



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN DISEÑO INDUSTRIAL

**DISEÑO DE BAJO ELÉCTRICO CON DISMINUCIÓN DE NOTAS MUERTAS Y
VARIACIÓN, POR SELECCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

TESIS

Que como parte de los requisitos para la obtención del grado
Licenciado en Diseño Industrial

Presenta:

Naoki Sasaguri Yamamoto

Dirigido por:

MDI. Andrés Carbajal Raya

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QUERÉTARO 2021



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Licenciatura en Diseño Industrial



DISEÑO DE BAJO ELÉCTRICO CON DISMINUCIÓN DE NOTAS MUERTAS Y VARIACIÓN, POR SELECCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

TESIS

Que como parte de los requisitos para la obtención del grado
Licenciado en Diseño Industrial

Presenta:

Naoki Sasaguri Yamamoto

Dirigido por:


MDI. Andrés Carbajal Raya

Sinodales:

MDI. Andrés Carbajal Raya
Presidente


Firma


MDI. Jorge Arturo García Pitol
Secretario


Firma

MDI. Froylán Correa Martínez
Vocal


Firma

Dra. Hilda Romero Zepeda
Suplente


Firma

Dra. Leticia Armijo Torres
Suplente


Firma

Centro Universitario
Querétaro, Qro. México

2021

10 de diciembre de 2020

H. Consejo Académico de la Facultad de Ingeniería.

Presente

Por este conducto comunico a ustedes que he revisado la tesis individual titulado "DISEÑO DE BAJO ELÉCTRICO CON DISMINUCIÓN DE VARIABILIDAD Y NOTAS MUERTAS, POR SELECCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN", del alumno Naoki Sasaguri Yamamoto con número de expediente: 262745 de la Licenciatura en Diseño Industrial y una vez habiéndolo encontrado satisfactorio, doy mi voto de aprobado, para que continúe con sus trámites de titulación.

Atentamente



MDI Andrés Carbajal Raya

1 de septiembre de 2020

H. Consejo Académico de la Facultad de Ingeniería.
Presente

Por este conducto comunico a ustedes que he revisado la tesis individual titulado "DISEÑO DE BAJO ELÉCTRICO CON DISMINUCIÓN DE VARIABILIDAD Y NOTAS MUERTAS, POR SELECCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN", del alumno Naoki Sasaguri Yamamoto con número de expediente: 262745 de la Licenciatura en Diseño Industrial y una vez habiéndolo encontrado satisfactorio, doy mi voto de aprobado, para que continúe con sus trámites de titulación.

Atentamente



M. en I. Jorge Arturo García Pitol

Nombre y firma

27 de noviembre de 2020

**H. Consejo Académico de la Facultad de Ingeniería.
Presente**

Por este conducto comunico a ustedes que he revisado la tesis individual titulado "DISEÑO DE BAJO ELÉCTRICO CON DISMINUCIÓN DE VARIABILIDAD Y NOTAS MUERTAS, POR SELECCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN", del alumno Naoki Sasaguri Yamamoto con número de expediente: 262745 de la Licenciatura en Diseño Industrial y una vez habiéndolo encontrado satisfactorio, doy mi voto de aprobado, para que continúe con sus trámites de titulación.

Atentamente



MDI. Froylán Correa Martínez

08 de diciembre de 2020

H. Consejo Académico de la Facultad de Ingeniería.

Presente

Por este conducto comunico a ustedes que he revisado la tesis individual titulado "DISEÑO DE BAJO ELÉCTRICO CON DISMINUCIÓN DE VARIABILIDAD Y NOTAS MUERTAS, POR SELECCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN", del alumno Naoki Sasaguri Yamamoto con número de expediente: 262745 de la Licenciatura en Diseño Industrial y una vez habiéndolo encontrado satisfactorio, doy mi voto de aprobado, para que continúe con sus trámites de titulación.

Atentamente

"Educo en la Verdad y en el Honor"



Dra. Hilda Romero Zepeda (3994)

c.c.p. Archivo

Ciudad de Querétaro a 8 de diciembre de 2020

H. Consejo Académico de la Facultad de Ingeniería.

Presente

Por este conducto comunico a ustedes que he revisado la tesis individual titulado "DISEÑO DE BAJO ELÉCTRICO CON DISMINUCIÓN DE VARIABILIDAD Y NOTAS MUERTAS, POR SELECCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN", del alumno Naoki Sasaguri Yamamoto con número de expediente: 262745 de la Licenciatura en Diseño Industrial y una vez habiéndolo encontrado satisfactorio, doy mi voto de aprobado, para que continúe con sus trámites de titulación.

Atentamente



Dra. Leticia Araceli Armijo Torers

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| I Introducción | 15 |
| II Justificación | 17 |
| 2.1 Descripción del problema | 17 |
| 2.2 Hipótesis | 20 |
| 2.3 Objetivo..... | 20 |
| 2.4 Objetivos particulares | 21 |
| III Antecedentes..... | 22 |
| 3.1 Alteración de materiales | 22 |
| 3.1.1 Aristides | 25 |
| 3.1.2 NS Design | 27 |
| 3.1.3 BassLab Guitars | 29 |
| 3.2 Accesorios | 30 |
| 3.2.1 Fatfingers..... | 30 |
| IV Fundamentación teórica | 33 |
| 4.1 Historia del bajo eléctrico | 33 |
| 4.1.1 Composición del bajo eléctrico | 34 |
| 4.1.2 Bajos eléctricos en el mercado | 37 |
| 4.2 Oscilación | 39 |
| 4.3 Cualidades Del Sonido | 46 |
| 4.3.1 Tono | 46 |
| 4.3.2 Intensidad del sonido | 47 |
| 4.3.3 Timbre..... | 48 |
| 4.3.4 Armónicos..... | 48 |
| 4.3.5 Frecuencia Natural | 52 |
| 4.3.6 Resonancia..... | 53 |
| 4.3.6 Amortiguación..... | 55 |
| 4.3.7 Transmisibilidad..... | 55 |
| 4.3.9 Refracción, Difracción y Reflexión | 56 |
| 4.4 Impedancia acústica..... | 57 |
| 4.5 Material y sus propiedades | 58 |
| 4.6 Sonido en el bajo eléctrico | 61 |
| 4.6.1 Resonancia en un bajo eléctrico | 65 |
| 4.6.2 Notas muertas en un bajo eléctrico | 66 |
| 4.7 Análisis FRF | 72 |

| | |
|--|-----|
| V Marco Metodológico..... | 74 |
| VI Resultados | 76 |
| 6.1 Etapa 1 Información secundaria a revelación..... | 76 |
| 6.2 Etapa 2 Conceptualización..... | 77 |
| 6.2.1 Análisis FRF sobre el diseño..... | 77 |
| 6.3 Análisis 1 DIFERENCIA DE MATERIAL..... | 82 |
| 6.4 Análisis 2 DIFERENCIA DE ESPESOR (25,30 Y 35 mm)..... | 85 |
| 6.5 Análisis 3 DIFERENCIA DE FORMA | 87 |
| 6.6 Análisis 4 DIFERENCIA EN AGREGAR MASA | 90 |
| 6.7 Análisis 5 CAMBIO MATERIAL DEL SOLAMENTE EN EL CUERPO..... | 91 |
| 6.8 Conclusión del análisis..... | 92 |
| VII Validación de modelo | 95 |
| VIII Conclusión | 107 |
| IX Bibliografía | 110 |
| X Anexos..... | 114 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Venova, instrumento de viento casual de Yamaha (Yamaha s.f.)..... | 22 |
| Figura 2 <i>Silent Series</i> , violines eléctricos de Yamaha (Yamaha s.f.) | 23 |
| Figura 3 Sistema SRT de Yamaha en la línea de <i>Silent Series</i> en el modelo <i>SLB300 Silent Bass</i> (Yamaha s.f.). Interpretación propia..... | 25 |
| Figura 4 Explicación de proceso de producción de Arium (Aristides s.f.). Interpretación propia..... | 26 |
| Figura 5 Modelos de instrumentos de NS Design (NS Design s.f.). Interpretación propia..... | 28 |
| Figura 6 Modelo de Bajo de BASSLAB (BassLab 2018)..... | 30 |
| Figura 7 <i>Fatfingers</i> de Fender (Fender s.f.)..... | 31 |
| Figura 8 Componentes de un bajo eléctrico. Modelo de bajo Fender Jazz Bass. Producción propia..... | 35 |
| Figura 9 Mayones Electric Bass Guitar Manual (Mayones 2008). Interpretación propia..... | 37 |
| Figura 10 El movimiento del pistón produce una onda de presión que se propaga alejándose (Rocamora 2006). | 40 |
| Figura 11 Representación de una onda (Hartmann 2013). Interpretación propia..... | 42 |
| Figura 12 Ondas con distinta amplitud (Diaz 2007)..... | 43 |
| Figura 13 Modos de vibraciones (Hartmann 2013). | 50 |
| Figura 14 Armónicos sobre la nota La (A). Elaboración propia..... | 50 |
| Figura 15 Propiedades vibro acústicas de maderas, plásticos y metales (Yoshikawa and Waltham 2014). Interpretación y adaptación propia..... | 58 |
| Figura 16 Características de radiación acústica de maple, abeto, barras de acrílico y aluminio (Yoshikawa and Waltham 2014). Interpretación propia..... | 61 |
| Figura 17 Espectro de armónicos sobre la nota E (Mi) Pouska, A. (s.f.). Interpretación y adaptación propia. | 62 |
| Figura 18 Espectro armónico de la nota A. Los primeros 20 overtones (Courtney 2013). Interpretación propia..... | 64 |
| Figura 19 Amplitud en las notas E y D , bajo 2006 <i>Music Man Sterling Limited Edition</i> (Zevin 2012). Interpretación propia. | 64 |
| Figura 20 Resultado de pruebas de resonancia (Zevin 2012). Interpretación propia.. | 65 |
| Figura 21 Tiempo de vida de señales de cuerdas (Fleischer 1999). Interpretación propia..... | 68 |
| Figura 22 Amortiguación ante distintas frecuencias del nogal y el fresno (Zorič et al. | |

| | |
|---|----|
| 2019). Interpretación propia..... | 70 |
| Figura 23 Action Bass No. 1 reacción sobre la nota E del puente y la cejuela (Fleischer 1999). Interpretación propia..... | 71 |
| Figura 24 Diagrama FRF (Irvine 2000)..... | 72 |
| Figura 25 Formas FRF. Elaboración propia..... | 73 |
| Figura 26 Metodología utilizada para el diseño del bajo eléctrico. Elaboración propia. | 74 |
| Figura 27 Mapa mental de aspectos relevantes para llegar desde la investigación hasta el insight del diseño. Elaboración propia..... | 76 |
| Figura 28 Diseño propuesta de bajo eléctrico. Dimensiones y puntos de fijación. Elaboración propia..... | 78 |
| Figura 29 Solidworks Simulation Armónicos..... | 78 |
| Figura 30 Variable de material, conexiones entre componentes, fijaciones, cargas externas, malla, amortiguamiento y resultados. Interpretación propia. | 79 |
| Figura 31 Fijaciones representadas con flechas verdes..... | 79 |
| Figura 32 Ajuste de limitantes de frecuencias en Solidworks Simulation. De 40 a 400Hz. | 80 |
| Figura 33 Cargas representadas como flechas moradas, ubicadas en la cejuela y puente con una magnitud de 1N..... | 80 |
| Figura 34 Amortiguamiento..... | 80 |
| Figura 35 Magnitud máxima de 2 ms/kg..... | 81 |
| Figura 36 Modo 1 Caoba..... | 84 |
| Figura 37 Modo 1 Maple..... | 84 |
| Figura 38 Modo 1 Acrílico..... | 85 |
| Figura 39 Modo 1 de 25mm..... | 86 |
| Figura 40 Modo 1 de 40mm..... | 86 |
| Figura 41 Modo 1 de 30 mm..... | 87 |
| Figura 42 Figura comparativa del diseño 1 y 2. Diseño 1 ubicado en la sección superior y el número 2 en la sección inferior..... | 88 |
| Figura 43 Modo 1 Diseño 2..... | 89 |
| Figura 44 Modo 1 de instrumento con masa agregado en la cabeza..... | 91 |
| Figura 45 Dibujo de vistas del diseño de mástil propuesto..... | 93 |
| Figura 46 Fotografía del prototipo del mástil de policarbonato ensamblado con el cuerpo del Yamaha trbx 174..... | 94 |
| Figura 47 Ficha técnica de producto hoja Lexan™ MR10 (SABIC Innovative Plastics. s.f.)..... | 95 |

| | |
|---|-----|
| Figura 48 Interfaz digital Focusrite iTrack solo | 96 |
| Figura 49 Boss ME-50B | 96 |
| Figura 50 Configuración física del análisis. | 97 |
| Figura 51 Posición del intérprete. | 98 |
| Figura 52 Yamaha TRBX 174 (YAMAHA s.f.) | 99 |
| Figura 53 Fossil (bajo de fabricación independiente)..... | 99 |
| Figura 54 Sensor piezoeléctrico | 103 |
| Figura 55 Fijación sensor piezoeléctrico | 104 |
| Figura 56 Fijación de medición con sensor piezoeléctrico..... | 104 |
| Figura 57 Posición de ejecución de notas | 105 |

Dirección General de Bibliotecas UNQ

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1 Especificaciones de materiales utilizados para el análisis dinámico de armónicos. | 82 |
| Tabla 2 Tabla de resultados de cambios de material..... | 83 |
| Tabla 3 Resultados de los tres espesores en su primer modo..... | 85 |
| Tabla 4 Resultados de variación de diseño | 89 |
| Tabla 5 Resultados con distribución de masa | 90 |
| Tabla 6 Resultados de cambio de material del cuerpo..... | 91 |
| Tabla 7 Tabla comparativa de los tres bajos analizados, sobre las notas GDAE y las dos notas con menor sostenimiento..... | 101 |
| Tabla 8 Tabla 8 Resultado de análisis con sensor piezoeléctrico de Fossil y diseño propuesta en notas sueltas en afinación estándar y nota muerta | 106 |

Dirección General de Bibliotecas UNQ

ÍNDICE DE FÓRMULAS

| | |
|---|----|
| Fórmula 1 Periodo y frecuencia (T y f)..... | 43 |
| Fórmula 2 Longitud de onda (λ)..... | 43 |
| Fórmula 3 Velocidad de onda (c)..... | 44 |
| Fórmula 4 Velocidad de onda (c)..... | 46 |
| Fórmula 5 Intensidad es proporcional al cuadrado de la amplitud de presión..... | 48 |
| Fórmula 6 Frecuencia..... | 53 |
| Fórmula 7 Velocidad longitudinal por medio del módulo de elasticidad y densidad.... | 59 |
| Fórmula 8 FRF magnitud en velocidad (s/kg)..... | 81 |

Dirección General de Bibliotecas UNQ

I Introducción

El bajo eléctrico es un instrumento rítmico de la familia de los cordófonos. Estos cuentan con sensores que, a diferencia de los instrumentos acústicos, no necesitan una propagación de sonido por medio de una caja acústica. Dicho instrumento ejecuta un rango de frecuencias bajas, entre los 40Hz a los 400Hz con una afinación estándar; aunque esto podría cambiar dependiendo de las dimensiones, número de escalas y afinación.

A lo largo de mi vida, siendo interprete del bajo eléctrico, me percaté de la presencia de notas específicas que tienen una duración de vida menor en comparación con las otras ejecutadas por el mismo instrumento, cuya vida variaba de instrumento en instrumento. Este fenómeno también lo pude corroborar en el Seminario Optativo de Composición Musical que cursé en la Universidad Autónoma de Querétaro, ya que pude observar los registros de frecuencias específicas de forma gráfica por medio de interfaces y programas de edición de audio.

El interés por encontrar soluciones que me permitieran escuchar todas las notas de mis composiciones me motivó a buscar información y, posteriormente, analizar los bajos eléctricos comerciales para resolver el problema que expongo en la presente investigación. Esta propone cambios de materiales del instrumento para lograr aumentar el tiempo de vida de las mencionadas notas llamadas *deadspots* o notas muertas, cuyo sonido es cancelado por la resonancia entre las frecuencias ejecutadas con el instrumento.

La presente investigación muestra una serie de simulación de diseños de bajos

eléctricos propuestos por medio de programas CAE con la finalidad de tener una aproximación del fenómeno de resonancia del cuerpo ante las frecuencias, permitiendo así un rediseño del instrumento en forma y selección de materiales para tener como resultado una menor reacción ante frecuencias para prevenir notas muertas. El rediseño presentado bajo las medidas generadas por los análisis CAE fueron prototipados para generar una serie de mediciones de las frecuencias generadas por el instrumento y su comportamiento con la finalidad de resolver el problema.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

II Justificación

El sostenimiento del sonido es una de las principales cualidades que compone al bajo eléctrico; sin embargo, la presencia de notas específicas con un tiempo de vida reducido termina siendo una molestia tanto para el intérprete como para los compositores, lo que conlleva a la compra de dispositivos o alternativas para la disminución de esta. Es por esto que resulta relevante crear un diseño de un bajo eléctrico con medidas y materiales con características mecánicas específicas para lograr la eliminación de las notas muertas sin la necesidad de buscar alternativas para corregirlas. De esta forma, con un control sobre la transmisión de energía vibratoria, es posible dar solución al problema de las notas muertas.

De la misma manera, al ser la madera un material con propiedades mecánicas desiguales provoca una estandarización pobre de los instrumentos, mismo que se traduce a una variabilidad en el sonido de cada bajo eléctrico a pesar de venderse bajo una misma marca y modelo. A partir de la elección de un material isotrópico, la uniformidad en las propiedades del material permitirá una menor variabilidad en el sonido del instrumento. Esto reflejará una estandarización en el nivel calidad, satisfaciendo así expectativas de los clientes en cuestión del sonido del instrumento, hecho relevante para el ámbito comercial.

2.1 Descripción del problema

“The “sustain”, i.e. the long decay, of the string signal of the solid-body electric bass is commonly considered as a quality attribute.”

(Fleischer & Fastl 1999)

A diferencia de los instrumentos acústicos, que cuentan con una caja acústica que amplifica el sonido, los instrumentos eléctricos (como el bajo) cuentan con un cuerpo sólido. Para un instrumento eléctrico, cualquier transferencia de energía vibratoria generada por las cuerdas es innecesaria; esta misma vibración afecta a las frecuencias generadas por las cuerdas del instrumento (Fleischer 2005).

Un factor fundamental de la diferencia entre bajos eléctricos e instrumentos acústicos es que el puente no debe de ser móvil para transferir vibraciones generadas por la cuerda. Tener un cuerpo sólido evita la propagación de vibraciones de las cuerdas al cuerpo del instrumento (del generador y receptor), lo que proporciona una mayor duración de las vibraciones de las cuerdas, aumentando su sostenimiento. De esta forma, se genera un factor de sostenimiento mayor en los instrumentos eléctricos. Esta propiedad depende de varias cuestiones, tales como la calidad, edad y estado de las cuerdas; así como cuestiones propias del material del cuerpo del instrumento, provocando que, a lo largo del mástil, en trastes específicos, exista una menor vida de una nota

A este fenómeno se le ha designado como presencia de notas muertas. Esta se manifiesta como un sonido con una reducida duración, creando notas específicas sin una de las cualidades relevantes en el sonido de un bajo eléctrico: el sostenimiento. Este fenómeno se debe a las vibraciones internas en el cuerpo sólido del instrumento, causadas por la resonancia. Se puede entender a la resonancia como la transmisión generada en la cuerda ejecutada por el músico, denominada como nota o conjunto de notas (armonías).

El cuerpo sólido utilizado en los instrumentos usualmente está elaborado con maderas de alta densidad que, a diferencia de lo que se puede esperar, no brindan rigidez al cuerpo, sino que lo hacen flexible y vibratorio.

La madera es un material orgánico ortotrópico. Estos se caracterizan por tener propiedades mecánicas y térmicas distintas e independientes en tres direcciones entre sí; es decir, sus propiedades son distintas dependiendo de la dirección y ubicación dentro del cuerpo del material. Al ser un material con propiedades variables, crea como consecuencia una variación entre densidad, resonancia, módulo de elasticidad y frecuencia natural de la madera, a pesar de provenir de un mismo árbol. Todos estos factores son causantes de la variación del sonido entre mismos modelos de instrumentos musicales, a pesar de tener la misma forma, acabado y especie de madera

A. Paté, Le Carrou & Fabre (2014) en su análisis de variabilidad industrial en 17 guitarras eléctricas del mismo modelo, observaron que las guitarras con procesos semi industriales, es decir, procesos en los que interviene mano de obra, cuentan con una diferencia de entre 10 a 14% en el módulo radial de frecuencia y de un 26% a 40% de variabilidad en modal de amortiguación. Estos valores son diez veces más altos que los porcentajes de variabilidad de productos industriales.

Asimismo, se menciona que para expectativas de un cliente se esperaría tener propiedades acústicas idénticas entre los mismos modelos; lo cual no es una realidad, por lo que se genera una línea de productos sin sonidos específicos. Así como el diseño del instrumento, el sonido también debería tener un diseño

bajo lineamientos de tolerancias para ser tomado como un producto industrial.

Ahora bien, no solo la propiedad del material perjudica al instrumento, sino que también intervienen la silueta y forma del instrumento. En primer lugar se pueden considerar si el instrumento se compone de dos piezas o sólo una, así como su respectivo ensamble, el grosor, la longitud, peso; además de sus componentes, que se comportan como nodos inamovibles, estos pueden ser las clavijas, la cejuela y el puente.

En segundo lugar, se encuentra la conductividad. Esta es la causante de la alteración del sostenimiento de vibraciones. Es posible reducirla si la frecuencia está alejada de la resonancia del material; esta última es distinta a la frecuencia natural del material y también se conoce como *eigenfrequency*, aunque no sería posible en este caso, ya que, el instrumento ejecuta un amplio espectro de frecuencias. Finalmente, esta propiedad depende de la elasticidad y forma del material del cuerpo.

2.2 Hipótesis

Mediante análisis CAE y CAD, será posible el diseño de un bajo eléctrico, bajo materiales y dimensiones específicas, con reducción de 10% de variabilidad y disminución de 20% en notas muertas.

2.3 Objetivo

Diseñar un bajo eléctrico con la selección de un material bajo requerimientos para la disminución de un 20% de notas muertas y reducción al 10% en la variabilidad modal de frecuencia, en comparación con los instrumentos eléctricos con material de madera.

2.4 Objetivos particulares

2.4.1 Generar requerimientos específicos sobre las propiedades físicas del material del instrumento y de forma

Por medio de análisis CAE, con el software de Solidworks Simulation, enlistar una serie de requerimientos en cuanto a las propiedades de los materiales y de las dimensiones del instrumento para la obtención de un bajo eléctrico con la reducción de puntos muertos.

2.4.2 Selección de un material

Al tener la lista de requerimientos obtenidos de los análisis CAE, se seleccionará un material que cumpla con ellas, para crear uniformidad en el sonido en cuanto a su sostenimiento.

2.4.3 Creación de prototipo funcional para la evaluación de la propuesta de diseño

La variabilidad y propiedades acústicas del instrumento serán evaluadas para ser comparadas, con el fin de validar el diseño.

III Antecedentes

La revisión y análisis de diversas patentes e instrumentos comerciales permitirá una conceptualización técnica diferente a las versiones convencionales del instrumento. Esto dará la oportunidad de proponer una aproximación del instrumento que mejore su sonido, cambios en materiales, su forma, uso, diseño y ergonomía.

3.1 Alteración de materiales

La sustitución de materiales en instrumentos musicales ya se ha ejecutado por grandes compañías como Yamaha, una empresa que destaca por sus diseños innovadores que rompen con la percepción que se tenía de ciertos instrumentos. Un ejemplo común es el de la flauta¹, un instrumento de viento. Sobre este instrumento se sabe que anteriormente eran fabricadas de distintas especies de madera; no obstante, actualmente es normal ver flautas hechas de polímeros.

Uno de los recientes proyectos de la empresa Yamaha es el Venova. Este es un diseño con reconocimiento del Good Design Award 2017 y es descrito como un instrumento de viento casual.



Figura 1 Venova, instrumento de viento casual de Yamaha (Yamaha s.f.).

Dentro de su descripción, lo califican como un instrumento que imita o se acerca

¹ Tomando en cuenta sus variedades como el soprano, el alto, etc.

al sonido de un saxofón. Este instrumento está dirigido a un mercado fuera del contexto profesional, es más bien para músicos aficionados. Estructuralmente, uno de los beneficios del Venova es la practicidad que aporta el diseño gracias al material. El cuerpo del instrumento es de resina de ABS el cual genera un diseño compacto que permite su fácil transporte y la facilidad de ser ejecutado en cualquier espacio (Yamaha s.f.).

Su proceso de diseño es interesante e importante, ya que se acercaron a un mercado distinto a lo profesional, donde el mismo instrumento crea un mensaje de ello. El proceso de sustitución de material permitió dicho resultado y dentro de ella fue necesario todo un proceso de análisis acústico y físico del instrumento, que incluyó el análisis de dimensiones y formas de las curvaturas.



Figura 2 *Silent Series*, violines eléctricos de Yamaha (Yamaha s.f.).

La misma empresa de Yamaha no se ve limitada a una familia de instrumentos. También ha creado distintas propuestas en instrumentos de cuerda, como la línea *Silent Series* donde, a instrumentos como el chelo, violín, bajo y guitarra, se les proporcionó un diseño y propósito distinto; justo como realizaron en el caso del instrumento de viento Venova (Yamaha s.f.). A los instrumentos de esta

línea se les caracteriza por dar un enfoque hacia la práctica, y transporte del instrumento.

Como deja entrever el nombre de los modelos, estos se caracterizan por tener una reacción acústica baja, la cual los vuelve instrumentos con poca amplitud al ser ejecutados de manera acústica. No obstante, si se desea un mayor volumen, los instrumentos cuentan con un sistema denominado SRT (*Studio Response Technology*) descritos en el modelo de *SLB300 Silent Bass*. Este es un sistema que agrega resonancia simulada del cuerpo a la salida de señal analógica de la pastilla del instrumento para que la técnica de interpretación y los matices del intérprete sean perceptibles, imitando así a un instrumento acústico, pero con componentes eléctricos (Yamaha s.f.).

“El sistema motorizado Yamaha SRT (Studio Response Technology) es una tecnología digital que emplea un análisis de las propiedades acústicas de los instrumentos musicales reales para agregar resonancia corporal de sonido natural en tiempo real a instrumentos como el Silent Bass que no tienen un cuerpo resonante físico.” (Yamaha s.f.)

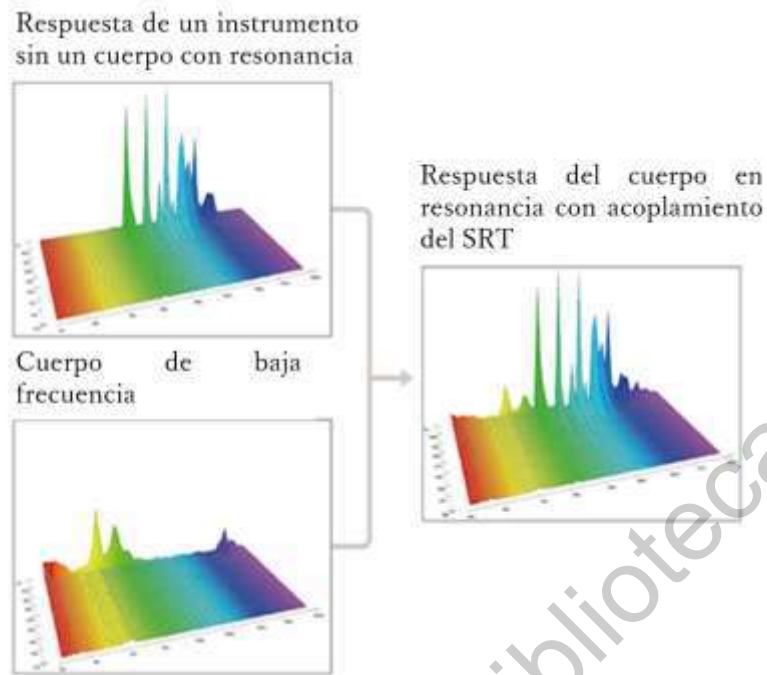


Figura 3 Sistema SRT de Yamaha en la línea de *Silent Series* en el modelo *SLB300 Silent Bass* (Yamaha s.f.). Interpretación propia.

El cuerpo del instrumento no tiene una resonancia comparada con la de los acústicos por el hecho de no tener una caja acústica, así como por la composición del cuerpo y del mástil del instrumento, pese a que se utilizan materiales similares. En el caso del SLB300, se utilizaron distintas especies de madera: el mástil es de maple; el cuerpo, de caoba/abeto; el diapasón, de palo de rosa, y el puente, de maple (Yamaha s.f.).

3.1.1 Aristides

Aristides es una serie de guitarras eléctricas que constan de un material alternativo, con combinaciones de resinas y fibras para un mejor control de tono. Su enfoque partió del comportamiento de las partículas ante reacciones acústicas sobre el material del instrumento. La gran diferencia recae en el material que desarrollaron, este recibe el nombre de Arium y es descrito como un buen

material para tonos. Esto, junto al método de fabricación de una pieza, permite la propagación de ondas en tres dimensiones, mejorando así la resonancia, sostenimiento, claridad y articulación de las guitarras (Aristides s.f.).

Guitarras Arístides desarrollaron una resina con propiedades acústicas específicas y la combinaron con capas de fibras de vidrio y de carbono, como se ve en la figura 4. Para su fabricación, utilizan una especie de exoesqueleto o carcasa de distintas capas de fibra de vidrio y de carbono, proporcionando rigidez y durabilidad al instrumento, pero termina siendo hueca en este paso. Una rigidez alta genera un amplio sostenimiento, pero implica menor calidez, lo que en términos físicos se traduce a resonancia (Aristides s.f.).

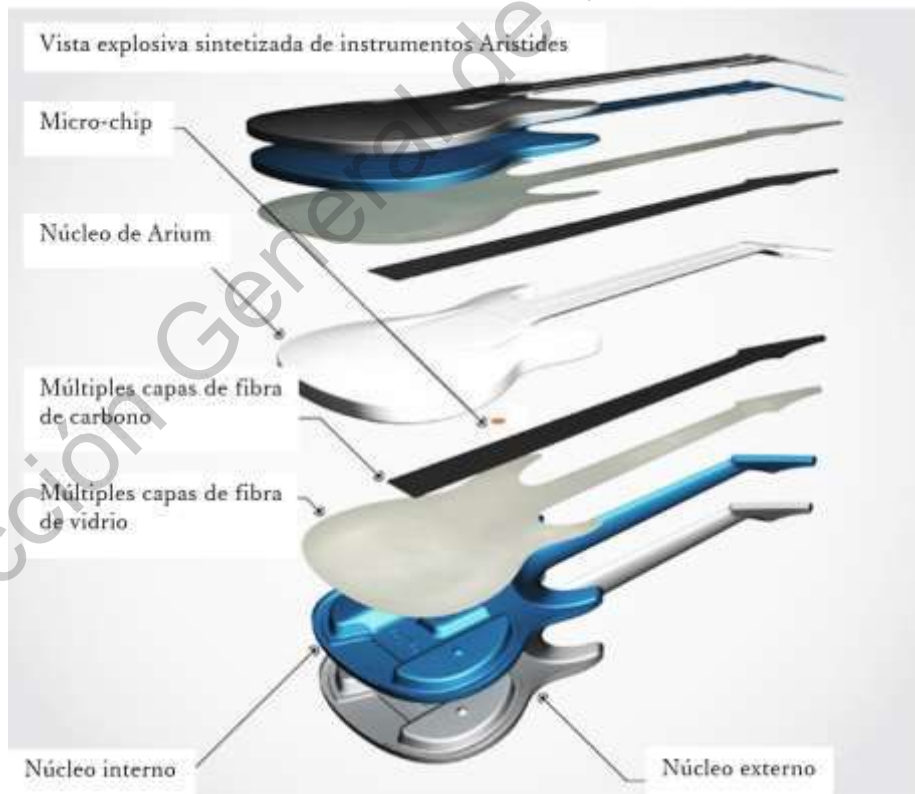


Figura 4 Explicación de proceso de producción de Arium (Aristides s.f.). Interpretación propia.

A la carcasa se le agrega material Arium, siendo una mezcla de resinas y aditivos

con el objetivo de hacerlos ligeros. De esta manera se aseguran de generar una gran cantidad de cámaras de sonido, permitiendo así una libre resonancia en las tres dimensiones del instrumento. Todo el proceso se realiza manualmente, ocasionando que cada instrumento demore horas de trabajo humano (Aristides s.f.).

El elemento a recalcar de este instrumento es el material interno que se le agregó, ya que tiene propiedades isotrópicas que, a diferencia de la madera, crea un instrumento de una pieza, dando propiedades benéficas al sonido del instrumento (Aristides s.f.).

3.1.2 NS Design

Ns Design es una línea de instrumentos musicales, nacida en 1990 y liderada por el diseñador de instrumentos Ned Steinberger. Esta línea ha recibido numerosos premios, incluyendo: “the *coveted Design of the Decade award from the Industrial Designer Society Of America*” (NS Design s.f.) (Industrial Designers Society of America – IDSA).

Los productos elaborados por Ns Design tienen una serie de puntos a destacar que mejoran sus propiedades en el tono de sus instrumentos. El diseñador explica que, desde el comienzo de la fabricación de los instrumentos musicales eléctricos, han sido víctimas de ideas erróneas en cuanto a que esta clase de instrumentos deberían simular a uno acústico (NS Design s.f.). El primer punto a recalcar es que, al igual que en los ejemplos anteriores, Ns Design también considera importante el cambio de material para sus instrumentos. En el caso de esta línea, ellos utilizan grafito (NS Design s.f.).

En segundo lugar, la cabeza del instrumento no es esencial. Esto se debe a que los afinadores tienen un mejor desempeño si son colocados directamente en el cuerpo del instrumento, tal como afirma el diseñador Ned Steinberger (NS Design s.f.). Steinberger menciona que el instrumento debe ser parte del músico y se debe adaptar a la anatomía del ser humano mediante procesos ergonómicos.

Quitar la cabeza del instrumento fue parte del proceso de la aplicación antes mencionada, ya que se encontró que el mástil resultaba muy pesado y esto podía afectar la interpretación. Esto se debe a que el balance entre la cabeza y el mástil del instrumento resulta fundamental. Tener un mástil muy pesado puede provocar que el instrumento apunte hacia el piso, obligando al músico a utilizar su mano de digitación para cargar el instrumento, lo cual resultaría muy pesado para el intérprete.



Figura 5 Modelos de instrumentos de NS Design (NS Design s.f.). Interpretación propia.

En busca de esta ergonomía, lo primero que se propuso fue reducir la masa del mástil para compensar la pérdida de la cabeza, sin perder la cantidad de masa

requerida. Esto evita la resonancia y mantiene la energía ejecutada de las cuerdas sólo en ellas, evitando que se transmita hacia el cuerpo (NS Design s.f.).

El diseñador también afirma que no es realista pensar que la energía oscilatoria se acumula y que regresa a las cuerdas, sino que es una pérdida. Entre mayor densidad tenga el cuerpo, se obtendrá un mejor y puro sonido con mayor sostenimiento, eliminando así irregularidades como notas muertas o sonidos indeseados, teniendo como resultado un sonido limpio y claro. Para esto era necesario crear un diseño rígido con un peso controlado. La solución a este problema fue la utilización del grafito, que es comparable con el maple. Steinberger menciona que al combinar el grafito con resina epóxica se genera un material más rígido y pesado (NS Design s.f.).

Así mismo, en el diseño se incorporó un cuerpo con forma cóncava para la adaptación al torso del músico. Esta forma genera un posicionamiento del instrumento vertical, distinto a la comercial que normalmente implica un posicionamiento horizontal. El cambio de posición que genera menos tensión en la mano de digitación y otorga una posición natural (NS Design s.f.).

3.1.3 BassLab Guitars

Esta empresa afirma que los nuevos materiales se utilizan cada vez más en la industria de la fabricación de instrumentos musicales eléctricos y ellos no son la excepción. Sus instrumentos de una sola pieza utilizan resinas con el refuerzo de carbono para su rigidez y agregan otros a la mezcla para obtener cierto tono. Esta mezcla es llamada "sintonizable", ya que, afirman, puede alterar el tono.



Figura 6 Modelo de Bajo de BASSLAB (BassLab 2018)

BassLab presume del uso de materiales altamente flexibles, utilizando tecnología estándar, inicialmente desarrollada sin conexión a la acústica. Sus guitarras tienen un peso aproximado de 1.8kg y sus bajos superan mínimamente los 2kg (BassLab 2018).

3.2 Accesorios

Existen accesorios para complementar a los mismos instrumentos, utilizados para controlar y mejorar propiedades del sonido de los instrumentos eléctricos.

3.2.1 Fatfingers

Los adaptadores llamados Fatfingers fueron comercializados por la compañía Fender (Fender s.f.). Su propósito es aumentar el sostenimiento de los instrumentos agregando masa extra a la cabeza del instrumento. En su descripción mencionan que, al utilizar este accesorio, incluso las cuerdas tienden

a generar sonidos con mayor amplitud; es decir, con mayor volumen y balance en el tono. La empresa menciona que también evita, por medio de la adaptación de peso, las notas muertas de instrumentos, ya que Fender es conocida por tener varios puntos muertos dentro de sus instrumentos. No se menciona el peso, el material es de acero.



Figura 7 Fatfingers de Fender (Fender s.f.)

Dentro de sus ventajas, la empresa menciona un sostenimiento instantáneo, un tono prolongado y un aumento de la respuesta y la articulación. Incluso, se ha visto que ciertos usuarios comparten soluciones hechas por no profesionales que afirman haber eliminado tonos muertos mediante el mismo fundamento, pero con otro método. En un caso se ve cómo se crean barrenos en la cabeza del instrumento y, posteriormente, se agregan onzas de distintos metales, lo cual es un proceso riesgoso. Al respecto del dispositivo de Fender y de las soluciones ejecutadas por usuarios no hay documentación que compruebe su

funcionalidad, sólo se encuentran textos de experiencias por parte de los consumidores (Fender s.f.).

Dirección General de Bibliotecas UAQ

IV Fundamentación teórica

Para lograr la comprensión del fenómeno a tratar, fue necesaria la recopilación de textos y artículos diversos. Lo mismo fue necesario para entender holísticamente al instrumento con el que se trabajará: el bajo eléctrico. Para esto se revisaron cuestiones históricas, de composición y de comportamiento físico.

4.1 Historia del bajo eléctrico

En la década de 1930, el contrabajo, instrumento musical utilizado en el género jazz, tuvo su auge. Este instrumento se convirtió en la primera opción de los bajistas de jazz, superando incluso el uso de la tuba, que anteriormente tenía el papel del bajo por cuestiones de portabilidad y volumen de sonido. Dicho cambio dio la posibilidad de la expansión de sonidos y técnicas características del contrabajo y bajo como *plucking*, *slapping and bowing*, siendo técnicas que no podría ejecutar con un instrumento de viento-metal como la tuba (Cavalli 2016).

Los contrabajistas de jazz tocan sin amplificación; por ello, la función de percusión del instrumento resultó más importante que la perfecta sintonía entre notas (Schroeder and Coffman 2011). Este instrumento es de carácter acústico, es decir, cuenta con una caja acústica que permite la propagación de las frecuencias ejecutadas por el músico, provocando que el instrumento se caracterice por ser voluminoso. Sin embargo, a pesar del gran tamaño del contrabajo, este no logra un volumen alto en comparación con los instrumentos eléctricos con frecuencias capaces de amplificar el sonido. Asimismo, el contrabajo es un instrumento grande, difícil de transportar y de tocar en tono. Todos estos hechos crearon la voluntad de construir un instrumento más preciso

que pudiera amplificarse y, además, fuera más fácil de transportar (Cavalli 2016).

En resumen, la precisión y practicidad del instrumento eran los puntos de mejora. No obstante, la función se enfocó en la parte rítmica, siendo así la percusión y no la precisión entre notas el área de interés. Esto debido a que el instrumento no llegaba a tener un volumen alto a pesar de su caja acústica, la cual provocaba un diseño voluminoso.

A pesar de la continua creación de prototipos de bajos eléctricos desde 1924 por parte de Lloyd Loar, ingeniero de *Gibson*, fue hasta 1951 que se construyó una línea de bajos eléctricos con éxito comercial y aceptación de los ejecutantes. Dichos instrumentos fueron denominados "*Fender Precision Bass*", fabricados por Leo Fender (Cavalli 2016).

El modelo de *precision bass* comprendía un diseño más compacto, que aportaba mayor ligereza y reducción de dimensiones del instrumento con la misma afinación que con el contrabajo: sol, re, la y mi (GDAE). Este se ejecutaba de manera horizontal y no vertical como el contrabajo. Además, tenía la capacidad de amplificar el sonido, permitiendo que el instrumento fuera escuchado. El bajo tenía una medía de 34 pulgadas, siendo el estándar de un diseño balanceado entre la escala de guitarra eléctrica y el contrabajo (Cavalli 2016).

4.1.1 Composición del bajo eléctrico

El bajo eléctrico consta de distintos componentes de los que depende su funcionamiento. El diseño de estos varía el modelo del instrumento y la empresa fabricante. Comúnmente, un bajo eléctrico estándar cuenta con los componentes

mostrados en la Figura 8 Componentes de un bajo eléctrico. Modelo de bajo Fender Jazz Bass. Producción propia., donde se señala cada parte mediante números, y se acompaña con una tabla que indica los nombres respectivos.



Figura 8 Componentes de un bajo eléctrico. Modelo de bajo Fender Jazz Bass. Producción propia.

El bajo se puede dividir en tres grandes secciones: cabeza, mástil y cuerpo. El mástil consta de una serie de divisores denominados trastes que permiten ejecutar tonos con mayor exactitud. La cantidad de trastes dependerá del modelo del instrumento y de la longitud de este. En las divisiones de trastes, a ciertos modelos se les incorporan marcadores de posición en el tercer, quinto, séptimo, noveno y doceavo traste, con el motivo de generar para el ejecutante una referencia visual sobre la ubicación espacial.

El mástil y la cabeza tienden a ser de un mismo sólido al que se agrega una lámina de madera de alta densidad, como el nogal, siendo esta la superficie visible que tiene integrados los trastes. El mástil en conjunto está en sujeción con el cuerpo del instrumento, que es otro sólido de madera.

Al cuerpo se le adaptan las partes eléctricas del instrumento por medio de cajas cerradas creadas en la madera, donde se pueden ingresar pastillas de mástil o de puente, controladores de las pastillas y conector de salida. Todos los elementos antes mencionados se conectan y sueldan.

Ahora bien, en la parte inferior del cuerpo se encuentra el puente, cuya función es la sujeción de las cuerdas. Este elemento cuenta con la capacidad de ajustamiento de la altura y longitud de las cuerdas; siendo así el responsable de la calidad y sostenimiento del sonido resultante del instrumento.

En el interior del mástil del bajo se encuentra el alma. Esta es una varilla metálica que cuenta con un tornillo de ajuste en un extremo y su función es compensar la tensión generada por las cuerdas del instrumento. De otra forma, esta tensión terminaría por curvar el mástil.

Como menciona el *Electric Bass Manual* de Mayones (Mayones 2008), el correcto ajuste del mástil se logra a partir de una modificación en la tensión del alma que está en el interior del mástil. Para verificar la tensión, es necesario presionar la cuerda en el primer y último traste simultáneamente. Si la tensión es correcta, la altura de la cuerda por encima del octavo traste debe medir aproximadamente 0.5mm. En caso de no tener dicha medida, el ajuste deberá

ser ejecutado por medio del tornillo de ajuste, el cual normalmente se encuentra en la unión entre el cuerpo y el mástil o en la cabeza del mástil (Mayones 2008).

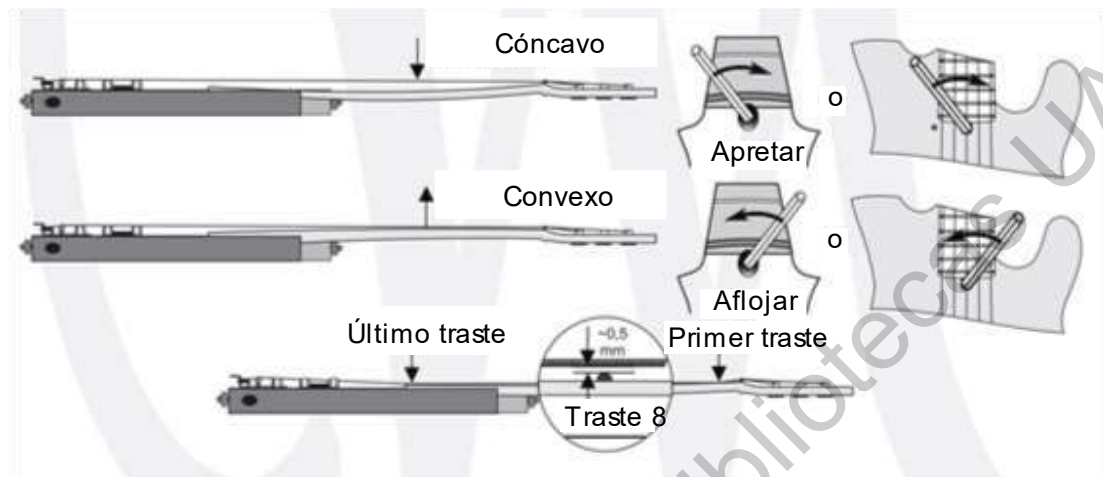


Figura 9 Mayones Electric Bass Guitar Manual (Mayones 2008). Interpretación propia.

En la Figura 9 Mayones Electric Bass Guitar Manual (Mayones 2008). se observan gráficamente las posibles ubicaciones del tornillo de ajuste. Asimismo, se representa al instrumento en caso de tener un poco tensión o rebasar lo deseado. Dependiendo del giro del tornillo de ajuste se puede tensar o destensar, permitiendo al mástil del instrumento comportarse como un cuerpo convexo o cóncavo (Mayones 2008).

4.1.2 Bajos eléctricos en el mercado

Actualmente existe una extensa lista de productores de bajos eléctricos que se puede dividir en tres grandes grupos. El primero se refiere a los productores industriales y plenamente comerciales, con una fabricación en masa. El segundo, a los fabricantes de instrumentos limitados. Y, finalmente, el tercero corresponde a los fabricantes de bajos eléctricos personalizables.

Entre las empresas más grandes se encuentran Fender, Gibson, Ibanez, Warwick, Yamaha, Schecter y entre otros. En precios existe una variedad amplia, esta puede ir de los 2,400 pesos mexicanos, teniendo el ejemplo el Jendrix Teb-001bk, hasta los 40,000 pesos, como el Ibáñez Btb705dx-tkf, por mencionar algunos ejemplos. No obstante, también existen instrumentos de colección que rebasan los 100,000 dólares.

Los bajos eléctricos hacen uso de cuerpos sólidos y no de cajas acústicas. El propósito de esto es minimizar la retroalimentación acústica a través del cuerpo y las cuerdas a las pastillas. Dado que no es necesario propagar el sonido de manera mecánica, los amplificadores y bocinas procesan la señal enviada por las pastillas, convirtiéndolas en frecuencias acústicas (Fleischer 2005).

Los cuerpos sólidos son, en su mayoría, fabricados por maderas sólidas, también conocidas como *Tonewood*. Dentro de los instrumentos comerciales se hace uso de maderas como maple, ébano, nogal, padauk y palo de rosa, que comparten la característica de ser de alta densidad o duras, produciendo un sonido más brillante. Ciertas maderas de menor densidad, como aliso, ceniza de pantano y tilo, son utilizadas para el cuerpo del instrumento, generando un sonido cálido por su alta resonancia (Pouska s.f.).

Dentro de los instrumentos en venta existen dos tipos de bajos eléctricos: pasivos y activos. La diferencia en las pastillas utilizadas; las activas necesitan una fuente de alimentación, siendo esta una batería que se tiene que cambiar constantemente. Las primeras pastillas que se usaron en los bajos fueron pasivas. Estas se caracterizan por tener un tono cálido, completo, redondo y

dinámico; mientras que las activas tienen un sonido más fuerte (Pouska s.f.).

En las pastillas pasivas, el control que se tiene es únicamente en el corte (limitar) de frecuencias bajas y altas (treble). Esto se logra a través del uso de magnetos que captan más sonido e interferencia que las pastillas activas. En caso de las activas se utiliza un preamplificador, alimentado por baterías de 9 volts², lo que permite la modificación del corte y la amplificación de las frecuencias; aportando así un mayor control sobre la frecuencia captada por las pastillas.

4.2 Oscilación

Para la comprensión de la acústica y el funcionamiento de los instrumentos musicales, es necesaria la explicación de un concepto fundamental de lo que es el sonido. Como inicio, sería necesario comprender qué es el sonido.

Los sonidos perceptibles por los humanos son denominados ondas sonoras. La percepción del oído humano está limitada a un rango de frecuencias entre los 20 Hz y los 20,000 Hz (Hartmann 2013); esto, en comparación con otros seres vivos, es un rango bastante reducido.

Las ondas sonoras que se describieron anteriormente se caracterizan por ser elásticas; es decir, son capaces de producir y viajar a través de un medio líquido, gaseoso o sólido, que presente la misma propiedad elástica. Las ondas necesitan un medio por el cual transportarse para llegar a nuestros oídos y ser percibidos. Por dicha razón, es nula la detección de sonidos en el espacio, donde no existe un ambiente gaseoso como se tiene normalmente en la tierra. La onda

² La cantidad de baterías dependerá del sistema que tenga el instrumento.

sonora, al viajar por el medio elástico, provoca una alteración de presión en las partículas, el cual tiende a equilibrarse. Además de la presión, también provoca una depresión que se desplaza en el mismo sentido de la presión, siendo este el método de propagación de las ondas sonoras (Diaz 2007).

En la Figura 10 El movimiento del pistón produce una onda de presión que se propaga alejándose (Rocamora 2006), se muestra gráficamente el movimiento de las partículas encerradas en un tubo sellado. En el tubo superior se muestran las partículas con una presión regular equilibrada. Al mover el pistón, este comprime las moléculas vecinas a él, pero tiende a equilibrarse, creando el movimiento a la dirección en la cual se movió el pistón hacia lo largo del tubo. De la misma manera, cuando el pistón se retira, se crea una disminución de presión o depresión; lo que lo desplaza en el mismo sentido y con la misma velocidad de propagación (c).

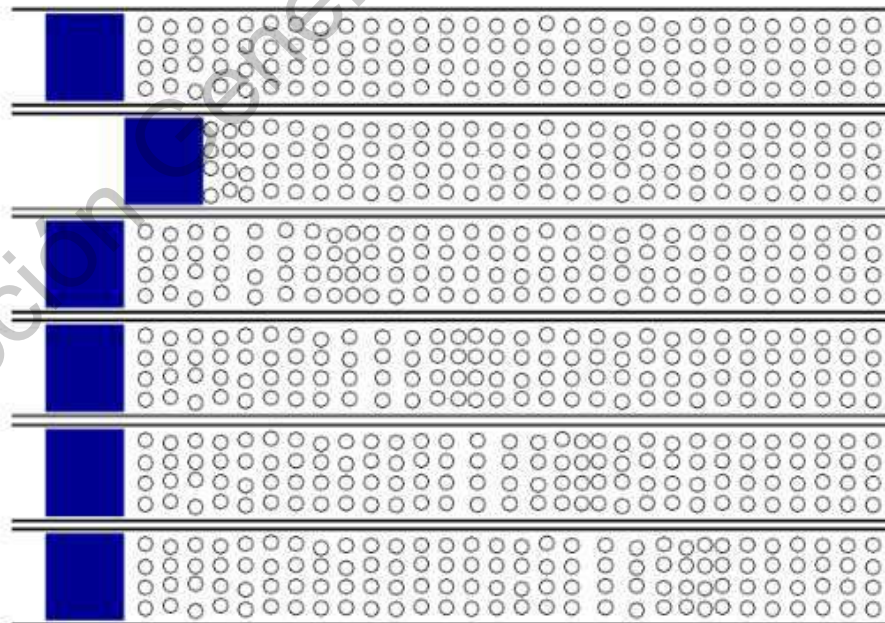


Figura 10 El movimiento del pistón produce una onda de presión que se propaga alejándose (Rocamora 2006).

El desplazamiento es propio de la onda y no de la masa del aire.

Dentro de las ondas elásticas existen dos tipos: las transversales y las longitudinales. El desplazamiento de partículas en las ondas transversales es perpendicular a la dirección de la propagación; mientras que en las longitudinales es paralelo. Partiendo de la aseveración anterior, se puede decir que las ondas sonoras son de carácter longitudinal; ya que, como se analizó anteriormente con la presión de partículas en un tubo, se desplazan de su posición de equilibrio hacia la dirección de propagación la onda sonora.

Una partícula en su estado natural, sin un cuerpo o energía que interfiera con su estado, se encuentra en una posición estable y neutral. Al cambiar este estado debido a una alteración de presión que aumenta y disminuye, la partícula adquiere un movimiento de vaivén; es decir, al desplazarse hacia un sentido, se transporta también hacia la posición contraria en referencia a su posición de equilibrio con la misma intensidad. Dicho movimiento mencionado se le conoce como el movimiento oscilatorio o vibratorio.

Los sonidos normalmente no son producto de una única perturbación del ambiente, son múltiples, sucesivos y periódicos. Esto quiere decir que una onda se compone de múltiples oscilaciones: un movimiento de partícula de forma periódica.

Una representación del sonido es el oscilograma, donde se aprecia la alteración de presión sobre una línea de tiempo.

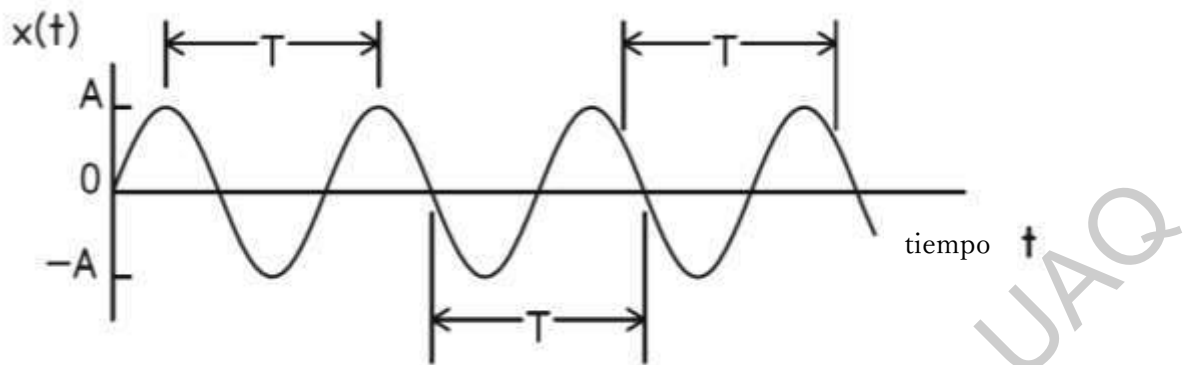


Figura 11 Representación de una onda (Hartmann 2013). Interpretación propia.

En la Figura 11 Representación de una onda, se muestra el desplazamiento que crean las partículas elásticas afectadas por el cambio de presión. Esta oscilación tiene una amplitud de onda, entendida como la distancia máxima desde el eje central a diferencia del punto de elongación, siendo cualquier ubicación en la onda comparada con el eje. El punto máximo de amplitud en la parte superior de la onda se denomina cresta, siendo esta inversamente proporcional a la amplitud inferior, denominada valle.

A la oscilación completa, de valle a valle o de cresta a cresta, se le conoce como ciclo. La onda, al crear su movimiento de oscilación, tiene puntos específicos en los que cruza el eje central; dicha ubicación es conocida como nodo.

Una vez explicadas las partes de una onda, se presentan los siguientes términos. Existe un transcurso de tiempo en el que la onda crea una oscilación, es decir, un ciclo completo; a este se le denomina como periodo (T) y se mide en unidades de tiempo. Al número de ciclos que puede ejecutar la onda en un segundo se le llama frecuencia (f) y su medida es de ciclos por segundo o Hertz (Hz). Con esto, se entiende que el periodo es el inverso de la frecuencia.

$$T = \frac{1}{f} \quad \text{o} \quad f = \frac{1}{T}$$

Fórmula 1 Periodo y frecuencia (T y f).

La longitud de onda se define como la distancia que recorre en una dirección la onda en un periodo determinado, o como la distancia entre perturbaciones. Esta se mide con unidades de longitud.

La longitud de onda del sonido se relaciona con barreras u obstáculos que atraviesa las ondas. Si la longitud es mayor de un obstáculo, el sonido no tendría ninguna afectación; en cambio, si la longitud de onda es menor, el sonido se debilita o puede desviarse (Diaz 2007).

Al tener una mayor frecuencia, se tiene una menor longitud de onda. De la misma manera, una baja frecuencia tiene una mayor longitud de onda.

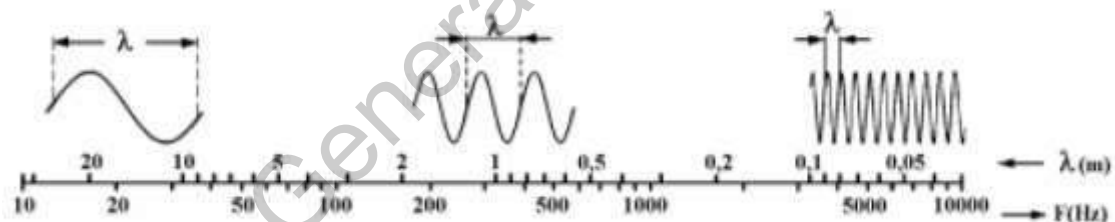


Figura 12 Ondas con distinta amplitud (Diaz 2007).

El periodo (T) es el tiempo necesario para completar un ciclo y la longitud de onda (λ) es la distancia que se recorre en un periodo. (c) es la velocidad de propagación del sonido.

$$\lambda = c * T \quad \text{o} \quad \lambda = c/f$$

Fórmula 2 Longitud de onda (λ).

La velocidad de onda (c) es el cociente de la distancia recorrida y su tiempo

recorrido.

$$c = \frac{T}{\lambda} \quad \text{o} \quad c = \lambda * f$$

Fórmula 3 Velocidad de onda (c).

El rango audible para el humano se encuentra entre los 20Hz y los 20 kHz. Tomando en cuenta la ecuación anterior, la longitud de onda de dicho rango es desde 1,7 cm a 17 m (Rocamora 2006).

Una alta frecuencia se comprende de una longitud de onda menor con mayores oscilaciones de onda por segundo; mientras que las bajas se comprenden por una menor cantidad de ciclos por segundo. La variación de la amplitud de onda provoca una mayor presión en el ambiente, traduciéndose a sonidos más fuertes.

Las fuentes sonoras son los objetos que producen vibraciones u oscilaciones, tales como las cuerdas de los instrumentos musicales de cuerda. Como se mencionó anteriormente, la transmisión de dichas vibraciones manifestadas como sonido necesita de un medio material para tener la capacidad de propagarse; de esto que en un ambiente vacío sea imposible la transmisión. Dicha transmisión no es de carácter instantáneo, ya que existe un retraso de la percepción del fenómeno en función a la distancia. A mayor distancia, el retardo es proporcional, determinando que la velocidad de propagación es de carácter finito.

Al existir una velocidad de movimiento de partículas, también existe una aceleración. Esta se representa mediante la unidad m/s^2 .

Ahora bien, las oscilaciones suelen ser provocadas por fuentes sonoras. Al

movimiento generado cuando un cuerpo recibe una sola fuerza y provoca un inicio de oscilación, se le nombra oscilación libre. Este movimiento, al no ser interrumpido ni perturbado, seguiría su oscilación sin detenerse; no obstante, en la naturaleza esto no sucede, ya que existe la fricción dentro del proceso, amortiguando y deteniendo el movimiento gradualmente. Al ser amortiguada, esta oscilación ya no sería libre, sino amortiguada. Dentro del oscilograma este fenómeno se refleja mediante la disminución periódica de la onda.

La oscilación autosostenida se caracteriza por tener un ataque y un fin; además, cuenta con una aplicación de fuerza en su intermedio. Esto se ejemplifica en las cuerdas de instrumentos de cuerda al introducir energía antes del final natural de la vibración anterior; también se presenta en casos como frotamiento de cuerda.

Ahora, a la acción de aplicar una fuerza con distinta frecuencia a la del sistema de forma periódica, se le denomina oscilación forzada. Esto sucede cuando el generador de la frecuencia es igual a la del resonador, provocando la ocurrencia de una resonancia. Entre mayor sea la diferencia, menor amplitud tendrá el resonador; al contrario, si la diferencia es menor, la amplitud será más alta.

El fenómeno descrito en el párrafo anterior determina el timbre del instrumento, debido a que no todas las notas se ejecutan de la misma manera. Hay ciertas frecuencias que se favorecen por coincidir entre el generador y el resonador de frecuencia. A la frecuencia de resonancia de un cuerpo se le conoce como frecuencia natural (*eigenfrequency*).

Finalmente, el medio en el que viaja la onda es relevante para la transferencia. El aire, que se caracteriza por crear una apropiación lineal, permite la propagación de distintas frecuencias en un mismo espacio sin afectarse entre sí. El medio en sí no es dispersivo, por lo que velocidad de propagación de onda depende de la propiedad elástica del mismo medio. Cualquier frecuencia, sin depender de su amplitud, viajará a la misma velocidad y será de carácter homogéneo; asimismo, la propagación tendrá la misma intensidad en todas las direcciones. Aunado a lo anterior y como se mencionó anteriormente, la velocidad de propagación depende del medio en el que la onda viaja; en dicho caso, esta sólo dependerá de la temperatura del ambiente, considerando que (t) es la temperatura ambiental y (c) la velocidad (Rocamora M. 2006)

$$c = 332 \sqrt{1 + \left(\frac{t}{273}\right)}$$

Fórmula 4 Velocidad de onda (c).

4.3 Cualidades Del Sonido

Una vez explicado el comportamiento físico del sonido, es necesario aclarar ciertos hay términos característicos correspondientes a la ejecución de instrumentos; ya que es común la utilización de estos sin su total comprensión por parte de los músicos e instrumentistas.

4.3.1 Tono

El tono es un concepto relevante para la música. Se refiere a la frecuencia con la que oscilan las partículas en el medio de propagación. Como se explicó anteriormente, a mayores frecuencias se percibe un sonido agudo y, de la misma

manera, al bajar la frecuencia disminuye el tono a uno bajo. Esta es la base de la melodía en el ámbito musical. Sin ella, la música solo podría consistir en ritmo y amplitud (Hartmann 2013).

El principal correlato físico de la sensación psicológica del tono es la propiedad física de la frecuencia. Esto se refiere a que la percepción del tono permite diferenciar sonidos a lo largo de una escala de frecuencia entre los 100 a 10KHz. El oído humano puede discriminar el tono en 2000 distintas frecuencias (Hartmann 2013).

Los sonidos graves entran en un rango de los 20 a 256 Hz; los sonidos medios, de 256 a 2.000 Hz y los agudos, de 2.000 a 16.000 Hz (Isaza 2010). El cambio de frecuencia no altera ni la intensidad ni la velocidad de propagación del sonido; simplemente comprende un cambio de tono (Isaza 2010).

4.3.2 Intensidad del sonido

Las vibraciones propias del sonido tienen presión, energía, intensidad y potencia.

El sonido viaja sobre un medio desde el cuerpo emisor de la frecuencia. La potencia (P) en la frecuencia se extiende sobre este medio y, dependiendo de la cantidad de potencia concentrada en un área reducida, el sonido se consideraría fuerte o alto. Este concepto hace referencia a la intensidad del sonido. La dimensión física de la intensidad (I) es la potencia (watts) por unidad de área (m^2) (Hartmann 2013). La intensidad es proporcional al cuadrado de la amplitud de la presión:

$$I / A^2$$

Fórmula 5 Intensidad es proporcional al cuadrado de la amplitud de presión.

Existe una cualidad de nuestro oído que permite percibir la presión sonora. Esta es medida en belios (B), aunque comúnmente se maneja en decibelios (dB) (TUSA 2006).

4.3.3 Timbre

El timbre es la cualidad que tiene cada instrumento. Este nos permite reconocer a cada instrumento sobre una misma nota; en otras palabras, es la cualidad que nos permite reconocer entre un violín y una trompeta, a pesar de que ambos instrumentos toquen la misma nota y octava. Esto se debe a los armónicos que acompañan la onda fundamental.

Los armónicos son múltiplos de la frecuencia fundamental. En el ámbito musical, son conocidos como octavas e incluso se encuentran quintas y terciarias. Para un tono complejo, la frecuencia fundamental determina el tono y la amplitud de sus componentes (armónicos) determinan el timbre del sonido. Los armónicos de alta frecuencia con grandes amplitudes conducen a un color de tono brillante (Hartmann 2013).

4.3.4 Armónicos

Los armónicos se definen como la sucesión de frecuencias, las cuales son múltiplos de la frecuencia base; es decir, la frecuencia fundamental. Dos frecuencias que son múltiplos entre sí, son consideradas armónicos (Courtney 2013).

Los distintos modos que ejecuta una cuerda al vibrar se difunden hacia el cuerpo del instrumento, creando distintos armónicos al tono. El primero, que es el fundamental (el de la frecuencia más baja), el segundo, que es el segundo armónico y así sucesivamente, siendo cada armónico un múltiplo del fundamental (Hartmann 2013).

Las cuerdas de un instrumento de cuerda tienen dos puntos fijos a los extremos: el puente y la cejuela. La onda es reflejada desde ambas terminales. Las ondas deben ser ondas que satisfagan condiciones límite; esto se refiere a que las longitudes de onda de las vibraciones permitidas deben encajar en la cuerda (Hartmann 2013). La longitud de onda es el doble de la longitud de la cuerda, de modo que media onda se ajusta perfectamente a la cuerda. Así, si la cuerda tiene una longitud (L) de 65 cm de largo, la longitud de onda será de 130 cm o 1: 3 m. Esta es la longitud de onda más larga que cabe en la cadena.

Este patrón de vibración de la cuerda es el primer modo. Dicho ejemplo se muestra en la Figura 13 Modos de vibraciones (Hartmann 2013). El segundo modo de la vibración, que corresponde al segundo armónico, dependerá de la distancia de la mitad de la longitud de la cuerda; mientras que el tercer armónico contará con dos nodos intermedios (Hartmann 2013).

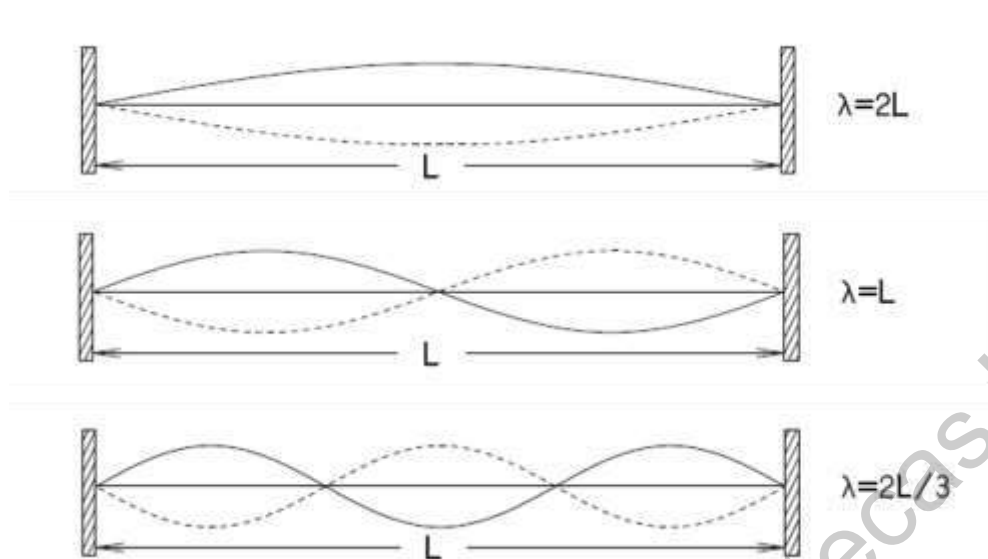


Figura 13 Modos de vibraciones (Hartmann 2013).

Para poner un ejemplo, veamos lo que ocurre en un bajo eléctrico al ejecutar la tercera cuerda. Esta corresponde a la nota La (A) y tiene una frecuencia de 55Hz. Al manifestarse, se percibe el sonido, mas no solamente el de la frecuencia natural, sino que se crean oscilaciones de los Hz múltiplos a los 55Hz, con vibraciones de 110, 165, 220 y así sucesivamente. Específicamente, el bajo eléctrico alcanza un total aproximado de 20 armónicos (Courtney 2013).

A continuación, se muestra una serie armónica, siendo esta la sucesión de armónicos que se produce a partir de una frecuencia fundamental.

| Armónicos | Frecuencia | Proporción | Nota |
|-------------|------------|------------|---------------------|
| Fundamental | 110 Hz | -- | A ₂ (la) |
| Armónico 1 | 220 Hz | 2:1 | A ₃ (la) |
| Armónico 2 | 330 Hz | 3:2 | E ₄ (mi) |
| Armónico 3 | 440 Hz | 2:1 | A ₄ (la) |
| Armónico 4 | 550 Hz | 5:4 | C#(do) |
| Armónico 5 | 660 Hz | 3:2 | E ₅ (mi) |

Figura 14 Armónicos sobre la nota La (A). Elaboración propia.

La frecuencia fundamental y todos los sucesivos serían los armónicos de la nota. En este ejemplo se muestran 6 armónicos. La fundamental se encuentra en los 110 Hz, correspondiendo a la nota La (A) que, siguiendo la sucesión, continúa con el primer armónico (*overtone*) con una frecuencia de 220 Hz. En este punto se aprecia que la oscilación se parte en dos, con un nodo exactamente en el centro, y es inmóvil. Esta frecuencia también es la nota La (A), pero una octava arriba, lo que indica que es más aguda.

Ahora bien, hay que tomar en cuenta que no es que solamente suene una sola nota en el segundo armónico, ya que es la combinación de la frecuencia 110 y de 220 Hz. Esto sucede con los siguientes armónicos, pero no necesariamente significa que siempre suba una sola octava sobre la misma nota de La. Como se pudo observar, entre estos armónicos se presentaron notas como quintas y terceras.

Siguiendo con lo anterior, el primer armónico sí cumple con la misma nota (La), pero en el segundo *overtone* vemos que la nota salta a Mi (E), que es la quinta nota en la sucesión de notas si se comienza por la nota La (A). En el tercer armónico vuelve a ser una octava mayor de La y en el cuarto armónico se presenta un Do sostenido (C#). Esta última nota es la tercera nota de la sucesión comenzando por La.

Finalmente, cabe mencionar que esta tabla no muestra la base de la Triada mayor, con la nota fundamental, una quinta justa y una tercera mayor.

En vibraciones de cuerda de instrumentos sucede este fenómeno: en la cuarta

cuerda suelta se encuentra la nota Mi (E) y, al presionar justo en el punto medio de la longitud de esta, se encuentra también la nota mi pero una octava más alta.

4.3.5 Frecuencia Natural

Todo cuerpo físico tiene una frecuencia natural. Esta se refiere a las frecuencias a las que la estructura sólida va a reaccionar en forma de vibración cuando sea sometido a fuerzas externas. La frecuencia natural depende de sus propiedades físicas de la estructura, como masa, rigidez, dimensiones, dirección de la oscilación de la fuerza de vibración y la altura o largo del objeto. Además, es muy importante considerar la inercia y las propiedades elásticas de la estructura en cuestión.

Aunado a lo anterior, hay que mencionar que todo cuerpo tiene múltiples frecuencias naturales. Además, si estos son sometidos a fuerzas externas, pueden crear resonancia, donde los objetos de mayor altura reaccionan ante frecuencias bajas. De la misma manera, las estructuras pequeñas reaccionarán, ante frecuencias altas (Hartmann 2013).

Es importante mencionar que dentro de una estructura existen múltiples grados de libertad (MDOF) y de vibración. En general, es complejo predecir su comportamiento, ya que la estructura vibrará de distintas formas dependiendo de cada frecuencia natural que tenga. Este movimiento particular es denominado *mode shape*.

Un modo se describe por sus propiedades:

1. Frecuencia: es lo más importante, un modo tiene una frecuencia específica.

La frecuencia se obtiene por la siguiente fórmula.

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{s/m}$$

Fórmula 6 Frecuencia.

S es la rigidez, medida en unidades de Newton por metro, m es la cantidad de masa en kilogramos (Hartmann 2013).

2. Forma: un modo de vibración tiene una forma.
3. Amplitud: una gran cantidad de energía en un modo se traduce a una vibración de alta amplitud, se traduce como cuánta acción hay en el modo.

Un sistema de dos masas se compone dos modos de vibración, lo que significa que hay dos frecuencias naturales separadas y distintas para este sistema: una para cada modo. Las dos masas pueden moverse una contra la otra (Hartmann 2013).

4.3.6 Resonancia

La resonancia es el fenómeno en donde la energía oscilatoria es transmitida a una estructura y provoca una vibración en su frecuencia natural. Cuando se logra la resonancia en una estructura a su frecuencia natural, esta provoca una fuerte respuesta vibratoria. Esta se puede interpretar como una sincronización de la energía transmitida al cuerpo físico (TUSA 2006).

La resonancia ocurre entre dos sistemas físicos: un sistema impulsado y un sistema de conducción. En una guitarra acústica, el sistema de conducción es una cuerda vibrante y el sistema impulsado es el cuerpo de la guitarra. El cuerpo

de la guitarra vibra porque la energía se alimenta de la cuerda, la cual esparce el sonido al llegar al cuerpo del instrumento. La resonancia se produce cuando el sistema de conducción intenta conducir el sistema accionado a una de estas frecuencias especiales y el cuerpo comienza a vibrar (Hartmann 2013).

Cuando la frecuencia del cuerpo emisor coincide con la frecuencia natural del cuerpo receptor, existe una fuerte reacción del cuerpo, muy semejante a la resonancia perfecta (TUSA 2006).

Un claro ejemplo de lo anterior es cuando una copa de cristal se ve fracturada al ser sometida a frecuencias, en este caso por un canto con frecuencia constante. La frecuencia del canto se transmite hacia el cristal, creando una resonancia que provoca la fractura debido a la frecuencia natural de la copa y a la constante frecuencia, que se traduce a un aumento de amplitud de onda. Al coincidir esta última con la frecuencia transmitida, provoca una mayor respuesta de forma de oscilaciones, la cual llega a su límite y lleva a la ruptura de la copa. La resonancia también se produce si una frecuencia es múltiplo de ella.

Ahora bien, a pesar de tener una frecuencia cercana o equivalente a la frecuencia natural del cuerpo, la transmisión de la energía oscilatoria puede ser nula si la excitación sucede en un nodo. Esto se debe a que, como se mencionó, no existe ningún movimiento en un nodo (Diaz 2007).

Como ejemplifica SIEMENS (2019), la guitarra es un buen ejemplo de cómo el cambio de masa y rigidez de un sistema afecta a la frecuencia natural. Las cuerdas de la guitarra tienen diferentes grosores o calibres; las que tienen mayor

calibre generan frecuencias bajas y, de la misma manera, las de bajo calibre generan altas frecuencias. Si la masa del instrumento incrementa, la frecuencia natural disminuye. También hay que contemplar la tensión de la cuerda, que se traduce como rigidez: al aumentar la tensión se provoca una frecuencia natural de mayor Hz. A medida que la masa de las cuerdas aumenta, su frecuencia natural disminuye.

4.3.6 Amortiguación

La amortiguación es la forma en que un sistema disipa naturalmente la energía. Las vibraciones de un sistema mecánico libre real están amortiguadas por fuerzas de fricción, incluida la resistencia al aire. La amplitud de tales sistemas no es constante, pero disminuye gradualmente con el tiempo (Hartmann 2013).

Las estructuras en el mundo real son más complejas y tienen múltiples grados de libertad "MDOF" (SIEMENS 2019). Como resultado, las estructuras del mundo real tienen muchas frecuencias naturales. La estructura vibra de manera diferente en cada una de estas frecuencias. La forma en que se mueve una frecuencia particular se llama forma de modo (SIEMENS 2019).

4.3.7 Transmisibilidad

Los sonidos de alta frecuencia son efectivamente reflejados o absorbidos por las paredes, pero los sonidos de baja frecuencia tienden a transmitirse (Hartmann 2013).

La transmisión de sonido a un cuerpo receptor no se logra por una ruta de línea recta. La transmisibilidad (T) es definida como el radio de la fuerza transmitida.

Esta puede ser medida por medio de la Teoría de transmisibilidad, que permite estimar la resonancia crítica para poder prevenirla o evitarla. El aumento de masa es la mejor manera de evitar la transmisión por vibración (Hartmann 2013).

4.3.8 Interferencia de ondas

La interferencia de ondas hace referencia a la suma de dos o más frecuencias. Dependiendo de las propiedades de la onda: longitud, amplitud y distancia relativa entre ellas, se pueden categorizar dos grupos de interferencia: la constructiva y la destructiva (Hartmann 2013).

La interferencia constructiva se manifiesta cuando las ondas colapsan entre sí o se superponen en fases, convirtiéndose en una onda con una mayor amplitud. No obstante, si las ondas de las dos fuentes se suman para cancelarse entre sí, es una interferencia destructiva (Hartmann 2013).

La interferencia constructiva ocurre en un punto en el espacio donde las dos ondas tienen la misma fase; es decir, cuando una es positiva, la otra también lo es. En caso de que una sea negativa, la otra también lo sería. La interferencia destructiva, en cambio, ocurre cuando las dos ondas tienen signos opuestos (Hartmann 2013).

4.3.9 Refracción, Difracción y Reflexión

La refracción de una onda se presenta cuando esta crea un cambio de dirección y de velocidad al pasar de un medio a uno distinto, contemplando que cada medio tiene sus propias características refractarias (Hartmann 2013).

La difracción es la propiedad de las ondas que les permite rodear obstáculos físicos. Cuando la onda llega a una abertura de dimensiones aproximadas a su longitud de onda, esta logra convertirse en un emisor de la onda (Hartmann 2013).

La reflexión es la propiedad en la que la onda se ve reflejada al chocar con un obstáculo físico debido a su incapacidad de traspasarlo o rodearlo. Dependiendo de las características de la onda, esta tendrá cierto comportamiento. Las ondas bajas, al tener una longitud amplia, son más capaces de rodear obstáculos difractándose; mientras que las frecuencias altas tienden a ser reflejadas. Al reflejarse, el ángulo de la onda es equivalente a la dirección de la onda incidente. Así, si la onda choca con un cuerpo físico de forma perpendicular, esta se verá reflejada con el mismo ángulo, pero con la dirección invertida (Hartmann 2013).

4.4 Impedancia acústica

Este término se entiende como la oposición y resistencia hacia fenómenos acústicos. Es la relación dentro la presión sonora (p) y el vector de velocidad de una partícula (U), esta permite el cálculo de la magnitud acústica, intensidad, reflexión y transmisión. En resumen, es la relación entre la presión sonora y el vector de velocidad de una partícula (Diaz 2007).

La impedancia acústica depende de las características físicas del material, de su densidad y la velocidad de onda. A continuación, se presenta su fórmula, donde Z es la impedancia acústica, p es densidad y c es la velocidad de onda (Yoshikawa & Waltham 2014).

$$Z = \rho c$$

4.5 Material y sus propiedades

El material del instrumento es de suma importancia para la respuesta acústica y para el sonido que ejecuta. Asimismo, el material también repercute en su estabilidad física y en factores más estéticos, como la parte visual táctil (Brémaud 2012).

Los factores importantes de los materiales para un instrumento eléctrico como el bajo son: la densidad (ρ), el módulo de elasticidad o de Young (E) y su radiación (E/ρ). Este último factor es conocido como módulo específico de elasticidad y es proporcional al cuadrado de la velocidad de propagación del sonido y a la resonancia del cuerpo (Brémaud 2012). En su investigación, Yoshikawa y Waltham (2014) crearon un análisis de propiedades de diversos materiales enfocadas a la acústica.

| | Abeto | Amboyna | Bambú | Acrílico | Aluminio | Acero |
|---|-------|---------|-------|----------|----------|-------|
| Densidad ρ (kg/m ³) | 470 | 870 | 700 | 1200 | 2700 | 7800 |
| Módulo de Young E (GPa) | 12 | 20 | 15 | 5.3 | 71 | 210 |
| Módulo cortante G (Gpa) | 1.1 | 1.6 | 1.3 | 1.9 | 27 | 83 |
| Módulo elástico E/G | 11 | 12.5 | 11.5 | 2.8 | 2.6 | 2.5 |
| Factor calidad Q | 131 | 155 | 140 | 17 | 980 | 1370 |
| Velocidad de onda longitudinal c (m/s) | 5100 | 4800 | 4600 | 2100 | 5130 | 5190 |
| Resistencia a ondas pc (MPs x s/m) | 2.4 | 4.2 | 3.2 | 2.5 | 13.8 | 40.4 |
| Parámetro de vibración c/p (m ⁴ /kgs) | 11 | 5.5 | 6.6 | 1.75 | 1.9 | 0.67 |
| Parámetro de transmisión cQ (10 ⁵ m/s) | 6.7 | 7.4 | 6.4 | 0.36 | 50.3 | 71.1 |
| Eficiencia de conversión acústica cQ/p | 1420 | 855 | 920 | 30 | 1860 | 912 |

Figura 15 Propiedades vibro acústicas de maderas, plásticos y metales (Yoshikawa and Waltham 2014). Interpretación y adaptación propia.

La Figura 15 Propiedades vibro acústicas de maderas, plásticos y metales (Yoshikawa and Waltham 2014) presenta, ordenadas de mayor a menor, propiedades de diferentes materiales. La tabla comienza con una medición de la densidad (ρ) y sigue con el módulo de elasticidad (E), el cual, dependiendo de la

especie de la madera y los distintos tipos de materiales, va cambiando.

El primer factor analizado en Figura 15 comienza por la densidad; esta es una propiedad importante para el sonido y peso del instrumento en la interacción con el usuario. Por poner un ejemplo, si se reemplazaran 70g de madera con la forma de violín por acrílico, el instrumento pesaría 440g y si se usara aluminio, el peso sería de 405 g (Yoshikawa and Waltham 2014). La comparación anterior muestra que puede haber resultados contrastantes por el cambio de material, haciéndolo sumamente pesado para un instrumento como el violín. Estas son cuestiones ergonómicas que se deben considerar, sobre todo con respecto a la fatiga, que afecta el rendimiento del músico.

De la densidad también se puede predecir la resonancia del material. Tomando los mismos ejemplos, el acrílico es por mucho, un material menos resonante que la madera, siendo este último un material poroso (Yoshikawa and Waltham 2014). Finalmente, mientras se tenga una mayor densidad en la madera, mayor será su módulo de elasticidad que provoca una alta impedancia acústica (Smardzewski et al. 2014).

En segundo lugar, se encuentra la velocidad longitudinal de la onda. Esta es medida mediante estos dos parámetros.

$$c [= (E/\rho)^{1/2}]$$

Fórmula 7 Velocidad longitudinal por medio del módulo de elasticidad y densidad.

La velocidad longitudinal crea cambios en la amplitud de la frecuencia, siendo esta correlativa a la densidad y la elasticidad. Cabe mencionar que entre

especies de maderas no se presentan grandes cambios (Roohnia 2019).

En tercer lugar, se califica el factor de calidad (Q). Este se traduce como el grado de resonancia o amortiguación que presenta cada material. Si se compara, por ejemplo, al acrílico con los metales, hay una diferencia contrastante, donde el acrílico presenta una baja resonancia y los metales una alta transmisión de energía.

En cuarto lugar, está el parámetro de transmisión (cQ). Este concepto se refiere a la relación entre el factor de seguridad y la velocidad longitudinal. En este caso, el acrílico tiene una baja transmisión; mientras que en los metales esta es alta.

Con una baja densidad, el material presentaría una baja resistividad acústica, siendo la relación entre densidad y velocidad longitudinal (ρc) y un alto índice de vibración, es decir, reacción ante frecuencias (c/ρ). Mientras más alto sea c/ρ , mayor reacción ante vibración y radiación de la misma.

El módulo cortante G, al ser más fuerte afecta a la radiación, creando una filtración de frecuencias bajas.

Es relevante también medir y tomar en cuenta la amortiguación de vibración del instrumento, la fricción interna que ocurre al recibir una frecuencia (Fleischer 1999).

Dentro de las investigaciones de Yoshikawa y Waltham (2014) también se muestra una gráfica de los resultados que lanzaron cuatro distintos materiales, así como cómo reaccionan estos ante un rango de frecuencias. Las pruebas se

hicieron en maderas como maple, abeto y otros materiales: acrílico y aluminio.

Se aprecia que tienen una distinta reacción ante ciertas frecuencias. Los casos en los que las frecuencias se encuentran arriba de los 2 kHz se deben a la fuerza relativa de cortante y la deformación ante vibraciones de ondas.

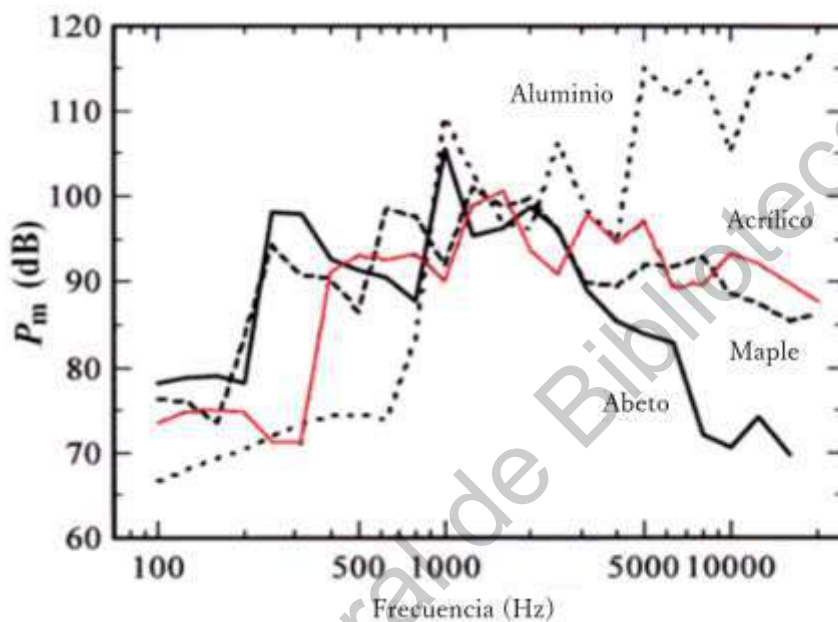


Figura 16 Características de radiación acústica de maple, abeto, barras de acrílico y aluminio (Yoshikawa and Waltham 2014). Interpretación propia.

4.6 Sonido en el bajo eléctrico

La afinación estándar del bajo eléctrico comienza en la nota de Sol y sigue las notas Re y La, terminando en la nota más grave: Mi (GDAE). Dichas notas tienen una frecuencia específica, las cuales, comenzando desde el más bajo (de Mi a Sol) corresponden a 41.2 Hz, 55 Hz, 73.4 Hz, y 98 Hz. Estas notas son al aire, por lo que, si se ejecutan notas con digitación, se puede llegar a notas más agudas. La nota más aguda que tendría un bajo de cuatro cuerdas con afinación estándar es la nota G4, con una frecuencia de 392 Hz (Zevin 2012).

En la Figura 17 Espectro de armónicos sobre la nota E (Mi) Pouska, A. (s.f.) se muestra el espectro de frecuencias producidas por un bajo de cuatro cuerdas con afinación estándar. Estas medidas toman como base la nota más baja.

| Armónicos | Frecuencia | Nota | Intervalo |
|-----------|------------|---------------------|----------------------------|
| 41Hz x 1 | 41Hz | E | - |
| 41Hz x 2 | 82Hz | E | Octava |
| 41Hz x 3 | 123Hz | B | Quinta (+1octava) |
| 41Hz x 4 | 164Hz | E | Dos octavas |
| 41Hz x 5 | 205Hz | G# ligeramente bajo | Tercera (+2octavas) |
| 41Hz x 6 | 246Hz | B | Quinta (+2octavas) |
| 41Hz x 7 | 287Hz | D ligeramente bajo | Septima bemol (+2 octavas) |

Figura 17 Espectro de armónicos sobre la nota E (Mi) Pouska, A. (s.f.). Interpretación y adaptación propia.

El primer armónico es llamado fundamental y es el más grave. Todas las notas que lo acompañan son armónicos y, como se describe, son notas octavas, quintas y tercias de la fundamental. En orden se muestran como EEBEG#BD. Conforme aumenta la cantidad de armónicos, esta va perdiendo su amplitud, llegando a un punto en el cual no se percibe.

Experimentos de Courtney (2013) muestran en una gráfica el espectro de los primeros 20 armónicos que dan presencia al ejecutar al aire la nota La (A) de un bajo eléctrico. En el experimento se tomó como la nota fundamental la frecuencia

de 55 Hz, correspondiente a Re (D) y de forma gráfica representa los puntos de mayor amplitud.

Generalmente, las notas fundamentales podrían considerarse como aquellas que tienen mayor amplitud y por ello se podría asumir que, naturalmente, siempre se comportan de la misma manera. No obstante, hay ciertas frecuencias en las que esto no sucede. En la nota mencionada, el de mayor amplitud es el tercer armónico, siendo la quinta nota después del fundamental-

En otro experimento de Courtney (2013) se describe un comportamiento diferente. En este experimento se utiliza un 2006 *Music Man Sterling Limited Edition* de pastillas de doble bobina; ambas bobinas se usan al máximo sobre las notas de Mi y de Re. Estas notas, ejecutadas al aire, corresponden a la cuarta y segunda cuerda. Courtney (2013) observa que en el análisis del lado izquierdo, es decir, con la nota Mí, la nota fundamental es mayor y el segundo con mayor amplitud es la tercera frecuencia. En comparación con lo anterior, análisis de Re tiene la segunda y tercera frecuencia con mayor amplitud que la nota fundamental (Courtney 2013).

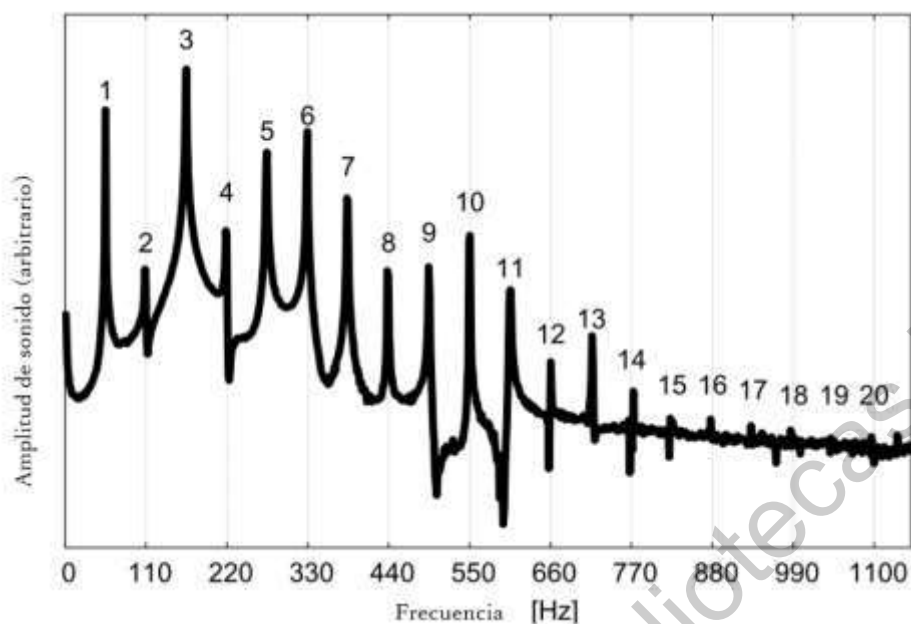


Figura 18 Espectro armónico de la nota A. Los primeros 20 overtone (Courtney 2013).
Interpretación propia.

Zevin (2012) también creó una serie de gráficas que relacionan la frecuencia, tiempo y amplitud de los armónicos. En estas, él pudo observar que el instrumento no rebasa los 1000 Hz y que, al compáralo con un contrabajo, el bajo de cuerpo sólido tiene menor actividad, es decir, resonancia. Esto provoca que los armónicos del contrabajo mueran con mayor velocidad.

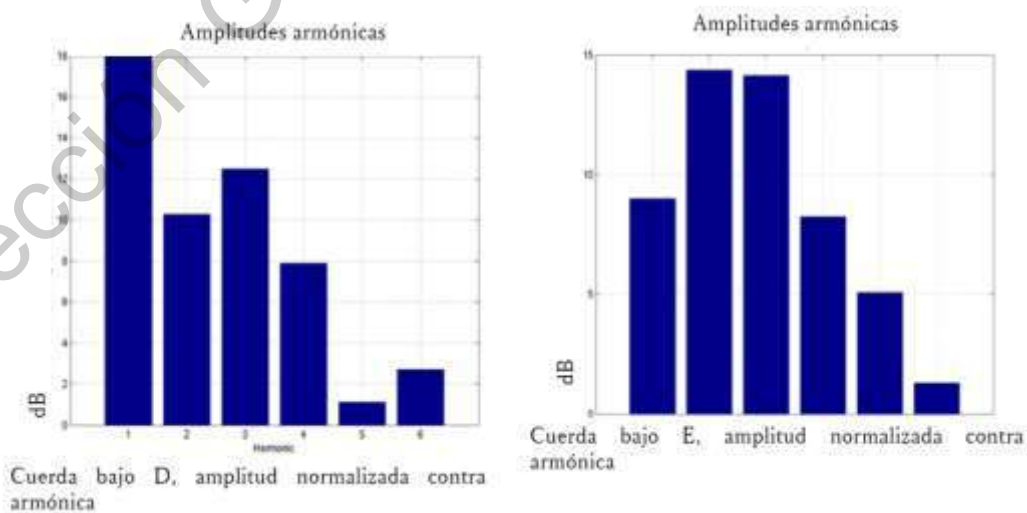


Figura 19 Amplitud en las notas E y D , bajo 2006 *Music Man Sterling Limited Edition* (Zevin 2012). Interpretación propia.

4.6.1 Resonancia en un bajo eléctrico

2006 BajoMusic Mn Sterling. Cuerdas silenciadas contra frecuencias
Proyecto UIUC-403POM 28 Feb - 1 Mar 2012

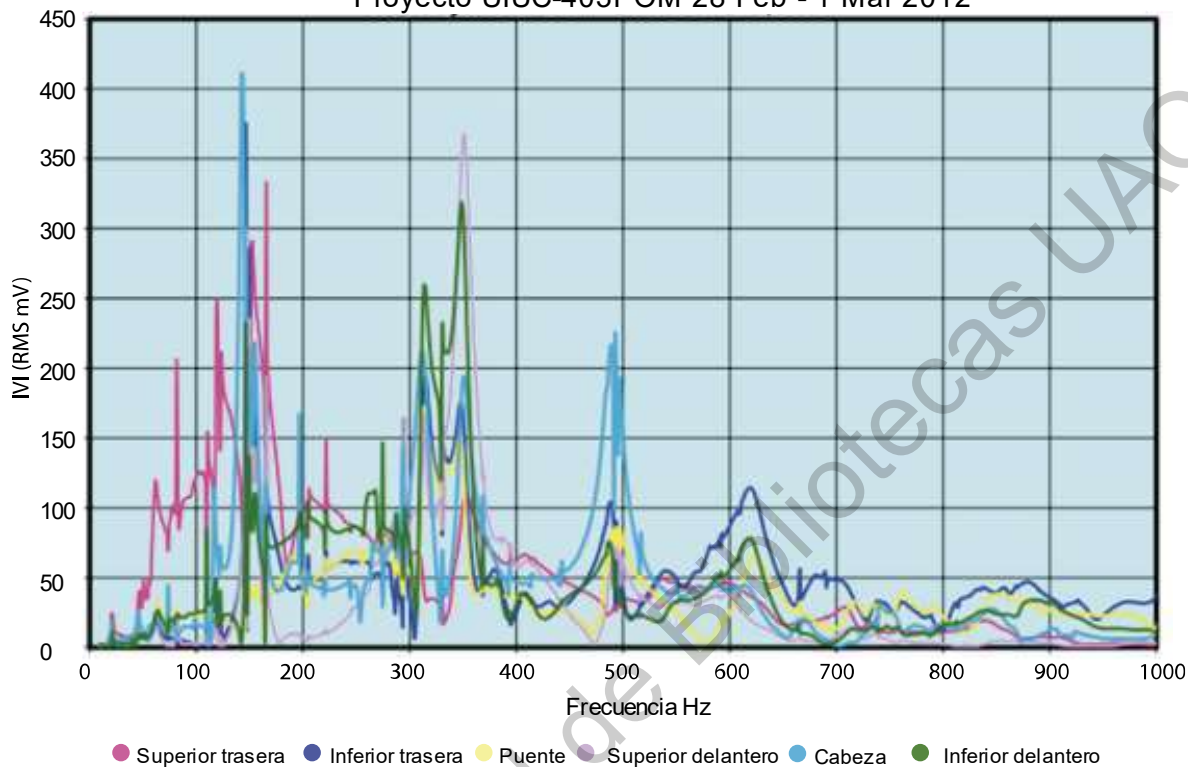


Figura 20 Resultado de pruebas de resonancia (Zevin 2012). Interpretación propia.

El análisis de Zevin (2012) sobre la resonancia del bajo eléctrico *Music Man Sterling* mostró cuatro fuertes resonancias ante frecuencias emitidas por el instrumento. El primero fue en una frecuencia aproximada a los 150Hz, donde su punto máximo llegó a los 410 RMS mV, seguido por la frecuencia de 350 Hz con 375 RMS mV. El tercero tuvo una frecuencia un poco inferior a los 500 Hz con 410 RMS mV y el último a los 625 Hz con 120 RMS mV. La reacción más fuerte fue a los 150 Hz.

Esta resonancia depende del material del instrumento, su densidad, módulo de elasticidad, su ensamble, las cuerdas y también la forma que tiene (Zevin 2012)

4.6.2 Notas muertas en un bajo eléctrico

En la fabricación de un bajo eléctrico es de suma importancia considerar la resonancia, ya que esta depende del material, dimensiones y proceso de manufactura. Un instrumento bien elaborado, en el caso de los instrumentos eléctricos de cuerda, será aquel cuya conducción en el puente sea menor que en el mástil, así afirma Fleischer (2005).

Ahora bien, al tener una conducción de energía, las cuerdas ejecutadas provocan al mástil una vibración y, como consecuencia, provoca una duración menor de las notas ejecutadas (Fleischer and Zwicker 1999). Esto genera un menor sostenimiento, tornándose así un atributo que determina la calidad del instrumento. No solamente provoca una menor duración, sino que también ocasiona la aparición de los puntos muertos, conocidos como *deadspots*.

Al ser de madera sólida, el instrumento podría parecer rígido a primera instancia. No obstante, las investigaciones presentadas anteriormente demuestran lo contrario

En el bajo eléctrico no existe la necesidad de una transferencia de energía hacia el cuerpo del instrumento. El puente necesita estar inmóvil, ya que es uno de los nodos; por lo tanto debe estar completamente estático y el cuerpo debe ser sólido.

Existen puntos precisos donde se encuentran las notas muertas. Fleischer (1999) determina estos puntos por medio de experimentaciones con la guitarra *Traveling Wilbury TW 500*. Este experimento se realizó de una manera indefinida

para el cuerpo y con el mástil incrustado al cuerpo con cuatro tornillos; asimismo, el material del diapasón, de dieciocho trastes, fue maple y palo de rosa. El sostenimiento fue medido mediante mediciones del tiempo de vida de la frecuencia. A partir del tiempo de duración que ocurría en cada cuerda suelta y digitada, se puede analizar que cada vez que aumenta un traste hay una disminución de vida de la frecuencia (Fleischer 1999).

Aunado a lo anterior, hubo un comportamiento regular en varias notas probadas en el experimento. Sin embargo, se presentaron excepciones donde la duración era menor en el décimo traste de la cuerda La (A), el segundo y quinto traste de la cuerda Re (D) y en el primer traste de la cuerda Sol (G). Además, también se encontraron notas sobreexpuestas, llamadas en esta investigación *livetones*, en el onceavo traste de la cuerda La (A), cuarto y noveno traste de la cuerda Re (D) y en el séptimo traste de Sol (G) (Fleischer 1999).

El mismo modelo de guitarra fue sometido a pruebas de vibraciones. En estas, el instrumento se midió con un vibrómetro láser, cuyo límite era de 500Hz. Tras estas pruebas, Fleischer (1999) determinó que el instrumento no podía ser considerado rígido. Cabe mencionar que hubo cuatro reacciones notables encontradas entre los 200 y 500 Hz, donde la mayor amplitud del mástil fue a los 500 Hz (Fleischer 1999).

Finalmente, Fleischer (1999) concluye que una alta conductancia de frecuencia es la causante de dichos puntos muertos. Al no reaccionar el instrumento, las notas resaltan; esta es una relación entre la vida de la nota y la conductancia.

Paté, Le Carrou y Fabre (2014), en su investigación para predecir el tiempo de decrecimiento de tonos de una guitarra eléctrica, mencionan dos factores importantes para la medición de del tiempo de vida de las frecuencias. Estos son el factor de calidad (Q) y la conductividad que existe en el mástil.

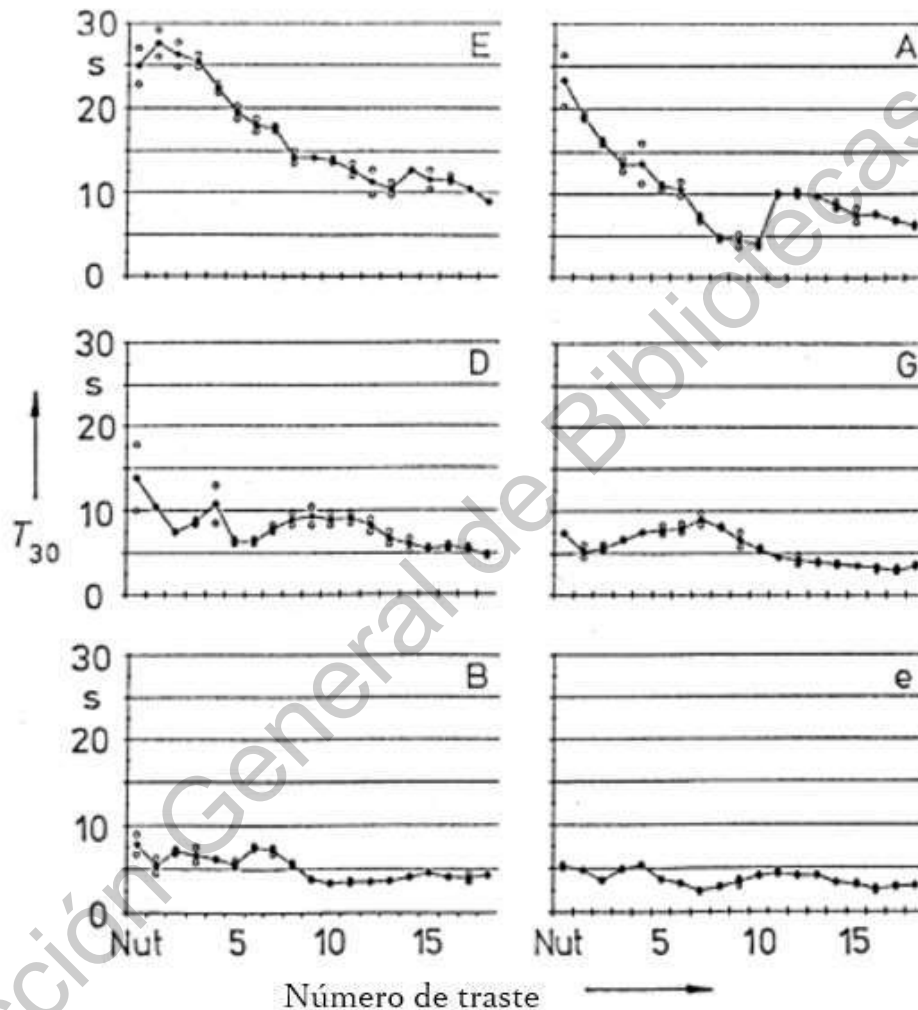


Figura 21 Tiempo de vida de señales de cuerdas (Fleischer 1999). Interpretación propia.

Paté, Le Carrou y Fabre (2014) mencionan que no existe una alteración perceptible o notable del tono y su tiempo de vida debido a las pastillas del instrumento eléctrico. Esta aseveración coincide con Puszyński (2014), quien menciona que la amplitud de la onda se ve afectada por las pastillas por 1%.

Asimismo, Puszynski (2014) reafirma que la conductividad del mástil es mayor.

Los autores Paté, Le Carrou y Fabre (2014), además, analizan la nota Sol (G). Ellos consideran las siguientes medidas: el módulo de Young (E), el módulo de cortante (G), diámetro (d) y densidad de la cuerda.

Este análisis mostró que la conductividad que tiene el puente ($1.76 \times 10^{-3} \text{ m s}^{-1} \text{ N}^{-1}$) se puede comparar con los valores de conductividad del mástil, que llega a valores de $1.76 \times 10^{-3} \text{ m s}^{-1} \text{ N}^{-1}$. Estas son cantidades contrastantes, donde la conductividad del puente es menor. En su investigación, analizando el factor Q sobre la nota Sol (G), los autores encontraron los dos puntos muertos que existen en dicha cuerda, siendo el noveno y doceavo traste (Paté, Le Carrou, and Fabre 2014).

El análisis de Zorič et al. (2019) sobre dos tipos de maderas utilizados en instrumentos musicales eléctricos, arroja los siguientes resultados. Las maderas analizadas fueron el nogal, con una densidad de 623 kg/m^3 (coeficiente de variación de 7.5%), y el fresno, de 807 kg/m^3 (C.V. 9.3 %). Si bien esta última es un 25% más densa que el nogal, los investigadores mencionan que la amortiguación de vibraciones en el fresno ($\tan \delta = 0.008$) es menor en comparación al nogal ($\tan \delta = 0.011$). La amortiguación, es decir, el decrecimiento de amplitud de vibraciones, es menor en el nogal en modos y frecuencias altas que en la madera de fresno.

Al relacionar lo anterior con la densidad de los materiales, se espera una alteración de la resonancia de las cuerdas correspondientes, así como en los

efectos de timbre. A estos factores se agrega una reducción en el tiempo de disminución. Todos estos elementos se confirman en estudios relacionados de Zorič et al. (2019).

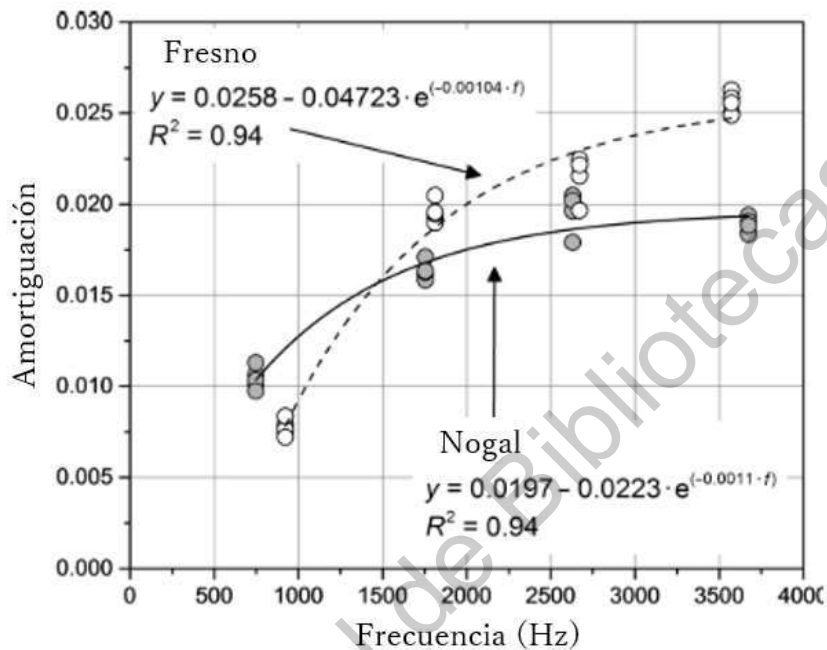


Figura 22 Amortiguación ante distintas frecuencias del nogal y el fresno (Zorič et al. 2019). Interpretación propia.

A través de su investigación, Zorič et al. (2019) confirman que, entre mejor sean las propiedades mecánicas del material utilizado, mejores serán las guitarras eléctricas. Finalmente, recordemos que estas propiedades mecánicas son una mayor elasticidad y módulo de cortante.

En su investigación sobre notas muertas en bajos eléctricos, Fleischer (1999) menciona que la máxima amplitud de conductividad del cuerpo de un bajo eléctrico es de 2ms/kg. Esto se debe a que, al tener una reacción mayor a ella, se pueden encontrar pérdidas de duración de la nota; mientras que las notas sobreexpuestas muestran una transmisión menor, aproximadamente de

0.1ms/kg.

Asimismo, Fleischer (1999) encontró valores extremos que superaban los 20ms/kg. Esta unidad es el resultado de un análisis FRF, que se refiere a la medición de la magnitud de movilidad (velocidad/fuerza). Esto quiere decir que el valor 2ms/kg equivale a una reacción de una velocidad de 2 mm/s a una fuerza de 1 N.

También, dentro de la investigación de Fleischer (1999), se encontró que otro factor importante es el análisis de la cejuela y los trastes. Estos son las terminales de las cuerdas (nodos), las cuales presentan una mayor reacción en comparación con el puente, que se mantiene con mayor estabilidad ante frecuencias producidas por el bajo eléctrico. De la misma manera, se recalca que el análisis del mástil es un factor importante, ya que en los bajos eléctricos esta es la parte donde se presenta una mayor reacción.

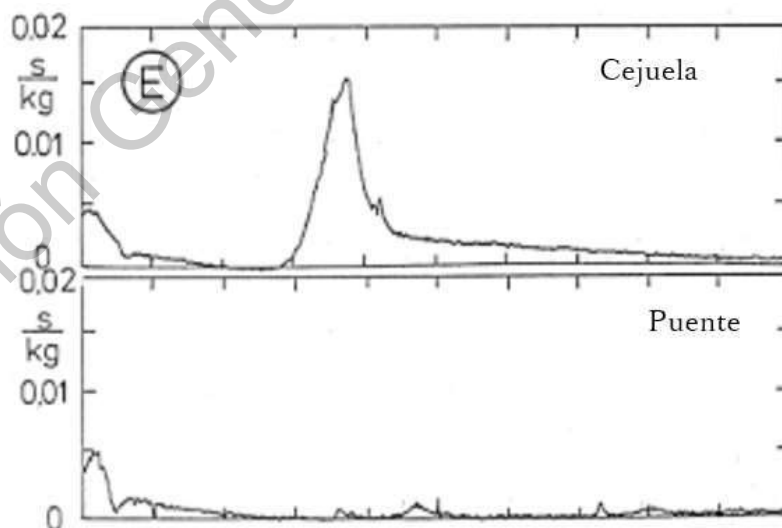


Figura 23 Action Bass No. 1 reacción sobre la nota E del puente y la cejuela (Fleischer 1999).

Interpretación propia.

4.7 Análisis FRF

La Función de Respuesta de Frecuencia (FRF) es una función que determina la transferencia de una estructura. Esta es representada en términos de magnitud y fase. Dicha función representa la respuesta de un cuerpo o estructura al ser sometido a una fuerza como una función de frecuencia en magnitudes de aceleración o de velocidad. Es una función que permite la identificación de las frecuencias resonantes, siendo las frecuencias naturales, el amortiguamiento, que es la resistencia vibratoria, y los modos (SIEMENS 2019).

La Función de Respuesta de Frecuencia se puede representar linealmente, como se muestra en la siguiente figura.

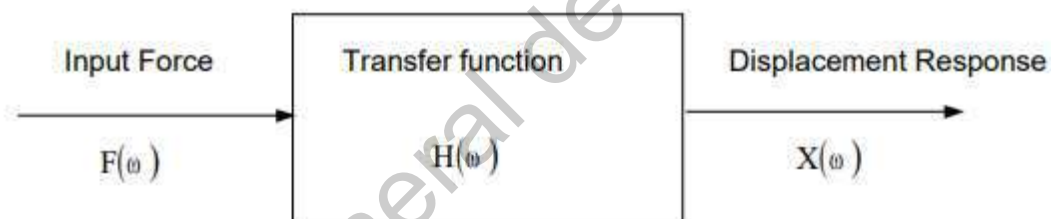


Figura 24 Diagrama FRF (Irvine 2000)

En el diagrama lineal, cada sección es representada como una función. El diagrama comienza por la fuerza aplicada (*input*) y la respuesta como la salida (*response*); la función central es la FRF, que corresponde a la transferencia (SIEMENS 2019).

Existen 6 formas principales en las que la FRF puede ser representada. Estas se representan en términos de movilidad, aceleración, conformidad, rigidez dinámica, impedancia mecánica y masa dinámica (SIEMENS 2019).

| Función | Descripción |
|---------------------|-------------------------|
| Conformidad | Desplazamiento / fuerza |
| Movilidad | Velocidad / fuerza |
| Aceleración | Aceleración / fuerza |
| Rigidez dinámica | Fuerza / desplazamiento |
| Impedancia mecánica | Fuerza / velocidad |
| Masa dinámica | Fuerza/ aceleración |

Figura 25 Formas FRF. Elaboración propia.

V Marco Metodológico

El proceso de diseño está representado en la Figura 26 Metodología utilizada para el diseño del bajo eléctrico. Este es un proceso que permite la profundización en la problemática, así como en el análisis integral de lo que compone al problema. Lo anterior permite la creación de una propuesta, con validación.

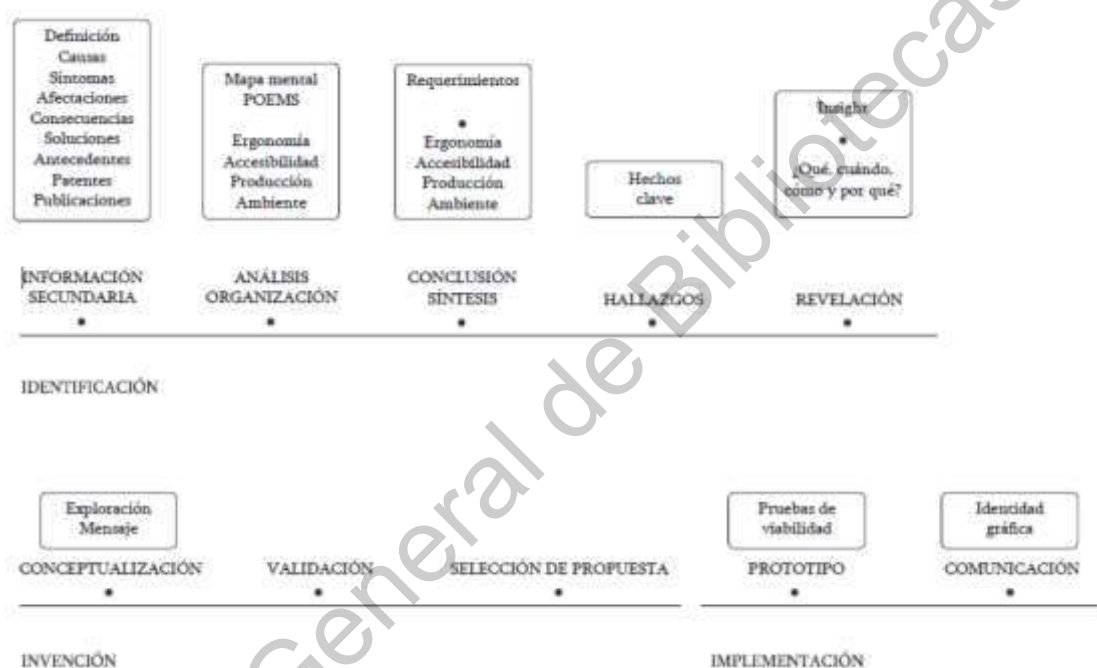


Figura 26 Metodología utilizada para el diseño del bajo eléctrico. Elaboración propia.

El proceso parte de la investigación de la problemática. A partir de ello se crea la definición general de la situación a atacar. Ahí se definen las causas, síntomas, afectaciones, consecuencias, soluciones, antecedentes, patentes existentes y publicaciones, conocidas. Todo esto se denomina información secundaria.

El análisis es el paso en donde se identifica el problema en aspectos funcionales. Aquí se consideran verificaciones ergonómicas, accesibilidad, producción

ambiental, etc. El análisis FODA permite el análisis de las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas. La conclusión y síntesis es el análisis de límites, donde se establecen los requerimientos del diseño.

El hallazgo es la frase que sintetiza toda la investigación y el problema. Este cuenta con hechos clave para crear la revelación o *insight*, que explica en una sola oración el qué, cuándo, cómo y por qué.

La etapa de ideación y conceptualización se compone de partes fundamentales del diseño; tales como el mensaje, texturas y formas. Todo de acuerdo con los requerimientos establecidos.

La validación, es el proceso que permite calificar el resultado y compararlo con los requerimientos. Evaluando si se ha cumplido con los objetivos e hipótesis planteados.

El prototipado corresponde al análisis físico de la propuesta, siendo un acercamiento próximo a lo que será el producto final. En este paso se busca tener la menor cantidad de errores posibles y, en caso de que se presenten, corregirlos.

Finalmente, la comunicación es la etapa donde se crea la presentación e idea gráfica del producto para dar un mensaje claro del mismo.

VI Resultados

6.1 Etapa 1 Información secundaria a revelación

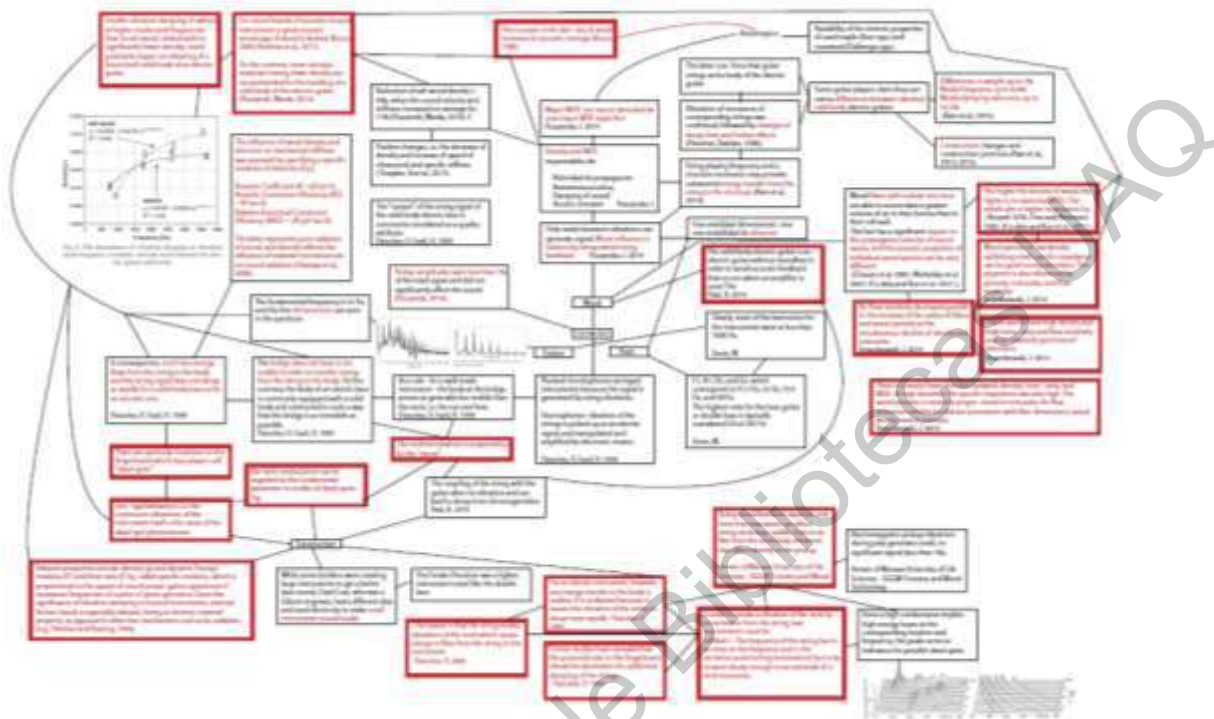


Figura 27 Mapa mental de aspectos relevantes para llegar desde la investigación hasta el insight del diseño. Elaboración propia.

La primera etapa fue necesaria para el planteamiento del proyecto. Ahora bien, los resultados corresponden a la investigación propia, Esta va desde los antecedentes hasta el planteamiento de objetivos e hipótesis; también incluye el proceso en el que se definen los parámetros para llevar a cabo el diseño y la validación del bajo eléctrico.

Los puntos recalables son:

- Los instrumentos eléctricos no presentan un cuerpo rígido (Fleischer 1999). Esto provoca la transmisión de la energía vibratoria, que se traduce a una pérdida en el sostenimiento de la nota (nota muerta).

- Los puntos muertos son provocados por la transferencia de vibraciones. Para que ocurra dicha transferencia existen una serie de variables que pueden ser controladas a partir del análisis de la densidad, módulo de Young, dimensiones del instrumento y masa total de cada componente que comprende al bajo eléctrico.

6.2 Etapa 2 Conceptualización

Para la construcción del bajo eléctrico bajo, los objetivos planteados en la presente investigación indican que es necesario crear análisis y simulaciones del diseño por medio de programas CAE. Esto proporcionará los requerimientos específicos para la construcción del instrumento eléctrico

6.2.1 Análisis FRF sobre el diseño

El software CAE que se utilizó fue SOLIDWORKS Simulation. El mismo programa también fue usado para la creación del modelo CAD.

Como inicio, se creó una propuesta del diseño del instrumento en modelo CAD. Este diseño fue sometido a un análisis dinámico de armónicos, con el fin de obtener las frecuencias naturales y la magnitud de la resonancia en cada modo que presentara el instrumento. El diseño y las dimensiones del modelo se representan en la siguiente figura; los puntos de fijación se representan como puntos de color azul.

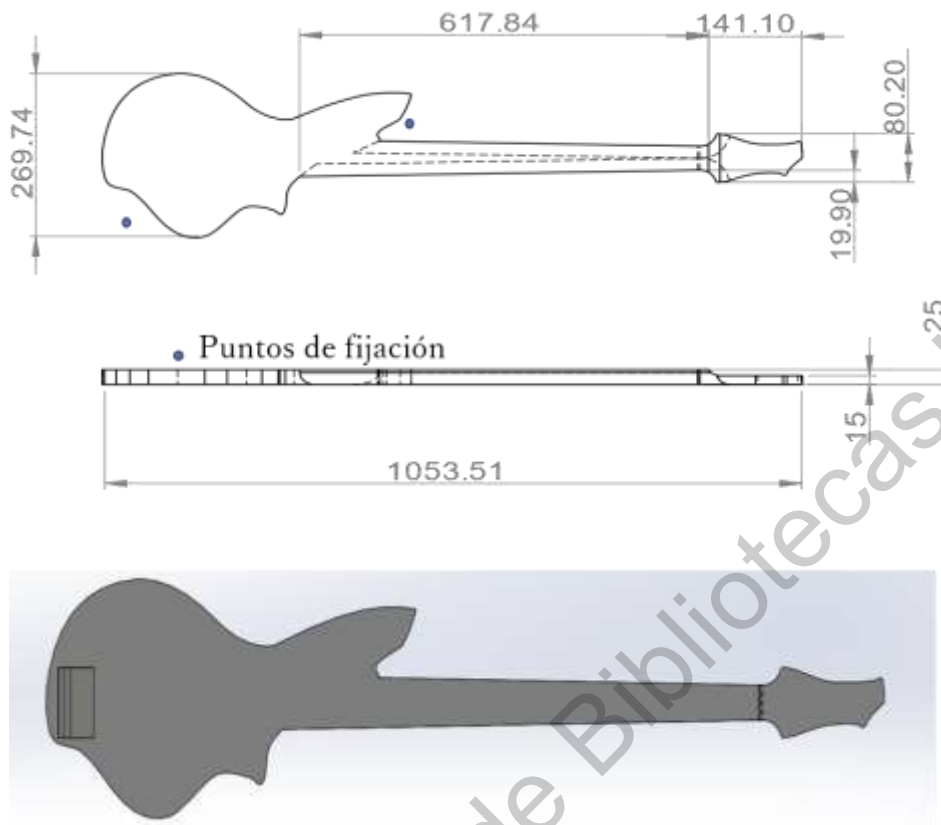


Figura 28 Diseño propuesta de bajo eléctrico. Dimensiones y puntos de fijación. Elaboración propia.

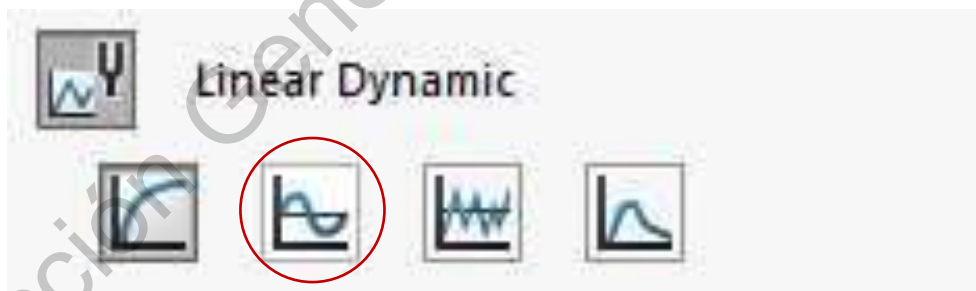


Figura 29 SOLIDWORKS Simulation Armónicos

Para la medición, considerando las categorías con las que cuenta SOLIDWORKS Simulation, se utilizó la de medición dinámica armónica. Al seleccionar la categoría se insertan las variables mostradas en la siguiente figura.

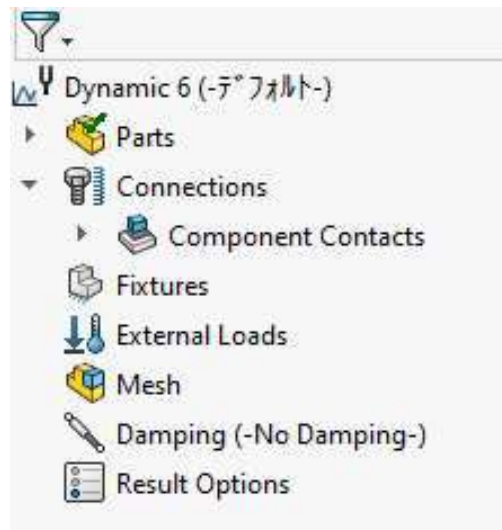


Figura 30 Variable de material, conexiones entre componentes, fijaciones, cargas externas, malla, amortiguamiento y resultados. Interpretación propia.

Las variables a ingresar son: material, conexiones, fijaciones, cargas externas y amortiguamiento.

Los parámetros para la elaboración del análisis de respuesta a frecuencias son los siguientes:

- Fijación: Para la mayor aproximación del análisis CAE, se instalaron puntos de fijación que simulen los puntos de contacto entre el ejecutante del instrumento y el bajo eléctrico. Los puntos de fijación fueron especificados en el plano del dibujo (Figura 28).

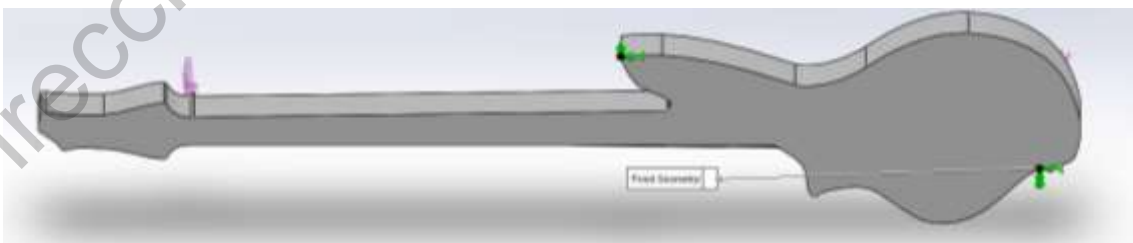


Figura 31 Fijaciones representadas con flechas verdes.

- Rango de frecuencias: El rango de frecuencias fue entre los 1 y 400 HZ,

recalcando el análisis de las frecuencias superiores a los 41Hz. Esto se debe a que el rango aproximado de frecuencias fundamentales de un bajo eléctrico de 34 pulgadas y 24 trastes es de los 41 a los 400Hz.

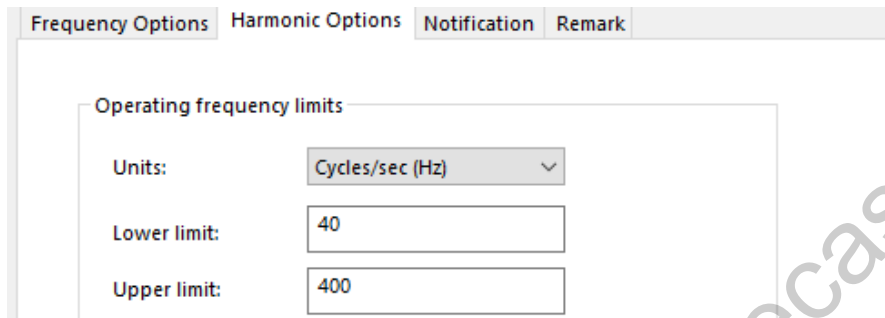


Figura 32 Ajuste de limitantes de frecuencias en SOLIDWORKS Simulation. De 40 a 400Hz.

- Fuerza de carga: La fuerza de carga fue de 1 N, simulando así el comportamiento que ejercen las cuerdas sobre el instrumento.

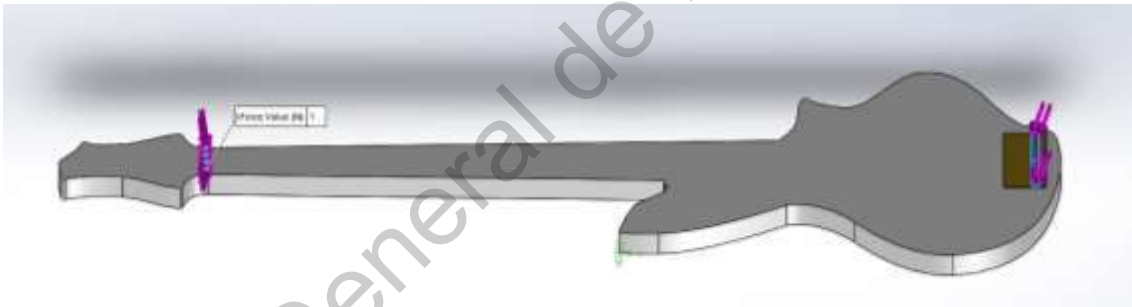


Figura 33 Cargas representadas como flechas moradas, ubicadas en la cejuela y puente con una magnitud de 1N.

- Amortiguamiento: El amortiguamiento se definió a partir de las propiedades del material.

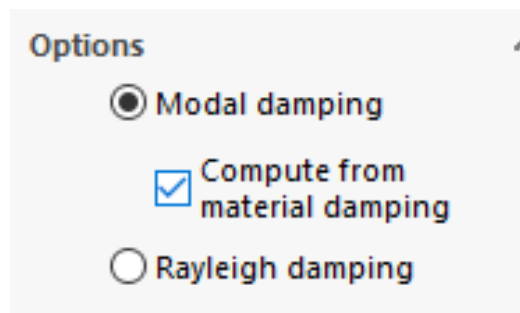


Figura 34 Amortiguamiento

- Resultados: El valor máximo de amplitud fue de 2 ms/kg, todo valor que excede dicho valor se traduce a nota muerta (Fleischer 1999).

SOLIDWORKS incorpora un valor máximo automáticamente. Por ello, es necesario hacer coincidir todos los análisis en un valor máximo, para así tener una mejor comparación de datos.

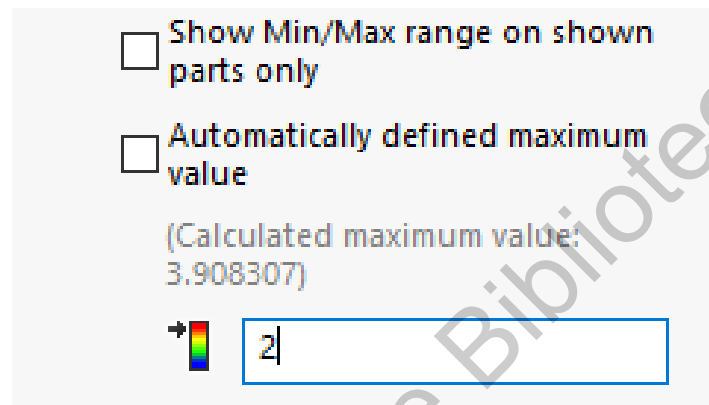


Figura 35 Magnitud máxima de 2 ms/kg.

Al utilizar como programa de análisis SOLIDWORKS Simulation, específicamente en el análisis dinámico de armónicos, los resultados son mostrados en magnitud de velocidad por fuerza Newton. Esta magnitud es equivalente al valor propuesto por Fleischer (1999) de 2ms/kg; esta es similar a una velocidad de 2mm/s por N fuerza.

$$\frac{\left(\frac{m}{s}\right)}{N} = \frac{\frac{m}{s}}{\frac{kg \cdot m}{s^2}} = \frac{s}{kg}$$

Fórmula 8 FRF magnitud en velocidad (s/kg).

Es necesario recalcar que estos son análisis de aproximación; es decir, no presentan un comportamiento 100% real, ya que no contempla todos los factores que intervienen. En la presente tesis, solo habrá variables entre forma y

propiedades del material.

6.3 Análisis 1 DIFERENCIA DE MATERIAL

El primer análisis se realizó sobre el ensamble del mástil y el cuerpo del instrumento. Ambos con la variación entre dos tipos de madera: caoba y maple, más un tercer material isotrópico: el acrílico. Cada uno de estos materiales cuenta con características distintas, mismas que se muestran en la Tabla 1.

| Material | Características |
|----------|---|
| Caoba | Densidad 0.600 g/cm ³ Modulo elasticidad 9860 N/mm ² |
| Maple | Densidad .8 g/cm ³ Modulo elasticidad 12300 N/mm ² |
| Acrílico | Densidad 1.18 g/cm ³ Modulo elasticidad 2941.995 N/mm |

Tabla 1 Especificaciones de materiales utilizados para el análisis dinámico de armónicos.

Al mismo ensamble, sobre los mismos puntos de fijación y de carga, se le ejecutó un análisis dinámico de frecuencia. Los resultados muestran las frecuencias naturales (modos) y la magnitud de transferencia en unidad de velocidad.

La Tabla 2 muestra los diferentes resultados del modelo al someterlo a cambios de material, ordenados de menor a mayor densidad. En la tabla se muestran sus primeras 4 frecuencias naturales y su magnitud.

| | Modo 1 | Modo 2 | Modo 3 | Modo 4 |
|-----------------|------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| Caoba | 63Hz 19mm/s | 75Hz 16mm/s | 204Hz 6.2mm/s | 231Hz 5.5 mm/s |
| Maple | 58Hz 14 mm/s | 70Hz 12.1 mm/s | 189Hz 4.6 mm/s | 214Hz 4.4 mm/s |
| Acrílico | 81Hz 9.2 mm/s | 90Hz 8.55 mm/s | 141.5 Hz 6.3 mm/s | 195 Hz 5 mm/s |

Tabla 2 Tabla de resultados de cambios de material.

Como se puede observar, conforme aumenta la densidad del material, menor reacción existe sobre el cuerpo; es decir, hay una menor transferencia vibratoria. Asimismo, se observa que el primer modo es el que crea mayor resonancia hacia el cuerpo: con la caoba hay una reacción de 19mm/s, el maple arrojó una magnitud de 14mm/s y el acrílico, de 9.2 mm/s. Además, todos los materiales en su primer modo se encontraron dentro de su frecuencia natural (de 40 a 400 Hz). Cabe recalcar que son pruebas en cuerpos sin contemplar el alma ni las clavijas, las cuales podrían aportar mayor impedancia acústica al mástil, dado que es la zona de mayor reacción.

Los resultados fueron mostrados por el programa como se observa en las Figuras 29, 30 y 31. En la parte derecha se encuentra la barra de magnitud representada con colores. El máximo definido fue de 2mm/s para todos los resultados. Los globos informativos muestran los puntos de mayor y menor magnitud de reacción; una menor magnitud se acerca al color azul.

Las figuras mencionadas corresponden a los tres cambios de material. Cada uno

en su primer modo, dentro de su frecuencia natural en el rango de 40 a 400Hz. Como se puede observar, el color rojo disminuye conforme el material se caracteriza de una densidad mayor. Esto indica una menor reacción.

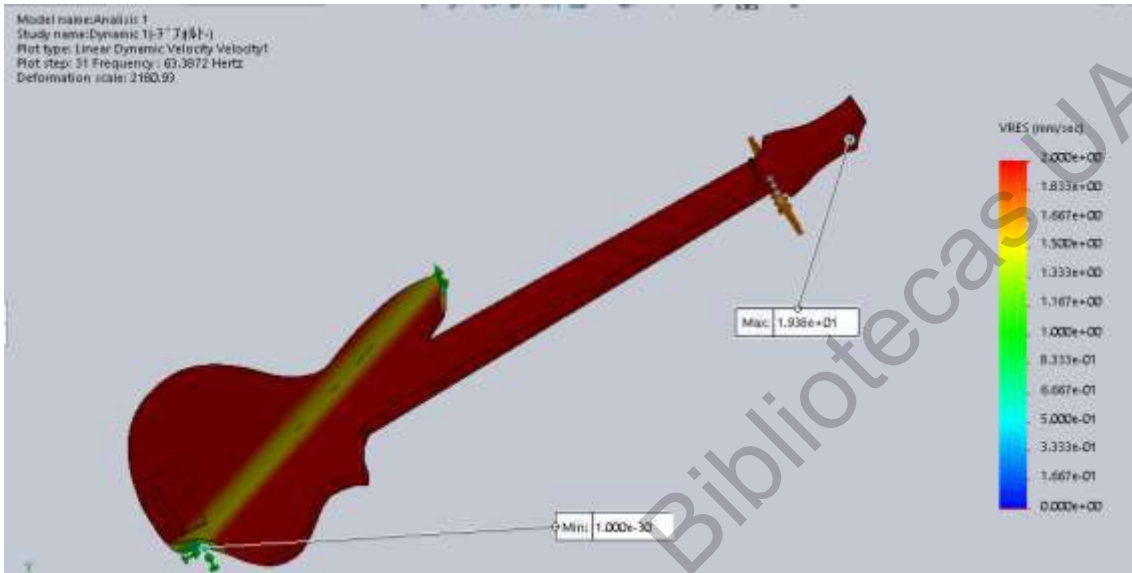


Figura 36 Modo 1 Caoba

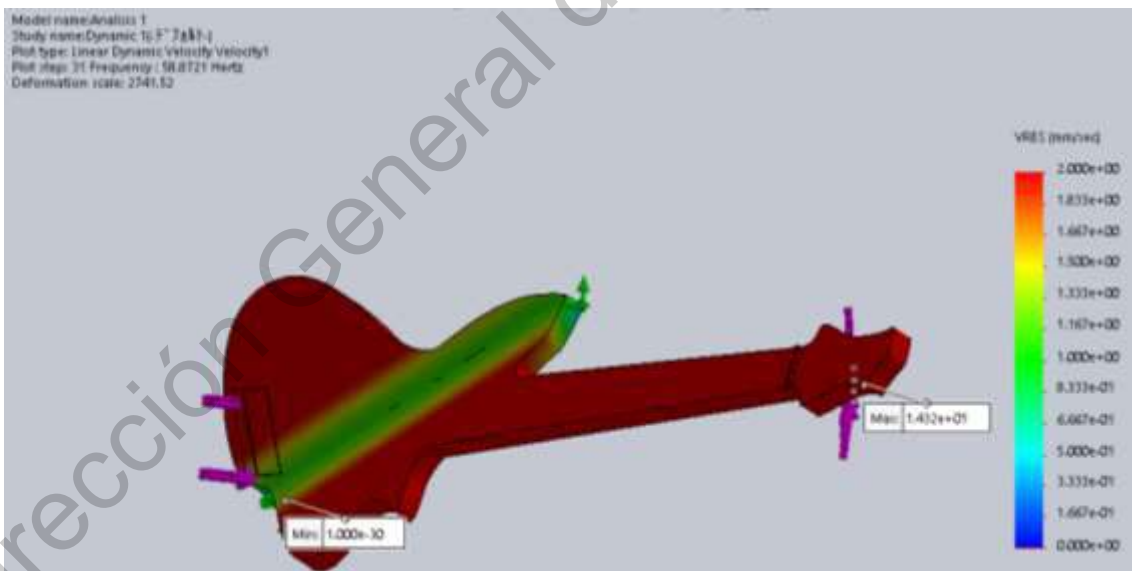


Figura 37 Modo 1 Maple

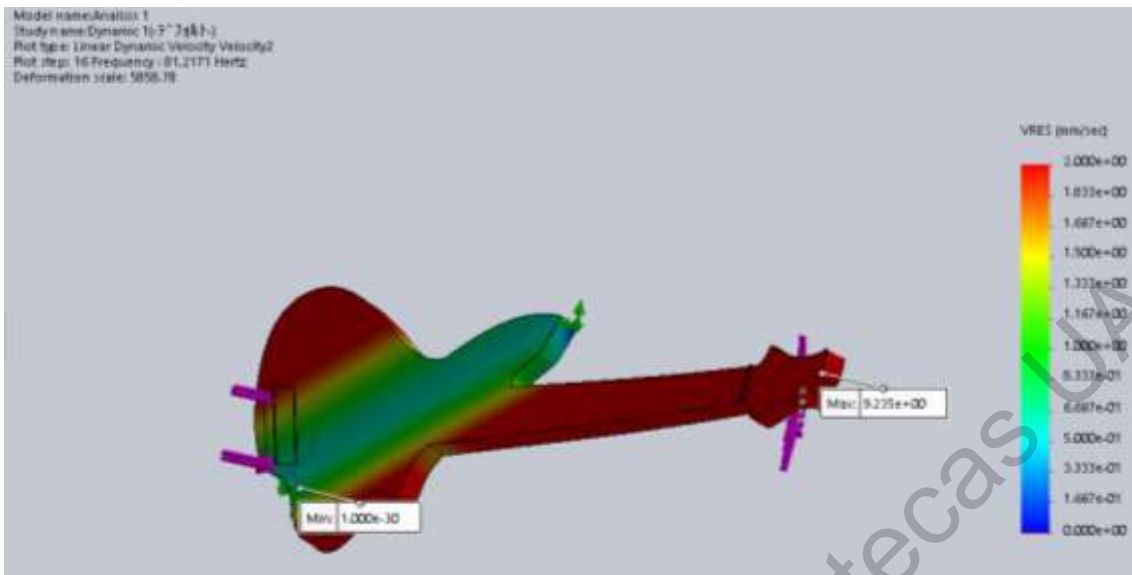


Figura 38 Modo 1 Acrílico

6.4 Análisis 2 DIFERENCIA DE ESPESOR (25,30 Y 35 mm)

| | 25mm 3174 gramos | 30mm 3800 gramos | 40mm 5052 gramos |
|---------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Modo 1 | 81Hz 9.2 mm/s | 92 Hz 6.4 mm/s | 103 Hz 4.3 mm/s |
| Modo 2 | 90Hz 8.55 mm/s | 100 Hz 6 mm/s | 124 Hz 4 mm/s |
| Modo 3 | 141.5 Hz 6.3 mm/s | 189 Hz 4.8 mm/s | 136 Hz 3.8 mm/s |
| Modo 4 | 195 Hz 5 mm/s | 192 Hz 3.8 mm/s | 193 Hz 2.9 mm/s |

Tabla 3 Resultados de los tres espesores en su primer modo

La Tabla 3 Resultados de los tres espesores en su primer modo, muestra los resultados sobre un mismo material (acrílico) con una distinción de espesor,

indicando su masa total. Como ya se mencionó, el máximo definido fue de 2mm/s para todos los resultados. En las Figuras 39, 40 y 41 se muestran los resultados arrojados por el programa. Los globos informativos muestran los puntos de mayor y menor magnitud de reacción.

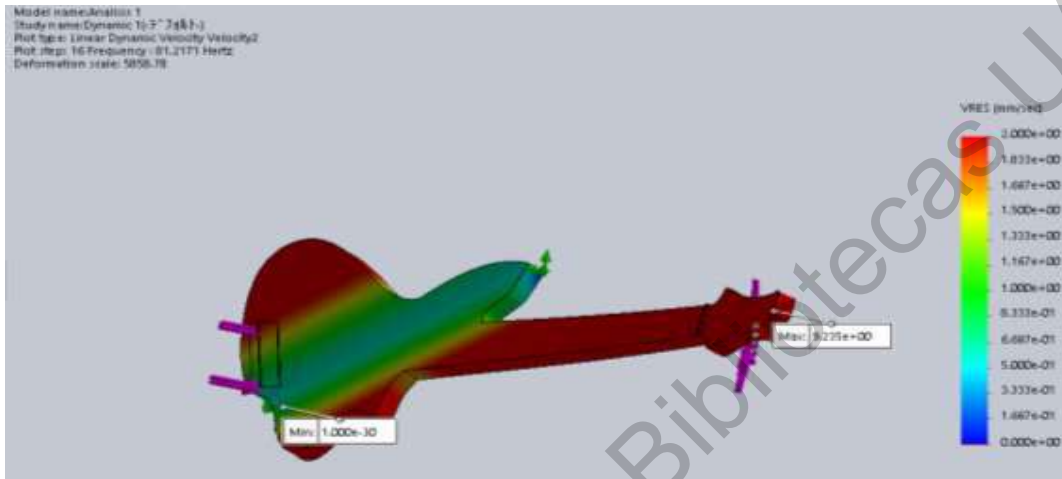


Figura 39 Modo 1 de 25mm

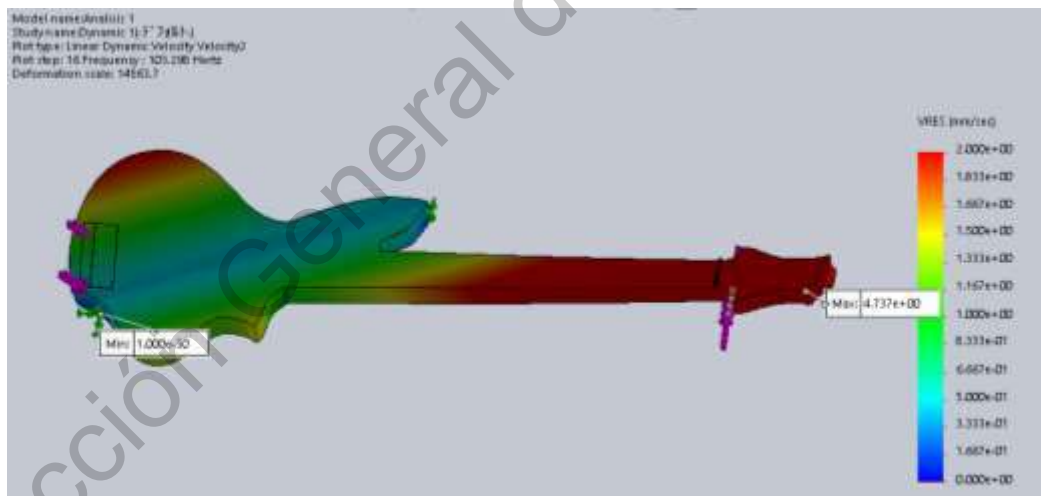


Figura 40 Modo 1 de 40mm

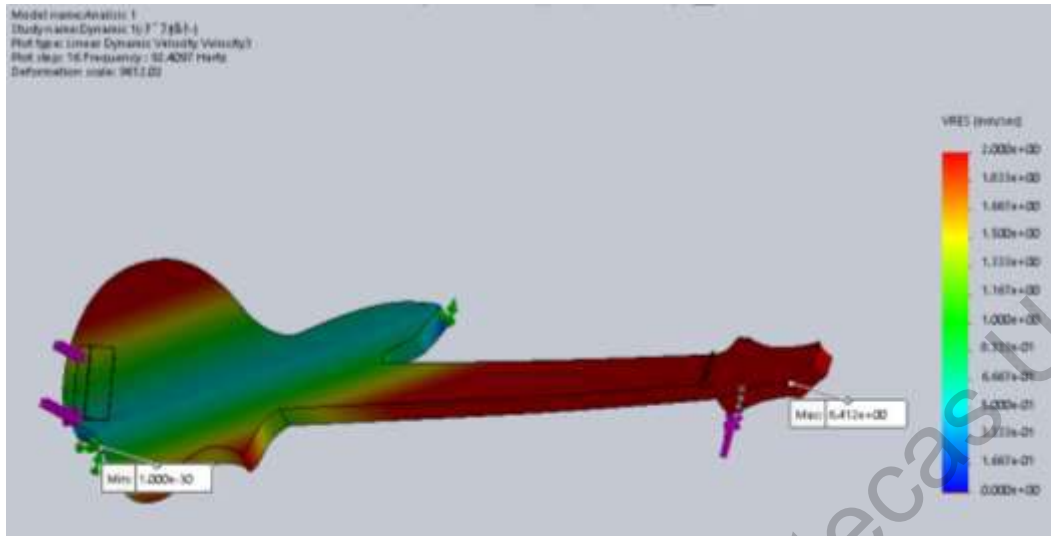


Figura 41 Modo 1 de 30 mm

El aumento de masa, según los datos lanzados por el análisis, se traduce a una mayor impedancia acústica, donde el de 25mm tiene una reacción máxima en su primer modo de 9.2 mm/s y ocurre un cambio contrastante en el de 30mm con una magnitud de 6.4 mm/s y en el de 40mm con 4.3mm/s.

6.5 Análisis 3 DIFERENCIA DE FORMA

Con el motivo de comparar el diseño inicial con otro en el que el cuerpo aporte un mayor soporte longitudinal al mástil, se construyó un modelo extra que fue sometido a pruebas CAE. El diseño contempla las medidas mostradas en la Figura 42 .

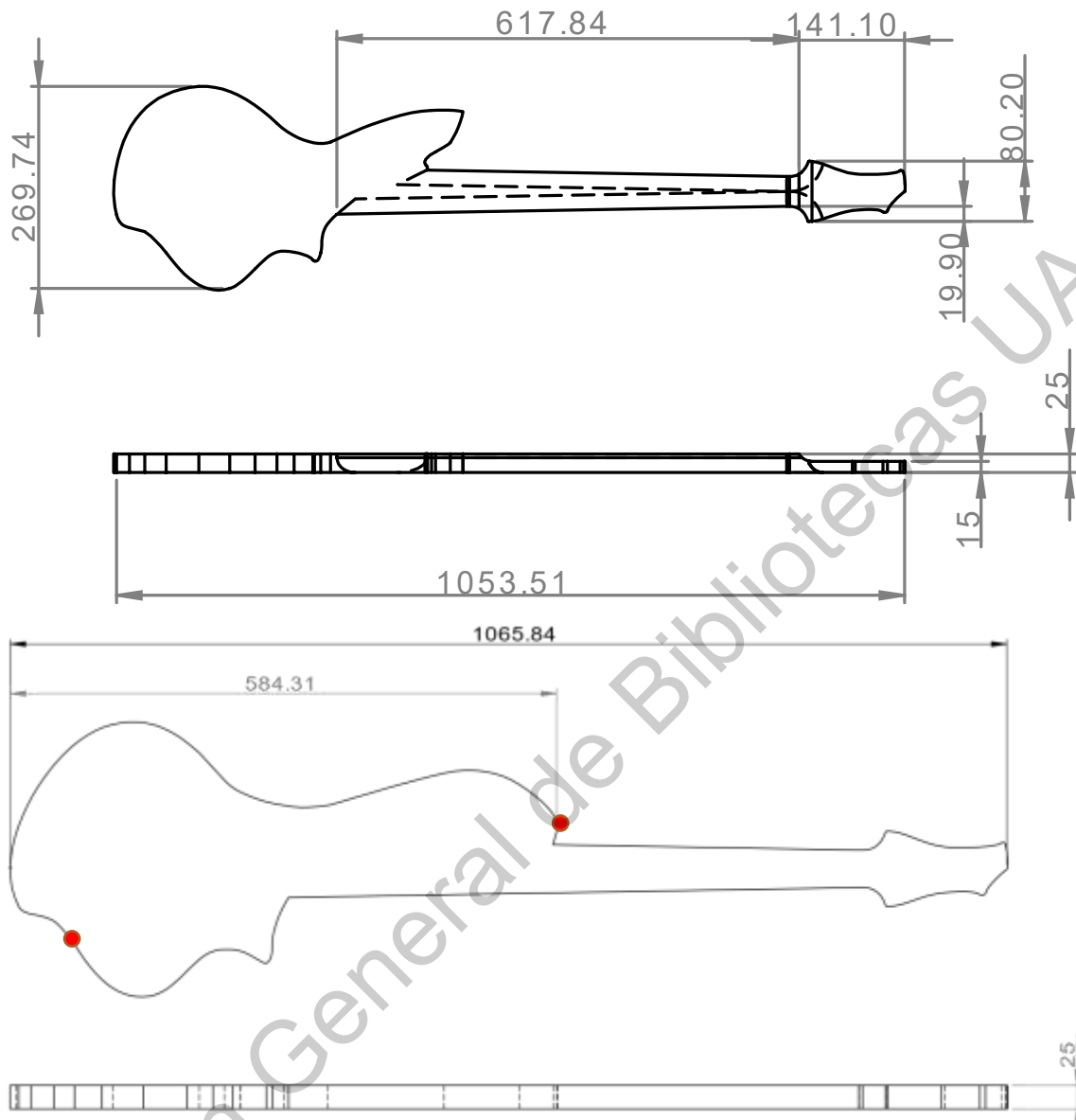


Figura 42 Figura comparativa del diseño 1 y 2. Diseño 1 ubicado en la sección superior y el número 2 en la sección inferior.

La ubicación de los puntos de fijación está marcada con los indicadores de color rojo. Estos indican la aplicación de fuerza localizadas en el puente y cejuela, tal y como en el primer diseño.

Los resultados se presentan en la Tabla 4. En esta, se comparan los datos obtenidos del diseño original, elaborado con acrílico, con el segundo diseño,

elaborado con el mismo material.

| | Diseño original | Con soporte |
|---------------|----------------------|--------------------|
| Modo 1 | 81Hz 9.2 mm/s | 44 Hz 11 mm/s |
| Modo 2 | 90Hz 8.55 mm/s | 79 Hz 7.5 mm/s |
| Modo 3 | 141.5 Hz 6.3 mm/s | 109 Hz 6.2 mm/s |
| Modo 4 | 195 Hz 5 mm/s | 194 Hz 4.5 mm/s |

Tabla 4 Resultados de variación de diseño

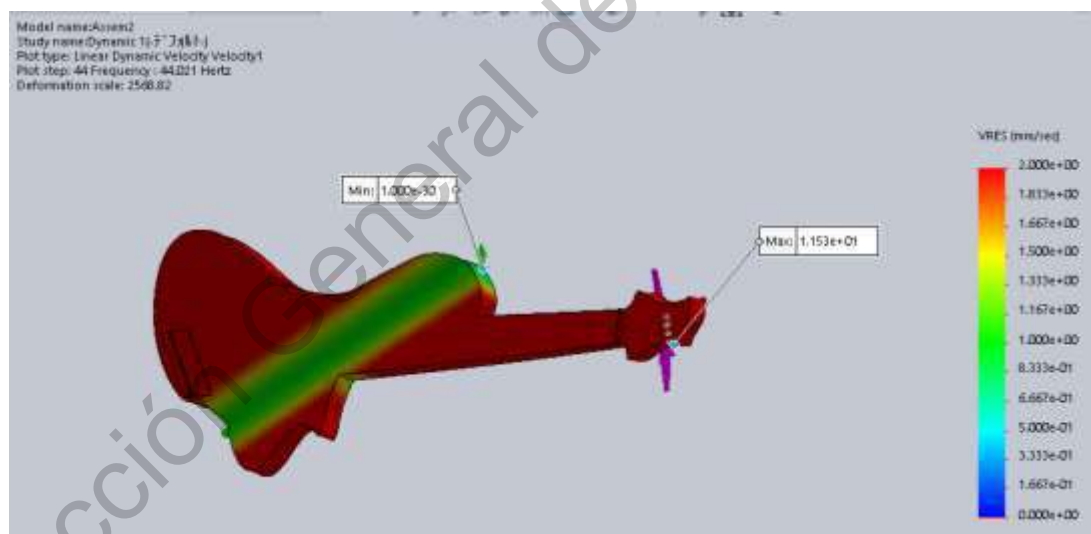


Figura 43 Modo 1 Diseño 2

En el primer modo se ve una diferencia de la frecuencia natural, así como de la magnitud a la que resuena. Este nuevo diseño resultó ser mayor por 1.8mm/s mayor en el primer modo. No obstante, en los siguientes modos ya se contempla una menor magnitud de reacción, aunque el cambio es mínimo.

6.6 Análisis 4 DIFERENCIA EN AGREGAR MASA

Para este análisis, se agregó al bajo una masa adicional de 178 gramos en la parte de la cabeza: Los resultados obtenidos se compararon con los del diseño original en acrílico. Ambos instrumentos tienen un espesor de 30mm.

Como se puede observar en la Tabla 5, al aumentar el peso en la cabeza del instrumento los cambios fueron drásticos en el aumento de 178 gramos colocados en la cabeza del instrumento. En el primer modo, al compararlo con el modelo de acrílico sin masa agregada (9.2 mm/s), la reducción es de 5.3 mm/s. Esta diferencia no se presenta solamente en el primer modo, sino que en los siguientes también es contrastante el cambio.

| | Diseño original | Con masa agregada (178 gramos extra en la cabeza) |
|---------------|------------------------|--|
| Modo 1 | 81Hz 9.2 mm/s | 102 Hz 3.9 mm/s |
| Modo 2 | 90Hz 8.55 mm/s | 119 Hz 3.4 mm/s |
| Modo 3 | 141.5 Hz 6.3 mm/s | 132 Hz 3.1 mm/s |
| Modo 4 | 195 Hz 5 mm/s | 188 Hz 2.4 mm/s |

Tabla 5 Resultados con distribución de masa

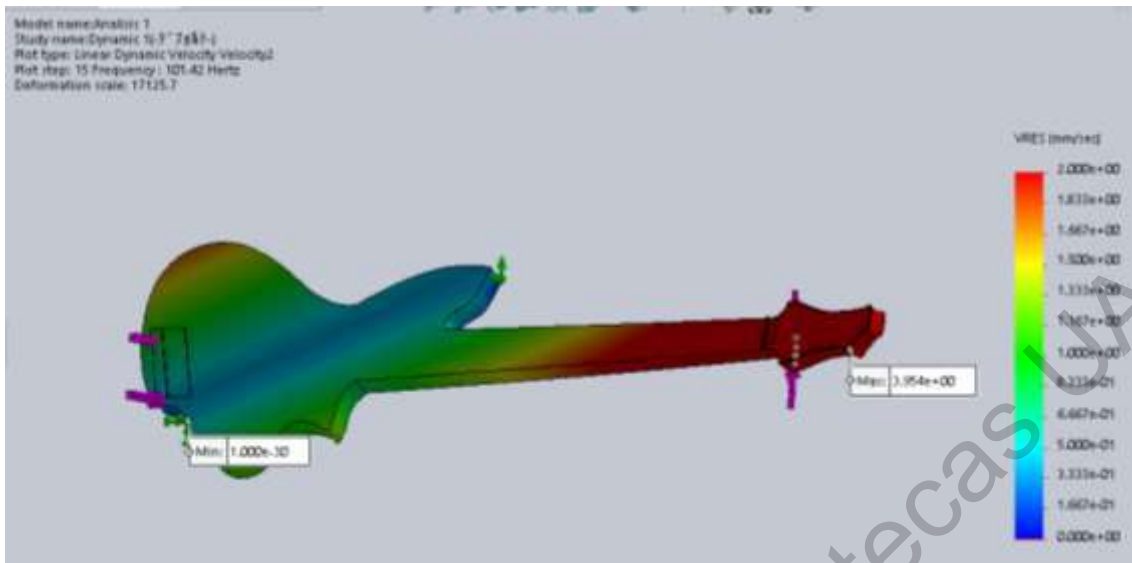


Figura 44 Modo 1 de instrumento con masa agregada en la cabeza.

6.7 Análisis 5 CAMBIO MATERIAL DEL SOLAMENTE EN EL CUERPO

En el quinto análisis se realizó un cambio de material en el cuerpo del instrumento. De esta forma, el cuerpo fue de maple, pero el mástil era de acrílico. Ambos instrumentos cuentan con un espesor de 25mm.

| | Modo 1 | Modo 2 | Modo 3 | Modo 4 |
|-----------------|------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| Maple | 40Hz 14 mm/s | 113Hz 6.7 mm/s | 144Hz 6 mm/s | 204Hz 4.8 mm/s |
| Acrílico | 81Hz 9.2 mm/s | 90Hz 8.55 mm/s | 141.5 Hz 6.3 mm/s | 195 Hz 5 mm/s |

Tabla 6 Resultados de cambio de material del cuerpo

Como se observa en la Tabla 6, el cuerpo de maple, al tener una menor densidad, muestra una mayor actividad vibratoria al ser sometida a sus frecuencias naturales. En el primer modo el maple, con 14mm/s, cambia a 9.2mm/s al ser sustituido por acrílico.

6.8 Conclusión del análisis

Después de realizar los análisis antes mencionados, se concluye lo siguiente.

Es notable el cambio de magnitud al incrementar la densidad y módulo elástico del material. Al aumentar estas características, se redujo la magnitud de reacción. Esto se demostró en el primer análisis. Respecto a la forma, el tercer análisis muestra poco cambio al modificar esta variable. Esto quiere decir que el punto de enfoque se concentra mayormente en el mástil, específicamente sus propiedades de material y cantidad de masa.

Un cambio contrastante se vio reflejado en el análisis número 4, a agregar una masa extra en la cabeza del instrumento, la cual redujo aproximadamente 5.3 mm/s.

Las modificaciones que dieron cambios contrastantes: cambio del material del mástil, de espesor y adición de masa extra en la cabeza, serán tomadas en cuenta para el diseño de propuesta, el cual estará enfocado mayormente en el diseño del mástil.

DISEÑO FINAL

El diseño final contempla únicamente el diseño del mástil del instrumento debido a la alta reacción vibratoria en comparación al cuerpo. El mástil recibirá los cambios positivos que se tuvieron en las pruebas CAE. Se le agregará un cambio de material al mástil: de madera a un material isotrópico y denso, siendo este el policarbonato; el cual, al tener una mayor densidad (de 1.2 g/cm^3), proporcionará mayor impedancia acústica.

El grosor de la cabeza del mástil será de 21 mm, con el fin de concentrar mayor masa en dicha sección. Este espesor será mayor en comparación con los otros dos instrumentos a probar en la etapa de validación. Estos cuentan con un espesor de 15mm. Asimismo, el mástil tendrá integrada un alma de 580mm en la parte interna de su cuerpo de acero³.

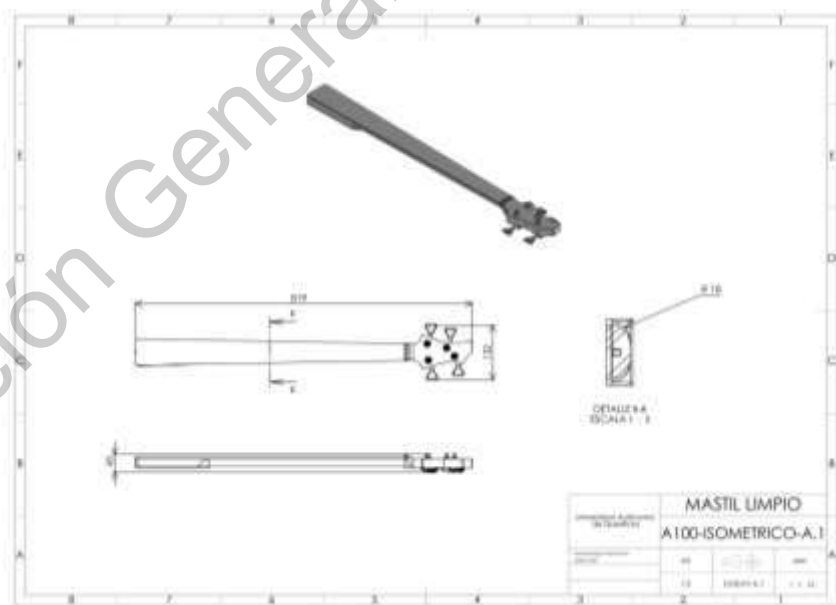


Figura 45 Dibujo de vistas del diseño de mástil propuesto

³ Este producto no cuenta con una ficha técnica sobre el material.



Figura 46 Fotografía del prototipo del mástil de policarbonato ensamblado con el cuerpo del

Yamaha trbx 174

VALORES DE PROPIEDADES TÍPICAS

| Propiedad | Método de Prueba | Unidades (USCS) | Valor |
|---|------------------|-----------------|-------------------------|
| Físicas | | | |
| Gravedad Específica (color dependiente) | ASTM D792 | - | 1.20 |
| Transmisión de Luz (Promedio). Espesor 1/8" | ASTM D1003 | % | 88 |
| Resistencia Química: | ANSI Z26.1 | - | Pasa ^d |
| Mecánicas | | | |
| Resistencia Tensional (Ultimate) | ASTM D638 | psi | 9,500 |
| Resistencia Flexional | ASTM D790 | psi | 13,500 |
| Soporte Flexional @1,800 Ciclos/Min, 73°F, 50% HR | ASTM D671 | psi | 1,000 |
| Resistencia Compresiva | ASTM D696 | psi | 12,500 |
| Módulo de Elasticidad | ASTM D638 | psi | 340,000 |
| Resistencia al Impacto Caída de Bola (Drop Ball) ¹ | SABIC Test | ft-lbs | |
| | @73°F | | >200 |
| | @ 32°F | | >200 |
| | @ 0°F | | >200 |
| Térmicas | | | |
| Coefficiente de Expansión Térmica | ASTM D696 | In/in/°F | 3.75 x 10 ⁻⁵ |
| Temperatura Deflexión de Calor @ 264 psi | ASTM D648 | °F | 270 |
| Flamabilidad | | | |
| Horizontal Burn (Propagación de Flama) | ASTM D635 | | |
| AEB | | | <1 |
| Temperatura de Ignición | ASTM D1925 | °F | |
| Bengala (Flash) | | | 873 |
| Auto | | | 1,076 |

Figura 47 Ficha técnica de producto hoja Lexan™ MR10 (SABIC Innovative Plastics. s.f.)

Para el material de fabricación se utilizó lamina de policarbonato Hoja LEXAN™ MR10 proporcionada por *SABIC Innovative Plastics*. Esta cuenta con una densidad de 1.2 g/cm³ y un módulo de elasticidad de 340,000 psi. El proveedor, en su ficha técnica, no menciona el porcentaje de variabilidad.

VII Validación de modelo

Para validar los propósitos de la propuesta de diseño, se registraron las notas ejecutadas por el modelo propuesto y se compararon con las producidas por dos bajos eléctricos: Yamaha trbx174 y un instrumento de fabricación independiente denominada Fossil. En esta comparación acústica, se evaluará el espectro armónico y el sostenimiento de la nota con el fin de buscar notas muertas.

Para tener datos comparativos, el diseño del mástil propuesto se integrará al cuerpo del bajo TRBX 174 y se compararán con los datos del mástil original del instrumento.

Equipo utilizado para el análisis:

- Interfaz digital Focusrite iTrack solo



Figura 48 Interfaz digital Focusrite iTrack solo

- Afinador Boss ME-50B (Afinación estándar GDAE)



Figura 49 Boss ME-50B

- Cuerdas: Ernie Ball Bajo Eléctrico Nickel Regular. 50-105

Programa de análisis y medición de ondas:

- Audacity

Configuración física del análisis:

En primer lugar, la salida Jack del bajo fue conectada directamente en la entrada Jack número 2 de la interfaz de Focusrite. Las perillas de regulación de las pastillas se maximizaron para todos los instrumentos, mientras que en la interfaz digital se mantuvo en un punto medio, tal y como se muestra en la figura 48. La interfaz digital fue conectada directamente a la PC por una entrada USB.



Figura 50 Configuración física del análisis.



Figura 51 Posición del intérprete.

En segundo lugar, el instrumento se sujetó a una correa. Posteriormente, la persona es colocada en posición de sedestación y ejecuta las notas con el dedo índice.

Configuración de análisis en Audacity:

El sostenimiento se determina como el tiempo al tener una reducción de 30dB de la amplitud inicial. La herramienta está incorporada en el programa Audacity bajo el nombre de análisis de silencios. En la configuración de dicha herramienta se buscó una disminución de 30dB con una duración mínima de 1 segundo.

Instrumentos utilizados

A continuación, se hace una descripción de los instrumentos utilizados en el análisis.

1. Yamaha trbx174

Tiene un tamaño de 34 pulgadas. Cuenta con 24 trastes, pastillas P-J, mástil de

maple y cuerpo de aliso. El material del puente es urea.



Figura 52 Yamaha TRBX 174 (YAMAHA s.f.)

El Yamaha TRBX174 está equipado con dos pastillas de cerámica pasivas. Una de ellas cuenta con una configuración P/J, es decir, de estilo jazz; mientras que la otra es una pastilla de precisión. Ambas pastillas son de bobina simple.

2. Fossil (bajo de fabricación independiente)

Este instrumento mide 34 pulgadas. Cuenta con 24 trastes y su mástil y cuerpo están elaborados con cerezo. Su cejuela es de madera de tzalam.



Figura 53 Fossil (bajo de fabricación independiente)

El bajo tiene incorporado un par de pastillas *Fender Jazz bass noiseless vintage*, ambas de bobina simple.

3. Diseño propuesto de mástil con cuerpo de Yamaha trbx174.

Este tiene un tamaño de 34 pulgadas y cuenta con 24 trastes, pastillas P/J (las mismas pastillas incorporadas que en el Yamaha TRBX174). Su mástil es de acrílico con madera tzalam y cuerpo de aliso. El material del puente es latón.

Análisis de las notas

Las notas analizadas fueron las 4 notas al aire (GDAE) y las mismas notas una octava más alta⁴; es decir, ejecutadas al digitar el doceavo traste de cada cuerda. También se muestran las dos notas de menor duración dentro del mástil en los primeros 12 trastes, que corresponden a las notas muertas en unidades de segundos.

Los registros de la Tabla 7 Tabla comparativa de los tres bajos analizados, sobre las notas GDAE y las dos notas con menor sostenimiento. indican una relación entre la densidad del material y el sostenimiento de las notas. Se observa que el de cerezo (del Fossil) presenta un sostenimiento menor al material de los otros dos instrumentos probados.

Se percibe un cambio notorio desde el cambio al mástil de maple del Yamaha TRBX, ya que hay notas que duplican su tiempo de duración. Cabe mencionar que hay una nota dentro de los registros del Yamaha que sobresale: este es el caso de la nota Re (D). Dicha nota tiene una duración de 26 segundos, por lo que es, posiblemente, un *livetone*. El mástil de acrílico con cuerpo del mismo

⁴ Estas notas se representan con el nombre de la nota pero en minúscula.

Yamaha TRBX también presentó cambios considerables en comparación con mástil de maple.

| | TRBX 174 maple | FOSSIL cerezo | PROPUESTA |
|----------------------|--|---|--|
| G (Sol) | 19.3 segundos | 4.9 segundos | 25 segundos |
| D (Re) | 26.2 | 5.8 | 26.6 |
| A (La) | 18.4 | 9 | 36.2 |
| E (Mi) | 24.3 | 10.2 | 31.9 |
| g (sol) | 8.2 | 4.6 | 5.8 |
| d (re) | 4.2 | 3.3 | 12.8 |
| a (la) | 5.6 | 5.1 | 24 |
| e (mi) | 7.5 | 5.5 | 9.5 |
| Nota muerta 1 | Cuerda D nota Db Traste número 11 3.2 segundos | Cuerda D nota D Traste número 12 2.1 segundos | Cuerda G nota G traste número 12 5.8 segundos |
| Nota muerta 2 | Cuerda g nota E# Traste 8 4.9 segundos | Cuerda D nota C 2.5 segundos | Cuerda G nota F# Traste número 11 6.7 segundos |

Tabla 7 Tabla comparativa de los tres bajos analizados, sobre las notas GDAE y las dos notas con menor sostenimiento.

En general, se puede notar que las notas ejecutadas con el diseño propuesto cuentan con un mayor sostenimiento. Al comparar la duración de las notas, se observa que el único valor cercano sería el de la nota Re (D) ejecutada con el Yamaha TRBX. El mayor tiempo de vida registrado fue el de la nota La (A)

la nota fue en la nota A al aire y en el doceavo traste, con 36.2 y 24 segundos respectivamente. Me aventuro a suponer que estas son frecuencias que favorece el instrumento; es decir, una gran impedancia vibratoria por parte de la estructura del bajo eléctrico las traduce a un *livetone*.

En las notas muertas se ve el cambio de 2.1 segundos con el mástil de cerezo a 5.8 segundos con el de policarbonato. Esto indica que el diseño propuesto alarga la duración de las notas conflictivas.

ANÁLISIS SENSOR PIEZOELÉCTRICO

Como último análisis, se registraron las vibraciones y la magnitud a la que resuenan el bajo eléctrico Fossil y el bajo con el diseño del mástil propuesto de policarbonato. Esto con el fin de comparar la magnitud a la que ambos instrumentos vibran al ejecutar frecuencias específicas.

Se decidió medir el instrumento Fossil y el de propuesta, ya que el primero tuvo el menor sostenimiento y notas muertas de menor duración; mientras que el diseño propuesta presentó un comportamiento contrario. Las frecuencias a registrar fueron las 4 notas al aire con una afinación estándar (GDAE) y la nota muerta de menor duración (D en el traste número 12).

Programa de análisis y medición de ondas:

- Audaciti

Configuración de análisis:

- Se registró tres veces las frecuencias para cada nota a analizar.

Posteriormente se amplificaron a un punto en la que la amplitud máxima se ubicara en 0 dB.

Equipo para el análisis:

- Interfaz digital: Focusrite iTrack solo
- Afinador: Boss ME-50B (Afinación estándar GDAE)
- Cuerdas: Ernie Ball Bajo Eléctrico Nickel Regular. 50-105
- Sensor Piezoeléctrico



Figura 54 Sensor piezoeléctrico marca Fishman

El sensor piezoeléctrico fue colocado en la parte posterior del mástil, a la altura del doceavo traste de ambos bajos eléctricos. Para su fijación se colocó un pedazo de cinta que abrazara al sensor y la superficie plana del sensor y del mástil, para que estas estuvieran en total contacto.

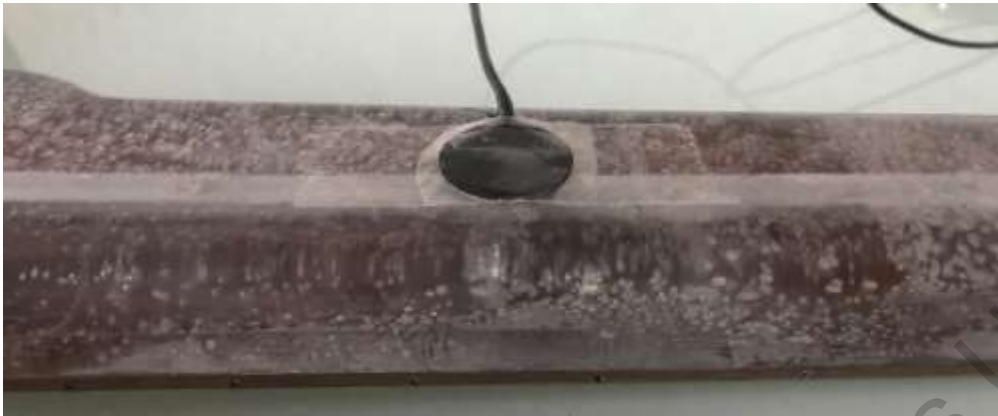


Figura 55 Fijación sensor piezoeléctrico



Figura 56 Fijación de medición con sensor piezoeléctrico

La salida del sensor piezoeléctrico fue conectada a la entrada de la interfaz digital, la cual tenía los parámetros en un punto medio. La interfaz estaba conectada directamente a la PC por un puerto USB.



Figura 57 Posición de ejecución de notas

Como en el caso anterior, el instrumento fue sujeto a una correa. Asimismo, el intérprete se colocó en posición de sedestación y ejecutó las notas con el dedo índice.

Resultados del análisis

La magnitud (dB) a contemplar es la mayor de las tres pistas registradas por nota.

La Tabla 8 muestra los resultados del análisis. En ella se observa que, a pesar de las grandes diferencias en el sostenimiento de las notas entre ambos instrumentos, las vibraciones transmitidas hacia el mástil no demuestran variaciones contrastantes.

| | FOSSIL | | PROPUESTA | |
|--------------------------|--|-------------------|--|-------------------|
| | Sostenimiento | Magnitud en dB | Sostenimiento | Magnitud en dB |
| G (Sol) | 4.9 segundos | 14.10 | 25 segundos | 10.83 |
| D (Re) | 5.8 | 13.37 | 26.6 | 13.35 |
| A (La) | 9 | 13.08 | 36.2 | 11.62 |
| E (Mi) | 10.2 | 12.04 | 31.9 | 12.8 |
| Nota muerta 1 | Cuerda D nota D traste número12 2.1 segundos | 22.24 | Cuerda G nota G traste número12 5.8 segundos | 21.88 |

Tabla 8 Tabla 8 Resultado de análisis con sensor piezoeléctrico de Fossil y diseño propuesta en notas sueltas en afinación estándar y nota muerta

En la nota Mi, se muestra que hay una vibración similar en ambos instrumentos. No obstante, hay una mayor reacción en la de poliuretano; como se mencionó anteriormente, existe una posibilidad de que la nota La del diseño propuesta sea una *livetone*. Es notorio que hay una menor reacción si se compara con las notas Mi y Re. También se muestra una reacción baja en la nota Sol.

En cuanto a las notas muertas, con el diseño propuesto se observa una reacción que duplica la duración que presenta el Fossil, llegando hasta valores superiores a los 20 dB. Entre las notas muertas de ambos instrumentos existe una diferencia de 0.38 dB, el cual, en sostenimiento, se muestra como 3.7 segundos.

VIII Conclusión

A partir del proceso de diseño y prueba de un bajo eléctrico, se concluye lo siguiente. El diseño propuesto, con un cambio de material en el mástil, permitió tener un sostenimiento de 5.8 segundos dentro de sus notas muertas. Esto representa una enorme mejoría, ya que, a comparación de los otros dos instrumentos medidos, estas notas llegaban a los 2.1 y 3.2 segundos.

Dado el resultado que se observa en la Tabla 7 Tabla comparativa de los tres bajos analizados, sobre las notas GDAE y las dos notas con menor sostenimiento., se concluye que se ha aumentado en un 176% en el tiempo de vida de la nota, superando 8.8 veces el objetivo propuesto del 20% en comparación con el bajo Fossil. En el caso del bajo Yamaha TRBX 174, la mejora es del 124%, siendo 6.2 veces más que el objetivo. En promedio, hay una mejora del 150% en la vida de las notas muertas, lo que se traduce a 7.5 veces más que el objetivo planteado al inicio de la tesis.

El material, como se pudo confirmar en la presente investigación, es un factor relevante que afecta directamente en el sostenimiento de las notas. Con una correcta selección del material, se pueden ajustar propiedades del sonido que se requiere. Cabe mencionar que el material no es el único factor, sino que existen más variables que pueden incentivar la corrección de las notas muertas. Estas son el ensamble del mástil con el cuerpo, el material de los trastes y cajuela, las dimensiones generales del instrumento y la forma del mismo.

En cuanto al segundo objetivo, disminuir la variabilidad del sonido, se ha encontrado que, teóricamente al seleccionar un material isotrópico bajo

estándares definidos por el mismo proveedor, es posible. No fue posible realizar una validación de variabilidad debido a la falta de información por parte del proveedor del material. En la presente, el cambio de material se ejecutó en el mástil, pero existe la oportunidad de construir todo un instrumento de un material isotrópico y asegurar una estandarización en el sonido del instrumento. La ficha técnica permite el aseguramiento y respaldo sobre el material y variabilidad.

Desde la comparación de los dos instrumentos elaborados completamente de madera, se nota la diferencia en su sostenimiento y en sus notas muertas. El bajo Fossil, al tener un cuerpo y mástil de madera de cerezo, que se caracteriza por ser una madera semirrígida, presenta números bajos de sostenimiento y sus notas muertas tienen una duración de 2.1 segundos como máximo. Esto solo contemplando los primeros 12 trastes de las cuatro cuerdas, por lo que es posible que en notas más agudas se presente una menor duración.

Si se observa el Yamaha, elaborado con maderas de mayor densidad (maple y aliso) hay notas en las que se duplica o triplica la vida de la nota. En el Yamaha se puede ver un aumento de sostenimiento en la nota Re (D) al aire. Esta es posiblemente una *livetone*, aunque se requerirían otros análisis para comprobar esta última afirmación.

El análisis con el sensor piezoeléctrico confirma la alta resonancia en las notas muertas de los instrumentos y, por medio del aumento de la masa, se crea una mayor impedancia. Sin embargo, existe la incógnita sobre la relación de los números entre la magnitud de reacción del cuerpo con el sostenimiento de la nota Mi en el bajo Fossil y el propuesto; ya que estos tienen valores

contradictorios. Un registro de vibraciones del instrumento con un equipo de mayor precisión en un ambiente con mayor control permitirá un resultado más certero.

Futuras investigaciones sobre la expansión térmica o comportamiento físico serán necesarias en función a las cualidades del instrumento, tales como la afinación del instrumento en cambios de temperatura, en la pronunciación cóncava o convexa del mástil ante las tensiones y resistencia generada por el alma.

Dirección General de Bibliotecas UHQ

IX Bibliografía

- Aristides (s.f.). Production process | Aristides Instruments. 2020, de Aristides Sitio web: <https://aristidesinstruments.com/story/production-process>
- Basslab Guitars. (2018). BassLab Basses & Guitars. 2020, de BASSLAB GUITAR Sitio web: <https://www.google.com/search?q=Basslab+Guitars&oq=Basslab+Guitars&aqs=chrome..69i57j0.691j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- Brémaud, Iris. 2012. "Acoustical Properties of Wood in String Instruments Soundboards and Tuned Idiophones: Biological and Cultural Diversity." *The Journal of the Acoustical Society of America* 131(1):807–18.
- Cavalli, Massimo. 2016. "Double Bass and Electric Bass : The Case Study of John Patitucci."
- Courtney, Michael. 2013. "Teaching Fourier Analysis and Wave Physics with the Bass Guitar Teaching Fourier Analysis and Wave Physics with the Bass Guitar Introduction The Physics of Standing Waves on a String Are Described in Many Introductory Textbooks ." (February).
- Diaz, Ricardo. 2007. "Acustica Fisica." *Universidad de La Republica* 03.
- Fender. (s.f.). FATFINGER™ GUITAR. 2020, de Fender Sitio web: https://shop.fender.com/en-MX/accessories/miscellaneous/fatfinger-guitar/0992180100.html?rl=en_US
- Fleischer, Helmut, and Tilmann Zwicker. 1999. "Investigating Dead Spots of Electric Guitars." *Acustica* 85(1):128–35.
- Fleischer, Helmut. 1999. "Diagnosing Dead Spots of Electric Guitars and

Basses by Measuring the Mechanical Conductance.” *The Journal of the Acoustical Society of America* 105(2):1330–1330.

- Fleischer, Helmut. 2005. “Vibration of an Electric Bass Guitar.” *Acta Acustica United with Acustica* 91(2):247–60.
- Hartmann, William M. 2013. *Principles of Musical Acoustics*.
- Innovative Plastics. (s.f.) Ficha técnica de producto hoja Lexan™ MR10 (Pagina 1).
- Irvine, Tom. 2000. “AN INTRODUCTION TO FREQUENCY RESPONSE FUNCTIONS.” 130–39.
- Isaza, Jorge. 2010. “Las Ondas.” *Física y Química Cidead* 179–211.
- J,Puszynski.(2014).Stringwood feedback in electric string instruments.2020. *Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW. Forestry and Wood Technology*
- Mayones. 2008. “ELECTRIC BASS GUITAR USER ’ S MANUAL.” P. 12 in *ELECTRIC BASS GUITAR USER ’ S MANUAL*.
- N. Steinberger (s.f.). NS Design. Retrieved 28 August 2020, Sitio Web: <https://thinkns.com/history/>
- Paté, A., J. L. Le Carrou, and B. Fabre. 2014. “Modal Parameter Variability in Industrial Electric Guitar Manufacturing.” *Proceedings of ISMA 2014 - International Conference on Noise and Vibration Engineering and USD 2014 - International Conference on Uncertainty in Structural Dynamics* 4561–70.
- Paté, Arthur, Jean-Loïc Le Carrou, and Benoît Fabre. 2014. “Predicting the Decay Time of Solid Body Electric Guitar Tones.” *The Journal of the*

Acoustical Society of America 135(5):3045–55.

- Pouska, A. (s.f.). Bass Guitar Tone Woods. Consultado en marzo de 2020 en: de Study Bass Sitio web: <https://www.studybass.com/gear/bass-guitar-buying-guide/tone-woods/>
- Pouska, A. (s.f.). The Harmonic Series and Timbre. 2020, de STUDYBASS Sitio web: <https://www.studybass.com/gear/bass-tone-and-eq/the-harmonic-series-and-timbre/>
- Rocamora, Martín. 2006. "Índice General." *Revista Técnica de La Facultad de Ingeniería Universidad Del Zulia* 24(3):232.
- Roohnia, Mehran. 2019. *Wood: Vibration and Acoustic Properties*. Elsevier Ltd.
- SIEMENS. (2019). Dynamic Stiffness, Compliance, Mobility, and more.... 2020, de SIEMENS Sitio web: <https://community.sw.siemens.com/s/article/dynamic-stiffness-compliance-mobility-and-more>
- SIEMENS. (2019). Natural Frequency and Resonance. 2020, de SIEMENS Sitio web: <https://community.sw.siemens.com/s/article/Natural-Frequency-and-Resonance>
- Schroeder, Dave, and Coffman. 2011. "The Evolving Role of the Electric Bass in Jazz : History and Pedagogy." *History and Pedagogy D.M.A.*(June):108.
- Smardzewski, Jerzy, Wojciech Batko, Tadeusz Kamisiński, Artur Flach, Artur Pilch, Dorota Dziurka, Radosław Mirski, Edward Roszyk, and Adam Majewski. 2014. "Experimental Study of Wood Acoustic Absorption

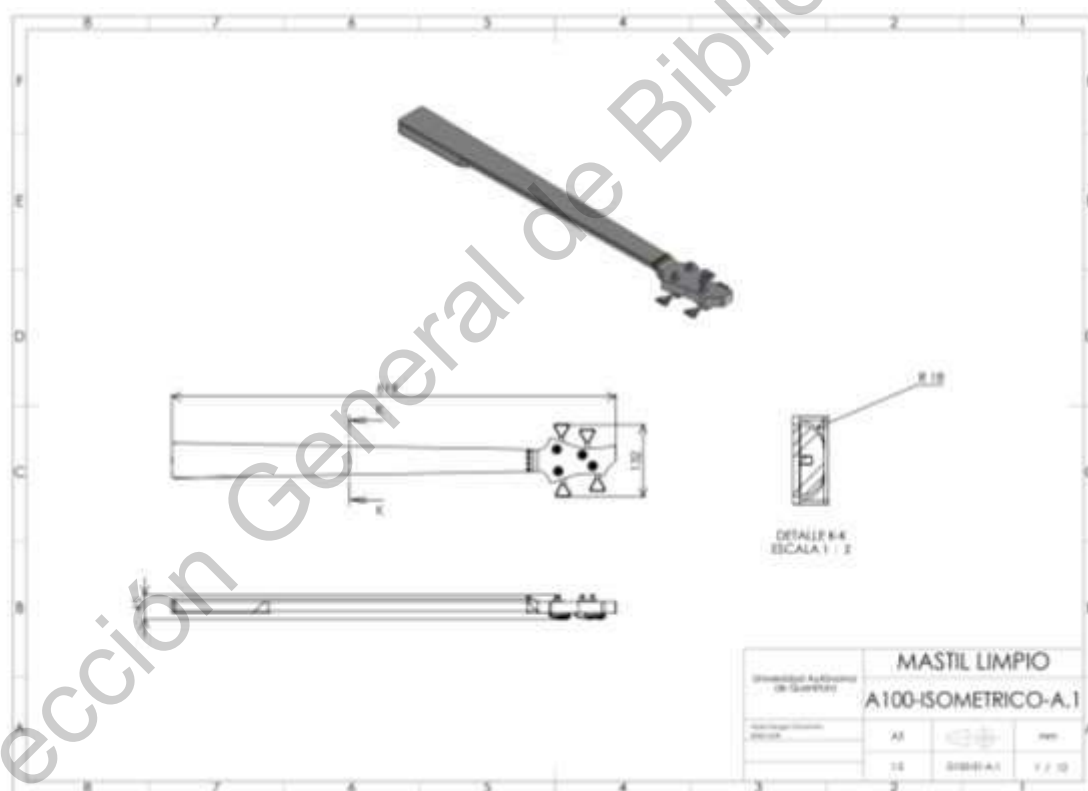
Characteristics.” *Holzforschung* 68(4):467–76.

- TUSA, M. 2006. “Capítulo 2 Física Del Sonido.” *FISICA DEL SONIDO II*:15.
- Yamaha (s.f.) TRBX, descripción.
https://es.yamaha.com/es/products/musical_instruments/guitars_basses/el_basses/trbx/index.html
- Yamaha. (s.f.). SLB300 SILENT Bass™ features. 2020, de Yamaha Sitio web:
https://usa.yamaha.com/products/musical_instruments/strings/silent_series/slb300_series/slb300/features.html#product-tabs
- Yoshikawa, Shigeru, and C. Waltham. 2014. “Woods for Wooden Musical Instruments.” *The Journal of the Acoustical Society of America* 122(April):568–73.
- Zevin, Michael. 2012. “Resonance and Harmonic Analysis of Double Bass and Bass Guitar Physics of Music Final Project.” *Physics of Music Final Project* 1–11.
- Zorič, Anton, Jasmin Kaljun, Ervin Žveplan, and Aleš Straže. 2019. “Selection of Wood Based on Acoustic Properties for the Solid Body of Electric Guitar.” *Archives of Acoustics* 44(1):51-58

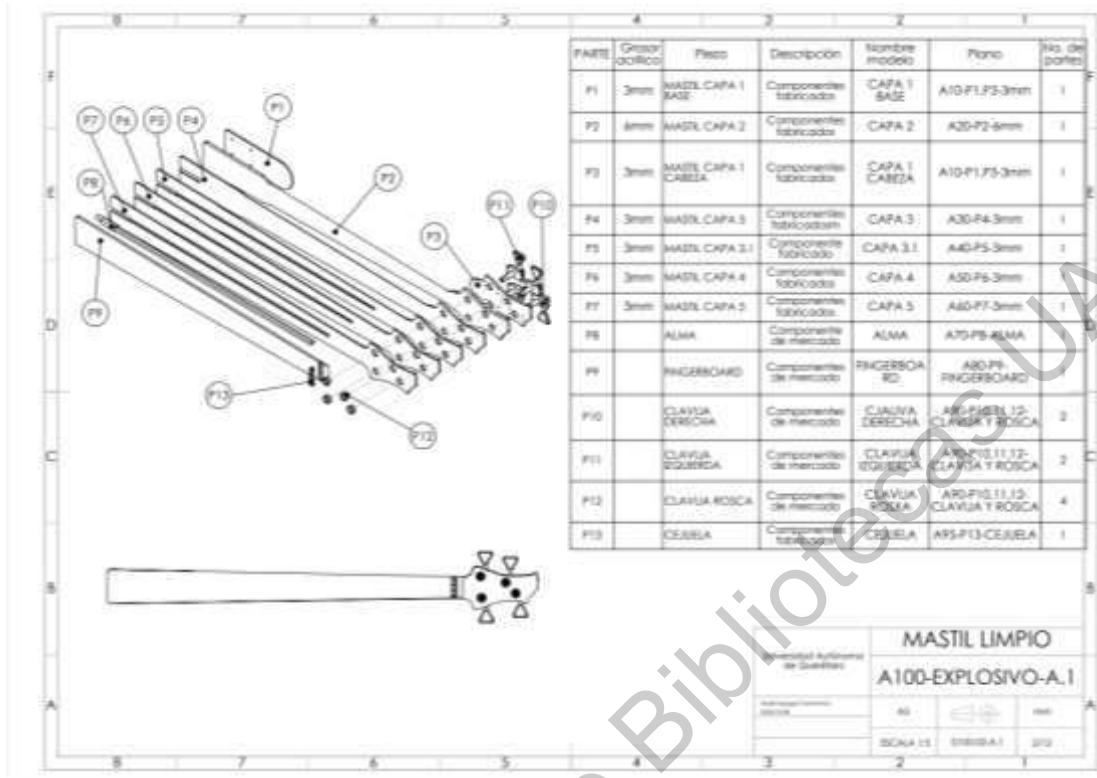
X Anexos

DIBUJOS MASTIL PROPUESTA

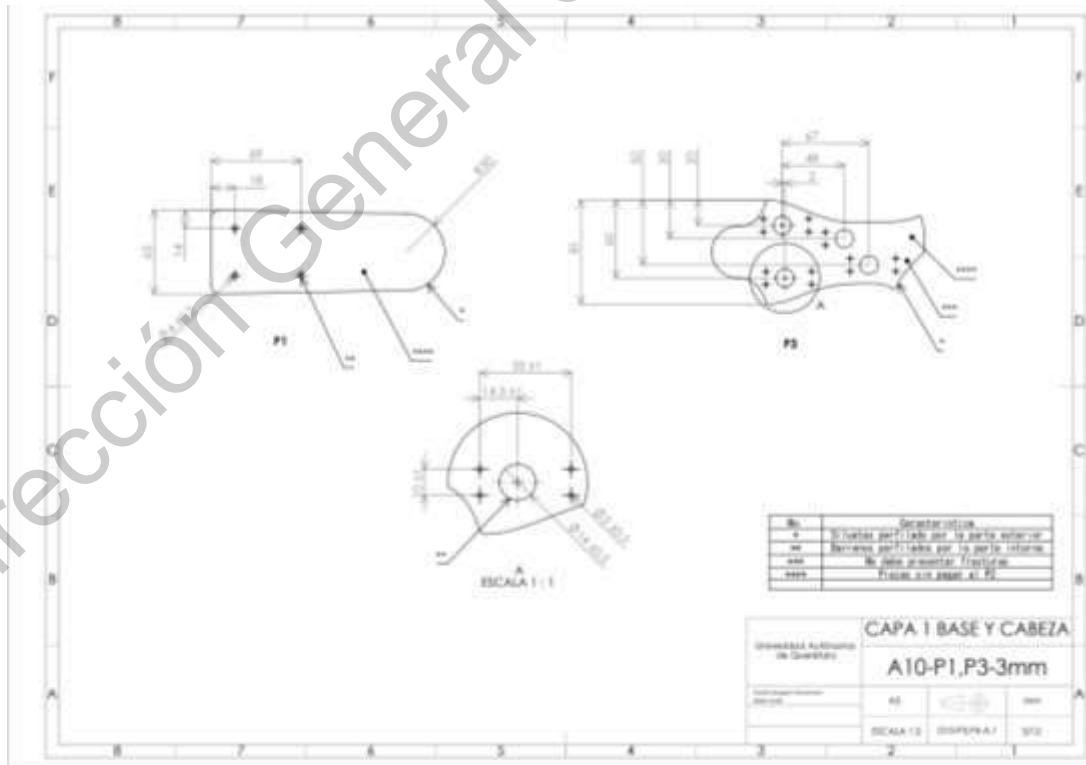
La recopilación de los dibujos de fabricación para el mástil de policarbonato. Comienza por el plano de vistas generales, seguido por la lista de partes (BOM) especificando la ubicación de la pieza respecto al número de dibujo. Se requirió 7 placas de policarbonato de distintos grosores (de 6 y 3mm) para su elaboración, cada placa tiene su plano de corte y fueron pegados con adhesivos.



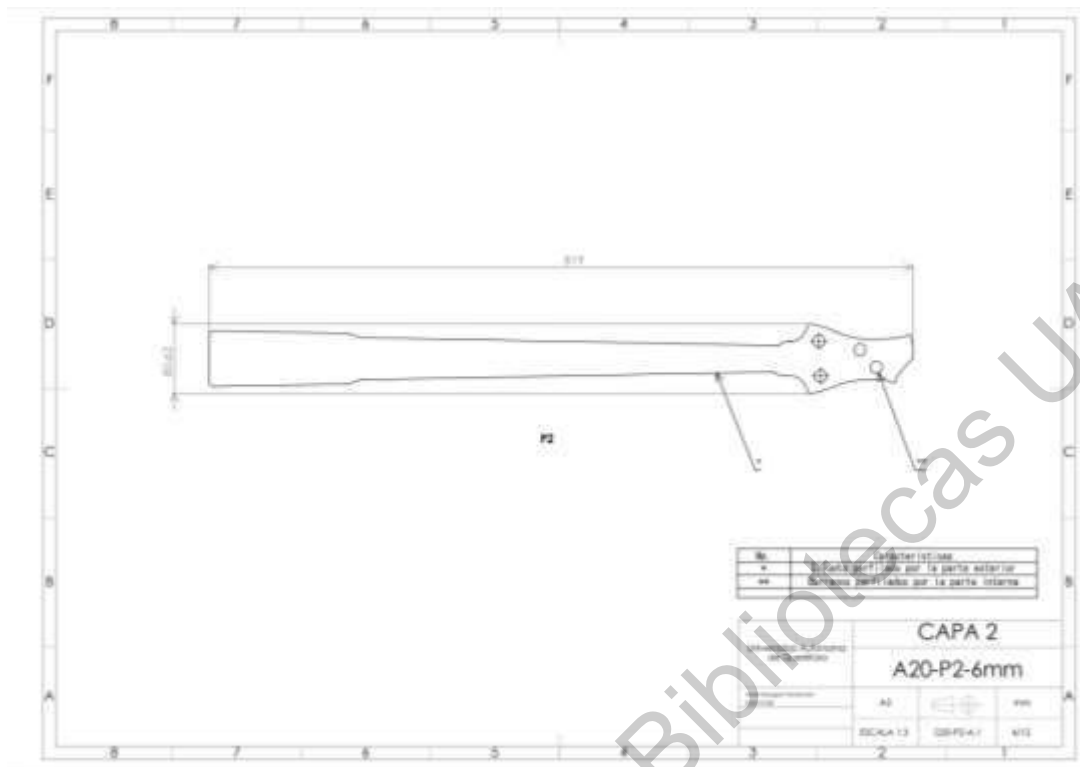
Vistas generales



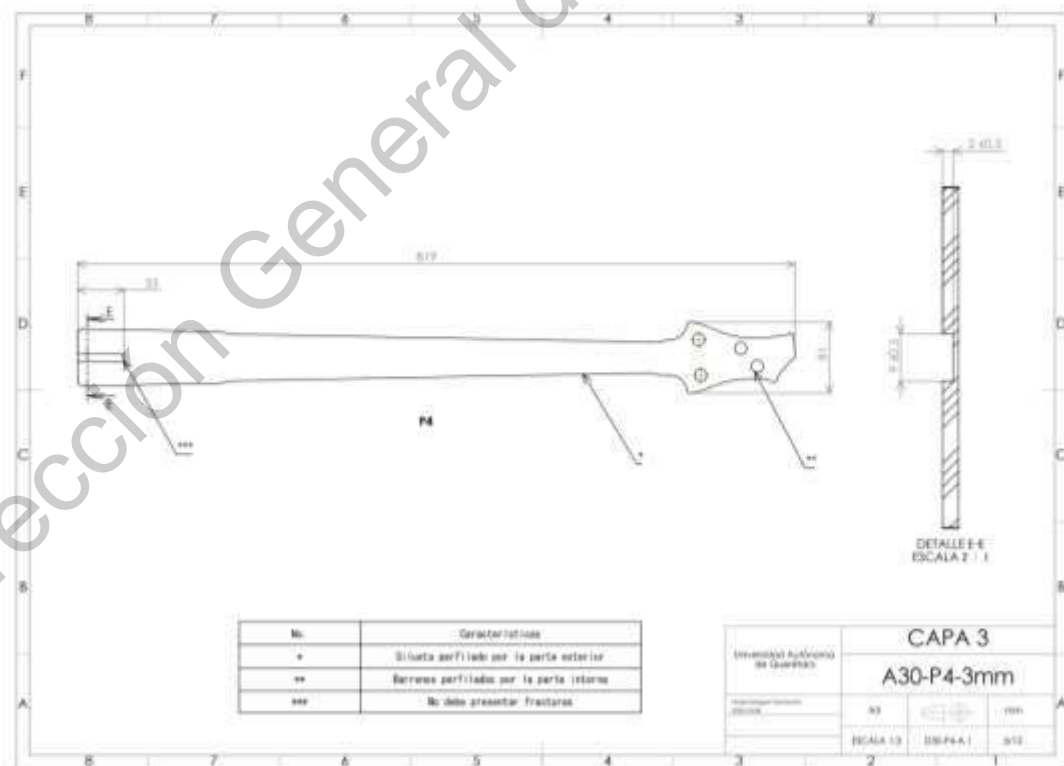
Plano despiece (BOM)



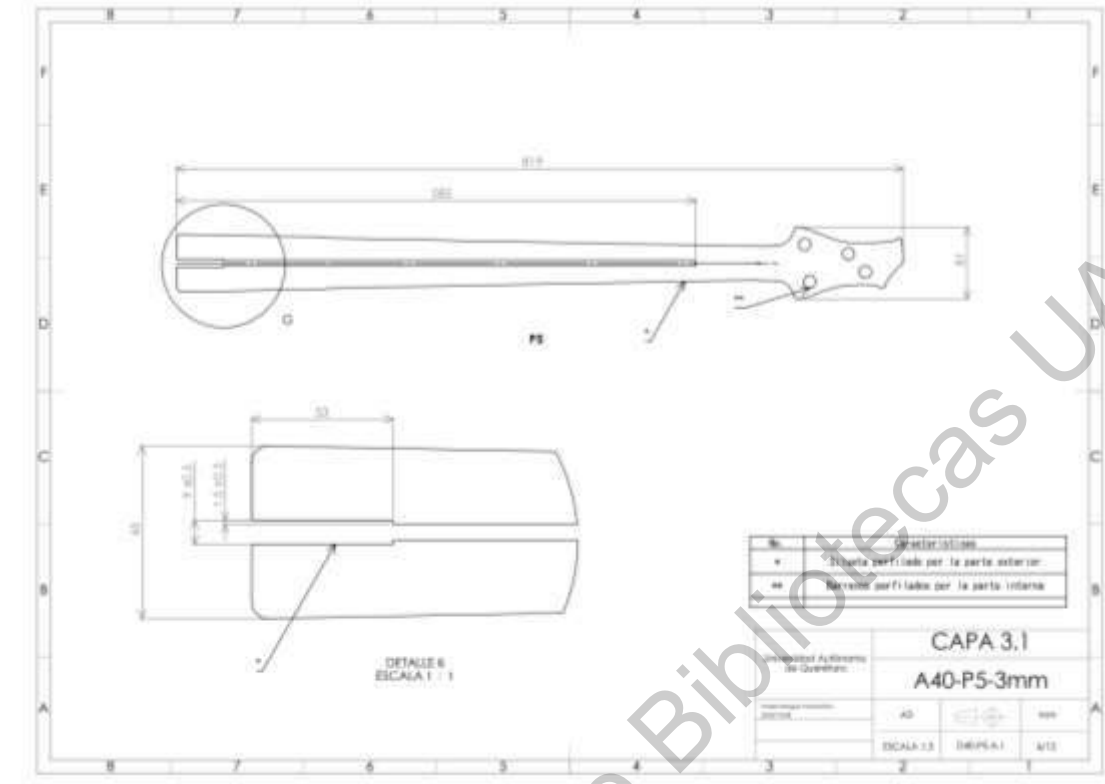
Dibujo capa 1, pieza 1 y 3



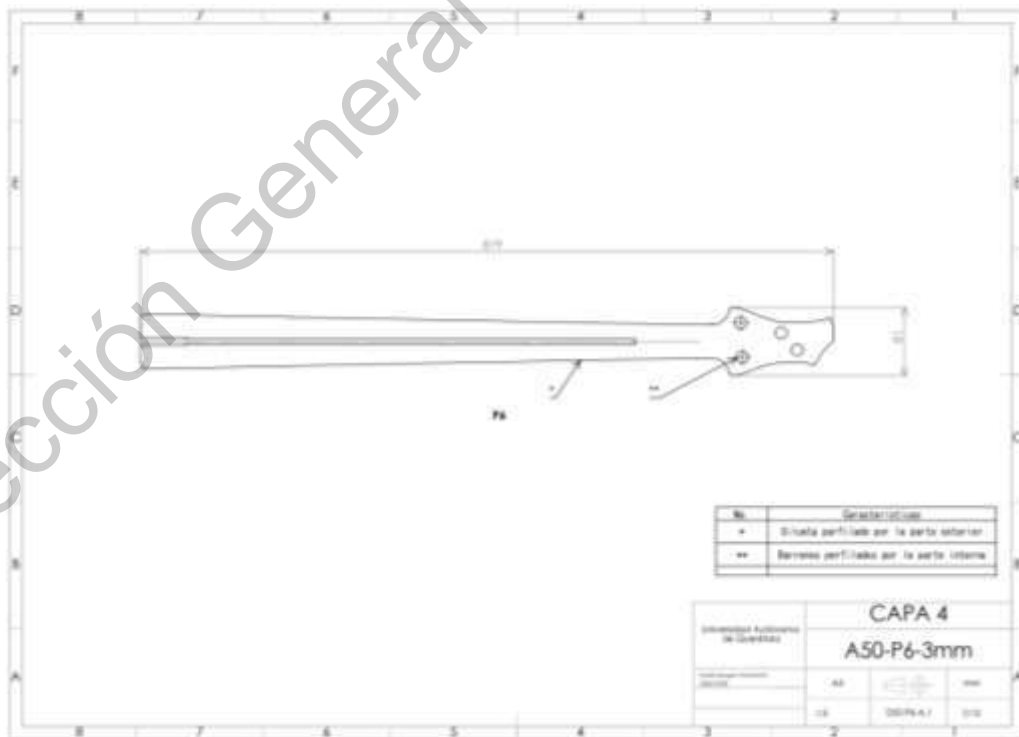
Capa 2, pieza 2



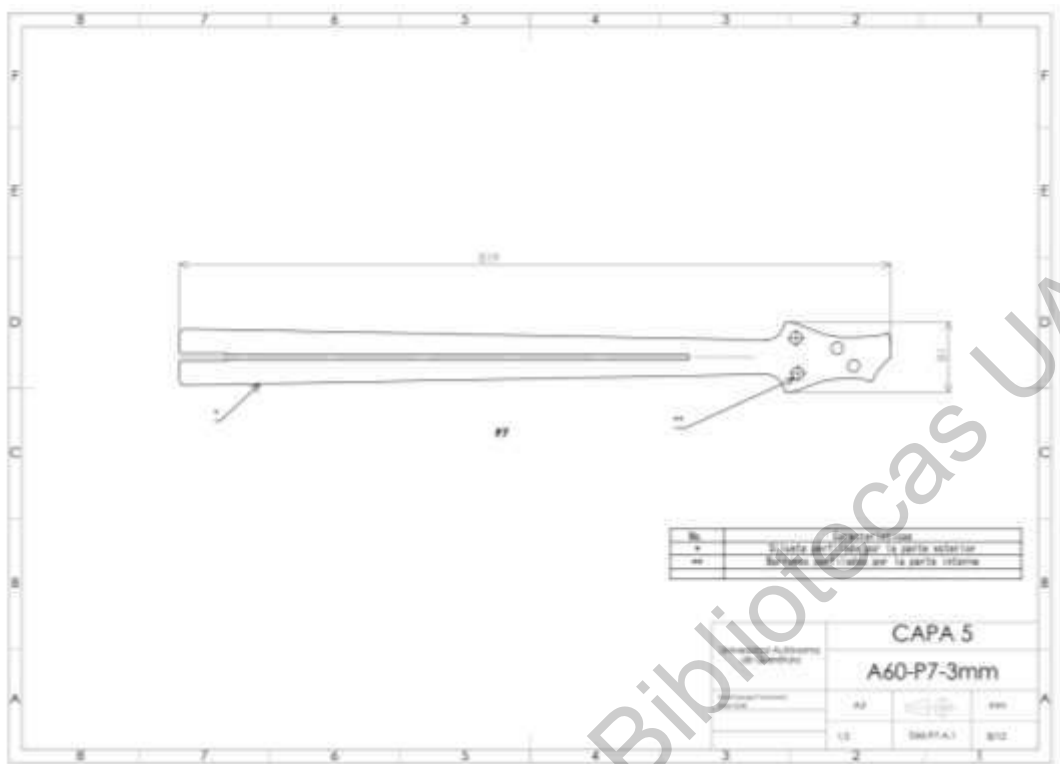
Capa 3, pieza 4



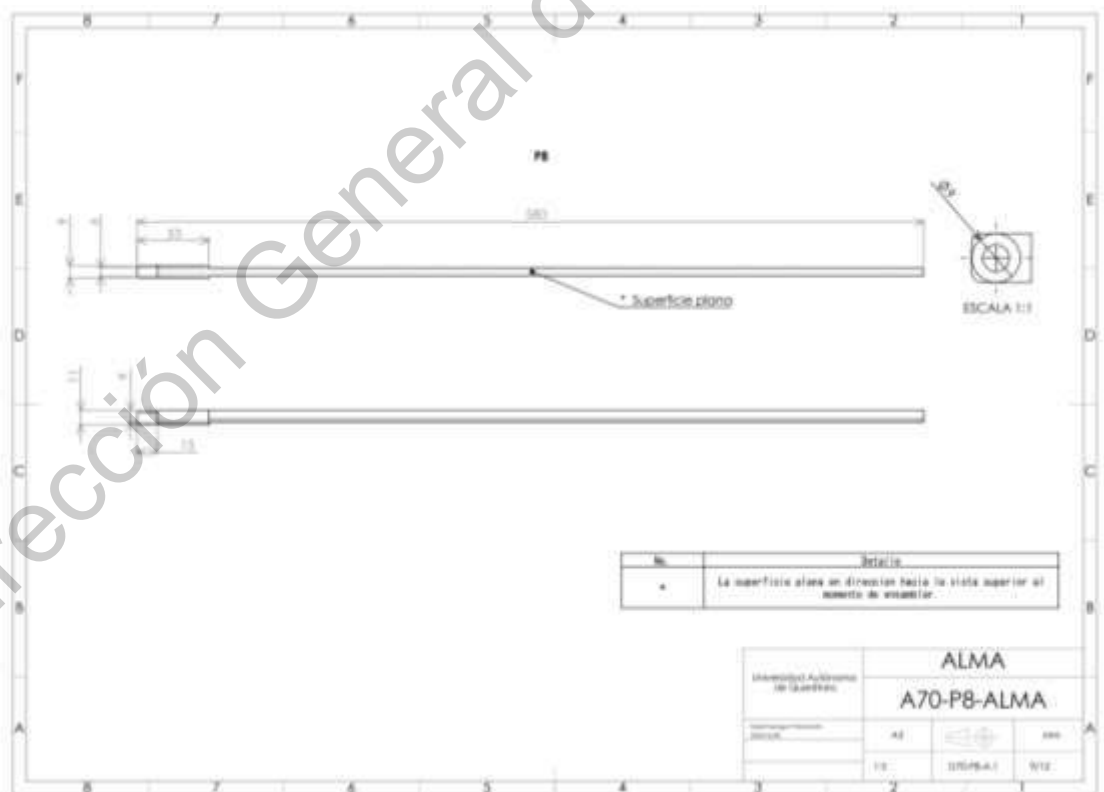
Capa 3.1, pieza 5



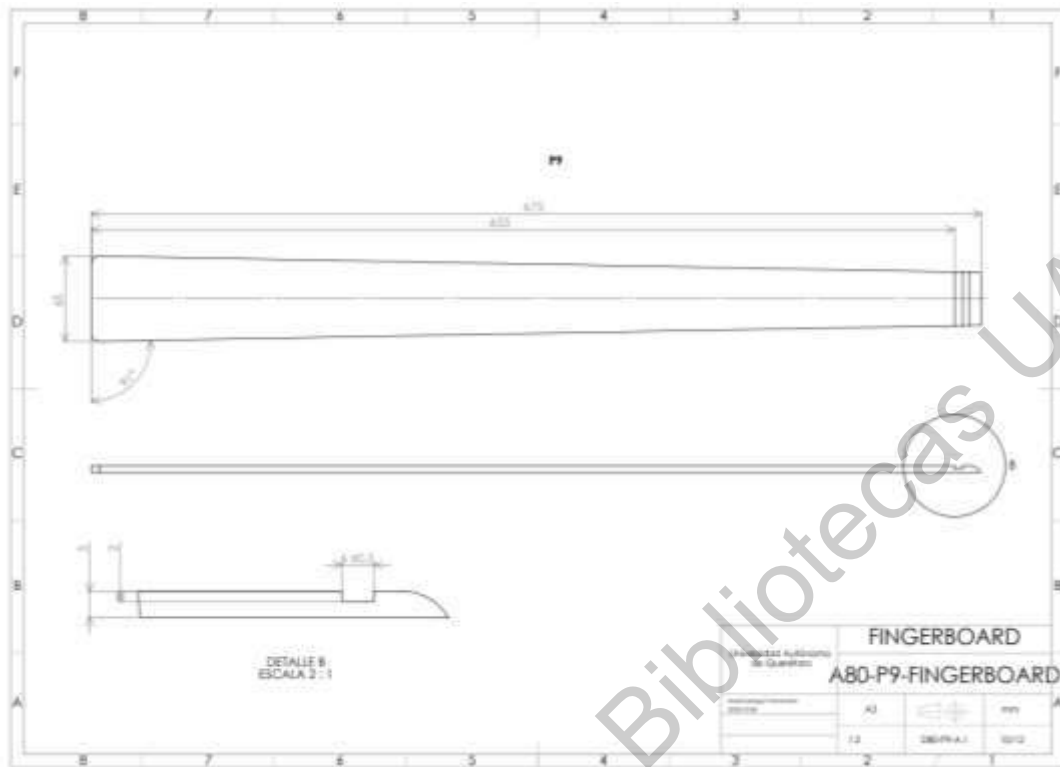
Capa 4 , pieza 6



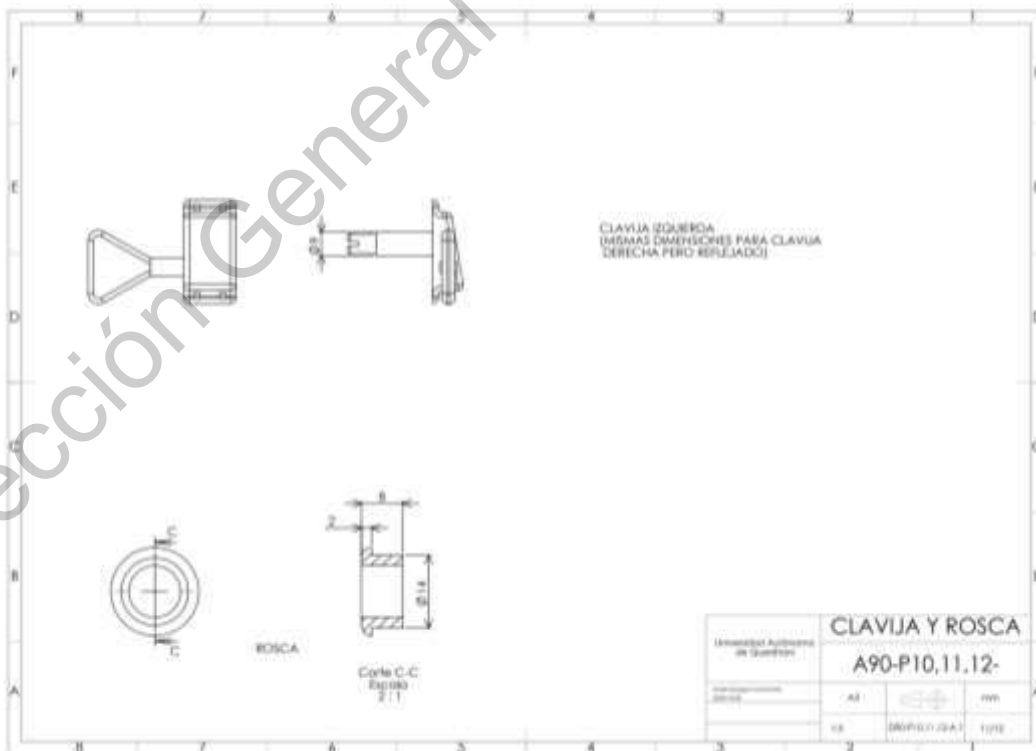
Capa 5, pieza 7



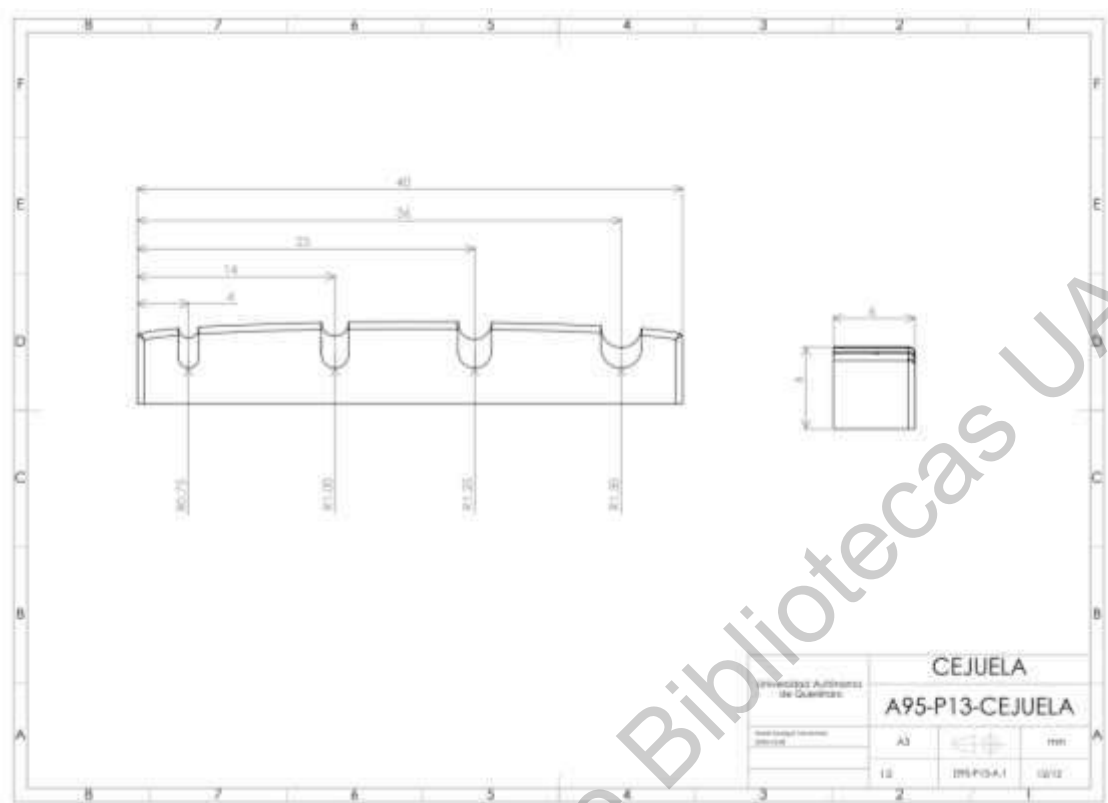
Alma de acero de 580 mm



Fingerboard de tzalam



Clavijas, piezas adjuntas al Yamaha trbx 174



Cejuela hecha de latón

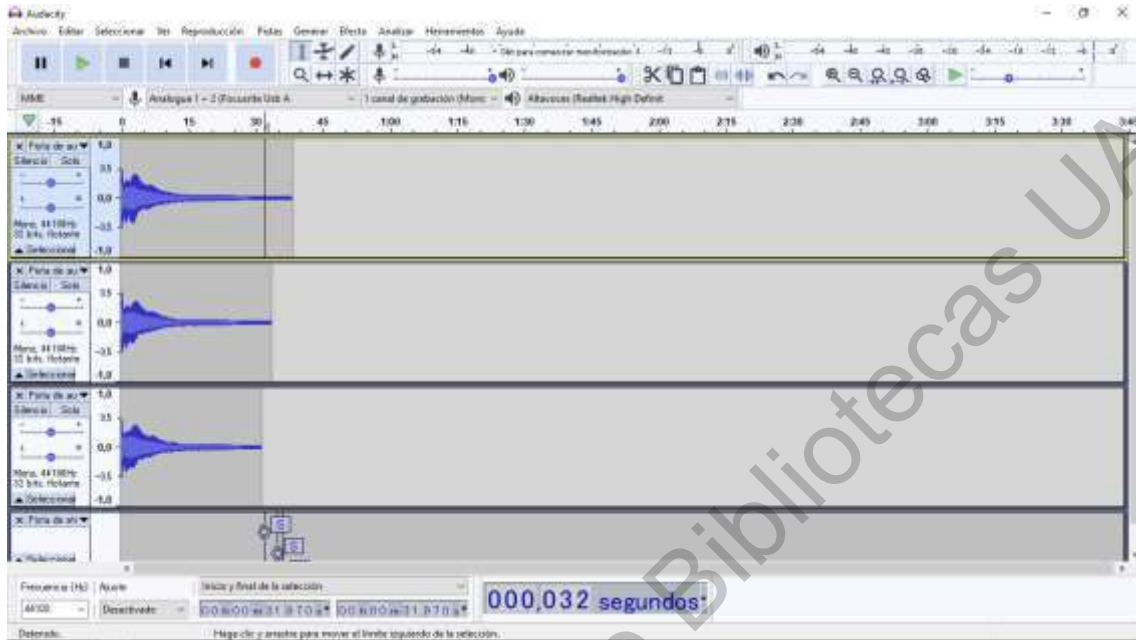
Registro de frecuencias por Audacity.

Los registros de los resultados mostrados en la tabla 7 por el programa Audacity.

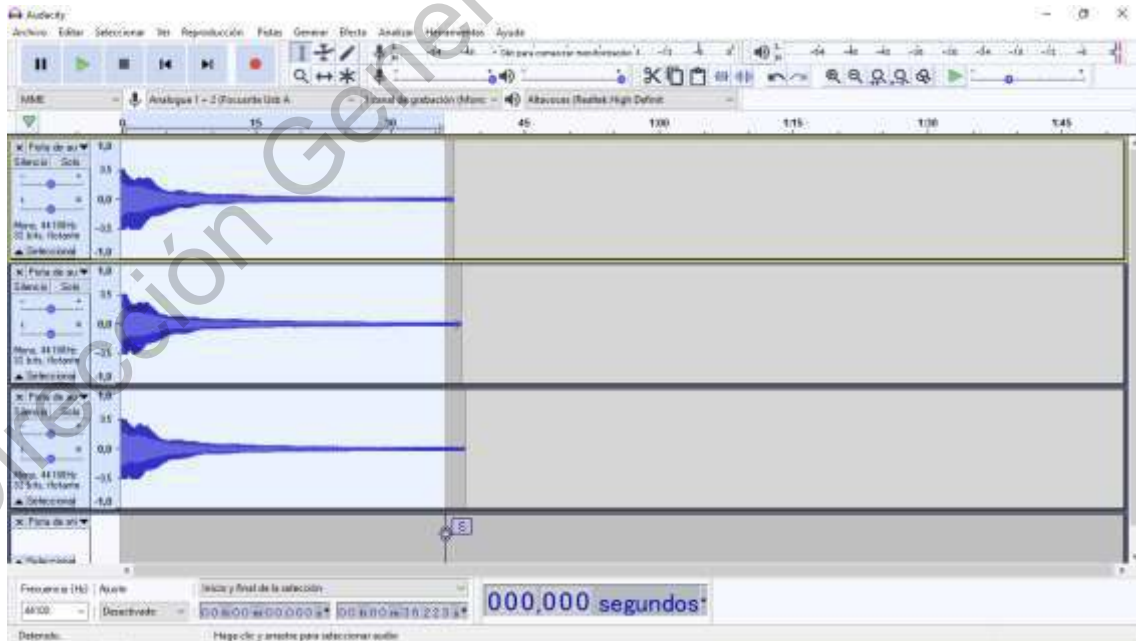
El bajo en afinación estándar, cada nota registrada tres veces. Registrando e de mayor sostenimiento dentro de los tres registros.

En las imágenes mostradas, el eje x representa la duración en segundos y la amplitud en el eje y

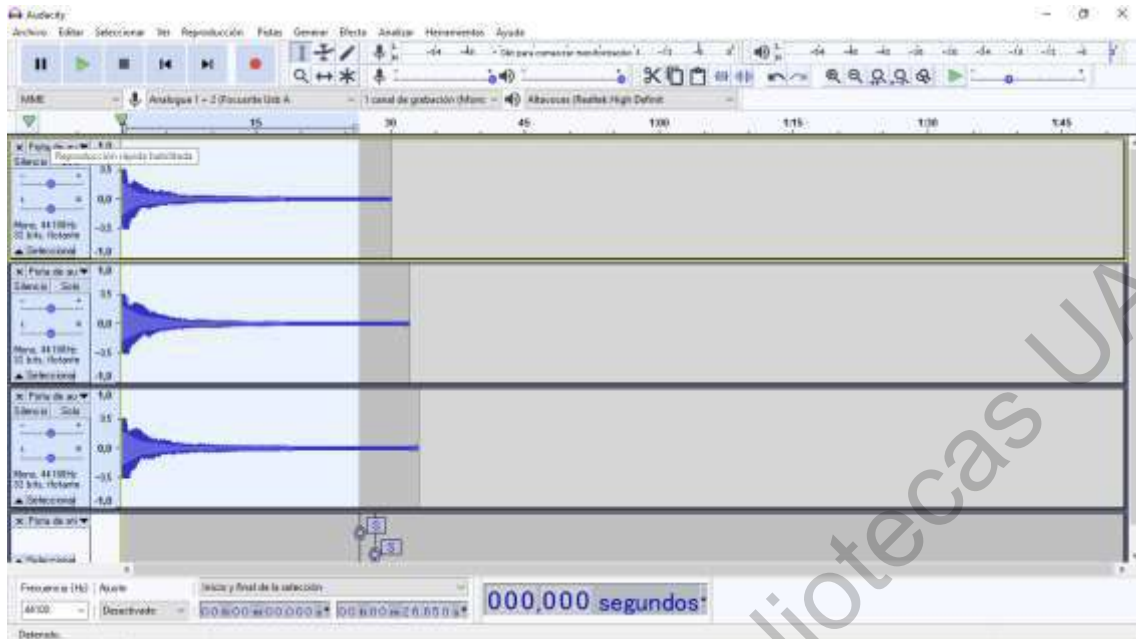
Registro de diseño propuesta:



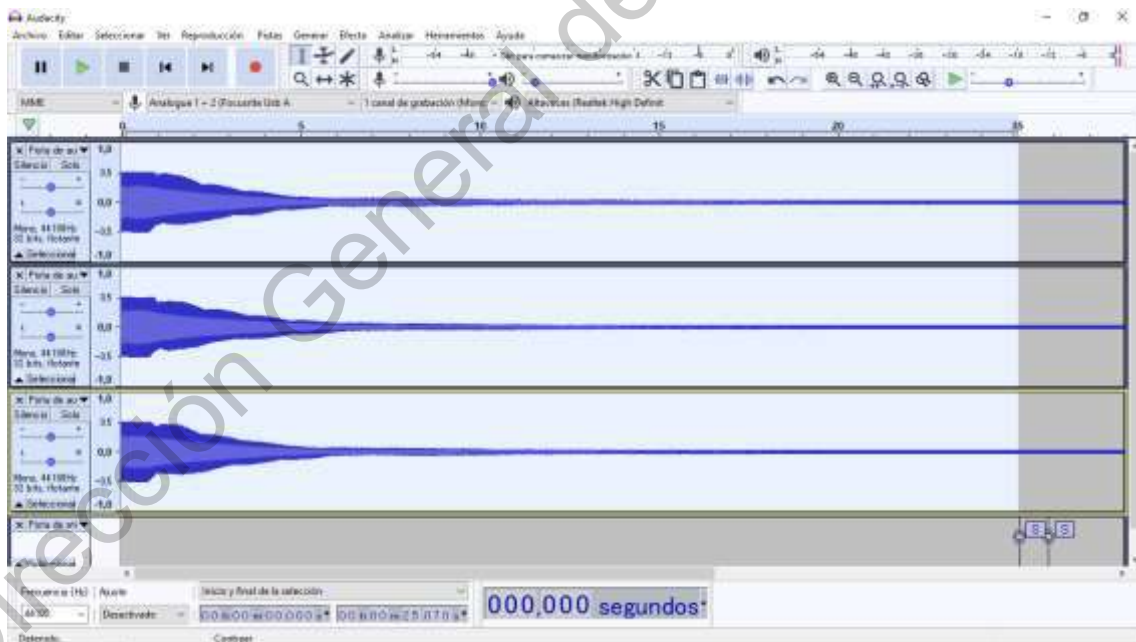
Nota E al aire. Sostenimiento 31.9 segundos



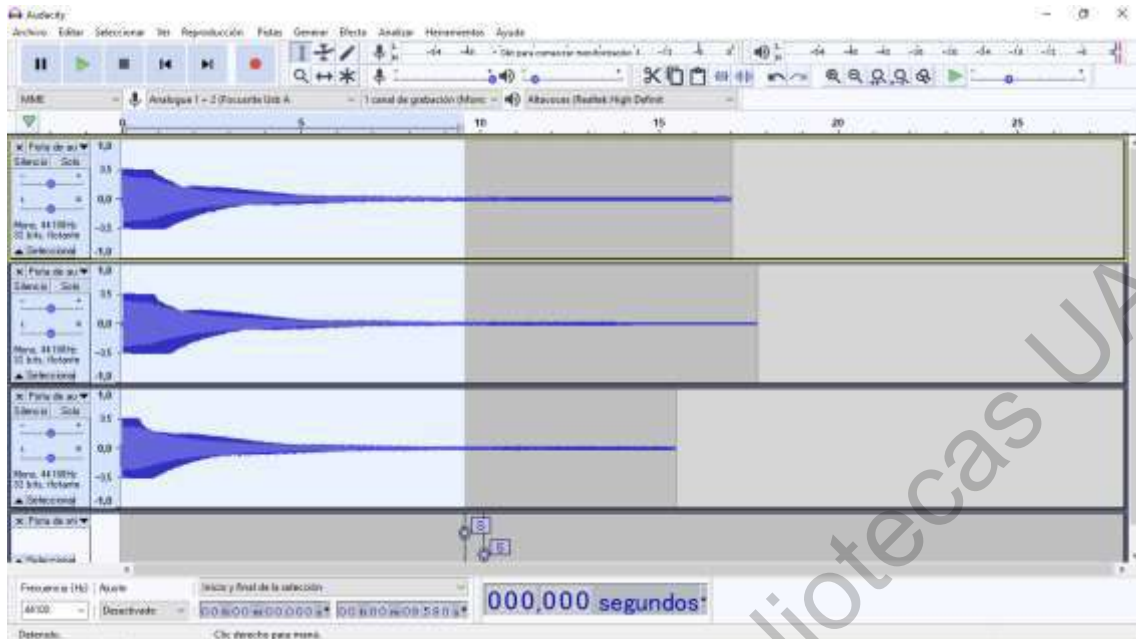
Nota A al aire. Sostenimiento 36.2 segundos. Posible *livetone*.



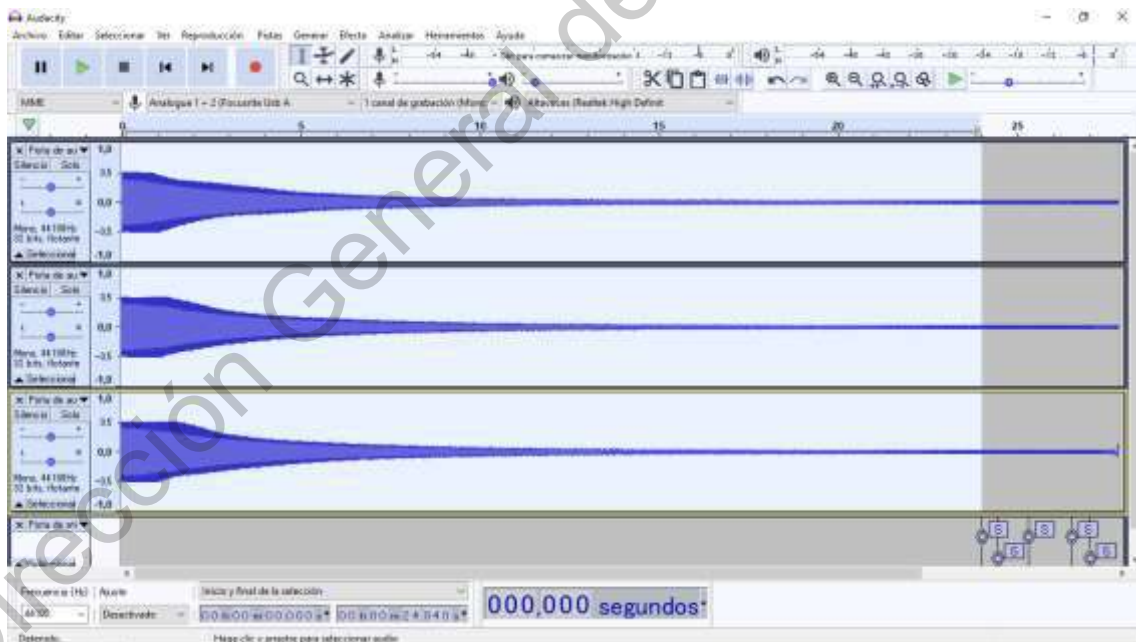
Nota D al aire. Sostenimiento de 26.6 segundos



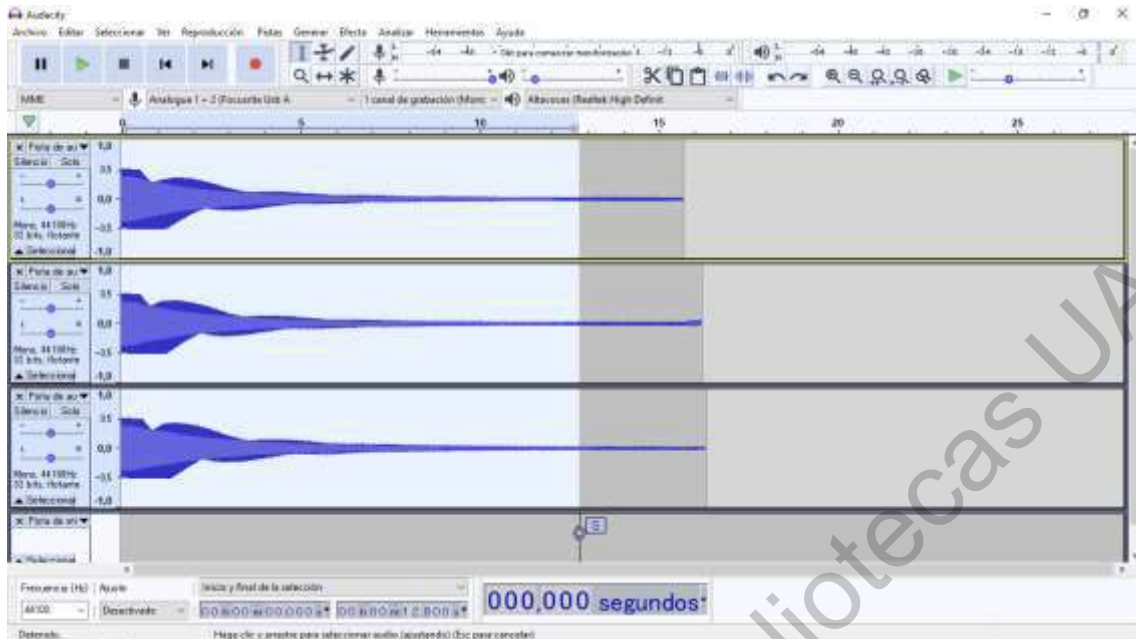
Nota G al aire. Sostenimiento de 25 segundos.



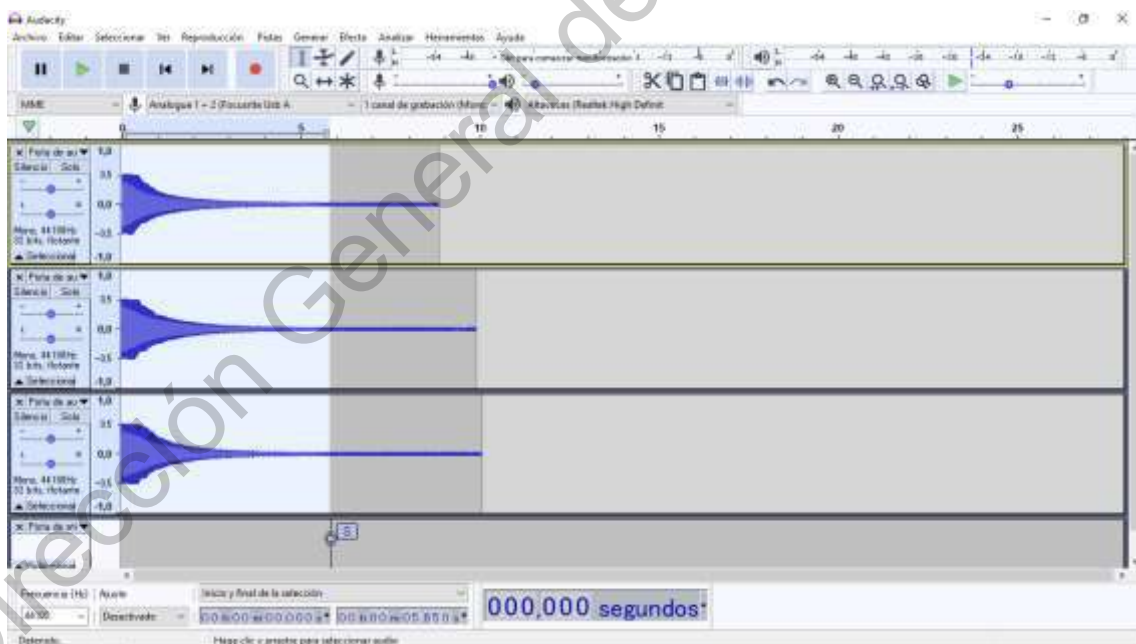
Nota E en el doceavo traste de la cuerda E. Sostenimiento de 6.9 segundos.



Nota A en el doceavo traste de la cuerda A. Sostenimiento de 24 segundos.

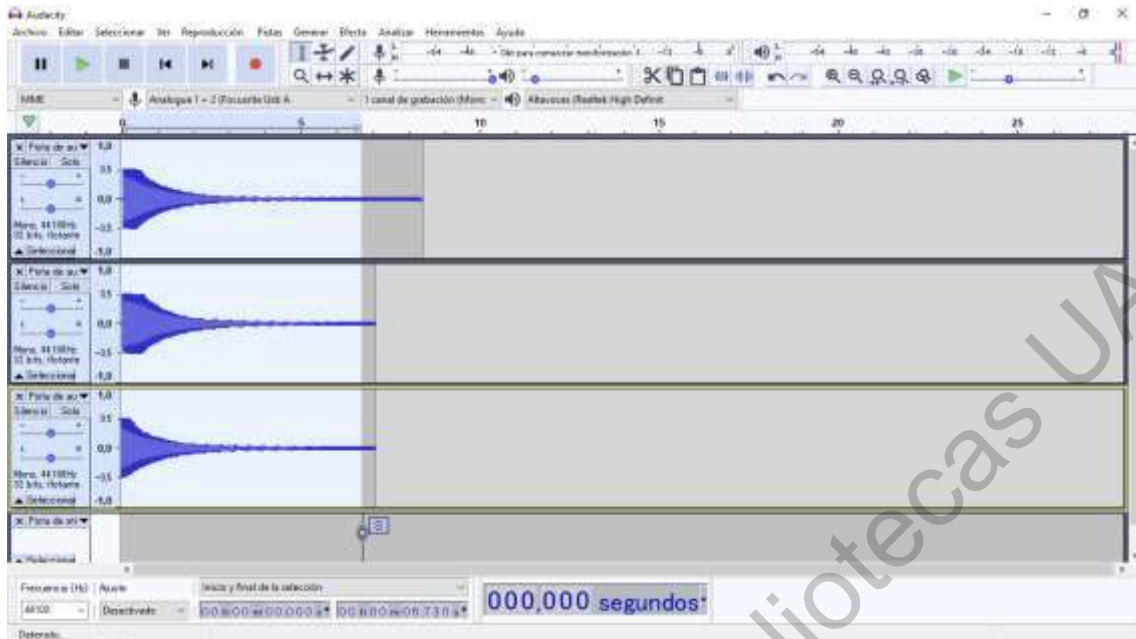


Nota D en el doceavo traste de la cuerda D. Sostenimiento de 10.1 segundos.



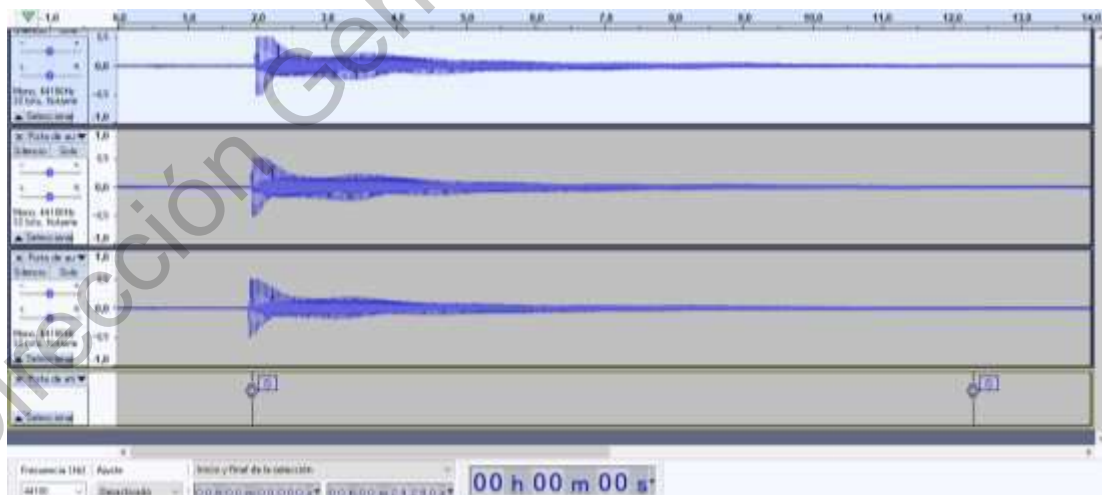
Nota G en el doceavo traste de la cuerda G. Sostenimiento de 5.7 segundos.

(Nota muerta numero 2)

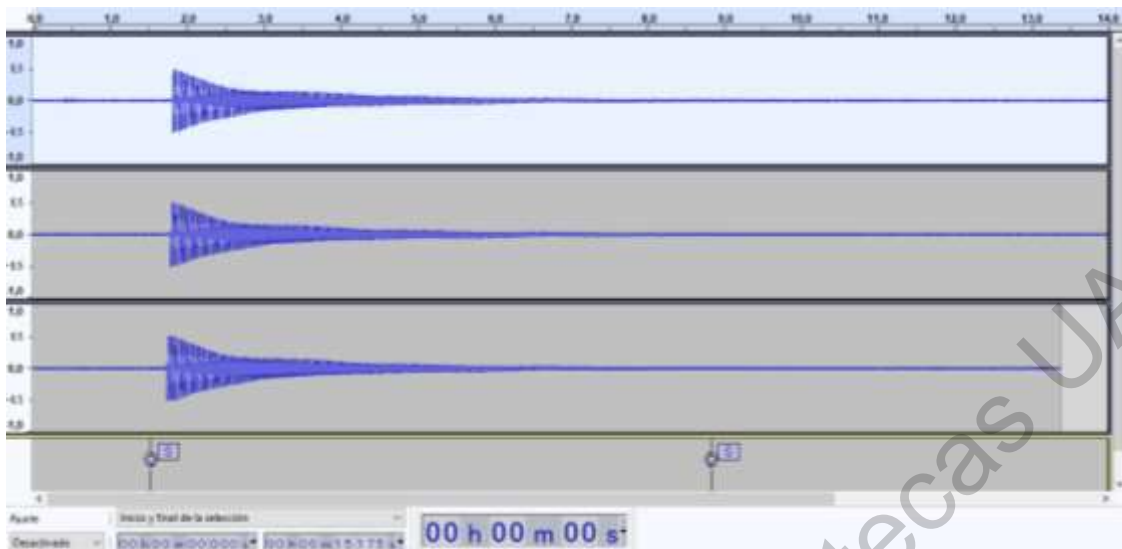


Nota muerta número 1. Cuerda G nota F# traste número 11. Sostenimiento de 6.7 segundos

Registro de bajo eléctrico Fossil:



Nota E al aire. Sostenimiento de 10 segundos.



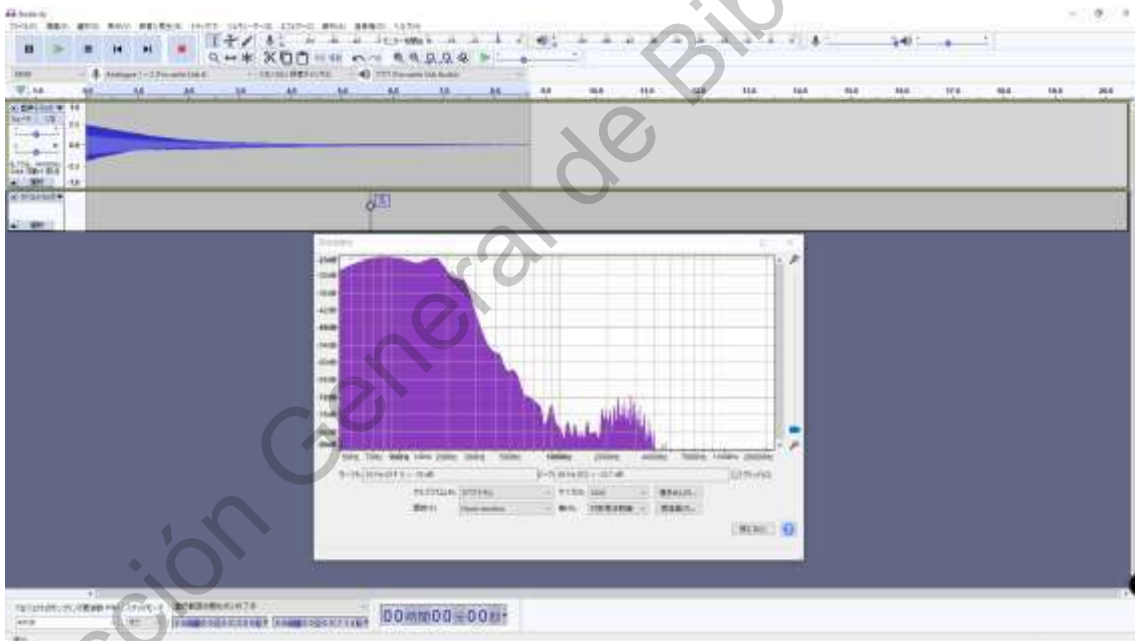
Nota A al aire. Sostenimiento de 9 segundos.



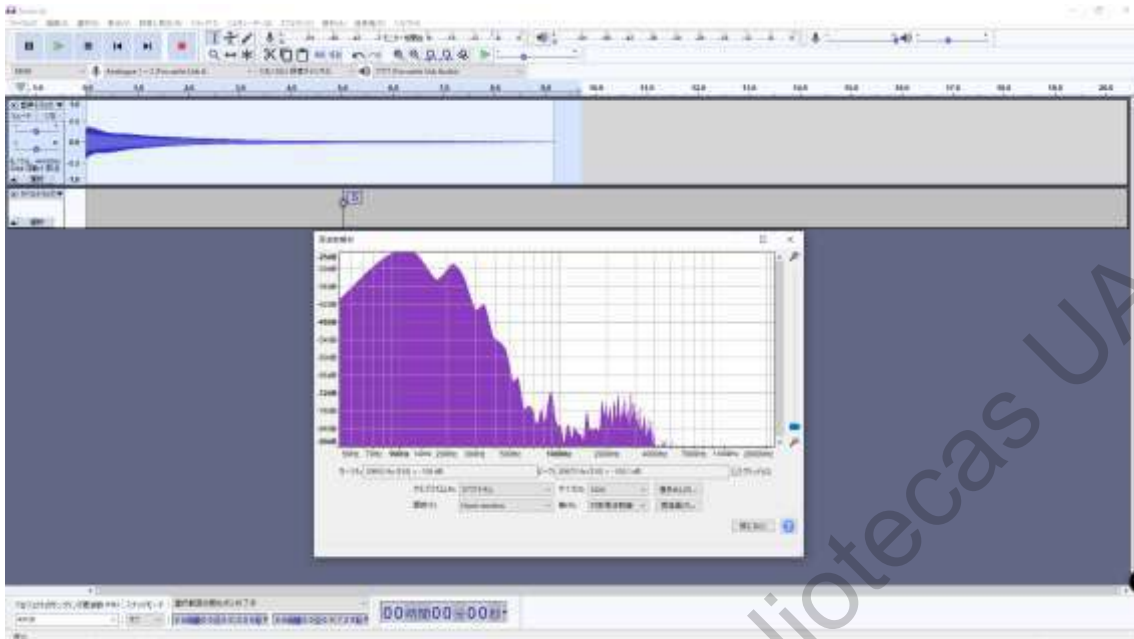
Nota D al aire. Sostenimiento de 6 segundos.



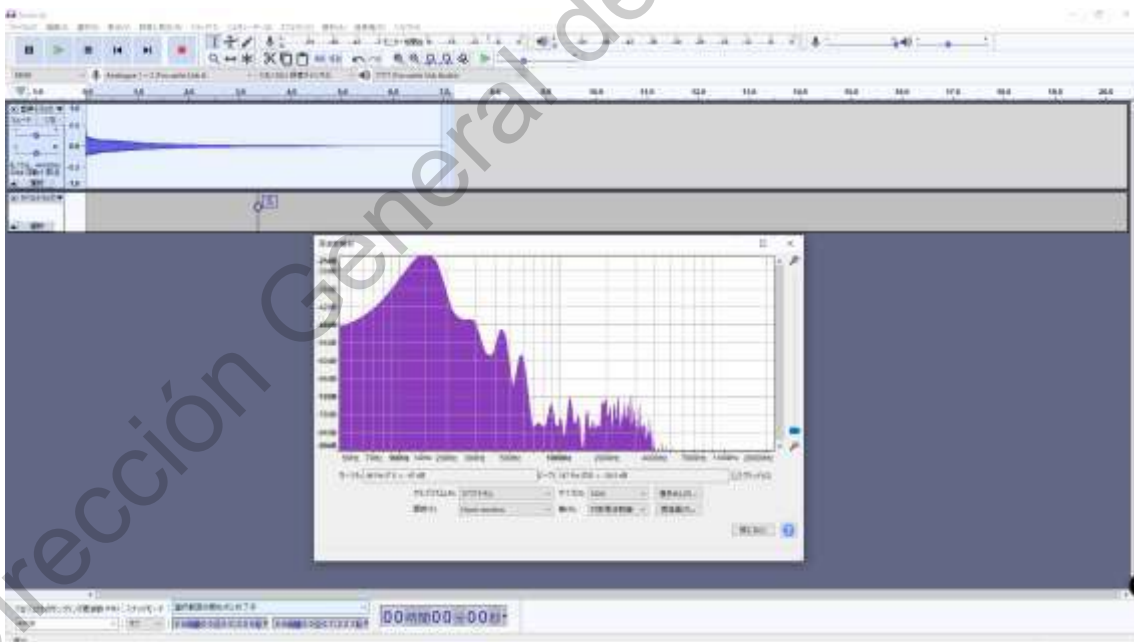
Nota G al aire. Sostenimiento de 5 segundos.



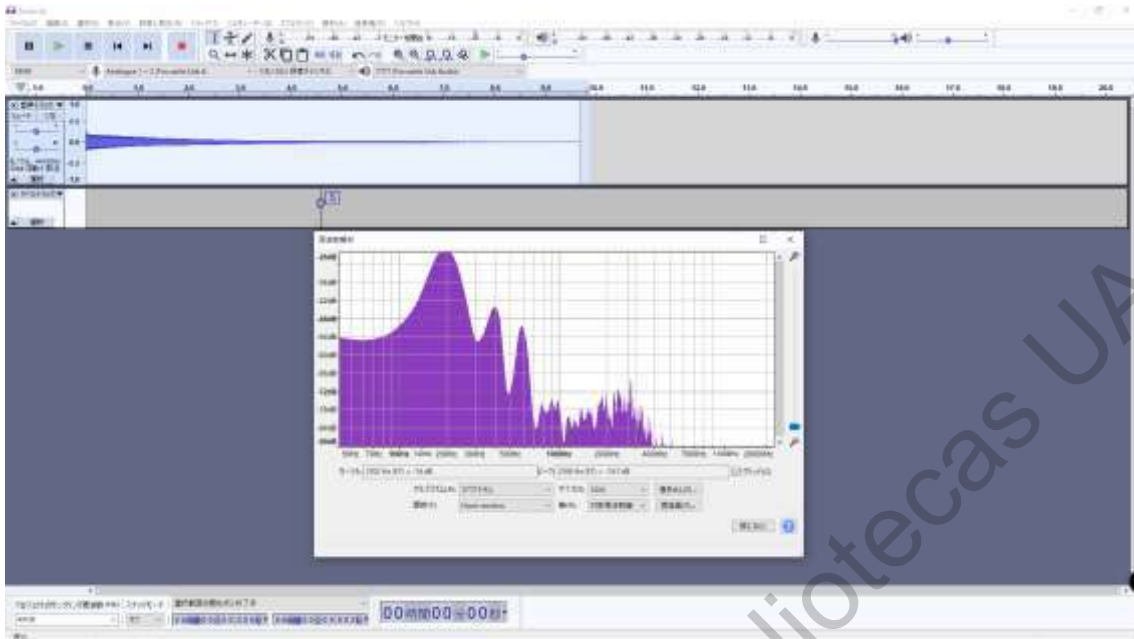
Nota E en el doceavo traste de la cuerda E.



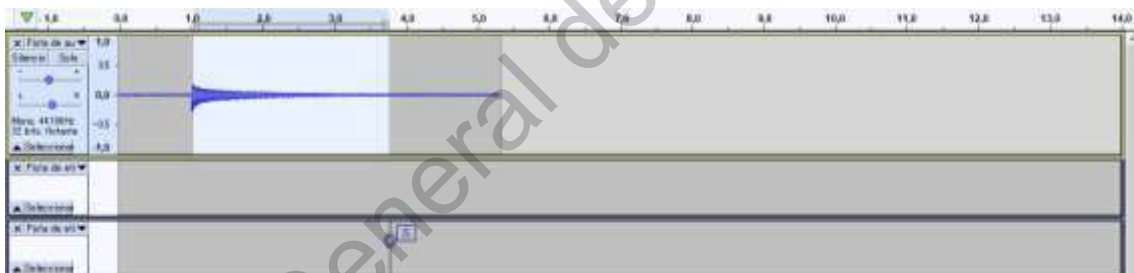
Nota A en el doceavo traste de la cuerda A.



Nota D en el doceavo traste de la cuerda D.



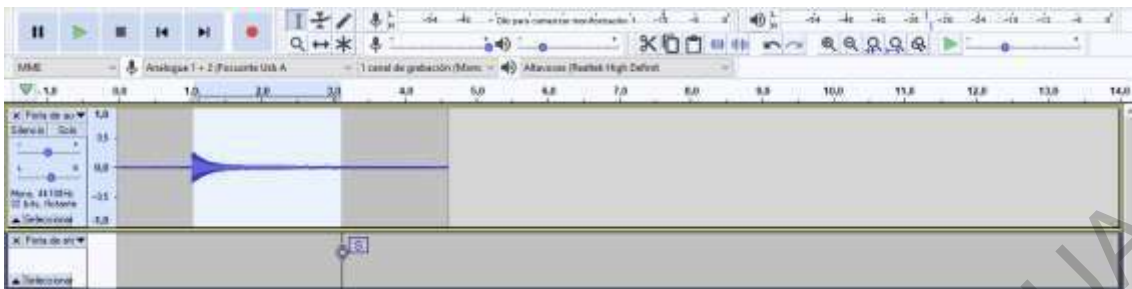
Nota G en el doceavo traste de la cuerda G.



Nota muerta 1. Nota C en el traste 5 de la cuerda G nota. Sostenimiento de 2.7 segundos.

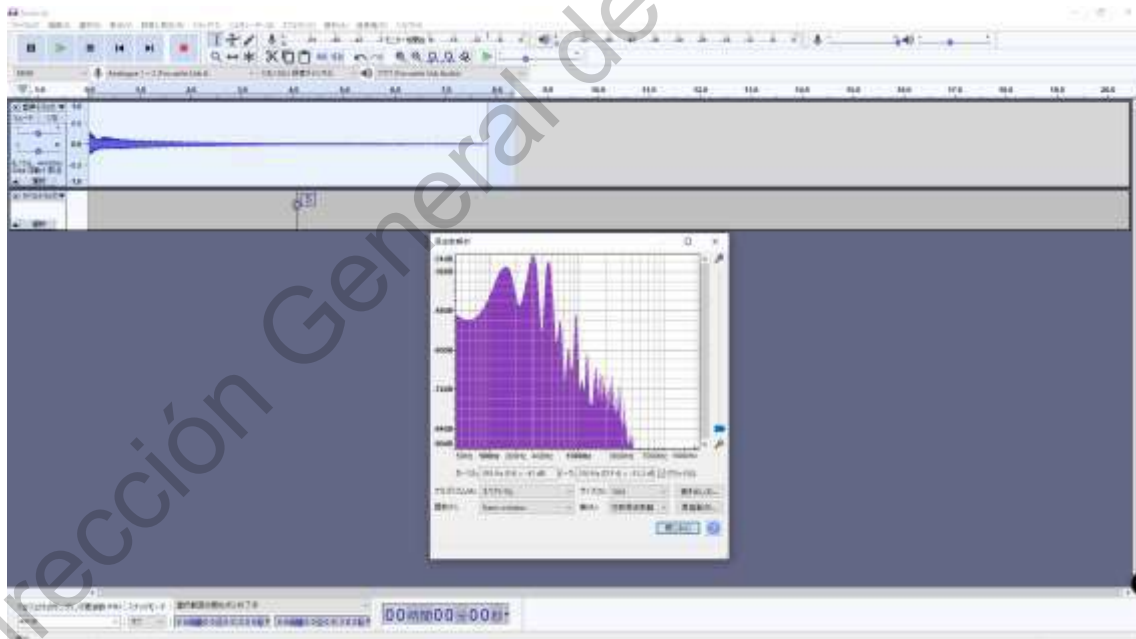


Nota muerta 2. Nota C en el traste 10 de la cuerda D. Sostenimiento de 2.5 segundos.



Nota muerta 2. Nota C# en el traste 11 de la cuerda D. Sostenimiento de 2.1 segundos.

Registro YAMAHA TRBX 147



Nota muerta. Nota F (E#) traste10 de la cuerda G.