetros Estándar de Afinación de una guitarra

A lo largo de la historia el diapason ha cambiado su valor por varios motivos como:

- Mejoría en la calidad de los elementos que componen los instrumentos.
- Estudios de sonido han ido cambiando de acuerdo al avance tecnológico.

De esta manera se puede recordar el valor de frecuencias establecidos a la nota La (la mayor) en la escala musical.

1495 Catedral de Halberstadt 560Hz

1636 Mersenne 563Hz

1648 Espinetta de Mersenne 403Hz

1780 Diapason de Mozart 422Hz

1810 Diapason de medio Paris 423Hz

1834 Scheibler (Congreso de Stuttgart) 440Hz

1885 Conferencia de Viena 435Hz

1953 Conferencia de Londres 440Hz

2.1.7 Composición musical

En la antigüedad las compañías musicales usaban herramientas de grabación como el cilindro de fonógrafo, dictáfonos u otros elementos para capturar el sonido.

Debido a que el proceso de reproducción era bastante tedioso, el momento de la grabación el artista no podía equivocarse sino debía repetirse el proceso desde el inicio.

²⁵ <http://www.zonameditacion.com.ar/diapasones/>



2.14 Cilindros de grabación Edison²⁶



2.15 Dictáfono²⁷

Es por esta necesidad que con el pasar del tiempo y el avance de la tecnología se crearon herramientas, tales como grabadoras digitales, rebobinadores, consolas capaces de modificar el sonido grabado y ayudados por software especializado poder acoplar otros sonidos.

A tal punto que el músico no necesita estar con todo el coro e instrumentistas para grabar en conjunto.

2.1.7.1 Aplicaciones de software simuladores de sonido

Se han desarrollado también software de aplicación que facilitan los sistemas de afinación y tratamiento del sonido.



Figura 2.16 Lingot / Software Libre de simulación de afinación²⁸

²⁶ Capturas de pantalla: <http://www.youtube.com/watch?v=vgNguRPKhfg>

²⁷ www.twittervenezuela.co/dictafono

²⁸ <http://sofguerlibre.blogspot.com/2010/12/como-afinar-su-guitarra-en-gnulinix.html>

Así como también se puede encontrar software privativo como por ejemplo:

RealStrat que incluye muchas funciones para el estudio del sonido, edición y masterización del mismo complementado por Adobe Audition, aplicaciones muy versátiles y de gran ayuda.



Figura 2.17 RealStrat/AdobeAudition Software Privado para tratamiento del sonido²⁹



Figura 2.18 Demostración del uso de RealStrat³⁰

²⁹ Captura de pantalla RealStrat

³⁰ Captura de pantalla RealStrat

2.1.8 Amplificadores de potencia de audio

Es un componente en la gran variedad de procesadores de señal, cuya función es la de aumentar el nivel de dicha señal.

Este sistema de audio es el último componente activo de la cadena ubicado justo antes de los altavoces y/o parlantes.

Para amplificar la potencia es necesario obtener la energía de una fuente de alimentación externa, por lo tanto se puede considerar al amplificador como modulador de la salida de la fuente.

2.1.8.1 Principios:

Un amplificador de audio debe cumplir siempre con las leyes de la termodinámica. Así, la potencia entregada al parlante no puede ser nunca mayor a la potencia de la fuente.

Se debe tener en cuenta que no se involucra la potencia entregada por el parlante que depende del rendimiento del mismo y que no se puede medir fácilmente por tratarse de una unidad de presión sonora.

2.1.8.2 Evolución:

Los sistemas amplificadores de audio están cambiando rápidamente ya que en la actualidad se cuenta con dispositivos con tecnología digital.

Inclusive los parlantes han modificado su estructura de los conocidos analógicos de 2 terminales (masa y vivo) por aquellos parlantes digitales multifilares de 8,16 y hasta 32 salidas.

Actualmente se cuenta con bafles digitales (plancha rígida de altavoz que elimina interferencias) provistos de 8 parlantes en donde el medio ambiente realiza la transformación digital analógica en el mismo oído del usuario.

Es decir que el antiguo concepto de procesar una señal digital para poder convertirla en una analógica antes de enviarla al amplificador de audio que es analógico perdió validez.

Actualmente se puede trabajar de forma netamente digital y el único elemento de tipo analógico sería el propio oído humano que realizaría la conversión interna de la señal.

2.1.9 Ecualizador

Ecualizar proviene del término inglés que se traduce como “igualar”, entonces, se puede definir que es el hecho de añadir o restar volumen y cuerpo a una señal de audio, con la diferencia que en este caso se puede escoger las frecuencias que se quiere modificar, para lograr el equilibrio o efecto deseado

Las guitarras electroacústicas modernas poseen en su estructura un ecualizador que permite realizar estas modificaciones a la señal de entrada por cuanto se podría relacionar que también son mezcladores.

El proceso de ecualización es importante cuando se quiere empatar otros sistemas como afinadores, amplificadores y consolas debido a que se debe buscar la intensidad de sonido adecuada en bajos, medios y agudos y evitar saturación y ruidos que perjudiquen el proceso. En las siguientes gráficas se muestra 2 de las más modernas guitarras electroacústicas que incluyen un sistema de ecualización



Figura 2.19 Vol Luthier³¹



Figura 2.20 Chilinginga Modelo Santacoto³²

³¹ Página Oficial de Facebook Vol Luthier

³² Página Oficial Proyecto Santacoto www.proyectosantacoto.com

2.1.10 Adaptadores de audio

Este tipo de conectores son utilizados en un sinnúmero de dispositivos que transmiten sonido de forma analógica.

Más conocidos como Jack, éstos conectores posee diferentes medidas en su diámetro: 6,35 milímetros se emplean en consolas de back-line e instrumentos alimentados por electricidad; los más usados de 3.5 milímetros sobre todo en consolas, ecualizadores, auriculares, etc. y los de 2.5 milímetros para dispositivos de menor tamaño. Existen del tipo mono y estéreo dependiente de la aplicación

2.1.11 Regulador de Voltaje

Es un dispositivo electrónico capaz de mantener constante un valor de tensión, estos son utilizados comúnmente en fuentes de alimentación.

Un regulador puede ser considerado también como un atenuador de tensión, en algunos casos las fuentes son de un mayor valor del que se necesita, mediante filtros propios de su estructura interna realiza el proceso de bajar este valor al necesitado. Ejemplo común: Fuente 24 voltios – Valor requerido: 5 voltios

2.1.12 Amplificadores Operacionales

Al hablar de amplificación es un sinónimo de ganancia, estos son circuitos electrónicos que se obtienen a partir de amplificadores diferenciales (que posee 2 etapas de amplificación idénticas) con otras bandas adicionales. Sus características son:

- Resistencia de entrada normalmente de valor elevada.
- Resistencia de salida normalmente de valor sumamente bajo.
- Tienen por objetivo proporcionar una ganancia de voltaje muy elevado.

En la rama de la Electrónica de Potencia se podría profundizar este tema considerando que un OPAM se usa en aplicaciones lineales y no lineales como circuitos sumadores, restadores, inversores, acopladores, filtros, comparadores respectivamente.

2.1.13 Microcontroladores³³

Un microcontrolador es un circuito integrado cuya arquitectura se asemeja a la de un computador pues posee CPU, memoria EEPROM, RAM, circuitos de entrada y salida.

Con este criterio se puede concluir que este elemento electrónico permite programar instrucciones de tal forma que permita ejecutar una o varias instrucciones.

Dentro de un afinador electrónico es necesaria la interacción de un dispositivo de esta naturaleza ya que hay varias etapas en el circuito que necesitan ser concatenadas.

2.1.13.1 Microcontroladores AVR

Pertencen a la familia de microcontroladores RISC elaborados por la compañía ATMEL

La característica principal de los microcontroladores ATMEL es que posee Arquitectura Harvard (dispositivos de almacenamiento físicamente separados para las instrucciones y para los datos).

Los AVR manejan 32 registros de propósito general de 8bits. Los registros de entrada y de salida así como la memoria de datos forman un mismo espacio de localidades, que se acceden mediante operaciones de carga y almacenamiento.

Familias de AVR:

Los AVR generalmente son clasificados en 6 grupos, se adjunta sus características principales:

tinyAVR o Serie ATtiny

Memoria programable: 0.5 -16kB

Número de Pines del integrado: 6-32

Ventaja: Dispositivo con tamaño cómodo para implementarlo en circuitería

Desventaja: Configuración vía periféricos limitada

³³ Capítulo 2 Microcontroladores Programación en BASIC 3ra Edición / Carlos A. Reyes

megaAVR o Serie ATmega:

Memoria Programable: 4-512 kB

Número de Pines del integrado: 28-100

Ventaja: Configuración a través de periféricos es más extendida y memoria soporta programas extensos.

Desventaja: Propenso a desconfiguraciones

XMEGA o Serie ATxzmega:

Memoria Programable: 16-384kB

Número de Pines del integrado: 44-64-100 (Tipos A4, A3, A1)

Ventajas: Configuración para aplicaciones con tecnología DMA, soporte para criptografía entre otros.

Configuración vía periféricos extendida con ADCs

Desventajas: Demasiado costoso y no recomendado para circuitería donde no exista aplicaciones como la antes mencionadas.

Inicialmente se puede indicar la manera general de trabajar de esta familia a través de la figura 2.21;

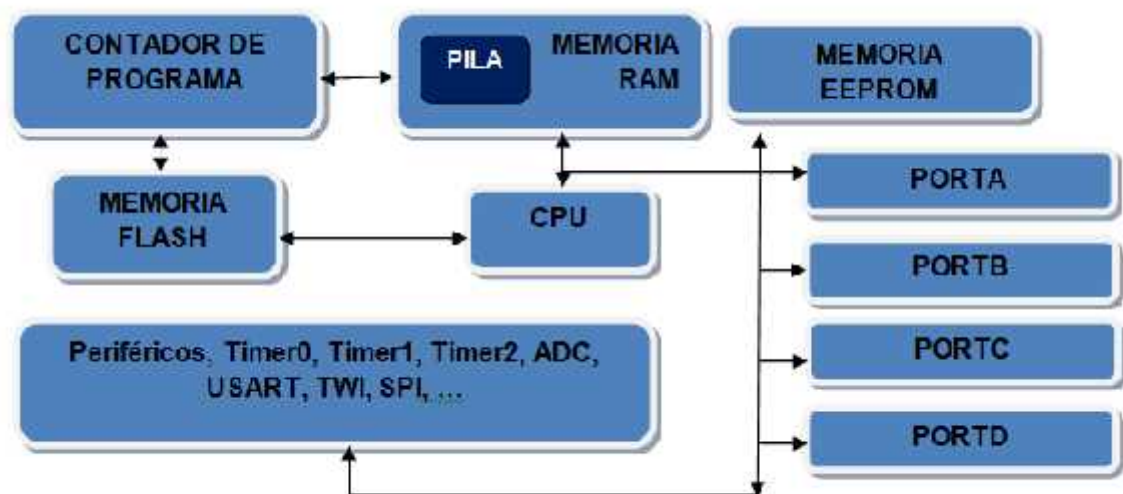


Figura 2.21 Diagrama de bloques simplificado de los megaAVR

2.1.14 Visualizadores

Más conocidos por su traducción al inglés, los displays son dispositivos que permiten mostrar información a través de conjuntos de leds o una matriz, también existen del tipo pantalla u otros incluso más modernos como proyectores de imágenes tridimensionales.

Los visualizadores en mucho de los casos trabajan conjuntamente con microcontroladores para tomar las instrucciones y desplegar los diferentes mensajes. Sin embargo en el mercado existen también displays que incluyen segmentos de memoria programable que facilita el trabajo al usuario para visualizar lo requerido.

Visualizadores del Tipo Módulo LCD

Permite mostrar cualquier carácter ASCII y consumen menos que los displays de 7 segmentos, existen de varias presentaciones por ejemplo de 2 líneas por 8 caracteres, 2x16, 2x20, 4x20, 4x40, siendo el más popular el primero en mención



Figura 2.22 Diferentes Tipo de Visualizadores LCD³⁴

2.1.15 Cables de audio

Existen una gama extensa de cables de audio en el mercado, su objetivo principal es la comunicación entre 2 o más dispositivos, su relación con los conectores es muy estrecha por lo que se ha tomado en cuenta todas sus principales características: extensión, dimensión, material, tratamiento del ruido en base a su estructura, etc.

³⁴ Gráfica http://www.feniximvico.com/catalogo.php?ididioma=ES&id_pro=175&id_cat=12

2.2 Marco Conceptual:

2.2.1 Guitarra Primer American Classic P-CG10

Características:

- 23 trastes
- Ecuador EQ 7545R 4 bandas, control de volumen: para bajos, medios, agudos y efectos (Figura 2.23)
- Compartimiento y control de batería mediante leds.

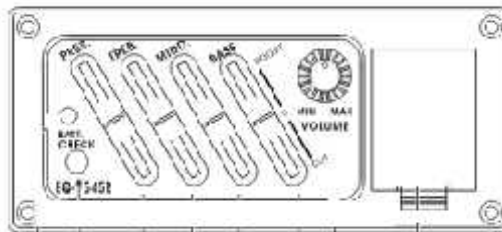


Figura 2.23 Vista superior del EQ 7545R³⁵

- Tapa Armónica Radial (Figura 2.24)
- Soporta cuerdas de nylon y metal
- Clavijero Estándar: distribución 2 hileras con 3 cuerdas cada una, grado de inclinación en relación a la recta de mástil 22°
- Mastil (vista frontal)

Largo: 44.6 cm

Ancho sector puente: 5cm

Ancho sector boca: 6cm

Espesor: Mediano

- Tipo de Cuerpo: Jumbo

³⁵ DataSheet EQ7545R

El cuerpo Jumbo es aquella que se engorda en la 2da curvatura y se destaca en las guitarras rítmicas; brinda acordes amplios, llenos de volumen y un equilibrio sobresaliente. En este caso se debe tomar en cuenta el tamaño del instrumento.

Adicionalmente este tipo de cuerpo posee más volumen y recoge más aire provocando sonidos que corresponde con su nombre. Debido a la figura de la curvatura de la tapa se producen medios vibrantes con tonos redondos, esto hacen que se diferencie de otro tipo de instrumentos.

Las tonalidades del cuerpo Jumbo están acentuadas por el rango dinámico de este tipo de guitarras, desde acordes agresivos a delicados hace que responda perfectamente a las necesidades del guitarrista.

Largo: 53 cm

Profundidad: 13 cm

Tapa Superior: 32 cm

Tapa Inferior: 43,5 cm



Figura 2.24 Tipo de cuerpo y tapa armónica de una guitarra Primer Classic³⁶

³⁶ Diseño Propio

2.2.2 Plug y Jack Mono 6.5mm a 3.5mm

Los adaptadores de audio de este tipo son uno de los más utilizados para la interconexión de dispositivos de audio. La distribución de sus anillos es la más básica y la podemos observar en la Figura 2.25

Una guitarra electroacústica conectada mediante este tipo de adaptador tiene la ventaja de que el tratamiento del sonido que emita sea más puro puesto que el dispositivo está diseñado para analizarlo a través de 1 solo canal.



Figura 2.25 Plug y Jack Mono 6.5mm a 3.5mm³⁷

2.2.3 Regulador NTE 960

Es un circuito integrado monolítico que cumple la función de regular voltaje. El tipo de empaque que lo cubre es del modelo TO-220. (Figura 2.26)

Está diseñado para usarse en una serie de aplicaciones que incluyen regulación. Este regulador internamente emplea un limitador de corriente, un sistema de auto-apagado térmico, y un área segura de compensación. Con una adecuada disipación térmica este dispositivo puede entregar corrientes máximas a 1 Amperio.

Características:

- Corriente de salida máxima: 1 Amperio
- No requiere componentes externos
- Protección térmica interna
- Circuito limitador de corriente interno
- Área segura de compensación

³⁷ <http://bifer.es/361-251-large/adaptador-jack-6-3mm-macho-mono-3-5mm-mono.jpg>

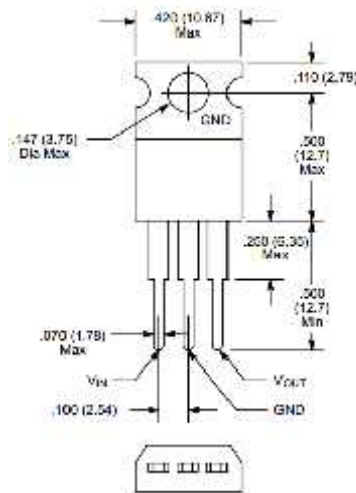


Figura 2.26 Distribución del NTE 960³⁸

2.2.4 Regulador LM7885

La familia de reguladores con la serie LM78XX posee tres terminales y también están protegidos con un empaque de modelo TO-220 (Figura 2.27)

Este dispositivo provee de varios rangos de voltaje de salida haciendo que sea multiuso para varias aplicaciones. Cada tipo emplea limitadores de corrientes, un sistema de auto-apagado térmico. Una característica particular es que está construido para ser indestructible

Con una adecuada disipación térmica este dispositivo puede entregar corrientes máximas a 1 Amperio.

Características:

- Corriente de salida máxima: 1 Amperio
- Voltajes de Salida 5, 9, 12, 15, 24 voltios
- Requiere elementos externos como amplificadores operacionales, capacitores, para llegar a voltajes requeridos.
- Protección térmica interna.
- Circuito limitador de corriente interno.
- Estructura del integrado considerada como indestructible.

³⁸ All DataSheets

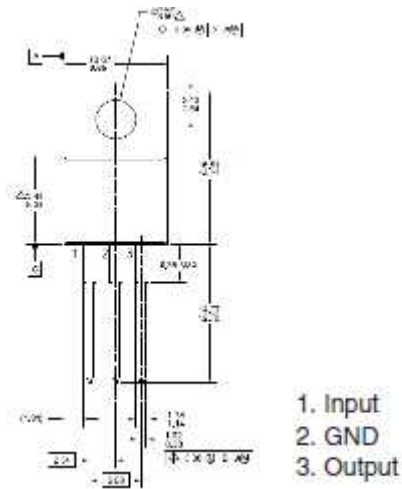


Figura 2.27 Distribución del LM7885³⁹

2.2.5 Switch Regulador MC33369

Son reguladores de voltaje monolíticos que actúan también como switches. Tienen como característica especial resistir voltajes bastante altos de hasta 700 voltios. Dependiendo de su empaque puede incluir el estilo TO-220 (Figura 2.28)

Se pueden alimentar con voltajes de 110 voltios, 115 voltios y 230 voltios soportando potencias de entre 90 watios - 150 watios. El dispositivo funciona con un controlador programable, un chip Sensefet (soporta 700 voltios), circuito de poder tipo switch.

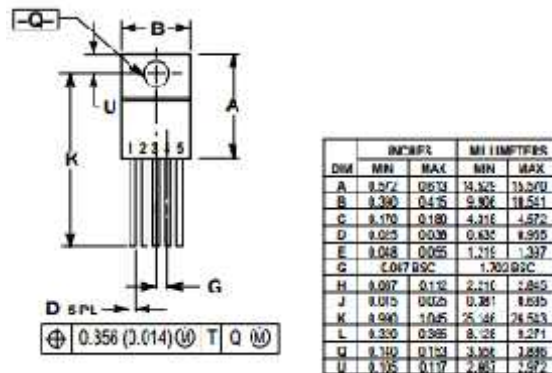


Figura 2.28 Distribución y dimensiones del MC33369⁴⁰

³⁹ All DataSheets

⁴⁰ All DataSheets

CAPÍTULO 3

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO QUE SE ADAPTE AL MODELO DE UNA GUITARRA ELECTROACÚSTICA PRIMER Y SIRVA DE GUÍA PARA AFINARLA.

Introducción:

En este capítulo se detallan todas y cada una de las etapas que se desarrollaron en las fases de estudio, diseño, montaje e implementación que dieron como resultado el dispositivo y todas sus funciones.

3.1 Síntesis y homologación de la información sobre los sistemas de afinación actuales para guitarras acústicas:

En la tabla 3.1 se incluye la información de los tipos de sistemas de afinación actuales, su característica principal, ventaja, desventaja, valoración de acuerdo a la experiencia de uso de cada sistema, y la valoración física de cada uno en base al método de afinación convencional del oído.

Consolidar esta información da el punto de partida para el análisis y comparación al momento de construir el prototipo.

Sistema de afinación				
Característica principal	Ventaja	Desventaja	Valoración al usar el sistema	Valoración física del oído
Oído				
Desarrollo musical del sistema auditivo	Reconocimiento natural de sonidos agudos, medios y graves	Con el tiempo existe desgaste físico	Bueno	Bueno
Silbatos				
Emite un sonido base para la afinación	Referencia para instrumentistas	Percepción del sonido difiere en cada oído	Regular	Bueno

Sistema de afinación				
Característica principal	Ventaja	Desventaja	Valoración al usar el sistema	Valoración física del oído
Diapasón				
Emite un sonido base para la afinación	Referencia para instrumentistas	Percepción del sonido difiere en cada oído	Bueno	Muy bueno
Afinadores mediante ecualizadores				
Vienen incluidos con el instrumento	Fácil portabilidad	Puede tener inconsistencias por la presencia de ecualización	Regular	Regular
Afinadores con micrófono				
Contienen un transductor bastante sensible para el análisis	Retiene sonidos puros de la guitarra para análisis	Dispersión del sonido en el ambiente puede alterar afinación	Bueno	Bueno
Afinadores por conexión con cable				
Sistema de comunicación más directo	Mejor negociación del sonido	Depende de la calidad del cable	Muy bueno	Muy bueno
Afinadores por conexión por micrófono y conexión por cable juntos				
Incluye 2 sistemas de afinación para la selección del usuario	Económicamente es la mejor opción	Inconsistencias debido a la presencia de 2 sistemas diferentes usando la misma circuitería	Regular	Bueno

Sistema de afinación				
Característica principal	Ventaja	Desventaja	Valoración al usar el sistema	Valoración física del oído
Afinadores por sistema de pedal				
El pedal funciona como un sintetizador y referencia las notas	Económicamente es algo costoso y sus repuestos son limitados	Susceptible a problemas de calibración	Regular	Regular
Software de simulación de afinación				
La comunicación entre una guitarra y la consola del programa aún mantiene comunicación física por cable	El sistema siempre tendrá como referencial sonido real más aproximado	Se va perdiendo la sensibilidad del oído	Muy bueno	Regular
Software de simulación de afinación con comunicación WIFI				
Comunicación inalámbrica entre el instrumento y una Pc para el análisis	Mejor movilidad y comodidad	Pueden existir frecuencias intrusas que afecten la comunicación	Regular	Regular
Sistema de afinación y ajuste automático de cuerdas				
Realiza todo el trabajo sin la presencia humana.	Último avance tecnológico	Económicamente costoso, pérdida total del uso del oído	Excelente	Malo

Tabla 3.1 Sistemas de afinación y sus características

3.1.1 Estudio de la afinación de una guitarra en base al oído humano

Esta característica que se desarrolla en pocas personas alrededor del planeta tiene como nombre “oído absoluto” y es la capacidad de reconocer cualquier tipo de nota musical sin intervención de una nota referencial.

El método de afinación en base al parámetro de “oído absoluto” consiste en que el guitarrista canta *mi mayor* y así ajusta la primera cuerda, repite el procedimiento con el resto del instrumento.

En este estudio no se logró tener un acercamiento con personas con esta característica, de acuerdo a estudios médicos una gran parte son autistas e incluso personas no videntes que en ausencia de visión desarrollan el oído como compensación.

El oído absoluto se divide en 2 tipos: el natural y el cultivado

La audición absoluta natural es el don con el que una persona nace para reconocer cualquier tipo de nota referenciando la frecuencia de la primera cuerda.

La audición absoluta cultivada es la que se adquiere con el transcurso del tiempo y la que el músico refuerza al escuchar constantemente muchos sonidos, es decir, memoriza el timbre característico hasta acostumbrar y desarrollar su sistema auditivo.

Existe otro tipo de característica llamada “oído relativo” y refiere a la educación que tiene el oído al escuchar constantemente un sonido guardándolo en su memoria y de acuerdo a esto referenciar cada cuerda al ajuste necesario.

Se puede clasificar a las relatividades en: cuantitativa y cualitativa

La audición cuantitativa relaciona la proximidad de las notas considerando su colocación en la base, por ejemplo *do* al lado del *re*, etc. En cambio, la audición relativa cualitativa relaciona la proximidad armónica en base a quintas, terceras, octavas, etc.

A continuación, la tabla 3.2 muestra las diferencias establecidas entre 3 guitarristas diferentes; sus testimonios reales así como el seguimiento de sus carreras artísticas y de producción permitieron obtener los datos con los que se puede analizar de mejor forma la evolución de los métodos de afinación en base al oído:

GUITARRISTA	MÉTODO AFINACIÓN	PRECISIÓN MI MAYOR (EN PORCENTAJE)	COMPARACIÓN CON SONIDO REAL APROXIMADO
Francisco Espina	Oído relativo cualitativo	85%	Muy cercano
Pablo Estrella	Oído relativo cuantitativo/cualitativo	90%	Exacto
César Galarza	Oído relativo cuantitativo	80%	Cercano

Tabla 3.2 Testimonios y pruebas reales de guitarristas

Francisco Espina uno de los mejores guitarristas y productores de rock en Ecuador tiene un oído relativo cualitativo, menciona: “Si efectivamente el oído es fundamental en el momento de la afinación, cuando no se tiene una referencia de por medio se volverá complicado una precisión tonal”.

Se puede considerar que su precisión es muy cercana al sonido real puesto que en un ajuste de la primera cuerda a 375 herzios él ya indicaba que el sonido estaba dentro de la frecuencia deseada. Es decir hubo un porcentaje del 85% de acierto, se recuerda que la primera cuerda debe ajustarse a 440 herzios.

Se estudió el método de afinación en base al oído de Pablo Estrella integrante de la banda RockVox, productor y docente de música contemporánea.

Con él se tiene mayor exactitud al momento de reconocer el sonido de la primera cuerda de una guitarra, la frecuencia utilizada fue 392 herzios, acercándose al 90% de acierto, sin embargo esto se debe a que combinó su don natural con la educación a lo largo de los años de su sistema auditivo.

De esta forma la aproximación al sonido se refuerza aumentando la valoración con respecto al instrumentista anterior.

César Galarza posee un tipo de oído relativo cuantitativo, es decir, el reconocimiento del sonido de la primera cuerda para completar el procedimiento en todo el instrumento, pero gran parte es la educación a su oído durante su

niñez-juventud. Esto reduce la valoración de precisión debido a que no existe la presencia de un don natural, sin embargo no deja de ser cercano al deseado.

La prueba de afinación en este caso funcionó a una frecuencia de 355 herzios para la primera cuerda que corresponde a un 80% de acierto.

Sin embargo los mismos expertos coinciden que la tecnología musical se ha desarrollado mucho y el procedimiento de afinación en base al oído, aunque es muy tradicional, frente a lo técnico no tiene el grado de acierto requerido.

El oído tiene un desgaste físico y su capacidad se va reduciendo a lo largo del tiempo.

Se puede concluir entonces, que el método de afinación de oído relativo cualitativo es más exacto que el de oído relativo cuantitativo.

3.1.2 Estudio de la afinación de una guitarra en base a un silbato

Un silbato es un dispositivo tubular que emite un sonido específico al soplarlo por su boquilla.

En el caso de los silbatos afinadores son construidos para escuchar el mi mayor y de acuerdo a esto referenciar la primera cuerda.

Este método de afinación en el país está quedando obsoleto. Se tiene una noción de que varios músicos instrumentistas en sinfónicas, profesores de música, grupos folclóricos aún mantienen este sistema.

3.1.3 Estudio de la afinación de una guitarra en base a un diapasón

Es uno de los métodos de afinación vigentes y se pueden divisar aún en los ensayos de las más importantes Sinfónicas a nivel mundial, academias de música sobre todo clásica. Se utiliza para la sincronización de los sonidos ya que al tocarlo emite el sonido de mi mayor a 440 herzios.

En comparación con los métodos de afinación con el oído y silbato, el diapasón tiene un grado de acierto más alto pero también es susceptible a desgaste físico y en caso de desperfectos con el material si se pretende refaccionar no va a tener el mismo efecto sonoro.

3.1.4 Estudio de la afinación de una guitarra que tiene incluido un afinador en su ecualizador

Fábricas de guitarras para economizar sus costos incluyen en los sistemas de ecualización un programa que permite visualizar si las cuerdas del instrumento están afinadas.

En el mercado es muy común encontrar este tipo de guitarras, sin embargo de acuerdo a la experiencia de los músicos entrevistados los dispositivos usados tienden a generar problemas con cualquiera de los dos servicios, por ejemplo:

Un ecualizador con un volumen alto tendrá una saturación en su salida, por lo que el afinador no tendrá una buena referencia en su análisis y así arrojar el resultado correcto.

Un ecualizador con un volumen medio puede ayudar al afinador a acercarse a un valor óptimo.

Mientras que, un ecualizador con volumen bajo simplemente no permitirá que el sonido sea analizado de manera correcta por la falta de amplificación del mismo.

3.1.5 Estudio de la afinación de una guitarra con un afinador que posee micrófono

Un afinador con micrófono incorporado posee la ventaja de captar de manera más pura el sonido de las cuerdas de una guitarra, sin embargo la afinación se vuelve complicada cuando al tocar una cuerda el sonido de la misma se dispersa en el ambiente es decir parte de la frecuencia real se pierde, por lo que el análisis del afinador no es 100% confiable.

En los estudios de grabación El Serrucho en Quito se realizó una prueba directa entre una guitarra electroacústica Primer y un afinador con micrófono Epiphone incluido, uno de los más sofisticados:

El resultado del afinador con este micrófono arrojó una cifra de 400 hercios; hay que considerar que el espacio es cerrado, hermético y con elementos anti-ruido en su arquitectura. La reverberancia del sonido está dentro de los parámetros normales.

En Ardillon Records se realizó la misma prueba con el mismo afinador, el espacio es diferente en su arquitectura, incluso sin elementos anti-ruido y más bien con un

sistema de atenuación de ruido con vidrios reforzados y otros. El resultado arrojó 380 herzios.

Se concluye que los resultados obtenidos de los afinadores con micrófono incluido varían en relación al espacio físico donde se encuentre ubicado el instrumento ya que muchos parámetros influyen en el entorno, sin embargo no es un mal método.

3.1.6 Estudio de la afinación de una guitarra en base a un afinador con cable

A diferencia del sistema con micrófono incluido este sistema de afinación requiere de una conexión con cable directa entre la guitarra y el dispositivo. Cada uno posee una salida con un adaptador de audio hembra. El método es más confiable debido a que hay una mejor negociación del sonido evitando la intrusión de ruido o agentes externos.

Sin embargo el tipo de cable, así como la asociación del adaptador de audio con el transductor interno del afinador también puede tener inconsistencias; en ese caso se habla de la fuerza al momento de rasgar la cuerda para la afinación.

Mientras más fuerte se rasga una cuerda existirá mayor vibración y mayor mezcla de frecuencias, complicando el análisis para el sistema construido.

Mientras menos fuerte se rasga una cuerda no habrá la vibración suficiente para emitir la frecuencia a analizar.

Otro parámetro a considerar es que el adaptador de audio viene por defecto con un revestimiento que en algunos casos también elevará o incluso atenuará la señal emitida por una cuerda para su análisis.

3.1.7 Estudio de la afinación de una guitarra con un afinador que posee micrófono y también conexión por cable

Este sistema conjunto puede abaratar los costos para el usuario sin embargo la mayoría de equipos diseñados con esta distribución comparten la circuitería interna para cumplir con las diferentes tareas, lo cual puede causar algunos inconvenientes.

El micrófono con el tiempo se acostumbra a un tipo de sonido ingresado al rasgar las cuerdas y evaluarlo técnicamente. Si se usa el mismo sistema pero por el

método del adaptador de audio ya existirá un patrón de análisis por lo que puede existir inconsistencias.

Sucede el mismo inconveniente con el caso contrario, acostumbrar al sistema por el método de adaptación puede dar inconveniente al momento de intentar usarlo vía micrófono.

3.1.8 Estudio de la afinación de una guitarra en base a pedal electrónico

Este tipo de sistemas es más común para guitarras eléctricas y se basa en la conexión del instrumento con un cable hasta un pedal donde tiene pregrabado sonidos ecualizados, así se tiene la referencia de cada cuerda para realizar el ajuste manual.

La ventaja de los pedales es que no tienen un costo tan elevado sin embargo son susceptibles a perder calibración por lo que la referencia de afinación se puede perder.

En la actualidad existen equipos con varios pedales; aumentan las posibilidades de jugar con distorsiones y amalgamas del sonido pero de alguna manera también hace que se pierda la escala natural de una afinación normal.

No se ha confirmado sistemas de afinación en base a pedal para guitarras electroacústicas.

3.1.9 Estudio de la afinación de una guitarra en base a software de simulación

En la actualidad se puede contar con varios programas que emiten el sonido correcto de la nota musical *mi mayor* y así el guitarrista referenciarse para la afinación. Estos pueden encontrarse en la web como, gadgets, complementos, entre otros. Para que pueda funcionar este principio se debe conectar con cable el instrumento con la entrada de la Pc previamente configurada con el software.

Sin embargo también se puede encontrar programas muy sofisticados como los usados en los estudios de grabación profesional en plataformas Apple y Microsoft cuya finalidad es la de comparar el sonido emitido por las cuerdas de una guitarra y en base a animaciones de tercera dimensión anunciar al usuario si se está trabajando a la frecuencia correcta.

Estos mismos programas también sirven como editores de audio, ecualizadores, secuenciadores, mezcladores y masterizadores de sonido.

Por obvias razones el uso y licencias de los mismos son costosos por lo que puede representar una desventaja.

El uso de un software ya es un limitante de la capacidad humana.

3.1.10 Estudio de la afinación de una guitarra en base a software con conexión WIFI

Se cumplen los mismos principios del punto 3.1.9 pero la comunicación entre el instrumento y el software es vía inalámbrica.

Este tipo de sistema es muy beneficioso en eventos en vivo donde el artista no quiere un escenario con muchos accesorios y desea el control exclusivamente del master de sonido tras escenarios.

3.1.11 Estudio de la afinación de una guitarra en base al ajuste automático de cuerdas

La empresa Fender una de las líderes en construcción de guitarras y sus complementos hace varios años desarrolló un prototipo de guitarras eléctricas donde tienen incluido un conjunto de motores ultrasensibles para el ajuste automático de sus cuerdas. Su principio electrónico no se ha socializado por temas de exclusividad y confidencialidad.

Esta innovación tecnológica puede ser posible con el tratamiento digital del sonido.

Prácticamente dentro del instrumento existe una consola de audio sofisticada conectada a la parte mecánica para que con un gran precisión se afine cada cuerda.

Es el sistema de afinación más costoso existente y posiblemente ha reemplazado a todos los métodos tradicionales, incluso el de la presencia humana.

3.2 Estudio de diferenciación del sonido de la primera cuerda en una guitarra en base a un afinador

En esta sección se habla del tratamiento del sonido de la primera de acuerdo a resultados arrojados sólo por dispositivos afinadores: vía micrófono, vía cable, pedal o sintetizador.

3.2.1 Resultados de afinadores con micrófono

Tipo de afinador	Señal de referencia y acierto	Porcentaje de acierto de acuerdo al sonido real aproximado
Eno Music ET 2005	Bemol / Ok / Sostenido	85%
Cherub WST 520GB	Escalímetro	90%

Tabla 3.3 Pruebas de afinación por micrófono



Figura 3.1 Prueba con afinador Cherub WST-520GB

La prueba representada en la Figura 3.1 fue realizada en los estudios de grabación de El Serrucho Producciones, donde se tomó en cuenta la reverberación, es decir, el tiempo en segundos que transcurre desde que se emite el sonido hasta que este pierde su nivel para que sea escuchado por el oído humano: el tiempo fue de 0.7 a 1 segundo.

3.2.2 Resultados de afinación mediante conexión por cable

Tipo de afinador	Señal de referencia y acierto	Porcentaje de acierto de acuerdo al sonido real aproximado
Eno Music ET 2005	Bemol / Ok / Sostenido	90%
Cherub WST 520GB	Escalímetro	95%

Tabla 3.4 Pruebas de sonido afinación por cable



Figura 3.2 Prueba con afinador Eno Music ET 2005

El cable juega un papel importante en el retardo del sonido, en la prueba de la Figura 3.2 se obtuvo el tiempo de reverberación en el estudio de grabación Ardillon Records: 0.5 a 0.7 segundos.

3.2.3 Resultados de afinación mediante la guía de un sintetizador

Tipo de afinador	Frecuencia de referencia que detecta correcta	Porcentaje de acierto de acuerdo a la frecuencia normal
Yamaha	420Hz	92%

Tabla 3.5 Pruebas de afinación por sintetizador



Figura 3.3 Prueba de afinación mediante la guía de un sintetizador

La prueba de la Figura 3.3 corresponde a la guía del sonido de la nota mi mayor en base a la clave de sol mayor emitida por un sintetizador Yamaha PSR-E233 uno de los más versátiles del mercado, fue realizada en los estudios de RadioWMosfet.

3.2.4 Resultados de afinación mediante la guía de un pedal

Tipo de afinador	Frecuencia de referencia que detecta correcta	Porcentaje de acierto de acuerdo a la frecuencia normal
Zoom G1XN-EXT	390Hz	87%

Tabla 3.6 Pruebas de afinación por pedal



Figura 3.4 Prueba de afinación mediante un pedal

En la figura 3.4 se representa el análisis del sonido emitido por la primera cuerda de una guitarra electroacústica Primer en un pedal Zoom, este tipo de dispositivos amplía el rango de frecuencias, lo que también reduce su grado de confiabilidad. El método de reconocimiento a través de la nomenclatura inglesa: E es mi mayor.

3.3 Diseño de un dispositivo electrónico de afinación para guitarras electroacústicas

3.3.1 Diagrama de bloques referencial para el diseño del prototipo:

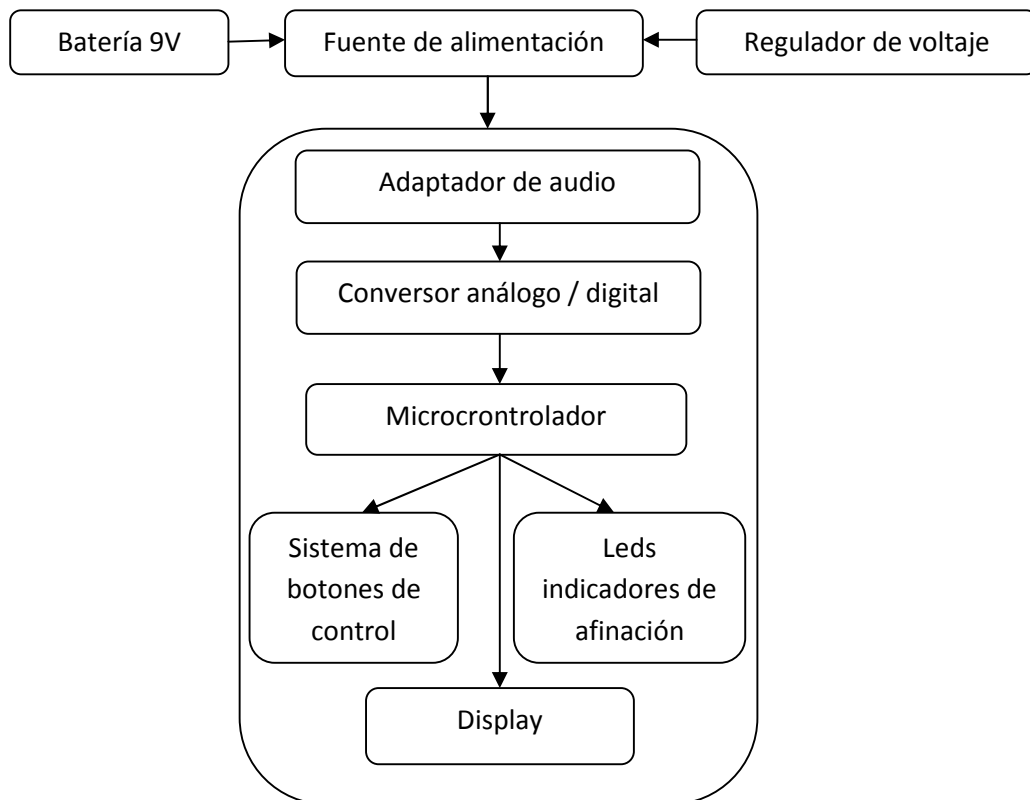


Figura 3.5 Diagrama de bloques del sistema prototipo

3.3.1.1 Fase de alimentación y regulación de voltaje:

Se tendrá una batería de 9 voltios que alimentará todo el circuito obviamente después de una etapa de regulación de voltaje para la cual se tiene la presencia del integrado NTE960. Este dispositivo tendrá la función de emitir un voltaje constante cercano a 5 voltios, valor necesario en la tecnología de los integrados utilizados.

3.3.1.2 Fase de transformación digital y análisis:

Una vez los circuitos alimentados, se procede a tocar una de las cuerdas de la guitarra Primer electroacústica, esta señal es captada por el Jack Stereo o adaptador de audio el cual va conectado directamente al conversor análogo digital LM358 o puede hacerse una serie de arreglos con las resistencias, condensadores y otros dispositivos que iguale la función del integrado.

En la Figura 3.6 se muestra el diagrama de esta etapa.

El arreglo se refiere a un filtro del tipo ButterWorth de Primer Grado en donde existen 2 sub-etapas:

La primera es la que está conectada al terminal positivo del amplificador operacional y del cual se obtiene una ganancia A1.

Ganancia A1 comprendida con **R2, R5**: Es la primera carga conformada por 2 resistencias de 10k

Ganancia A2 comprendida con **C1, R10**: Constituyen la segunda carga con valores de 1nF y 10k respectivamente.

En la ganancia A2 (ara el terminal negativo del operacional, se tiene un arreglo en paralelo de 2 resistencias de 10k , **R3 y R4**.

En conjunto se ha denominado a este arreglo como “Método Burbuja” puesto que permite a la señal analógica regularla de una manera que no puede entrar señales parásitas como en otras distribuciones y en conjunto con la siguiente etapa convertirla en la señal digital cercana a la ideal.

Después de este paso se habla del análisis de frecuencias del sonido real de las cuerdas en una guitarra y su comparación con el valor aproximado el cual lo tiene programado el integrado ATmega16 representado en la figura 3.7.

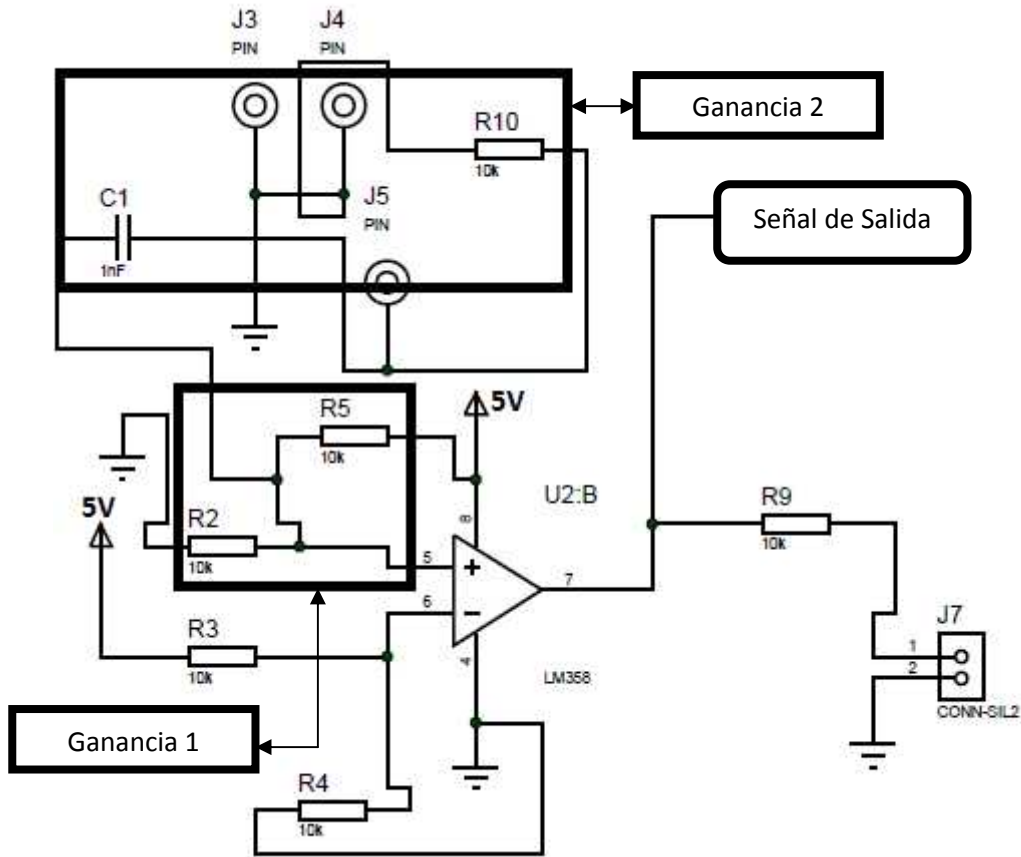


Figura 3.6 Circuito de regulación y transformación de señal digital

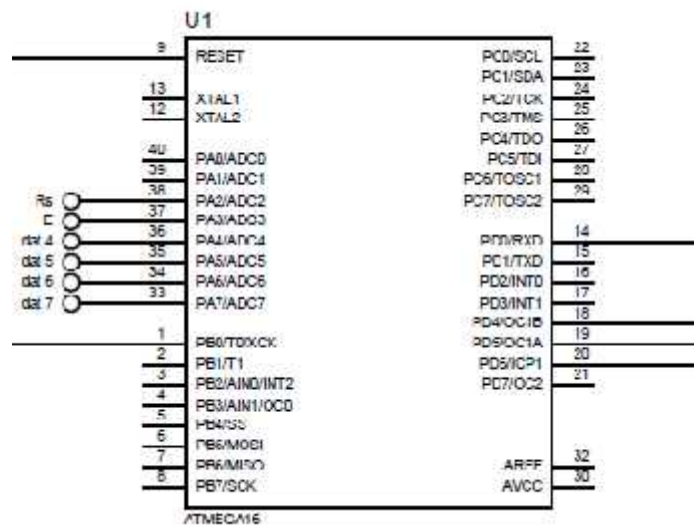


Figura 3.7 Representación esquemática del integrado ATMEGA16

3.3.1.3 Fase de comparación y visualización de resultados:

La programación del integrado tiene por fin detectar los altos y bajos de la señal que ingresa desde el roce de una cuerda y transformada en base al circuito filtro inicial. Cada una de las cuerdas tienen una frecuencia, la misma que es guardada en la memoria del integrado, en una segunda parte del proceso el programa se encarga de comparar el valor de esa frecuencia convertida en digital con el valor guardado en la memoria del integrado.

Una vez hecha la comparación, existen 4 ambientes:

Estado 1: Es cuando el circuito está esperando la acción del usuario o empieza el análisis de la frecuencia emitida al rasgar 1 de las cuerdas, como referencia se encenderá el led de color azul.

Estado 2: En este caso el programa detecta que la frecuencia emitida por el rasgado de la cuerda es más baja de la configurada y hará que se encienda el led de color rojo. En ese caso el guitarrista deberá ajustar manualmente la cuerda hasta conseguir el valor aproximado al que se requiere

Estado 3: En este caso el programa detecta que la frecuencia emitida por el rasgado de la cuerda es más alta de la configurada y hará que se encienda el led de color amarillo. En ese caso el guitarrista deberá des-ajustar manualmente la cuerda hasta conseguir el valor aproximado al que se requiere.

Estado 4: En este caso el valor de la frecuencia emitida por la cuerda al ser rasgada está dentro del rango permitido para el valor guardado en el micro-controlador, por lo que el led verde se encenderá indicando que la afinación es correcta.

LED	ESTADO 1	ESTADO 2	ESTADO 3	ESTADO 4	CUERDA
Azul	Encendido	Apagado	Apagado	Apagado	Testing
Rojo	Apagado	Encendido	Apagado	Apagado	Subir
Amarillo	Apagado	Apagado	Encendido	Apagado	Bajar
Verde	Apagado	Apagado	Apagado	Encendido	Ok

Tabla 3.7 Fase de comparación cuando una cuerda es presionada

Para que estas condiciones se cumplan también se debe tomar en cuenta la calibración del ecualizador que la guitarra Primer electroacústica tiene incluido puesto que el volumen así como el tipo de intensidad armónica es fundamental al momento de rasgar la cuerda a la que se analizará.

La tabla 3.8 muestra los parámetros básicos de un ecualizador:

VOLUMEN	BASS	MEDD	TREB	PRESS	STATUS PARA INICIAR AFINACIÓN
0-30(%)	Mínimo	Mínimo	Mínimo	Mínimo	Poco perceptible
30-60(%)	Media	Media	Media	Media	Condición correcta
60-100(%)	Máximo	Máximo	Máximo	Máximo	Saturación

Tabla 3.8 Posibilidades de calibración del ecualizador EQ7545R antes de la fase de demostración

Volumen: Para un volumen de 0%-30% se refiere a la rotación de la perilla, el afinador no tiene una señal óptima con la que se puede iniciar el análisis del sonido de cada cuerda.

Para un volumen de 30%-60% con respecto a la rotación de la perilla, el afinador tiene una señal muy buena para iniciar el trabajo de comparación.

Para un volumen entre el 60% y el máximo considerando la rotación de la perilla, el afinador tendrá una saturación por lo que podría presentar inconsistencias al momento de reconocer la frecuencia deseada.

Bass: Es el ecualizador especializado en sonidos bajos para una guitarra. Al igual que el volumen debe ser tratado en la condición de 30%-60% de acuerdo a la rotación de la perilla para que el afinador no tenga problemas.

Medd: Corresponde al canal de ecualización que calibra los sonidos medios de la guitarra, se cumple exactamente el mismo principio que con el volumen general y los bajos para la afinación.

Treb: Del inglés *treble* que significa sobre-agudo y es donde se calibra los sonidos más agudos del instrumento. En este caso se debe considerar que mientras más agudo sea el sonido puede existir saturación del volumen al momento del análisis del afinador por lo que se recomienda usar un nivel medio de calibración al igual que los otros casos

Press: Del inglés *Presence Control* y no constituye un parámetro que influya en la calibración del ecualizador para el proceso de afinación. Constituye una referencia a nivel de amplificación cuando el instrumento se conecta a consolas.

Una vez calibrado de manera correcta el ecualizador se procede a explicar como se debe presionar o rasgar cada cuerda, esto es fundamental para que el circuito inicial capte la frecuencia más aproximada a la que la cuerda está ajustada en ese momento.

Cuerda	Temple	Fuerza al tocar
Prima	Ligero (nylon)	Suave
Segunda	Ligero/Medio (nylon)	Suave
Tercera	Medio (nylon)	Mediana
Cuarta	Medio (metálica)	Mediana
Quinta	Fuerte (metálica)	Suave
Sexta	Muy fuerte (metálica)	Suave/Mediana

Tabla 3.9 Condiciones físicas de temple y fuerza al tocar una cuerda en la demostración

El detalle de la tabla 3.9 se encuentra a continuación:

La primera y segunda cuerdas siempre serán las más suaves de todas por lo que un ligero rasgado será suficiente para poder captar la frecuencia que emite su sonido en ese momento

La tercera y cuarta cuerdas tienen un grosor mayor que las primeras por lo que se deben rasgar con una fuerza mayor pero no tan intensa para que su análisis sea en buenas condiciones.

La quinta y sexta cuerdas son las más gruesas de todo el instrumento sin embargo por una modificación para el análisis del prototipo se experimentó reemplazando las cuerdas de nylon por metálicas, convirtiendo al instrumento en un equipo híbrido de generación de sonidos. En este caso se debe pulsar a las cuerdas de manera suave al igual que las primas para que se pueda analizar de manera correcta el sonido.

Otro factor importante es el clima. Mientras más frío exista en el ambiente las cuerdas se endurecen más y mientras más calor exista habrá dilatación y por ende desajuste continuo de las mismas.

Una vez que se cumplen estos parámetros se debe visualizar en el display los resultados obtenidos, normalmente se trabaja con un rango de $\pm 10\%$ de error.

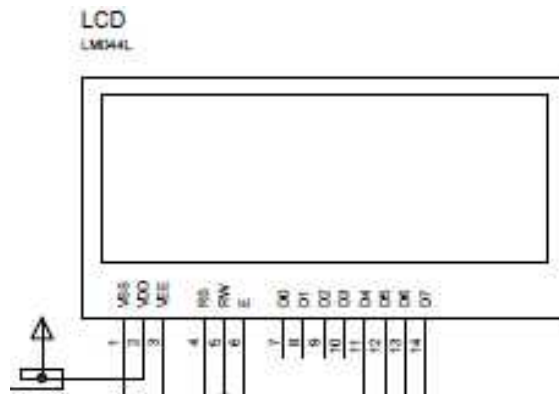


Figura 3.8 Representación esquemática del LCD

El programa que contiene el microcontrolador se incluye toda la lógica visual que debe mostrar el display. Aquí los mensajes que interactúan con el usuario para el correcto uso de prototipo

Tipo de Mensaje	Programación estática	Programación dinámica
Bienvenida	“Afinador de Cuerdas”	
Indicador	Cuerda 1: 329.6 Hz	f:.....(Subir, Bajar, Ok)
Indicador	Cuerda 2: 246.9 Hz	f:.....(Subir, Bajar, Ok)
Indicador	Cuerda 3: 196 Hz	f:.....(Subir, Bajar, Ok)
Indicador	Cuerda 4: 146.8 Hz	f:.....(Subir, Bajar, Ok)
Indicador	Cuerda 5: 110 Hz	f:.....(Subir, Bajar, Ok)
Indicador	Cuerda 6:82.4 Hz	f:.....(Subir, Bajar, Ok)

Tabla 3.10 Mensajes que mostrará el visualizador para interactuar con el usuario

3.3.1.4 Diagrama Circuital Completo

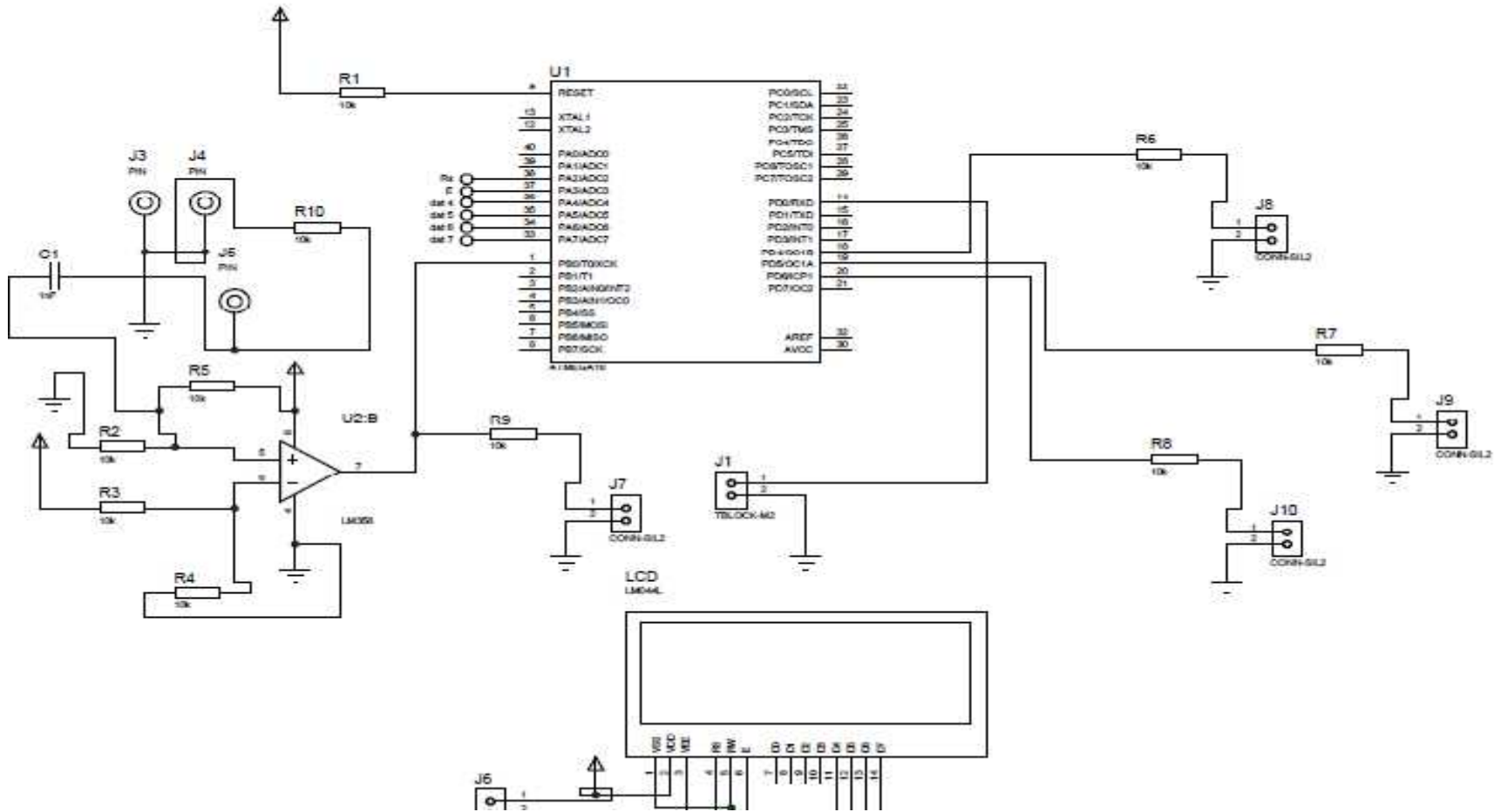


Figura 3.9 Diagrama Esquemático

3.3.2 Diseño del Software del Sistema

3.3.2.1 Diseño del Software del Microcontrolador

Utilizando una lógica bastante sencilla se pudo analizar varias posibilidades de la muestra de datos en el display, acorde a la manipulación del dispositivo y la comparación que se requería. De esta forma el microcontrolador iba a cumplir con varias etapas detalladas en la figura 3.10

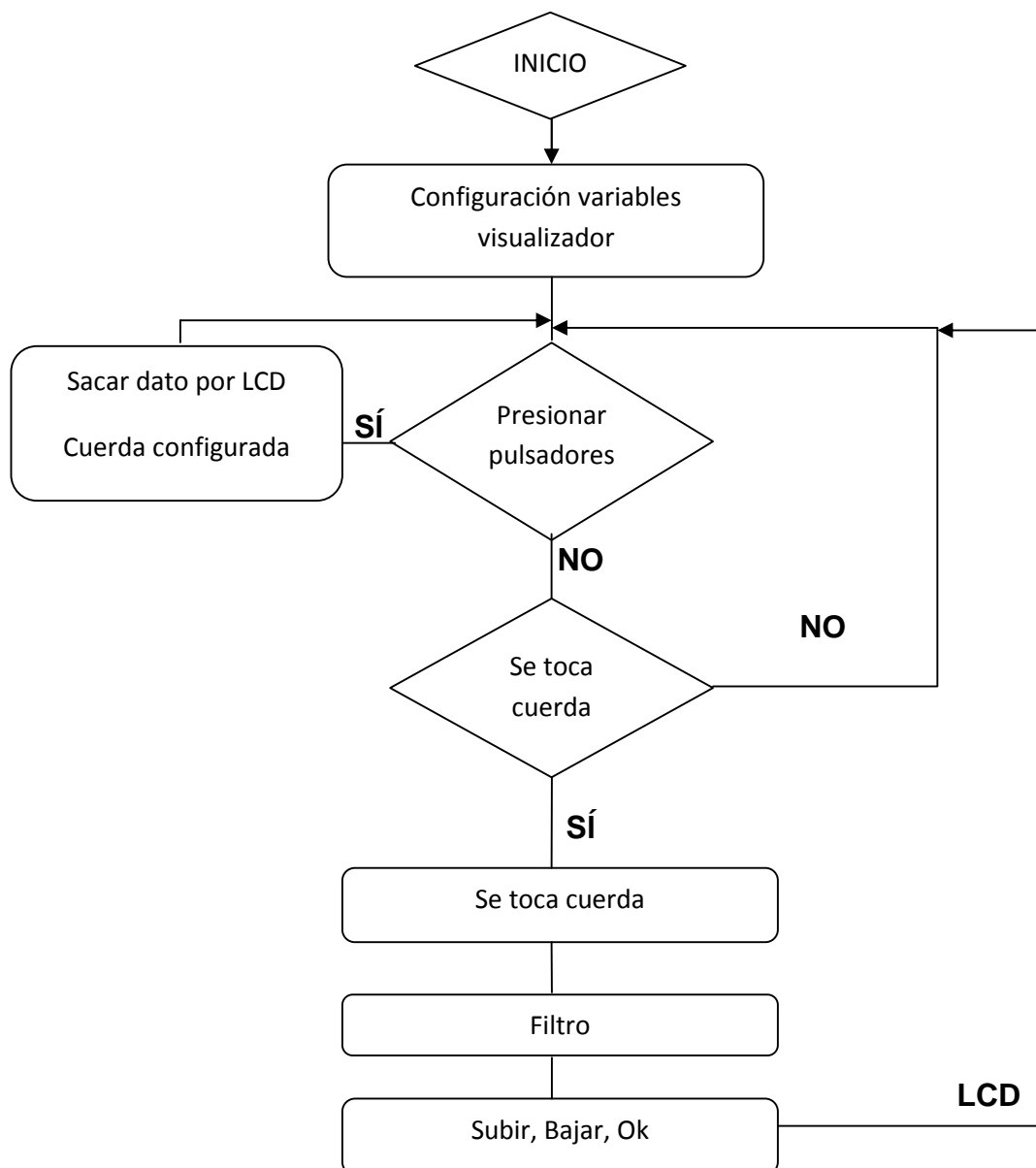


Figura 3.10 Flujograma con la lógica del programa del sistema

3.3.2.2 Diseño del método de filtrado para la conversión de la señal analógica

Aquí se muestra una pequeña lógica del núcleo del prototipo al que se ha denominado Método Burbuja:

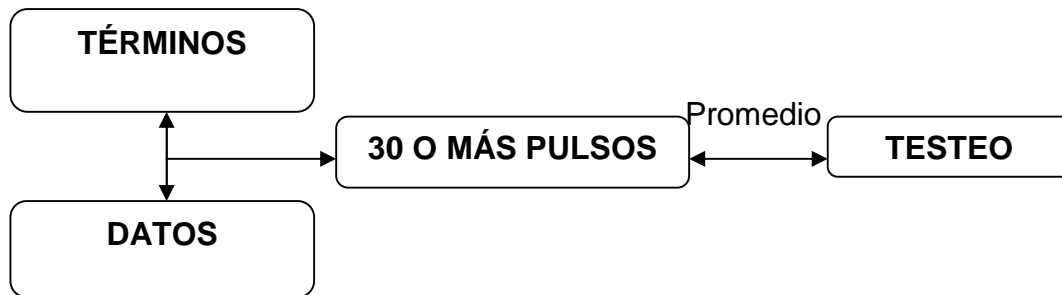


Figura 3.11 Método Burbuja

Términos: Se puede referir a las condiciones en el que debe calibrarse el instrumento y el ecualizador antes de la demostración.

Datos: Son las señales emitidas después de rasgar la guitarra.

Testeo: Es donde se aplica el filtro para ayudar al circuito a reconocer si existe atenuación o saturación de la señal de entrada. A la vez realiza un promedio tomando los valores de 30 o más pulsos obtenidos con el rasgado de la guitarra.

Se debe especificar que este tipo de método se usó debido a que existían otros métodos de filtrado de la señal pero que conllevaba al uso de más elementos y posiblemente el tamaño del prototipo hubiese aumentado considerablemente.

3.3.3 Diseño Mecánico del Sistema

Para contener todo el circuito se usará una caja plástica de polipropileno de alto impacto de color negro cuyas dimensiones son: 14.1cm x 8.1cm x 3.8cm

A un costado de la caja a 1 cm por debajo de la cara lateral se abre un orificio de 1.5cm de diámetro para que sobresalga el Jack Stereo o adaptador de audio.

En la parte frontal de la caja y a 2cm del margen izquierdo se abre una abertura rectangular de 7.3cmx2.5cm para que sobresalga el display donde se mostrarán todos los datos.

Debajo del display a 1.5cm se forman en una hilera 6 orificios para que sobresalgan:

- El control de cambio de función al programa
- 4 leds indicadores: azul, rojo, amarillo y verde
- Control de encendido y apagado

Cada uno de estos separados de acuerdo al resultado de la placa obtenida después del proceso de soldado y montaje.

En la cara posterior se dispondrá de 4 orificios pequeños en cada vértice para la colocación de tornillos que se sujetarán de manera uniforme a la placa.

3.3.3.1 Vista Frontal de la caja

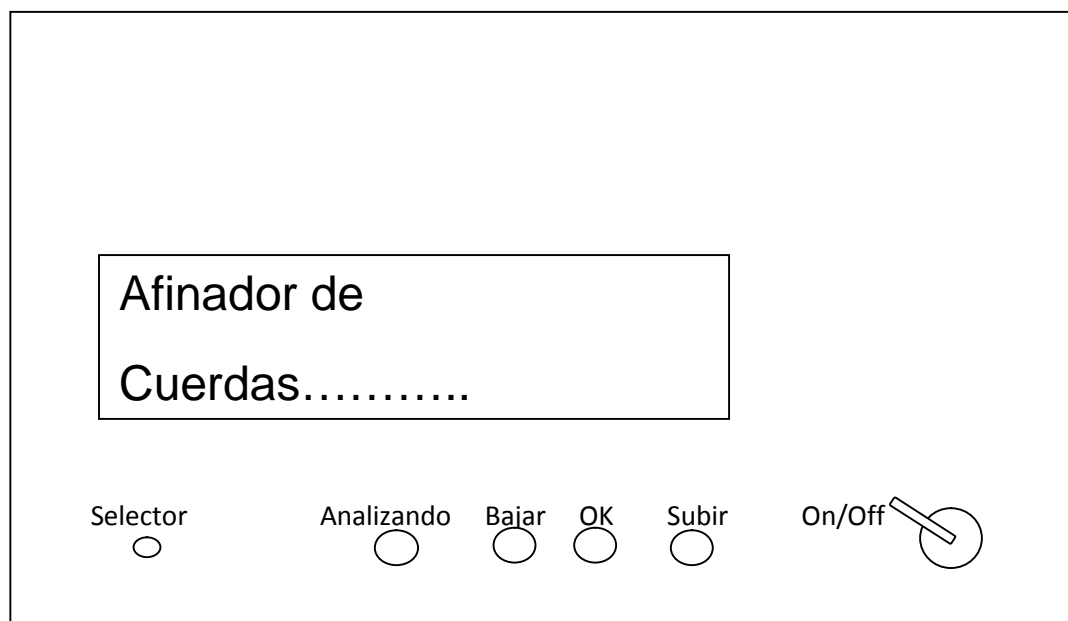


Figura 3.12 Representación gráfica de la caja vista de frente

El tamaño de la caja utilizada es holgado debido a que un espacio estrecho puede alterar la funcionalidad de la circuitería.

3.4 Montaje del Sistema

3.4.1 Montaje del circuito regulador de voltaje

En la figura 3.13 se puede observar una prueba realizada para la etapa de regulación de voltaje, la batería conectada posteriormente con el regulador NTE960, las resistencias y capacitores necesarios.

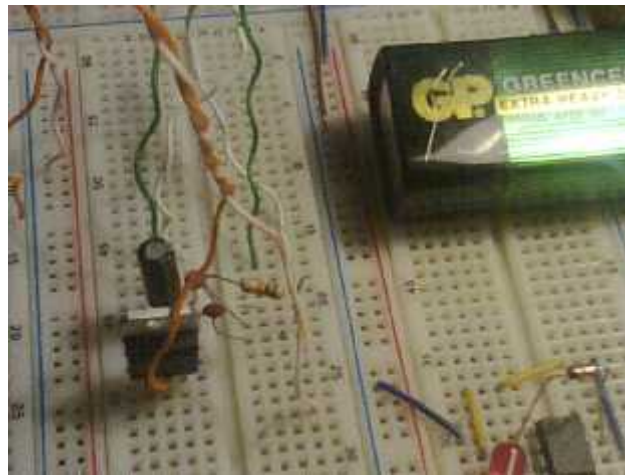


Figura 3.13 Fotografía de etapa de regulación de voltaje

Después de esta etapa se evidencia con la medición de un multímetro digital que el valor del voltaje obtenido después de esta etapa es 5.37 voltios, necesarios para que el circuito pueda alimentarse de manera correcta.



Figura 3.14 Fotografía del valor medido después de la etapa de regulación

3.4.2 Montaje del conversor análogo-digital

En la figura 3.14 se muestra la segunda etapa del circuito donde constan el adaptador de audio, el conversor análogo digital con las resistencias y capacitores necesarios para formar el método burbuja y así obtener la señal de salida hacia el integrado.

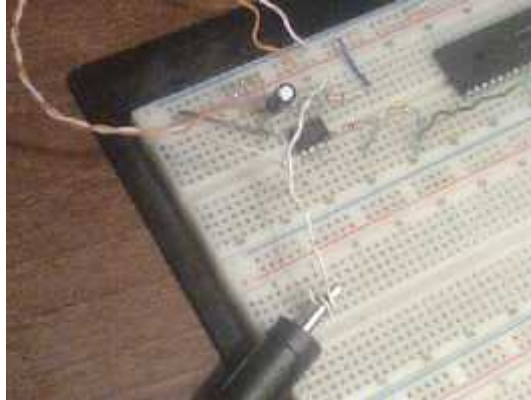


Figura 3.15 Fotografía de etapa de transformación digital

3.4.3 Montaje de la etapa de análisis y comunicación ATmega-LCD

En la figura 3.15 se aprecia la comunicación entre el circuito de conversión análogo-digital con el integrado ATmega16 y este a su vez con el visualizador LCD de 16x2



Figura 3.16 Fotografía etapa de análisis y comunicación ATmega-LCD

En la figura 3.17 se puede observar las pruebas de comunicación entre el conversor análogo digital con el integrado, así como de los valores definidos a la salida de cada pin del integrado, de esta manera se procedió a verificar la funcionalidad del visualizador.

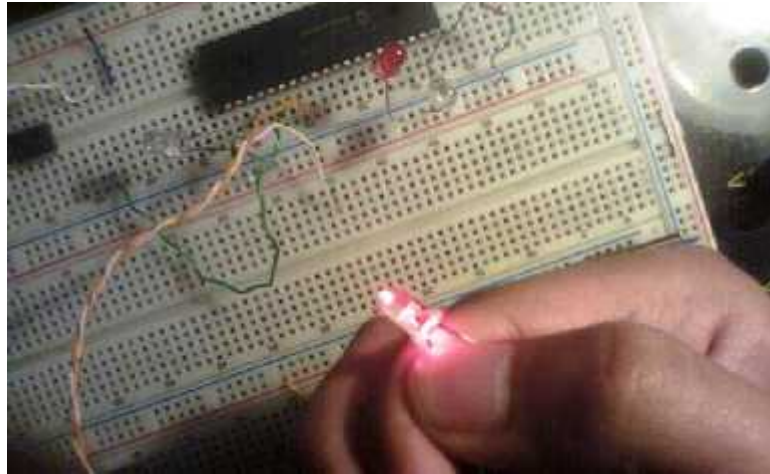


Figura 3.17 Pruebas de comunicación entre la etapa de conversión y análisis del integrado

En la figura 3.18 se tiene la primera comunicación establecida entre el ATmega16 y el visualizador, comprobando el correcto funcionamiento del mismo, así como constatar lo legible de los mensajes gracias a la ayuda de la programación (Anexo 1).



Figura 3.18 Visualizador funcionando después de las etapas de regulación, conversión análogo-digital y análisis.

3.5 Implementación de un dispositivo de afinación electrónica para el estudio del sonido en guitarras electroacústicas

3.5.1 Elaboración e implementación de la placa electrónica

Mientras se realiza las pruebas en el protoboard paralelamente se procede a esquematizar la figura 3.4.1.4 en el programa PROTEUS, esta distribución de los elementos es importante para su posicionamiento en la placa.

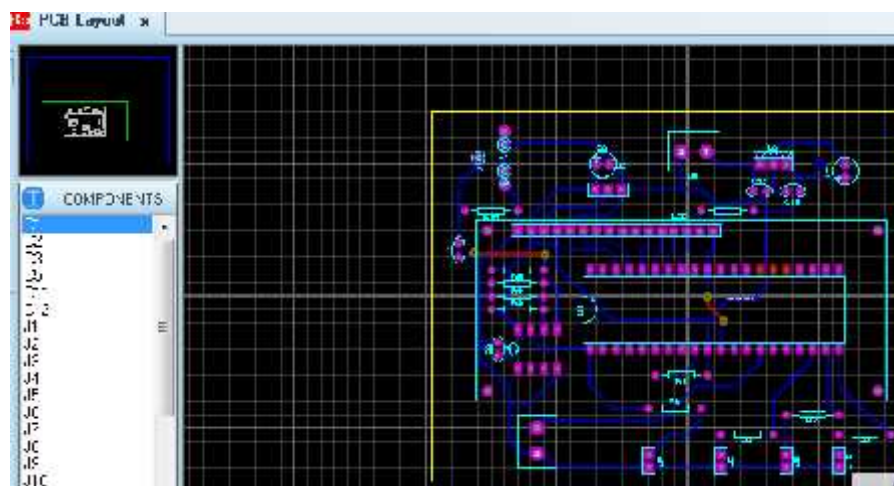


Figura 3.19 Uso del programa Proteus

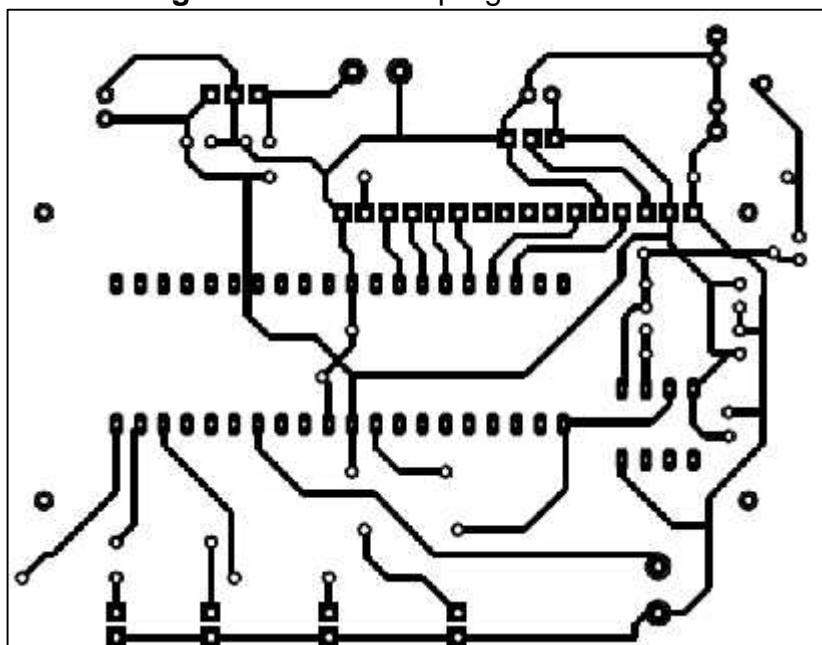


Figura 3.20 Pistas resultantes de la distribución virtual (mirror)

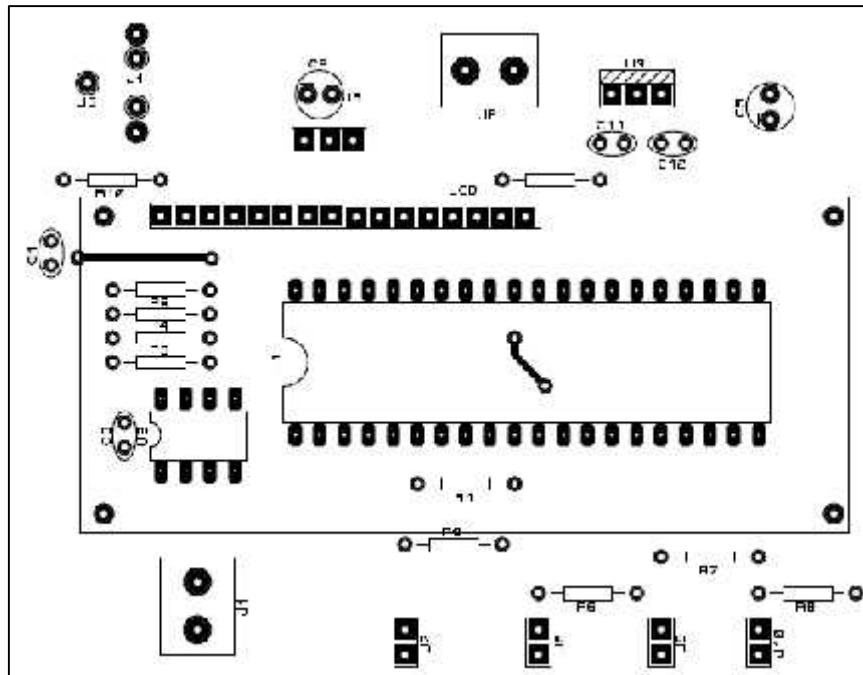


Figura 3.21 Screen de los elementos

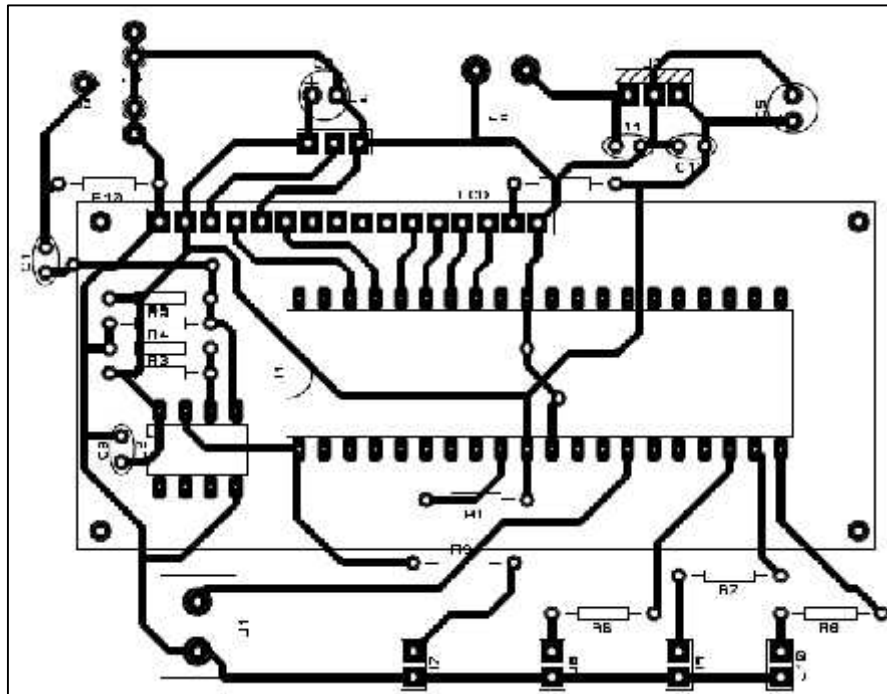


Figura 3.22 Virtualización completa del circuito

3.5.2 Implementación de los elementos en la placa

Una vez realizado el procedimiento de transferir las pistas y el screen a la placa, así como de colobar las borneras correspondientes para sostener los elementos se sueldan los mismos teniendo como resultado la figura 3.23



Figura 3.23 Montaje físico del circuito parcial

Dentro de la distribución virtual el software recomendó que el display vaya encima del integrado para ahorrar espacio, esto se muestra en la figura 3.24



Figura 3.24 Montaje físico del circuito completo

3.5.3 Adaptación de la caja para la placa final

Una vez se sabe la posición real de los elementos culminada la placa, se procede a perforar en la caja de polipropileno los orificios correspondiente para que sobresalgan los leds indicadores, el botón de control, el switch de encendido y apagado, el visualizador y el adaptador de audio.



Figura 3.25 Apertura del orificio rectangular para el display



Figura 3.26 Apertura los orificios para los leds y botón de control



Figura 3.27 Ampliación de los orificios para el ajuste de la placa a la caja



Figura 3.28 Montaje completo del prototipo

En un procedimiento adicional se identifica cada elemento sobresaliente, se usa aerógrafo o stickers.

3.6 Validación del sistema de afinación para guitarras electroacústicas

3.6.1 Pruebas de validación del sistema

En la tabla 3.11 se muestra un checklist donde consta el funcionamiento de las partes más importantes del prototipo:

AFINADOR DE GUITARRAS ELECTROACÚSTICAS				
Acción	Detalle	Funciona		Observación
		Sí	No	
Revisión de la batería	9 voltios	X		
Switch de encendido y apagado	Switch de tipo palanca	X		
Conexión de plug mono al adaptador de audio	Jack sobresale de la caja	X		
Revisión de la batería del ecualizador de la guitarra	Incluida en el instrumento	X		
Revisión del ecualizador de la guitarra	Calibración	X		Tabla 3.9
Revisión de cable y plugs	Sin roturas o desperfectos en los anillos	X		
Comprensión de los mensajes en el LCD	Brillo del LCD y claridad de las letras	X		Se verifica también la resistencia de precisión interna
Presión del selector para cambio de acción	Botón pequeño	X		
Encendido de led verde	Indicador de que el programa empezará su acción	X		Led de brillo mediano (característica)

AFINADOR DE GUITARRAS ELECTROACÚSTICAS				
Acción	Detalle	Funciona		Observación
		Sí	No	
Interacción del led azul	Indica que el programa funciona bien	X		Led de alto brillo (característica)
Encendido del led rojo	Indica nota está baja	X		Led de brillo mediano (característica)
Encendido del led amarillo	Indica nota está alta	X		Led de brillo mediano (característica)
Encendido del led verde	Indica nota está dentro del rango normal	X		Led de brillo mediano (característica)

Tabla 3.11 Pruebas básicas de validación

3.6.2 Pruebas de ingreso del sonido de la primera cuerda desde una guitarra electroacústica Primer

Frecuencia detectada	Opción del Selector	Comparación Rango Error +- 10%	Acción a tomar en la cuerda
248 Hz	Cuerda 1: 329.6 Hz	Fuera del rango	Ajustar
280 Hz	Cuerda 1: 329.6 Hz	Fuera del rango	Ajustar
296 Hz	Cuerda 1: 329.6 Hz	Fuera del rango	Ajustar
320 Hz	Cuerda 1: 329.6 Hz	Dentro del rango	Ninguna
426 Hz	Cuerda 1: 329.6 Hz	Fuera del rango	Desajustar
504 Hz	Cuerda 1: 329.6 Hz	Fuera del rango	Desajustar

Tabla 3.12 Pruebas con la primera cuerda

3.6.3 Pruebas de ingreso del sonido de la segunda cuerda desde una guitarra electroacústica Primer

Frecuencia detectada	Opción del Selector	Comparación Rango Error +- 10%	Acción a tomar en la cuerda
200 Hz	Cuerda 2: 246.9 Hz	Fuera del rango	Ajustar
232 Hz	Cuerda 2: 246.9 Hz	Fuera del rango	Ajustar
240 Hz	Cuerda 2: 246.9 Hz	Dentro del rango	Ninguna
248 Hz	Cuerda 2: 246.9 Hz	Dentro del rango	Ninguna
264 Hz	Cuerda 2: 246.9 Hz	Fuera del rango	Desajustar
272 Hz	Cuerda 2: 246.9 Hz	Fuera del rango	Desajustar

Tabla 3.13 Pruebas con la segunda cuerda

3.6.4 Pruebas de ingreso del sonido de la tercera cuerda desde una guitarra electroacústica Primer

Frecuencia detectada	Opción del Selector	Comparación Rango Error +- 10%	Acción a tomar en la cuerda
136 Hz	Cuerda 3: 196.0 Hz	Fuera del rango	Ajustar
160 Hz	Cuerda 3: 196.0 Hz	Fuera del rango	Ajustar
184 Hz	Cuerda 3: 196.0 Hz	Fuera del rango	Ajustar
192 Hz	Cuerda 3: 196.0 Hz	Dentro del rango	Ninguna
200 Hz	Cuerda 3: 196.0 Hz	Dentro del rango	Ninguna
216 Hz	Cuerda 3: 196.0 Hz	Fuera del rango	Desajustar

Tabla 3.14 Pruebas con la tercera cuerda

3.6.5 Pruebas de ingreso del sonido de la cuarta cuerda desde una guitarra electroacústica Primer

Frecuencia detectada	Opción del Selector	Comparación Rango Error +/- 10%	Acción a tomar en la cuerda
120 Hz	Cuerda 4: 146.8 Hz	Fuera del rango	Ajustar
128 Hz	Cuerda 4: 146.8 Hz	Fuera del rango	Ajustar
136 Hz	Cuerda 4: 146.8 Hz	Fuera del rango	Ajustar
152 Hz	Cuerda 4: 146.8 Hz	Dentro del rango	Ninguna
200 Hz	Cuerda 4: 146.8 Hz	Dentro del rango	Ninguna
245 Hz	Cuerda 4: 146.8 Hz	Fuera del rango	Desajustar

Tabla 3.15 Pruebas con la cuarta cuerda

3.6.6 Pruebas de ingreso del sonido de la quinta cuerda desde una guitarra electroacústica Primer

Frecuencia detectada	Opción del Selector	Comparación Rango Error +/- 10%	Acción a tomar en la cuerda
32 Hz	Cuerda 5: 110.0 Hz	Fuera del rango	Ajustar
72 Hz	Cuerda 5: 110.0 Hz	Fuera del rango	Ajustar
96 Hz	Cuerda 5: 110.0 Hz	Fuera del rango	Ajustar
104 Hz	Cuerda 5: 110.0 Hz	Dentro del rango	Ninguna
112 Hz	Cuerda 5: 110.0 Hz	Dentro del rango	Ninguna

Tabla 3.16 Pruebas con la quinta cuerda

El tipo de material usado para esta cuerda no puede ser exigida para una sexta prueba en donde el resultado arroje una mayor frecuencia.

3.6.7 Pruebas de ingreso del sonido de la sexta cuerda desde una guitarra electroacústica Primer

Frecuencia detectada	Opción del Selector	Comparación Rango Error +- 10%	Acción a tomar en la cuerda
31 Hz	Cuerda 6: 82.4 Hz	Fuera del rango	Ajustar
56 Hz	Cuerda 6: 82.4 Hz	Fuera del rango	Ajustar
64 Hz	Cuerda 6: 82.4 Hz	Fuera del rango	Ajustar
88 Hz	Cuerda 6: 82.4 Hz	Dentro del rango	Ninguna
104 Hz	Cuerda 6: 82.4 Hz	Fuera del rango	Desajustar

Tabla 3.17 Pruebas con la sexta cuerda

El tipo de material usado para esta cuerda no puede ser exigida para una sexta prueba en donde el resultado arroje una mayor frecuencia.

3.6.8 Pruebas de ingreso del sonido de la primera cuerda desde una guitarra electroacústica Primer cuando el selector está en otra opción

Frecuencia detectada	Opción del Selector	Referencia de comparación	Acción a tomar en la cuerda
320 Hz	Cuerda 6: 82.4 Hz	No es muy útil	-
320 Hz	Cuerda 5: 110.0 Hz	No es muy útil	-
320 Hz	Cuerda 4: 146.8 Hz	No es muy útil	-
320 Hz	Cuerda 3: 196.0 Hz	A la mitad del rango normal	Ajustar
320 Hz	Cuerda 2: 246.9 Hz	Cerca del rango	Ajustar

Tabla 3.18 Pruebas especiales con la primera cuerda

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y COSTOS

Introducción:

Este capítulo comprende el análisis de los resultados de las tablas en la sección 3.7 así como también un pequeño presupuesto con los costos del proyecto.

4.1 Análisis de resultados:

4.1.1 Análisis de resultados de las pruebas de validación del sistema

La Tabla 3.11 muestra los resultados obtenidos al comprobar el funcionamiento básico del prototipo.

Entre los parámetros más importantes y que tuvieron calificación positiva están: la verificación del funcionamiento de la batería, la movilidad correcta del switch que enciende y apaga el equipo, la visibilidad de la pantalla LCD, la seguridad de los plug macho y hembra en la guitarra y afinador respectivamente, la correcta selección de cada caso con el botón en el equipo, el encendido de los leds con sus indicaciones respectivas.

En el caso de la visibilidad de la pantalla LCD se debe considerar también el ajuste de la resistencia de precisión al interior del circuito ya que fija un contraste específico. Sin embargo la falta de visibilidad puede ocurrir cuando la batería que alimenta el equipo está con un nivel de voltaje por debajo de lo recomendado.

En cuanto a los leds se debe tomar en cuenta que el de color verde es uno de brillo mediano, esto se debe a su tipo de material.

El led verde se enciende cuando detecta que la cuerda está ajustada dentro del rango, pero también se usa como alerta cuando se empieza a trabajar con cada selección en el sistema.

En cuanto al led azul se puede decir que indica la interacción del sistema, mientras esté en funcionamiento habrá la seguridad que el circuito está cumpliendo con su trabajo. Es el único led de alto brillo, ya que su material es del tipo revestimiento transparente.

Los leds amarillo y rojo cumplen con la función de indicar si se debe bajar o subir el ajuste de la cuerda respectivamente.

Para la Tabla 3.12 intencionalmente se desajustó la primera cuerda hasta un temple no definido, progresivamente y de acuerdo a las indicaciones de pulsado de la cuerda de la Tabla 3.9 se va tomando las muestras de las frecuencias arrojadas mientras se va ajustando manualmente la cuerda.

Se considera a la afinación dentro del rango normal cuando está por encima de los 299.6 hertzios y por debajo de los 362.6 hertzios, es decir el $\pm 10\%$ de 329.6 hertzios.

Para la Tabla 3.13 intencionalmente se desajustó la segunda cuerda hasta un temple no definido, progresivamente y de acuerdo a las indicaciones de pulsado de la cuerda de la Tabla 3.9 se va tomando las muestras de las frecuencias arrojadas mientras se va ajustando manualmente la cuerda. Se considera a la afinación dentro del rango normal cuando está por encima de los 222.2 hertzios y por debajo de los 271.6 hertzios, es decir el $\pm 10\%$ de 246.9 hertzios.

Para la Tabla 3.14 intencionalmente se desajustó la tercera cuerda hasta un temple no definido, progresivamente y de acuerdo a las indicaciones de pulsado de la cuerda de la Tabla 3.9 se va tomando las muestras de las frecuencias arrojadas mientras se va ajustando manualmente la cuerda. Se considera a la afinación dentro del rango normal cuando está por encima de los 176.4 hertzios y por debajo de los 215.6 hertzios, es decir el $\pm 10\%$ de 196 hertzios.

Para la Tabla 3.15 intencionalmente se desajustó la cuarta cuerda hasta un temple no definido, progresivamente y de acuerdo a las indicaciones de pulsado de la cuerda de la Tabla 3.9 se va tomando las muestras de las frecuencias arrojadas mientras se va ajustando manualmente la cuerda. Se considera a la afinación dentro del rango normal cuando está por encima de los 132.1 hertzios y por debajo de los 161.5 hertzios, es decir el $\pm 10\%$ de 146.8 hertzios.

Para la Tabla 3.16 intencionalmente se desajustó la quinta cuerda hasta un temple no definido, progresivamente y de acuerdo a las indicaciones de pulsado de la cuerda de la Tabla 3.9 se va tomando las muestras de las frecuencias arrojadas mientras se va ajustando manualmente la cuerda. Se considera a la afinación dentro del rango normal cuando está por encima de los 99 hertzios y por debajo de los 121 hertzios, es decir el $\pm 10\%$ de 110 hertzios.

Para la Tabla 3.17 intencionalmente se desajustó la sexta cuerda hasta un temple no definido, progresivamente y de acuerdo a las indicaciones de pulsado de la cuerda de la Tabla 3.9 se va tomando las muestras de las frecuencias arrojadas mientras se va ajustando manualmente la cuerda. Se considera a la afinación

dentro del rango normal cuando está por encima de los 74.2 hertzios y por debajo de los 90.6 hertzios, es decir el $\pm 10\%$ de 82.4 hertzios.

Para la Tabla 3.18 se ajustó la primera cuerda a un valor específico cerca de su frecuencia de afinación normal y se fue corroborando los mensajes que muestra el circuito con el selector en otras funciones, es decir, cuerda 2, 3, 4, 5 y 6.

4.2 Matriz FODA del producto

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> - Implementado 100% en Ecuador - Instrucciones de uso amigables para el usuario - Diseño electrónico diferente e innovador en relación a los afinadores convencionales del mercado mundial. 	<ul style="list-style-type: none"> - Posible convenio con la prestigiosa marca de guitarras Primer y su uso exclusivo. - Nueva propuesta para guitarristas y productores que gustan de la comparación de sonidos. - Posible estudio posterior que permita un acople mecánico y así ajustar automáticamente las cuerdas.
DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> - Tamaño mayor al del resto de afinadores del mercado mundial - Mayor número de elementos electrónicos utilizados que un afinador convencional del mercado - Adaptador de audio sensible a agentes externos de ruido. 	<ul style="list-style-type: none"> - Posible mejora del arreglo de elementos electrónicos que reemplacen al método burbuja - La serie de guitarras de la marca Primer reducirá su producción en los años 2015 y 2016 - Influencia negativa en el uso de productos extranjeros.

4.3 Matriz FODA del estudio

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> - Homologación de datos única - Datos extraídos de testimonios reales - Pruebas realizadas con software de simulación y en estudio de audio reales. - Especificaciones de pruebas físicas y comparaciones detalladas al máximo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aporte a la cultura y a la innovación tecnológica en conjunto. - Guía para cualquier músico y productor musical - Guía para personas que gustan de la implementación de circuitos en base a microcontroladores.
DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> - Desconocimiento de las personas vinculadas a la tecnología sobre el tema musical hace que se requiera más socialización. - Desconocimiento de las personas vinculadas a la música sobre el tema electrónico hace que se requiera más socialización. - El estudio no puede ser aplicado para otros instrumentos que no sean guitarras electroacústicas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Posible debate y polémica por ciertos criterios musicales. - Falta de apoyo económico del sector privado o público en Ecuador puede extinguir la investigación futura de estudios más sofisticados y complejos. - Desarrollo tecnológico de la industria mundial en afinadores electrónicos durante los próximos años más sofisticados puede dejar desactualizado al estudio.

4.4 Costos del Proyecto

Ítem	Descripción	Costo
1	Elementos electrónicos y mecánicos del prototipo	\$100
2	Afinadores caseros y estudio profesional para pruebas	\$350
3	Licencias software de simulación de audio para pruebas	\$205
4	Guitarra Primer Electroacústica y accesorios	\$220
5	Movilización para documentación de testimonios reales	\$70
6	Papelería e impresión	\$50
7	Energía utilizada en la Pc de desarrollo del documento	\$50
8	Diseño de los artes para cubrir el prototipo	\$100
TOTAL		\$1145

Tabla 4.1 Costos del proyecto

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Introducción:

Este es el capítulo final del proyecto donde se muestran todas las conclusiones del proyecto así como las recomendaciones del caso

5.1 Conclusiones:

- Se diseñó e implementó un dispositivo electrónico el mismo que se adaptó a las características de una guitarra Primer electroacústica y de esta manera guíe la afinación de sus cuerdas.
- Se elaboró un estudio detallado de manera sintetizada y homologada con información de los sistemas de afinación de cuerdas de la actualidad.
- Se elaboró un estudio donde se diferencia las características del sonido de una guitarra Primer para cada tipo de afinación.
- Se investigó sobre el factor oído absoluto y oído relativo con testimonios reales y se lo relacionó con los sistemas electrónicos de afinación.
- Se encontró un nuevo arreglo de elementos electrónicos útil para la etapa de tratamiento del sonido en el prototipo.
- El método para la afinación correcta es la de una guía electrónica más la del talento del guitarrista.
- Se aprendió el funcionamiento de programas de simulación musical en las pruebas físicas.
- Existe una estrecha relación entre la música y la electrónica ya que cada una necesita de la otra para seguir avanzando.
- Se construyó un prototipo con producción 100% ecuatoriana.

5.2 Recomendaciones:

- Utilizar el estudio con la información homologada para futuros proyectos musicales y electrónicos.
- Continuar con la investigación en el ámbito de la electrónica combinada con la mecánica para lograr obtener el resultado de una afinación automática de las cuerdas en base a servo-motores u otros elementos similares.
- Buscar nuevas formas de interacción entre la música, las telecomunicaciones y la electrónica.
- Referenciar este trabajo de investigación a futuras generaciones en busca de aquellas temáticas que dejan espacio para similares proyectos.

BIBLIOGRAFÍA

- SEARS, Francis, ZEMASNKI, Mark, FREEDMAN, Roger, YOUNG, Hugh, 1996: Física Universitaria Volumen 1 Edición 9, Addison Wesley Logman, México

- MÖSER, Manuel, BARROS, José Luis Barros Ingeniería Acústica: Teoría y Aplicaciones 2012

- REYES, Carlos A.,2008: Microntroladores Programación en BASIC Edición 3, RISPERSGRAF, Ecuador

- JACKSON, Ernie, GUARDIA, Imma, TROPPO, Ma Non, 2008: Manual para tocar la guitarra, RobinBook, Inglaterra

- BOYLESTAD, ROBERT, 2004, PEARSON EDUCACIÓN: INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DE CIRCUITOS, EDICIÓN 10, PRENTICE HALL, MÉXICO

LINKOGRAFÍA

- BRYAN, Gabriel, 2011, Hermes Music S.A., NashVile, USA
http://www.hermes-music.com.mx/pdf_manuales/KORG
- KATO, Seiki, 2014, KORG INC, Tokio, Japon
<http://www.korg.com/Support>
- WIKIPEDIA, Fundación, 2013, Creative Commons 3.0
http://es.wikipedia.org/wiki/Historia_de_la_música
- BIFER, Componentes Electronicos, 2013, Madrid, España
<http://www.bifer.es/361-251-large/adaptador-jack-6-3mm-macho-mono-3-5mm-mono.jpg>
- SACOTO, Arias, Andrés, SANTACRUZ, Pablo, 2010, Quito, Ecuador
<http://www.proyectosantacoto.com>
- WIKIPEDIA, Fundación, 2013, Creative Commons 3.0
http://es.wikipedia.org/wiki/Ac%C3%B1stica_arquitect%C3%B3nica
- CÁRDENAS, Juan, 2012 Wordpress Blog, Buenos Aire, Argentina
<http://www.zonameditacion.com.ar/diapasones/>

ANEXO 1

DataSheet Integrado NTE960

ANEXO 2

DataSheet Integrado LM158-N

ANEXO 3

DataSheet Microcontrolador ATmega164P

ANEXO 4

Extracto de las líneas de programación

