



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería en**

**Diseño Industrial y Desarrollo del Producto**

**Diseño funcional de un cuerpo macizo de guitarra eléctrica**

**Autor:**

**Domínguez Fernández, Rodrigo**

**Tutor:**

**Pradanos del Pico, Roberto**

**Departamento de Expresión Gráfica**

**Valladolid, Junio 2018.**



## **Resumen**

El presente proyecto tiene como objeto de análisis a la guitarra eléctrica, enfocado principalmente en el cuerpo macizo de esta. El proyecto comienza la visión desde una parte teórica para concluir en una fase analítica y práctica sobre la guitarra.

Este análisis, pretende comprobar y analizar como se adaptan diferentes modelos de guitarras eléctricas a diferentes estructuras anatómicas. A su vez comprobar que partes de la guitarra favorecen esta adaptación y que otras podrían contar con un re-diseño. También estudiar las posiciones en las que se usa la guitarra eléctrica, estableciendo cuales son nocivas para la salud.

## **Palabras Clave**

Ergonomía

Análisis

Guitarra

Cuerpo

Postura



# INDICE

1.- Introducción y Objetivos	01
2.- Estado actual del arte	03
2.1.- Historia de la guitarra eléctrica	03
2.2.- Partes y componentes de una guitarra eléctrica	05
2.3.- El funcionamiento de la guitarra eléctrica	07
2.4.- Fundamentos del diseño de la guitarra eléctrica	08
2.5.- La producción de guitarras eléctricas	14
2.6.- Materiales	17
2.7.- Análisis ergonómicos	18
3.- Análisis y práctica	25
3.1.- Trabajo de campo	25
3.1.1.- Entrevistas a vendedores particulares	25
3.1.2.- Entrevista a fabricante	28
3.2.- Análisis visual del cuerpo de guitarra	36
3.2.1.- Introducción	36
3.2.2.- Longitudes de escala y tamaños de cuerpos	36
3.2.3.- Análisis de modelos icónicos	40
3.2.3.1.- Les Paul de Gibson	40
3.2.3.2.- Stratocaster de Fender	42
3.2.3.3.- SG de Gibson	43
3.2.3.4.- Explorer de Gibson	45
3.2.4.- Introducción a la postura	46
3.3.- CAD como herramienta de análisis	48
3.3.1.- Generación de modelos	48
3.3.2.- Análisis de la postura humana	53
3.3.2.1.- Generación de modelos humanos	53
3.3.2.2.- Método RULA	56
3.3.2.3.- Aplicación del método RULA	64
3.3.2.3.1.- Percentil 90	65
3.3.2.3.2.- Percentil 5	66
3.3.2.3.3.- Resultados	67
3.4.- Análisis empírico	70
3.4.1.- Introducción	70
3.4.2.- Modelos de guitarras eléctricas	71
3.4.3.- Postura humana-guitarra	74
4.- Conclusiones	80
5.- Bibliografía	85
6.- Anexos	89
6.1.- Recopilatorio de las fotografías del Análisis	89



# 1.- Introducción y Objetivos

La guitarra eléctrica, el instrumento musical armónico y melódico de seis cuerdas que hace uso del principio de inducción electromagnética para convertir las vibraciones de las cuerdas en señales eléctricas, que acaban por transformarse en sonido. Este instrumento es utilizado cotidianamente por una innumerable cantidad de personas. La gran mayoría de canciones que se escuchan utilizan una guitarra eléctrica como “segunda voz” y que llevan el ritmo cantante. Es y ha sido tratada a lo largo del tiempo como objeto de estudio, debido a su importancia musical marcando un cambio en el siglo XX, como de carácter industrial debido a su complejidad electrónica y sonora.

El presente Trabajo de Fin de Grado pretende estudiar, analizar y sacar conclusiones principalmente en el cuerpo de la guitarra eléctrica, sin dejar de lado el instrumento en general. A su vez se pretende estudiar la relación entre el instrumento y la persona, como afecta el uno a la otra, y que aspectos condicionan esta relación.

## 1.1 Objetivo Principal

Como objetivo principal el proyecto pretende obtener conclusiones con respecto al cuerpo de la guitarra, el por qué a la variedad de modelos, y sus diferentes medidas. Observar como se adaptan estos cuerpos a diferentes medidas anatómicas.

Comprobar con diferentes modelos su adaptación al ser humano, si sus puntos de anclaje están justificados o si precisan de una corrección.

Presentar una base de datos sobre diferentes modelos de guitarras que pueda servir para futuros estudios.

Mediante métodos ergonómicos realizar estudios sobre la postura del ser humano en diferentes percentiles y obtener resultados cualitativos.

## 1.2 Objetivo secundario

Realizar un ensayo sobre la guitarra eléctrica a nivel general, su historia, su mercado, las diferentes construcciones de esta, sus formas.... Formando una recopilación de información útil para este trabajo y para futuros.





## 2.- Estado actual del arte

### 2.1.- Historia de la guitarra eléctrica

[1] A principios del siglo XX se continuaban usando la guitarra como acompañamiento en los diferentes estilos musicales. Esto sucedía en Estados Unidos en las diferentes orquestas y bandas de jazz, que utilizaban como acompañamiento de los instrumentos de viento metal las guitarras acústicas, sin embargo la notoriedad era reducida debido a la escasa sonoridad en comparación a los viento metal, como son el saxofón, trompeta y similares.

En la década de los 20, Lloyd Loar, ingeniero de la fabrica de guitarras Gibson, comienza a analizar y buscar una solución al poco protagonismo. Comienza a experimentar en 1924 con imanes que pudieran implementarse a la guitarra clásica e intentar convertir las vibraciones en señales eléctricas que puedan ser amplificadas por un altavoz.

En 1931, Paul Barth y George Beauchamp, se asocian con Rickenbacker para formar la Electro String Company, para trabajar en estas pastillas de sistema electromagnético para implementarlas en la guitarra. Esta colaboración genera un gran avance en el desarrollo de la guitarra eléctrica dando lugar a un gran antecesor de la guitarras eléctricas como hoy se conocen, se les llamaban "sartenes" debido a su forma y que estaban realizadas en acero y aluminio fundido.



Fig.1. Primer modelo de Guitarra eléctrica, en 1931 denominado "Frying Pan".

Al siguiente año, 1932, Rickenbacker, genera la Electro Spanish, con una forma más cercana a como hoy la conocemos, con la pastilla magnética abombada semejante a su antecesora. Por otro lado Gibson comienza a producir modelos de gran éxito como la ES-150, producida en 1935.

En la década de los 40 se comenzó a experimentar a conciencia con los modelos de guitarra y la implementación de las pastillas magnéticas, uniendo a ingenieros y músicos en la búsqueda por la sinergia entre sonido y componentes. Ya que con los modelos actuales se producía el problema de que cuando el amplificador emitía un sonido demasiado alto, la guitarra vibraba produciendo un desagradable sonido de distorsión conocido como "feedback" o retroalimentación. La solución encontrada fue aumentar la masa para que no se produjera la vibración y esto se conseguía con las guitarras eléctricas como hoy las conocemos, de cuerpo compacto o cuerpo sólido.

En cuanto a quien realizó el primer modelo, no se puede establecer un precedente. Pero a principios de los cuarenta el guitarrista Les Paul construyo su propia guitarra "Log" usando un mástil de Gibson unido a un bloque de madera

de pino donde se montaron las pastillas y el puente. A tiempo similar, Paul Bigsby y el guitarrista Merle Travis crearon una guitarra de cuerpo solido similar a como hoy las conocemos.

En los años cincuenta comenzó la producción en serie de las guitarras eléctricas, como principal la Fender Broadcaster, que a día de hoy es conocida como la Telecaster, debido a que el fabricante de guitarras y amplificadores Leo Fender tuvo problemas legales con el nombre. Debido al éxito de ventas, Fender sacó otro modelo, posiblemente de los más icónicos de la historia de la música, la Stratocaster, que todavía hoy sigue comercializándose.



Fig.2. Modelo primitivo del guitarrista Les Paul denominado "Log"

El resto de las compañías al ver el éxito de la producción en serie de estos modelos, los animo a sacar sus propios modelos en serie. En 1952, este hecho impulso la importante asociación de Les Paul con Gibson, para sacar la guitarra eléctrica Gibson Les Paul.

A finales de siglo, entre 1970 y 1980, las grandes marcas de guitarras eléctricas empezaban la producción de guitarras eléctricas en cadena industrial quitando algún proceso que continuaba realizándose de manera artesanal. Sin embargo, las guitarras eléctricas seguían siendo un producto a mano de muy pocos afortunados, ya que su precio no fue considerablemente reducido siendo demandado únicamente por profesionales o la clase alta, por ejemplo, una Stratocaster tenía un valor de una 80.000 pesetas y la Les Paul de unas 120.000 pesetas siendo el trabajo de una enfermera unas 40.000 pesetas, por ejemplo. La alta demanda por la clase media y baja abrió un nicho a industrias que imitaban los modelos de las grandes marcas. Lo que en un principio no se considero un problema por las grandes marcas debido a que las diferencias en calidad eran desmesuradas con las imitaciones, se fue agravando a medida que las empresas como Tokai mejoraban sus imitaciones y así su producto, generando un gran problema y competencia con las grandes marcas. Este hecho provocó que grandes empresas como Fender comenzara a producir sus productos en otros continentes como Asia, a la vez que las grandes marcas se expandían, Tokai o Ibanez se iban haciendo un hueco en el mercado y mejorando sus productos en calidad y precio haciendo cara a las más clásicas.

Actualmente, como se ha ido comentando los modelos de guitarras eléctricas más clásicas o antiguas se siguen comerciando y a su vez, se investiga o se diseña guitarras con otros modelos de producción, en otros materiales, o con mejores sistemas eléctricos, como los dispositivos MIDI que permiten obtener una gran variedad de timbres en las cuerdas gracias a la utilización de un ordenador a tiempo real. A su vez también se buscan nuevos diseños de guitarras que puedan aportar una mejora ergonómica al músico. Aunque a pesar de todos estos avances y los que se siguen produciendo, las guitarras convencionales siguen siendo las más demandadas con pastillas y sistemas de amplificación más

perfectos que los de antaño.



Fig.3. Los tres modelos más icónicos en la historia de la guitarra eléctrica: LesPaul de Gibson y Stratocaster, Telecaster de Fender

## 2.2.- Partes y componentes de una guitarra eléctrica

[2]Una vez visto brevemente la evolución de la guitarra eléctrica desde lo que se concibió en un principio hasta lo que hoy se ve como una guitarra eléctrica, se va a proceder a una explicación descriptiva de la guitarra así como de sus componentes y partes, que sirve como antecedente para entender mejor el comportamiento de una guitarra para el posterior trabajo, y como explicación de algunos conceptos que se han tratado en el apartado de la historia de la guitarra eléctrica.

La guitarra eléctrica está normalizada en cuanto a partes y componentes básicos, pudiendo cambiar algunas en las formas de algunas partes, los montajes de algunos componentes o los materiales, pero básicamente una Guitarra eléctrica está conformada por un mástil y un cuerpo, se comenzará por enunciar y describir los componentes del mástil y posteriormente los del cuerpo.

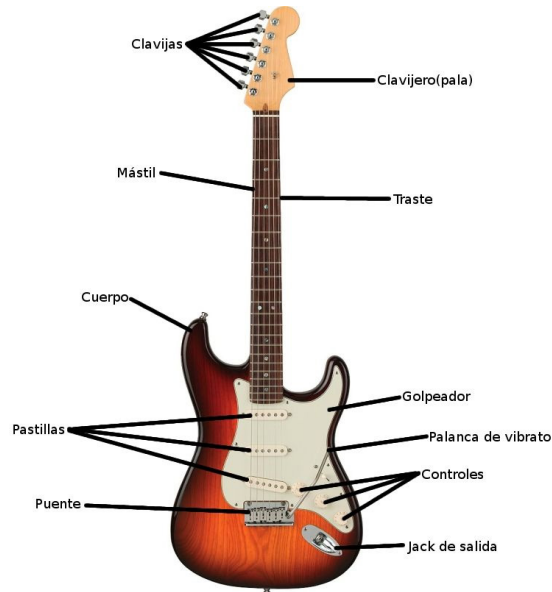


Fig.4. Esquema de la clasificación de los elementos que componen la guitarra eléctrica

El mástil (neck).- Es la zona cubierta por la mano izquierda para los diestros, y está conformada por una pieza longitudinal donde se sitúan las seis cuerdas y el diapasón.

El clavijero (head).- Se encuentra en la pala del mástil, la cual es la zona final del mástil. El clavijero está formado por seis clavijas a las que se fijan las seis cuerdas mediante postes giratorios donde van enrolladas y que permiten afinar estas y darles anclaje.

La cejuela.- Es la barra transversal que marca el final de la pala y el comienzo del mástil. En esta barra van apoyadas las cuerdas y por tanto influye en el sonido de estas, los materiales más asiduos para su fabricación son de hueso, plástico o metal.

El diapasón (Fretboard).- Es la pieza longitudinal de madera que va montada sobre el mástil y que contiene insertados los trastes.

-Los trastes (Frets).- Son las barras metálicas distribuidas a lo largo del diapasón y que al igual que la ceja también influyen en el sonido. Al pulsar cada una de las cuerdas sobre los trastes se reproduce una nota diferente. Muchas guitarras disponen entre los trastes planchas o puntos que permiten visualizar de manera más inmediata en que traste estamos.

-El alma.- En el interior del mástil suele colocarse una barra de metal que funciona como estructura y aporta la rigidez necesaria para contrarrestar las tensiones que generan las cuerdas sobre el mástil.

El cuerpo (Body).- Es la parte más identificativa de la guitarra eléctrica, a pesar de que haya una inmensa cantidad de formas y colores diferentes. Es la zona utilizada por la mano derecha para los diestros. La mayor parte de las veces está conformado por varias piezas de madera habitualmente dos o tres, los cuales son pegados y a partir de este punto se le da la forma y se le hacen los huecos para los diferentes componentes estructurales y electrónicos. El cuerpo de la guitarra influye en el sonido según más o menos resonancia genere.

El puente (Bridge).- Es el símil del clavijero de mástil, pero en el cuerpo de la guitarra. O sea es el otro punto donde se anclan las cuerdas. Algunos puentes disponen de movilidad, lo que permite la unión de este a una palanca llamada "vibrato", mediante el cual se puede producir un efecto de sonido, similar a una variación de la nota siendo no más de un tono hacia arriba o hacia abajo, muy utilizado en los estilos de Rock y Heavy Metal. Según la movilidad del puente pueden dividirse en:

-Puente fijo. El cual tiene movilidad nula y las cuerdas quedan aferradas mediante una barra situada detrás del puente.

-Puente móvil. Que permite movilidad ambos sentidos, que puede variar en casi un tono, y normalmente se usa para aflojar las cuerdas.

-Puente Flotante. Permite la movilidad en ambos sentidos, tanto aflojar como tensar. Dispone de una ceja de bloqueo que mantiene la afinación de las cuerdas. Se desafina menos que en el móvil, y es más preciso y con un mayor rango.

Pastillas (Pickup's).- Son el componente primordial de la evolución de la guitarra eléctrica, su función como ya se ha enunciado es la de captar el sonido de la cuerda como si de un micrófono se tratara para posteriormente amplificarlo. Sin embargo su funcionamiento se basa en el fenómeno del electromagnetismo. Están formadas por un núcleo magnético bobinado. Posteriormente se tratará con mayor detalle el tema del funcionamiento.

Selectores y controles.- Continúan el circuito de las pastillas y se utilizan para modificar el sonido de salida. El selector de pastillas permite escoger la combinación de pastillas que suele ser de 3 ó 5 posiciones para guitarras de 2 ó 3 pastillas respectivamente. Posteriormente en el control se controla el volumen y en el de tono se controlan los agudos y los graves.

## **2.3.- El funcionamiento de la guitarra eléctrica**

[3] Anteriormente, se mencionaban las pastillas como el componente principal

para la producción de sonido. El funcionamiento comienza por el pulsado de las cuerdas en los trastes y el percutido con la otra mano en la zona de los trastes. Las cuerdas son siempre metálicas, que al moverse dentro del campo magnético de la pastilla generan una corriente eléctrica inducida en la bobina, este fenómeno se explica mediante la ley de Faraday.

Con la vibración de las cuerdas, se alejan y se acercan de la pastilla, lo que provoca que la corriente inducida vaya cambiando de polaridad que genera una corriente alterna. Esta corriente es similar a la frecuencia que experimentan las cuerdas. Cuando la señal llega a un amplificador reproduce la misma frecuencia con la que salen de las pastillas, amplificando únicamente la corriente. Resulta importante destacar que una vez que la corriente empieza a circular por las pastillas estas ejercerán ya de por sí un efecto de tracción sobre las cuerdas, que por tanto ya atenúan la vibración.

Como se mencionaba en el apartado de la historia, en un principio se quería la resonancia que disponían las guitarras con caja hueca y ese sonido cálido, pero que al montarse "los micrófonos" (las pastillas), provocaban una emisión de silbidos y pitidos desagradables debido a la vibración del cuerpo por su estancia hueca, y que por tanto se optó por la eliminación de esta a pro del sonido limpio. Aunque siguen comercializándose guitarras semihuecas que aportan el sonido de la guitarra eléctrica con matices de resonancia de las clásicas.

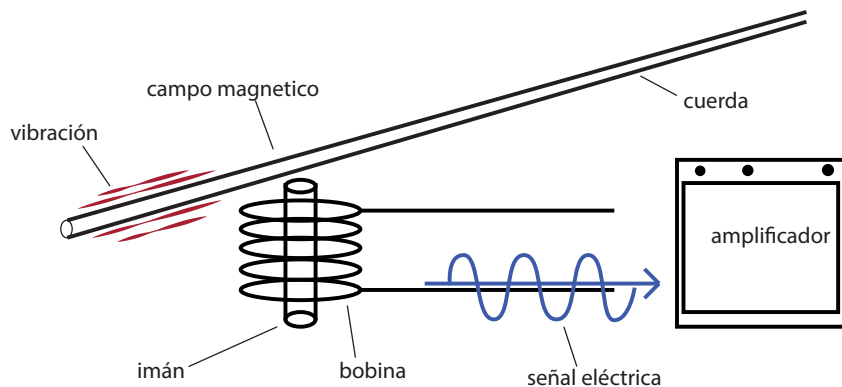


Fig.5. Esquema del funcionamiento de la guitarra eléctrica

## 2.4.- Fundamentos del diseño de la guitarra eléctrica

[4] Desde los primeros diseños de guitarras se ha creado una conciencia colectiva sobre el diseño y la forma de la guitarra. En este apartado se pretende esclarecer diversos puntos que son relevantes a la hora de diseñar una guitarra.

En primer lugar, la guitarra no tiene un modelo estándar, existen una gran variedad de formas y tamaños. Esto quiere decir que el diseño de una guitarra

se efectúa en un principio para un determinado tamaño, el básico, y a posteriori mediante fracciones se consiguen los diferentes tallados genéricos para los usuarios. El tamaño completo, al que ha sido diseñado se representa por 4/4, la escala destinada a las medidas anatómicas femeninas es la de 7/8, para un adolescente es de 3/4 y para un niño es de 1/2. Por tanto para el usuario existe una gran variedad de tallas y tamaños que demandar, según sus medidas anatómicas.

El diseño a tamaño completo se rige por el concepto de la longitud de escala el cual es la distancia desde los dos puntos donde apoyan las cuerdas. Comienza en el mástil en la ceja y acaba en la selleta del puente en el cuerpo de la guitarra. La longitud de escala para el tamaño completo (4/4) suele rondar los 650 mm, en pulgadas una escala de 25.5".

La importancia de la longitud de escala radica en que según una medida u otra va a variar la posición de los trastes, y a su vez la amplitud de cada casillero en el mástil. Lo que a su vez definirá la entonación de las cuerdas y la tensión de estas.

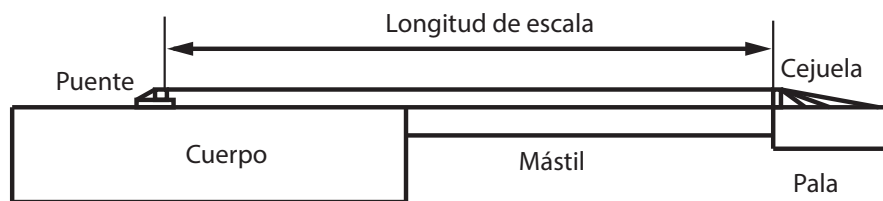


Fig.6. Esquema de la longitud de escala

Con la longitud de escala y el número de trastes que se quiera situar en la guitarra, habitualmente veintidós o veinticuatro trastes, se procede a repartir la anchura de los espacios, este calculo se realiza mediante una constante por la que se divide la longitud de escala, por lo que se obtendrá el espacio del primer traste. Se le resta este espacio a la longitud de escala, y se volverá a dividir por la constante, obteniendo así el segundo; se continuará este proceso hasta obtener el tamaño de todos los trastes, resulta elemental que al hacer estos cálculos estamos disminuyendo la amplitud de los trastes a medida que se acerca al cuerpo de tal manera que cada traste representa medio tono.

[5] La constante es 17.817, y es la utilizada debido a que sitúa el doceavo traste (la octava) exactamente a la mitad de la longitud de escala, y se conoce por la física de las cuerdas vibrantes, que al dividir a la mitad la longitud vibrante de una cuerda teóricamente perfecta dobla la frecuencia.

Por este principio, cada modelo de guitarra es totalmente diferente a una similar a ella, y los usuarios notarán una sensación distinta al coger una guitarra que la usada habitualmente, ya no solo a nivel de medidas, sino a nivel sonoro y musical.

Una vez con un esbozo del diseño del mástil realizado, es necesario explicar la colocación de las pastillas, que irán situadas en el cuerpo entre el mástil y el puente, y normalmente serán dos o tres pastillas a colocar. Lo interesante en la colocación es que la amplitud disminuye cuanto más nos acerquemos al puente. El timbre también variará según coloquemos las pastillas. Cuanto mas cerca del puente esté más brillante será el sonido, o sea más agudo, y a la inversa cuanto más cerca del mástil este, más grave será el sonido. La elección en la colocación de las pastillas permite que cada guitarra tenga un sonido diferente solo con este cambio de diseño. Y a posteriori, el usuario podrá gozar de diferentes sonidos gracias al selector de pastillas.

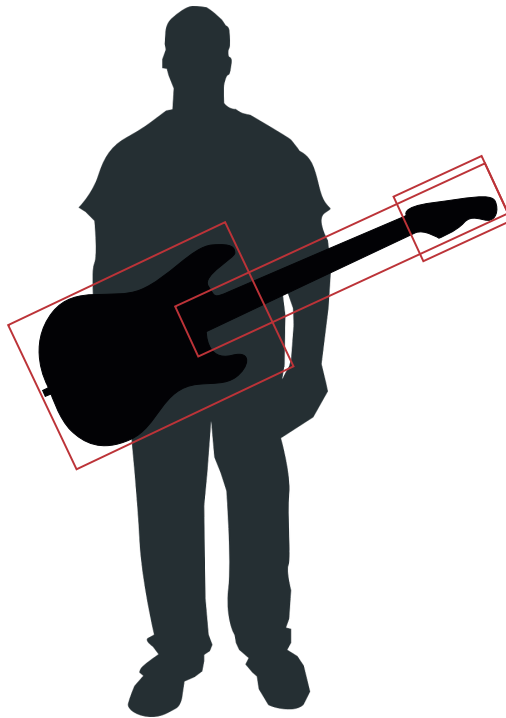


Fig.7. Comparativa de una persona y las distribuciones de una guitarra eléctrica

A nivel de área, se podría englobar que las guitarras normalmente tienen delimitado su cuerpo en un rectángulo de 45 x 60 cm como máximo, los mástiles suelen tener un largo entre 40 y 55 cm y la pala puede encajarse en un rectángulo de 10 x 20 cm. Hay que tener en cuenta que estas áreas son las definidas por guitarras convencionales y de diseños regulares. En cuanto al grosor de la guitarra, en el cuerpo suele rondar los 5 cm, pero que a su vez puede variar.

[6] A la hora del diseño, la parte del cuerpo es la que más ha sufrido cambios y evoluciones, debido a que el mástil se rige principalmente por la longitud de escala y quizás el diseño de la pala únicamente complementa al diseño general o sirva para dar un estilo propio o firma. El cuerpo en cambio, dispone de una gran libertad de diseño, al ser una amplia zona que puede atender a funcionalidad, estética, y ergonomía según como se quieran dar valores. Por esto, el diseño de cuerpos es tan amplio, lo que a su vez ha fomentado una noción sobre formas y estilos y como visualmente se aprecian los cuerpos. Así ha surgido una gran cantidad de colaboraciones entre diseñadores, músicos e ingenieros para indagar,



analizar y diseñar nuevas formas y estilos en los cuerpos. Es lo que ha sucedido con Kerry Kruger, un artista americano y Mark Tyson, un diseñador industrial inglés; unidos por su pasión por las guitarras y la música han trabajado en diversos diseños de guitarras eléctricas y actualmente han puesto de manifiesto sus conocimientos sobre el campo en su página web "Guitar design reviews". Sus análisis y posturas teóricas han servido para el desarrollo de estos fundamentos del diseño de guitarras.

Kerry Kruger, clasifica a priori los cuerpos de las guitarras en seis grupos, designados por la orientación o el dinamismo de sus curvas. Este análisis está realizado dibujando la recta que cruza el mástil por el cuerpo y situando las rectas que unen las zonas de mayor y menor anchura en el cuerpo. Estas rectas permiten visualizar de manera muy comprensible las formas sencillas del cuerpo así como el movimiento o la dirección que desprenden visualmente, sin embargo y aunque no se tenga noción de ello, la mente ya realiza estas líneas invisibles para identificar las guitarras:

Los diseños simétricos suelen tener una aceptación visual absoluta, debido a esa tendencia innata a sentirnos atraídos por la simetría. Sin embargo, los diseños asimétricos pueden ser un fracaso de diseño si no se compensan bien las curvas, ya que visualmente generan una especie de rechazo a la forma. Hay que tener en cuenta que los primeros modelos de guitarras, ya sean clásicas, acústicas y eléctricas han sido fundamentalmente simétricos y que por tanto, a la hora del diseño, si se pretende innovar se ha de apostar por formas asimétricas pero que resulten atractivas compensando las superficies y buscando un equilibrio respecto al eje del mástil.

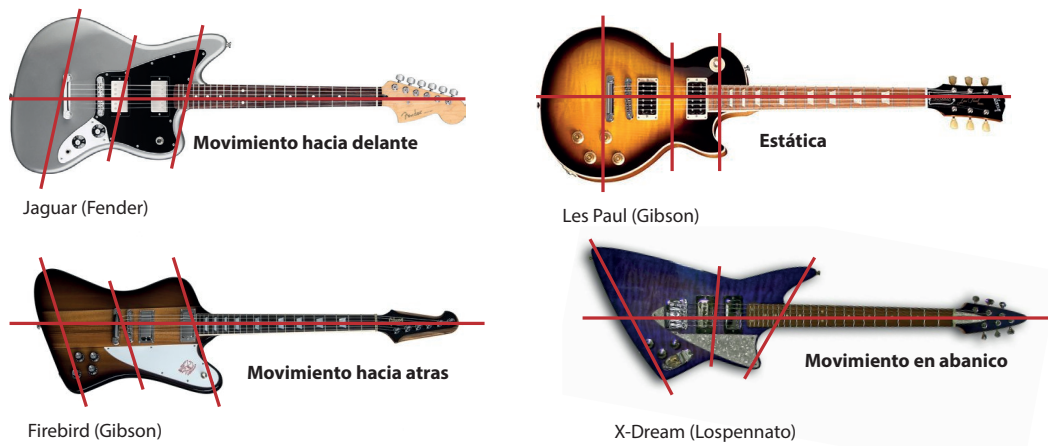


Fig.8. Ejemplo de las líneas mentales en las guitarras que guían la vista

Por otro lado, se puede dividir el cuerpo de manera visual de la guitarra en cuatro zonas: La superior izquierda, se puede aludir a ella como la zona de apoyo, debido a que por ella irá situado el brazo derecho; la zona superior izquierda, la zona de la correa, donde normalmente se dispone de la superficie con forma de "cuerno" donde se cuelga habitualmente la correa; la zona inferior izquierda, la zona de los controladores, y la zona inferior izquierda, la zona del cuerno inferior, necesario para alcanzar los trastes más agudos.

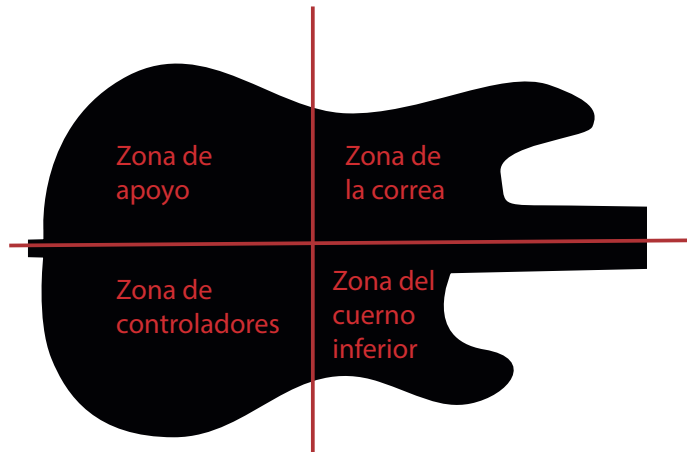


Fig.9. Distribución de las zonas de la guitarra

Con esta división ya predispuesta, Kerry Kruger explica que los ojos tienden a recorrer todo el perímetro del cuerpo en una especie de circuito en forma de pez. Evidentemente este hecho es una generalización, pero que por las formas, normalmente se suele comenzar por el cuerno superior y finalizar en el cuerno inferior, a diferencia de una lectura tradicional con los ojos, que comenzaría de izquierda a derecha y arriba a abajo. Claro que todo depende de las formas y estilos del diseño, y a su vez este análisis visual puede depender de lo armónico que sea, y las proporciones que utilice, siendo que si las curvas son muy abruptas, el usuario al visualizarlo se detendrá más en algunas zonas que en otras, al contrario que si el diseño goza de una armonía y simetría, la lectura visual se realizará de manera mucho más rápida.

Otro análisis mental a tener en cuenta es el realizado con estas zonas o sectores cuando los dividimos mediante bisectrices que se trazan según lo ancha o delgada que sean las zonas. Estas bisectrices nos dan un centro visual que puede o no coincidir con el centro de masas, teniendo en cuenta que si este centro visual está muy alejado del centro de masas puede que el diseño este fallando en las formas. A su vez estas bisectrices suelen tener un efecto de arrastre sobre el ojo, arrastrándolo hacia el centro o tirando de la vista hacia afuera.

Otro método para compensar pesos visuales se basa en lo que Kruger describe como "barras de equilibrio". Al igual que en análisis anteriores, se parte la guitarra por el eje del mástil, y se comienza a trazar rectas desde el eje, perpendicularmente a él en las zonas de máximos y mínimos, normalmente se obtendrán una en la cintura y otra dos a sus lados, en el cuerno y en la base. Este mismo ejercicio se aplica al otro lado de la guitarra, y se analizan los resultados. Este método permite de manera muy simple ver como de compensados están ambos lados, poder corregir aumentando o disminuyendo este equilibrio.

Todas estos análisis y reglas son validas tanto para el rediseño o estudio sobre guitarras como para definir unas constantes básicas en el diseño de una nueva guitarra eléctrica. A mayores de todo lo visto anteriormente un buen diseño debe tener en cuenta unos principios básicos en desarrollo de productos. Estos principios relacionan tanto el apartado de la estética como de lo funcional y lo

ergonómico, y sirven de base para el desarrollo organizado de las ideas, haciendo que estas tengan cohesión las unas con las otras; con el fin de un buen producto final.



Fig.10. Ejemplos de las barras de equilibrio

-La unidad.- La organización por proximidad, similitud o repetición, a la vez que por elementos de funcionalidad relacionada. La unidad, y la organización por esta permite al usuario un conocimiento de la guitarra más intuitivo y visual. A la vez que si el concepto de la guitarra dispusiese de un tema preconcebido lo correcto sería que todo siguiera acorde con el tema.

-El punto, la recta, y el plano.- De antemano, la guitarra ya cuenta con tantas rectas como cuerdas dispone. Un buen producto es aquel que utiliza sus elementos dimensionales más básicos de acuerdo a unas constantes dictaminadas por su diseñador sin dejar nada que no responda a una justificación geométrica. Por otro lado es interesante que los cuerpos de las guitarras brindan la oportunidad de trabajar con superficies de toda clase y este hecho debe ser aprovechado por el diseñador.

-El equilibrio.-Tratado en apartados anteriores. Es un principio clave en el desarrollo de las guitarras. Es importante tenerlo en el ámbito de la producción, ya que si el cuerpo base de la guitarra es totalmente simétrico abaratará bastante los costes de producción. El equilibrio a parte de en la simetría también tiene importancia en la organización, ya que visualmente genera rechazo zonas muy vacías en contraste con zonas muy llenas de elementos, por ello hay que disponer de una buena organización de elementos que genere un buen equilibrio.

-La jerarquía. Muy relacionado con la organización y clasificación. Debe tenerse en cuenta la importancia de los factores o elementos a la hora de colocarlos, ya que por ejemplo, igual el controlador del volumen tiene que considerarse colocarlo cerca del puente por la de veces que va a ser utilizado.

-La escala.- Tanto del instrumento en sí como la relación entre sus elementos. Puede ser que el tamaño de alguno de ellos sea más grande por llamar la atención a un punto focal, por la búsqueda de una proporción o por mero carácter estético. Tradicionalmente las guitarras tienen la zona de la base más ancha que la superior al cuello principalmente por la estabilidad que aporta

al centro de masas. La escala debe tener en cuenta en primera instancia las medidas anatómicas para que sea cómoda al usuario.

-Similitud y contraste.- Son principios que juegan con lo visual, ayudan a eliminar el desorden y dar una justificación. Puede existir una similitud en todas las clavijas de la pala, o un contraste en los botones de los controladores para diferenciarlos.

-El movimiento.- La guitarra puede dar sensación dinámica o estática según la compensación de las curvas respecto del eje central.

## **2.5.-La producción de guitarras eléctricas**

[7] A pesar de que cada modelo de guitarra eléctrica tiene unas variables propias que determinan su fabricación, las guitarras eléctricas clásicas disponen de una metodología semejante para su producción; la cual consta de los siguientes pasos:

Los cuerpos de las guitarras se suelen realizar de caoba, álamo o fresno; maderas ligeras que son lo bastantes flexibles para producir el equilibrio entre vibraciones agudas, intermedias y graves. Primero se sierra una tabla de madera y se corta en diferentes anchos, se cepillan las piezas para darles un grosor específico, normalmente entre 5 y 10 cm; posteriormente se les asigna un número identificativo, esto sirve para a posteriori conocer para que modelo o clase esta realizado. La madera húmeda tiende a combarse, así que las piezas pasan a una sala de secado hasta que su nivel de humedad se reduce a menos del seis por ciento, un proceso que dura dos meses.

Cuando la madera esta seca, las piezas se encolan y se sujetan con abrazaderas, la cola tiene base de agua de modo que las piezas tienen que volver a la sala de secado otros dos meses. Una vez lista pasa a un mecanismo de sujeción, que mediante fresadora CNC usa una serie de fresas de diferentes tamaños una tras otra para tallar gradualmente la forma del cuerpo y todos los huecos de su interior donde irán dispuestos posteriormente los circuitos y diferentes elementos. Se utiliza una lija fina para igualar la superficie y se elimina el canto con un ángulo de 45° con una cuchilla de acero inoxidable, después se lija de nuevo. En este punto se sitúan en el cuerpo las piezas de metal hembras que posteriormente se atornillaran a los machos situados en el mástil en el caso de ser atornillado, en el otro se dejaría el hueco para ser encolado.

Para hacer el mástil se corta en varias piezas, que pueden ir desde dos hasta siete, la caoba, el arce o el nogal con un determinado ángulo utilizando una sierra de diamante para hacer un corte perfecto. Voltean la pieza y la pegan a la otra, voltearla invierte el grano de madera, lo que refuerza el mástil y permite soportar la tensión de las cuerdas de guitarra. Los componentes se presionan en

un tornillo de banco durante unas tres horas hasta que estén bien pegados.

Una maquina cortadora guiada por ordenador da la forma al mástil y abre un surco longitudinal en el medio donde se situará la barra de aluminio o acero, alma, que sirve para equilibrar la tensión de los diferentes calibres de cuerdas que se pueden usar. Se coloca el diapasón que esta hecho de palisandro, ébano o arce; una vez pegado el diapasón sobre el alma, se coloca el mástil en una prensa de vacío, la prensa elimina todo el aire y comprime los componentes para crear una unidad solida. Cuando la cola se seca, el mástil pasa a una maquina de tallado guiado por ordenador, termina de darle forma.

Una sierra de 22 hojas corta simultáneamente ranuras muy precisas para las 22 varillas del traste. Un operario redondea y alisa la parte trasera del mástil contra una lijadora, después instala las varillas del traste, que están hechas de níquel y que tienen dientes que se agarran a la madera. Finalmente los laterales del mástil se trabajan con una lijadora que elimina la parte sobrante de las varillas y redondea los bordes.

Si los trastes no están nivelados la guitarra zumbará, así que los operarios colorean la parte superior de cada traste con un rotulador y después lijan el diapasón, la tinta desaparece de los trastes que estén mas altos que el resto, como análisis de calidad pasan un patrón de rectitud para comprobar el resultado. Pero el limado aplasta los bordes de los trastes, así que los operarios redondean los bordes de los trastes con una lima curva especial, después con un papel de lija muy fino se pulen las marcas del limado, el diapasón se limpia con aceite mineral que ademas nutre la madera para que no se seque y se agriete. A continuación, se usa una llave Allen para enderezar el mástil mediante su alma. Con un calibrador se mide la curvatura, cuando marque el cero el mástil estará completamente recto. Después, las seis clavijas se sitúan en los huecos realizados en la pala, estas estarán bañadas en oro, níquel o se pintan de algún color. Con un calibrador digital se toman las medidas antes de colocar la ceja, hecha de hueso o plástico.

De nuevo en el cuerpo, tras aplicar un sellador para cerrar los poros de la madera, se aplican hasta veinte capas de barniz y laca, esto protege la madera y le da un acabado brillante y atractivo. Tras someterla a tratamiento durante seis meses la madera barnizada y lacada se lija y se pule hasta que la guitarra produce un acabado de espejo, después la abrillantan con cera. Una vez finalizados los procesos de manufactura sobre el mástil y el cuerpo se unen, para ello existen diferentes soluciones posibles [11]:

-Bolt-on neck.- Esta unión se realiza agujereando el mástil y el cuerpo, se colocan haciendo que los agujeros cuadren y posteriormente se hace pasar los tornillos. Este método tiene una versión tradicional que utiliza una placa rectangular de metal que se coloca en la parte trasera del cuerpo, y la versión moderna que deshecha el uso de esta placa y permite un mejor acceso a los trastes mas cercanos al cuerpo. Se comenta que este tipo de unión tiene menos

resonancia debido a que el contacto entre cuerpo y mástil es menor.



Fig.11. Ejemplo tradicional de Bolt-on neck

-Set-in neck.- En contraposición al bolt, este tipo de construcción hace uso de la cola para la unión entre el mástil y el cuerpo. Este tipo de unión es mas cara y frágil pero su ventaja es que el contacto entre mástil y cuerpo es mayor y por tanto goza de un mejor sonido. Otra desventaja es que no permite corregir el angulo del mástil, a diferencia del bot-on.



Fig.12. Ejemplo de Set-in Neck

-Neck-through.- Que como se puede traducir es "mástil a través" del cuerpo. En este caso el mástil forma parte del mismo macizo de madera. En este caso el diapasón, trastes y cuerdas están todas montadas sobre el cuerpo-mástil. El resultado es como puede entenderse un mejor sonido general, pero en su contra, la elaboración es la más costosa y en el caso de romper el mástil la reparación es muy compleja y elaborada.



Fig.13. Ejemplo de Neck-through

Con la básico de la guitarra eléctrica ya montada se pasa a la colocación de los componentes electrónicos. Primero los operarios sueldan los potenciómetros de control para el volumen y el tono del selector de pastillas. Las pastillas tienen una bobina e imán para cada cuerda, se hacen unos agujeros para instalar el puente, usando una plantilla como guía. El puente va sujeto por tornillos. Se instalan las pastillas según la colocación que se quisiera, después se instala el tremolo, una serie de muelles de acero activados por una palanca que modifica la tensión de las cuerdas. Se colocan los potenciómetros de volumen y tono situados en la parte trasera que se fijan por una tuerca situada en la parte delantera, después se coloca el selector de pastillas por la parte trasera del cuerpo quedando visible únicamente la palanca de selección en la parte delantera. Se coloca el último componente electrónico un Jack que va situado en el lateral para la conexión del amplificador.

El montaje de los elementos electrónicos suele variar según la guitarra, en algunas a diferencia de la explicación anterior se montan todos los elementos por la parte delante y encima de estos se coloca una plancha denominada golpeador, que cubre toda la cavidad, y además aporta un detalle estético pudiendo ser este de algún otro material diferente a la madera.

Se comprueba cada pastilla, pasando una pieza de metal por cada una, la cual debe generar un efecto de sonido al variar el campo magnético de la pastilla.

Por último, se ponen las cuerdas, según el tipo de puente, las cuerdas se insertan por la parte trasera o delantera del cuerpo. A través del puente, se guían hasta sus respectivas clavijas, enrollándolas sobre estas mediante un taladro con un adaptador a la manilla de la ceja. Por último se afinan las cuerdas en una sala insonorizada. Una vez pasado los controles, la guitarra estaría dispuesta para su comercialización.

## **2.6.-Materiales**

[8] En el apartado anterior se ha nombrado diferentes materiales habituales en la fabricación de guitarras. Tradicionalmente las guitarras se han fabricado en madera, debido a las propiedades acústicas que aportan, y hasta ahora no hay un material que le haya arrebatado el puesto. Sin embargo, en la actualidad se comienza a desarrollar diferentes materiales gracias a la investigación aeroespacial, exportando muchos materiales y compuestos al mundo de la música, y últimamente se empieza a trabajar en gran medida con la fibra de carbono debido a su vez a las excelentes propiedades acústicas que posee. No obstante, muchos músicos se muestran reacios a abandonar la tradición de la madera ninguneando a estos nuevos materiales y encasillándolos en "plásticos". A continuación se describen brevemente las diferencias entre las maderas utilizadas y las propiedades singulares que gozan:

-Arce.- Es de las maderas más utilizadas para la fabricación de guitarras, tanto para mástiles como para cuerpos. Es una madera de gran dureza, que disfruta de

un sonido acampanado y cristalino. Proporciona un sonido mucho mas brillante, mas agudos, y con gran fuerza en los graves.

-Caoba.- Es una madera fina y relativamente dura, de peso medio-alto y con una cualidades musicales excelentes, de tono caliente y lleno. Permite a la cuerda mantener considerablemente su vibración, lo que en términos musicales se denomina “un buen sustain”.

-Palisandro.- Es la madera más utilizada en la fabricación de diapasones. Disfruta de un tono cálido y no tan agudo. Actualmente el palisandro es una madera bastante protegida y difícil de conseguir por lo que se usan sucedáneos conocidos como “palorrosa”.

-Aliso.- Es una madera blanda y ligera, pero con cualidades resonantes altas. Ha sido trabajada por las grandes marcas de guitarras.

-Álamo.- Otra madera de dureza media que es utilizada por muchos fabricantes incluido Fender. Es similar al aliso en el peso y el tono, pero no es tan popular debido al dibujo de la veta.

-Fresno.- Madera con excelentes cualidades resonantes. Es una madera muy musical que ofrece un sonido general muy agradable. Se emplea en la fabricación unicamente de cuerpos. Posiblemente sea una de las maderas mas equilibradas en cuanto a sonido para la fabricación de guitarras eléctricas solidas.

-Tilo.- Madera de muy bajo peso, bajo coste, y excelente relación tonal, estos atributos hacen que sea una de las más utilizadas en la fabricación. Tienen un sonido fuerte pero cristalino y con cuerpo y tono agradable.

Lo interesante a la hora de diseñar y fabricar una guitarra es la elección de estos materiales para los diferentes elementos de la guitarra, haciendo, por si solo que cada guitarra sea única, a nivel estético y sonoro.

## **2.7.-Análisis ergonómicos**

El diseño de la guitarra como se ha mencionado en otros apartados ha ido evolucionando desde la primera considerada guitarra eléctrica, sin embargo es cierto que entre la década de los setenta y ochenta se marcó unos estándares del diseño con los pilares impuestos por la Les Paul de Gibson o la Stratocaster de Fender. De hecho, estos modelos han sido replicados por otras productoras o se han adaptado al diseño estándar marcado.

Y a pesar de este parón en la evolución la guitarra, el instrumento es el más adquirido y tocado en el mundo por encima del piano o la batería. Y relacionado



con este dato un estudio realizado en el año 2006 por la Universidad de Estudio Sanitario Musical del Norte de Texas (UNT-MHS) revela que los guitarristas son los músicos más propensos a desarrollar lesiones musculoesqueléticas entre todos los músicos. Con esto se pretende llegar a la conclusión de que a pesar de que la venta de guitarras sea la mayor en el mundo con respecto al resto, no potencia la evolución del instrumento hacia unos nuevos estándares que sean mejores funcional y ergonómicamente. En parte, el problema forma parte también del usuario, ya que se inclina hacia la demanda de guitarras clásicas debido a que se inspira en sus clásicos ídolos músicos.

Otro factor importante en el desarrollo de estos problemas es que los usuarios que tocan la guitarra habitualmente no se dan cuenta de que al igual que la persona que realiza un deporte tiene que calentar y realizar estiramientos ellos también. Quizás sea por la cantidad de músculos y huesos que involucra el tocar un instrumento o el pequeño tamaño de alguno de ellos, como pueden ser los huesos de la mano, pero el físico que requiere un músico es semejante al que requiere un deportista en las zonas del cuerpo que están realizando el ejercicio. Estas lesiones dermatoesqueletos suelen producirse por la repetición de pequeños movimientos sin realizar un calentamiento anterior, por un largo periodo de ejercicio o en última instancia por una mala postura.

Al tocar la guitarra eléctrica, normalmente existen dos posiciones elementales: de pie y sentado. Ambas posturas se realizan con la correa colocada, en parte debido a su peso ya que permite una mejor distribución, comenzando un extremo en el cuerno superior que recorre todo el hombro izquierdo y que baja por la espalda hasta unirse a la guitarra en la base.

La postura sentada recomendable sería en un taburete, o silla sin reposabrazos que permita apoyar los pies en el suelo dejando las rodillas en un ángulo de noventa grados. La espalda debe tener una postura vertical respecto al suelo, y nunca debería apoyar la parte inferior de la espalda en el asiento de la silla.

Para el apoyo de la guitarra en las piernas hay diferentes posturas, la postura clásica es colocar la base de la guitarra en la pierna derecha y la curva interior situada en la pierna izquierda. La pala tiene que estar a la altura del hombro, por tanto habrá que darle una inclinación a la guitarra para que adopte esta altura. La otra postura existente es la de colocar la curva interior de la guitarra en la pierna derecha. Sin embargo esta postura considerablemente menos cómoda debido a que impide llegar con la mano izquierda a los trastes más cercanos al cuerpo, y que la inclinación del mástil es más pesada. Habitualmente se suele usar un "escalón" o una plataforma a modo de apoyo en la pierna donde se apoye la guitarra para que la inclinación de la guitarra sea más cómoda y menos forzada.

El brazo izquierdo recorrerá el mástil de abajo hacia arriba con la mano izquierda colocada de manera que el pulgar quede por la parte trasera del mástil adaptando la disposición en C que tiene, y dejando el resto de dedos en la parte del diapasón. El brazo derecho se colocará doblado hacia el cuerpo de

la guitarra, dejando el antebrazo rozando la parte de la base de la guitarra y la mano apoyada en la zona del puente. Desde una vista en planta, la guitarra debe tener una inclinación respecto a la línea de los hombros, para poder visualizar levemente los trastes, que no debería de ser de menos de treinta grados ni superar los cuarenta y cinco. Si la postura resulta cómoda el cuerpo debería responder correctamente al tocar de manera relajada y sin forzar los movimientos.

De la misma manera, una vez al levantarse uno con la guitarra ya colgada de la postura sentada, el instrumento no debería situarse ni más abajo ni más arriba de lo que estaba, si es así, el problema estaría en el tamaño de la correa. Por último hay que tener en cuenta que para las personas zurdas estas posiciones serían las simétricas.

A pesar de que la posición descrita reduce al mínimo las lesiones musculoesqueléticas, el problema como se ha mencionado también forma parte del diseño de las guitarras ya que las curvas y formas no se adaptan al cuerpo como deberían lo que fomenta que el usuario cambie esta postura neutra hacia otras que son perjudiciales para su salud y que a largo plazo producen estas lesiones.

[13] En la investigación realizada por la UNT-MHS se realizó una encuesta a 520 guitarristas, de diferentes tipos de guitarra como la acústica, la eléctrica, el bajo y el banjo. De los 520, 185 muestras eran de la guitarra eléctrica, sus resultados siguieron el patrón definido por el grupo total de muestras. El predominio de dolores musculoesqueléticos fue del 74%, donde los mayores dolores se producían en la muñeca izquierda (28.7%), la mano izquierda (23.4%). Y los índices de dolor más altos en el hombro izquierdo (2.92), la parte inferior derecha de la espalda (2.88) y la parte inferior izquierda de la espalda (2.83).

TABLE 1. Demographics for the Total Guitar Group

Demographics*	Acoustic Guitar (n = 213)	Electric Guitar (n = 185)	Electric Bass (n = 108)	Banjo (n = 14)	Total Guitar (n = 520)
Age, yrs	37.12 (11.62)	31.11 (11.21)	33.14 (10.58)	48.14 (9.67)	33.04 (13.05)
Gender, % male	78	97	91	78	88
Height, in	69.9 (3.7)	70.4 (3.6)	70.4 (3.2)	68.5 (2.9)	69.8 (3.4)
Weight, lbs	183.4 (37.1)	178.7(36.4)	184.8 (40.3)	206 (68.8)	188.2 (45.7)
Marital, % married	51	38	45	71	51
Yrs of music college instruction	1.7 (2.3)	4.1 (2.9)	1.8 (2.6)	0.3 (0.8)	1.2 (2.2)
Practice per day, hrs	2.2 (1.6)	2.6 (1.7)	2.1 (1.4)	1.6 (1.1)	2.1 (1.4)
Earning ≥ 50% of income from music performance, %	19	21	13	7	18
Classical guitarist in group, %	9	0.5	3.7	—	6
Smoker, %	13	21	18	14	16.5
Physical exercise, hrs/wk	3.3 (3.4)	4.4 (5.5)	3.7 (5.2)	3.8 (4.2)	3.8 (4.6)

\*Data, where appropriate, are expressed as mean (SD)

[13] Fig.14. Tabla demográfica para la muestra de guitarristas

**TABLE 2. Prevalence Rates (%) for Musculoskeletal Problems across Gender, Specific Guitar Groups, and the Total Guitar Group**

Body Region	Acoustic Guitar	Electric Guitar	Electric Bass	Banjo	Total Guitar
	Female/Male/Total	Female/Male/Total	Female/Male/Total	Female/Male/Total	Female/Male/Total
Right finger	30.2 / 24.7 / 26	33.3 / 22.2 / 22.3	30.0 / 23.5 / 23.9	0 / 27.3 / 21.4	29.0 / 23.5 / 24.1
Left finger	46.5 / 31.9 / 34.9	33.3 / 32.8 / 33	50.0 / 29.6 / 31.2	0 / 18.2 / 14.3	43.5 / 31.4 / 32.9
Right hand	18.6 / 18.7 / 18.1	50.0 / 14.4 / 15.4	40.0 / 17.3 / 19.3	0 / 9.1 / 7.1	24.2 / 16.5 / 17.1
Left hand	30.2 / 27.1 / 27.4	66.7 / 21.7 / 23.4	50.0 / 21.4 / 23.9	0 / 9.8 / 7.1	35.5 / 23.3 / 24.7
Right wrist	23.3 / 22.3 / 21.9	0 / 22.2 / 21.8	30.0 / 19.4 / 20.2	33.3 / 27.3 / 28.6	22.6 / 21.8 / 21.7
Left wrist	25.6 / 37.3 / 34	50.0 / 28.3 / 28.7	50.0 / 22.4 / 24.8	33.3 / 18.2 / 21.4	32.3 / 30.1 / 29.8
Right forearm	4.7 / 8.4 / 8.4	16.7 / 16.7 / 16.5	30.0 / 12.2 / 13.8	0 / 18.2 / 14.3	9.7 / 12.7 / 12.5
Left forearm	9.3 / 15.1 / 14.4	16.7 / 14.4 / 14.4	40.0 / 11.2 / 13.8	0 / 18.2 / 14.3	14.5 / 14.1 / 14.3
Right elbow	14.0 / 7.8 / 8.8	0 / 13.3 / 12.8	0 / 8.2 / 7.3	0 / 0 / 0	9.7 / 9.9 / 9.7
Left elbow	11.6 / 9.6 / 9.8	0 / 7.2 / 6.9	10.0 / 9.2 / 9.2	0 / 0 / 0	9.7 / 8.4 / 8.4
Right shoulder	27.9 / 16.9 / 20.0	16.7 / 14.4 / 14.9	40.0 / 15.3 / 17.4	0 / 18.2 / 14.3	27.4 / 15.6 / 17.5
Left shoulder	32.6 / 15.7 / 20.0	33.3 / 16.1 / 16.5	30.0 / 23.5 / 23.9	33.3 / 36.4 / 35.7	32.3 / 18.0 / 20.0
Right side of neck	27.9 / 12.0 / 15.8	33.3 / 13.3 / 13.8	40.0 / 12.2 / 14.7	0 / 18.2 / 14.3	29.0 / 12.7 / 14.8
Left side of neck	23.3 / 10.2 / 13.5	33.3 / 10.0 / 10.6	40.0 / 9.2 / 11.9	33.3 / 9.1 / 14.3	27.4 / 9.9 / 12.2
Right upper back	14.0 / 6.6 / 8.8	0 / 13.3 / 12.8	20.0 / 13.3 / 13.8	33.3 / 27.3 / 28.6	14.5 / 11.2 / 11.8
Left upper back	14.0 / 6.6 / 8.8	0 / 9.4 / 9.0	30.0 / 11.2 / 12.8	0 / 18.2 / 14.3	14.5 / 9.0 / 9.9
Right middle back	9.3 / 10.2 / 9.8	0 / 8.9 / 8.5	20.0 / 11.2 / 11.9	0 / 9.1 / 7.1	9.7 / 9.9 / 9.7
Left middle back	4.7 / 8.4 / 7.4	0 / 7.8 / 7.4	20.0 / 9.2 / 10.1	0 / 9.1 / 7.1	6.5 / 8.4 / 8.0
Right lower back	25.5 / 15.1 / 17.7	33.3 / 22.2 / 22.3	30.0 / 25.5 / 25.7	0 / 36.4 / 28.6	25.8 / 20.7 / 21.3
Left lower back	14.0 / 10.8 / 12.1	16.7 / 22.8 / 22.3	30.0 / 23.5 / 23.9	0 / 27.3 / 21.4	16.1 / 18.7 / 18.4

[13] Fig.15. Tabla con los ratios de prevalecimiento de problemas para diferentes clases de guitarristas en función de la zona

**TABLE 3. Severity Levels by Musculoskeletal Body Regions across Guitar Groups and for the Total Guitar Group\***

Body Region	Acoustic Guitar	Electric Guitar	Electric Bass	Banjo	Total Guitar
Right finger	2.0 (1.19)	1.86 (1.14)	1.58 (0.90)	2.67 (1.53)	1.96 (1.10)
Left finger	2.07 (1.14)	2.02 (1.12)	1.88 (1.07)	2.50 (0.70)	1.98 (1.30)
Right hand	2.08 (1.31)	2.03 (1.24)	1.62 (0.86)	4.00 (-)	2.15 (1.14)
Left hand	2.27 (1.11)	2.05 (2.0)	1.92 (0.89)	3.00 (-)	2.11 (1.17)
Right wrist	2.15 (1.10)	2.30 (1.21)	2.32 (1.25)	1.75 (0.96)	2.29 (1.20)
Left wrist	2.37 (1.15)	2.54 (1.34)	2.26 (1.10)	1.67 (1.15)	2.23 (1.17)
Right forearm	2.22 (1.35)	2.10 (1.19)	1.67 (1.11)	1.50 (0.71)	2.11 (1.11)
Left forearm	2.06 (1.18)	2.52 (1.12)	2.13 (1.25)	1.00 (0.00)	2.00 (1.10)
Right elbow	2.11 (1.15)	2.29 (1.33)	2.00 (1.20)	-	2.27 (1.23)
Left elbow	2.33 (1.0)	2.38 (1.39)	2.90 (1.45)	-	2.34 (1.27)
Right shoulder	2.63 (1.18)	2.25 (1.27)	2.47 (1.39)	2.50 (0.71)	2.30 (1.17)
Left shoulder	2.40 (1.05)	2.92 (1.14)	1.92 (1.16)	1.60 (1.34)	2.23 (1.15)
Right side of neck	2.24 (1.21)	2.19 (1.13)	2.06 (1.29)	2.00 (1.41)	2.23 (1.13)
Left side of neck	2.24 (1.18)	2.35 (1.09)	1.15 (1.14)	1.00 (0.00)	2.25 (1.14)
Right upper back	2.26 (0.87)	2.00 (1.18)	2.07 (1.22)	2.50 (1.29)	2.13 (1.10)
Left upper back	2.05 (1.03)	2.41 (1.23)	2.29 (1.14)	2.50 (0.71)	2.19 (1.10)
Right middle back	2.33 (0.91)	2.25 (1.06)	2.08 (1.32)	2.00 (0.00)	2.10 (1.10)
Left middle back	2.56 (0.89)	2.57 (0.85)	2.27 (1.35)	2.00 (0.00)	2.11 (1.09)
Right lower back	2.47 (1.20)	2.88 (1.17)	2.57 (1.43)	2.25 (1.26)	2.45 (1.22)
Left lower back	2.65 (1.29)	2.83 (1.12)	2.19 (1.36)	2.33 (1.53)	2.45 (1.22)

\*Pain severity levels, from 1-5, were calculated for subjects who reported having pain in one site or more.-

**Grade 1:** Pain while playing; should be consistent rather than occasional: pain ceases when not playing.

**Grade 2:** Pain while playing; slightly physical signs of tenderness; may have transient weakness or loss of control: no interference with other uses of this location.

**Grade 3:** Pain while playing; pain persists away from instrument; some other uses of this location cause pain; may have weakness, loss of control; loss of muscular response or dexterity.

**Grade 4:** As for Grade 3; all common uses of the location cause pain (housework, driving, writing, turning knobs, dressing, washing, etc.) but these are possible as pain is tolerated.

**Grade 5:** As for Grade 4; including loss of use of location due to disabling pain.

[13] Fig.16. Tabla en la que clasifica la gravedad en diferentes niveles

TABLE 4. Prevalence Rates (%) for Nonmusculoskeletal Problems across Specific Guitar Groups and the Total Guitar Group\*

Nonmusculoskeletal Problem	Acoustic Guitar	Electric Guitar	Electric Bass	Banjo	Total Guitar
Fatigue	36.7	44.7	40.4	14.3	39.7
Depression	32.6	39.4	36.7	42.9	36.1
Headache	34.0	29.8	33.0	28.6	32.1
Eye strain	33.0	30.9	27.5	35.7	31.2
Weight problems	30.2	29.8	27.5	42.9	29.8
Sleep disturbances	31.2	26.1	27.5	35.7	28.7
Stage fright	33.0	23.4	16.5	14.3	25.7
Hearing loss	14.9	28.2	34.9	35.7	24.3
Acute anxiety	18.1	19.7	19.3	21.4	19.0
Respiratory allergy	17.7	20.2	14.7	21.4	18.1
Earaches	12.1	17.6	22.0	21.4	16.1
Asthma	16.3	11.7	15.6	0	14.1
Blackout/dizziness	10.7	16.5	14.7	7.1	13.5
Chest discomfort	12.1	14.4	9.2	14.3	12.4
Hemorrhoids	12.6	9.6	15.6	14.3	12.2
High blood pressure	9.3	8.0	6.4	7.1	8.2
TMJ syndrome	8.8	5.3	9.2	0	7.4

\*Prevalence is in ranked order from highest to lowest rate for the total group.

[13] Fig.17. Tabla sobre el porcentaje de prevalectimiento de enfermedades no musculoesequeleticas

El estudio reflejó que todos los dolores y lesiones estaban relacionados con la biomecánica y la postura así como otros factores que requerían hacer movimientos repetitivos a la vez que trabajo muscular. Las complejas posturas formadas por tensiones formadas en los dedos independientemente de la muñeca y codo, con sus respectivas rotaciones hacen a los usuarios de guitarras una presa fácil de síndromes como el del túnel carpiano o otros menos conocidos como el del nervio cubital formado en el codo.

A pesar de que pueda entenderse que las lesiones musculo-esqueléticas puedan producirse en músicos, las cifras de estos padecimientos son demasiado elevadas como para no analizar y buscar soluciones a la guitarra eléctrica.





## **3.- Análisis y Práctica**

### **3.1.- Trabajo de campo**

Antes de comenzar con la parte práctica del proyecto se ha realizado un trabajo de campo a modo de entrevistas. Para ello se ha puesto en contacto con diversas entidades del ámbito de las guitarras eléctricas como son los vendedores y fabricantes. El objetivo de esto es conseguir una visión cercana de lo que el mercado conoce del producto. Las entrevistas han sido realizadas por la zona de Ourense.

#### **3.1.1.-Entrevistas a vendedores particulares**

La primera entrevista es realizada a la tienda de Guitarras y otros instrumentos de cuerda y percusión "Matiz" de Ourense:

**¿Cuál es el instrumento que más vende? ¿En qué posición se encuentra la guitarra? Por que la gente elige la guitarra eléctrica por encima de otros instrumentos de cuerda?**

*Guitarras sin duda, más o menos a la par con guitarra acústica, pero siendo guitarra eléctrica la primera. Por el tipo de tienda que llevo, al estar más especializado en la guitarra eléctrica pues es lo que mas se vende.*

**De guitarras eléctricas, ¿cuál es la más vendida?**

*Depende también de la tienda, Matiz es distribuidora de Fender, por lo cual la que el más vende es una Fender Stratocaster.*

**¿Cuál considera que es la guitarra más cómoda? (Para tocar de pie y/o sentado)**

*Para mi, personalmente la Fender Telecaster. En primer lugar por el sonido, por las maderas y la forma me aportan un sonido que es el que a mi me gusta oír, y va con mi personalidad, y en segundo por el diseño, que también el mástil se adapta muy bien al tamaño de mi mano.*

**¿Alguna vez algún cliente ha vuelto para cambiar la guitarra eléctrica? Si la respuesta es afirmativa, podría decir una cantidad aproximada?Cuál era/n el/ los motivo/s?**

*Si, varias veces. Por ello, tengo una cabina aquí donde el cliente puede probar la guitarra, el tiempo que haga falta. Y ha habido gente que aún habiendola probado una hora llega a casa y no se siente cómodo con ella, yo creo que mas por el sonido que no es el que creía que por el diseño.*

**En ventas sobre guitarras eléctricas, Qué factor prima por encima del resto, la funcionalidad, la estética, o la comodidad?**

*La funcionalidad como sonido sin duda, y que los clientes a veces pueden ir muy de "alternativos" pero el nombre de Fender o Gibson a pesar de que puedan tener un sonido que no es el que quieren, su nombre va a llamarles más que otro que se llame "Juanciño" y que pueda sonar mejor.*

**Y personalmente, Qué factor prima por encima del resto, la funcionalidad, la estética, o la comodidad?**

*Igualmente la sonoridad.*

**¿Cuál es la parte o factor más negativo que encuentra en los diseño convencionales de guitarras eléctricas?**

*En principio, el peso, pero es indudablemente un factor con el que hay que tratar. Por ejemplo con Gibson que tiene un buen grosor y que es el que le aporta el peso, si le quitas parte de ese peso, aún realizándole esos huecos que le hicieron vas a quitarle ese sonido.*

**¿Por qué los clavos de las guitarras difieren de una a otra? ¿Y por qué la mayoría disponen una diferencia de altura en posición?**

*Pues yo creo que principalmente es porque fueron estudiadas para que los puntos fueran situados donde menos cabecearan, ya que hay algunas guitarras muy ligeras como la SG que quizás sea el mejor lugar por situación de que sea cómoda y además para que cabecee lo menos posible.*

**¿Toca algún instrumento? ¿Toca la guitarra? ¿Cuánto lleva tocando la guitarra? Alguna vez ha sufrido alguna dolencia tocando? Si es así ¿donde? Y si 1 fuera una dolencia insignificante y 5 una dolencia perdurable después de tocar, ¿cómo la calificaría?**

*Toco principalmente los instrumentos que vendo en la tienda que son guitarra, bajo y batería. Soy bajista realmente pero llevo tocando la guitarra alrededor de veinticinco años. Si, he sufrido dolencias tocando, diría que todo el mundo que toque tiene alguna dolencia. Los primeros años que tocaba donde más dolencias tenía era en los dedos de pulsar las cuerdas, y tenía que tratarlos muy habitualmente. Y ahora ya, pues la espalda es habitual, en el fisioterapeuta me decía que sino podía tocar en otra posición y yo le decía que sí, de zurdo, pero que no tocaría tan bien. Creo que es algo que no podría calificar con números, y que depende del día, que hay días que ensayo y luego toco en un concierto de dos horas y acabo con un dolor de espalda fuerte y otros que podría seguir tocando.*

**¿Cómo describirías tu posición a la hora de tocar?**

*Yo creo que es comodidad y costumbre. Aunque personalmente a mi situarla arriba me parece antiestético, y situarla muy abajo resulta incomodo, ya que la posición te pide dobla la espalda.*



Entrevista realizada a la tienda de música general "Musical González" de Ourense:

**¿Cuál es el instrumento que más vende? ¿En qué posición se encuentra la guitarra? Por que la gente elige la guitarra eléctrica por encima de otros instrumentos de cuerda?**

*Guitarras clásicas. La guitarra eléctrica estaría en quinto lugar. Quizás es escogida por estética ya que a la gente joven y niños comienzan a meterse en el mundo de la música por que les atrae visualmente.*

**De guitarras eléctricas, ¿cuál es la más vendida?**

*Me preguntan mucho por la Fender Stratocaster.*

**¿Cuál considera que es la guitarra más cómoda? (Para tocar de pie y/o sentado)**

*Para mi, el modelo RG de Ibanez.*

**¿Alguna vez algún cliente ha vuelto para cambiar la guitarra eléctrica? Si la respuesta es afirmativa, podría decir una cantidad aproximada? Cual era/n el/ los motivo/s?**

*Que yo recuerde no.*

**En ventas sobre guitarras eléctricas, ¿Qué factor prima por encima del resto, la funcionalidad, la estética, o la comodidad?**

*Depende de la persona pero la mayoría de las veces es la estética.*

**Y personalmente, Qué factor prima por encima del resto, la funcionalidad, la estética, o la comodidad?**

*Yo lo pondero todo, no hay ninguna que destaque sobre el resto. Tengo que fijarme en que sea un mástil fino y delgado para poder tocar rápido.*

**¿Cuál es la parte o factor más negativo que encuentra en los diseño convencionales de guitarras eléctricas?**

*El trasteo de las guitarras eléctricas, casi todas trastean.*

**¿Por qué los clavos de las guitarras difieren de una a otra? Y por que la mayoría disponen una diferencia de altura en posición?**

*Yo creo que por la construcción, no conozco tanto del tema, pero supongo que cada marca tiene unas razones ya sean estéticas o de comodidad para elegir esos puntos y no otros.*

**¿Toca algún instrumento? ¿Toca la guitarra? ¿Cuánto lleva tocando la guitarra? Alguna vez ha sufrido alguna dolencia tocando? Si es así ¿donde? Y**

si 1 fuera una dolencia insignificante y 5 una dolencia perdurable después de tocar, ¿cómo la calificaría?

*Toco la guitarra española y la eléctrica, llevo veintiún años tocando, pero nunca he sufrido una dolencia grave después de tocar.*

### **3.1.2.- Entrevista a fabricante**

Encuesta realizada a un luthier, que fabrica guitarras principalmente eléctricas en su taller.

#### **¿Cuánto lleva fabricando guitarras?**

*Llevo tres años fabricando instrumentos, comencé en esto por libro, como un hobby, y de casualidad totalmente. Siempre me ha gustado la madera, he hecho alguna pieza para mi casa, y una vez tenía que llevar mi guitarra a cambiar los trastes, y al final en lugar de cambiarle los trastes, busque un mástil para encajarlo en el cuerpo. Le arranque la pintura, le ensamble el nuevo mástil y la decore y pinte yo mismo, y todo ese proceso me encantó. Me compre un kit ya prefabricado de una Stratocaster, le monté toda la electrónica, la decore y me lo pase como un niño. Y desde ese primer momento fui a más, como desde ese momento ya sabía como eran las tripas de una guitarra, me decidí a construir yo mismo una desde cero. Y así como si de una serie se tratase, me fui haciendo una, y otra, y otra... Y así llevo doce guitarras fabricadas. Aún así yo tengo un trabajo de jornada completa y luego a mayores llevo a mi taller y le dedico mis tres horas a esto.*

**En los primeros modelos que fuiste fabricando, ¿Cuáles fueron los errores más comunes que tenías?**

*En un primer momento la longitud de escala, y también el calculo o compensación de alturas, que es la altura a la que queda la cuerda respecto del traste. Tu aprietas la cuerda para que la cuerda toque el traste, y ahí estas modificando la longitud teórica que por ejemplo en la Les Paul son de 628 mm, la estas alterando en unos milímetros. El quintaje y la afinación de una guitarra está en milímetros y en décimas de milímetros, y eso lo alteras, esa compensación la realizas retrasando esa longitud de escala, y es algo a lo que le doy muchas vueltas. Entonces eso para mi es una de las partes más críticas, el ajuste fino del instrumento.*

**¿Toca algún instrumento? ¿Toca la guitarra? ¿Cuánto lleva tocando la guitarra?**

*Yo estaba aprendiendo a tocar la guitarra cuando empecé en el mundo del Luthier. Una vez que ocurrió lo de la reparación de la guitarra, me dí cuenta de que lo que me gustaba más era esto y por ahora he dejado de aprender a tocar porque no me da el tiempo. Volveré en un futuro para poder expresar al completo mi habilidad para construir el instrumento. Aun así tengo unas nociones básicas que me permiten evaluar si lo que he hecho es un instrumento o es un mueble que se parece a un instrumento.*

### **En fabricación sobre guitarras, ¿Qué factor prima por encima del resto, la funcionalidad (musicalidad), la estética, o la comodidad?**

*La comodidad. Si, sin ninguna duda, un instrumento tiene que ser cómodo para la persona que lo va a tocar. Cada modelo tiene una forma de construcción, y eso ya está estudiado. Por ejemplo, el señor Les Paul, diseñó ese mismo modelo con muchísimo conocimiento, y desde el punto de vista de un guitarrista; hay muchos factores en la Les Paul que solo se presentan las guitarras de caja o de jazz. El ángulo que tiene el mástil con el cuerpo tiene un motivo a mayores de compensar la panza del cuerpo, la SG también tiene un ángulo, menor pero también lo tiene; La Firebird también tiene ángulo, y están pensadas para que haya una inclinación del puente a la cejuela, también está pensado la colocación y distribución de los controladores y que no molesten al guitarrista. Y los controladores son algo que se le achaca a la Stratocaster, porque son incómodos, y condicionan la forma de tocar, la altura a la que está el puente con respecto al cuerpo condiciona la forma de tocar, el tipo de puente que coloques... Todo condiciona la forma de tocar.*

*Los ángulos que tengan en el canto del cuerpo. Una Stratocaster, tiene dos rebajes, uno superior para que el antebrazo derecho se acomode, y uno interior para que cuando se apoye y se presione contra la barriga se acomode. La Les Paul en cambio no tiene el rebaje por detrás, y tampoco tiene el rebaje en el canto, pero tiene esa barriga que hace la palma de la mano se quede con esa inclinación de la barriga y se acomode para tocar.*

### **A la hora de construir la guitarra, ¿cuáles son los puntos de fabricación más delicados, que necesitan tener un mayor cuidado?**

*El punto más delicado es la unión del mástil al cuerpo, están los atornillados, y los encolados. Lo que tienes que conseguir en esa unión es que la superficie de contacto sea del 100%, para que la transmisión de sonido, la vibración que transmite la madera no tenga ningún punto de interrupción, ya que si lo tienes puedes perder matices del sonido o no llegar a transmitir nada si no has calculado bien esas medidas. La Les Paul al ser encolado y no disponer de ningún otro sistema de unión está calculado de manera que las piezas encajan a la perfección, de manera que el mástil tiene que estar sujeto al cuerpo sin haber echado cola. Además aunque la tolerancia fuera más grande de lo creído e intentarás arreglarlo rellenando el vacío con más cola no va a aguantar. Las colas utilizadas para la fabricación de instrumentos son colas animales, cola de pescado o cola de conejo. Son colas que se integran en la estructura de la madera, no forman una capa entre el punto A y el punto B sino que se funden introduciéndose por los poros de la madera y forman un continuo. Esta unión a mayores te va a decir la altura a la que puedes colocar las cuerdas, hay gente que le gusta que con un simple toque en el traste ya apriete la cuerda, y otros que le gusta jugar más con el apriete y el espacio.*

*Luego a mayores en el puente tienes que centrarlo con la línea que van a generar la primera y la última cuerda. También en cuanto al material tienes que tener en cuenta el sentido de la veta de la madera, tienes que conseguir que la linealidad de la veta haga confluir el sonido hacia el punto donde tu recoges el sonido que genera el instrumento o sea las pastillas. Puedes hacerlo al revés, pero vas a perder matices*

del sonido.

**¿Qué medidas tienen que ser las mas precisas?**

*La longitud de escala tiene que ser milimétrica.*



Fig.18. Fotografía del proceso de fabricación de un mástil

**¿Considera que los clavos para la correa afectan considerablemente a la posición de la guitarra?**

*Totalmente, van a condicionar la línea que va a hacer la guitarra con tu cuerpo, tu luego puedes moverlo con la correa, mas arriba o mas abajo. Los tornillos de la correa lo que condicionan es el ángulo en el que te cae, eso está estudiado para que te caiga de tal manera. Hay guitarras mas descompensadas en cuanto a peso, que con el tornillo colocandolo más abajo o más arriba pretenden compensar ese cabeceo. Luego hay otros ejemplos en los que no te queda otro punto donde colocar el tornillo, y te hace atornillar atrás. Por ejemplo la SG que los lleva atrás, es porque los cuernos son muy frágiles y finos en punto, pero no está muy bien pensado porque te puede cabecear la guitarra hacia delante con un movimiento porque la correa está empujándola hacia delante, y resulta incomodo tener ese sentimiento, lo que obliga a la mano izquierda a agarrar por el mástil, lo que hace que este pendiente de hacer dos cosas, sujetar, y tocar.*

**A la hora de fabricar las guitarras, ¿tiene algunas premisas o medidas tomadas de antemano para la generación de la curva inferior (la que apoya en la pierna)?**

*Mientras consigas un equilibrio en el instrumento, la forma puede ser casi la que se quiera, y las guitarras eléctricas se tocan muy poco sentado por tanto esa curva no tiene mucha relevancia. Si fuera una española todavía. La zona inferior está mas pensada para dar un equilibrio de pesos que para una ergonomía, en cambio la parte superior si.*

**¿Cuál es la parte o factor más negativo que encuentra en los diseño convencionales de guitarras clásicas, y eléctricas? ¿Cree que algo se puede mejorar en el diseño de la guitarra? Si la respuesta es afirmativa ¿el qué?**

*En las clásicas tengo poca experiencia, pero veo que no hay nada que resulte demasiado incomodo, la clásica tiene que tener unos espacios y unos volúmenes que puedes hacer alteraciones que no tienen que ver con la comodidad. En la eléctricas uno de los puntos clásicos que la gente suele quejarse es donde están colocados los controladores, y luego la altura del puente. Pero de los controladores, se suelen quejar de eso, de a quien se le ocurrió colocarlo tan cerca de donde estoy tocando, que con un movimiento involuntario que haga pueda estropear el sonido. Y después en construcciones, que el factor negativo de Gibson es que a mucha gente se le rompe la pala. Para mi el problema está en el espacio que queda de madera maciza que al ser tan estrecho y tener el canal donde va el alma, que en las Les Paul tienes que hacer un 1,2 cm de surco para que entre el alma, e igual en el punto más cercano a la pala tu grosor es de 1,4 cm solo te quedan 3 ó 4 mm. Y si a eso le sumas que la pala este inclinada respecto al mástil fomentas esa rotura por la tensión de las cuerdas.*

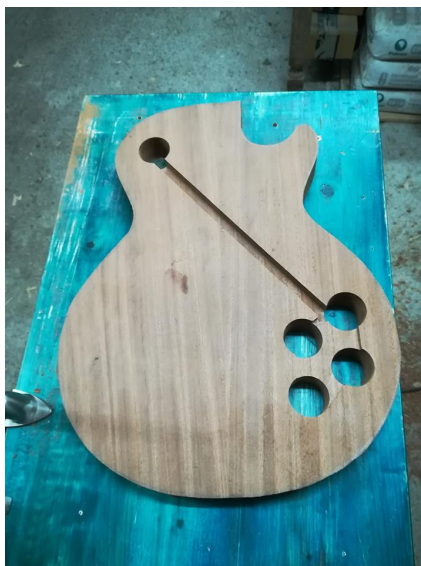


Fig.19. Fotografía de un cuerpo ya procesado

**¿Qué considera que es lo más gratificante a la hora de diseñar y construir guitarras?**

*Para mi, lo que mas me gusta es el momento en que tienes un tocho de manera y comienzas a darle forma, partes de una silueta con un tocho rectangular y comienzas a darle una forma física. Lo que menos me gusta es el acabado, por el barniz, porque es lo que más me cuesta y que si te equivocas a la hora de repartir el barniz tienes que volver para atrás. Y luego que si el acabado no convence y no va a entrar por los ojos, va a parecer un churro, y aunque suene muy bien si estéticamente no queda bien no va a vender. De hecho puliendo, sudo.*

**¿Cómo decides cuanto volumen a utilizar de la madera? ¿Cómo afecta a la sonoridad? ¿Y a la postura? ¿Existe un tamaño mínimo de cuerpo?**

*Bueno, el volumen de madera a utilizar, los que fabricamos, nos guiamos por*

*parámetros que ya están decididos. Una Stratocaster tiene cuatro y medio, una SG son entre 4 y 4 y medio, una Les Paul son cuatro más dos o sea unos seis centímetros. Si tu quitas madera, quitas principalmente sustain, lo que dura la nota. Si la añades lo ganas pero la haces físicamente más incomoda, de hecho hay chistes sobre lo que pesa una Les Paul. Al final también lo decides por el modelo en el que te bases y lo que vas a introducir dentro, si para una Stratocaster quieres meterle unos muelles que van a ocupar de grosor 42 mm, tu ya no puedes hacer algo de menor grosor que eso. Si haces menos, vas a tener que alterar componentes que ya están estandarizados. En fin, te guías por lo que ya está hecho y por lo que va a pesar después.*

### **¿Cuál es la mejor madera? En que factores crees que destaca mas?**

*No hay una mejor madera, la madera aporta timbre al instrumento. Si quieres conseguir un sonido "grueso" a lo Les Paul vintage, usas caoba o maderas semejantes; si quieres un sonido más brillante, usarás maderas mas ligeras como el tilo o el aliso. No hay una mejor madera, hay un que quiero hacer o que quiero conseguir, que sonidos quiero potencias: graves, medios o agudos.. Y según esto eliges la madera a utilizar.*

### **¿En qué se basa la técnica usada por los luthiers al fabricar conocida por el golpeo?**

*Pues básicamente he utilizado esta técnica cuando empiezo a utilizar una madera que no he usado anteriormente. Básicamente, la técnica trata de coger un tocho de madera, agarrando por con los dedos a una longitud que es un tercio de la total. Entonces, con la otra mano al golpear, la madera te va a decir por el sonido de la vibración que cualidades va a potenciar y cuales se va a comer del sonido, cuanto va a mantener el sonido o si es más o menos brillante. Está técnica es muy utilizada en guitarras españolas con tochos de un grosor de cinco milímetros. Una vez conocido que madera estás utilizando realizas combinaciones de maderas para mástil y cuerpo. Por ejemplo para la caoba, usas cuerpo de caoba y mástil de caoba; para el fresno usas mástil de arce normalmente... También te basas un poco en combinaciones que ya están probadas y sabes como va a sonar, pero si te pones a probar tienes que ir buscando un equilibrio. Luego en el diapasón se suele usar ébano, y antes se usaba Palorossa, pero ya esta casi extinto, aunque por suerte tengo uno de los últimos diapasones de Palorrosa que me puedo permitir comprar, porque queda ya solo lo que haya en almacenes. En resumen para el diapasón se usan maderas exóticas, duras y de crecimiento muy lento. El arce también se suele usar para diapasones pero barnizandolo a diferencia de del palorossa o maderas semejantes que se dejan sin barnizar. Esto ocurre porque el arce es muy absorbente a diferencia de las otras y acabaría absorbiendo todo lo que se pose encima, incluido sudor u otros líquidos estropeando la madera.*

### **Al ser tu proceso artesanal y contrapuesto a los industriales en serie,¿podrías explicar cómo se realiza tu proceso de fabricación?**

*Para empezar, yo recibo un pedido del cliente, en el que me comenta que es lo quiere, o que linea seguir. Por ejemplo me pueden decir que quiere algo del estilo de la Stratocaster u otro modelo, esto ocurre ya sea porque quiere algo diferente a lo que presenta el modelo convencional o por el precio desorbitado que encuentra en*

diferentes tiendas.

*El segundo paso, sería transportar esa información que me llega del cliente a los planos. Consigo planos a escala 1:1 por Internet del modelo semejante al que quiero y por técnicas de diseño le hago los arreglos al plano que me sean solicitados, ya sea rebajar un cuerpo o cambiar una curva. También a veces hago un render del modelo digital con los colores y los cambios realizados para que el cliente pueda ver como sería la forma y estética del resultado final.*



Fig.20. Fotografía de la generación del cuerpo de la guitarra

*Una vez impresos los planos a escala (Me enseña un plano a escala real de uno de los modelos construidos). Por ejemplo este plano, facilitado por un libre fabricante de planos te da información y facilidades para realizar diferentes cambios en el mástil, en las formas y también te da información sobre los huecos que tienes que realizar.*

*Con el plano preparado realizas un calco sobre la madera de los contornos. Recorto el plano, lo coloco sobre el tocho, y lo plasmó. A veces incluso el resultado del plano sobre la madera no se asemeja a lo que tenías en mente y es la última oportunidad para realizar cambios. Por ejemplo con un cliente no estábamos satisfechos con el calco debido al tamaño plasmado y decidimos con lápiz y regla estiramos las líneas hasta que nos quedó en algo que creíamos que era adecuado.*

*Con el contorno marcado, realizo el corte perimetral con la sierra de cinta, y no afino la forma todavía. Lo que sí que afino es el perímetro de la parte que va empotrada para poder realizar el encastre. Una vez que tengo hecho el encastre dibujo la posición teórica del puente. Con la longitud de escala como regla sitúo el puente y con el mástil y regla busco los puntos límite de mis cuerdas para que estén dentro del mástil. Posiciono los elementos y ahora compruebo que desde donde yo tengo marcada la cejuela en el mástil hasta donde apoya la cuerda en el puente es la longitud de escala. En resumen hasta ahora es, siluetas, mástil con su diapason y radiado y comprobar escala.*

*El siguiente paso es realizar los huecos para los componentes que irán en su interior mediante una fresadora. Utilizó plantillas de los componentes que voy a introducir, como el espacio de las pastillas, el del bloque del muelle... Coloco la plantilla y utilizo una fresa con rodamiento guía. Yo realizo, todas las tareas de manera artesanal, y es algo auto-impuesto, porque quiero conseguir una precisión que me permita mejorar en los procesos y la fresadora es algo en lo que tienes que conseguir un resultado de mucha precisión.*

*En cuanto a la parte electrónica, es quizás del tema en el que me siento más perdido. A pesar de que yo mismo haga todo el proceso de conexiones e instalación eléctrica, recorro a Internet para encontrar orientaciones sobre las diferentes configuraciones de la electrónica. Es una tarea dificultosa, debido a que el fabricante de pastillas te proporciona una guía para la instalación de la pastilla, pero luego según el número de potenciómetros, de controladores de volumen y de tono... Tienes que hacerte con orientaciones un mapa de configuración, ya que sino es un quita y pon de uniones de estaño que luego desfavorece toda la instalación. Luego realizas un apantallado con cinta adhesiva de aluminio o de cobre de la instalación que es básicamente una jaula de Faraday para aislar los elementos magnéticos y electrónicos del exterior, y que no existan interferencias.*

*Una vez que tienes todos los componentes preparados y afinados realizas el montaje final con la unión del mástil al cuerpo y el atornillado del puente, la colocación de las pastillas y demás...*

### **Una vez terminado el montaje, ¿Cuales son las técnicas de acabado?**

*Para terminar tu puedes usar aceites, resinas o barnices que son los típicos. Digamos que estas técnicas de acabado se clasifican según cuanto tapan o afectan a los poros de la madera afectando esto al sonido, siendo la clasificación de menor a mayor: los aceites, los acabados al agua, la nitro, y el poliuretano.*

*El aceite se aplica a trapo, y son entre dieciséis o veinte capas las que le puedes llegar a realizar. Es el acabado que más respeta la sonoridad de la madera pero es el más débil para defender la madera de arañazos, golpes y otros... Se utilizan típicamente los llamados aceite de Tung y aceite Danés. Con un tiempo de secado de tres o cuatro semanas al aire tienes el instrumento listo para utilizar.*

*En contraposición al aceite está el poliuretano, que le aporta mucha dureza a la madera pero afecta al sonido. Y como ventaja, tiene un menor tiempo de secado.*

*La laca nitro, es el más utilizado por mi, pero también presenta sus pros y sus contras. A la hora de ser aplicado, la nitro funde una capa con la otra y que aunque des de veintiuna manos en adelante, todas ellas se convierten en solo una pieza. Esto también pasa con la goma laca que es un producto animal, el cual es una babilla que deja un gusano y lo puedes diluir en alcohol, para aplicarlo y una vez seco cristaliza. Y no ocurre con el poliuretano, ni los acrílicos, que forman una capa por encima de otra sin llegar a fusionarse y ser uno. La nitro también tiene la ventaja de que es más fácil de dominar y arreglar errores; pero tiene el inconveniente de que tarda*



*muchísimo en secar al aire, por ejemplo en invierno tarda dos meses, necesitas una temperatura de 20° y humedad inferior al 40% para que sea óptima. También es más sensible a los golpes y roces que el poliuretano.*

*En cuanto a la aplicación de estos yo lo realizo con pistola dentro de una cabina de ventilación y la nitro solo genera una pequeña cantidad de residuo en forma de polvo, pero el poliuretano genera un polvo más denso que se adhiere entre ellas formando una especie de pasta.*

Este trabajo de campo sirve como un antecedente para comenzar la parte analítica de este proyecto, a pesar de que hay información que ya se recopiló en la parte teórica, poder conversar con personas del mundo de la música y de las guitarras eléctricas te aporta datos que pueden ser subjetivos pero que no se pueden obtener por vías como libros o paginas web.

De los vendedores de guitarras, se aprecia como las personas que trabajan de eso también tocan el instrumento, que la estética de las guitarras influye bastante en la compra de neófitos del ámbito y sin embargo los que ya tienen un recorrido le dedican horas de ensayo para poder elegir la guitarra que van a comprar. También que las marcas que controlan el mercado son la Fender y Gibson pero marcas pequeñas como la Ibanez se hacen hueco.

Sin duda la entrevista que más aporte a este trabajo es la del luthier o artesano de instrumento de cuerda. Se tuvo el placer de entrevistar a Jesús, que se está abriendo paso en el mundo de la producción. Se pudo realizar la entrevista en su taller, y a medida que iba respondiendo las preguntas tuvo la amabilidad de ir mostrando ejemplos gráficos de lo que estaba relatando. De esta entrevista se obtienen una gran cantidad de datos y observaciones que no se habrían podido conseguir de otra manera.

A mayores y aunque no figure como entrevista, las conversaciones mantenidas por el guitarrista y profesor de la Universidad de Valladolid, Roberto Pradanos, que sin duda también han colaborado en este trabajo de campo.

## **3.2.- Análisis Visual del cuerpo de guitarra**

### **3.2.1.- Introducción**

Una vez contemplado el estado actual del arte y haber recopilado más información por el trabajo de campo, tanto a nivel histórico como de diseño y producción; lo que atañe a esta parte es desarrollar un análisis sobre el cuerpo de la guitarra.

Lo que se pretende es analizar y evaluar los aspectos “clave” que hacen de la guitarra eléctrica un producto funcional a nivel de su facilidad para ser tocada. El cuerpo de la guitarra es un producto complejo, ya no solo a nivel técnico y sonoro, sino al diseño de las superficies y de su adaptación al cuerpo. A primera vista podría contemplarse que solo dispone de un par de curvas que generan el cuerpo y que le dan forma, pero son otras de menor medida y menos visibles las que aportan esa complejidad al producto que facilitan el ser tocado.

El estudio comenzará por esa revisión en profundidad, y continuará por como se acomoda la guitarra en el cuerpo del individuo. En principio, dependerá en gran parte de las posiciones de los clavos para la correa, por ende habrá que estudiar estas medidas en guitarras eléctricas y contemplar cuales es la mejor solución para desarrollar.

Y para todo este desarrollo, será necesario recurrir a medidas anatómicas de estudios, para poder desenvolver maniqués ya sea en 2d o en 3d que faciliten este análisis y nos aporten unos mejores resultados.

Con todo esto se pretende llevar a cabo unas aproximaciones de como es la relación individuo-instrumento para en la siguiente fase dar una conclusión y solución al trabajo.

Todo este trabajo será realizado mediante tareas de investigación y en mayor medida por expresión gráfica en materia de programas de diseño, tanto de bocetaje, como de dibujos en 2d y 3d precisos.

### **3.2.2.- Longitudes de escala y tamaños de cuerpo**

La longitud de escala es cambiante según el fabricante y el modelo, como se ha comprobado anteriormente. Estas variaciones influyen a su vez, en el tamaño del cuerpo y de sus formas. Cuanta mayor longitud de escala más descompensada puede estar, por tanto merece la pena analizar y obtener información de las diferencias existentes en las guitarras. Para ello, se partirá de fotos de diferentes modelos y fabricantes y gracias a la longitud de escala se podrá obtener otra información y medidas relevantes sobre las guitarras. En la página siguiente se muestra una tabla con datos recopilados de diferentes modelos de guitarras eléctricas:

Modelo/ Fabricante	Long. De Escala	Nº Trastes	Traste coincidente con el botón superior (Nº)	Longitud botones (mm)	Alto entre botones (mm)	Distancia (mm)
JEM777-SK Steve Vai 30th /Ibanez	648	24	13	452	98	462
Guthrie Govan/ Charvel	648	24	12	450	110	463
LTD M- Black/ESP	648	24	13	451	104	463
JS32/ Jackson	648	24	13	430	108	443
SE/PRS	635	24	15	413	95	424
Tribute Ascari/G&L	628	22	15	442	101	453
Sterling /MusicMan Petrucci Majesty	648	24	13	456	90	465
JP15/ MusicMan Petrucci	648	24	13	449	104	461
Luke III/ MusicMan	648	22	12	466	106	478
Telecaster/ Fender	648	21	16	400	83	408



Mustang/ Fender	610	22	15	442	108	455
Jaguar/ Fender	610	22	14	455	115	469
JazzMaster/ Fender	648	21	14	455	109	468
Les Paul/ Gibson	628	22	17	432	63	436
Zach Myers/ PRS	622	22	17	432	80	439
FlyW/ Gibson	628	22	22	492	159	517
Explorer/ Gibson	628	22	20	397	0	397
SG/ Gibson	628	22	20	374	0	374
				Longitud	Altura	Distancia
Media				438	103	448



Fig.21. Tabla modelos clasificados

Para la obtención de los diferentes datos de la tabla se ha utilizado información encontrada en paginas con conocimiento sobre guitarras eléctricas como es Thomann. De dicha pagina se ha obtenido imágenes, la longitud de escala y el número de trastes.

Las guitarras han sido seleccionadas intentando buscar un poco de variedad en cuanto a formas, longitudes y número de trastes. De dichas fotos mediante la plataforma de Illustrator se ha obtenido mediante rasantes la coincidencia del cuerno superior, donde habitualmente va situado el tornillo o clavo de colgar, con el número del traste. Esta información a pesar de no parecer demasiado relevante otorga datos como cuanto está introducido el mástil en el cuerpo, o como de largo puede ser el cuerno en algunas guitarras.

Los anteriores datos de la tabla como son la longitud desde ese cuerno superior al clavo inferior situado en el eje del mástil y la altura entre estos dos clavos han sido obtenidos mediante una regla de tres, gracias a que las imágenes utilizan una escala y se conoce la longitud de escala se puede obtener la medida real de dichos datos.

Longitud de escala real – Medida desconocida

Longitud de escala en fotografía – Medida en fotografía

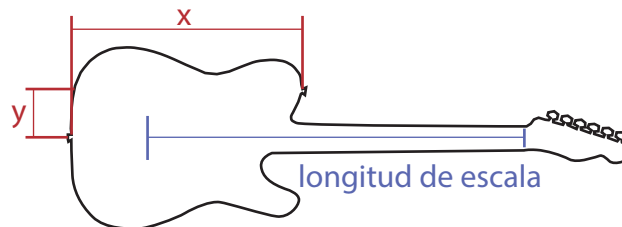


Fig.22. Figura de Ilustración de los datos obtenidos

Como puede apreciarse en la tabla se han incluido algún modelo en el que no existe altura entre clavos. Pero era interesante incluirlos para ver si en cambio tenían una mayor longitud entre clavos.

Una vez obtenido todos los datos se ha calculado la distancia entre ambos puntos. Y para finalizar se ha calculado la media de dichas distancias. Hay que tener en cuenta que para la media de las alturas no se ha tenido en cuenta las ultimas guitarras en las que no existía dicha medida.

Por tanto se obtiene que la distancia entre los clavos ronda los 448 milímetros, y sus valores máximos y mínimos se encuentran en la Fly V y en la SG respectivamente. Otro dato relevante es que el tamaño del cuerpo no es proporcional a la longitud de escala. Como puede verse en los datos no guarda ninguna relación un dato con el otro, ya que hay modelos con longitudes de

escala pequeñas pero que tiene una distancia entre los clavos similar a otras de 648 milímetros de longitud de escala.

### 3.2.3.- Análisis de modelos icónicos

A continuación se estudiarán diversas guitarras eléctricas, las cuales han sido escogidas por ser las más emblemáticas o porque han marcado una etapa en el mundo de la música. Con todo esto se pretende analizar sus aspectos “claves” en el diseño de contornos. A su vez, también se pretende visualizar que partes del diseño son las que fallan o que podrían mejorarse. Todo este estudio tiene como finalidad obtener información útil para este trabajo.

Antes de comenzar con el análisis cabe decir que ahora mismo Internet es una gran biblioteca de planos y bocetos. En este caso facilitan en gran medida el trabajo de investigación ya que existe una gran cantidad de foros que comparten material para la fabricación de guitarras. El funcionamiento de estas comunidades es sencillo, se comparten dibujos técnicos basados en los modelos de las marcas conocidas. Estos dibujos únicamente contienen cotas muy generales y dibujos de los contornos así como de los huecos interiores, estos planos suelen estar realizados a escala 1:1 para su impresión directa y trabajo encima del mismo plano. Por tanto resulta bastante complicado encontrar un plano de medidas precisas y reales de los modelos originales, y se trabajará en este apartado con planos recibidos de algunas comunidades de guitarristas.

#### 3.2.3.1.- Les Paul de Gibson

Desde que se desarrolló en los años cincuenta es posiblemente la guitarra eléctrica más icónica. Esto hace que sea la más copiada y también actualmente de las más vendidas.

Para comenzar cabe destacar una longitud de escala más pequeña de lo normal con 24,75 pulgadas, 628,65 mm. Esta medida en principio facilita que las personas con manos más pequeñas tengan una mayor facilidad para tocar en los trastes. A su vez en sonoridad, que las cuerdas no estén tan tensadas aporta calidez y menos brillantez al sonido.



La unión del mástil con el cuerpo se

Fig.23. Fotografía del cuerpo de la Les Paul

realiza con el método Set-in neck, que como se explico anteriormente, se basa en encolar el mástil al cuerpo, lo que lo hace frágil pero a su vez tiene un mejor sustain debido a la gran contacto cuerpo-mástil.

En cuanto al cuerpo, está conformado por dos piezas, un cuerpo que suele ser de caoba y una tapa tallada en arce. Cabe destacar en el diseño de la Les Paul, que a diferencia de la mayoría tiene un volumen suavizado, este volumen se genera mediante isolineas, las cuales son curvas que conectan los puntos en los que la función tiene un mismo valor constante. El mapa que generan las líneas es una ligera elevación de la superficie que tiene sus máximos en el centro del cuerpo similar a un violín o una viola. El tener el cuerpo formado por dos piezas hace que su peso sea elevado a diferencia de otras como la Stratocaster y resulte incomodo para la espalda a largo plazo.



Fig.24. Fotografía del alzado de Les Paul



Fig.25. Fotografía del perfil de Les Paul



Fig.26. Fotografía de la cara trasera de Les Paul

La forma de la Les Paul goza de una gran simetría restando el cuerno inferior que esta realizado para facilitar la llegada a los trastes más agudos. La forma de la guitarra no induce ningún movimiento, es totalmente estática. En cuanto a las curvas, se puede apreciar que no se le dieron ninguna utilidad apreciable quitando el aspecto visual, ya que la base de la guitarra tiene una gran anchura y la cintura es muy estrecha, lo que puede no adaptarse bien a la pierna al estar sentado, y tanta distribución de peso en el la base haga que el centro de gravedad tire demasiado hacia la derecha. Otro detalle importante es que la guitarra no cuenta con un redondeo agradable en toda la arista del contorno; al tocar puede resultar incomodo al tocar por no adaptarse bien a la caída del brazo derecho.

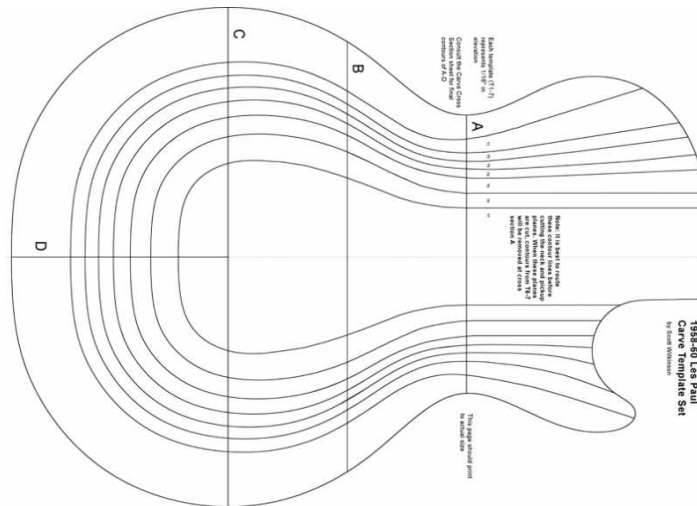


Fig.27. Plano representativo de las isocurvas de la Les Paul

### 3.2.3.2.-Stratocaster de Fender

Junto a Les Paul es el otro gran emblema producido en la década de los cincuenta, y que sigue siendo comercializada al nivel de la guitarra Les Paul.

A diferencia de esta la longitud de escala es mayor con sus 25,5 pulgadas, 647,7 en milímetros; hace que los trastes tengan un mayor tamaño y que sea mas complicada de tocar por manos pequeñas, a su vez por tensión provocada en las cuerdas consigue un sonido más brillante.



Fig.28. Fotografía del cuerpo de la Stratocaster de Fender

La unión que utiliza para enlazar el mástil al cuerpo es el Bolt-on, que hace uso de tornillos y una placa rectangular. Por este método se consigue un enlace mas fuerte que por el uso de cola y facilita la sustitución en caso de rotura, la contra de este método es que no existe un contacto tan efectivo entre mástil y cuerpo por lo que el sonido esta ligeramente peor transmitido.

El cuerpo es más fino y ligero que el de la Les Paul, debido a que es un único tocho de madera normalmente de fresno o aliso que en su parte superior se coloca un golpeador o tapa para ocultar los sistemas electrónicos. En cuanto a curvas generales, el contorno es simétrico quitando los dos cuernos de diferentes tamaños; el cuerno inferior esta realizado con ese rebaje para que sea más fácil el acceso a las notas agudas, incluso consigue un mejor acceso que la Les Paul. El cuerno superior aloja en su punta el clavo para la correa. La proporción de la



base con la cintura es bastante más igualitaria que la vista en la Les Paul, dando un apariencia más uniforme. Esta curva se adapta mejor a la pierna del individuo ya que al no ser tan cerrada permite un apoyo más cómodo y adaptado. Aunque al estar los bordes tan redondeados hacen que se pueda resbalar, lo que fomenta el agarre con una mayor fuerza, a diferencia de la Les Paul que al tener los ángulos vivos favorecen la estabilidad.

Por último, quizás uno de los aspectos más interesantes de este modelo es la superficie de rebaje que se encuentra en la zona de apoyo del brazo derecho, con esta bajada permiten que la caída del brazo no sea tan brusca e incomoda como en otros modelos adaptándose mejor a la postura del guitarrista, a su vez dispone un ligero redondeo en toda la arista del contorno para una mayor comodidad al tocar sentado.



Fig.29. Fotografía de la Stratocaster en perspectiva



Fig.30. Fotografía del grosor de la Stratocaster



Fig.31. Fotografía de la vista trasera de la Stratocaster

### 3.2.3.3.- SG de Gibson

Otra de las grandes guitarras producidas por Gibson, Esta guitarra fue diseñada y producida en los años sesenta. Como sus antecesoras la SG dispone de una longitud de escala de 24,75 pulgadas.

La unión que utiliza el mástil y el cuerpo es de espiga y mortaja a modo de que encajen totalmente y resulten de ser una sola para una mejor transmisión del sonido.

El cuerpo está fabricado en caoba con un diseño muy compacto, que ofrece una resonancia excelente y sonido liviano a la vez que ligereza a la hora de cargarla. El diseño del cuerpo es simétrico, si no se tiene en cuenta esa ligera diferencia entre la altura de los cuernos, y que con los cortes en los cuernos aporta una sensación de movimiento en flecha hacia delante. A modo de comparación este modelo cuenta con el final de los trastes en el inicio del cuerpo, lo que permite un mejor acceso junto con los cortes de los cuernos a las notas más agudas. La curva de la base está más allanada haciendo que las caderas estén más pronunciadas, pero aún así dejando una cintura lo suficientemente ancha como para tener un buen apoyo en la pierna.



Fig.32. Fotografía del cuerpo de la SG

En último lugar, cabe recalcar la ligera asimetría en los biselados que comienzan en los cuernos, ya que el de la parte superior continua por la cara delantera y trasera hasta terminar en la base y en la parte inferior al llegar a la cintura el biselado delantero y trasero desaparecen, esto ocurre por dos motivos, en la parte superior para que la caída del brazo sea como se ha comentado anteriormente



Fig.33. Fotografía en detalle del perfil de la SG



Fig.35. Fotografía en perspectiva de la SG



Fig.34. Fotografía de la cara trasera de la SG

más liviana y encuentre arista que pueda cortar la circulación en el brazo, y en la parte inferior para que la cadera encuentre mejor superficie de apoyo.

### 3.2.3.- Explorer de Gibson

Un modelo de la fabrica Gibson que comenzó como un fracaso y no es hasta los año setenta que triunfa en ventas. La guitarra tenía un diseño potenciado por el modernismo, ese aura del espacio y futurismo.

En un inicio, la guitarra estaba fabricada en su totalidad en korina, una madera exótica procedente de África. El diseño en un principio dejaba ver las vetas de la madera, ya que únicamente llevaba un barniz y el golpeador. Posteriormente el diseño hizo gala de pinturas que con el color blanco del golpeador y las formas de la guitarra daban a la guitarra un aspecto más futurista.



Fig.36. Fotografía del cuerpo de la Explorer

Puede intuirse con esta guitarra que ya a finales de los cincuenta, las grandes empresas comenzaron a buscar diseños que rompieran más con la forma tradicional y llegaran a formas más rocambolescas que llamaran la atención del comprador y también dieran un toque más personal a los famosos guitarristas.

El cuerpo es un sólido rígido de korina totalmente plano en cara delantera y trasera que únicamente cuenta con un ligero redondeo en las dos aristas del contorno. Es una guitarra que apuesta por la estética y la atención dejando de lado la funcionalidad y ergonomía. Principalmente, ya no solo por la total



Fig.37. Fotografía de la cara trasera de la Explorer



Fig.38. Fotografía en perspectiva de la Explorer

asimetría presente, sino por su forma inversa, puesto que a diferencia del resto de guitarras convencionales esta cuenta con el cuerno más largo en la zona inferior, y también tiene la cadera con un mayor ancho en la parte superior.

### 3.2.4.- Introducción a la postura

Hasta ahora se ha detallado las partes interesantes e importantes que influyen en las formas del cuerpo de la guitarra. Sin embargo, además de la forma, otro aspecto relevante a la hora de tocar es la colocación de los puntos de sujeción, también denominados clavos o botones. Estos clavos usualmente se colocan en dos puntos de la guitarra alejados entre sí y permiten la colocación de una correa. La correa normalmente tiene una sección en cada una de sus puntas que permite que el clavo se introduzca y a posteriori impide su salida por el tamaño de este, en resumidas cuentas funciona como los botones de una camisa, además existen como arandelas que se colocan por encima del botón y la correa e impiden aun más su salida. Una vez que la correa esta ligada a la guitarra, esta se coloca por el hombro izquierdo, subiendo desde el primer clavo, el que está situado más cerca del mástil, hasta el hombro, baja por la espalda cruzandola y llega al segundo clavo, situado habitualmente en el la parte final de la base de la guitarra.

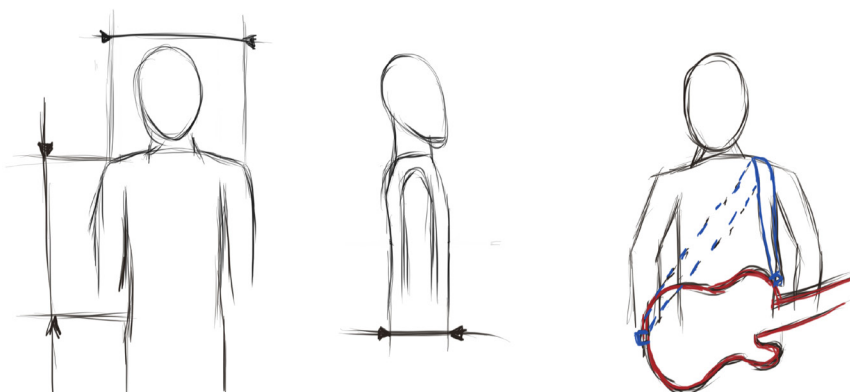


Fig.39. Ilustración de medidas anatómicas

En la posición sentada, son estas curvas del contorno las que influyen, pero una vez que el guitarrista toca erguido, los puntos de sujeción son los que condicionan la manera de tocar. Los clavos son la ligadura entre en el individuo y el instrumento y según la posición puede variar la facilidad y la manera para tocar. A su vez la correa también tiene en gran parte el peso de la manera de tocar. La correa según como sea de ancha permite que el peso de la guitarra este mejor distribuido, también como los clavos suelen estar en una posición fija, es la correa la que permite que se pueda ajustar en extensión.

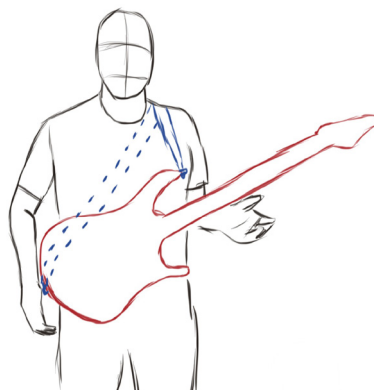


Ilustración de la posición neutra de la guitarra

A pesar de que la posición sentada es la más

cómoda para tocar y la que más facilidades da para tocar, lo más cotidiano es ver a los guitarristas tocar de pie tanto en conciertos como ensayos. ¿Por que tocar de pie? En principio, una de las razones de peso es que es un espectáculo ver tocar, y al estar de pie, el guitarrista dispone de más movimiento y puede hacer una mejor demostración de como toca por el escenario. Otra razón es que en la posición sentada el guitarrista tiene la guitarra ajustada de una única manera entre sus piernas, al estar de pie la guitarra puede ajustarse a distintas alturas según la forma de tocar, rasgando, punteando... Para rasgar, que es cruzar con la púa las seis cuerdas de la guitarra en un mismo movimiento, suele estar a una altura más baja de lo normal, situándose más o menos por la cintura. Esta posición es muy dañina para la mano del mástil, la izquierda, debido a que la mano y el brazo forman un ángulo que roza lo perpendicular, afectando al tendón del carpo y provocando futuramente lesiones. La otra posición es la que se podría denominar mas correcta y se encuentra por encima de la cintura, está posición facilita el punteo, que es rasgar las cuerdas de una en una, y facilita la posición de la mano del mástil ya que el brazo toma una postura mas natural.

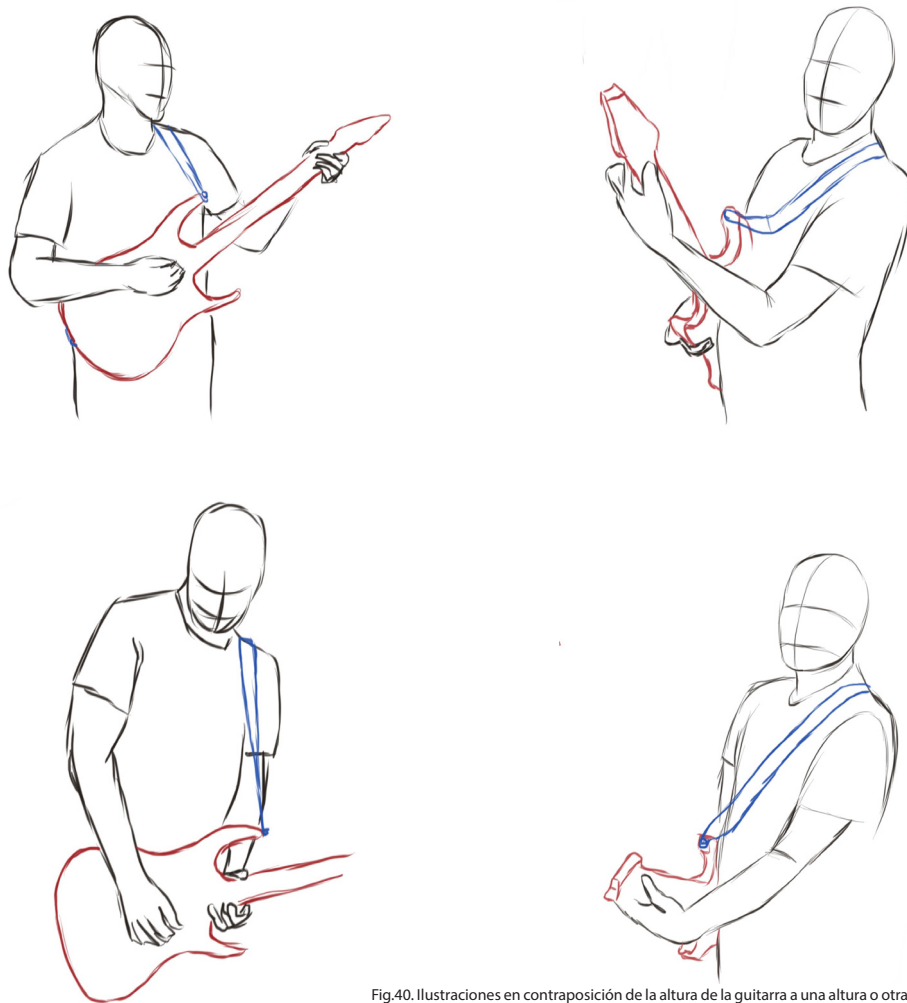


Fig.40. Ilustraciones en contraposición de la altura de la guitarra a una altura o otra y su detalle de perfil

Como se puede apreciar en las imágenes, los clavos según el modelo de la guitarra están colocados en diferentes posiciones, las posiciones se deciden en

base a diferentes condicionantes, el tamaño. La forma, las zonas.. De manera que siempre encontramos dos clavos, uno colocado en la parte más cercana al mástil, que será tratado como el primer clavo, y otro colocado en la cara del contorno que será denominado como el segundo clavo.

El segundo clavo lo mas común será encontrarlo en la cara del contorno siempre en el centro del eje que recorre el mástil. En cambio el primer clavo varía según el modelo. Según los modelos que se ha tomado como ejemplo, se puede apreciar dos posiciones habituales: la primera que es en la cara del contorno y lo más arriba que permita el modelo, y la segunda que es en la cara trasera del modelo.

Los modelos más clásicos como la Les Paul o la Stratocaster siguen la línea de colocar el primer clavo en el contorno, la zona elegida es la parte vertical debido a que si se colocará en la zona horizontal la guitarra correría el riesgo de caerse debido a que el botón facilitaría más que la sección se abriera por el peso de la guitarra. Aún así según el modelo la posición varía en altura.

Esta posición depende del peso de la guitarra y a su vez de la forma. Estas posiciones están pensadas para que la guitarra no balancee hacia delante con cualquier movimiento del guitarrista, ya que con esa pequeña variación de alturas se impide que el eje de giro esté acorde con el de la guitarra, el eje que sigue el cuerpo y el mástil. A su vez, con esta colocación estás aumentando la distancia de los puntos anclados, lo que aumenta la estabilidad de la guitarra para que no cabecee hacia el mástil por el peso.

Cuando se comenzó a fabricar modelos con formas más novedosas, algunas de estas no disponían del espacio suficiente como para colocar el primer punto de sujeción en la cara del contorno, y tuvieron que recurrir a otras maneras, en este caso como le ocurre a la Explorer y la SG, se decantaron por colocarla también en la parte trasera y en la posición que sigue el eje del mástil. Esta solución podría ser más incómoda para adaptación de la correa al cuerpo. Y aunque es la solución más utilizada para las guitarras de formas menos convencionales, hace que a diferencia de las mencionadas anteriormente aumente el cabeceo de la guitarra hacia el mástil y que con los giros que pueda realizar el guitarrista hacia delante esa sujeción del clavo por la parte de atrás permita el giro o incluso que se pueda soltar.

### **3.3.- CAD como herramienta de análisis**

#### **3.3.1.- Generación de modelos**

Para una mejor investigación sobre la guitarra eléctrica se diseñan unos modelos basados en las cuatro guitarras vistas anteriormente. Esta práctica facilita el análisis por dos motivos, el primero es que mediante las técnicas de CAD y haciendo uso de planos se profundiza con mejor detalle sobre las medidas y las claves de estos diseño, que servirán para tener en cuenta para una

propuesta final. El segundo motivo es que con la obtención de estos modelos se puede obtener una mayor información al comparándolas y analizándolas con el módulo del programa de Catia de ergonomía.

La metodología para realizar estos modelos se basa en la ingeniería inversa, por la cual mediante planos se puede obtener información útil de cual es la interacción entre las partes y las formas y poder generar las superficies que componen el modelo.

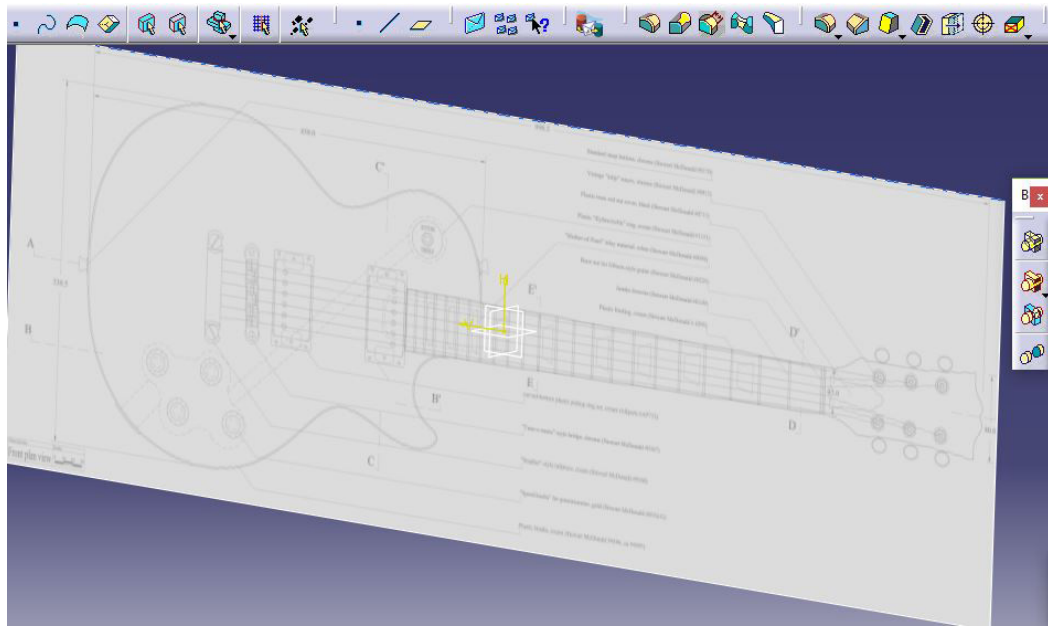


Fig.41. Captura de la generación del plano de referencia

Para comenzar, se realiza una búsqueda por Internet de un plano a escala 1:1 del modelo de guitarra que se quiere plasmar. Obtener el plano en escala 1:1 facilita en gran medida el trabajo ya que no será necesario a posteriori aplicarle ninguna escala al producto para que concuerde con lo que sería el modelo real.

Los planos obtenidos nos ofrecen información interesante para el diseño. Como la longitud del cuerpo por el eje del mástil, el grosor del cuerpo, si el mástil tiene alguna inclinación en referencia al cuerpo, la función que sigue la superficie curva del mástil mediante dos cortes transversales, la inclinación de la pala con respecto al mástil...

Sin embargo también deja otra información sin acotación, como es la forma del cuerpo de la guitarra, esto se debe en primera instancia a que las guitarras en un principio se realizaban de manera artesanal, y debido a la cantidad de curvas y tangencias que existen en un modelo no merece la pena la realización de estas acotaciones, y ahora gracias a las maquinas CNC con una copia de la forma mediante un spline puedes obtener la curva sin realizar mediciones. Lo mismo ocurre con las formas de las palas.

En la elaboración de los modelos se trabajara de manera separada lo que es el cuerpo del mástil y pala, debido a la diferencia de las formas y en un final se unirán. La ejecución del modelo del cuerpo es como se ha adelantado anteriormente más sencilla ya que por una extrusión del contorno cerrado se puede obtener sin dificultad el cuerpo. Quizás lo interesante es la utilización del plano a escala 1:1 como imagen de referencia y copiar por curvas el contorno, el procedimiento es utilizar un rectángulo cerrado y rellenandolo para ser una superficie en la que pueda ser aplicada una imagen, la del plano, se ajusta el plano posicionando la imagen y eliminando las repeticiones. Una vez realizado esto, simplemente se coloca un plano y con la vista normal a ese plano mediante spline ir calcando la forma del contorno. Y con el contorno dado grosor se obtiene un modelo sencillo de cuerpo de guitarra.

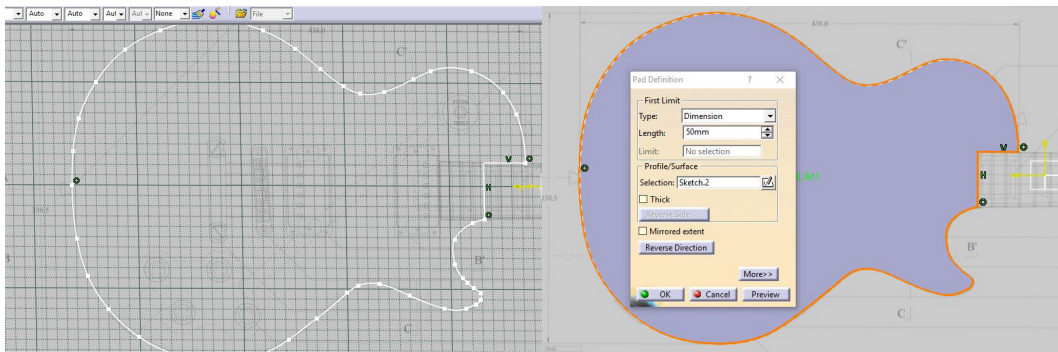


Fig.42. Captura del paso 2 y 3: Calco del plano y generación del cuerpo

A pesar de que puede parecer simple la obtención de modelos de cuerpos es por la simplificación en este caso, para la elaboración de un modelo más fiel a lo que podría ser real habría que realizarlo por superficies, en el modulo de diseño de generación de superficies, ya que a diferencia del modelo ejemplo que es la Les Paul, el real dispone de las isocurvas en toda la cara posterior que dan revolución, en cambio en este modelo está conformado por una cara plana, pero que para el análisis que se busca es valido.

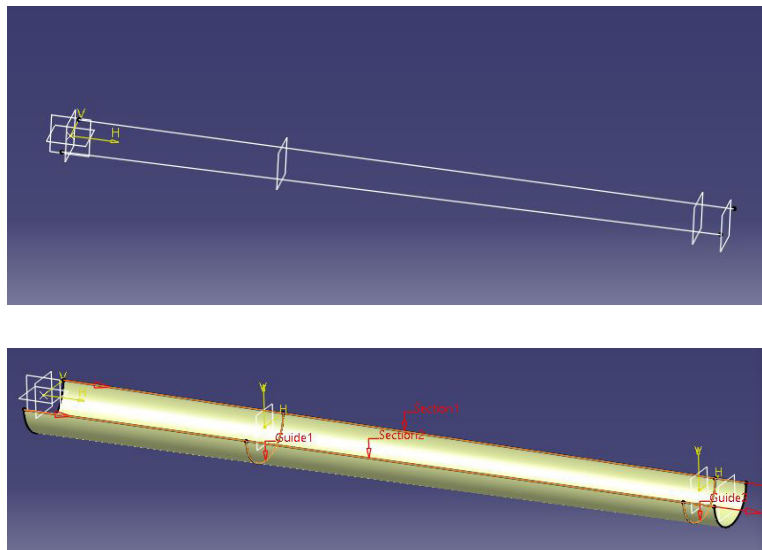


Fig.43. Captura de la generación de superficies del mástil



Para la segunda parte del diseño que es la parte del mástil se realiza en su totalidad por el modulo de superficies. Para ello se comenzará por tomar las medidas de largo del mástil, estas medidas a diferencia de la longitud de escala de la guitarra se tomaran desde comienzan los trastes hasta donde acaban, tomando los anchos del mástil facilitados por los cortes en este. En dichos cortes se toman de los planos las medidas de los cortes mediante la superficie de multisección se genera curva del mástil.

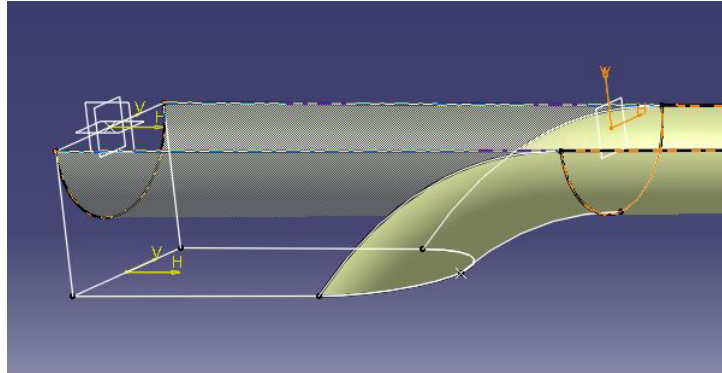


Fig.44. Recorte de la entrada del mástil al cuerpo

Una vez obtenido esto, se procede e a la generación de la curva que aporta la unidad del mástil con el cuerpo, para ello tomando medidas del plano se dibuja un sketch con dicha forma y con curvas se unen los puntos del mástil con la cara trasera del comienzo del mástil, estas curvas se generan con la configuración de que sean tangentes a la cara horizontal de los trastes. Se corta mediante un Split la parte sobrante inferior del mástil por donde irá la curva del comienzo y se rellenan las caras con superficies.

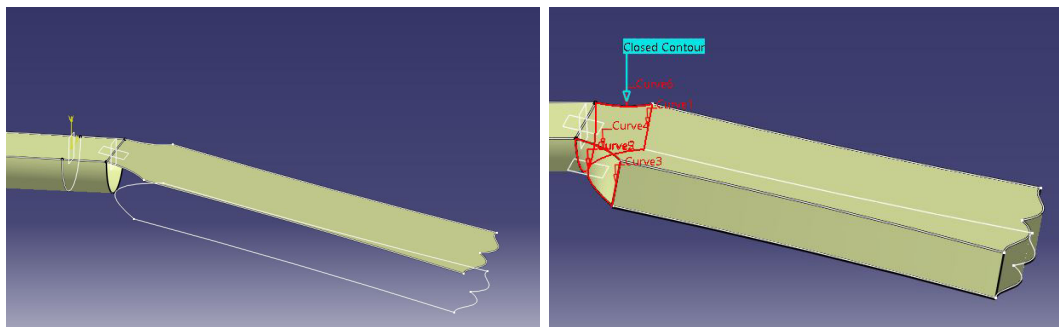


Fig.45. Capturas de los procesos de la generación de la pala

Para la realización de la pala en este caso de Les Paul, tiene una inclinación con respecto al mástil, por tanto se colocará un plano para su dibujo. A su vez y con el grosor del plano para la pala se dibuja la cara trasera, pero esta con un

único punto de coincidencia con la curva del mástil, para que posteriormente se puedan realizar las uniones y el resultado sea más orgánico. Se extruye el contorno y se corta por la otra cara de la pala, y por último se rellenan las uniones de mástil y pala. Se aplica una unión a todas las superficies por un Join y se crea el sólido por el CloseSurface. Para finalizar se coloca por traslación y mediante restricciones el mástil en su lugar. En este caso, la Les Paul tiene una inclinación del mástil con respecto al cuerpo de 3,5°, por lo que se colocará en un plano inclinado.

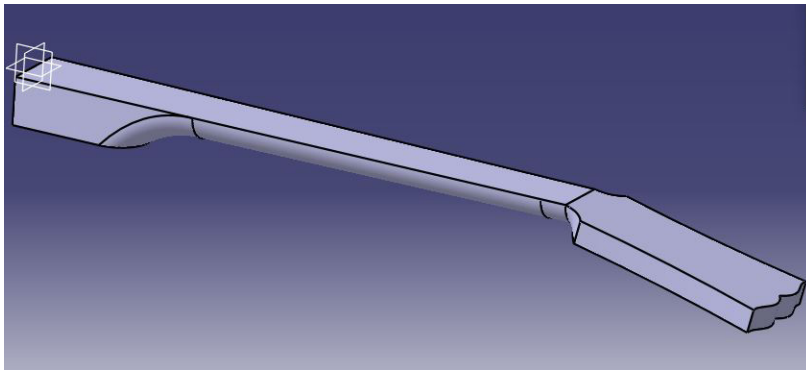


Fig.46. Resultado final del mástil

Con estas premisas se ha realizado cuatro modelos diferentes de guitarras eléctricas basadas en los ejemplos de la investigación, con el fin de estudio. Sin embargo, las Gibson tienen condiciones iguales entre ellas como es el tamaño del mástil, pero difieren en donde comienzan y finalizan los trastes con respecto al cuerpo, quedando algunas con mayor facilidad para su acceso. Además la Stratocaster de Fender no tiene inclinación del mástil y la curva de unión con el cuerpo no es tan elevada.

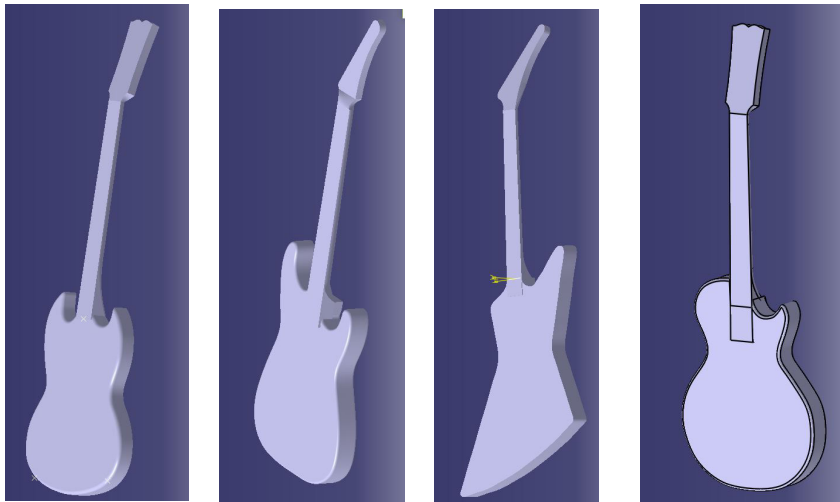


Fig.47. Obtención de cuatro modelos de guitarra (de izquierda a derecha): SG, Stratocaster, Explorer y Les Paul

La realización de estos modelos ha servido como un antecedente para entender las formas y el desarrollo de las formas de las guitarras. A pesar de que son modelos simples, ya que no están desarrolladas las cavidades ni ciertas curvas en el cuerpo que son las que les aportan personalidad a cada una. Pero estos modelos simplificados sirven para continuar la práctica y análisis.

### **3.3.2.- Análisis de la postura**

#### **3.3.2.1.- Generación de modelos humanos**

Una vez realizada la parte del diseño de modelos por ordenador serán usados para realizar el análisis de la postura. En esta parte de la práctica únicamente se quiere observar la postura adoptada por el individuo. Por tanto se usará un único modelo de los realizados anteriormente. El modelo seleccionado es el explicado, la Les Paul.

En primer lugar, se partirá usando el modulo ergonómico de Catia, el principal objetivo será ver hasta donde permite la plataforma de Catia realizar análisis utilizando modelos de personas y modelos de la guitarra.

El modulo de ergonomía dispone de cuatro aplicaciones con esta base: Editor de medidas humanas, análisis de actividades humanas, construcción de figuras humanas y análisis de posturas humanas. El trabajo comenzara por el editor de medidas humanas para poder llevar a cabo las figuras que serán utilizadas a posteriori.

Para la realización de este trabajo se ha decidido el uso únicamente de modelos masculinos, debido a que si se seleccionaran también modelos femeninos el análisis resultaría mas complejo debido a la cantidad de variables que se formularían. Además como se explica anteriormente en la parte teórica, las guitarras ya cuentan diferencia de medidas en cuerpos de guitarra para hombres o mujeres.

De manera que han sido seleccionados dos modelos masculinos, de diferente percentil para comprobar la adaptabilidad de un mismo modelo. Estos percentiles son de 90 y 5.

La realización de estos modelos se basa en los datos anatómicos obtenidos por el mismo sistema de Catia, que te permite dependiendo del país internacional seleccionar las medidas y el percentil. Sin embargo, como España no se encuentra en la biblioteca de datos del modulo ergonómico de Catia se han utilizado las medidas anatómicas europeas de Francia. Los datos obtenidos de los modelos generados han sido los siguientes, no se han tenido en cuenta algunas medidas que no aportaban datos remarcables como el ancho del pie, o la altura desde la décima costilla.

	Modelo Percentil 90	Modelo Percentil 5
Estatura	1827	1640
Altura de la axila	1387	1224
Altura del pecho	1341	1186
Altura de la cintura	1113	983
Altura de la entrepierna	865	759
Anchura del pecho	340	285
Anchura de la cintura	317	252
Anchura de caderas	347	296
Distancia hombro - muñeca	627	555
Distancia hombro - codo	347	304
Distancia codo - muñeca	284	255
Peso	83,1	54,6

Fig.48. Tabla de recopilación de los datos de los percentiles 90 y 5

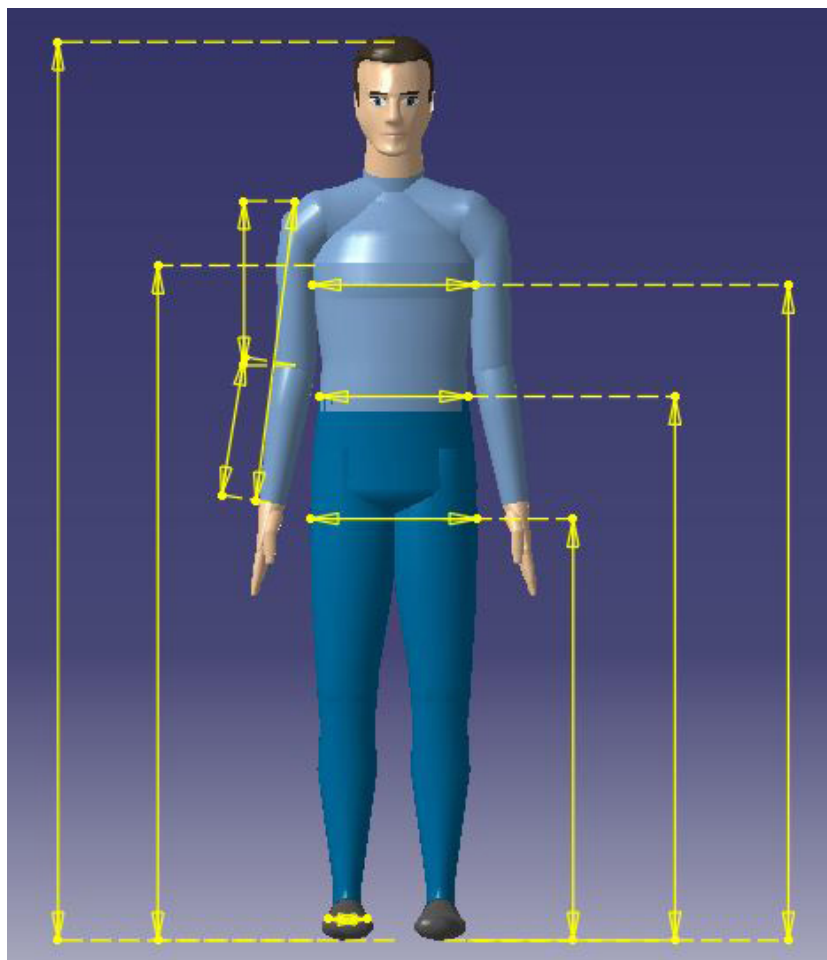


Fig.49. Representación del modelo humano y sus medidas ajustables

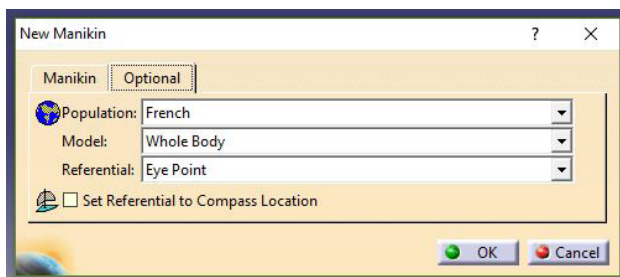


Fig.50. Menús de selección de las características del modelo: sexo, nacionalidad, percentil



Para empezar, se iniciará por la práctica del análisis en un solo modelo humano y poder obtener algún dato relevante. De esta manera habrá que posicionar el modelo en la posición para tocar la guitarra. Para ello, se hace uso de las herramientas del "Manikin Posture, que nos permiten de izquierda a derecha.

Posture editor, abrir un panel de parámetros con todos los elementos del cuerpo que son posibles cambiar de posición otorgando al usuario poder seleccionar un valor para cada uno de los movimientos en sus grados de libertad.

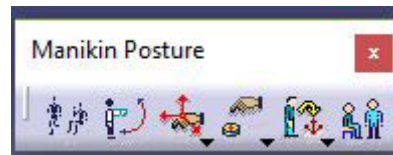


Fig.51. Ventana de las herramientas de la postura del maniquí

Forward Kinematics, permite al usuario trabajar directamente sobre el maniquí y seleccionando la parte del cuerpo y actuando sobre el giro respecto a la articulación.

Inverse Kinematics Worker frame mode, habilita que el compás 3d de catia se coloque sobre uno de los extremos de la parte del cuerpo seleccionada y permite su movimiento en los tres ejes, planos y giros. De modo que la extremidad se mueve junto con el extremo en movimiento.

Reach, funciona pulsando en un primer momento la zona que se quiere ser alcanzada por el extremo y posteriormente pulsando la extremidad, haciendo que la mano o el pie alcance el objeto deseado. La segunda opción también permite a mayores decidir la orientación.

Place mode, sirve para colocar el modelo en la zona que se elija, pero habrá

que tener en cuenta que en un principio sin ser modificado tomará como cero o referencia a colocar los ojos del modelo.

Standard pose, abre un panel de parámetros con diferentes valores para elegir en distintas partes del cuerpo y posturas.

Sin embargo, anteriormente es conveniente tener situado el objeto con el que se va a analizar, en este caso la guitarra, con la herramienta traslación o shuttle, que coloca el compás 3d en el objeto y permite el movimiento y giro de este. Para una buena colocación entre objeto y maniquí, es conveniente ir intercambiando la restricción de clash, que impide y avisa cuando el objeto y maniquí se atraviesan.

Haciendo uso de todas estas herramientas se sitúan objeto y maniquí en la posición más realista posible, para ello se ha observado posiciones reales de guitarristas.

Para realizar este análisis, se efectuará el método ergonómico conocido como Rula:



Fig.52. Recorte de la herramienta Clash.

### 3.3.2.2.- Método Rula (Rapid Upper Limb Assesment)

[15] [16] La adopción continuada o repetida de posturas penosas durante el trabajo genera fatiga y a la larga puede ocasionar trastornos en el sistema musculoesquelético. Esta carga estática o postural es uno de los factores a tener en cuenta en la evaluación de las condiciones de trabajo, y su reducción es una de las medidas fundamentales a adoptar en la mejora de puestos.

El método RULA se desarrolló por los doctores McAtamney y Corlett de la universidad de Nottingham en 1993 (Institute for Occupational Ergonomics) para evaluar la exposición de los trabajadores a factores de riesgo que pueden ocasionar trastornos en los miembros superiores del cuerpo: posturas, repetitividad de movimientos, fuerzas aplicadas, actividad estática del sistema musculoesquelético...

#### Aplicación del método

RULA evalúa posturas concretas, es importante evaluar aquellas que supongan una carga postural más elevada. La aplicación del método comienza con la observación de la actividad del trabajador durante varios ciclos de trabajo. A partir de esta observación se deben seleccionar las tareas y posturas más significativas, bien por su duración, o en otro caso por su carga postural. Estas serán las posturas evaluadas.

Si el ciclo de trabajo es largo se pueden realizar evaluaciones a intervalos

regulares. En este caso a mayores se tendrá en cuenta el tiempo de cada ciclo. Las mediciones a realizar sobre las posturas adoptadas son fundamentalmente angulares, o sea los ángulos que forman los diferentes miembros del cuerpo respecto de determinadas referencias en la postura estudiada. Estas mediciones pueden realizarse directamente sobre el trabajador mediante transportadores de ángulos, electrogoniómetros o cualquier dispositivo que permita la medición de ángulos. Sin embargo, es posible emplear fotografías del trabajador adoptando la postura estudiada y tomar las medidas respecto a la fotografía. En este caso será necesario tomar fotografías desde todas las vistas posibles siendo estas: alzado, perfil, planta, vista en detalle... Y a la hora de medir el ángulo asegurarse de que está en verdadera magnitud.

El método debe ser aplicado al lado derecho y al izquierdo del cuerpo por separado. Se puede elegir a priori el lado que aparentemente esté sometido a mayor carga postural, pero en caso de duda es preferible analizar ambos.

RULA divide el cuerpo en dos grupos, el grupo A que incluye los miembros superiores: brazos, antebrazos y muñecas. Y el grupo B que comprende: las piernas, el tronco y el cuello. Mediante las tablas asociadas al método, se asigna una puntuación a cada zona corporal de las anteriormente mencionadas para asignar valores a los dos grupos.

La clave para la asignación de puntuaciones a los miembros es la medición de los ángulos que forman las diferentes partes del cuerpo del usuario. El método determina para cada miembro la forma de medición del ángulo.

Posteriormente, las puntuaciones globales de los grupos A y B son modificados en función del tipo de actividad muscular desarrollada, así como de la fuerza aplicada durante la realización de la tarea. Por último, se obtiene la puntuación final a partir de dichos valores globales modificados.

El valor final proporcionado por el método RULA es proporcional al riesgo que conlleva la realización de la tarea, de forma que valores altos indican un mayor riesgo de aparición de lesiones musculoesqueléticas.

El método organiza las puntuaciones finales en niveles de actuación que orientan al evaluador sobre las decisiones a tomar tras el análisis. Los niveles de actuación propuestos van del nivel 1, que estima que la postura evaluada resulta aceptable, al nivel 4, que indica la necesidad urgente de cambios. A continuación se procede a explicar la forma de evaluar las diferentes partes:

### **Grupo A: Puntuación de los miembros superiores**

Se comenzara por aplicar el método a los miembros superiores: brazos, antebrazos y muñecas; englobados por el grupo A.

## Calificación del brazo:

La primera parte en ser evaluada es el brazo. Para determinar la puntuación a asignar a dicho miembro, se deberá medir el ángulo que forma con respecto al eje del tronco, la siguiente figura muestra las diferentes posturas consideradas por el método y orienta al evaluador para realizar las correctas mediciones.

Según la postura del brazo con respecto al tronco se asignará una puntuación según la siguiente tabla:

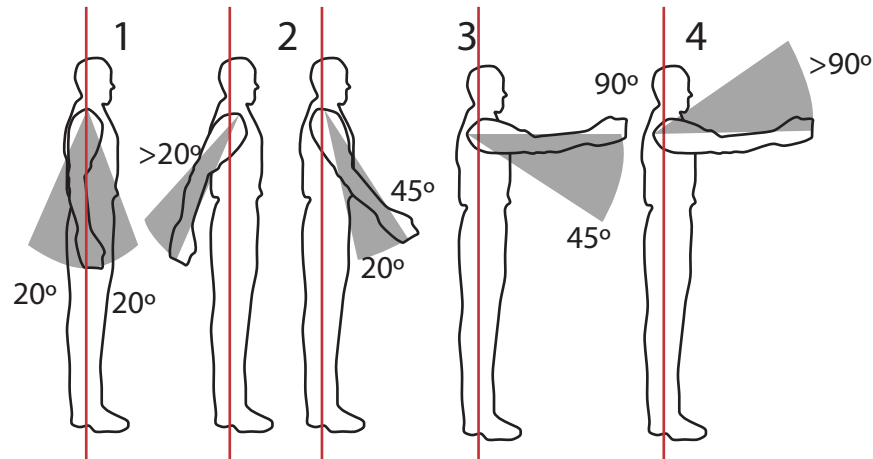


Fig.53. Ilustración del ángulo del brazo respecto al tronco

Puntos	Posición
1	Desde 20° de extensión a 20° de flexión
2	Extensión >20° o flexión entre 20° y 45°
3	Flexión entre 45° y 90°
4	Flexión >90°

Fig.54. Tabla de puntos del brazo

Esta puntuación podría verse alterada si el usuario tiene los hombros levantados, si existe una rotación del brazo, si el brazo está separado o abducido respecto del tronco, o si existe un punto de apoyo durante el desarrollo de la tarea. Estas circunstancias pueden disminuir o aumentar el valor otorgado por la tabla.

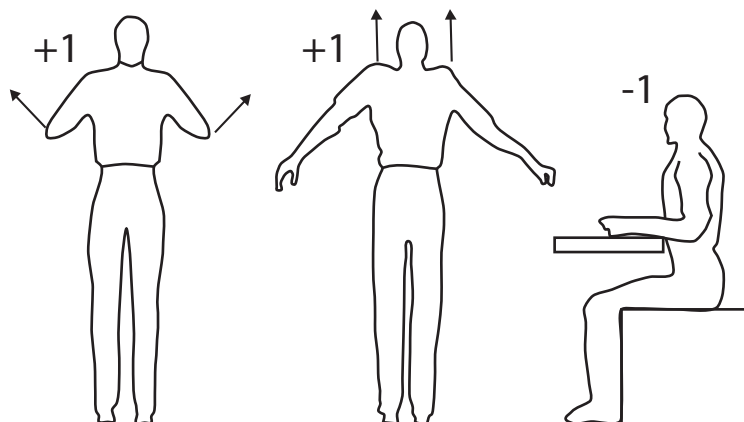


Fig.55. Ilustración de variables en el hombro



Puntos	Posición
+1	Si el hombro está rotado o el brazo rotado
+1	Si los brazos están abducidos
-1	Si el hombro tiene un punto de apoyo

Fig.56. Tabla de variables del hombro

### Calificación del antebrazo:

Al igual que en el brazo, el antebrazo tendrá una puntuación diferente según el ángulo que forma el antebrazo con respecto al tronco.

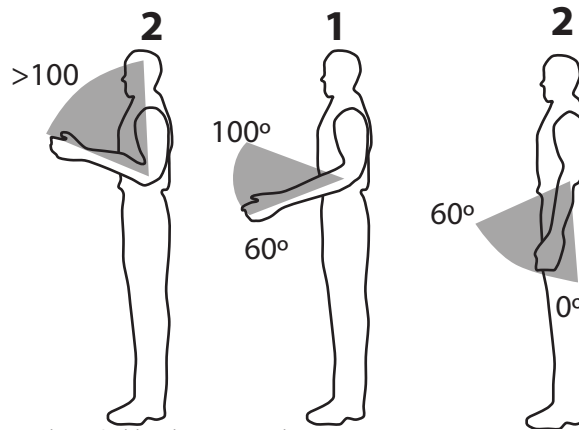


Fig.57. Ilustración del antebrazo respecto al tronco

Puntos	Posición
1	Flexión entre 60° y 100°
2	Flexión <60° ó >100°

Fig.58. Tabla de puntos del antebrazo

Esta puntuación puede verse alterada en dos casos: si el antebrazo cruza la línea media del cuerpo, o si se realiza una actividad a un lado de éste. Estos dos casos antagónicos de manera que si se realiza uno no se realiza otro.

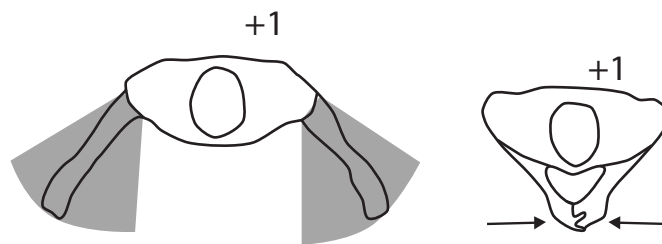


Fig.59. Ilustración variables antebrazo

Puntos	Posición
+1	Si la proyección vertical del antebrazo se encuentra más allá de la proyección vertical del codo
+1	Si el antebrazo cruza la línea central del cuerpo

Fig.60. Tabla de las variables del antebrazo

En último lugar, para el grupo A, toca analizar la posición de la muñeca. La puntuación se determinará por la flexión de la muñeca, la siguiente figura muestra las tres posibles posiciones consideradas por el método. Una vez hecha la medición se tomará el valor de la siguiente tabla.

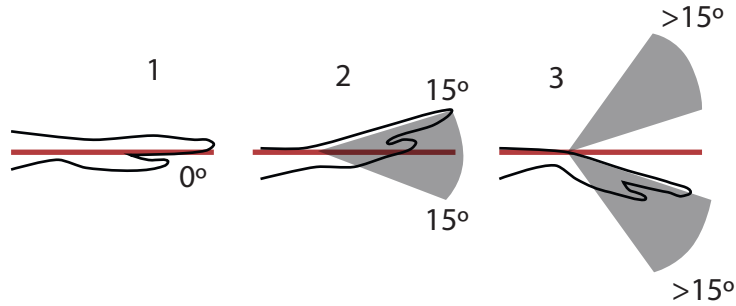


Fig.61. Ilustración de la mano

Puntos	Posición
1	Si está en posición neutra respecto a flexión
2	Si está flexionada o extendida entre 0° y 15°
3	Para flexion o extensión mayor de 15°

Fig.62. Tabla de puntos de la mano

Esta puntuación se verá alterada si la muñeca presenta desviación radial o cubital como se puede observar en la siguiente figura, incrementándose en un punto.

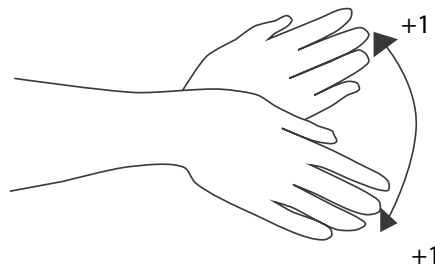


Fig.63. Ilustración de la desviación de la mano

A mayores se le sumará uno dos puntos si la muñeca presenta un giro sobre si misma:

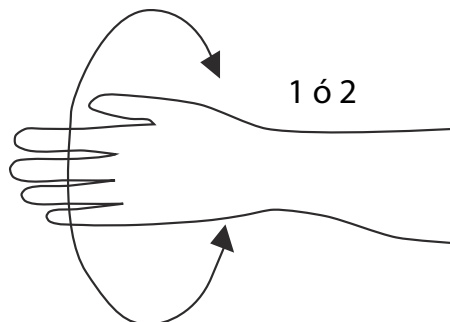


Fig.64. Ilustración del giro de la mano

Puntos	Posición
1	Si existe pronación o supinación en rango medio
2	Si existe pronación o supinación en rango extremo.

Fig.65. Tabla de puntos de la supinación o pronación de la mano

Y con estos valores se podrá completar la tabla de valores del grupo A. Que para el análisis que se va a realizar con la guitarra valdría, pero a mayores y a grosso modo se presenta también como se puntúan las partes del grupo 2, que contempla: el cuello, el tronco y las piernas.

## Grupo B

Calificación del cuello:

Se evaluará la flexión del cuello según el eje del tronco de perfil:

Puntos	Posición
1	Si la flexión es entre $0^{\circ}$ y $10^{\circ}$
2	Si la flexión es entre $10^{\circ}$ y $20^{\circ}$
3	Para flexión mayor de $20^{\circ}$
4	Si el cuello está extendido

Fig.66. Tabla de puntos del cuello

A mayores se le sumará un punto si el cuello presenta rotación o inclinación lateral.

Calificación del tronco:

Puntos	Posición
1	Sentado, bien apoyado y con un ángulo tronco-caderas $>90^{\circ}$
2	De pie, flexionado entre $0^{\circ}$ y $20^{\circ}$
3	De pie, flexionado entre $20^{\circ}$ y $60^{\circ}$
4	Flexionado más de $60^{\circ}$

Fig.67. Tabla de puntos del tronco

A mayores podría incrementarse en una unidad el valor si el tronco se encuentra rotado o inclinado lateralmente, en dos unidades si se dieran los dos casos.

Calificación de las piernas.

En este caso, método no analiza el ángulo formado por las piernas, sino en la distribución del peso y el apoyo de los pies:

Puntos	Posición
1	Sentado, con pies y piernas bien apoyados
2	De pie con el pesos simetricamente distribuido y espacio para cambiar de posición
3	Si los pies no están apoyados, o si el peso no está simétricamente distribuido

Fig.68. Tabla de puntos de las piernas

### Calificación global:

Para ello se llevará a cabo el cálculo mediante las siguientes tablas de los grupos A y B, con los resultados obtenidos anteriormente por cada una de sus partes:

### Calificación del Grupo A:

Brazo	Antebrazo	Muñeca							
		1		2		3		4	
		Giro Muñeca		Giro Muñeca		Giro Muñeca		Giro Muñeca	
		1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	1	2	2	2	2	3	3	3
	2	2	2	2	2	3	3	3	3
	3	2	3	3	3	3	3	4	4
2	1	2	3	3	3	3	4	4	4
	2	3	3	3	3	3	4	4	4
	3	3	4	4	4	4	4	5	5
3	1	3	3	4	4	4	4	5	5
	2	3	4	4	4	4	4	5	5
	3	4	4	4	4	4	5	5	5
4	1	4	4	4	4	4	5	5	5
	2	4	4	4	4	4	5	5	5
	3	4	4	4	5	5	5	6	6
5	1	5	5	5	5	5	6	6	7
	2	5	6	6	6	6	7	7	7
	3	6	6	6	7	7	7	7	8
6	1	7	7	7	7	7	8	8	9
	2	8	8	8	8	8	9	9	9
	3	9	9	9	9	9	9	9	9

Fig.69. Tabla de calificación del grupo A

### Calificación del grupo B:

	Tronco											
	1		2		3		4		5		6	
	Piernas		Piernas		Piernas		Piernas		Piernas		Piernas	
Cuello	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	3	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7
2	2	3	2	3	4	5	5	5	6	7	7	7
3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7
4	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	8	8
5	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8
6	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9

Fig.70. Tabla de calificación del grupo B

### Calificación del tipo de actividad muscular desarrollada y la fuerza aplicada:

Las calificaciones globales obtenidas se verán modificadas en función del tipo de actividad muscular desarrollada y de la fuerza aplicada durante la tarea. La calificación de los grupos A y B se incrementará en un punto si la actividad es estática ( se mantiene la postura por lo menos un minuto) o repetitiva (se repite más de cuatro veces cada minuto). Si al contrario, la actividad es ocasional, poco frecuente y de poca duración, la calificación no será alterada.

A mayores según el peso de la carga manejada o fuerzas realizadas, se incrementaran los valores según la siguiente tabla:

Puntos	Posición
0	Si la carga o fuerza es menor de 2 kg y se realiza intermitentemente
1	Si la carga o fuerza está entre 2 y 10 kg y se realiza intermitentemente
2	Si la carga o fuerza está entre 2 y 10 kg y es estática o repetitiva
2	Si la carga o fuerza es superior a 10 kg y es intermitente
3	Si la carga o fuerza es superior a 10 kg y es estática o repetitiva
3	Si se producen golpes o fuerzas bruscas repentinas

Fig.71. Tabla de variables según la carga y la actividad

### Calificación final:

Para la calificación final deberá sumarse respectivamente a los grupos A y B los puntos de la actividad muscular y fuerzas ejercidas. La calificación final del grupo A pasará a denominarse C y la del grupo B se denominará D. Por último, mediante la siguiente tabla podrá obtenerse el riesgo de lesión final para el usuario, oscilando entre 1 y 7, siendo 1 de bajo riesgo, y 7 de muy elevado.

Puntuación D							
Puntuación C	1	2	3	4	5	6	7+
1	1	2	3	3	4	5	5
2	2	2	3	4	4	5	5
3	3	3	3	4	4	5	6
4	3	3	3	4	5	6	6
5	4	4	4	5	6	7	7
6	4	4	5	6	6	7	7
7	5	5	6	6	7	7	7
8	5	5	6	7	7	7	7

Fig.72. Tabla de calificación final

Obtenido la calificación final, el evaluador tendrá a su disposición gracias a la siguiente tabla el nivel de actuación propuesto por el método RULA. Con todo esto el evaluador tiene la decisión final, de aplicar medidas de actuación, o en su caso realizar un examen más exhaustivo de los puntos donde el método asigna calificaciones altas.

Nivel	Actuación
1	Cuando la calificación es de 1 ó 2 la postura es aceptable
2	Cuando la calificación es de 3 ó 4 pueden requerirse cambios en la tarea, es conveniente profundizar el estudio
3	Si la calificación final es de 5 ó 6, se requiere el rediseño de la tarea, es necesario realizar actividades de investigación
4	La puntuación final es de 7. Se requieren cambios urgentes en el puesto o tarea.

Fig.73. Tabla de nivel de actuación

### 3.3.2.3.- Aplicación del método RULA

Por el método anterior se comprobará las posiciones más habituales utilizadas por guitarristas con el instrumento, erguido con la guitarra a la altura de la cintura en contraposición a tenerlo a la altura de la entrepierna. Para poder definir la altura del instrumento se ha colocado un punto en el cuerpo extremo de la guitarra por el eje del mástil, o también conocido como el lugar donde se coloca el segundo botón o clavo de la correa. Este punto servirá como referencia para poder situar la guitarra en las dos situaciones a estudiar.

Para los dos percentiles se ha intentado que la posición fuese lo más acorde a como sería una posición neutra del guitarrista. También mencionar que la posición de los dedos no influye en el método RULA.

#### 3.3.2.3.1.- Percentil 90

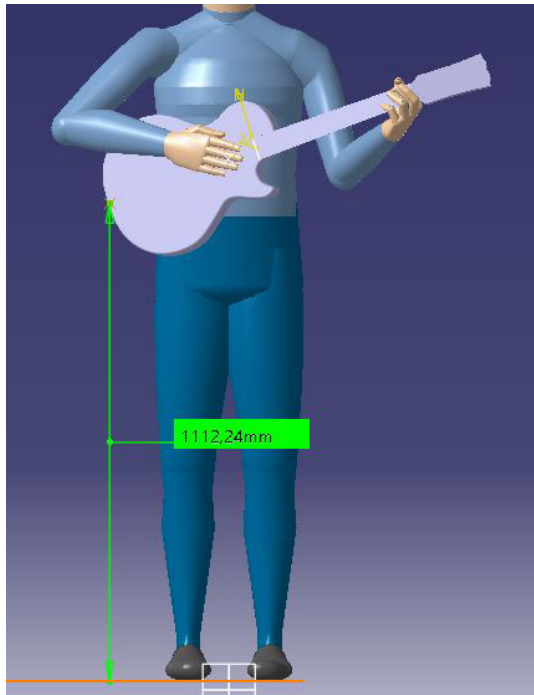


Fig.75. Captura de la altura de la guitarra a la cintura, percentil 90



Fig.74. Vista isométrica del modelo percentil 90



Fig.76. Detalle perfil del modelo 90

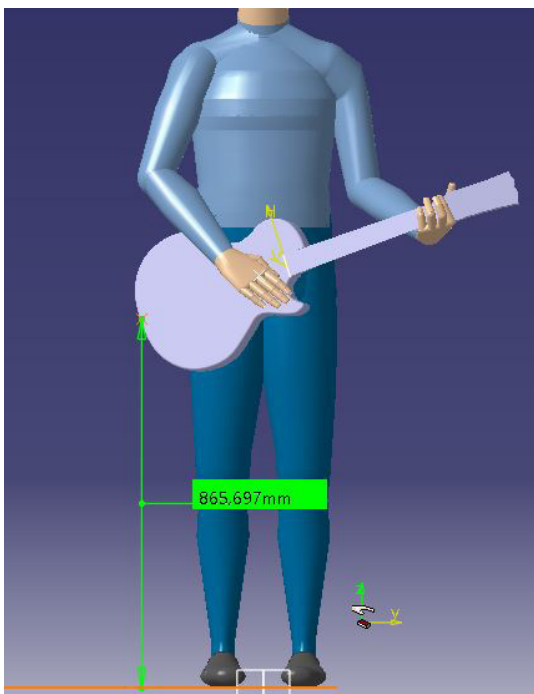


Fig.78. Captura de la altura de la guitarra a la entropierna, percentil 90



Fig.77. Vista isométrica del modelo percentil 90



Fig.79. Detalle perfil del modelo percentil 90

### 3.3.2.3.2.- Percentil 5

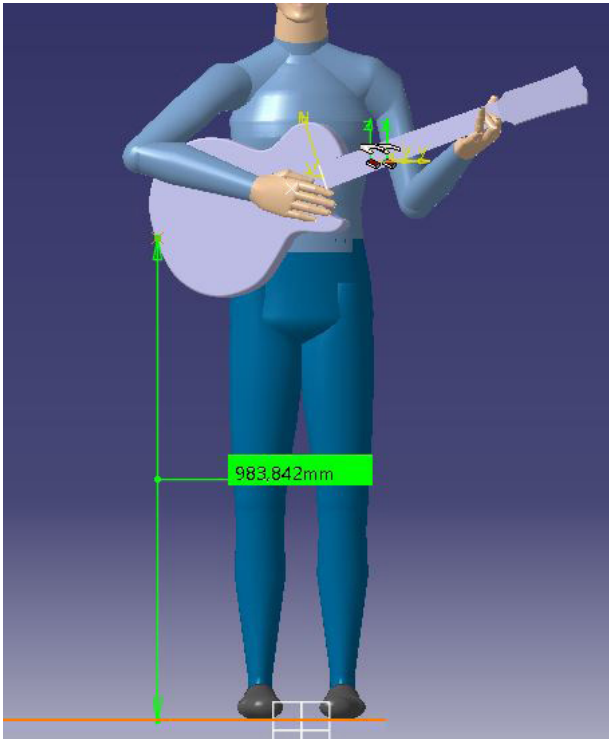


Fig.81. Captura de la altura de la guitarra a la cintura, percentil 5



Fig.80. Vista isométrica del modelo percentil 5

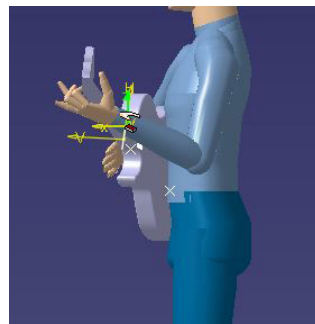


Fig.82. Detalle perfil del modelo 5

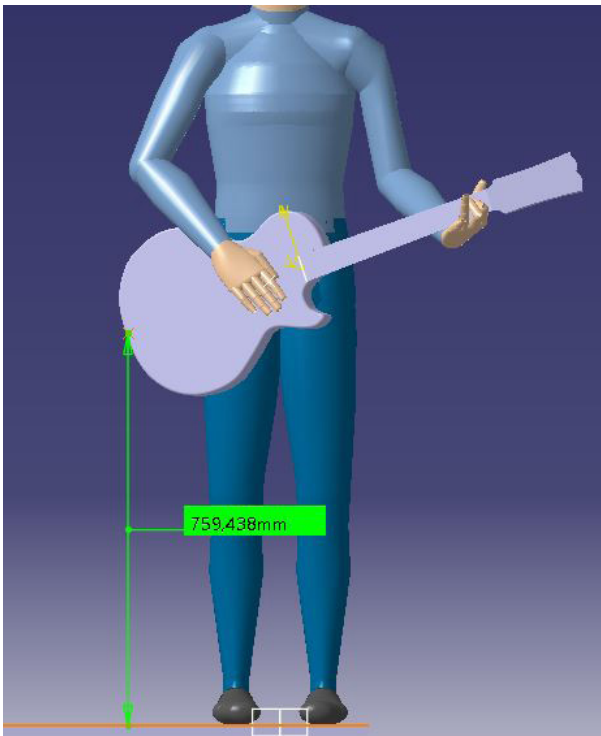


Fig.84. Captura de la altura de la guitarra a la entrepieña, percentil 5



Fig.83. Vista isométrica del modelo percentil 5

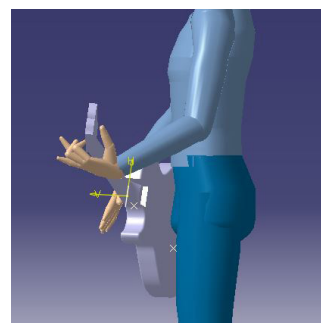


Fig.85 . Detalle perfil del modelo percentil 5



### 3.3.2.3.3.- Resultados

#### -Percentil 90 cintura:

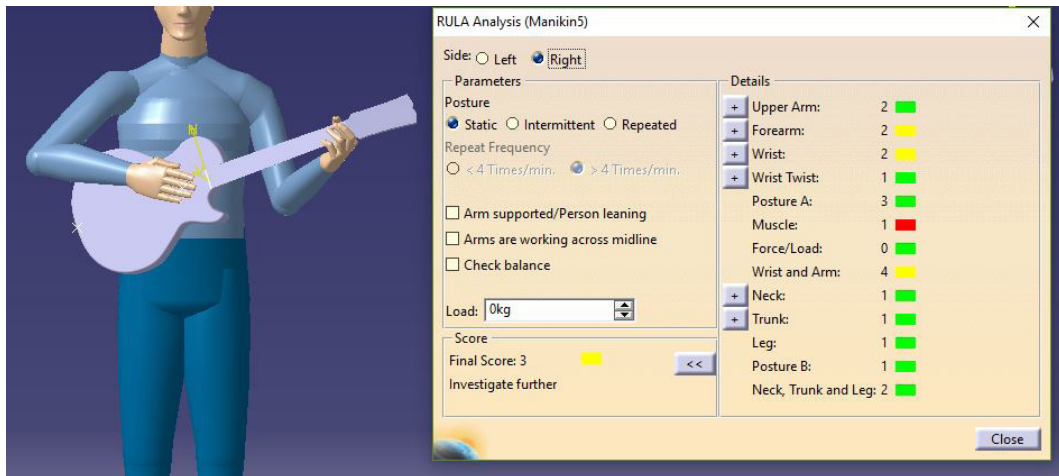


Fig.86. Resultado percentil 90, cintura, lado derecho

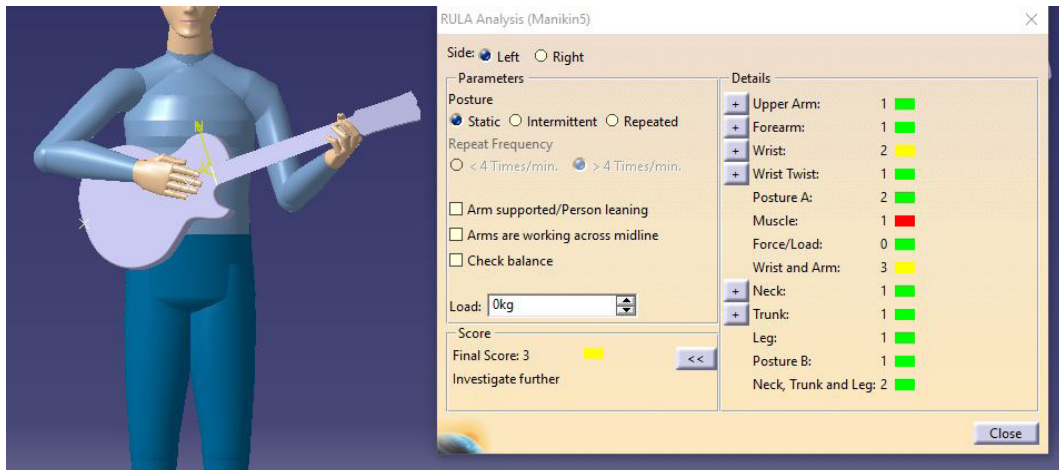


Fig.87. Resultado percentil 90, cintura, lado izquierdo

#### -Percentil 90 entrepierna:

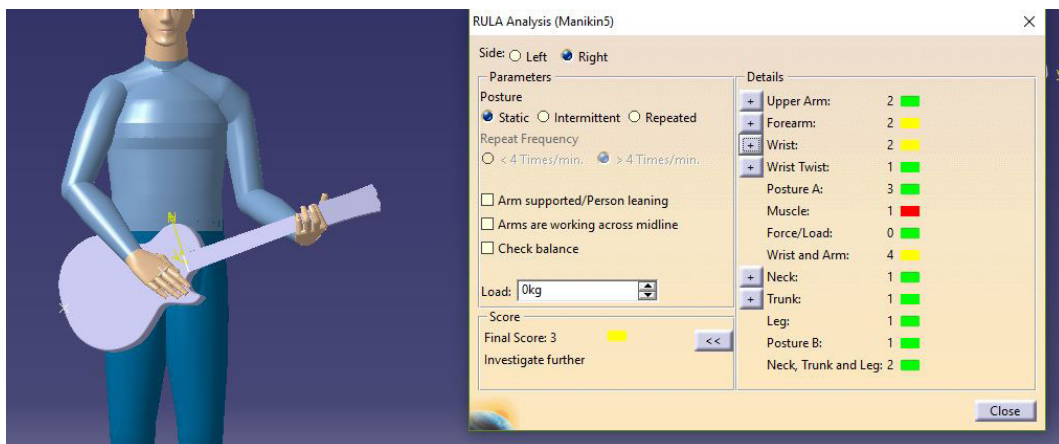


Fig.88. Resultado percentil 90, entrepierna, lado derecho

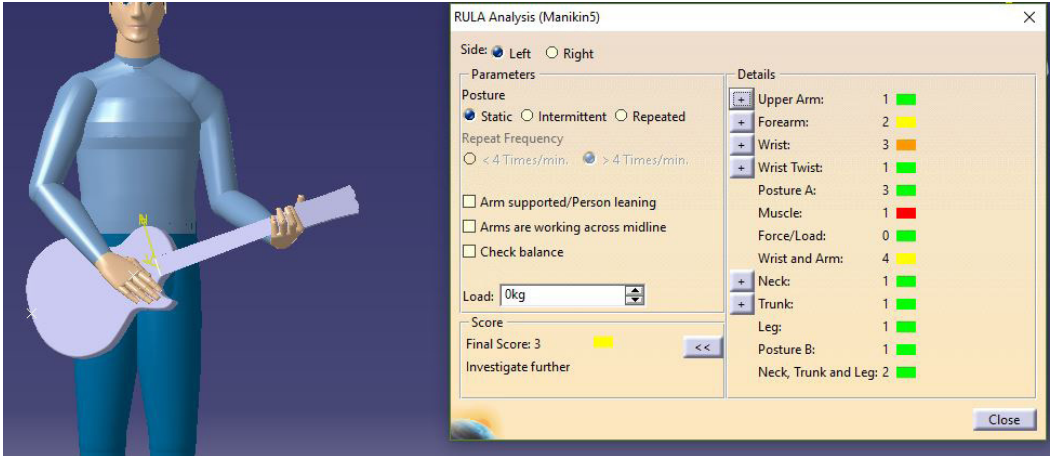


Fig.89. Resultado percentil 90, entrepierna, lado izquierdo

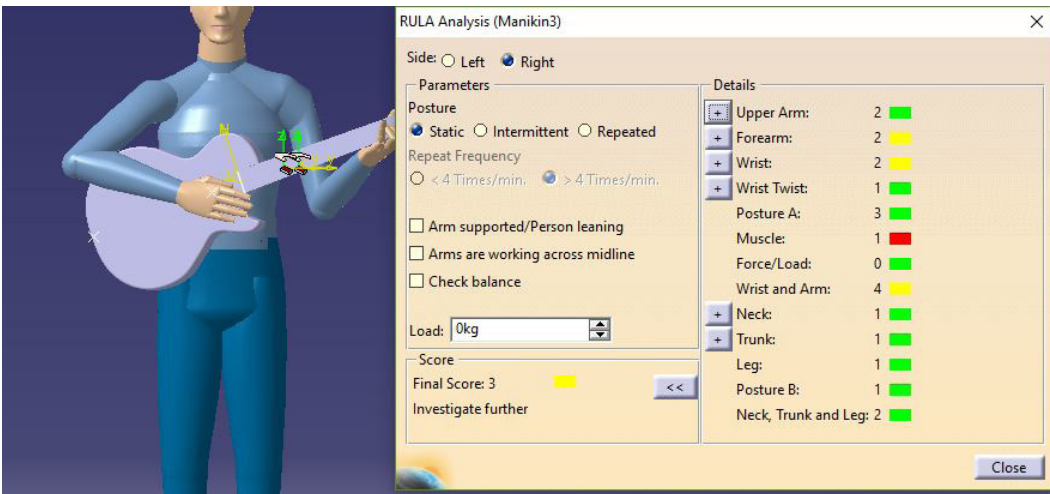


Fig.90. Resultado percentil 5, cintura, lado derecho

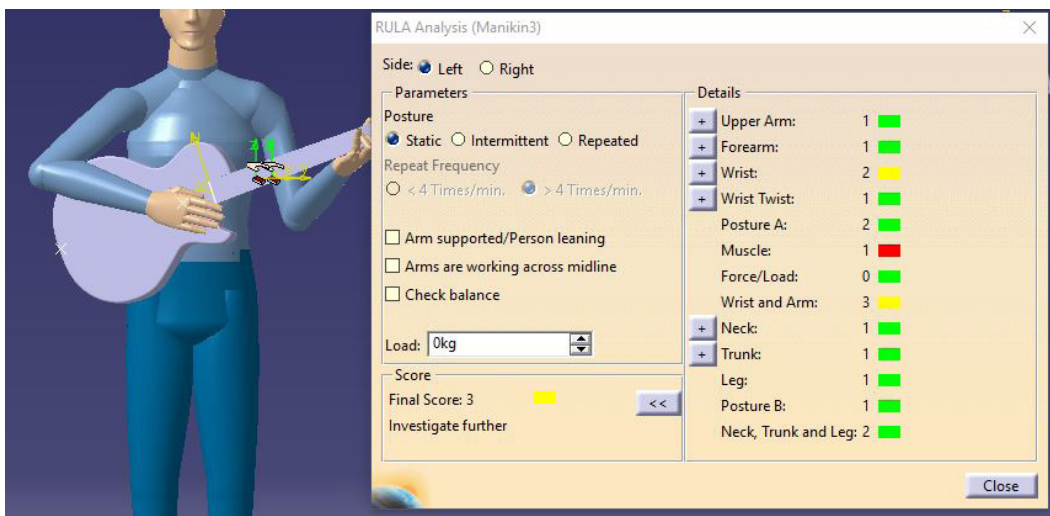


Fig.91. Resultado percentil 5, cintura, lado izquierdo

## -Percentil 5 cintura:

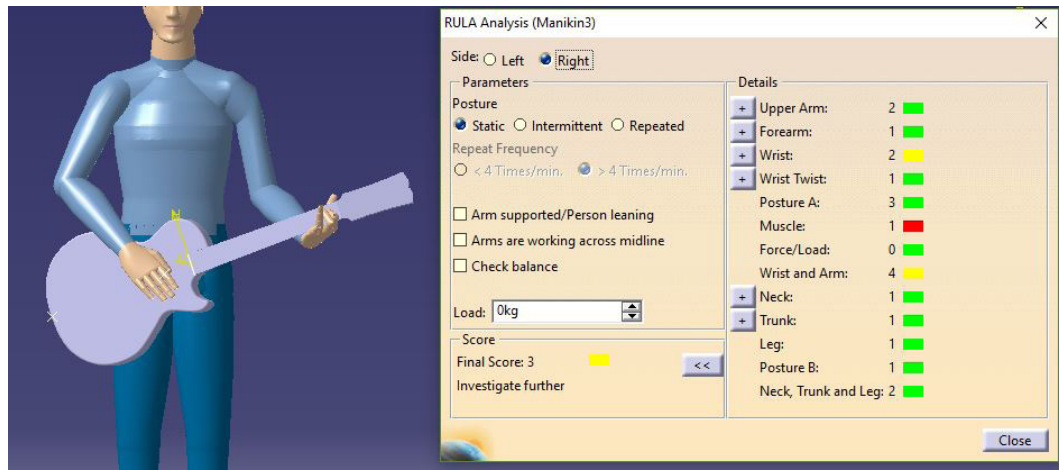


Fig.92. Resultado percentil 5, entrepierna, lado derecho

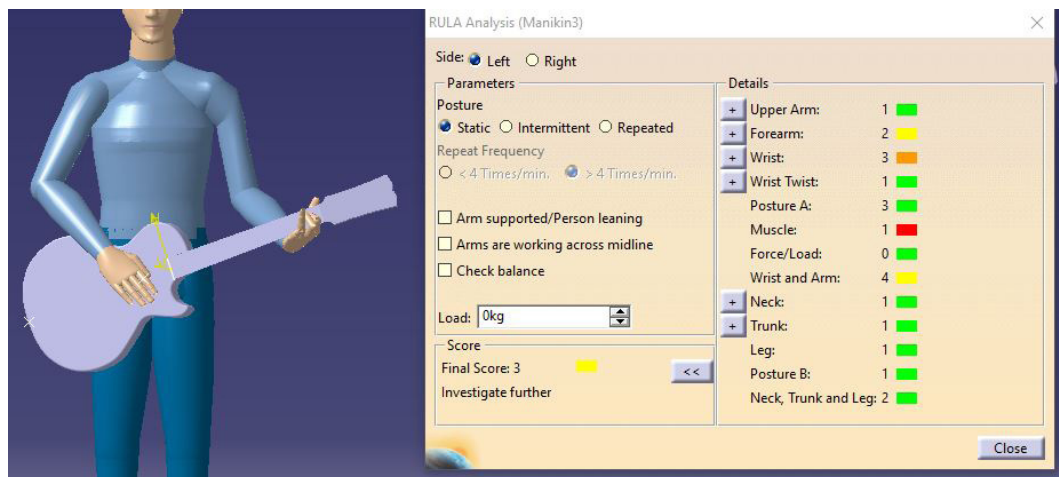


Fig.93. Resultado percentil 5, entrepierna, lado izquierdo

## -Percentil 5 entrepierna:

Observando las capturas se obtiene a priori una noción de que los dos percentiles se adaptan de manera semejante a adaptación de la guitarra. Dando en los resultados calificaciones similares. Lo que nos muestra la herramienta RULA de Catia es el una muestra abreviada de las calificaciones descrita por el método explicado.

En primer lugar nos divide el análisis en dos resultados el lado derecho e izquierdo separados, para obtener una mejor resolución de lo que ocurre en cada una de las extremidades.

Luego se puede modificar la actividad según si es estática, intermitente o repetido. Viendo las características de lo que es la actividad de tocar la guitarra se la ha clasificado como estática, ya que a pesar de las manos estén en movimiento y repetición la mayor parte del tiempo la postura es estática.

Posterior a ello, la herramienta permite calcularlo colocando cargas ficticias, que en este caso también se han anulado debido a que no son las manos las que cargan con el peso, sino el cuerpo en general por la correa.

Luego para finalizar nos representa las calificaciones por colores y la calificación final. Los colores de las calificaciones van de verde, amarillo, naranja y rojo. Como se puede apreciar, los valores más críticos ocurren en la muñeca como ya se presuponía y en el músculo. Este valor crítico en el musculo es debido a que el programa supone que el individuo tiene los brazos en esas posiciones estáticas y sin apoyo, y no tiene en cuenta que los brazos consiguen apoyo a su vez de la guitarra, el izquierdo del mástil y el derecho del cuerpo, que como ya se explicó algunas guitarras disponen de diversas superficies para que el brazo consiga un poco de apoyo en la zona. Por tanto se debería no tener en cuenta la calificación en rojo del músculo.

Con los resultados obtenidos podemos sacar la conclusión, de que la posición más adecuada para tocar de pie es colocando la referencia de la guitarra a una altura que se encuentre por la cintura. Ya que los resultados del lado derecho del cuerpo son valores similares, en los que la muñeca y brazo se encuentran en posiciones no totalmente cómodas pero soportables.

En cambio con los resultados del lado izquierdo los valores obtenidos para muñeca y brazo son mucho peores significativamente con la guitarra a la altura de la entrepierna, debido a que esta posición requiere un excesivo estiramiento del brazo lo que provoca que la muñeca se doble demasiado para poder agarrar el mástil. Quizás podría mitigarse en medida el valor si se cambiará la postura haciendo que la espalda se incline un poco para balancear la mala posición, sin embargo, la mala postura permanecerá, repartida, pero seguirá provocando una mala postura.

## **3.4.- Análisis empírico**

### **3.4.1.- Introducción**

En este último apartado se tratara de dar resultados concretos sobre el tamaño y medidas de los modelos de la guitarra eléctrica y su adaptación a personas para a posteriori poder llegar a una conclusión. Anteriormente se trato la guitarra como un modelo digital llegando en última instancia a realizar experimentación mediante CAD, sin embargo para este apartado se utilizaran modelos de guitarras reales con muestras reales de percentil humano.

Este análisis parte de la base de fotografías realizadas en el sala ergonómica de la escuela Francisco Mendizabal de la EII. Las fotografías han sido realizadas con un fondo de cuadrícula medida, para dar un mayor valor al estudio. Para comenzar, se detallaran los modelos de las guitarras que van a ser usadas. A partir de ahí

se realizará una comparación de las medidas de las diferentes guitarras y sus tamaños. A continuación se usaran dos sujetos para comprobar su adaptación al cuerpo y poder comparar y obtener datos cuantificables.

Las guitarras seleccionadas han sido cinco modelos que han sido sujeto de estudio en apartados anteriores. Contamos con una Custom Les Paul de la marca Gibson, una Squier Classic Vibe Telecaster de la marca Fender, una Special SG de la marca Epiphone, una JS32T Kelly (modelo basado en Explorer) de la marca Jackson y por último una Fender Stratocaster.

### 3.4.2.- Modelos de guitarras eléctricas

En las imágenes pueden observarse las cinco guitarras con el fondo, este estudio va a centrarse en el cuerpo por ello, no se tendrán en cuenta las fotografías a cuerpo completo para que sea más preciso. El proceso de análisis parte de las fotografías, una vez obtenidas se utiliza una plataforma digital para su estudio.



Fig. 94. De izquierda a derecha y de arriba a bajo los modelos fotografiados son:  
Les Paul, Stratocaster, Telecaster, SG y JS32T Kelly

Lo que se hace es aplicar una escala a las fotos en el programa para que sea la misma medida que en fondo cuadrículado y poder obtener sus medidas reales. Posterior a esto, básicamente es generar los contornos y los puntos que sean útiles al estudio. Los contornos son acotados, y los datos obtenidos son algunos como: la entrada del mástil en el cuerpo, las distancias entre los clavos, o los anchos del cuerpo.

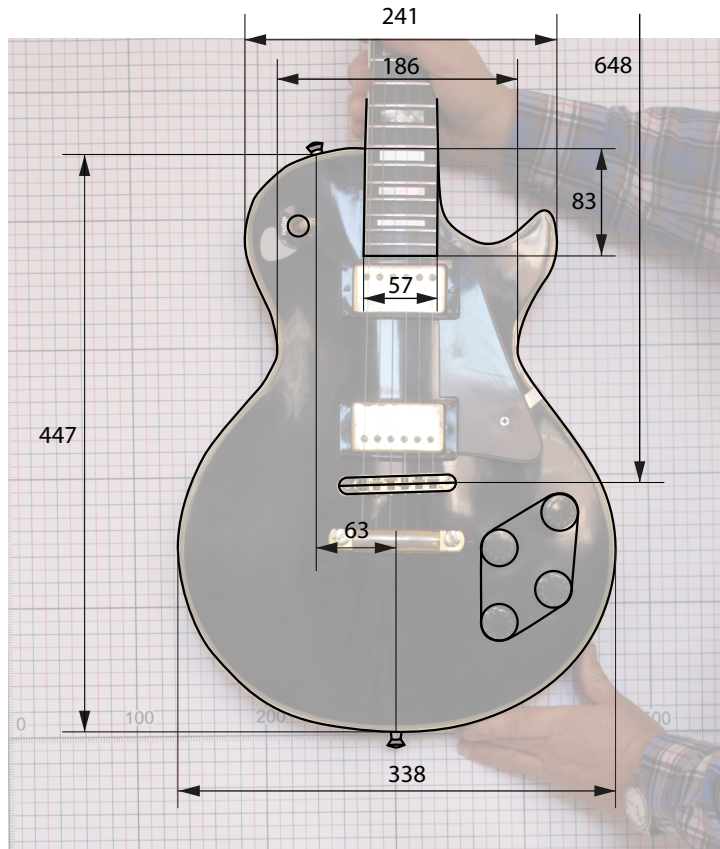


Fig. 95. Modelo Les Paul contorneado y acotado

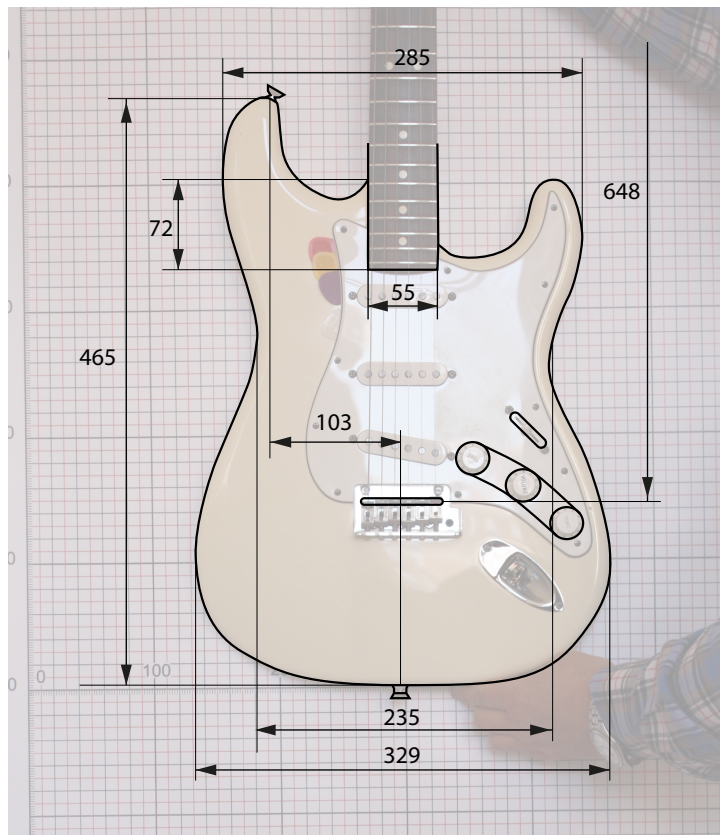


Fig. 96. Modelo Stratocaster contorneado y acotado

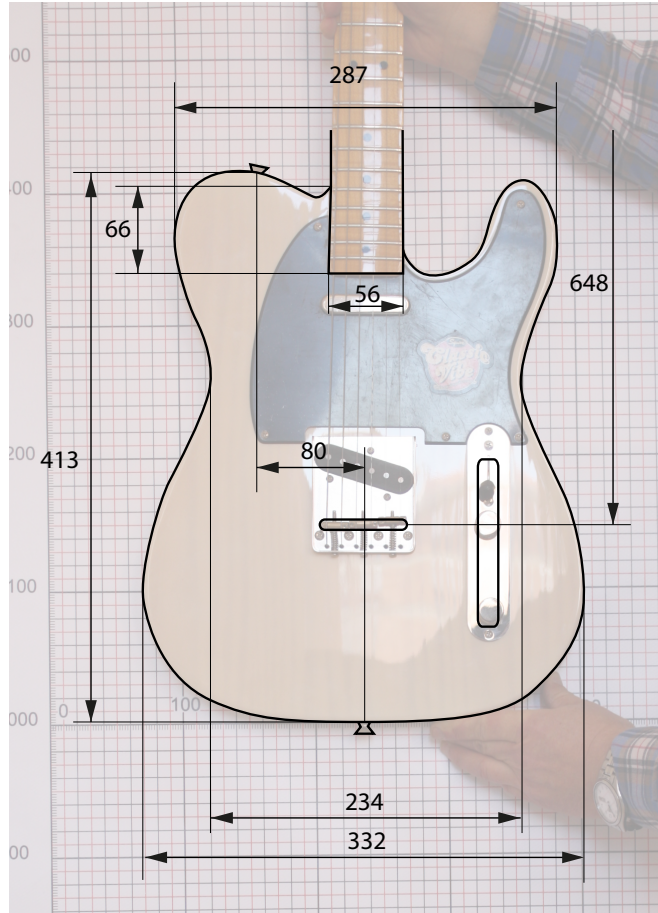


Fig. 97. Modelo Telecaster contorneado y acotado

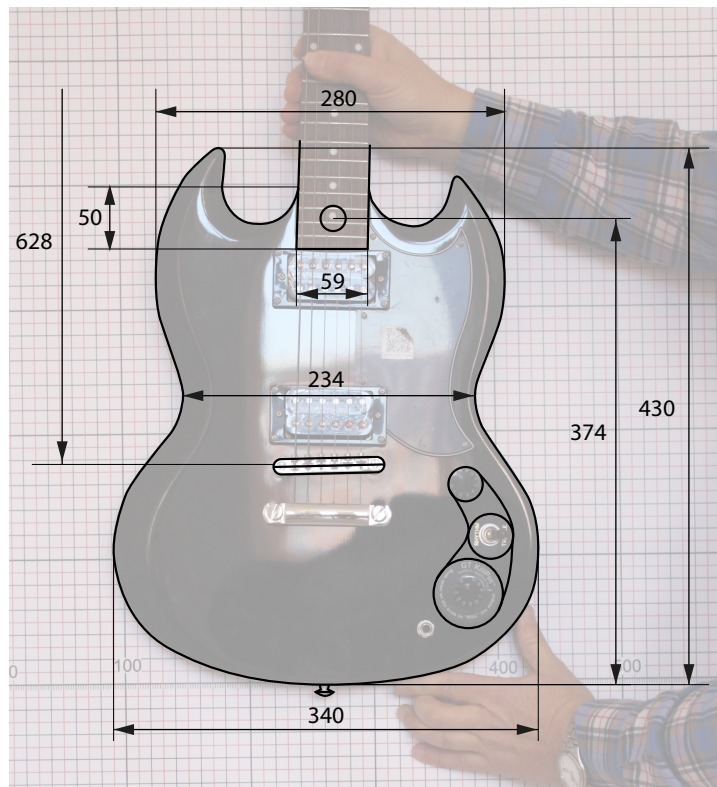


Fig. 98. Modelo SG contorneado y acotado

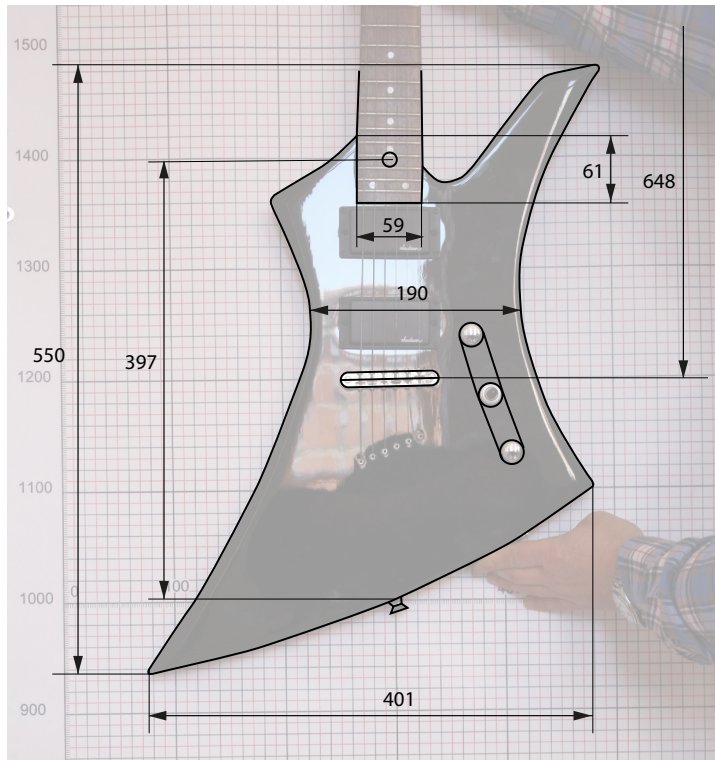


Fig. 99. Modelo JS32T Kelly contorneado y acotado

### 3.4.3.- Postura humana-guitarra

Una vez obtenidos los datos de las guitarras, el estudio continua situando a personas con esos modelos de guitarras en posición neutra, o sea únicamente con la posición que adopta la guitarra al ser enfundada por la correa en la persona, sin ninguna clase de fuerza ejercida por los brazos de la persona para levantarla.

Para dicho estudio se contó con cuatro modelos humanos, estas personas tenían medidas de 1,95; 1,82; 1,72; y 1,63 metros. Por tanto, para la observación se contaba con percentiles que rondaban el 100, el 90, el 40 y el 5.

Se les realizó el mismo número de fotos a cada uno, seis. Las fotos eran realizadas en dos posiciones diferentes, siguiendo las mismas pautas que la experimentación en CAD, fueron con la guitarra a la altura de la cintura y a la altura de la entrepierna. De estas dos posiciones se realizan dos fotos a cada, con la mano en el primer traste y con la mano en el último traste. Y a mayores de estas cuatro fotos se realizan dos en perfil, o sea una por cada posición.

Y por seguir la misma argumentación que en el ejercicio de CAD, y no obtener demasiados datos, se desechan los percentiles de 100 y de 40 para quedarse con los percentiles similares al otro ejercicio, los extremos de 90 y de 5.





Fig. 100. Ejemplos de los cuatro percentiles 100, 90, 40 y 5

Haciendo uso de las seis fotografías por guitarra lo que se hace es pasar esa información eliminando toda la sobrante. Dicho de otra manera, se hace un proceso similar al hecho con las guitarras, mediante programas CAD se escala la foto para que la medición sea correcta, se genera la vertical de simetría del cuerpo, y se genera a su vez las rectas verticales del tronco, esta información servirá en futuro. Para generar una tabla de la adaptación de las diversas guitarras a los percentiles lo que se va a señalar en cada fotografía son diversos puntos de interés, anotando su posición en cada una: Altura en el cejuela y distancia respecto de la vertical central, altura y distancia desde el último traste a la vertical central, altura y distancia respecto del primer botón (el superior derecho) y altura y distancia respecto del segundo botón (el inferior que sigue en el eje de mástil), y a mayores se anotará el ángulo que forma el eje que sigue el mástil con la horizontal. Y en las fotos de perfil se anotará la distancia de la cejuela al eje de la persona.

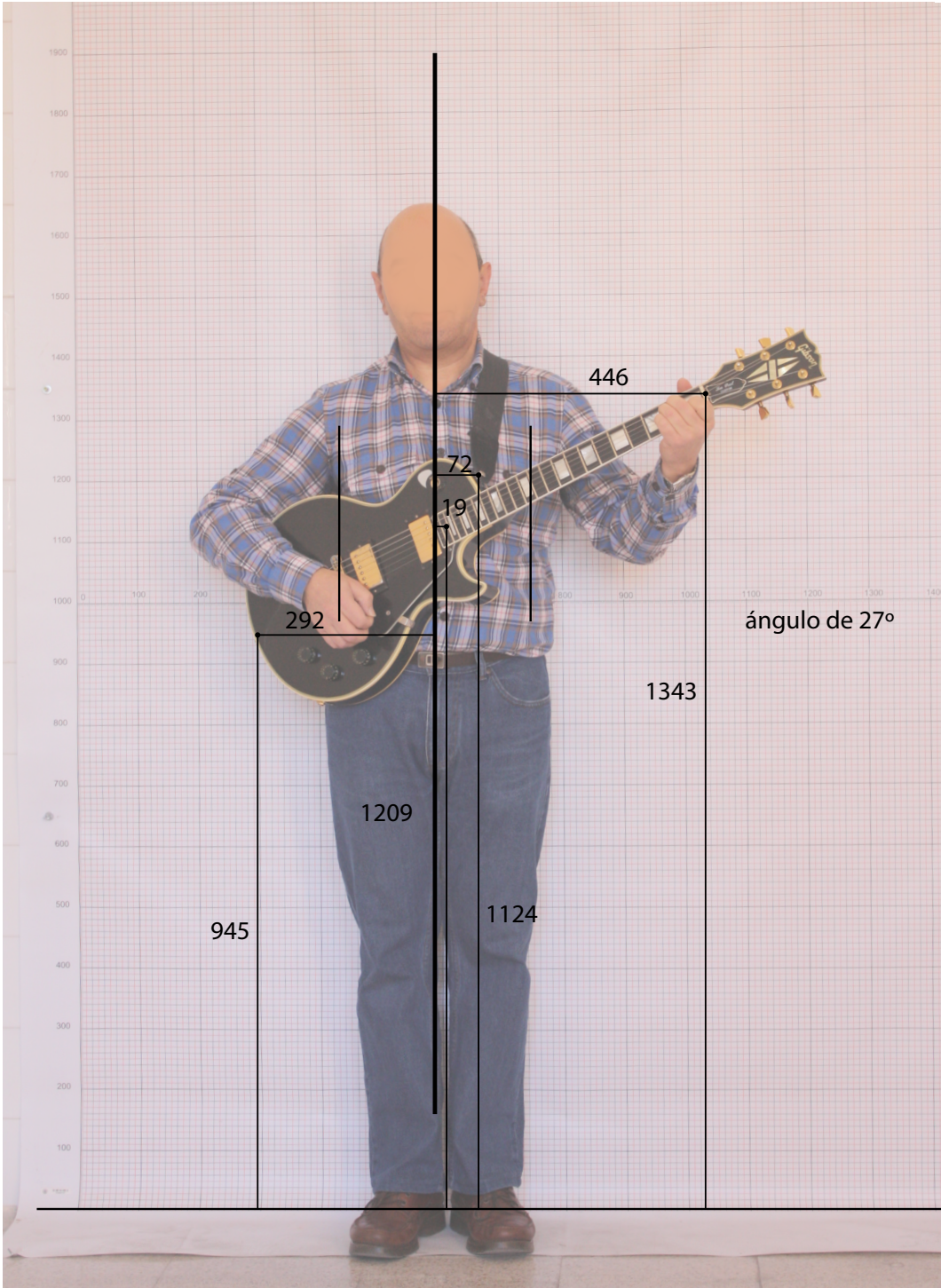


Fig. 101. Ejemplo de obtención de datos

Y una vez recopilados todos esos datos, se genera una tabla clasificando los modelos, los percentiles y las posturas para poder llegar a unas conclusiones y poder observar si las muestras tienen alguna relación o se aprecia algún detalle comparativo interesante. Con los datos, a su vez se generan unas gráficas con todos los puntos clasificados:

Percentil 90	
Altura	1820
Ancho de tronco	358
Altura hombros	1509

Fig. 102. Tabla medidas anatómicas Percentil 90

Percentil 5	
Altura	1628
Ancho de tronco	316
Altura hombros	1384

Fig. 103. Tabla medidas anatómicas Percentil 5

		Percentil 90						
		$X_{cejeja}$	$Y_{cejeja}$	$X_{\text{ultimo traste}}$	$X_{\text{traste}}$	$X_{\text{codo}}$	$X_{\text{perfil}}$	ángulo
Altura de la Cintura	JS32T Kelly	568	1254	67(24)	111	-270	505	16°
	LesPaul	474	1293	19(22)	87	-316	406	17°
	SG	507	1270	58(22)	79	-266	458	19°
	Stratocaster	502	1230	40(21)	151	-288	474	13°
	Telecaster	493	1174	38(21)	105	-285	506	13°
Altura De la Entrepieerna	JS32T Kelly	581	1068	67	111	-288	537	11°
	LesPaul	504	1145	44	103	-303	460	18°
	SG	511	1158	62	84	-266	442	21°
	Stratocaster	475	1100	19	119	-303	408	18°
	Telecaster	498	1088	38	92	-293	506	17°

Fig. 104. Tabla resultados percentil 90

		Percentil 5						
		$X_{cejeja}$	$Y_{cejeja}$	$X_{\text{ultimo traste}}$	$X_{\text{traste}}$	$X_{\text{codo}}$	$X_{\text{perfil}}$	ángulo
Altura de la Cintura	JS32T Kelly	538	1429	94	131	-223	456	32°
	LesPaul	446	1343	19	72	-292	467	27°
	SG	442	1423	31	52	-266	457	31°
	Stratocaster	466	1365	42	124	-258	447	29°
	Telecaster	472	1407	52	83	-250	424	31°
Altura De la Entrepieerna	JS32T Kelly	565	1164	85	127	-247	524	24°
	LesPaul	466	1183	39	87	-270	463	27°
	SG	499	1224	75	95	-234	489	29°
	Stratocaster	466	1181	52	119	-242	455	32°
	Telecaster	495	1203	79	103	219	448	31°

Fig. 105. Tabla resultados percentil 5

Percentil 90 cintura	$\Delta$ Tronco-Útimo traste
JS32T Kelly	291
LesPaul	339
SG	300
Stratocaster	318
Telecaster	320

Percentil 90 entrepierna	$\Delta$ Tronco-Útimo traste
JS32T Kelly	291
LesPaul	314
SG	296
Stratocaster	339
Telecaster	320

Percentil 90 cintura	$\Delta$ Hombro-Cejeja
JS32T Kelly	255
LesPaul	216
SG	239
Stratocaster	279
Telecaster	335

Percentil 90 entrepierna	$\Delta$ Hombro-Cejeja
JS32T Kelly	441
LesPaul	364
SG	351
Stratocaster	409
Telecaster	421

Fig. 106. Tablas de diferencia persona-instrumento, percentil 90

Percentil 5 cintura	$\Delta$ Tronco-Útimo traste
JS32T Kelly	222
LesPaul	297
SG	285
Stratocaster	274
Telecaster	264

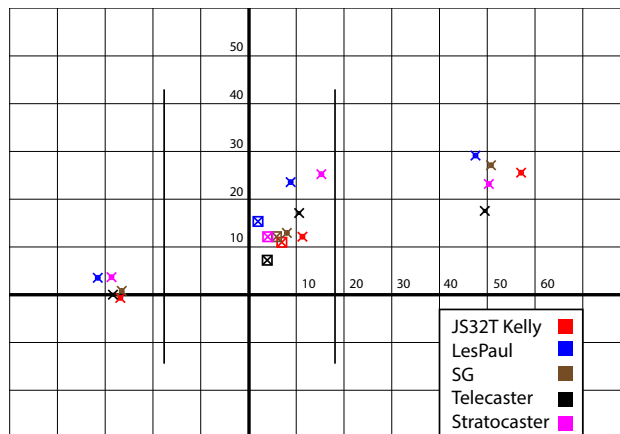
Percentil 5 Entrepieerna	$\Delta$ Tronco-Útimo traste
JS32T Kelly	231
LesPaul	277
SG	241
Stratocaster	264
Telecaster	237

Percentil 5 cintura	$\Delta$ Hombro-Cejuela
JS32T Kelly	-45
LesPaul	41
SG	-39
Stratocaster	19
Telecaster	-23

Percentil 5 entrepierna	$\Delta$ Hombro-Cejuela
JS32T Kelly	220
LesPaul	201
SG	160
Stratocaster	203
Telecaster	181

Fig. 107. Tablas de diferencia persona-instrumento, percentil 5

Para las gráficas simplemente se han cogido los datos y se han situado en su posición. Remarcar que visto la cercanía de los puntos del último traste y del primer clavo, se han diferenciado los del último traste con un cuadrado cerrando una X.



Gráfica Percentil 90, cintura (en centímetros)

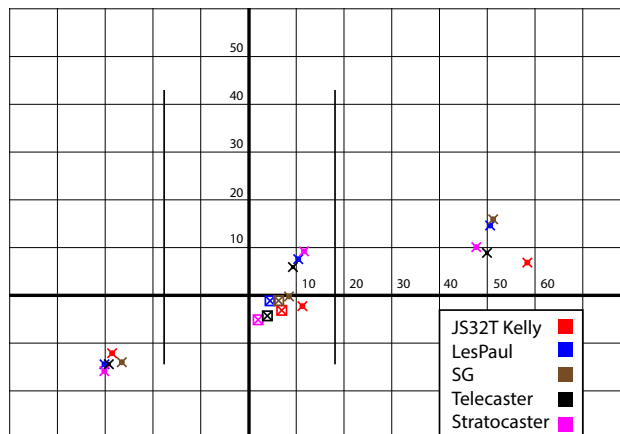


Fig. 109. Gráfica Percentil 90, entrepierna (en centímetros)

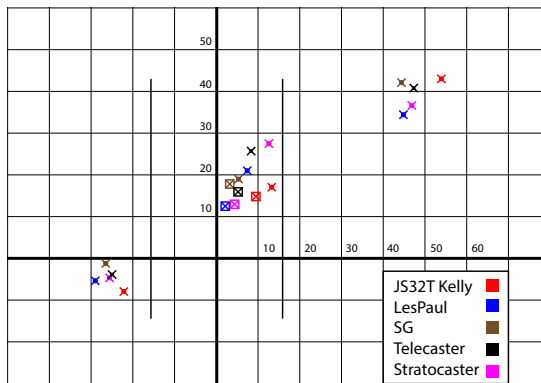


Fig. 110. Gráfica Percentil 5, cintura (en centímetros)

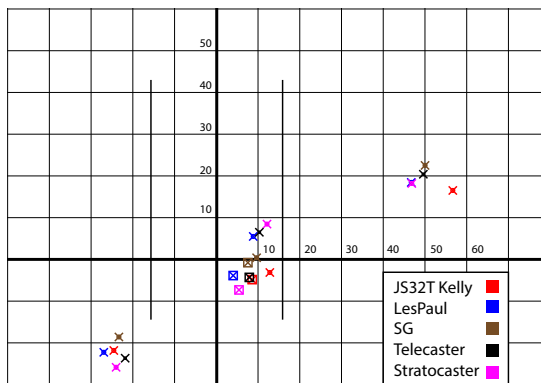


Fig. 111. Gráfica Percentil 5, entrepierna (en centímetros)

## 4.- Conclusiones

Con este apartado se pretende dar razón a todos los apartados tratados anteriormente, a su vez dar respuesta a los objetivos marcados al principio de este trabajo.

En primer lugar, sobre la construcción de la guitarra y su unión al mástil. Los diferentes tipos de unión tienen su justificación como una mejor transmisión del sonido a lo largo de la guitarra o una mayor resistencia a la tensión generada por las cuerdas. Aún así es posible que pueda existir un avance en el diseño de las uniones y buscar un punto medio entre las uniones. A posteriori de este trabajo se podría realizar un estudio más exhaustivo sobre las tensiones generadas en cada una de las guitarras, ver como el alma del mástil afecta a las uniones y la inclinación del mástil y la pala respecto del cuerpo. Un punto medio en las uniones podría ser una unión mecánica hecha de madera que permita esa transmisión de sonido de las guitarras, y tampoco impida un fácil acceso a los últimos trastes. Actualmente ya existen otras técnicas para la construcción como es la de dividir el cuerpo en tres partes longitudinales y la central realizarla en una pieza continua por el mástil.

En cuanto a las formas del cuerpo, como se ha visto una gran cantidad de diseños, y muchos más que han quedado fuera del presente trabajo. Como se ha estudiado, las formas tienen que tener un equilibrio estético y que sean atractivas a la vista, ya que es un producto de espectáculos. Pero lo más relevante en este tema es la ergonomía que presente. Sin duda tiene que disponer de unas curvas en el contorno inferiores que permitan una cómoda postura al estar sentado, pero a diferencia de la guitarra española, este instrumento es mayormente utilizado de pie. Por tanto, las curvas importantes son las del acceso a los últimos trastes, las de los puntos donde irán situados los clavos y la de la caída del brazo izquierdo a la zona los controladores y el puente.

A su vez es relevante estudiar la continuidad del sonido en los volúmenes de la madera, ya que sería interesante estudiar como afectan las vetas y el espesor frente a al ancho y largo. Pero como se ha visto existen unos estándares en cuanto a tamaños de la guitarra. Por último en este apartado, sin duda es importante la realización de rebajes y redondeos en la guitarra, en la parte inferior, deben existir unos pequeños redondeos, ya que si son muy grandes al tocar sentado puede deslizarse o no acomodarse bien. en la parte superior, el rebaje de la Stratocaster es el más remarcable por como permite una zona de comfort para la caída del brazo. Y sería interesante estudiar la generación de una curva en la parte trasera de la guitarra, de manera que al colgar la guitarra no quedara tangencial al cuerpo,

sino que se adaptara en una mayor medida a a este. También podría estudiarse como afectan cuerpos no rectilíneos en la parte trasera y delantera al sonido.

Sobre la posición de los controladores y elementos electrónicos, el público que demanda guitarras si que tiene una queja sobre sus posiciones actuales, debido a que ocupan mucho espacio en el cuerpo, o interfieren a la hora de tocar. Debería estudiarse el posicionar los elementos en otras cavidades, por ejemplo en el perfil, buscando alguna superficie idónea para su fácil acceso pero sin que interfiera a los nervios de la guitarra eléctrica.

En referencia a lo tratado en estos últimos apartados sobre el análisis empírico. Sobre los modelos estudiados, decir que la guitarra que presenta el mástil con una menor penetración sobre el cuerpo es el modelo SG a diferencia de la Les Paul que es la de mayor penetración. Esto tiene sus ventajas y desventajas, una mayor penetración transfiere mejor el sonido, favorece un mayor contacto y resistencia pero a no ser que se generen superficies traseras como rebajes, el acceso a estos últimos trastes favorece una mayor dificultad. La guitarra de mayor longitud es la Kelly, que al realizar el presente estudio, era la guitarra que más cabeceaba y no se llegaba a alcanzar una estabilidad con ella colocada. Sin embargo, con la Telecaster que es la de menor longitud si que se acomodaba muy bien al cuerpo y aportaba una sensación de seguridad, junto a su hermana la Stratocaster, que a pesar de contar con otras formas también aportaba seguridad y confort al llevarla encima. En contraposición a esto, también está la Les Paul que a pesar de no cabecear sí aportaba una sensación de pesadez que no se sentía con el resto de modelos, esto es debido a un mayor espesor, y a la gran anchura de su base.

Respecto a las observaciones realizadas en los percentiles con los modelos. El modelo Kelly de Jackson es la que goza de un mayor alejamiento de la cejuela respecto a la vertical en todos los experimentos, esto debido a sus grandes medidas del cuerpo y su longitud de escala de 648 milímetros, pero como se ha comentado favorece el desequilibrio de la guitarra en total.

La altura adquirida por la cejuela como se puede apreciar depende del ángulo de inclinación conseguido. Pero eso no descarta que todos los resultados obtenidos para cada percentil sean semejantes, dando sensación de similitud en todas las guitarras a pesar de su construcción y forma, y dando como respuesta que dependen de la anatomía humana del que la cuelga.

En la posición del primer clavo aunque todos los resultados sean muy semejantes, el modelo Kelly y la Stratocaster muestran en ambos

percentiles las mayores separaciones respecto a la referencia. Esto en la estratocaster se justifica debido a que de los modelos de guitarras seleccionados cuenta con el cuerno más alargado.

En cuanto al segundo clavo destaca por el encima del resto la Les Paul, con una separación mayor en todos los casos al resto. Este dato está producido por el gran tamaño de su zona inferior.

Con el dato de perfil, se puede definir que existen demasiadas variables que condicionan el dato, debido a que la anatomía del tronco de cada persona es diferente, y a su vez como se adapta cada cuerpo de guitarra a dicha curva del tronco. Por lo que no se puede sacar ninguna conclusión en claro. Sin embargo, todas las muestras rondan valores similares.

Relacionando los datos de las guitarras con las diferentes posturas de los percentiles es que a pesar del cambio de altura que ronda los 200 milímetros según el percentil, no afecta considerablemente a la postura de la guitarra en cada individuo. Es más, muestran similitudes bastante notables. En cambio y como ya se predijo por CAD y el método RULA, la adaptación del brazo izquierdo difiere según la altura de la guitarra siendo peyorativa a la altura de la entrepierna.

Con respecto a relaciones entre percentiles, resulta interesante, el hecho de que al disponer de guitarras iguales para la experimentación de los percentiles, denoten resultados tan diferentes en algunos aspectos de las mediciones.

El primero de ellos sin duda es el ángulo obtenido, que en un percentil de 90 la media ronde los dieciseis grados y en el del percentil cinco sea de unos treinta grados. Resulta fascinante, y en un futuro sería interesante la investigación de este dato según los percentiles y modelos anatómicos diferentes.

Una respuesta a esto, puede ser que debido a que mantienes una constante como la guitarra y variar la longitud de la correa favorezcas la caída del ángulo, debido a que estas aumentando una longitud de sujeción pero mantienes constantes la distancia de los clavos, tanto altura como longitud. Siendo así que igual con un percentil de 120, lo que sería un hombre de dos metros, la caída del ángulo de la guitarra podría situarse a los cinco grados respecto la horizontal, dependiendo de la guitarra.

A mayores, este dato facilita la lectura de que gracias a las proporciones de un percentil cinco, el tamaño estandar de la guitarra y el ángulo propiciado, consigue una postura de cintura en la que la cejuela de la guitarra supere el hombro de la persona, permitiendo



que la muñeca en los trastes principales no disponga de una inclinación respecto al antebrazo y favoreciendo una buena postura contra enfermedades musculoesqueléticas. Sin embargo, el percentil 90 no llega a presentar estos hechos en ninguna de las posturas ni guitarras.

Otro dato que varía entre un percentil y otro es la distancia a la que se encuentra el segundo clavo. Que como puede apreciarse en las tablas el percentil cinco es ligeramente menor que en el de noventa. Pero este dato depende en su mayoría de la complexión de la persona, ya que una persona de percentil noventa va a ser en la mayoría de los casos más ancha que una persona de percentil cinco, por proporciones.

En cuanto a la facilidad para llegar al último traste, cabe mencionar que depende de la guitarra y sus construcciones. Pero el modelo con peores resultados obtenidos es el de la Les Paul, debido a que esta muy introducida en el tronco de la persona, interfiriendo el poder alcanzar estos trastes.

Y según las gráficas, se podría englobar los resultados en unas zonas "calientes" ya que muestran relación en cada caso, variando principalmente en los percentiles.

Y como conclusión al tema de que algunas guitarras presenten una diferencia de altura en los clavos y otras no, por la experimentación practicada se puede esclarecer que las guitarras que no presentan una diferencia de altura tienen una tendencia al vuelco cuando la persona se inclina hacia delante, esto ocurre debido a que al seguir los clavos el mismo eje favorecen el giro de la toda la guitarra, en cambio las de diferencia de altura no lo favorecen debido a que el giro no sigue el eje del mástil, y no es simétrico, por lo que presentan diferentes pesos en cada una de las secciones que dividen la recta que une los clavos.

Para finalizar, y una vez visto los resultados obtenidos, se considera que el dato que constituye la parte de mayor importancia para la adaptación de la guitarra al cuerpo humano es el ángulo que se logre alcanzar sin hacer uso de la fuerza de los brazos para que estos queden libres para poder tocar de manera confortable. Por lo tanto como conclusión, la mejor solución para la postura depende en gran medida de las correas convencionales, y como estas se adaptan al cuerpo. La solución que se presenta a esto sería una posible alternativa a la correa tradicional.

Una correa que permita corregir el ángulo que forma la guitarra, independientemente del cuerpo de la persona. Esta correa estaría

conformada por dos partes: una a modo de cinturón, y otra correa que suba por la espalda del individuo. De manera que el cinturón tenga un punto de anclaje al segundo clavo, y la correa otro punto de anclaje del primer clavo. Las dos partes de esta correa serían ajustables como las convencionales, pero a diferencia de estas serían dos ajustes independientes, uno para ajustar la cintura y la otra para ajustar la altura. También detallar que la segunda parte de la correa es trasladable alrededor del cinturón. Gracias a esta parte y situando el cinturón a la altura deseable se permitiría que el usuario pudiera ajustar una altura para el primer clavo, haciendo que la guitarra tomase el ángulo deseado.

De esta manera se conseguiría que el ángulo óptimo sea definido y la posición sea favorable para el guitarrista tanto del brazo derecho como del izquierdo. La presente solución pretende ser una conclusión y que a posteriori pueda ser objeto de estudio o sirva como referente para algún otro proyecto sobre instrumentos de cuerda.

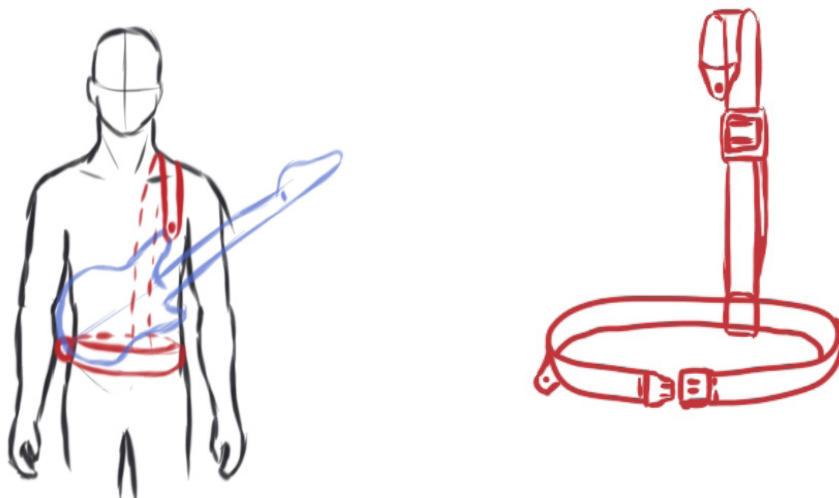


Fig. 112. Ilustración posible solución correa-individuo

## 5.- Bibliografía

### Páginas Web:

- [2] (02/2017) Partes de la guitarra eléctrica (última consulta 27/12/2017):  
[https://www.partesdel.com/partes\\_de\\_guitarra\\_electrica.html](https://www.partesdel.com/partes_de_guitarra_electrica.html)
- [3] (05/05/2016) Como funciona una guitarra eléctrica (última consulta 10/01/2018):  
<https://aprendizdeluthier.com/index.php/partes-y-mantenimiento-de-la-guitarra/como-funciona-una-guitarra-electrica/>
- [4] (06/02/2013) Escala de Guitarras (última consulta 8/05/2018):  
<https://www.guitarristas.info/tutoriales/escala-guitarra/3014>
- [5] (16/02/2018) Calculating Fret Positions (última consulta 21/01/2018):  
<http://www.liutaiomottola.com/formulae/fret.htm>
- [6] (21/12/2015) Fundamentals of Guitar Anatomy: Body Styles (última consulta 15/02/2018):  
<http://flypaper.soundfly.com/features/guitar-anatomy-fundamentals-guitar-body-styles/>
- [6] (09/06/2011) Fundamentals of electric guitar design (última consulta 15/02/2018):  
<http://guitardesignreviews.com/2011/06/fundamentals-of-electric-guitar-design-part-1/>
- [7] (1/10/2017) Como construir una guitarra eléctrica (última consulta 20/01/2018):  
[https://issuu.com/maicol959/docs/como\\_construir\\_una\\_guitarra\\_electr](https://issuu.com/maicol959/docs/como_construir_una_guitarra_electr)
- [7] (13/03/2013) Fabricación de una guitarra eléctrica (última consulta 20/01/2018):  
<https://tecnoblogueando.blogspot.com.es/2013/03/fabricacion-de-una-guitarra-electrica.html>
- [7] (12/12/1990) Como hacer una guitarra eléctrica (última consulta 20/01/2018):  
<http://www.clubdeluthiers.com.ar/index.php/como-construir-instrumentos-musicales/como-hacer-una-guitarra-electrica.html>
- [7] (30/03/2010) Construcción paso a paso de mi primera guitarra (última

consulta 20/01/2018):

<https://www.guitarristas.info/foros/construccion-paso-paso-mi-primera-guitarra/90005>

[8] (09/11/2008) Más madera!... los cuerpos. (Parte I) (última consulta 22/01/2018):

<https://vanzguitars.blog/2008/11/09/mas-madera-los-cuerpos-parte-i/>

[9] (21/10/2014) Guitarra eléctrica (última consulta 22/12/2017):

[https://issuu.com/faustinoortiz/docs/guitarra\\_electrica.docx](https://issuu.com/faustinoortiz/docs/guitarra_electrica.docx)

[10] (28/01/2017) Composición y familia de las guitarras eléctricas (última consulta 8/01/2018):

<https://www.superprof.es/blog/composicion-y-familia-de-las-guitarras-electricas/>

[11] (21/11/2012) Tipos de uniones del mástil al cuerpo en guitarras eléctricas (última consulta 20/01/2018):

<http://desafinados.es/tipos-de-union-mastil-cuerpo-en-guitarras-electricas/>

[12] (26/4/2018) Cinco cosas que afectan al tono de la guitarra (última consulta 21/03/2018):

<https://clasesdeguitarra.com.co/el-tono-de-la-guitarra/>

[13] (11/04/2016) Musculoskeletal and general health problems of acoustic guitar, electric guitar, electric bass, and banjo players (última consulta 10/01/2018):

[https://www.researchgate.net/publication/288360188\\_Musculoskeletal\\_and\\_general\\_health\\_problems\\_of\\_acoustic\\_guitar\\_electric\\_guitar\\_electric\\_bass\\_and\\_banjo\\_players](https://www.researchgate.net/publication/288360188_Musculoskeletal_and_general_health_problems_of_acoustic_guitar_electric_guitar_electric_bass_and_banjo_players)

## **Artículos:**

[1] (15/03/2016) Martin, B. *"The history of the electric guitar: how music was changed forever"*.

## **Libros:**

[14] Martin Pedreira Rodriguez, (2008), *Ergonomía de la guitarra*. Cuba: Editorial Adagio, ISBN: 978-959-7206-07-1.

[15 Pedro R. Mondelo, Enrique Gregori - Pedro Barrau, (1999), *Ergonomía 1. Fundamentos*. 3ª edición, Editorial Mutua Universal, ISBN: 84-8301-318-5.

[16] de la Puente Alvarez, Nerea; Gutierrez Arce, Daniel, (2010). *Estudio Ergonómico de un puesto de trabajo: Kiosko de prensa*. Universidad de Valladolid, Escuela de Ingenierías Industriales.

