



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

MODELADO DE MÁSTILES DE GUITARRAS



NICOLÁS GONZALO MORENO



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

**GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL Y DESARROLLO DEL
PRODUCTO**

Modelado de mástiles de guitarras

Autor:

Gonzalo Moreno, Nicolás

Tutor:

**Prádanos del Pico, Roberto
Ciencia de los Materiales**

Valladolid, junio 2018.

No podría comenzar este proyecto sin antes agradecerse a todas las personas que me han ayudado a hacerlo posible. En primer lugar, a mi familia, porque sin vosotros no habría llegado hasta aquí, gracias por la educación que me habéis dado, pero sobre todo gracias por vuestro cariño y apoyo incondicional. Espero que la ilusión de ver este proyecto terminado sirva como pequeña recompensa por todo lo que me habéis dado.

A Roberto Prádanos del Pico, tutor de este TFG, por su interés y por ofrecermé sus mejores aportaciones y correcciones, que me han guiado en la dirección correcta.

Al equipo de *Modelía 3D*, en especial a Álvaro Pérez, por darme la oportunidad de crecer cómo diseñador durante las prácticas de empresa, compartiendo conmigo todos sus conocimientos sobre el Diseño Industrial.

También quiero agradecerse a todos los profesores y profesoras de mi etapa educativa preuniversitaria, especialmente a Iván Gómez Martín y Bernardo Juan Bejarano, que me habéis orientado y ayudado a descubrir mi vocación.

Y, por último, a todas aquellas personas que han mostrado su apoyo y entusiasmo hacia este proyecto.

Gracias.

GUITARRA ELÉCTRICA, MÁSTIL, ERGONOMÍA, PARAMETRIZACIÓN, MODELADO

En el presente proyecto, se estudiarán las superficies que conforman los mástiles de las guitarras eléctricas con el fin de realizar un modelo completamente parametrizado, que permita obtener una geometría que se adapte a los requisitos ergonómicos y prácticos particulares de cada usuario.

Para llevarlo a cabo, el proyecto ha sido dividido en seis apartados: introducción del proyecto; análisis del estado del arte; fase conceptual, en la cual se presentan las bases del desarrollo del trabajo y el motivo de varias decisiones; desarrollo práctico, en el cual se detallan los pasos seguidos para la elaboración del modelo, así como los programas empleados para ello; muestra de los resultados finales obtenidos; y por último, la conclusión y las líneas futuras del proyecto.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.....	3
1.1. INTRODUCCIÓN AL PROYECTO.....	3
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	4
1.3. ALCANCE Y OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	5
2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. ESTUDIO DE CAMPO.....	9
2.1.1. La guitarra y sus partes.....	9
2.1.2. El mástil.....	10
2.1.2.1. Componentes del mástil.....	10
2.1.2.2. Materiales del mástil.....	19
2.1.2.3. Construcción del mástil.....	19
2.1.2.4. Parámetros que definen la geometría del mástil.....	22
2.2. ESTADO DEL ARTE: ESTUDIO DEL MERCADO.....	30
2.2.1. Análisis de modelos de mástiles más representativos.....	31
2.2.1.1. Análisis según el perfil.....	32
2.2.1.2. Análisis según la escala.....	40
2.2.2. Análisis de modelos de guitarras físicas.....	42
2.2.3. Páginas Web de guitarras eléctricas customizadas.....	47
3. REQUISITOS FUNDAMENTALES.....	55
3.1. BRIEFING.....	55
4. DESARROLLO PRÁCTICO.....	57
4.1. FASE CONCEPTUAL.....	57
4.1.1. Software empleado en el desarrollo práctico.....	57
4.1.2. Conceptos base para el desarrollo práctico.....	59
4.1.2.1. Parámetros cuantitativos.....	59
4.1.2.2. Parámetros cualitativos: Perfil del mástil.....	61
4.1.2.3. Diapasón.....	67
4.1.2.4. Unión mástil - cuerpo de la guitarra.....	70
4.1.2.5. Pala.....	71
4.1.2.6. Planos base.....	72
4.1.2.7. Barra de refuerzo.....	72
4.2. PROCESO DE MODELADO.....	72

4.2.1.	Modelado de las superficies del cuerpo y diapasón del mástil.	73
4.2.2.	Modelado de las superficies de unión mástil-cuerpo	78
4.2.3.	Modelado de las superficies de la pala	81
4.2.5.	Sincronización de los parámetros con la hoja de cálculo	91
4.3.	DISEÑO DE CONCEPTO DE UNA PALA PARA EL MODELO.....	96
5.	RESULTADOS OBTENIDOS	99
5.1.	PLANOS TÉCNICOS.....	99
5.2.	PROTOTIPOS VIRTUALES.....	104
5.3.	IMPRESIÓN 3D.	111
6.	CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS.	115
6.1.	CONCLUSIONES.....	115
6.2.	LÍNEAS FUTURAS.....	116
7.	BIBLIOGRAFÍA	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Software utilizado.....	6
Fig. 2 Componentes de la guitarra.....	10
Fig. 3 Detalle del traste.....	11
Fig. 4 Preforma del diapasón.....	11
Fig. 5 Diapasón.....	11
Fig. 6 Cejuela en el mástil.....	11
Fig. 7 Pala recta, inclinada o angulada y unión "al bias" (scarf neck).....	12
Fig. 8 Pala recta.....	13
Fig. 9 Pala angulada.....	13
Fig. 10 Pala con unión al bias.....	14
Fig. 11 Barra de refuerzo.....	15
Fig. 12 Deformaciones en el mástil.....	15
Fig. 13 Mástil pegado o encolado.....	16
Fig. 14 Mástil atornillado.....	17
Fig. 15 Mástil atravesando el cuerpo.....	18
Fig. 16 Situación del cuerpo del mástil.....	18
Fig. 17 Diapasón de distinto tipo de madera que el resto del mástil.....	20
Fig. 18 Diapasón del mismo tipo de madera que el resto del mástil.....	20
Fig. 19 Diapasón en sandwich.....	21
Fig. 20 Binding.....	21
Fig. 21 Longitud de escala.....	22
Fig. 22 Distancias entre trastes según la escala. Tabla del libro Buildings Electric Guitar de Martin Koch.....	23
Fig. 23 Anchura en la cejuela y en el 12º traste.....	25
Fig. 24 Cálculo de las dimensiones del diapasón. Libro Buildings Electric Guitar de Martin Koch.....	25
Fig. 25 Ejemplos de perfiles de mástil.....	27
Fig. 26 Perfiles en C, V y U.....	27
Fig. 27 Grosor del mástil en el primer y decimosegundo traste.....	28
Fig. 28 Radios del diapasón I.....	29
Fig. 29 Radios del diapasón II.....	29
Fig. 30 Perfil Standard Thin y ejemplo de guitarras que lo equipan (Modern Fender® American Standard Stratocaster® o Telecaster®).....	32
Fig. 31 Dimensiones de mástil con perfil Standard Thin.....	32
Fig. 32 Perfil Fatback y ejemplo de guitarras que lo equipan (modelos Vintage Fender® deep "U").....	33
Fig. 33 Dimensiones de mástil con perfil Fatback.....	33
Fig. 34 Perfil Boatneck y ejemplo de guitarra que lo equipa (Vintage Telecaster® '52)...	34
Fig. 35 Dimensiones de mástil con perfil Boatneck.....	34
Fig. 36 Perfil Roundback 59 y ejemplo de guitarras que lo equipan (1959 Gibson® Les Paul®; PRS®).....	35
Fig. 37 Dimensiones de mástil con perfil 59 Roundback.....	35

Fig. 38 Perfil Clapton y ejemplo de guitarra que lo equipa (Early Fender® Eric Clapton signature Stratocaster®).....	36
Fig. 39 Dimensiones de mástil con perfil Clapton	36
Fig. 40 Perfil Wizard y ejemplo de guitarra que lo equipa (Ibanez® Wizard II).....	37
Fig. 41 Dimensiones de mástil con perfil Wizard	37
Fig. 42 Perfil SRV y ejemplo de guitarra que lo equipa (Early Fender® Stevie Ray Vaughan signature Stratocaster®).....	38
Fig. 43 Dimensiones de mástil con perfil SRV	38
Fig. 44 Perfil Wolfgang y ejemplo de guitarra que lo equipa Peavey® Wolfgang®).....	39
Fig. 45 Dimensiones de mástil con perfil Wolfgang	39
Fig. 46 Gráfico comparativo de los pefrfiles analizados.....	40
Fig. 47 Pictograma de escalas del mercado	41
Fig. 48 Rangos de los valores de los parámetros analizados	42
Fig. 49 Fender Squier.....	43
Fig. 50 Toma de medidas con calibre.....	43
Fig. 51 Desmontaje de la unión mástil-cuerpo de laFender Squire	44
Fig. 52 Detalles constructivos del modelo Fender Suire	45
Fig. 53 Gibson Les Paul	45
Fig. 54 Detalles del modelo Gibson Les Paul.....	46
Fig. 55 Epiphone ES 175	46
Fig. 56 Detalles del modelo Epiphone ES 175	47
Fig. 57 Interfaz de la pantalla de inicio de Fender Shop	48
Fig. 58 Interfaz de la herramienta de customizado de Fender Shop	49
Fig. 59 Filtrado según la forma del perfil en Fender Shop	49
Fig. 60 Interfaz inicial de la herramienta de customizado de Warmoth Custom Guitars. 50	
Fig. 61 Interfaz de la herramienta de customizado de Warmoth Guitar Custom (I)	51
Fig. 62 Interfaz de la herramienta de customizado de Warmoth Guitar Custom (II)	51
Fig. 63 Interfaz de la herramienta de customizado de Warmoth Guitar Custom (III)	52
Fig. 64 Interfaz de la herramienta de customizado de Warmoth Guitar Custom (IV)	53
Fig. 65 Interfaz de la herramienta de customizado de Warmoth Guitar Custom (V)	54
Fig. 66 Interfaz de la herramienta de customizado de Warmoth Guitar Custom (VI)	54
Fig. 67 Logotipo Dassault Systemes, CATIA	57
Fig. 68 Logotipo Microsoft Office Excel.....	58
Fig. 69 Logotipo Microsoft VBA.....	58
Fig. 70 Rangos de valores para el desarrollo práctico.....	60
Fig. 71 Formulas que relacionan los parámetros indirectos con los directos.....	61
Fig. 72 Obtención de los contornos de los perfiles C, V y U definidos por Fender	62
Fig. 73 División del contorno del perfil	63
Fig. 74 Obtención de las proporciones de las cotas de los puntos de conexión respecto a las dimensiones totales de la forma del perfil en C	64
Fig. 75 Obtención de las proporciones de las cotas de los puntos de conexión respecto a las dimensiones totales de la forma del perfil en V	65
Fig. 76 Obtención de las proporciones de las cotas de los puntos de conexión respecto a las dimensiones totales de la forma del perfil en U.....	66
Fig. 77 Prototipo de modelo con radio y altura de diapason constantes	68

Fig. 78 Prototipo de modelo con radio de diapasón variable y altura de diapasón constantes.....	69
Fig. 79 Prototipo de modelo con radio de diapasón constante y altura de diapasón variable.....	70
Fig. 80 Detalle constructivo de la unión mástil-cuerpo del modelo Fender Squire.....	71
Fig. 81 Diseños de palas seleccionadas para la elaboración del modelo.....	71
Fig. 82 Base del empotramiento y de la pala a distintas alturas	72
Fig. 83 Estructura del modelo	73
Fig. 84 Parámetros definidos	74
Fig. 85 Herramienta fórmula.....	74
Fig. 86 Definición de la posición del decimosegundo traste.....	74
Fig. 87 Sketch del perfil en la cejuela.....	75
Fig. 88 Sketch del perfil en el decimosegundo traste	76
Fig. 89 Diseño alámbrico de los perfiles del primer y decimosegundo traste	76
Fig. 90 Operación Multi-Sections Surface entre ambos perfiles	77
Fig. 91 Operación Extrapolate para completar la longitud del mástil	78
Fig. 92 Modelado de las superficies de unión mástil-cuerpo (I)	78
Fig. 93 Modelado de las superficies de unión mástil-cuerpo (II)	79
Fig. 94 Modelado de las superficies de unión mástil-cuerpo (III)	79
Fig. 95 Modelado de las superficies de unión mástil-cuerpo (IV).....	80
Fig. 96 Modelado de las superficies de unión mástil-cuerpo (V).....	80
Fig. 97 Modelado de las superficies de unión mástil-cuerpo (VI).....	81
Fig. 98 Modelado de las superficies de la pala recta (I).....	82
Fig. 99 Modelado de las superficies de la pala recta (II).....	82
Fig. 100 Modelado de las superficies de la pala recta (III)	83
Fig. 101 Modelado de las superficies de la pala recta (IV).....	83
Fig. 102 Modelado de las superficies de la pala recta (V).....	84
Fig. 103 Modelado de las superficies de la pala recta (VI).....	84
Fig. 104 Modelado de las superficies de la pala recta (VII) Resultado final.....	85
Fig. 105 Modelado de las superficies de la pala angulada (I)	85
Fig. 106 Modelado de las superficies de la pala angulada (II)	86
Fig. 107 Modelado de las superficies de la pala angulada (III)	86
Fig. 108 Modelado de las superficies de la pala angulada (IV)	86
Fig. 109 Modelado de las superficies de la pala angulada (V)	87
Fig. 110 Modelado de las superficies de la pala angulada (VI)	87
Fig. 111 Modelado de las superficies de la pala angulada (VII)	88
Fig. 112 Modelado de las superficies de la pala angulada (VIII)	88
Fig. 113 Modelado de las superficies de la pala angulada (IX) Resultado final	89
Fig. 114 Transformación de las superficies a sólidos.....	89
Fig. 115 Transformación de las superficies a sólidos. Detalles finales.	90
Fig. 116 División del sólido en las distintas piezas que conforman el conjunto mástil de pala recta (diapasón, resto del mástil y varilla que cubre la barra de refuerzo).	90
Fig. 117 División del sólido en las distintas piezas que conforman el conjunto mástil de pala angulada (diapasón, resto del mástil y varilla que cubre la barra de refuerzo).....	91
Fig. 118 Detalles de la división del sólido en las distintas piezas que conforman el conjunto mástil (diapasón, resto del mástil y varilla que cubre la barra de refuerzo).	91

Fig. 119 Hoja de cálculo en Excel destinada a albergar los valores de los parámetros del modelo	92
Fig. 120 Establecimiento de límites para la entrada de valores	92
Fig. 121 Mensaje de error en caso de introducir un valor que se encuentre fuera de los rangos establecidos.....	93
Fig. 122 Herramienta Visual Basic for Applications.....	93
Fig. 123 Código programado en la herramienta VBA.....	94
Fig. 124 Asociación de las columnas de forma del perfil con las de los coeficientes de los puntos de conexión mediante llamadas a la función. (I)	94
Fig. 125 Asociación de las columnas de forma del perfil con las de los coeficientes de los puntos de conexión mediante llamadas a la función. (II)	94
Fig. 126 Asociación de la tabla de datos con los parámetros del modelo en CATIA, mediante la herramienta Design Table.....	95
Fig. 127 Ejemplos de guitarras sostenidas por el mástil	96
Fig. 128 Ibanez JEM JR.....	97
Fig. 129 Comprobación rápida del reparto de pesos a la hora de sostener la guitarra por la pala	97
Fig. 130 Modelo del diseño de concepto de una pala (I)	98
Fig. 131 Modelo del diseño de concepto de una pala (II)	98
Fig. 132 Modelo del diseño de concepto de una pala (III)	98
Fig. 133 Render (I). Render de oclusión. [27].....	104
Fig. 134 Render (II). Recreación con distintos tipos de madera.	105
Fig. 135 Render (III). Distintas combinaciones de formas de perfil.	106
Fig. 136 Render (IV). Mástil de pala angulada con diapasón de madera de ébano y cuerpo pintado en negro.....	106
Fig. 137 Render (V). A la izq., diapasón y cuerpo de maderas deferentes. A la dcha., diapasón y cuerpo de la misma madera.	107
Fig. 138 Render (VI) Despiece del conjunto mástil. Diapasón, cuerpo y tapa de la barra de refuerzo.....	107
Fig. 139 Render (VII). Diseño de concepto de pala.	108
Fig. 140 Render (VIII). Diseño de concepto de pala.	108
Fig. 141 Render (IX) Modelo en contexto.	109
Fig. 142 Render (X). Render de oclusión. Modelo en contexto.	109
Fig. 143 Render (XI). Representación final.....	110
Fig. 144 Captura de pantalla del software Cura.....	111
Fig. 145 Fotografía del proceso de impresión 3D	112
Fig. 146 Equipo utilizado para las fotografías de producto.....	112
Fig. 147 Fotografía de producto (I).....	113
Fig. 148 Fotografía de producto (II).	113
Fig. 149 Fotografía de producto (III).	113
Fig. 150 Proceso de mecanizado de un mástil mediante tecnología CNC.	117

1. INTRODUCCIÓN, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.

1.1. INTRODUCCIÓN AL PROYECTO.

La Asociación Internacional de Ergonomía indica que, “la ergonomía es el conjunto de conocimientos científicos aplicados para que el trabajo, los sistemas, productos y ambientes se adapten a las capacidades y limitaciones físicas y mentales de la persona, optimizando la eficacia, seguridad y bienestar”. [2]

El objetivo de la ergonomía es, pues, adaptar el trabajo a las capacidades y posibilidades del ser humano.

Todos los elementos de trabajo ergonómicos se diseñan teniendo en cuenta quiénes van a utilizarlos.

Como es comprensible, durante el desarrollo de los instrumentos musicales, desde su aparición, se ha buscado que estos fuesen lo más ergonómicos posible y que se adaptasen a la anatomía particular de cada instrumentista y a la forma de tocarlos, para facilitar su manejo y prevenir dolores y lesiones procedentes de una mala adaptación de nuestro cuerpo, ya no solo de las manos, al instrumento.

En el caso de las guitarras, existe una gran interacción física entre el guitarrista y el instrumento: asumiendo que el guitarrista sea diestro, la mano izquierda estará en constante contacto con el cuerpo del mástil de la guitarra, desplazándose continuamente a lo largo de este, generando movimientos de muñeca, codo, hombro e incluso cadera y columna vertebral; los dedos ejercerán presiones continuas sobre las cuerdas tensadas sobre el diapasón; la mano derecha realizará un rasgueo alternativo y continuo sobre la sección de las cuerdas tensadas sobre el cuerpo de la guitarra; y además, el guitarrista deberá sostener el peso de la guitarra y mantenerla en equilibrio, ayudándose de una correa. Por lo que la ergonomía es un aspecto imprescindible que se debe tener en cuenta a la hora de diseñar una guitarra.

Por todo ello, mediante este proyecto, se pretende conocer las soluciones ergonómicas existentes en el campo de las guitarras, concretamente guitarras

eléctricas, realizando un exhaustivo análisis del estado del arte de esta materia y, posteriormente, desarrollar mediante el programa CATIA V5 un modelo parametrizado que las englobe, adapte la más deseada e incluso permita combinarlas. Además, se buscarán nuevas soluciones ergonómicas para aplicarlas en dicho modelo y crear una herramienta que aporte una mejora considerable en este campo.

En el ámbito del modelado, según “El gran libro de CATIA” de Eduardo Torrecilla Insagurbe: “el diseño paramétrico es una optimización de los distintos métodos de diseño, en la que se añaden fórmulas y relaciones entre los elementos, que provocan modificaciones controladas y automatizadas de las formas”. [1]

Debemos tener en cuenta que las soluciones y variaciones adoptadas no deben influir sobre la cualidad más importante de un instrumento musical, su sonido.

Tras el modelado se realizará un documento de Excel en el que se ingresarán los valores de las medidas deseadas que definen la geometría del mástil las cuales se relacionarán con los parámetros correspondientes del modelo. De tal modo que al variar los valores en el Excel se sincronizará el modelo adoptando la geometría definida por dichos valores.

Para dar soporte al modelo del mástil también se realizará el modelado mediante superficies de distintas palas y uniones con el cuerpo de la guitarra.

Además, para concluir el apartado de modelado, se abordará el diseño de una pala con el fin de aportar mayor visibilidad al modelo.

Como resultados del proyecto, se facilitarán: planos técnicos, detalles constructivos y modelos virtuales de algunos de los mástiles obtenidos y soluciones adoptadas, así como de la pala de diseño propio.

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

La realización de este proyecto surge a raíz de la experiencia personal del tutor de este TFG, Roberto Prádanos, como guitarrista, quien detectó la necesidad de optimizar la geometría del mástil de guitarra, a fin de mejorar su ergonomía y que este se pudiese adaptar a las manos de un mayor percentil de usuarios, para evitar dolores o posturas incómodas y por consiguiente mejorar su manejo.

Por mi parte, me pareció un proyecto muy interesante, ya que también cuento con experiencia como guitarrista desde los catorce años y con tres años de aprendizaje en la Escuela Oficial de Música, además de compartir la necesidad planteada por Roberto Prádanos. Otra de las razones por las que escogí este proyecto es por mi gran interés en las materias de Ergonomía, Diseño Asistido por Ordenador e Informática Gráfica, las cuales son la base de este proyecto.

1.3. ALCANCE Y OBJETIVOS DEL PROYECTO.

La elaboración de este proyecto tiene como fin último la realización de un modelo totalmente parametrizado del mástil de una guitarra eléctrica, el cual recibirá los valores de los parámetros que definen su geometría de un archivo Excel externo en el que el usuario deberá introducir previamente los valores deseados y comprendidos en unos rangos determinados, así como el perfil característico del mástil deseado.

Para poder establecer dichos rangos en los que acotar los valores de entrada, así como determinar las formas de perfiles a parametrizar, en primer lugar, deberemos analizar el estado del arte, estudiando la evolución de la geometría del mástil, componentes y materiales que lo constituyen, y los distintos modelos que ofrecen en la actualidad las grandes marcas.

Una vez recopilada toda esta información se llevará a cabo el modelado, que será ilustrado mediante planos técnicos y prototipos virtuales, llegando a realizar un prototipo mediante la técnica de impresión en 3D.

El alcance del proyecto se limitará a los siguientes campos:

En primer lugar, al estudio del mástil de la guitarra y los elementos que lo componen, obviando el otro componente principal de las guitarras, el cuerpo. Esto es debido a que el mástil es el componente con mayor peso ergonómico del instrumento, ya que existe un contacto e interacción continua con la mano del guitarrista.

En segundo lugar, se limitará únicamente a los mástiles de guitarras eléctricas ya que, gracias a los elementos, materiales y formas que lo constituyen, son los que permiten una mayor variación de sus propiedades geométricas sin comprometer su resistencia mecánica y el comportamiento sonoro del

instrumento. Además, existe una infinidad de instrumentos de cuerda que equipan un mástil, por lo que es preferible centrar el proyecto en una familia instrumental concreta, ya que cada una de ellas requiere una metodología y un enfoque de trabajo totalmente distintos.

En tercer lugar, se limitará al estudio de las geometrías y superficies que definen el mástil, desde el punto de vista de la parametrización, modelado y ergonomía de estas, omitiendo el estudio del comportamiento mecánico. Esto es debido a que dicho estudio abarca otro campo distinto al planteado en el enunciado del proyecto. Por esta razón, para asegurarnos que la integridad mecánica del mástil no se ve comprometida, tomaremos como seguros los valores de las dimensiones comprendidas en los rangos del mercado actual, así como los materiales, componentes, estructuras, detalles constructivos, etc. que lo definen.

Software utilizado:

Tanto para la ejecución del modelo parametrizado como para la elaboración de la memoria, planos y prototipos se ha utilizado gran variedad de software informático.



Fig. 1 Software utilizado

CATIA V5 R21: Modelado 3D (Alámbrico, superficies y sólidos), dimensionado, ensamblaje de conjuntos y subconjuntos, etc.

MICROSOFT OFFICE EXCEL: Hojas de cálculos, sincronización con CATIA.

MICROSOFT VISUAL BASICS FOR APLICATIONS: lenguaje de macros utilizado para programar en Excel.

MICROSOFT OFFICE WORD: Maquetación.

ADOBE ILLUSTRATOR CC 2014: Imágenes vectoriales, diseño gráfico, bocetos digitalizados...

ADOBE PHOTOSHOP CC 2014: Retoque fotográfico.

AUTODESK INVENTOR: Planos técnicos.

CURA 3D PRINTING: Preparación del modelo para la impresión 3D.

GOOGLE DRIVE: Gestión de archivos y copia de seguridad.

KEY SHOT: Renderizado y animación.

2. MARCO TEÓRICO.

2.1. ESTUDIO DE CAMPO

Antes de comenzar con la parte dedicada al desarrollo práctico, es fundamental realizar un estudio previo de todo aquello que puede resultar relevante para el proyecto. Se pretende recopilar y analizar la información necesaria para obtener criterios de diseño ergonómico y paramétrico con el fin de obtener un producto totalmente adaptado.

2.1.1. La guitarra y sus partes.

Empecemos con un vistazo al instrumento. A pesar de la variedad de diseños y técnicas de producción empleados, la mayoría de guitarras eléctricas están constituidas por elementos muy parecidos. La principal diferencia que afecta al sonido es la calidad de la madera utilizada. Los cuerpos suelen estar hechos de maderas recias secadas al horno, como caoba, fresno, arce, nogal y aliso. Algunos fabricantes, como Fender, son partidarios de un mástil atornillado. Las guitarras de Gibson se caracterizan por tener el mástil unido de forma permanente al cuerpo.

Todos los instrumentos de cuerda se basan en el mismo principio para crear y proyectar un sonido. Al tocar la cuerda con los dedos o una púa, las vibraciones perturban las ondas de aire que la rodean. En una guitarra acústica, esas ondas sonoras transmiten su energía a una cámara acústica, la caja de resonancia, a través del puente, el punto en que cada cuerda entra en contacto directo con el cuerpo. Se crea un sonido audible al vibrar por simpatía con las cuerdas.

Los seguidores del matemático y filósofo Pitágoras llegaron a la conclusión de que el tono de una cuerda vibrante se alteraba según su longitud, siguiendo leyes matemáticas estrictas. Esta Ley Fundamental rige el tono del sonido cuando una cuerda de guitarra se presiona contra un traste y se pulsa.

En cuanto a las guitarras eléctricas, aunque el principio básico es el mismo, son ligeramente diferentes porque no disponen de una caja de resonancia natural. Al pulsar una cuerda, el sonido que produce no es muy alto.

Para que una guitarra eléctrica produzca un buen sonido, primero hay que conectarla mediante un cable a un amplificador y un altavoz. La parte de la guitarra que canaliza este sonido se llama pastilla magnética. Las pastillas magnéticas están hechas de una serie de imanes con cable de cobre enrollado

alrededor, que crean un campo magnético. Se colocan justo debajo de las cuerdas en el cuerpo de la guitarra. Cada vez que vibra una cuerda, perturba ese campo magnético. Dichas perturbaciones pasan al amplificador a través del cable de la guitarra, donde se convierten en impulsos eléctricos. Siguiendo la amplificación y alteración mediante los controles de volumen y tono, la señal llega al altavoz, provocando la vibración del cono. Esto se traduce en una alteración de las ondas del aire es decir, en la creación de un sonido. [3]

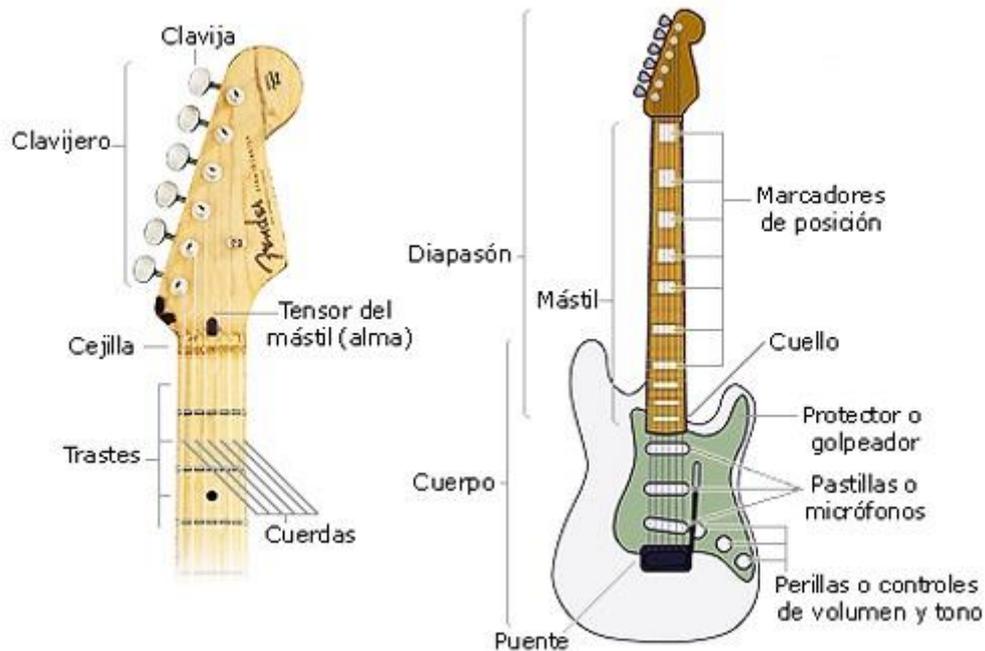


Fig. 2 Componentes de la guitarra

2.1.2. El mástil.

2.1.2.1. Componentes del mástil.

El mástil de la guitarra eléctrica se divide en varias partes:

- El diapasón, que es la parte frontal donde se incrustan los trastes.
- La cejuela o ceja, que encontramos en la parte alta del diapasón.
- La pala, que es donde se montan los afinadores o clavijeros.
- Alma metálica de refuerzo (Truss rod, en inglés).
- Unión con el cuerpo de la guitarra.
- Cuerpo del mástil.

DIAPASÓN

El diapasón es una pieza de madera que cubre por su parte anterior al cuerpo del mástil y donde se pulsan las cuerdas para conseguir las diferentes notas. Para conseguir un sonido definido y nítido de dichas notas se divide el diapasón en trastes mediante varillas metálicas que se incrustan en ranuras previamente mecanizadas en dicho diapasón.



Fig. 5 Diapasón

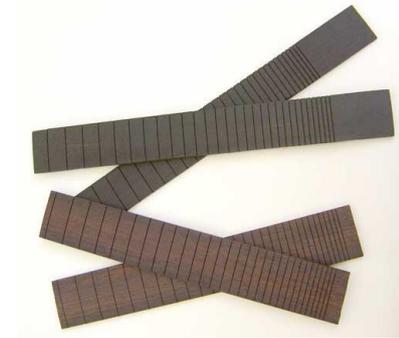


Fig. 4 Preforma del diapasón



Fig. 3 Detalle del traste

CEJUELA

Pieza, generalmente de plástico, metal o, incluso, hueso, en la que apoyan las cuerdas y limita su zona de vibración. Se encuentra en la parte alta del mástil, al comienzo del primer traste.



Fig. 6 Cejuela en el mástil

PALA

La pala es la zona alta del mástil, delimitada por la cejuela. En ella se montan las clavijas que sujetan y ajustan las cuerdas en los orificios previamente mecanizados.

La pala también tiene un papel importante en el sonido del instrumento. Cuanto más rígida sea la unión de la pala/mástil mejor devolverá la pala la vibración de las cuerdas al mástil, por lo tanto, más largo será el *sustain*¹. Si, por el contrario, la pala tiende a flexionarse, absorberá la vibración y el sustain se verá comprometido.

Existen básicamente dos tipos de construcción de la pala: recta o angulada. Ambas tienen influencia en el sonido, fiabilidad, comodidad y coste de producción.

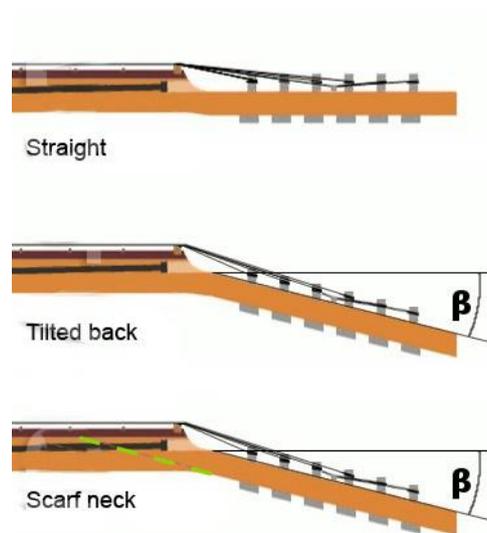


Fig. 7 Pala recta, inclinada o angulada y unión "al bis" (scarf neck)

- **Pala recta:**

Este tipo de construcción permite fabricar el mástil y la pala de una única pieza de madera de alrededor de 20mm de grosor.

¹ El sustain es la propiedad de una cuerda de mantener la vibración.

Esta solución permite un considerable ahorro de tiempo, desperdicios, costes de producción y es fácil de fabricar en masa. Normalmente se diseñan para albergar seis clavijeros en línea a un lado de la pala. Este tipo de construcción es muy apropiada para guitarras con tremolo por la poca fricción que ejercen las cuerdas sobre la cejuela y por el hecho de que la cuerda va recta y no tiene que seguir un Angulo.

Un ejemplo de este tipo de palas son las de Fender.



Fig. 8 Pala recta

- **Pala angulada:**

En otras guitarras, como por ejemplo en las Gibson, la pala está angulada (inclinada) respecto al diapasón y requiere una mayor inversión de madera con el consiguiente incremento en los costes de manufactura.

Una pala angulada ofrece menos resistencia mecánica por la reducida área de grano de la junta.



Fig. 9 Pala angulada

- Unión al bias (scarf neck):

Por la antes citada debilidad, algunos constructores adoptan una solución típica de lutieres de guitarras clásicas, la unión al bias (scarf neck). Para hacer una unión al bias la pieza original de madera se corta en dos y a estas piezas se les da la forma y se las pega. Así se consigue recrear una pala angulada, pero con mucha más resistencia y conservando las mismas ventajas tonales que la pala angulada.

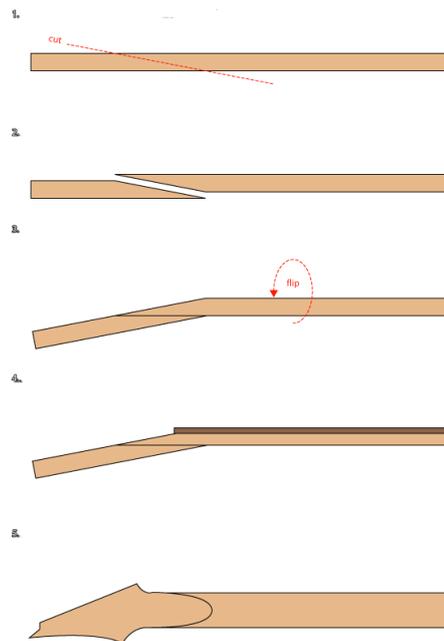


Fig. 10 Pala con unión al bias

TRUSS ROD

Las eléctricas y electro-acústicas, con cuerdas de metal, deben soportar una tensión mucho más fuerte que las guitarras con cuerdas de nylon. El mástil, en concreto, debe resistir una tensión considerable.

Para garantizar una distancia adecuada y constante entre las cuerdas y el diapason para tener una acción sobre las cuerdas óptima, el mástil debe estar recto. Pero con el tiempo la tensión de las cuerdas, cambios en tipo y grosor de cuerdas, los cambios de afinación (en E, Drop D, B, C.), la temperatura ambiente y la humedad van a afectar a la madera del mástil que puede ceder y dejar la guitarra inservible.

Por ello estas guitarras llevan un alma de refuerzo. Éste alma es una varilla de metal que aporta resistencia y puede ser tensada o destensada para poder ajustar la curvatura o rectitud del diapasón en función de los gustos de cada guitarrista.

Algunas guitarras llevan varillas de grafito para reforzar el mástil, para conseguir que sea lo más delgado posible. Un ejemplo de estas son las diseñadas por Eddie Van Halen (EVH).



Fig. 11 Barra de refuerzo

1. Concavo ("Arco") - Cuerdas altas



2. Convexo ("Chepa") - Vibración de trastes



3. Recto



Fig. 12 Deformaciones en el mástil

UNIÓN MASTIL-CUERPO

Hay varias formas de unir el mástil al cuerpo de la guitarra eléctrica. Las acústicas, clásicas y flamencas solo tienen mástil encolado o pegado. Cada modo tiene sus ventajas e inconvenientes que afectan al coste, el mantenimiento, el tono y la estabilidad de la guitarra.

- **Mástil pegado o encolado (“Set neck”).**

El mástil se inserta en el hembrado mecanizado en el cuerpo donde se fija con cola. En este caso el mástil ya queda pegado y no se podrá separar del cuerpo.

Como que se trata de un mástil inamovible, el ajuste en el montaje debe ser perfecto. Los operarios que se encargan del montaje deben estar más cualificados y el control de calidad antes del proceso de pegado debe ser exhaustivo. Por ello, las guitarras encoladas suelen contar con un costo de producción mayor.



Fig. 13 Mástil pegado o encolado

- **Mástil atornillado (“Bolted on neck”).**

Introducido por Leo Fender en la Fender Squire en 1949. Se trata de una técnica económica, sencilla y que permite usar mano de obra menos cualificada. Consiste en unir el mástil al cuerpo con 4 tornillos de grandes dimensiones. Añadiendo una chapa metálica se consigue distribuir la presión sobre todo el área de la unión.

El mástil atornillado permite ser montado y desmontado. Esta posibilidad permite hacer pruebas de encaje, montando cuerdas y haciendo comprobaciones varias veces antes de dar la guitarra por finalizada.

En cadenas de montaje se puede hacer un pre-montaje por parte de un técnico menos cualificado y más adelante un luter sénior puede terminar el ajuste del mástil.

En guitarras con mástil atornillado siempre es posible reemplazar el mástil si este se daña, desgasta o si se desea reemplazar por otro mástil que aporte un manejo distinto.



Fig. 14 Mástil atornillado

- Mástil atravesando el cuerpo. (“Neck through guitar”).

Leo Fender, Paul Bigsby y Les Paul se disputan la invención de la guitarra de cuerpo sólido. Consiste en un mástil tan largo como la guitarra, al que se añaden dos “alas” para formar el cuerpo. La principal idea detrás de la guitarra de cuerpo sólido es evitar el *feedback*² en el amplificador causado por las vibraciones de la caja donde est n montadas las pastillas fonocaptoras y conseguir una resonancia más prolongada.

Lo que impide una mayor difusión de guitarras neck through es su coste elevado de construcción y manufactura y el hecho de que se use más en bajos

² En un sistema de sonido, el feedback es el retorno de una fracción de la señal de salida de un amplificador o micrófono a la entrada del mismo, lo cual provoca como consecuencia una distorsión del sonido producido.

que en guitarras. Esto último se debe a que se aprecian más sus características en instrumentos con una nota de resonancia baja, y también al hecho de que las guitarras son más complejas de construir debido a la presencia de más herrajes (cavidad del tremolo, etc.).



Fig. 15 Mástil atravesando el cuerpo

CUERPO DEL MÁSTIL

El cuerpo del mástil es el elemento soporte del resto de componentes. Su geometría condiciona el modo de tocar el instrumento, ya que es su superficie la encargada de guiar y acomodar la mano a lo largo del mástil.



Fig. 16 Situación del cuerpo del mástil

2.1.2.2. Materiales del mástil.

La madera es la familia de materiales por excelencia para la construcción de los mástiles de guitarra. Este monopolio se debe a numerosas razones. La madera es agradable al tacto, resistente y transmite bien las vibraciones lo que se traduce en una capacidad de resonancia y en un timbre mucho más cálido que el resto de materiales. Además, es un material de fácil obtención y cuando empezaron a fabricarse los primeros instrumentos musicales era el material sobre el que mejor se podía trabajar, por lo que la técnica evolucionó sobre este material. No podemos olvidar la cualidad estética que aporta la madera: el grano, el patrón y los defectos de la madera (defectos genéticos del árbol como la colcha, la llama ...) son factores que contribuyen al embellecimiento del instrumento.

La dureza y la densidad de la madera va afectar a la resonancia, timbre, solidez y el peso del mástil. Esto último afecta al equilibrio de la guitarra.

Por ejemplo, las Fender Stratocaster llevan mástil de arce, mientras que las Gibson Les Paul están hechas casi en su totalidad de madera de caoba. Estas dos guitarras se caracterizan por tener timbres completamente distintos; cálido y con mucho cuerpo la Les Paul, mientras que la Stratocaster son más brillantes y con sonidos bien definidos.

No olvidemos que la guitarra es un sistema y no solo la madera afecta al tono.

2.1.2.3. Construcción del mástil.

Lo más habitual es que los mástiles estén hechos de una pieza, con una placa de madera de mayor calidad para el diapasón.

Por ejemplo: La Les Paul, igual que muchas guitarras acústicas, lleva habitualmente mástil de una pieza de caoba con diapasón de Palo Rossa o Palisandro (Rosewood).



Fig. 17 Diapasón de distinto tipo de madera que el resto del mástil

Pero hay otras opciones de construcción. Por ejemplo, algunos modelos de Stratocaster llevan mástil y diapasón en una sola pieza de arce, normalmente arce flameado o con otro tipo de figura (flame mapple, quilted mapple, bird eye quilted mapple).



Fig. 18 Diapasón del mismo tipo de madera que el resto del mástil

Algunas guitarras artesanales hechas por lutieres – o sea, no fabricadas en serie – llevan mástiles hechos de varias maderas pegadas en sandwich. El efecto visual es atractivo, se obtiene mayor rigidez y un tono distinto al combinar las propiedades de varias maderas.



Fig. 19 Diapasón en sandwich

Finalmente, algunos mástiles pueden llevar un “binding” que, además de ser un elemento decorativo, aporta suavidad en el manejo. No afecta al tono ni a la estructura.



Fig. 20 Binding.

2.1.2.4. Parámetros que definen la geometría del mástil.

A continuación, se van a definir y explicar los parámetros necesarios para definir la geometría básica del mástil de las guitarras eléctricas.

De estos parámetros dependerá la forma en la que la mano del guitarrista se adapte al mástil, por lo que será lo primero que debemos tener en cuenta cuando pensemos en la ergonomía del instrumento. Además de la anatomía de la mano, estos parámetros y formas se verán condicionados por el estilo que adopte el guitarrista al tocar la guitarra.

Esta introducción nos servirá posteriormente para poder analizar y recopilar los valores de los parámetros utilizados en el mercado actual.

ESCALA

La escala determina la distancia de la selleta del puente (punto de apoyo de las cuerdas) a la cejuela, además de las distancias entre los trastes. Una escala más larga implica que las cuerdas deben estar más tensas para mantener la frecuencia de vibración y eso influye en el tono y en las sensaciones al tocar. Otra forma de mantener dicha frecuencia de vibración es variando el módulo de elasticidad y el calibre del juego de cuerdas equipadas.



Fig. 21 Longitud de escala

Por lo tanto, una escala más larga implica un mástil más largo y que debe soportar mayor tensión.

Para mantener el tono de cada nota constante, la longitud, y en consiguiente la posición, de los trastes debe acompañar proporcionalmente a la longitud de

la escala. Mediante la siguiente tabla del libro “*Building Electric Guitar*” de Martin Koch se comprobar la relación lineal descrita entre los trastes y la escala. Además, dependiendo del número de trastes de los que esté compuesto el diapasón podremos conocer también la longitud del mástil. [4]

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Fret distances for some standard scale lengths								
2									
3	Scale length:	628.65	635.00	647.70	702.82	762.00	825.50	863.60	mm
4		24.75	25.00	25.50	27.67	30.00	32.50	34.00	inches
5									
6	Fret	Distances from front edge of nut or zero fret in millimeters:							
7	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	1	35.28	35.64	36.35	39.45	42.77	46.33	48.47	
9	2	68.59	69.28	70.67	76.68	83.14	90.06	94.22	
10	3	100.02	101.03	103.05	111.82	121.24	131.34	137.40	
11	4	129.69	131.00	133.62	144.99	157.20	170.30	178.16	
12	5	157.70	159.29	162.47	176.30	191.15	207.08	216.63	
13	6	184.13	185.99	189.71	205.85	223.19	241.79	252.94	
14	7	209.08	211.19	215.41	233.75	253.43	274.55	287.22	
15	8	232.63	234.98	239.68	260.07	281.97	305.47	319.57	
16	9	254.85	257.43	262.58	284.92	308.91	334.66	350.10	
17	10	275.83	278.62	284.19	308.38	334.34	362.21	378.92	
18	11	295.64	298.62	304.59	330.52	358.35	388.21	406.13	
19	12	314.33	317.50	323.85	351.41	381.00	412.75	431.80	
20	13	331.97	335.32	342.03	371.14	402.39	435.92	456.04	
21	14	348.62	352.14	359.18	389.75	422.57	457.78	478.91	
22	15	364.34	368.02	375.38	407.32	441.62	478.42	500.50	
23	16	379.17	383.00	390.66	423.91	459.60	497.90	520.88	
24	17	393.17	397.15	405.09	439.56	476.57	516.29	540.12	
25	18	406.39	410.50	418.71	454.34	492.59	533.64	558.27	
26	19	418.87	423.10	431.56	468.28	507.72	550.03	575.41	
27	20	430.64	434.99	443.69	481.45	521.99	565.49	591.59	
28	21	441.75	446.22	455.14	493.87	535.46	580.08	606.85	
29	22	452.24	456.81	465.95	505.60	548.17	593.85	621.26	
30	23	462.14	466.81	476.15	516.67	560.17	606.86	634.86	
31	24	471.49	476.25	485.78	527.12	571.50	619.13	647.70	
32	25	480.31	485.16	494.87	536.98	582.19	630.71	659.82	

Fig. 22 Distancias entre trastes según la escala. Tabla del libro *Buildings Electric Guitar* de Martin Koch.

Los criterios de elección del guitarrista a la hora de escoger una escala se resumen en la siguiente tabla:

	Escala larga	Escala corta
Criterios positivos:	<ul style="list-style-type: none"> • Admite bien la púa y los resgueos. • Algo más de volumen. • Admite bien las pulsaciones enérgicas. 	<ul style="list-style-type: none"> • La mano izquierda llega mejor a las posiciones abiertas (alejadas del cuerpo). • Menor tensión en las cuerdas.
Ideal para:	<ul style="list-style-type: none"> • Quienes buscan potencia sonora. • Tocar con púa. • Tocar acordes rasgados. • Géneros <i>Country, Rock, etc.</i> • Manos grandes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tocar con las uñas o la yema de los dedos. • Géneros Blues, Ragtime, etc. • Manos pequeñas

ANCHURA DEL DIAPASÓN

La anchura del diapasón en la cejuela y en la base del mástil, va a determinar la distancia entre cuerdas y si estas son más bien paralelas o divergentes. En la guitarra clásica y la flamenca las cuerdas están paralelas o casi y el diapasón es más ancho. En acústicas y eléctricas la cejuela es bastante más estrecha que la selleta del puente, por ello las cuerdas divergen; separándose entre ellas y, en consecuencia, aumentando la anchura del mástil progresivamente.

Este aumento progresivo de anchura se debe, además de a una cuestión estructural ya que aumentará su resistencia, a que aumentando la distancia en las zonas agudas se hace más sencillo ejecutar piezas más complejas como solos. Por el contrario, un estrechamiento de la distancia entre cuerdas en las zonas graves facilita combinar simultáneamente varias notas, es decir, realizar acordes.

Como podemos suponer, un mástil estrecho se adaptará mejor a los guitarristas de manos pequeñas y evitará que surjan incomodidades en su manejo. En este tipo de mástil encontraremos una distancia menor entre las cuerdas, lo que permitirá una mayor rapidez de manejo sobre todo en el cambio de acordes.

Es común determinar la anchura del diapasón mediante la anchura en la cejuela y la anchura en el 12º traste.

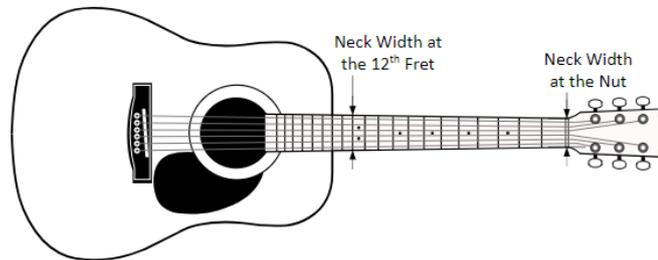


Fig. 23 Anchura en la cejuela y en el 12º traste

Mediante el siguiente esquema, que aparece en el libro “*Building Electric Guitar*” de Martin Koch, podemos conocer la anchura del diapasón en cualquier altura de un mástil del cual conocemos su escala, anchura en la cejuela, distancia entre las cuerdas en el puente y la distancia entre el punto cuya anchura queremos conocer a la cejuela (este último valor lo podemos obtener mediante la tabla del apartado anterior de las distancias entre los trastes). [4]

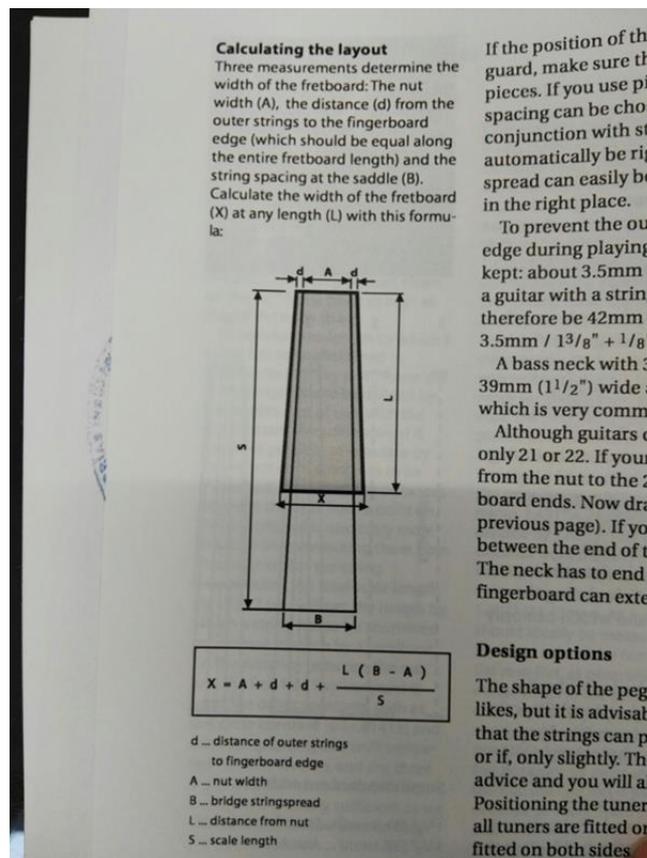


Fig. 24 Cálculo de las dimensiones del diapasón. Libro Buildings Electric Guitar de Martin Koch.

PERFIL DEL MÁSTIL

El perfil del mástil define la forma de la superficie de agarre, es decir, la parte posterior del mástil o cuerpo del mastil. La forma del perfil no afecta al sonido, pero es un parámetro clave en la ergonomía del mástil, ya que influye directamente sobre el manejo del instrumento y sobre la comodidad de la mano al moverse por él.

No hay una forma que sea objetivamente mejor que otra cuando se trata de solos, acordes o cualquier técnica de manejo. Es puramente una cuestión de preferencia personal y comodidad de manejo, instituida originalmente a petición de guitarristas que tenían sus propias preferencias individuales.

En el mercado actual predominan tres tipos de perfiles, designados por las letras C, U y V, junto con numerosas variaciones de cada uno. La forma de estas letras corresponde aproximadamente a la forma la sección transversal de la parte posterior del mástil, y cada una puede tener distintas anchuras y diferentes grosores desde la parte delantera del mástil hasta la parte posterior, lo que se traduce en dichas numerosas variaciones: "forma de C gruesa", "forma de U ancha", "forma de V suave", etc. [11]

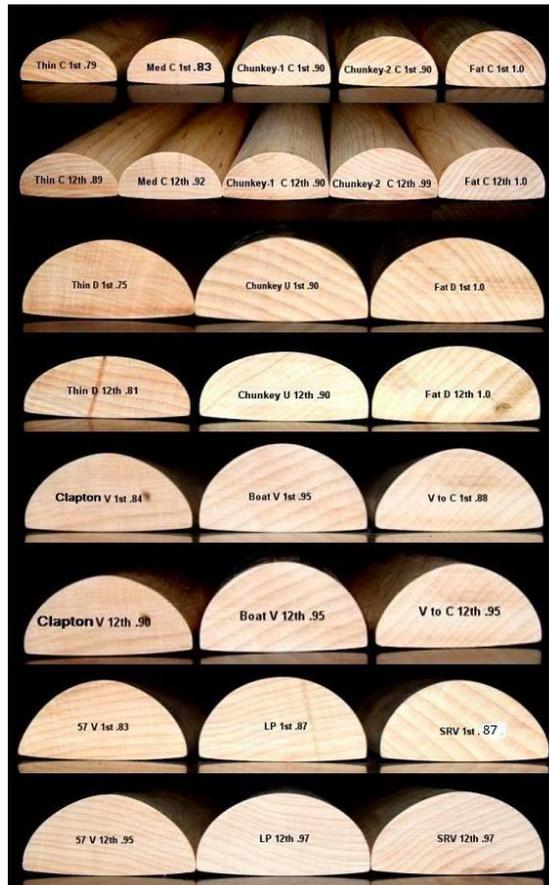


Fig. 25 Ejemplos de perfiles de mástil

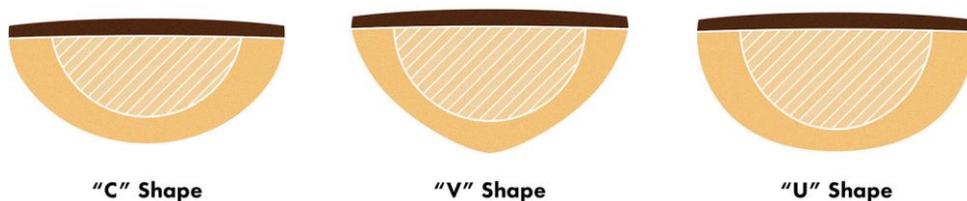


Fig. 26 Perfiles en C, V y U

A continuación, se detallan estos tres perfiles básicos y la forma en la que afectan a la hora de tocar el instrumento. A partir de las cualidades de estos tres perfiles podremos deducir las cualidades del resto de perfiles ya que parten de estas tres geometrías.

- **Forma en C**
Es el perfil de mástil más común: los mástiles en forma de C tienen un perfil ovalado cómodo que funciona bien para la mayoría de los estilos

de manejo. Por lo general, no son tan anchos como la mayoría de los perfiles en forma de U y V.

Una variante de esta forma es el perfil en C moderno ("modern C"), que consiste en una forma en C descentrada, es decir, con un grosor mayor en el lado de las cuerdas graves (de mayor calibre) del mástil y menos grueso en la zona de las cuerdas agudas (de menos calibre).

- **Forma en V**

Son populares dos versiones de esta forma: una V "suave" más redondeada, y una V "dura" más puntiaguda, a menudo preferida por guitarristas que se encuentran más cómodos con el pulgar sobre el borde del diapasón. Los mástiles en forma de V son parte de la vieja escuela y aparecen en muchas guitarras reeditadas.

- **Forma en U**

Perfil muy redondeado y suave. Son buenos para guitarristas con manos grandes y guitarristas que se sienten más cómodos con el pulgar en la parte posterior del mástil. [14]

GROSOR DEL MÁSTIL

Es la distancia comprendida entre la cara superior del diapasón y el punto mínimo de la cara posterior del mástil a una altura determinada de este. Lo más habitual es que el mástil vaya aumentando de grosor linealmente a medida que avancemos en los trastes, aunque también podemos encontrar mástiles con grosor constante en toda su longitud. Nunca encontraremos una reducción del grosor. Para definir el grosor del mástil, normalmente, se aportan los grosores en la cejuela y en el traste número doce junto con la forma de los perfiles en estos trastes, ya que estas formas se ven condicionadas por el grosor.

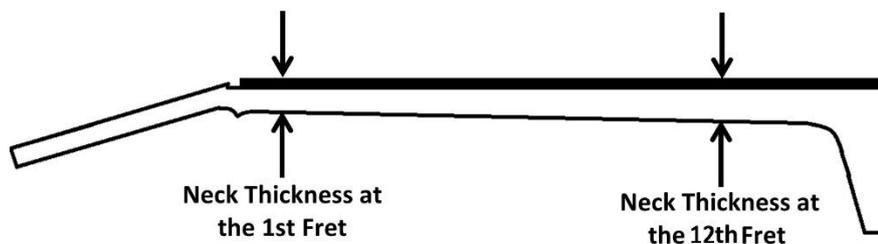


Fig. 27 Grosor del mástil en el primer y decimosegundo traste

RADIO DEL DIAPASÓN

El diapasón no es plano. Para facilitar el manejo, el diapasón está ligeramente curvado.

El radio de curvatura del diapasón es el radio de la circunferencia que dibuja la curva del diapasón. Es decir, el diapasón sigue la misma curva que una sección de un cilindro.

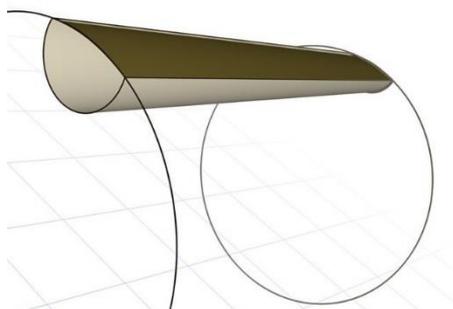


Fig. 28 Radios del diapasón I

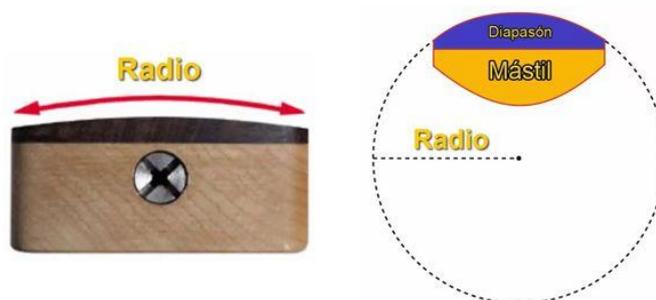


Fig. 29 Radios del diapasón II

De forma general, los diapasones más curvos estarían orientados hacia los guitarristas rítmicos, y los más planos a guitarristas solistas. [8]

2.2. ESTADO DEL ARTE: ESTUDIO DEL MERCADO.

La investigación sobre el estado del arte es fundamental antes de la realización de cualquier proyecto. Nos permitirá conocer productos ya comercializados o patentados que pretenden alcanzar objetivos similares, así como otras herramientas que, aunque no sean de la misma clase que la presente propuesta de diseño, solucionen de alguna manera alguno de los problemas planteados (*competencia indirecta*³).

Además, la visualización de herramientas similares puede servir de inspiración de cara a la realización del modelo, y puede sugerir algunos aspectos de mejora mediante el análisis y la crítica, detectando oportunidades de diferenciación. Se puede considerar también que un análisis de mercado revelará la viabilidad del producto (en algunos casos se denomina también plan de viabilidad), determinando si el mercado está saturado (una demanda completamente satisfecha por los productos existentes) o si, por el contrario, existe una demanda que todavía no se ha abastecido, bien porque no existan productos que solucionen una necesidad, o porque la oferta no sea accesible al público que la requiere.

El tema a tratar es muy amplio, pudiendo analizarse infinidad de geometrías de mástiles de guitarras. Además, es sabido que la producción artesana de los lutieres tiene mucho peso en este mercado. Nosotros obviaremos este campo, ya que queda fuera de las competencias del diseño y producción industriales, las cuales estamos tratando en este proyecto. Para no alargar demasiado este apartado el análisis se centrará en:

- Geometrías de los modelos de mástiles más representativos disponibles en el mercado.
- Modelos físicos de guitarras: sus dimensiones y detalles constructivos.
- Herramientas que permitan la personalización online de mástiles de guitarra para su posterior fabricación y venta.

³ Competencia directa son aquellos productos iguales o muy similares al nuestro, y que se venden en el mismo mercado, buscan los mismos clientes. Por el contrario, la competencia indirecta la forman los productos que intervienen de forma lateral, es decir, buscan satisfacer las mismas necesidades de forma diferente, con productos distintos.

2.2.1. Análisis de modelos de mástiles más representativos.

Procedemos a analizar los parámetros que definen las geometrías de los mástiles. Para ello realizaremos una recopilación de los tipos de mástiles más representativos del mercado.

Al ser Estados Unidos el país con más influencia en este sector, la unidad de medida de longitud predominante es la pulgada. Por lo tanto, los valores de longitud recopilados se verán reflejados en pulgadas y, posteriormente, los convertiremos a milímetros para desarrollar el proyecto.

2.2.1.1. Análisis según el perfil.

PERFIL DELGADO ESTÁNDAR (STANDARD THIN).

El *Standard Thin* es el perfil de mástil más popular. Su forma "C" resulta cómoda para la mayoría de los guitarristas, adecuándose a una gran variedad de estilos de ejecución.



Fig. 30 Perfil Standard Thin y ejemplo de guitarras que lo equipan (Modern Fender® American Standard Stratocaster® o Telecaster®)

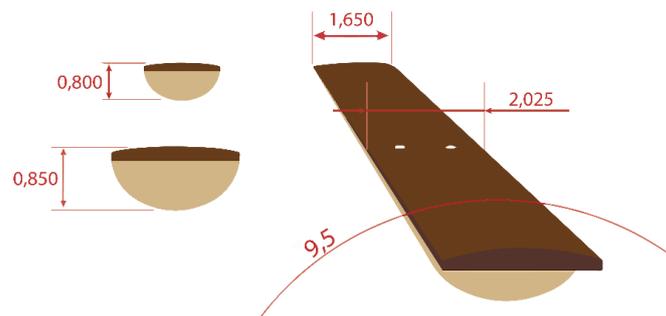


Fig. 31 Dimensiones de mástil con perfil Standard Thin

Perfil: "C"

Anchura en la cejuela: 1,650" (41,91 mm)

Anchura en el 12° traste: 2,025" (51,435 mm)

Grosor en la cejuela: 0,800" (20,32 mm)

Grosor en el 12° traste: 0,850" (21,59 mm)

Radio del diapasón: 9,5" (241,3 mm)

Guitarras que lo equipan: Modern Fender® American Standard Stratocaster® o Telecaster®

PERFIL FATBACK

Es un perfil grueso y redondeado, de grosor constante a lo largo del mástil. Puede presentar dificultades para los guitarristas con manos pequeñas a la hora de poder abarcarlos con comodidad. En cambio, para guitarristas con manos más grandes, un mástil de perfil ancho puede resultar más cómodo que uno de perfil fino. Este tipo de perfil también puede resultar más cómodo a la hora de ejecutar acordes.



Fig. 32 Perfil Fatback y ejemplo de guitarras que lo equipan (modelos Vintage Fender® deep "U")

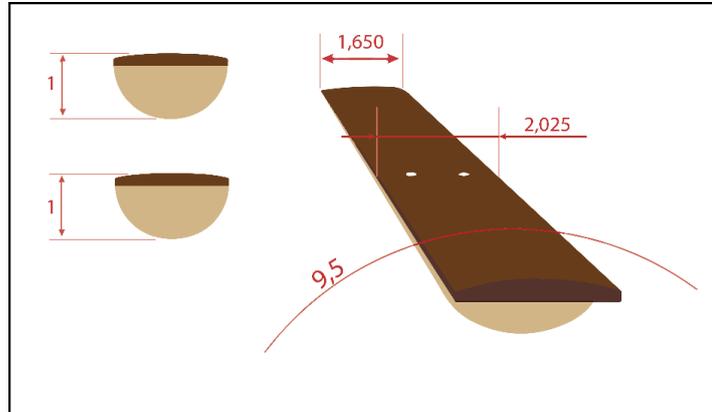


Fig. 33 Dimensiones de mástil con perfil Fatback

Anchura en la cejuela: 1,650" (41,91 mm)

Anchura en el 12º traste: 2,025" (51,435 mm)

Grosor en la cejuela: 1" (25,4 mm)

Grosor en el 12º traste: 1" (25,4 mm)

Radio del diapasón: 9,5" (241,3 mm)

Guitarras que lo equipan: Vintage Fender® deep "U"

PERFIL BOATNECK

El Boatneck tiene el mismo grosor constante que el Fatback, pero con los cantos rebajados. Esta variación da como resultado la misma sensación de agarre en la palma, pero facilita el acceso de los dedos y el pulgar al diapasón.



Fig. 34 Perfil Boatneck y ejemplo de guitarra que lo equipa (Vintage Telecaster® '52)

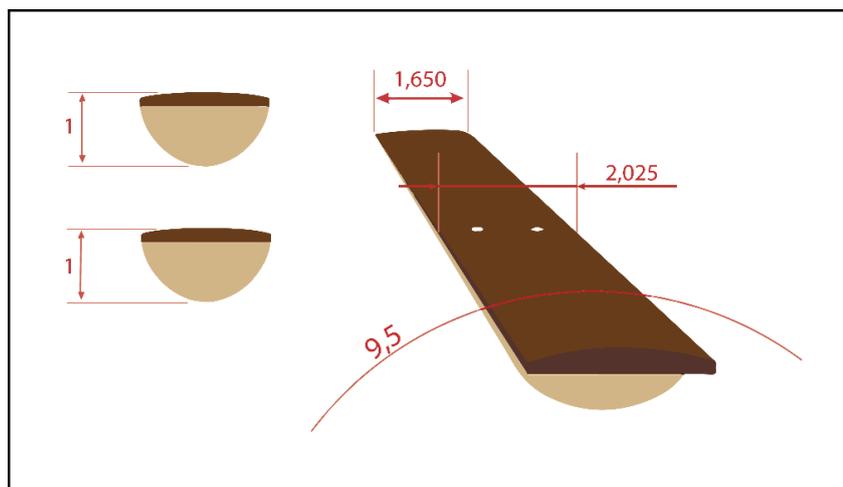


Fig. 35 Dimensiones de mástil con perfil Boatneck

Anchura en la cejuela: 1,650" (41,91 mm)

Anchura en el 12º traste: 2,025" (51,435 mm)

Grosor en la cejuela: 1" (25,4 mm)

Grosor en el 12º traste: 1" (25,4 mm)

Radio del diapasón: 9,5" (241,3 mm)

Guitarras que lo equipan: Vintage Telecaster® '52

59 ROUNDBACK

Perfil popularizado por las primeras Les Paul® de Gibson® de finales de los 50.



Fig. 36 Perfil Roundback 59 y ejemplo de guitarras que lo equipan (1959 Gibson® Les Paul®; PRS®)

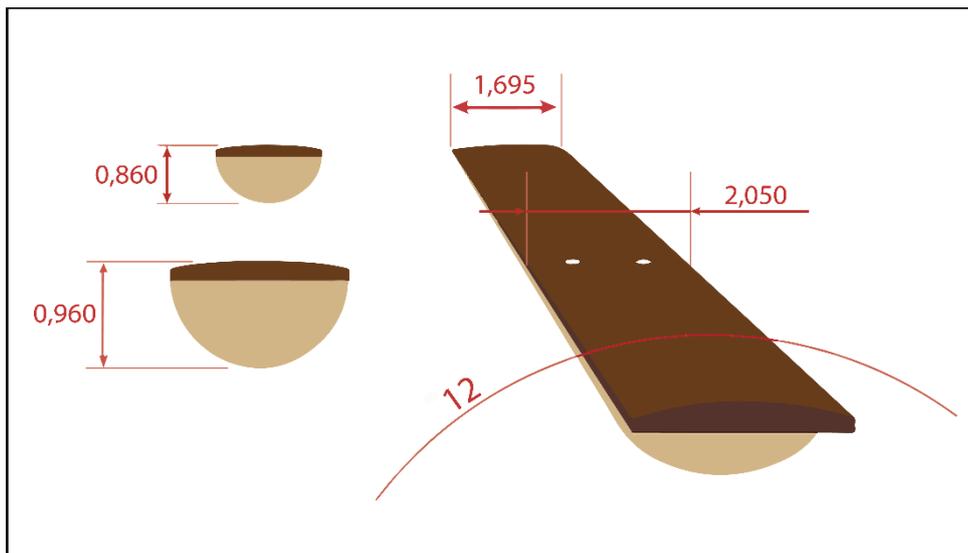


Fig. 37 Dimensiones de mástil con perfil 59 Roundback

Anchura en la cejuela: 1,695" (43,053 mm)

Anchura en el 12º traste: 2,050" (52,07 mm)

Grosor en la cejuela: 0,860" (21,844 mm)

Grosor en el 12º traste: 0,960" (24,385 mm)

Radio del diapasón: 12" (304,8 mm)

Guitarras que lo equipan: 1959 Gibson® Les Paul®; PRS®

CLAPTON

Perfil en "V" suave popularizado por el guitarrista Eric Clapton.



Fig. 38 Perfil Clapton y ejemplo de guitarra que lo equipa (Early Fender® Eric Clapton signature Stratocaster®)

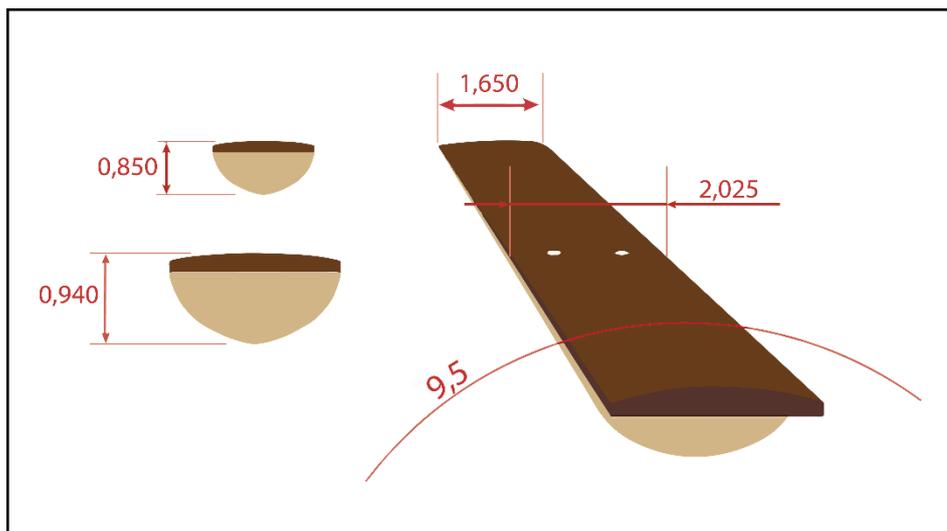


Fig. 39 Dimensiones de mástil con perfil Clapton

Anchura en la cejuela: 1,650" (41,91 mm)

Anchura en el 12° traste: 2,025" (51,435 mm)

Grosor en la cejuela: 0,850" (21,59 mm)

Grosor en el 12° traste: 0,940" (23,876mm)

Radio del diapasón: 9,5" (241,3 mm)

Guitarras que lo equipan: Early Fender® Eric Clapton signature Stratocaster®

WIZARD

Perfil delgado y plano que se hizo popular en los años 80 y sigue siéndolo en la actualidad. Permite un movimiento rápido por el mástil y facilita el acceso al diapasón.



Fig. 40 Perfil Wizard y ejemplo de guitarra que lo equipa (Ibanez® Wizard II)

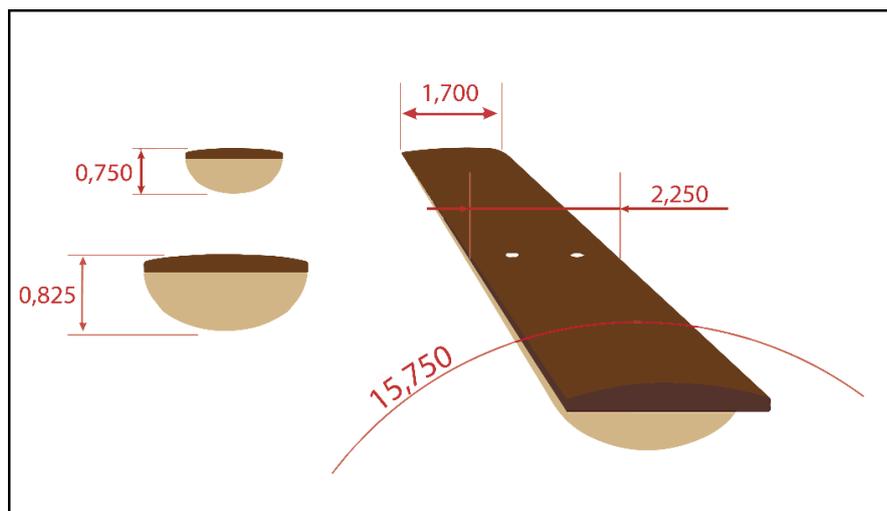


Fig. 41 Dimensiones de mástil con perfil Wizard

Anchura en la cejuela: 1,700" (43,18 mm)

Anchura en el 21° traste: 2,250" (57,15 mm)

Grosor en la cejuela: 0,750" (19,05 mm)

Grosor en el 12° traste: 0,825" (20,955 mm)

Radio del diapasón: 15,75" (400,05 mm)

Guitarras que lo equipan: Ibanez® Wizard II

SRV

Perfil asimétrico popularizado por el guitarrista Stevie Ray Vaughn. Es más redondo en el lado del pulgar y más delgado en el lado opuesto, lo que le da una agradable sensación de contacto con palma de la mano, a la vez que proporciona fácil acceso al diapasón.



Fig. 42 Perfil SRV y ejemplo de guitarra que lo equipara (Early Fender® Stevie Ray Vaughan signature Stratocaster®)

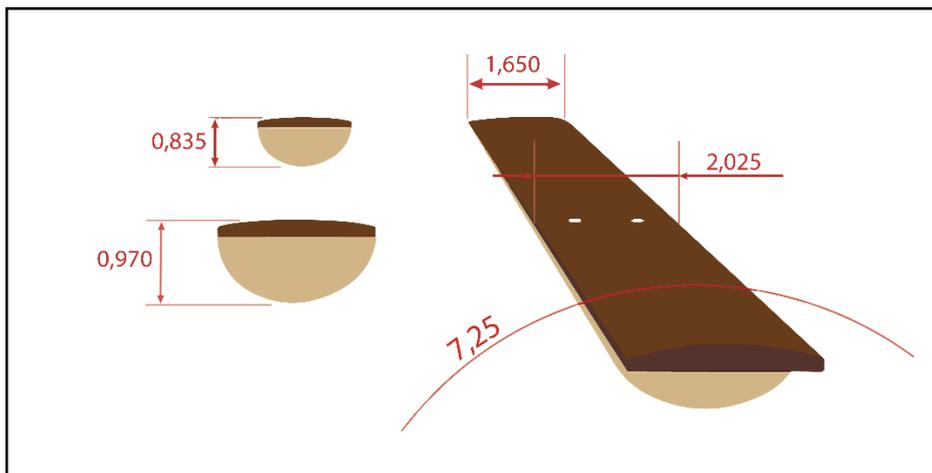


Fig. 43 Dimensiones de mástil con perfil SRV

Anchura en la cejuela: 1,650" (41,91 mm)

Anchura en el 21º traste: 2,025" (51,435 mm)

Grosor en la cejuela: 0,835" (21,209 mm)

Grosor en el 12º traste: 0,970" (24,938 mm)

Radio del diapasón: 7,25" (184,15 mm)

Guitarras que lo equipan: Early Fender® Stevie Ray Vaughan signature Stratocaster®

WOLFGANG

Perfil asimétrico popularizado por Eddie Van Halen. Al igual que el SRV, es más redondo en el lado del pulgar y más delgado en el lado opuesto. Permite un agarre rápido y firme. Comparado con el SRV, es más delgado y está más descentrado. Otra característica de este perfil es que su diapasón no es de radio constante, si no que va aumentando a medida que avanza el mástil. De este modo, al ser más plano en la zona aguda, facilita la ejecución de solos y punteos. Por el contrario, al ser más redondeado en la zona de graves facilita la ejecución de las partes rítmicas de la pieza musical.



Fig. 44 Perfil Wolfgang y ejemplo de guitarra que lo equipa Peavey® Wolfgang®)

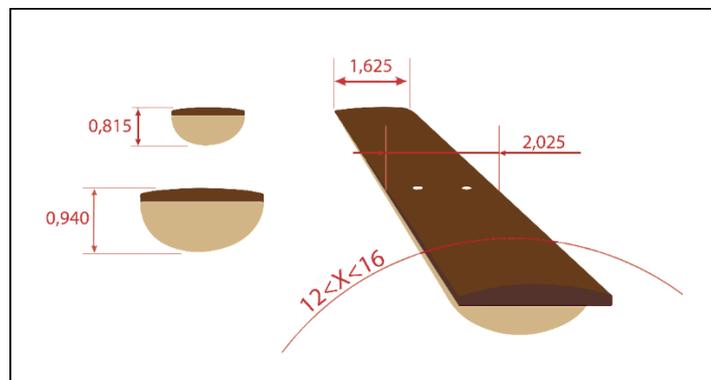


Fig. 45 Dimensiones de mástil con perfil Wolfgang

Anchura en la cejuela: 1,625" (41,275 mm)

Anchura en el 21° traste: 2,025" (51,435 mm)

Grosor en la cejuela: 0,815" (20,701 mm)

Grosor en el 12° traste: 0,940" (23,876 mm)

Radio del diapasón: variable; $12" \leq \text{Radio} \leq 16"$ (304,8 mm \leq Radio \leq 152,4 mm)

Guitarras que lo equipan: Peavey® Wolfgang® [11]

A modo de conclusión de este apartado, se muestra un gráfico comparativo de los perfiles analizados.

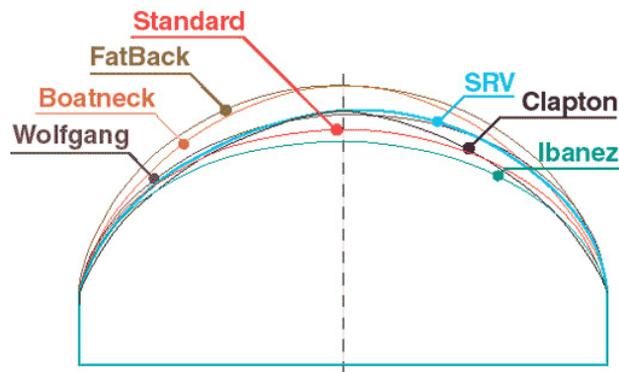


Fig. 46 Gráfico comparativo de los perfiles analizados

2.2.1.2. Análisis según la escala.

A continuación, haremos una recopilación de las guitarras más representativas del mercado que formen un abanico de escalas lo más amplio posible, con el fin de establecer el intervalo de escalas que ofrece dicho mercado. La recopilación la ilustraremos mediante un pictograma realizado con el software de diseño gráfico *Adobe Illustrator*.

Recordemos que la escala está determinada por la distancia entre la selleta del puente (punto de apoyo de las cuerdas) y la cejuela.

Para la realización del pictograma se han recopilado las imágenes de cada uno de los modelos, asegurándonos de que estas mantengan la proporción con el tamaño real de la guitarra para que el gráfico sea fiel a la realidad. Una vez obtenidas todas las imágenes de las guitarras, se colocan en el pictograma ajustando su selleta a la línea cero de la escala. Después se colocarán rectas guías a la altura de cada valor de las escalas (las cuales debemos conocer previamente), apoyándonos de las reglas del programa. Por último, manteniendo las selletas fijas a la línea cero, ampliaremos proporcionalmente cada imagen hasta que la cejuela coincida con la guía asociada al valor correspondiente de la escala de la guitarra.

Mediante este pictograma, además de darnos una idea gráfica fiel de los tamaños que podemos encontrar en el mercado, podemos conocer el intervalo en el cual están comprendidos los valores de las escalas existentes en el mercado ($22,5'' \leq \text{Escala} \leq 28,625''$).



Fig. 47 Pictograma de escalas del mercado

Como conclusión de este apartado, el análisis de los modelos de mástiles más representativos del mercado se ha realizado un gráfico en el que se representan los rangos que abarcan los valores de los parámetros analizados.

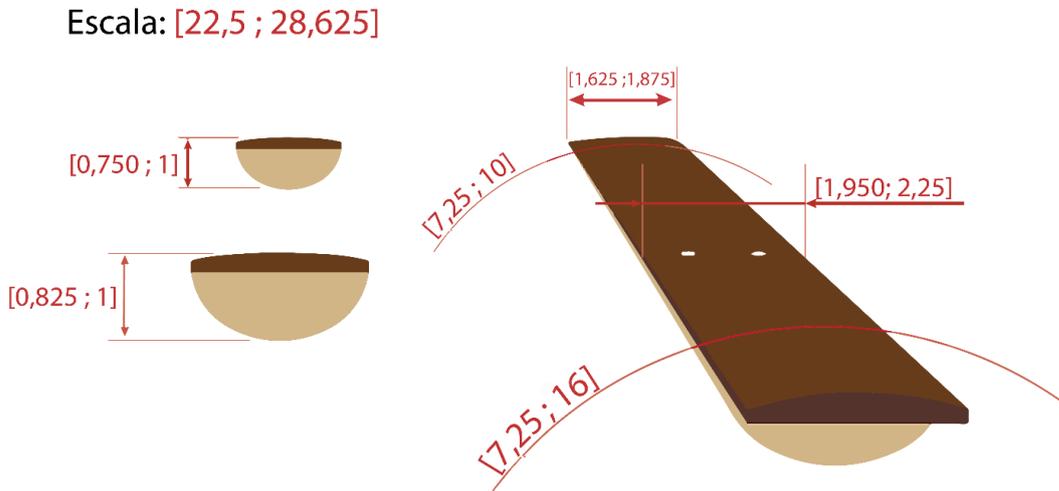


Fig. 48 Rangos de los valores de los parámetros analizados

2.2.2. Análisis de modelos de guitarras físicas.

Un análisis tangible de distintos modelos de guitarras nos ayudará a conocer mejor las superficies que componen los mástiles, así como los parámetros que las definen, los elementos constructivos, la construcción del mástil, materiales, etc.

Los valores de los parámetros los obtendremos de las mediciones realizadas con un calibre.

FENDER SQUIRE



Escala: 648 mm

Perfil: Standard "C"

Anchura en la cejuela: 41,18 mm

Anchura 12° traste: 51,12 mm

Grosor en la cejuela: 22,8 mm

Grosor 12° traste: 23,2 mm

Espacio de las cuerdas en la cejuela: 35 mm

Espacio de las cuerdas en la selleta: 53 mm

Fig. 49 Fender Squier



Fig. 50 Toma de medidas con calibre

En este modelo la unión del cuerpo al mástil es atornillada, lo cual permite su despiece como ya vimos en el apartado de análisis de campo.



Fig. 51 Desmontaje de la unión mástil-cuerpo de la Fender Squire

A continuación, reflejaremos mediante algunas fotografías el análisis de las superficies, elementos constructivos, materiales, etc.

Prestaremos especial atención a las superficies de transición entre el cuerpo del mástil y el empotramiento y la pala. También tomaremos otros valores como el grosor del borde del diapasón (3 mm), el grosor de la pala (15 mm), grosor del empotramiento (27 mm), etc.



Fig. 52 Detalles constructivos del modelo Fender Suire

GIBSON LES PAUL



Fig. 53 Gibson Les Paul

Escala: 628 mm

Perfil: 59 Roundback

Anchura en la cejuela: 43 mm

Anchura 12° traste: 52,7 mm

Grosor en la cejuela: 21 mm

Grosor 12° traste: 25 mm

Grosor de la pala: 15 mm

Grosor del empotramiento: 45 mm

Ángulo de la pala: 15°

Espacio de las cuerdas en la cejuela: 36,7 mm

Espacio de las cuerdas en la selleta: 52 mm

En este modelo la unión mástil-cuerpo está encolada, por lo que no permite su desmontaje. La pala forma un ángulo respecto al diapasón. Otro aspecto

importante es que el mástil también forma cierto ángulo con el cuerpo. Todo su contorno está compuesto por el binding.



Fig. 54 Detalles del modelo Gibson Les Paul

EPIPHONE ES 175

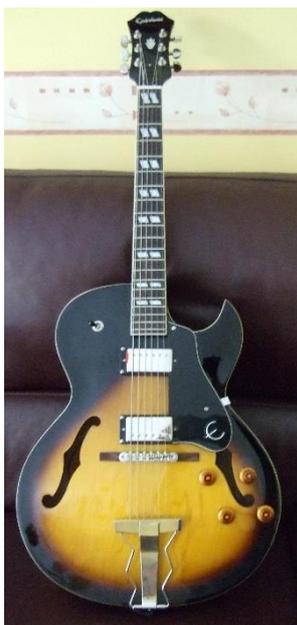


Fig. 55 Epiphone ES 175

Escala: 628 mm

Perfil: 59 Roundback

Anchura en la cejuela: 43 mm

Anchura 12° traste: 52,2 mm

Grosor en la cejuela: 22 mm

Grosor 12° traste: 26 mm

Grosor de la pala: 15,5 mm

Grosor del empotramiento: 50 mm

Ángulo de la pala: 15°

Espacio de las cuerdas en la cejuela: 35,5 mm

Espacio de las cuerdas en la selleta: 51,6mm



Fig. 56 Detalles del modelo Epiphone ES 175

Como era de esperar, mediante este análisis tangible de los modelos expuestos en este apartado hemos podido confirmar que los valores de los parámetros se encuentran dentro de los rangos establecidos por el mercado, analizados en el apartado anterior.

2.2.3. Páginas Web de guitarras eléctricas customizadas.

Customizar es un verbo que no forma parte del diccionario de la Real Academia Española (RAE) pero que, sin embargo, tiene un uso bastante frecuente en nuestra lengua. Se trata de una adaptación del término inglés *customize*, que se refiere a modificar algo de acuerdo con las preferencias personales.

Puede decirse, por lo tanto, que customizar un objeto es lo mismo que personalizarlo (adaptarlo a nuestro gusto). La noción de customizar es frecuente en el ámbito del marketing.

Entonces, una página web de guitarras custom es aquella que nos permite la modificación de las propiedades de una guitarra con el fin de poder adquirirla adaptada a nuestros gustos sonoros, estéticos, ergonómicos, etc.

En compañías con un proceso de producción altamente estandarizado, como son las grandes marcas del sector (Fender, Gibson, Yamaha...), es común que sean escasas las propiedades que podamos modificar, teniendo siempre como base sus modelos. Por otro lado, están las compañías que tienen un abanico de elecciones más amplio ya que no están ceñidas a modelos propios, si no que generan las guitarras basándose principalmente en el criterio personal de cada cliente. Los costes y tiempos de entrega de las guitarras de este segundo tipo de personalizaciones suelen ser muy superiores, ya que requieren de procesos de fabricación personalizados.

A continuación, analizaremos algunas de las webs de customizado más populares.

FENDER SHOP

Partiendo de uno de sus modelos básicos, en cuanto a la geometría del mástil se refiere, Fender nos permite elegir únicamente entre tres tipos de perfil. Estos perfiles son: el perfil por defecto o estándar del modelo, un perfil que evoluciona de “C” a “D” y una variante del perfil en “C”. [16]

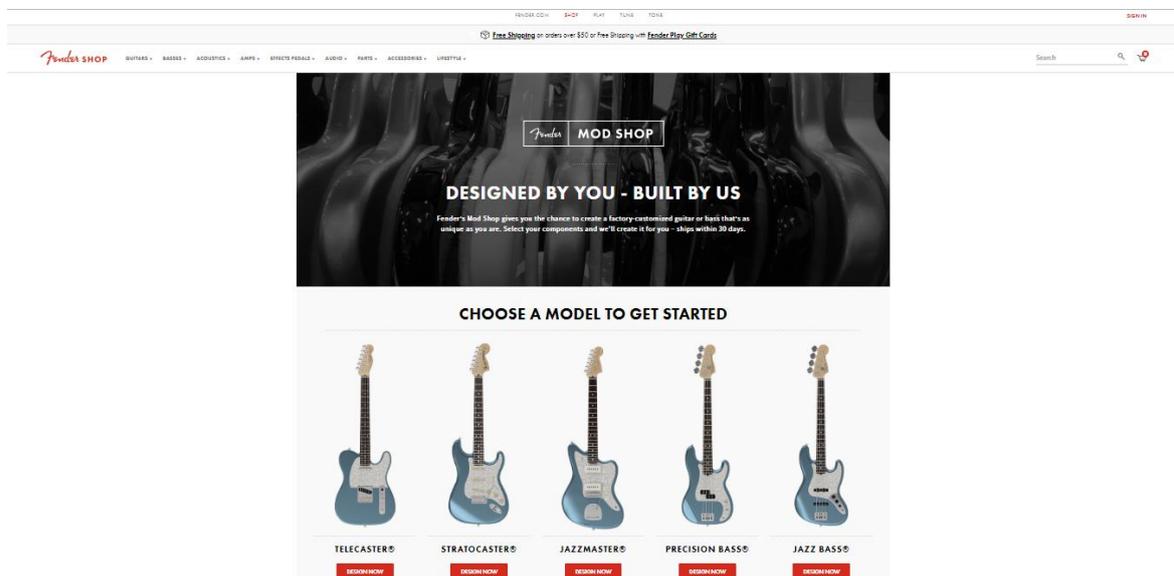


Fig. 57 Interfaz de la pantalla de inicio de Fender Shop

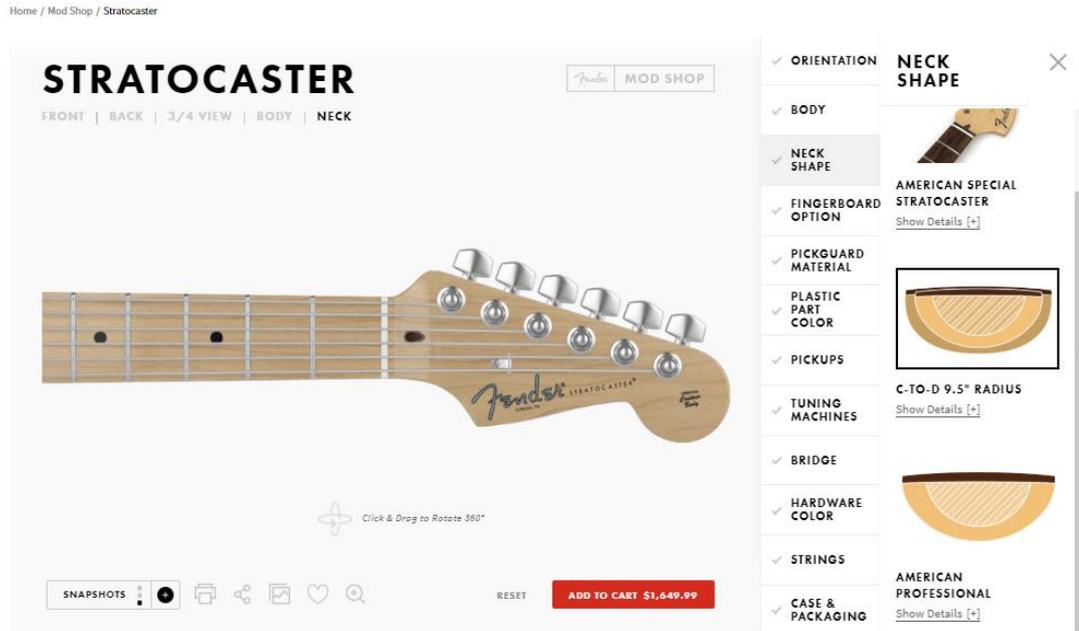


Fig. 58 Interfaz de la herramienta de customizado de Fender Shop

También, la tienda online estándar nos permite filtrar el catálogo según el perfil de mástil que deseemos.

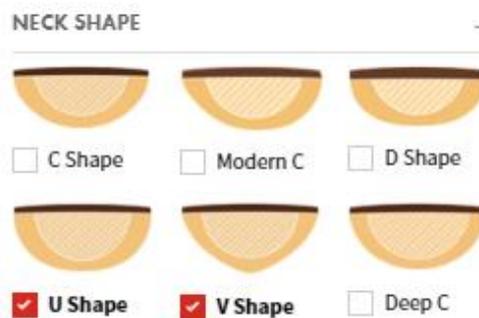


Fig. 59 Filtrado según la forma del perfil en Fender Shop

WARMOTH CUSTOM GUITARS

Watmoth es una compañía especializada en la fabricación de guitarras y bajos personalizados. De entre las páginas analizadas, su web es una de las que más opciones de personalización oferta, además, permite la personalización centrada exclusivamente en mástiles de guitarra (de unión atornillada). A continuación, analizaremos esta opción de personalización. [12]

En primer lugar, la interfaz nos solicita que escojamos un estilo de mástil, el cual condiciona el modelo de pala.

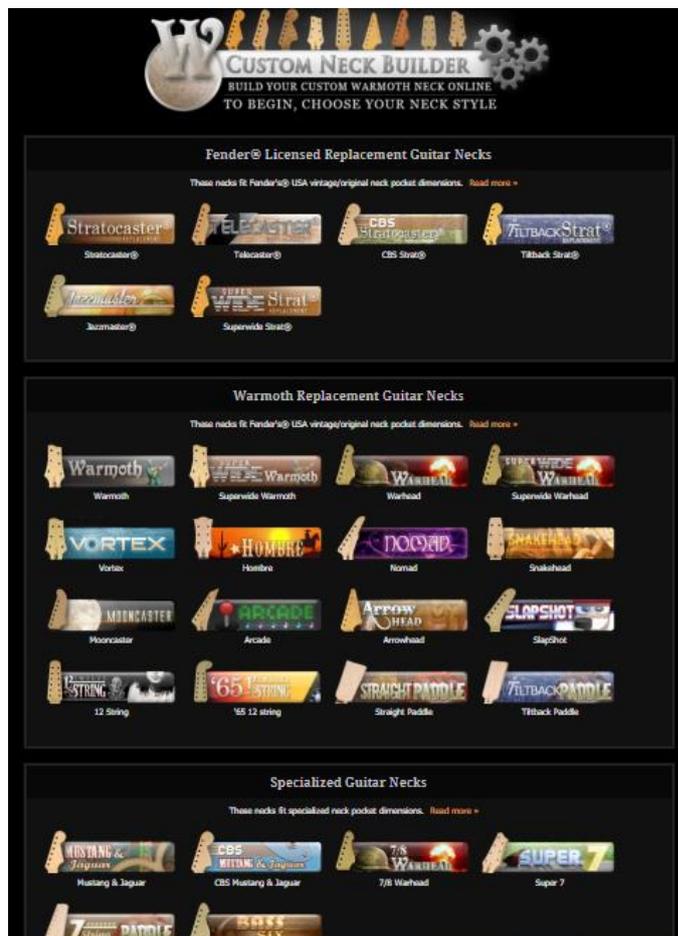


Fig. 60 Interfaz inicial de la herramienta de customizado de Warmoth Custom Guitars

Una vez elegido el modelo de partida, iremos seleccionando en orden el resto de parámetros, los cuales irán condicionando los parámetros posteriores.

- 1) Construcción: Define el estilo de la barra de refuerzo.



Fig. 61 Interfaz de la herramienta de customizado de Warmoth Guitar Custom (I)

- 2) Madera: Tipo de madera para el cuerpo del mástil y para el diapasón.
- 3) Estática de la madera del diapasón.

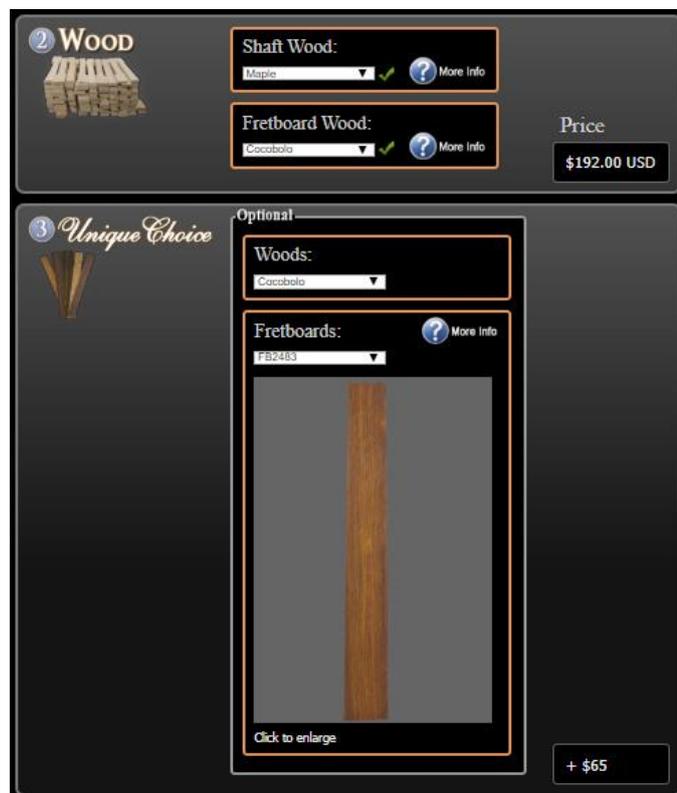


Fig. 62 Interfaz de la herramienta de customizado de Warmoth Guitar Custom (II)

- 4) Anchura de la cejuela: Nos permiten las opciones de 41, 43, 44 y 48 mm
- 5) Modelo para diestros o para zurdos: Esta opción únicamente cambiará la orientación de la pala.
- 6) Tipo de perfil: Las opciones son “Standard Thin”, “Fatback”, “Boatneck”, “59 Roundback”, “Clapton”, “SRV” y “Wolfgang”.
- 7) Radio del diapasón: Con un rango de [9” ; 16”] ([228,6 mm ; 406,4 mm]).

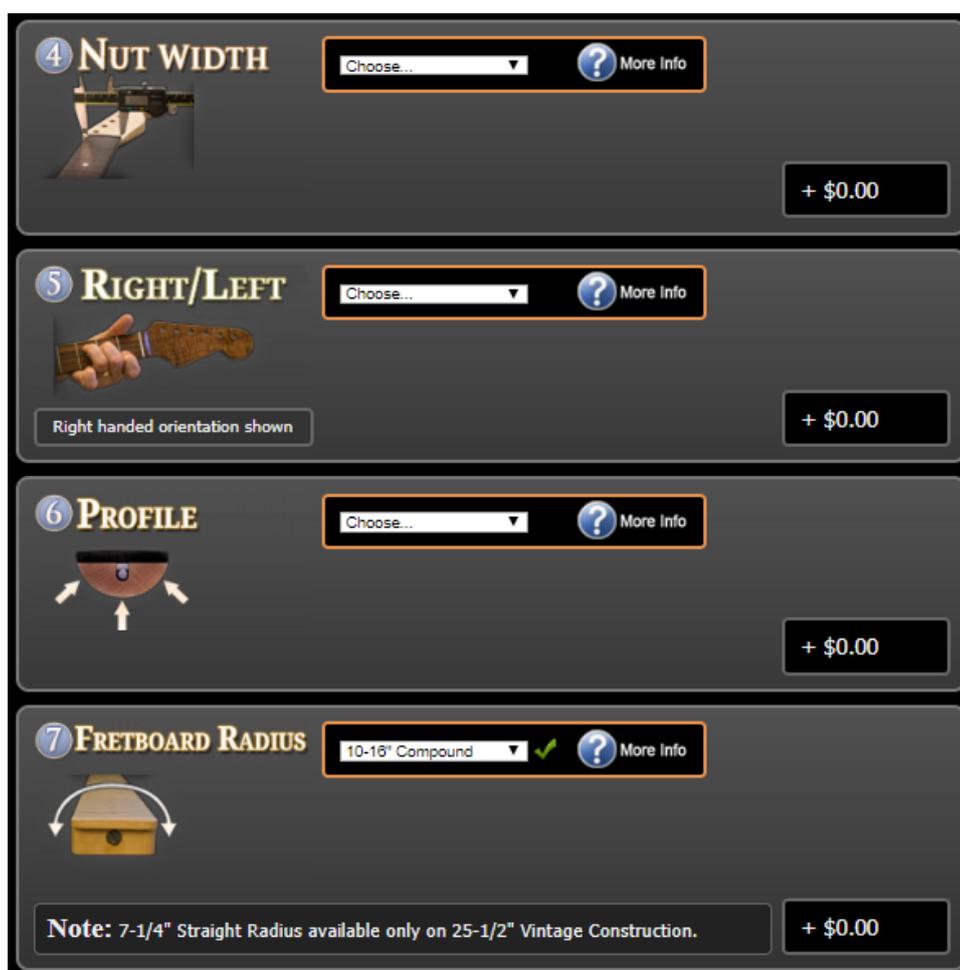


Fig. 63 Interfaz de la herramienta de customizado de Warmoth Guitar Custom (III)

- 8) Número de trastes: 21, 22, o 24 trastes.
- 9) Scalloping: Consiste en lijar los trastes para darles una forma cóncava para reducir la fricción de los dedos en el diapasón. En una característica exclusiva de las guitarras de construcción moderna.
- 10) Binding: Contorno en el mástil.
- 11) Tamaño de las varillas de los trastes.

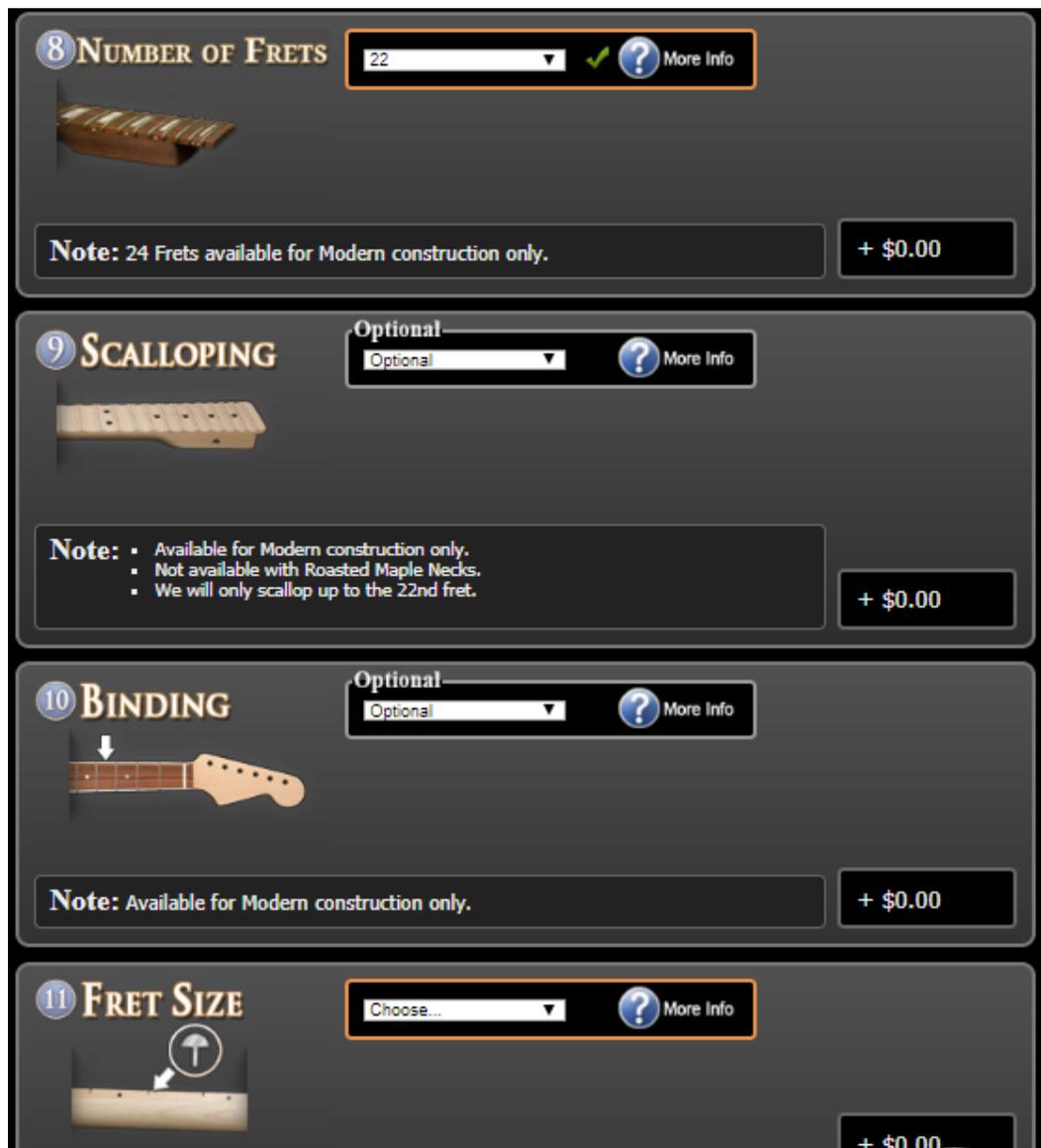


Fig. 64 Interfaz de la herramienta de customizado de Warmoth Guitar Custom (IV)

- 12) Diámetro de los agujeros de las clavijas. De este modo se adaptarán a las clavijas que deseemos incorporar en el mástil.
- 13) Inlay: En este paso escogeremos la estética de las marcas que indican el número de traste.
- 14) Cejuela: Elección de la pieza en la que apoyan las cuerdas en la cejuela.
- 15) Agujeros de montaje: Nos dan la opción de adquirir el mástil con o sin mecanizar los taladros para el atornillado.

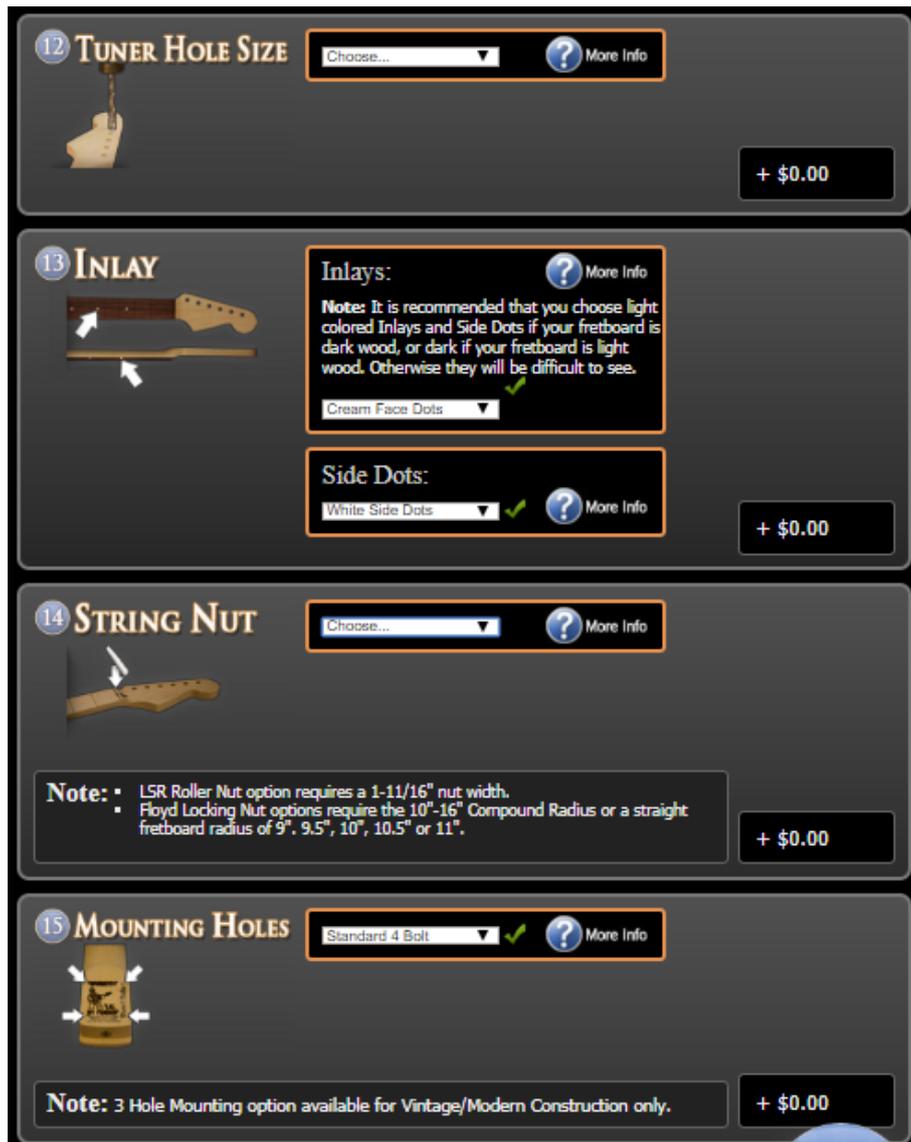


Fig. 65 Interfaz de la herramienta de customizado de Warmoth Guitar Custom (V)

- 16) Acabado: Tipo de acabado de la superficie final.

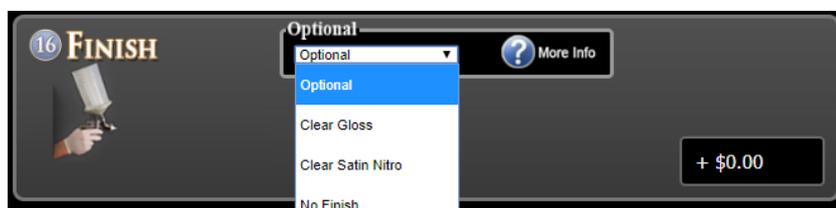


Fig. 66 Interfaz de la herramienta de customizado de Warmoth Guitar Custom (VI)

Se puede apreciar como todos los valores ofrecidos se mueven dentro de los rangos establecidos en el análisis de los modelos representativos. Un aspecto negativo de esta página web es que no nos muestran una imagen que ilustre el resultado final del mástil customizado.

3. REQUISITOS FUNDAMENTALES

Este apartado podría considerarse una conclusión de todo el estudio expuesto anteriormente; además fijará las bases del diseño que se va a realizar. En él, se detallará el briefing⁴, donde se describen los requisitos fundamentales.

3.1. BRIEFING

El mástil debe soportar y mantener recto el diapasón y guiar la mano a lo largo de este, permitiendo que los dedos pisen las cuerdas para obtener la nota deseada. La forma de la superficie del mástil será la responsable de que este manejo sea lo más cómodo y fluido posible.

Las investigaciones han permitido obtener requisitos a nivel práctico y ergonómico.

En el modelado de la superficie de nuestro mástil de guitarra eléctrica debemos conseguir que dicho modelo:

1. Cubra las condiciones funcionales y ergonómicas del mayor percentil de usuarios posible.
Deberá poder adquirir geometrías que se adapten a la forma de la mano mediante la variación de sus parámetros y formas.
2. No altere las cualidades sonoras del instrumento.
O al menos deberán poder ser contrarrestadas por otras variaciones para evitar que se modifiquen. Por ejemplo, si cambiamos la longitud del mástil tendremos que tener en cuenta que deberemos variar la tensión o calibre de las cuerdas para que el sonido se mantenga constante.
3. Mantenga el mástil recto y no ceda a las sollicitaciones mecánicas.
Para ello deberá contar con los valores dimensionales mínimos observados en el mercado, que, junto con una barra de refuerzo apropiada, contrarresten la tensión de las cuerdas.

⁴ El briefing consiste en un documento de partida que recoge la información inicial más relevante, en este caso los requerimientos del diseño.

4. Esté parametrizado.
Es decir, el diseño debe estar optimizado mediante fórmulas y relaciones entre los elementos, que provoquen la modificación controlada y automatizada de la superficie.

5. Facilite la modificación controlada e intuitiva de sus parámetros.
El modelo deberá estar sincronizado con una interfaz destinada a albergar los valores de los parámetros del modelo y que permita la modificación libre y controlada de estos. Para ello contará con indicaciones y gráficos, además de estar limitada a unos rangos de valores determinados.

6. Tenga presente su futura producción.
En el proceso de modelado se tendrán en cuenta los futuros procesos y tiempos de producción, adaptación a los materiales y el posible desperdicio de estos, etc.

7. Se adapte a varios cuerpos de guitarra.
Para ello deberá contar con un diseño que le permita ser un elemento amovible, como es el caso de los mástiles atornillados.

8. Se adapte a varios modelos de pala.
Que permita una transición en la cejuela a varias geometrías de pala.

9. Cuide la estética y diseño.
Contará con un diseño sobrio, práctico y una estética funcional.

10. Pueda alojar la barra de refuerzo.
Contará con un diseño de alojamiento de la barra de refuerzo.

4. DESARROLLO PRÁCTICO

4.1. FASE CONCEPTUAL

4.1.1. Software empleado en el desarrollo práctico.

CATIA V5 R21



Fig. 67 Logotopo Dassault Systemes, CATIA

En su página web, la compañía propietaria describe e programa del siguiente modo:

“CATIA es la solución líder en todo el mundo para la experiencia y el diseño de productos. Organizaciones líderes de distintos sectores la utilizan para desarrollar los productos que vemos y usamos en nuestra vida cotidiana.

CATIA ofrece la posibilidad única no solo de modelar cualquier producto, sino de hacerlo en el contexto de su comportamiento en la vida real: diseño en la era de la experiencia. Los arquitectos de sistemas, los ingenieros, los diseñadores y todos sus colaboradores pueden definir el mundo que nos conecta, imaginarlo y darle forma.” [26]

CATIA nos permitirá modelar las superficies que forman el mástil partiendo de un diseño alámbrico⁵, asociar las dimensiones a parámetros relacionados entre sí mediante fórmulas, sincronizar estos parámetros con los valores introducidos en una tabla de datos de Microsoft Excel para realizar modificaciones controladas de forma automática y, finalmente, nos permitirá generar un sólido a partir de dicha superficie.

⁵ Diseño alámbrico: Diseño formado por alambres, es decir, elementos geométricos cuya definición geométrica es lineal, incluidos los planos.

MICROSOFT OFFICE EXCEL



Fig. 68 Logotipo Microsoft Office Excel

Nos permitirá generar una tabla de datos en la cual ingresaremos los valores asociados a los parámetros del modelo en CATIA. Será en Excel donde estableceremos los límites de estos valores. Habrá valores que deberemos asociar la forma de perfil escogida, por lo que necesitaremos generar códigos en C para asociar dichas formas a los valores de los que dependen sus geometrías. Esto lo conseguiremos mediante la extensión para Excel: MICROSOFT VISUAL BASICS FOR APLICATIONS.

MICROSOFT VISUAL BASICS FOR APLICATIONS



Fig. 69 Logotipo Microsoft VBA

Microsoft VBA (Visual Basic para aplicaciones) es el lenguaje de macros de Microsoft Visual Basic que se utiliza para programar aplicaciones Windows y que se incluye en varias aplicaciones Microsoft. VBA permite a usuarios y programadores ampliar la funcionalidad de programas de la suite Microsoft Office.

4.1.2. Conceptos base para el desarrollo práctico.

Los conceptos base serán los pilares en los cuales se apoyará el desarrollo del modelado. Dichos pilares son el fruto del análisis de superficies de mástiles de guitarras eléctricas realizado hasta este punto y tienen como base los objetivos marcados en el briefing.

4.1.2.1. Parámetros cuantitativos.

Los parámetros cuantitativos, es decir, las dimensiones que utilizaremos para definir el diseño alámbrico básico de la superficie del cuerpo del mástil serán los parámetros de valor numérico analizados en el marco teórico de este proyecto. Los podemos dividir en parámetros directos y parámetros indirectos. Los parámetros directos serán aquellos parámetros cuyos valores serán obtenidos de la tabla de datos Excel. Los parámetros indirectos son aquellos que obtendremos a partir de los parámetros directos mediante una operación de cálculo.

Parámetros directos: escala, anchura en la cejuela, grosor en la cejuela, grosor en el 12º traste y radio del diapasón.

Parámetros indirectos: Posición 12º traste, Anchura del 12º traste y la longitud del cuerpo del mástil.

Como se ha comentado anteriormente, estas son las dimensiones necesarias para conseguir un diseño alámbrico básico de partida. Al ser un diseño totalmente parametrizado, el resto de dimensiones necesarias para obtener la geometría final serán parámetros indirectos secundarios que obtendremos a partir de los parámetros básicos anteriores y que modificarán sus valores de forma automática a medida que lo hagan dichos parámetros básicos.

Deberemos acotar en rangos los valores de los parámetros directos para evitar que se soliciten valores desproporcionados o que puedan comprometer el comportamiento mecánico del mástil. Como límites de dichos rangos emplearemos los observados en el análisis de mercado, ya que, al formar parte de dicho mercado, tienen demostrada su viabilidad funcional en conjunto con la barra de refuerzo oportuna.

Por lo tanto, los rangos de los valores (en mm) serán los indicados en la siguiente figura.

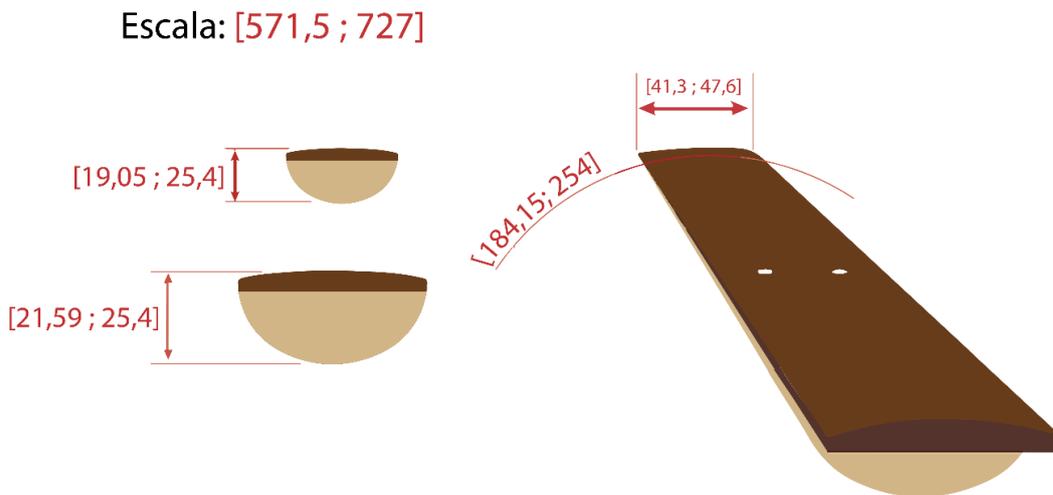


Fig. 70 Rangos de valores para el desarrollo práctico

A continuación, explicaremos y definiremos las fórmulas que los relacionan los parámetros indirectos básicos con los parámetros directos.

En el estudio de campo pudimos comprobar que la posición y tamaño de cada traste guardará una proporción con la escala de la guitarra. El traste 12° siempre se encontrará a mitad de escala y la longitud del mástil dependerá del número total de trastes de los que disponga. El final del cuerpo del mástil coincide con el traste 21°, por lo cual, si la guitarra contase con más trastes estos se colocarán sobre la prolongación del diapasón apoyado en el cuerpo de la guitarra.

Para nuestro modelo usaremos un mástil de 21 trastes, coincidiendo por lo tanto el final del cuerpo del mástil con el final del diapasón.

En cuanto a la anchura del diapasón, se ha podido comprobar en el marco teórico que, a la altura del 12° traste, todos los mástiles se ensanchan entorno a un 25%. Para simplificar la parametrización en nuestro modelo se ha establecido como fija dicha proporción.

Otra condición con la que debe contar el modelo será que el valor del grosor en el decimosegundo traste siempre debe de ser, dentro de los rangos establecidos, mayor o igual que el grosor en la cejuela. Esto es debido a que, además de ser incoherente una mayor sección en la zona de agudos que en la de graves, se comprometería la integridad mecánica del mástil si fuésemos disminuyendo la sección desde la cejuela al cuerpo de la guitarra.

Explicados estos conceptos, procedemos a definir las fórmulas que relacionan estos parámetros indirectos con los directos:

- Posición del 12° traste = Escala * 0.5
- Anchura en el 12° traste = Anchura de la cejuela * 1.25.
- Longitud del mástil = Posición del 22° traste = Escala * 0.72.



Fig. 71 Formulas que relacionan los parámetros indirectos con los directos

4.1.2.2. Parámetros cualitativos: Perfil del mástil.

Los parámetros cualitativos serán aquellos de carácter no numérico que necesitamos para terminar de dar forma a la estructura alámbrica de nuestro modelo. Estos parámetros serán, únicamente, las formas de los perfiles del mástil. En el estudio de campo observamos que la mayoría de los mástiles mantienen una forma de perfil constante a lo largo de su longitud, pero que también existen mástiles definidos por una transición entre dos tipos de formas de perfil, por ejemplo, forma de “V” en la cejuela y forma de “D” en el 12° traste. Con esta última morfología se conseguía un diseño más polivalente ya que, aunque requiere de una gran técnica, permite variar la forma de manejo a lo largo del mástil.

En consecuencia, para definir la superficie del modelo, se solicitarán dos perfiles: la forma del perfil en la cejuela y a la altura del 12º traste, pudiendo ser también distintas las formas en estas dos secciones.

Ahora procedemos a explicar las opciones de formas de perfil con las que contará nuestro mástil.

Según lo analizado en el marco teórico, los perfiles de la gran mayoría de mástiles se obtienen a partir de variaciones de las tres formas más comunes del mercado: Forma en “C”, en “V” y en “U”. Por lo tanto, en nuestro modelo también tomaremos como bases estos tres perfiles básicos. Concretamente, tomaremos los contornos de estas tres formas “puras” definidas por Fender. [14]

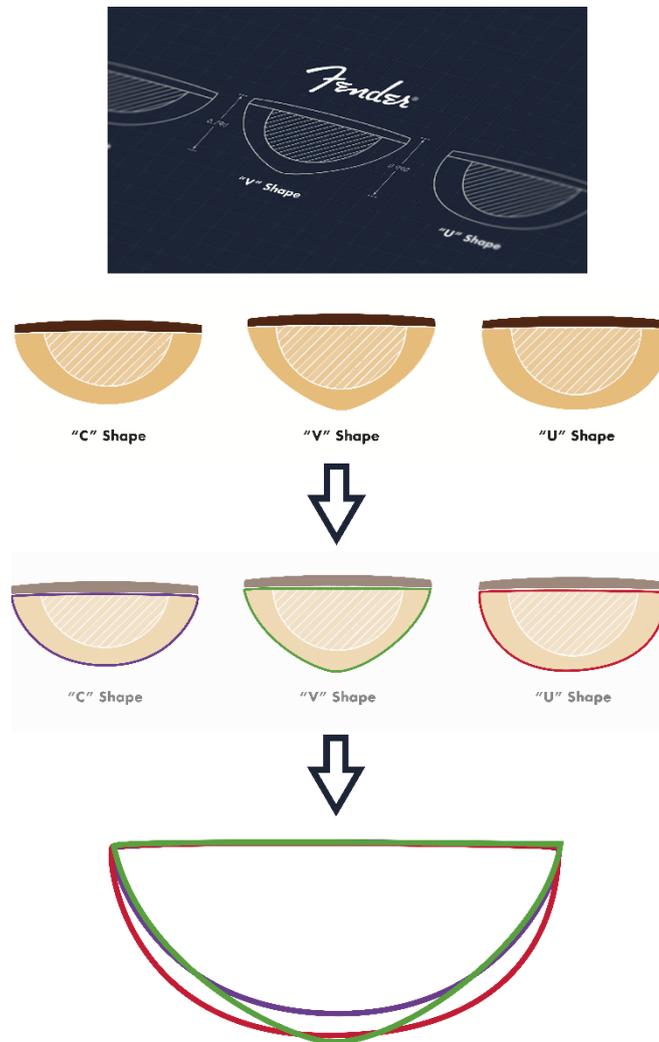


Fig. 72 Obtención de los contornos de los perfiles C, V y U definidos por Fender

Las variantes de estos perfiles, como pueden ser, por ejemplo, la forma de “C” profunda, la forma de “V” suave, forma de “U” ancha, etc., se obtendrán simplemente mediante la variación de los parámetros de anchura y grosor del mástil.

El problema que se nos plantea a ahora es el de obtener y parametrizar estos tres contornos en CATIA.

Para solucionar dicho problema, como se puede ver en la figura, dividiremos el contorno del perfil del cuerpo del mástil en 3 secciones: 2 laterales del cuerpo del mástil (morado) y el “vértice” (rojo).



Fig. 73 División del contorno del perfil

Los laterales (morado), estarán definidos por unos arcos de circunferencias. El radio y posición del centro de dichas circunferencias vendrán definidos en función de los valores de anchura y grosor del perfil.

El vértice (rojo), estará definido por una curva de conexión entre los dos arcos. La trayectoria de esta curva estará totalmente controlada mediante una continuidad en curvatura con los arcos.

De este modo, quedará un perfil perfectamente definido al acotar los puntos de conexión (aspas verdes).

Estas cotas deberán mantener una proporción con la anchura y el grosor del perfil para evitar que se pierda la forma característica deseada.

A continuación, procedemos a obtener dichas proporciones, para las cotas de cada forma de perfil, mediante un método gráfico de comparación con los contornos obtenidos anteriormente.

- Perfil en "C":

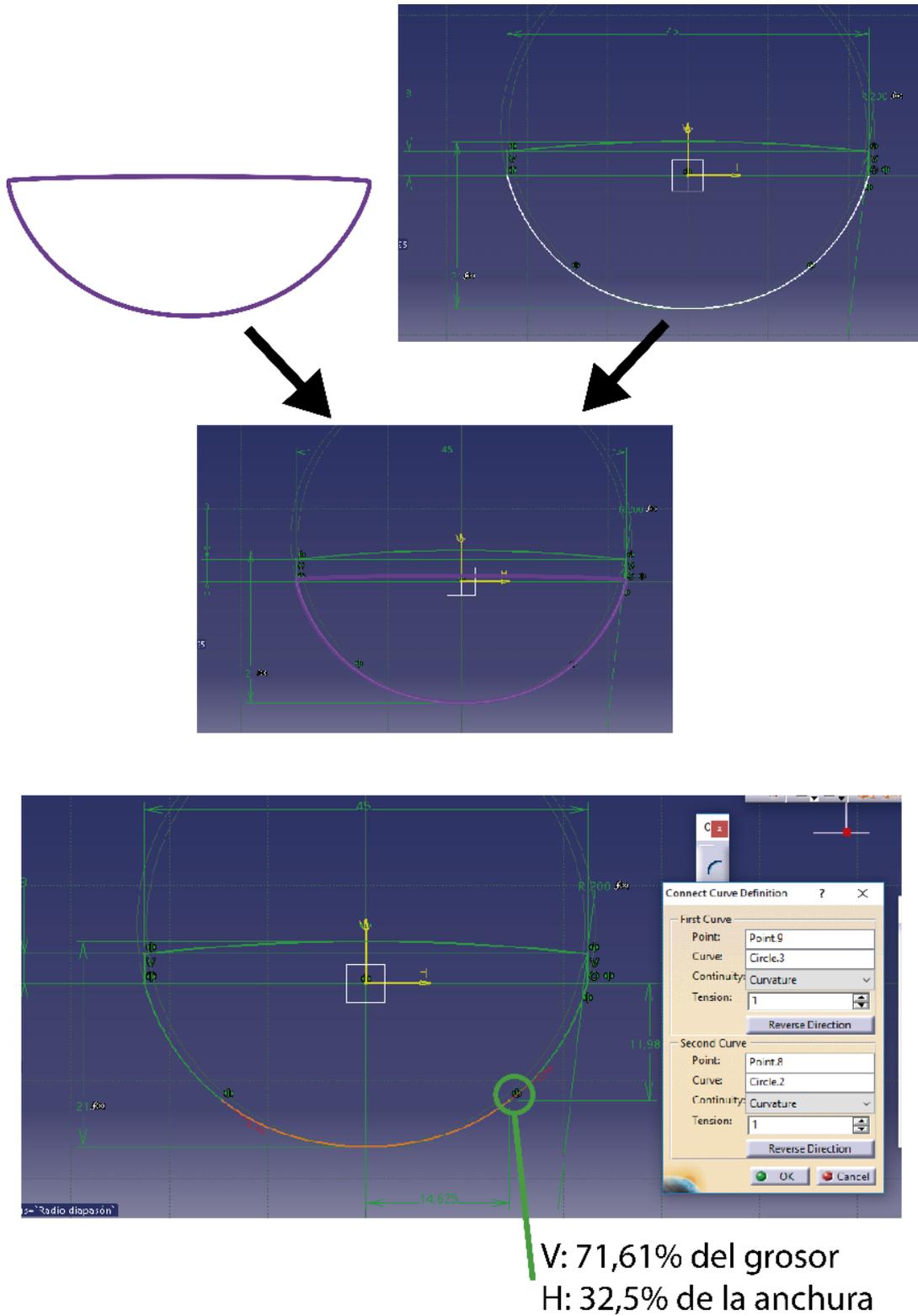


Fig. 74 Obtención de las proporciones de las cotas de los puntos de conexión respecto a las dimensiones totales de la forma del perfil en C

- Perfil en "V":

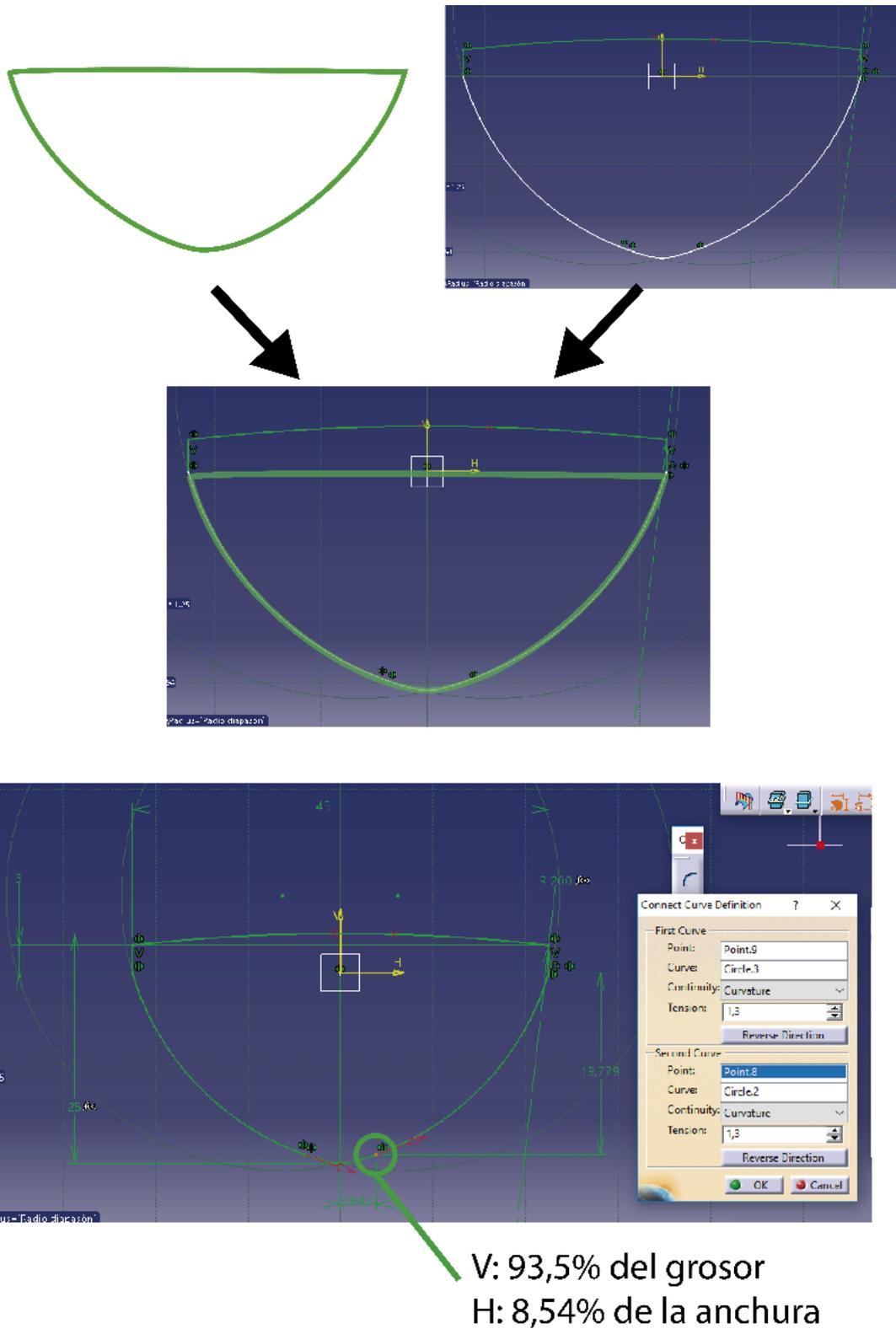
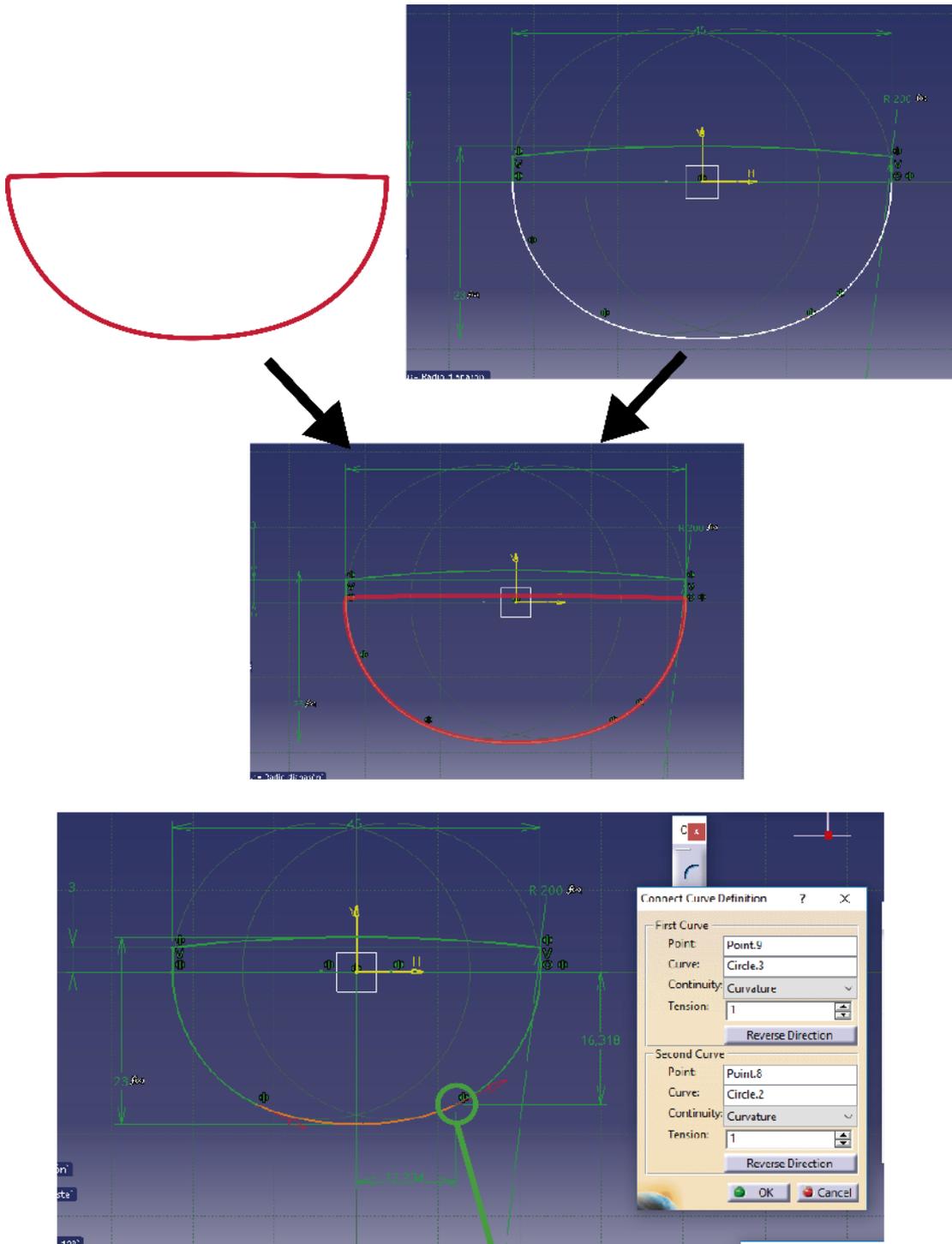


Fig. 75 Obtención de las proporciones de las cotas de los puntos de conexión respecto a las dimensiones totales de la forma del perfil en V

- Perfil en "U":



V: 87,12% del grosor
H: 27,19% de la anchura

Fig. 76 Obtención de las proporciones de las cotas de los puntos de conexión respecto a las dimensiones totales de la forma del perfil en U

Por grosor nos referimos únicamente al grosor del cuerpo del mástil, descartando el grosor del diapasón, ya que este no influye en la forma del perfil. Es decir, las cotas verticales serán proporcionales a la resultante de restar el grosor del diapasón al grosor total del perfil.

En este punto del apartado en el que nos encontramos podemos dar por definidos los parámetros que definirán el diseño alámbrico básico de la superficie del mástil.

A continuación, se explicarán los demás conceptos base de partida, necesarios para desarrollar todos los componentes el modelo.

4.1.2.3. Diapasón.

El diapasón se modelará en conjunto con el resto del mástil. Posteriormente se separará de este por medio de un corte por un plano ya que será útil tener el volumen del diapasón separado del volumen del resto del mástil.

Anteriormente hemos establecido el rango en el cual estarán comprendidos los posibles valores del radio del diapasón.

Pero mediante el análisis exhaustivo realizado sobre las superficies del mástil nos ha permitido encontrar un inconveniente en la geometría de los diapasones actuales. Dicho problema se explica a continuación.

La cara superior de los diapasones de radio constante, observados en el estudio de mercado, está formada, teóricamente, por una superficie cilíndrica que permite que el radio se mantenga constante. La altura de los laterales de estos diapasones también se mantiene constante a lo largo de la longitud del mástil.

Estas dos características provocan que la parte más ancha del diapasón (la parte más cercana al cuerpo de la guitarra) se encuentre más elevada que la parte estrecha (la más cercana a la pala), lo que provocará que la distancia

entre las cuerdas y el diapasón disminuya, lo que puede llegar a provocar el efecto denominado *trasteo*⁶.

Mediante el siguiente prototipo podemos comprobar que, en un mástil con una escala típica de 648 mm y un radio de diapasón de 200 mm, existe una diferencia de altura del diapasón de un milímetro entre la cejuela y el final del mástil, lo cual es un valor elevado teniendo en cuenta la distancia de las cuerdas al diapasón oscila entre los 2 y 3 mm.

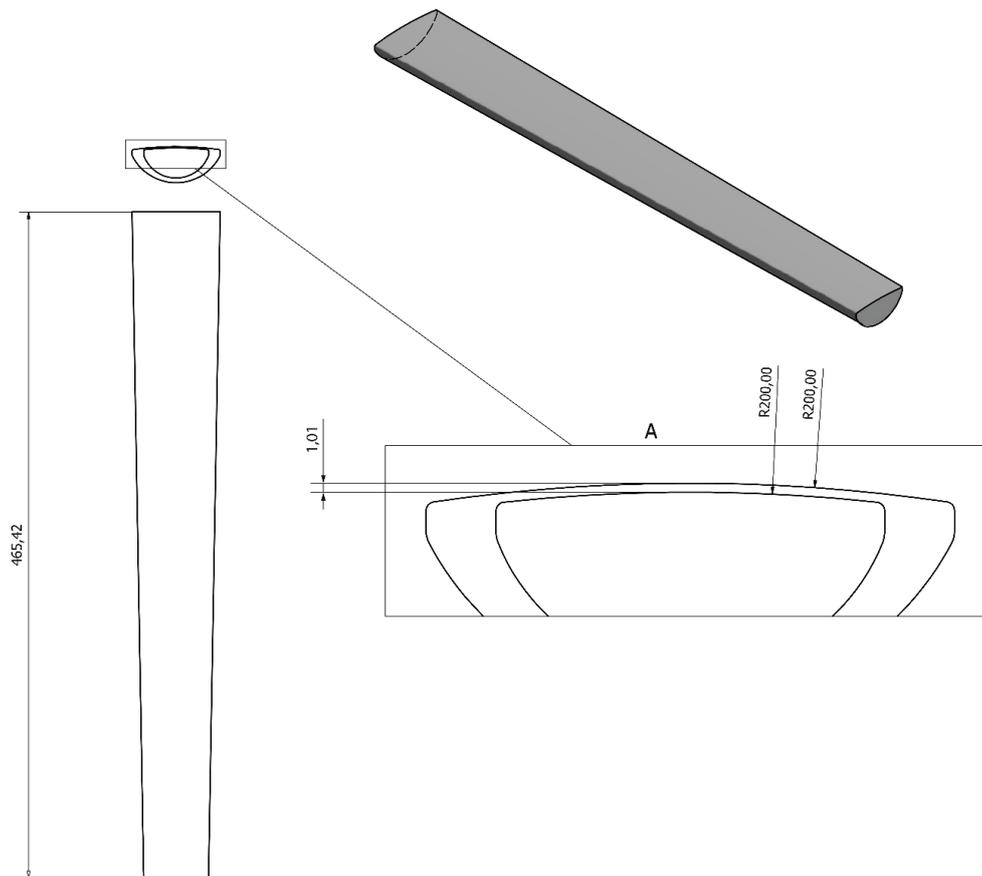


Fig. 77 Prototipo de modelo con radio y altura de diapasón constantes

⁶ Se dice que existe *trasteo* cuando las cuerdas producen un zumbido desagradable porque, al vibrar, rozan con los trastes sucesivos, que puede ser debido a que la distancia entre las cuerdas y el mástil es insuficiente o a una tensión insuficiente de las cuerdas.

Una medida que podemos tomar para solucionar parte de este defecto es hacer coincidir en altura el límite de la cejuela y del final del mástil. De este modo el radio variaría aumentando considerablemente. Pasaríamos a tener un radio variable, es decir, una superficie cónica. El inconveniente de esta medida es que, como podemos apreciar mediante el siguiente prototipo, seguiríamos teniendo diferentes alturas en los laterales del diapasón, evitándose el trasteo en la zona central pero no en dichos laterales.

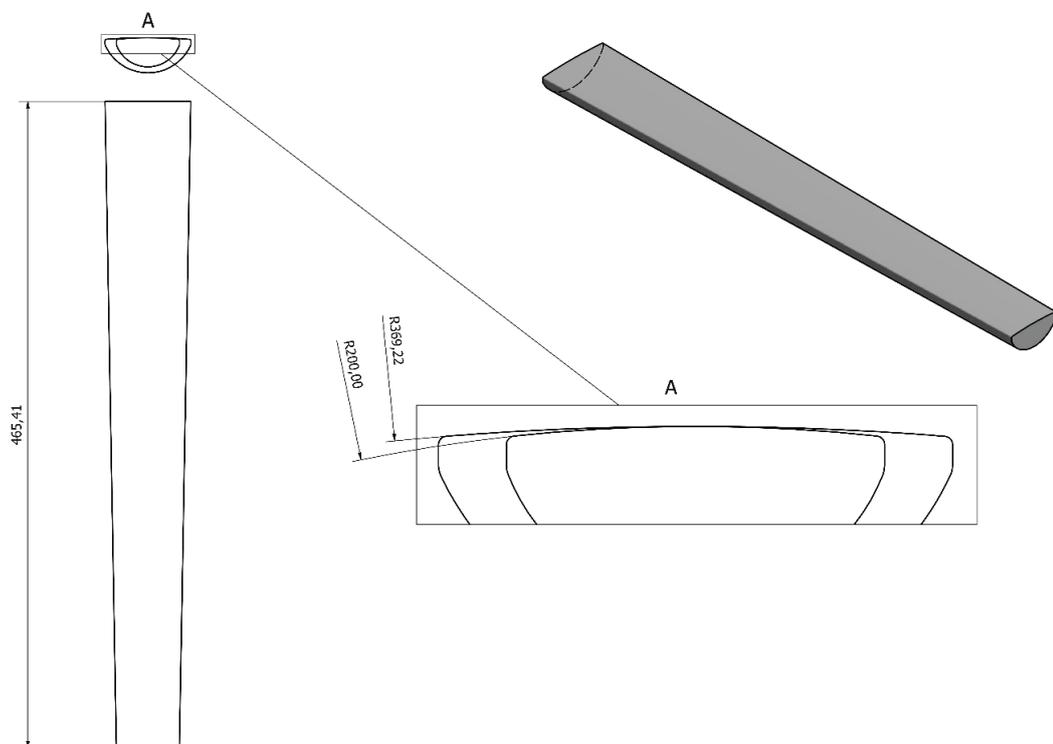


Fig. 78 Prototipo de modelo con radio de diapason variable y altura de diapason constantes

Para corregir por completo esta diferencia de altura en el diapason, deberemos mantener el radio constante y lo que deberá ser variable será la altura de los laterales del diapason. De esta forma podremos anular por completo la diferencia de altura en la cara superior del diapason, pasando esta diferencia de altura de 1 mm a las caras laterales, como podemos ver en la ilustración del siguiente prototipo.

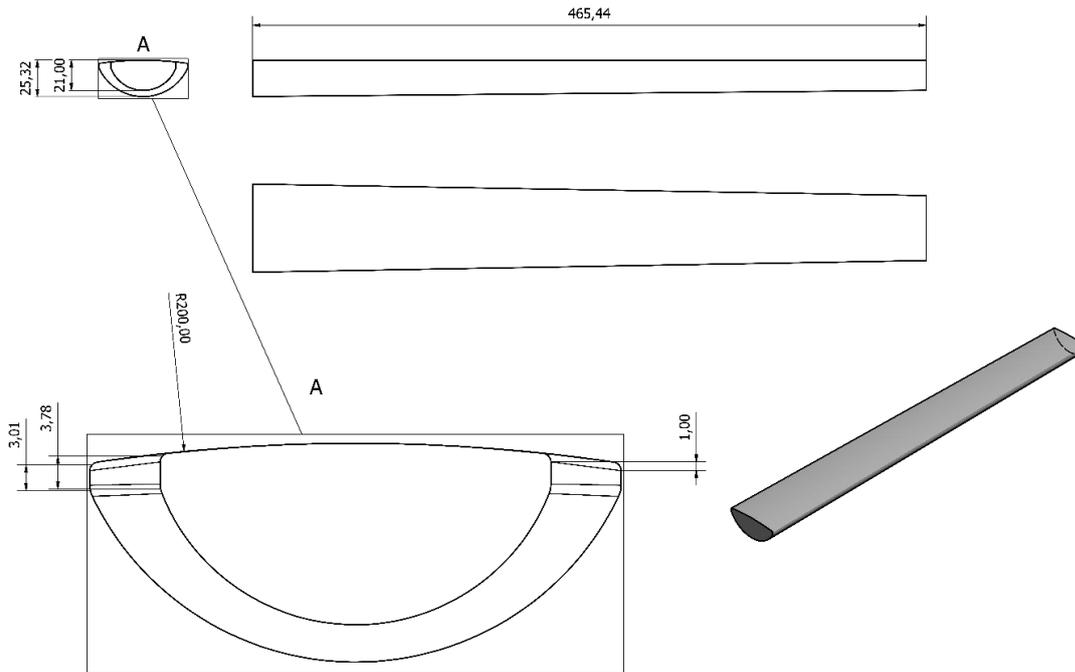


Fig. 79 Prototipo de modelo con radio de diapasón constante y altura de diapasón variable

Con esta mejora sobre los diapasones del mercado actual, evitaremos el posible trasteo debido a la diferencia de altura del diapasón de nuestro modelo.

La altura inicial del lateral del diapasón elegida para nuestro modelo parametrizado será de 3 mm y será un parámetro constante, es decir, será la misma altura para todas variantes que se generen.

4.1.2.4. Unión mástil - cuerpo de la guitarra.

El mástil deberá ser amovible para que pueda acoplarse a varios cuerpos de guitarras cuyos mástiles también sean amovibles. Por lo que el tipo de unión empleada será atornillada (“bolt-on”). Como cada tipo de cuerpo tiene una cavidad para el mástil diferente, en nuestro mástil modelaremos, para que sirva de referencia visual y completar el conjunto, una unión estándar, como puede ser la unión de la Fender Squier analizada en el estudio de mercado.



Fig. 80 Detalle constructivo de la unión mástil-cuerpo del modelo Fender Squire

4.1.2.5. Pala.

Como pudimos comprobar en la página web Warmoth Guitar Custom, existe un gran abanico de posibilidades en cuanto al diseño de la pala.

En nuestro caso, el mástil se diseñará para que pueda soportar cualquier geometría de pala. Pero para modelar y visionar el conjunto mástil al completo, se realizará el modelado con dos de las palas más comunes del mercado: La pala estilo Stratocaster y la pala estilo Les Paul. De este modo tendremos una visión del mástil con pala recta y pala angulada.

La anchura de la pala estará parametrizada para que varíe en función de la anchura de la cejuela.



Fig. 81 Diseños de palas seleccionadas para la elaboración del modelo

4.1.2.6. Planos base.

En los mástiles analizados en el estudio de mercado hemos observado que el plano base de la zona empotrada y el plano base de la pala no se encuentran a la misma altura. Esto generará a la hora de su producción un desperdicio de material, el cual consideramos evitable colocando ambos planos a la misma altura.



Fig. 82 Base del empotramiento y de la pala a distintas alturas

4.1.2.7. Barra de refuerzo.

Por último, y únicamente a modo de ejemplo, realizaremos el modelado de una cavidad para la barra de refuerzo. Los tipos de construcción del mástil con la barra de refuerzo son muy variados, por lo que nos decantaremos por el diseño más común: Una barra que atraviese la longitud total del mástil, regulable desde la cejuela y que emplea como “tapa” el propio diapasón y un listón de la misma madera que rellene el hueco restante.

4.2. PROCESO DE MODELADO.

Una vez definido el proyecto, realizado el estudio de campo y de mercado y establecidas las bases del modelo parametrizado, podemos comenzar con la fase de modelado.

En este apartado describiremos el proceso seguido, en el software descrito anteriormente, para realizar el modelo.

Comenzaremos definiendo los parámetros base, para implantarlos en el diseño alámbrico que de soporte a las superficies del mástil. Una vez definidas las superficies, generaremos el diseño sólido a partir de ellas. Por último, asociaremos los parámetros, definidos al principio, con la tabla de Excel que albergará sus valores.

Tanto la fase de diseño alámbrico como la de diseño de superficies las realizaremos en el módulo de CATIA “Generative Shape Design”, estructurando las operaciones correspondientes a cada parte del mástil en “Geometrical Sets” distintos. La fase de diseño en sólidos la deberemos hacer dentro del módulo “Part Design”, quedando estructuradas las operaciones de esta fase en un “Body”.



Fig. 83 Estructura del modelo

4.2.1. Modelado de las superficies del cuerpo y diapason del mástil.

Estos elementos son la parte principal del modelo, ya que todo el peso ergonómico recae sobre su geometría. Se modelarán conjuntamente.

1. PARÁMETROS.

Con la herramienta “formula” definimos primero los parámetros directos y a continuación los indirectos, así como la fórmula que los relacionan con los directos.



Fig. 84 Parámetros definidos



Fig. 85 Herramienta fórmula

La fórmula que define la posición del 12º traste, respecto a la cejuela, la aplicaremos directamente al definir el plano que contiene dicho traste.

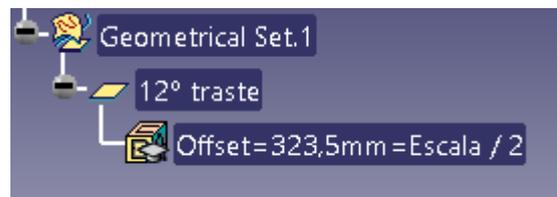


Fig. 86 Definición de la posición del decimosegundo traste

2. PERFILES.

Comenzaremos situando el “sketch” del primer perfil en el plano ZX. El centro de coordenadas será coincidente con el centro de la línea de unión del diapasón con el cuerpo del mástil, estableciendo así, el centro de coordenadas del modelo.

El sketch del perfil estará formado por los siguientes elementos alámbricos:

- Arco de circunferencia que da soporte a la cara superior del diapasón, el cual estará definido por el radio del diapasón.
- Rectas que dan soporte a las caras laterales del diapasón.
- Arcos de circunferencia que dan soporte a las caras laterales del mástil.
- “connect” que da soporte a la cara posterior del mástil.

Para conseguir un modelo parametrizado, deberemos asociar las cotas que definen el perfil con los parámetros establecidos anteriormente.

- Cotas directas: grosor en la cejuela, anchura en la cejuela, radio del diapasón, altura del diapasón (cte.).
- Cotas indirectas: Posición de la unión del connect con los arcos laterales, la cual definirá la forma del perfil (C, V,U).
 - Posición vertical:
[('Grosor en la cejuela' - 'Altura del diapasón') * 'V1']
 - Posición horizontal:
'Anchura en la cejuela' * 'H1'

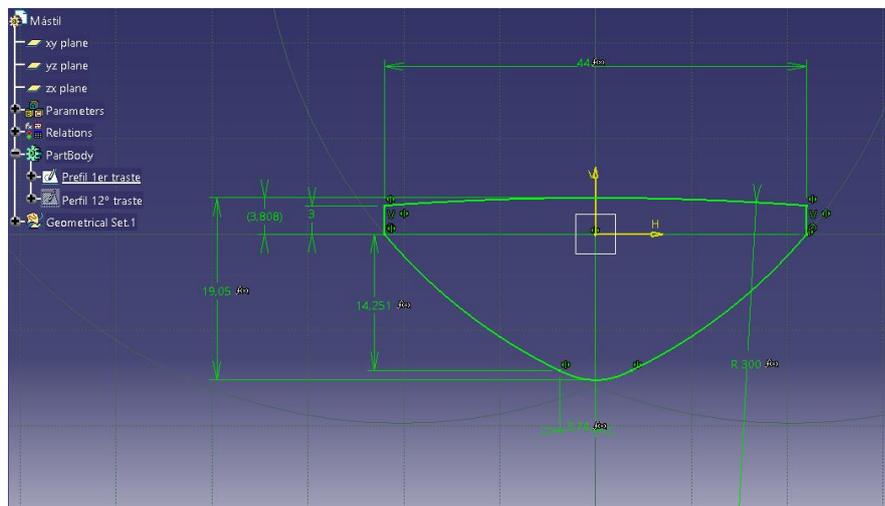


Fig. 87 Sketch del perfil en la cejuela

El sketch del perfil del 12º traste lo situaremos, a la misma altura que el primer perfil, en el plano definido con anterioridad a una distancia de la cejuela de 'Escala'/2. En este caso usaremos los parámetros: radio del diapasón, grosor en el 12º traste, anchura en el 12º traste, V12 y H12.

Como ya razonamos en la fase conceptual, el arco del diapasón en este perfil será del mismo radio que en el primero, además de coincidentes. Por lo tanto, variará la altura de los laterales del diapasón.

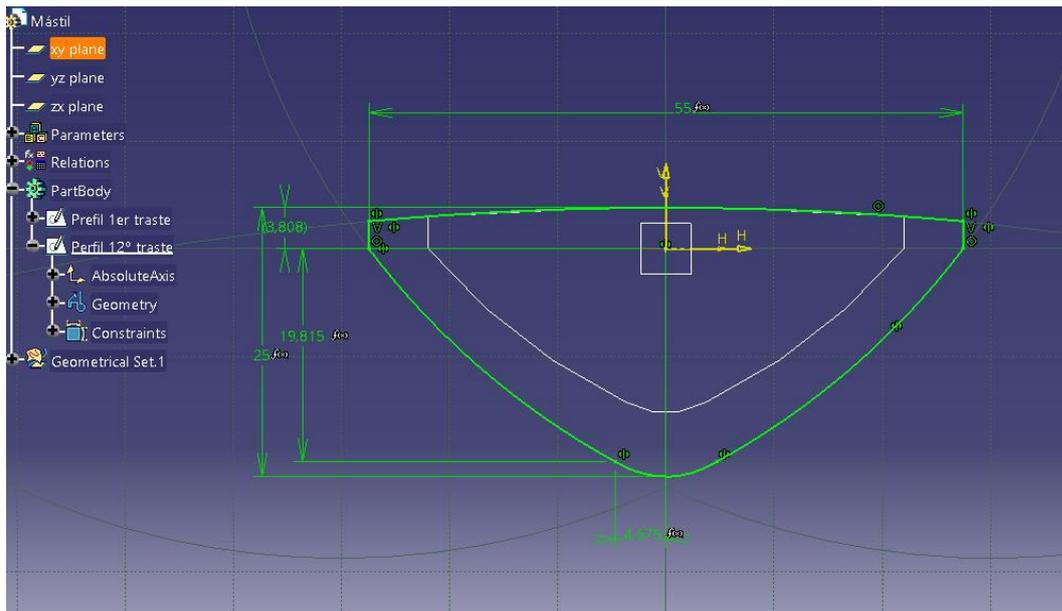


Fig. 88 Sketch del perfil en el decimosegundo traste

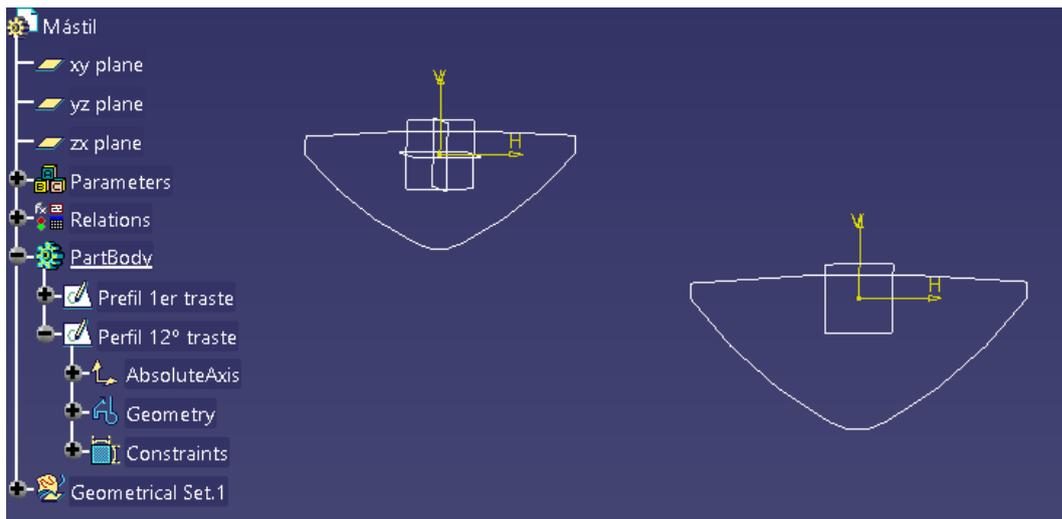


Fig. 89 Diseño alámbrico de los perfiles del primer y decimosegundo traste

Mediante este diseño alámbrico ya podemos definir la superficie que define la zona central del mástil, es decir, desde la pala hasta la cejuela.

3. SUPERFICIE

La superficie que conecta ambos perfiles la generaremos con la herramienta “Multi-Sections Surface” y la extensión de esta hasta el final del mástil la generaremos mediante la herramienta “Extrapolate”.

- Multi-Sections Surface:
 - Secciones: perfil del 1er traste, perfil del 2º traste.
 - Sections coupling: Thangency then curvature.

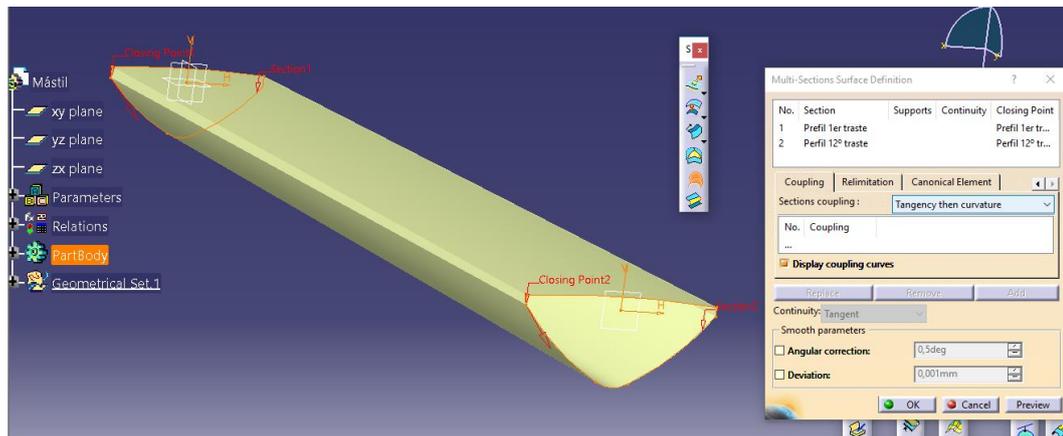


Fig. 90 Operación Multi-Sections Surface entre ambos perfiles

- Extrapolate:
 - Longitud = Longitud total del mástil – Posición del 12º traste = (Escala*0,72) – (Escala*0,5).
 - Boundary: Perfil del 12º traste.
 - Extrapolated: Multi-sections primeros doce trastes.
 - Continuity: Curvature
 - Extremities: Tangent
 - Propagation mode: Tangency Continuity.

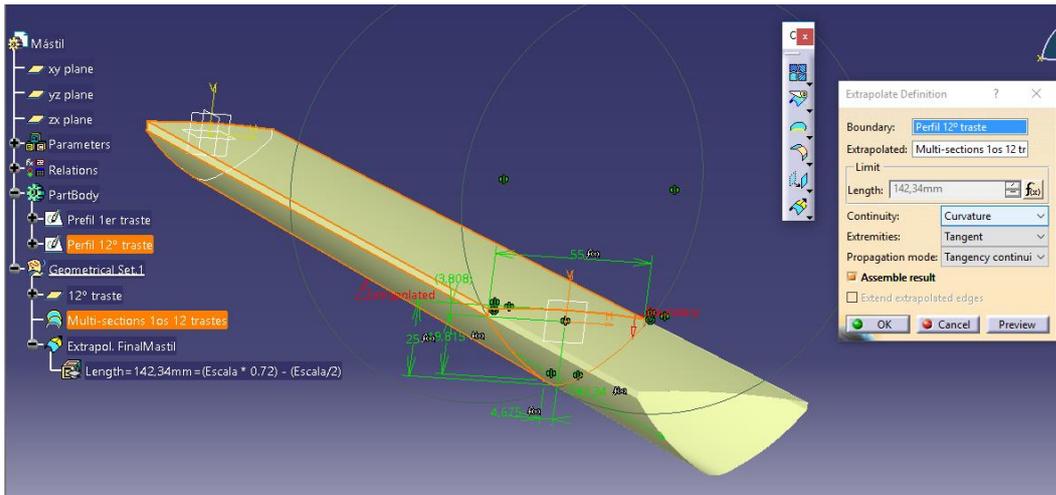


Fig. 91 Operación Extrapolate para completar la longitud del mástil

4.2.2. Modelado de las superficies de unión mástil-cuerpo

La superficie de transición entre la unión y el mástil concluirá en el 14º traste, por lo que necesitaremos el perfil en esa altura del mástil ($\text{Escala} * 0,55$). La base se encontrará a una distancia de 24 mm de la base del diapasón.

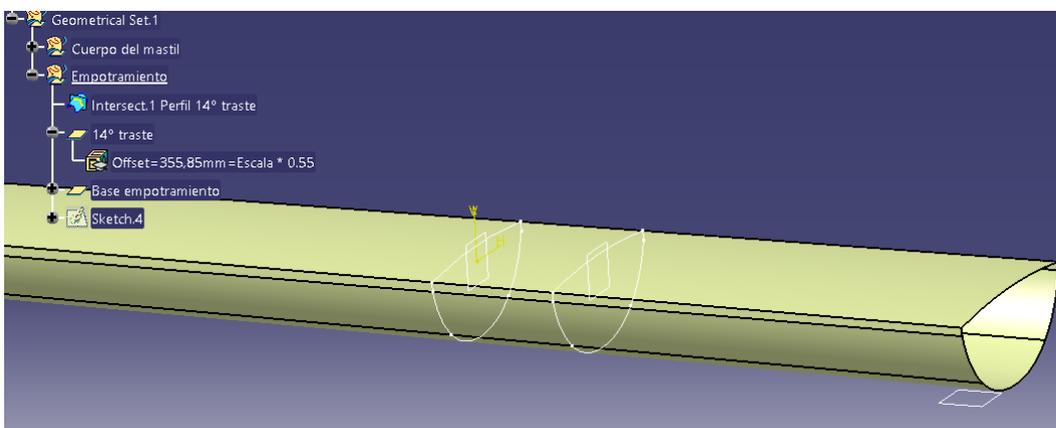


Fig. 92 Modelado de las superficies de unión mástil-cuerpo (I)

Mediante la herramienta “Split” cortaremos la superficie del mástil para crear el espacio en el cual generaremos la superficie de la unión.

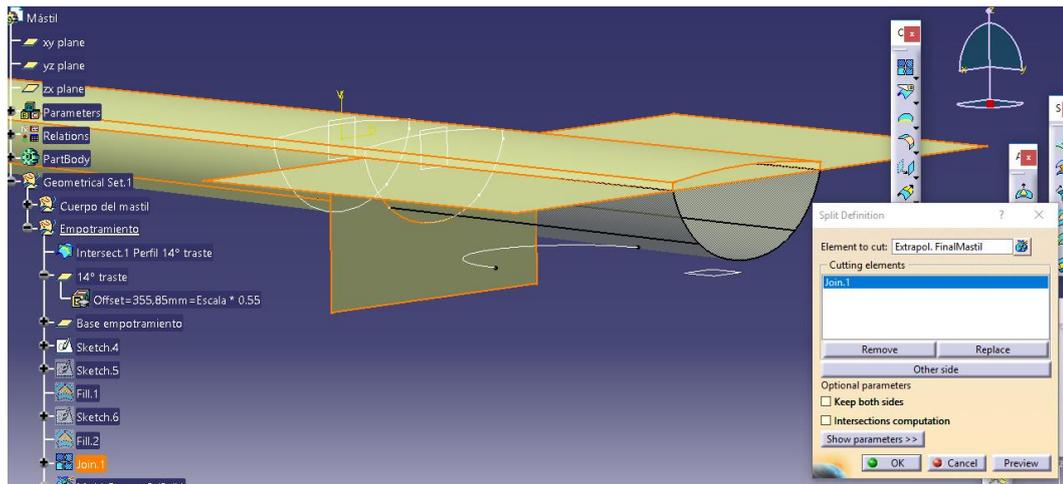


Fig. 93 Modelado de las superficies de unión mástil-cuerpo (II)

El diseño alámbrico de la superficie transición estará formado por una semicircunferencia en la base de la unión y por tres splines que la unan con el perfil del 14° traste. Los splines tendrán una unión en curvatura con la superficie del mástil.

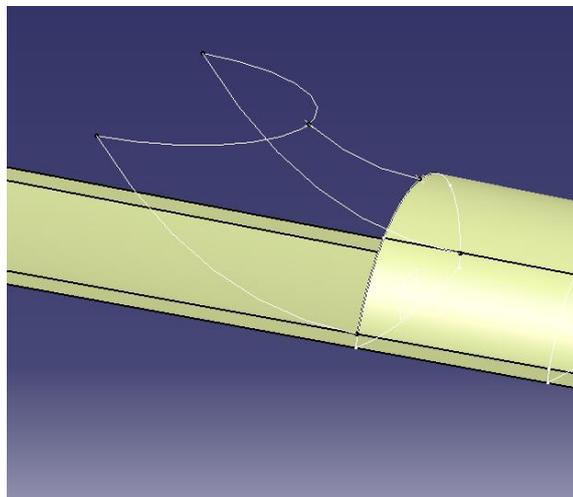


Fig. 94 Modelado de las superficies de unión mástil-cuerpo (III)

La superficie la generaremos mediante la herramienta “Multi-Sections Surface”, usando como secciones los tres splines y como curvas guía la semicircunferencia de la base y el perfil del 14° traste. La unión con la superficie del mástil será en curvatura. De este modo conseguiremos una transición suave y fluida.

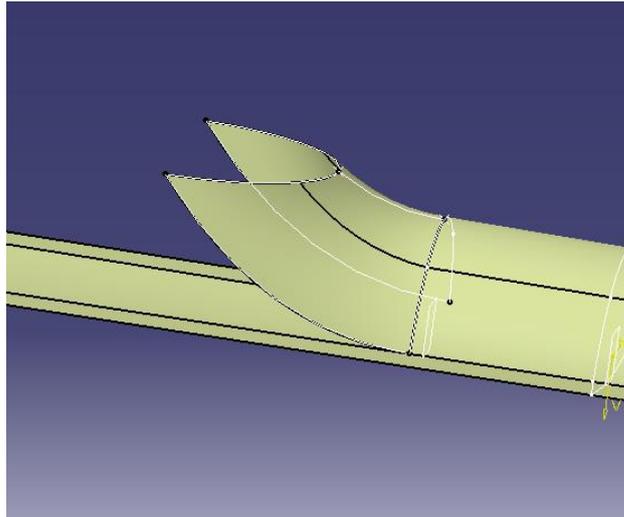


Fig. 95 Modelado de las superficies de unión mástil-cuerpo (IV)

El resto del diseño alámbrico lo completamos mediante cinco rectas referenciadas al área que ocupa el diapasón para que la unión esté parametrizada y sincronizada con la dimensión del mástil en todo momento. El resto de la superficie la generaremos rellenando las tres áreas, delimitadas por los alambres, mediante la herramienta "Fill".

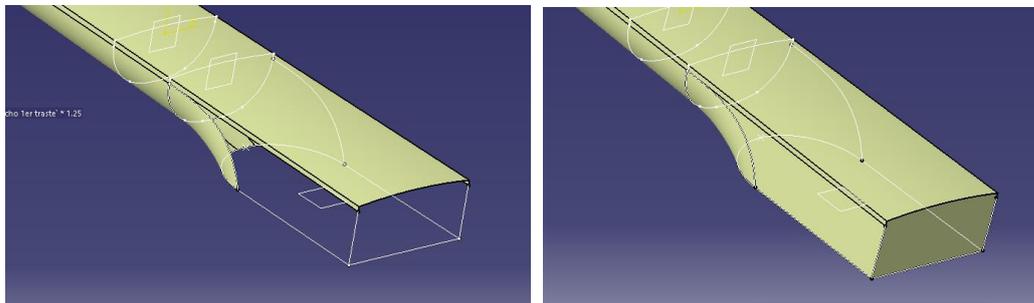


Fig. 96 Modelado de las superficies de unión mástil-cuerpo (V)

Como pudimos observar en el apartado del marco teórico, el final de la unión de los modelos Les Paul de Gibson es recta, similar a la unión obtenida hasta ahora. Pero en la unión de los modelos Stratocaster de Fender la terminación es curva, por lo que la superficie obtenida hasta ahora precisará de un corte por una superficie curva. El radio de esta superficie estará parametrizado en función de las dimensiones del mástil.

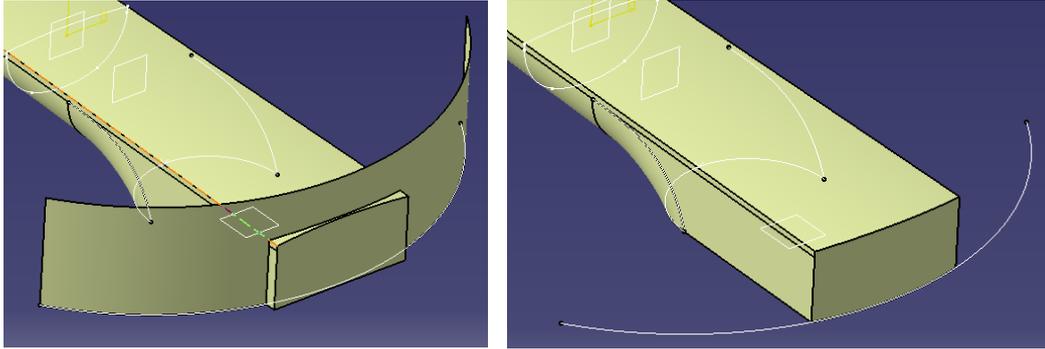


Fig. 97 Modelado de las superficies de unión mástil-cuerpo (VI)

4.2.3. Modelado de las superficies de la pala

Como ya indicamos en la fase conceptual, realizaremos el modelado de dos diseños distintos de pala.

1. PALA RECTA

Comenzaremos situando el plano de la cara superior de la pala y definiendo posteriormente, en él, el sketch de la silueta de la pala. Dicho plano se encontrará situado, según lo analizado en el estudio de campo, a 7 mm de la base del diapasón. La anchura de la silueta de la pala dependerá de la anchura de la cejuela, ya que sus extremos estarán acotados con respecto a los de la cejuela, lo cual sería un ejemplo más del concepto de diseño paramétrico en el cual se basa este proceso de modelado.

Posteriormente cubriremos el área generada con la herramienta “Fill”.

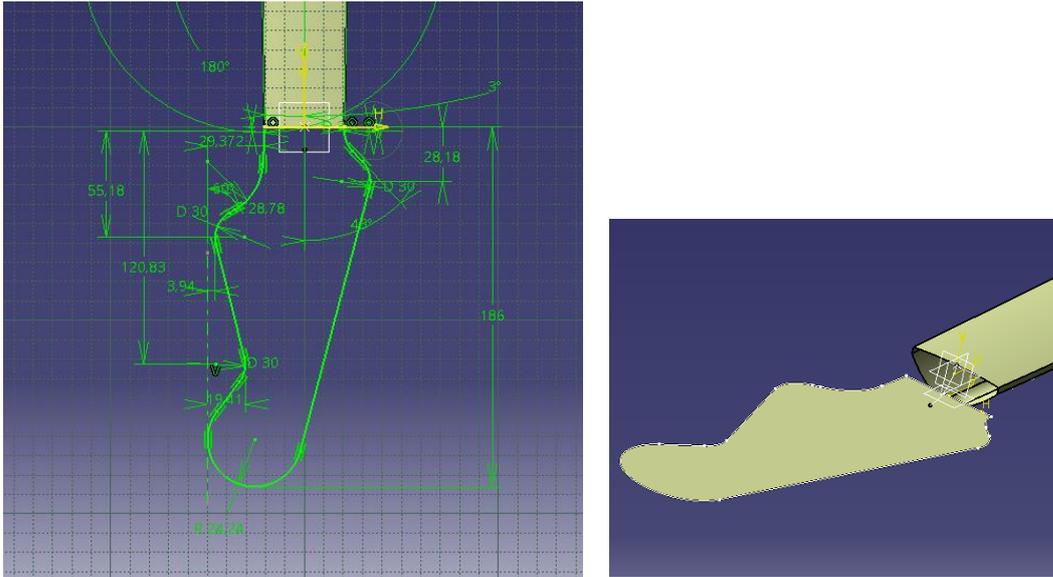


Fig. 98 Modelado de las superficies de la pala recta (I)

Mediante un sketch en el plano YZ y la herramienta “Extrude” generaremos parte de la superficie de transición entre el diapasón y la pala.

Extruiremos, mediante la herramienta “extrude” el perfil, de la pala en ambas direcciones para recortar posteriormente la superficie anterior.

Necesitaremos extender, mediante la herramienta “Extrapolate”, el diapasón para conseguir, después de recortar ambas superficies con “Trim”, una unión hermética de este con la pala.

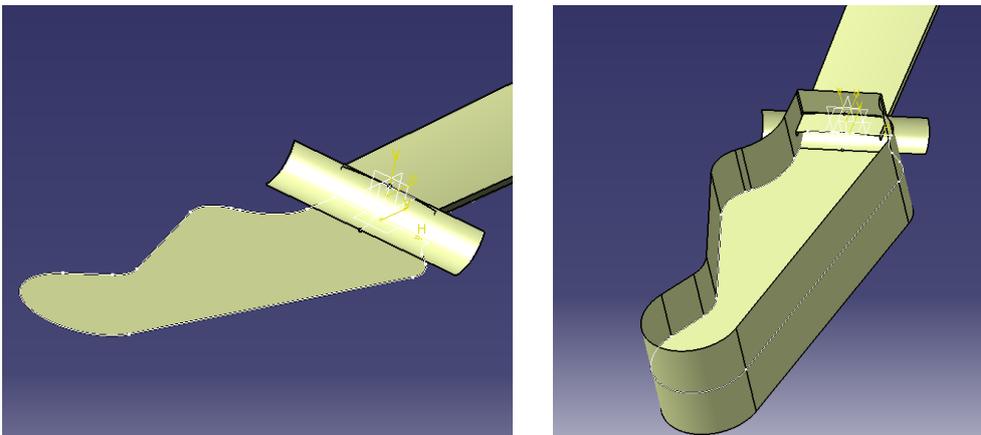


Fig. 99 Modelado de las superficies de la pala recta (II)

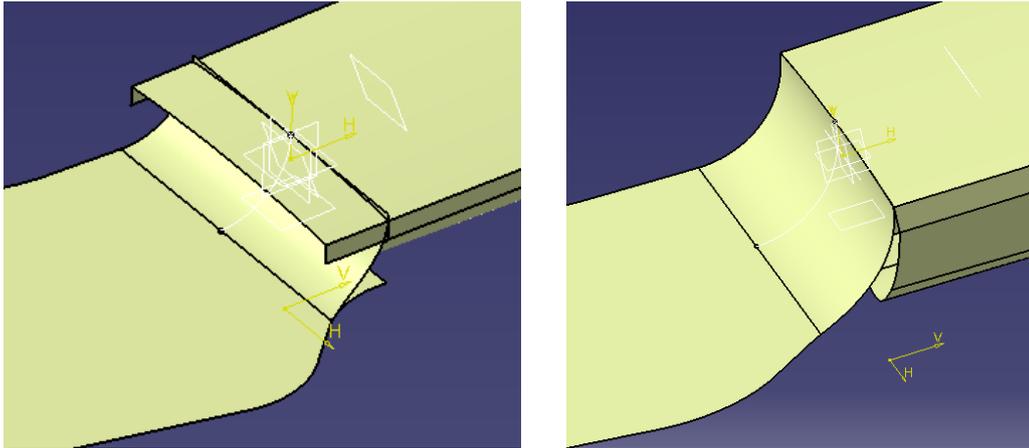


Fig. 100 Modelado de las superficies de la pala recta (III)

A continuación, definiremos el sketch de la base de la pala en el mismo plano que la base de la unión. De este modo conseguiremos que las dos bases se encuentren a la misma altura y así evitemos la pérdida de material descrita en la fase conceptual. Parte de dicho sketch será una proyección del sketch de la cara superior.

Cubriremos el área generada con “Fill” y mediante “Extrude” generaremos la superficie lateral de la pala.

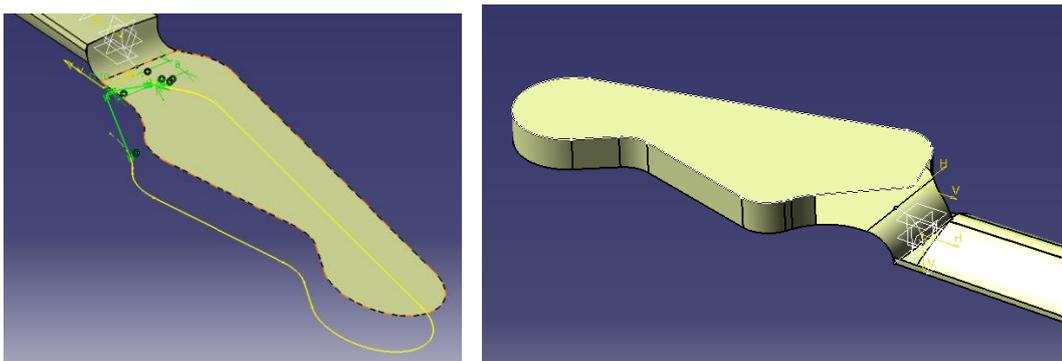


Fig. 101 Modelado de las superficies de la pala recta (IV)

Antes de afrontar el modelado de la superficie de transición entre la pala y la cara posterior del cuerpo del mástil, debemos realizarle a este, mediante la herramienta “Split”, un corte por un plano oblicuo. De esta forma conseguiremos más espacio para una superficie de transición mas progresiva en la cejuela.

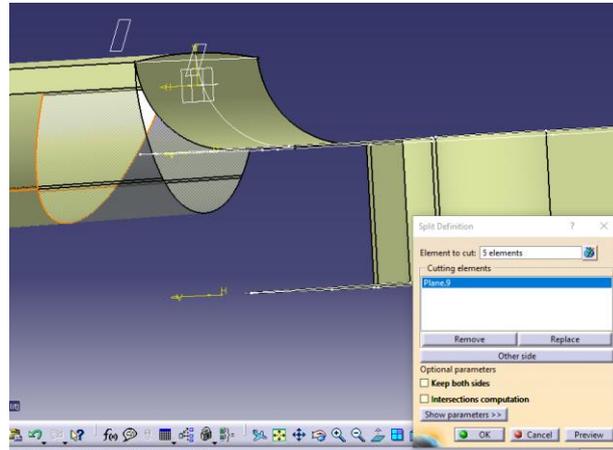


Fig. 102 Modelado de las superficies de la pala recta (V)

Para conseguir una superficie de transición más controlada, dividiremos el hueco en dos, mediante un spline, continuo en curvatura con el eje mínimo en el eje Z del cuerpo del mástil.

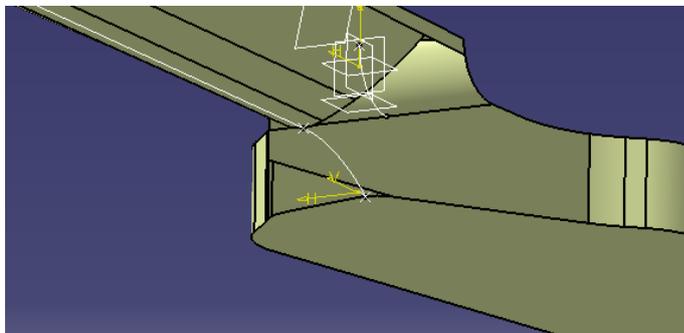


Fig. 103 Modelado de las superficies de la pala recta (VI)

La definición de esta superficie de transición, pala-cuerpo del mástil, la finalizaremos mediante dos “Fill” (separados por el “Spline” definido anteriormente). Ambos “Fill” serán tangentes en curvatura entre ellos y también con la superficie inferior del cuerpo del mástil y con la cara lateral de la pala.

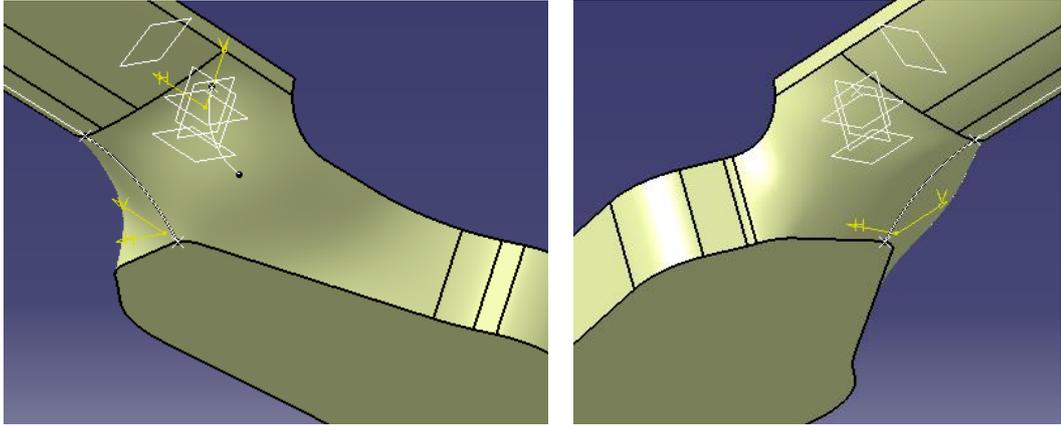


Fig. 104 Modelado de las superficies de la pala recta (VII) Resultado final

2. PALA ANGULADA.

El proceso de modelado de este diseño de pala será muy similar al anterior, la principal diferencia reside en el ángulo de 14° que forman las caras de la pala con el plano de la base del diapasón.

El Sketch del perfil de la cara superior de la pala. El sketch tendrá como soporte un plano que forma 14° con el plano de la base del diapasón.

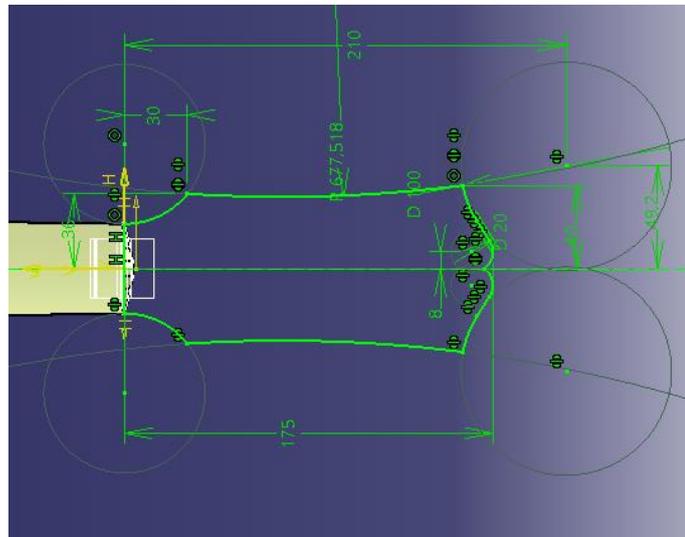


Fig. 105 Modelado de las superficies de la pala angulada (I)

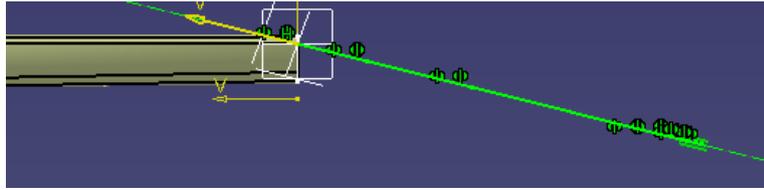


Fig. 106 Modelado de las superficies de la pala angulada (II)

En este caso no existirá una transición entre el diapasón y la pala.

Proyectaremos parte del sketch de la cara superior sobre un plano paralelo para obtener la silueta de la cara inferior.

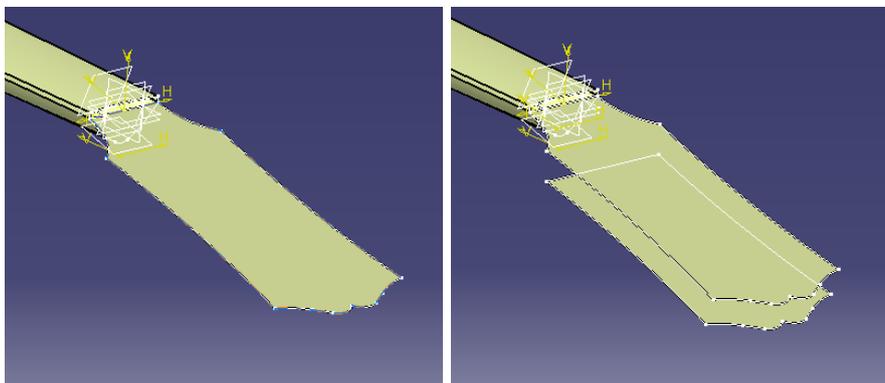


Fig. 107 Modelado de las superficies de la pala angulada (III)

A continuación, al igual que en el diseño anterior, cortaremos el cuerpo del mástil por un plano inclinado. De esta forma generaremos el espacio necesario para obtener una superficie de transición más progresiva en la cejuela.

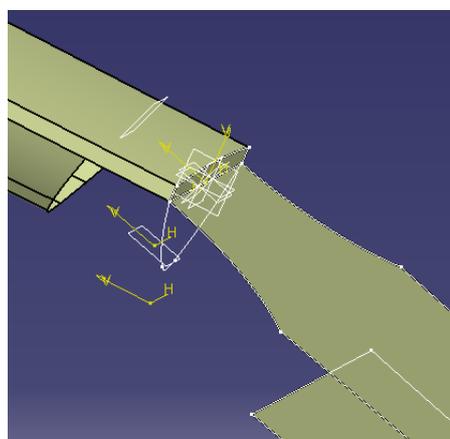


Fig. 108 Modelado de las superficies de la pala angulada (IV)

Generamos las superficies del perfil de la pala, mediante la herramienta “Extrude” y añadiendo dos “Fill” que generen las superficies triangulares de los extremos.

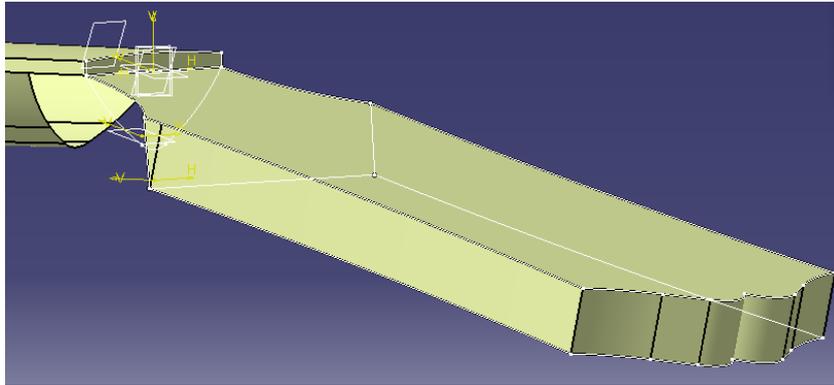


Fig. 109 Modelado de las superficies de la pala angulada (V)

En este caso, para obtener una superficie de transición controlada, dividiremos, mediante tres curvas, el hueco soporte en cuatro zonas. La curva central será un “Spline” con tangencia en curvatura con las superficies que conecta (Cara inferior de la pala y cara inferior del cuerpo del mástil). Cada una de las otras dos curvas será fruto de la combinación de dos “Splines” mediante la herramienta “Combine”.

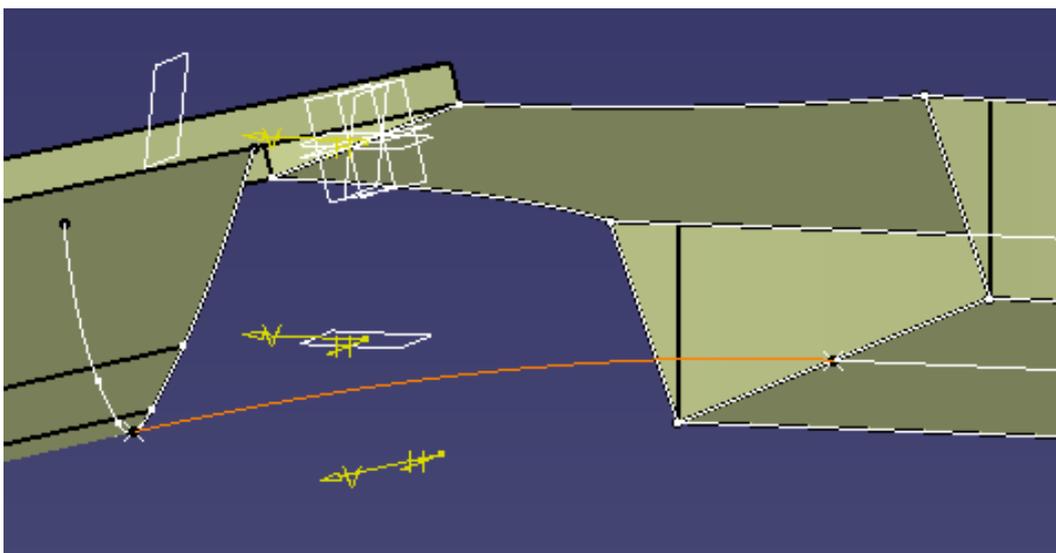


Fig. 110 Modelado de las superficies de la pala angulada (VI)

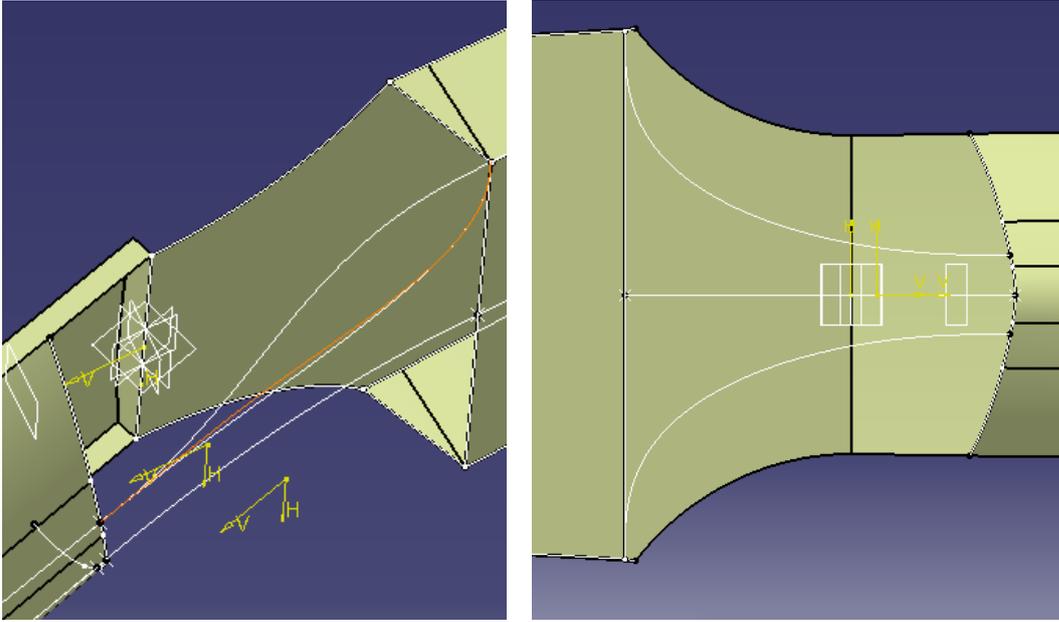


Fig. 111 Modelado de las superficies de la pala angulada (VII)

Las superficies “Fill” que forman la transición serán tangentes en curvatura con el cuerpo del mástil.

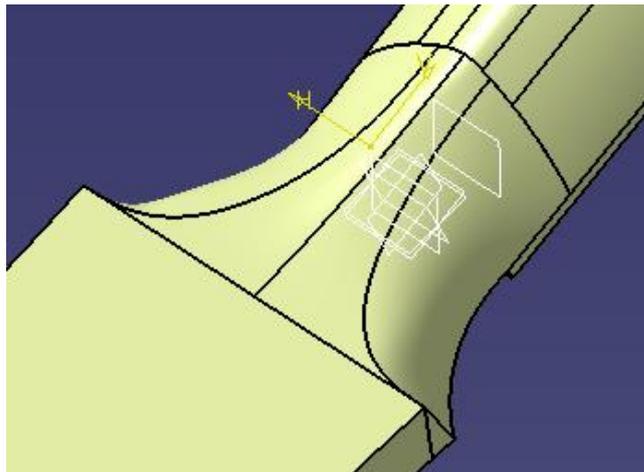


Fig. 112 Modelado de las superficies de la pala angulada (VIII)

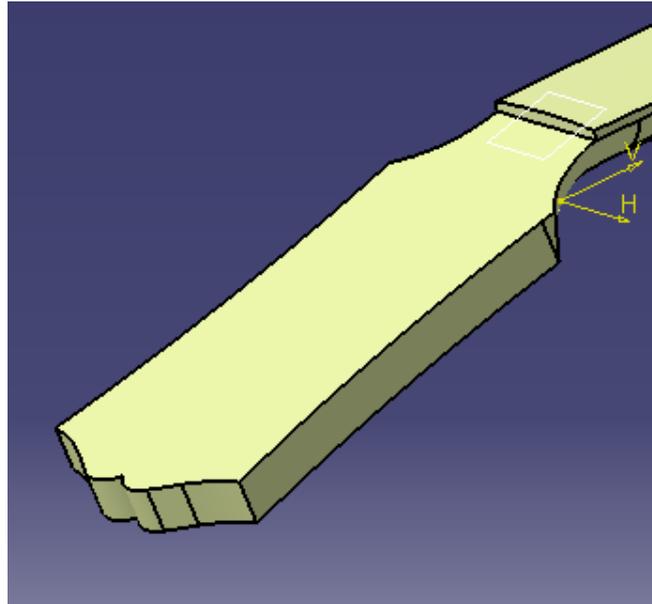


Fig. 113 Modelado de las superficies de la pala angulada (IX) Resultado final

4.2.4. Transformación de las superficies a sólidos.

Para realizar la transformación debemos tener todas las superficies unidas en un único elemento. También debemos asegurarnos de que no existan huecos entre las superficies generadas, ya que, si esto ocurriese, no podríamos generar el sólido posteriormente.

Una vez hecho esto, entramos en el módulo de CATIA “Part Design” para tener acceso a la herramienta “Close Surface” que nos permitirá generar el sólido. Ya con el sólido generado, realizaremos en este los detalles finales como son los taladros para las clavijas y los redondeos de aristas. La separación entre dichos taladros se adaptará, en todo momento, a la anchura de la pala.

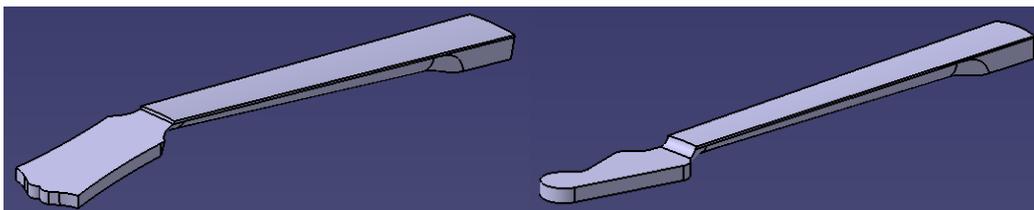


Fig. 114 Transformación de las superficies a sólidos

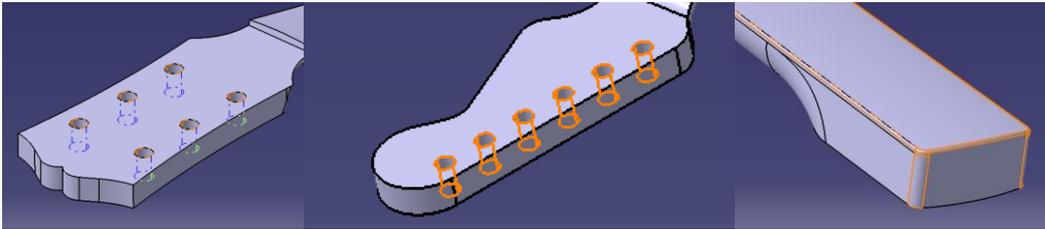


Fig. 115 Transformación de las superficies a sólidos. Detalles finales.

Con estos últimos detalles ya tenemos el modelado de la geometría del mástil concluido.

El último paso que quedará por hacer será dividir el sólido obtenido en las distintas piezas que conforman el conjunto mástil (diapasón, resto del mástil y varilla que cubre la barra de refuerzo), así como practicar la cavidad para el alojamiento de la barra de refuerzo.

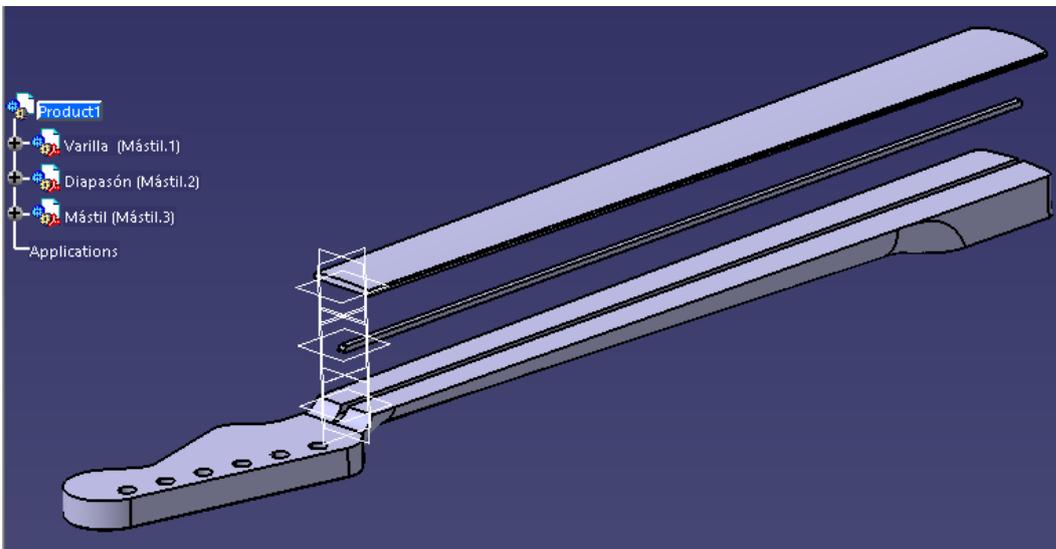


Fig. 116 División del sólido en las distintas piezas que conforman el conjunto mástil de pala recta (diapasón, resto del mástil y varilla que cubre la barra de refuerzo).

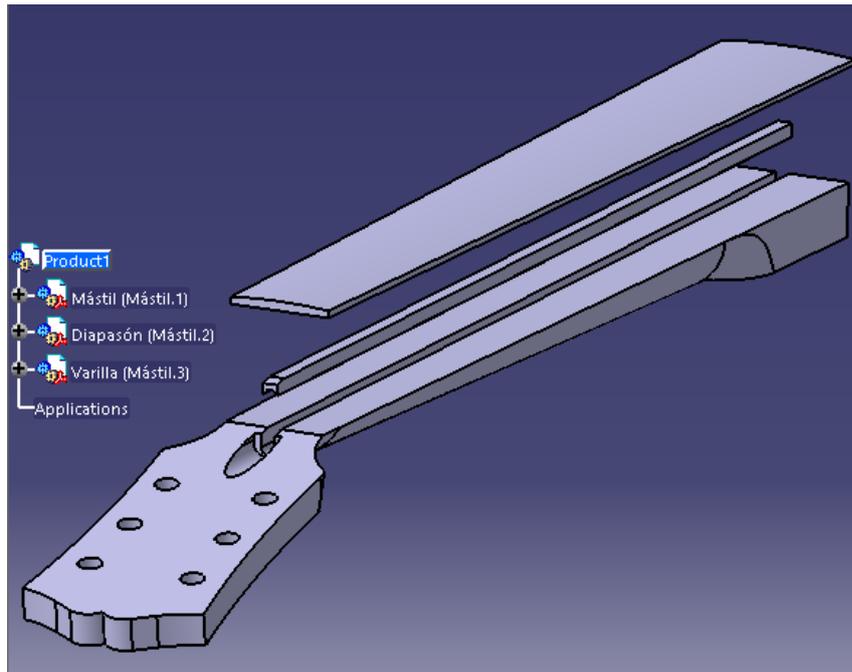


Fig. 117 División del sólido en las distintas piezas que conforman el conjunto mástil de pala angulada (diapasón, resto del mástil y varilla que cubre la barra de refuerzo).

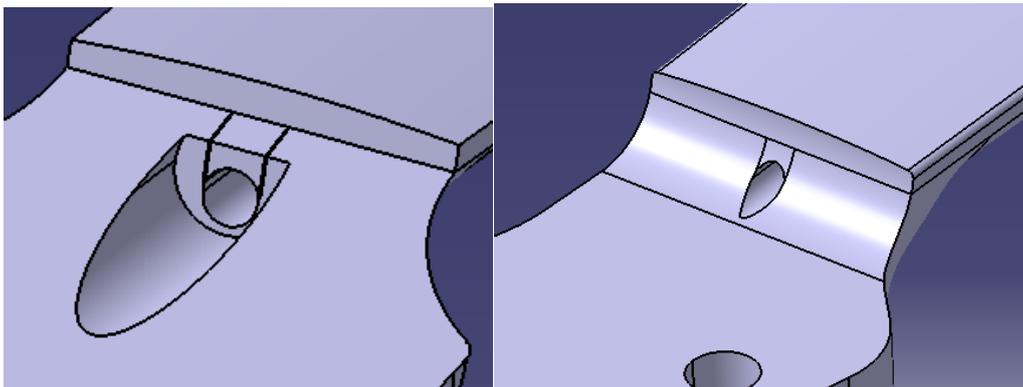


Fig. 118 Detalles de la división del sólido en las distintas piezas que conforman el conjunto mástil (diapasón, resto del mástil y varilla que cubre la barra de refuerzo).

4.2.5. Sincronización de los parámetros con la hoja de cálculo

Lo primero que deberemos hacer será generar la tabla de valores en una hoja de cálculo de Microsoft Excel. Cada columna de esta tabla estará destinada a albergar el valor, en milímetros, de uno de los parámetros directos que definen la geometría del mástil, así como el tipo de forma del perfil (Escala, anchura en

la cejuela, grosor en la cejuela, grosor en el 12º traste, radio del diapasón, forma del perfil en el primer traste y forma del perfil en el 12º traste). Además, la hoja de cálculo contará con imágenes esquemáticas que ayudan al usuario a asociar dichos parámetros con la geometría del mástil.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Escala (mm)	anchura cejuela (mm)	grosor 1er traste (mm)	grosor 12º (mm)	Radio diapason (mm)	Forma del 1er traste:	Forma del 12º traste:	V1	H1	V12	H12
2	700	43	20,5	25	241,3	V	U	0,935	0,0854	0,8712	0,2719
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											

Fig. 119 Hoja de cálculo en Excel destinada a albergar los valores de los parámetros del modelo

Cada valor estará limitado a los rangos determinados en el apartado del estudio de campo. Dichos rangos se le indicarán al usuario cuando coloque el cursor sobre la casilla en la cual desea introducir un valor. El valor del grosor en el decimosegundo traste estará condicionado a ser mayor o igual que el grosor en el primer traste. También se establecerán mensajes de error para que, en el caso de que el valor introducido se encuentre fuera de rango, obliguen al usuario a introducir un valor correcto, evitando así que se genere un modelo defectuoso o se envíe a CATIA condiciones dimensionales imposibles de conseguir.

A	B
Escala (mm)	anchura cejuela (mm)
720	44

Escala mínima:
571,5 mm
Escala máxima:
727,075 mm

F	G
Forma del 1er traste:	Forma del 12º traste:
C	V

Forma del perfil de la cejuela:
'C' o 'V' o 'U'

Fig. 120 Establecimiento de límites para la entrada de valores

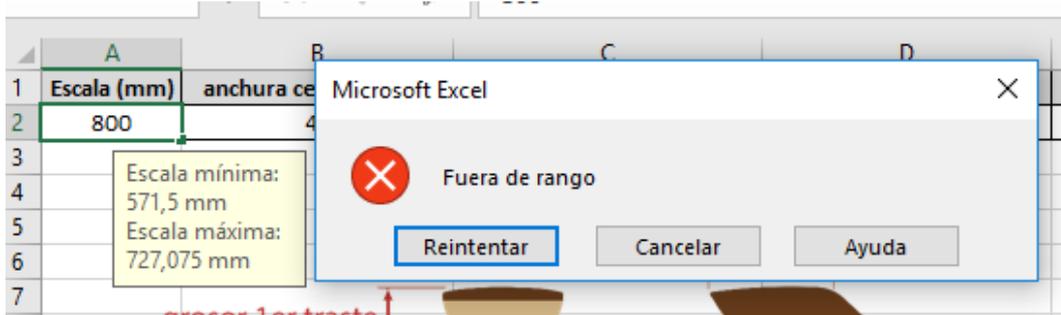


Fig. 121 Mensaje de error en caso de introducir un valor que se encuentre fuera de los rangos establecidos

En cuanto a la forma del perfil, los parámetros que necesita conocer CATIA para definirla son los coeficientes V1, H1, V12 y H12. Por lo que deberemos sincronizar la forma escogida por el usuario con los valores de dichos coeficientes. Para ello emplearemos la herramienta “Visual Basic” dentro de la opción “Programador”. Esta herramienta la proporciona la extensión de Microsoft, ya comentada, “Visual Basic for Applications”.

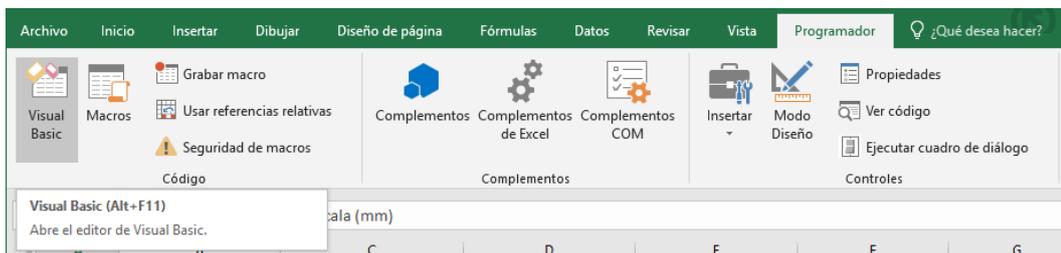


Fig. 122 Herramienta Visual Basic for Applications

Dentro de la herramienta programaremos, en lenguaje C, los códigos que relacionan la forma, elegida por el usuario en cada uno de los trastes, con el valor de los coeficientes aplicados a las cotas verticales y horizontales de los puntos de los perfiles explicados en el apartado de la fase conceptual. Para ello usaremos una función para los coeficientes verticales y otra función para los coeficientes horizontales.

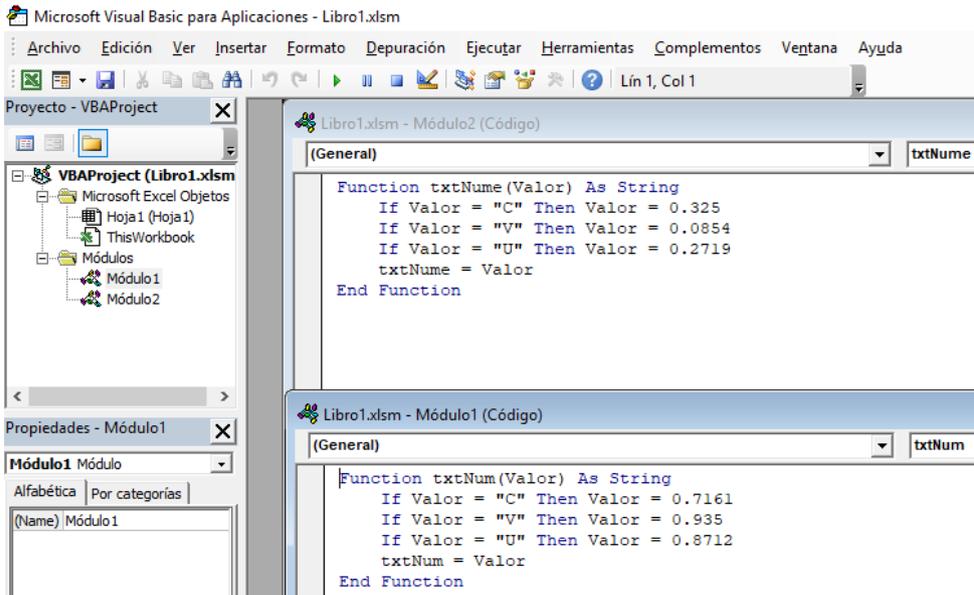


Fig. 123 Código programado en la herramienta VBA

En la figura anterior, la función de arriba es la correspondiente a los coeficientes horizontales H1 y H12; la función de abajo corresponde a los coeficientes verticales V1 y V12.

Una vez definidas las funciones asociaremos, mediante llamadas a estas, la columna de cada forma con las columnas de los coeficientes correspondientes (V1, H1, V12 o H12). De tal forma que si, por ejemplo, escribimos 'V' en la columna de la forma del perfil del primer traste, los valores de H1 y V1 se actualizarán a 0,0854 y 0,935 respectivamente.

	F	G	H
1	Forma del 1er traste:	Forma del 12º traste	V1
2	V	U	=txtNum(F2)

Fig. 124 Asociación de las columnas de forma del perfil con las de los coeficientes de los puntos de conexión mediante llamadas a la función. (I)

	F	G	H	I	J	K
1	Forma del 1er traste:	Forma del 12º traste	V1	H1	V12	H12
2	V	U	0,935	0,0854	0,8712	0,2719
3	Forma del perfil de la ceja: C o V o U					

Fig. 125 Asociación de las columnas de forma del perfil con las de los coeficientes de los puntos de conexión mediante llamadas a la función. (II)

Ahora que ya tenemos definida y delimitada la tabla de datos podemos proceder con la asociación de esta con los parámetros del modelo de CATIA. De este modo conseguiremos hacer modificaciones controladas y automáticas en nuestro modelo. Previamente debemos guardar el documento Excel en la misma carpeta en la que tengamos guardados los archivos CATIA de los modelos.

Para realizar la asociación de parámetros usaremos la herramienta “Design Table”. Lo primero que nos pedirá será que seleccionemos el documento Excel que queremos asociar y la configuración de los datos de la tabla: horizontal o vertical, siendo esta segunda la que seleccionaremos, ya que tenemos los valores organizados por columnas. Lo segundo que se nos pedirá será que asociemos cada parámetro con la columna de la tabla correspondiente.

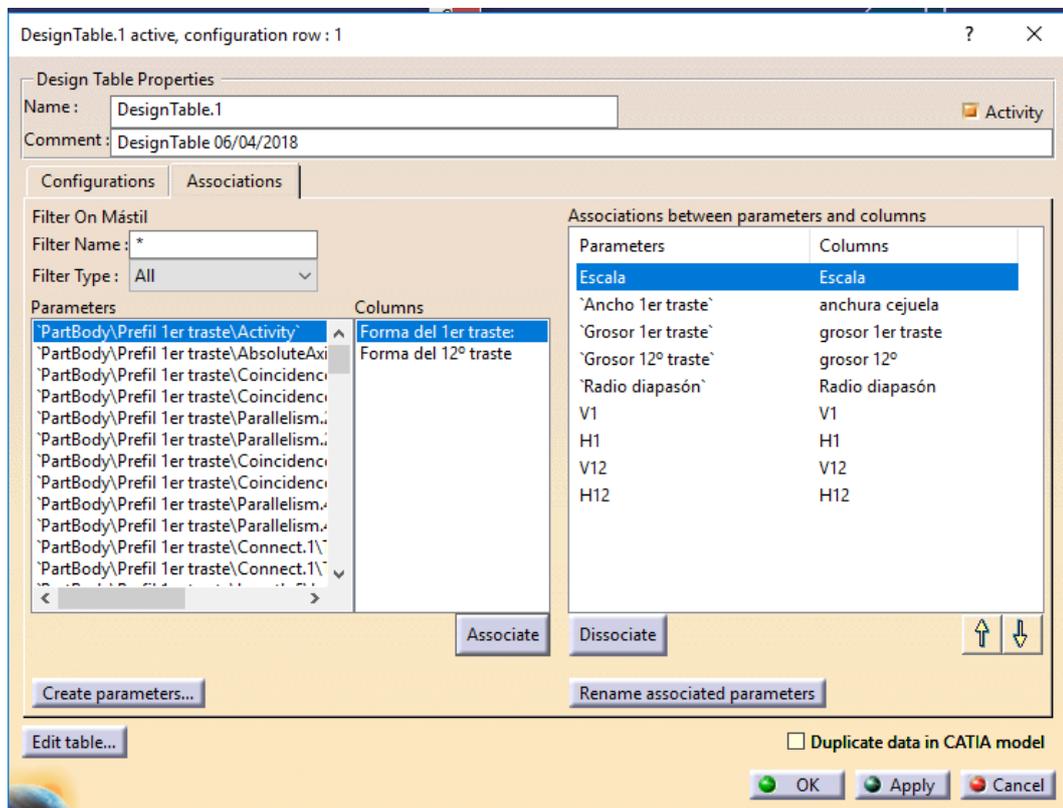


Fig. 126 Asociación de la tabla de datos con los parámetros del modelo en CATIA, mediante la herramienta Design Table.

Las columnas de las formas en el primer y decimosegundo traste las dejaremos sin asociar ya que, para el modelo, solo nos interesa conocer los coeficientes V1, H1, V12 y H12.

Con esto ya tendríamos asociada la tabla con los parámetros del modelo, por lo que podemos modificar, directamente, los valores de estos en la tabla de Excel. Cuando variemos los valores en Excel debemos asegurarnos de guardar los cambios después. Cuando regresemos al modelo nos aparecerá un aviso indicándonos que se han modificado los valores de la tabla. Lo único que quedará por hacer será actualizar el modelo, en caso de tener la actualización manual, y ya tendremos el mástil de guitarra eléctrica definido por los valores introducidos en Excel.

4.3. DISEÑO DE CONCEPTO DE UNA PALA PARA EL MODELO.

Para hacer más visible la versatilidad del modelo y para hacer más atractiva su presentación, optamos por incorporar al mástil un diseño de concepto⁷ de un modelo de pala.

Además, fruto de la experiencia con el instrumento y de la observación del mismo durante la realización de este proyecto, detectamos una posible necesidad en el diseño de la guitarra eléctrica. Esta necesidad consiste en incorporar un agarre ya que, comúnmente, cuando la tenemos que sostener para, por ejemplo, llevarla de un lado a otro, solemos agarrarla del propio mástil. Este hábito puede provocar desafinados en las cuerdas por la pérdida prematura de tensión en ellas ya que, al agarrarla del mástil, ejercemos una fuerte presión y tracción sobre las cuerdas.



Fig. 127 Ejemplos de guitarras sostenidas por el mástil

⁷ El diseño de concepto de un producto es la imagen global inicial o el macro diseño de dicho producto. Nos muestra qué problemas resolverá el producto y nos dará una idea de cómo los resolverá.

En el mercado existe un modelo de guitarra con agarre en el cuerpo, la Ibanez JEM JR. Al ser el mástil el elemento estudiado en este proyecto, incorporaremos en él el agarre, verificando previamente su viabilidad en una guitarra física.



Fig. 128 Ibanez JEM JR

La prueba de viabilidad consistirá en una rápida comprobación del reparto de pesos a la hora de sostener la guitarra por la pala. El reparto de pesos es similar a cuando la agarramos de la cejuela, es decir, la guitarra mantiene un equilibrio prácticamente recto. Pero el agarre es un tanto incomodo, ya que tenemos que mantener una presión para que la guitarra no se caiga. Con el agarre en esta posición evitamos el contacto con las cuerdas tensadas.



Fig. 129 Comprobación rápida del reparto de pesos a la hora de sostener la guitarra por la pala

La solución adoptada consistirá en una pala con una cavidad mecanizada. Esta cavidad contará con un perfil ergonómico, basándose en la antropometría de la mano.

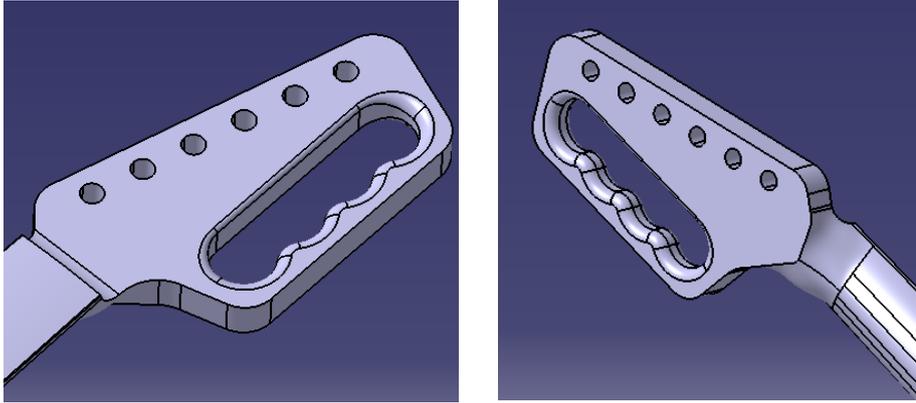


Fig. 130 Modelo del diseño de concepto de una pala (I)

De este modo, al agarrar el mástil, no existiría contacto con las cuerdas. Además, las dimensiones y peso de la pala serían prácticamente idénticas al diseño de pala Stratocaster.

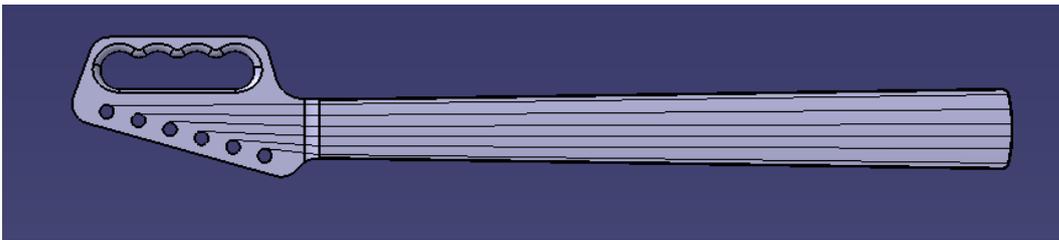


Fig. 131 Modelo del diseño de concepto de una pala (II)

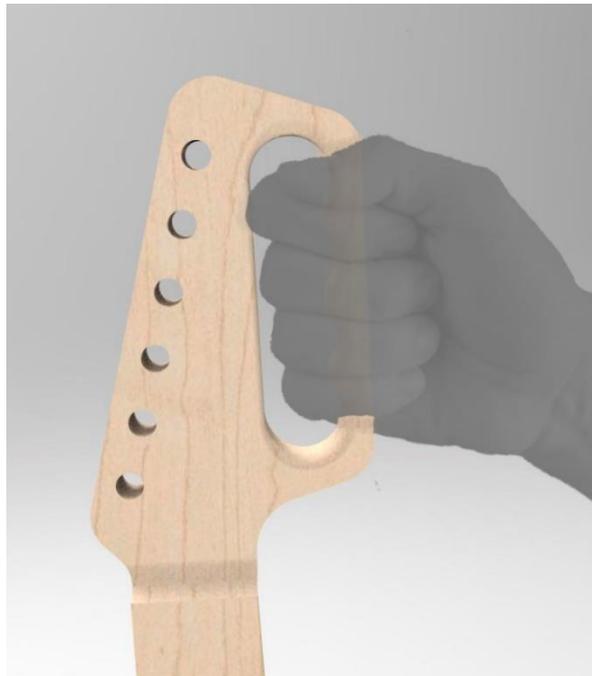


Fig. 132 Modelo del diseño de concepto de una pala (III)

5. RESULTADOS OBTENIDOS

En este apartado procederemos a comentar e ilustrar los resultados obtenidos del modelo parametrizado. Nos apoyaremos, sobre todo, en planos técnicos, prototipos virtuales y en maquetas a escala obtenidas mediante la tecnología de impresión en 3D.

5.1. PLANOS TÉCNICOS.

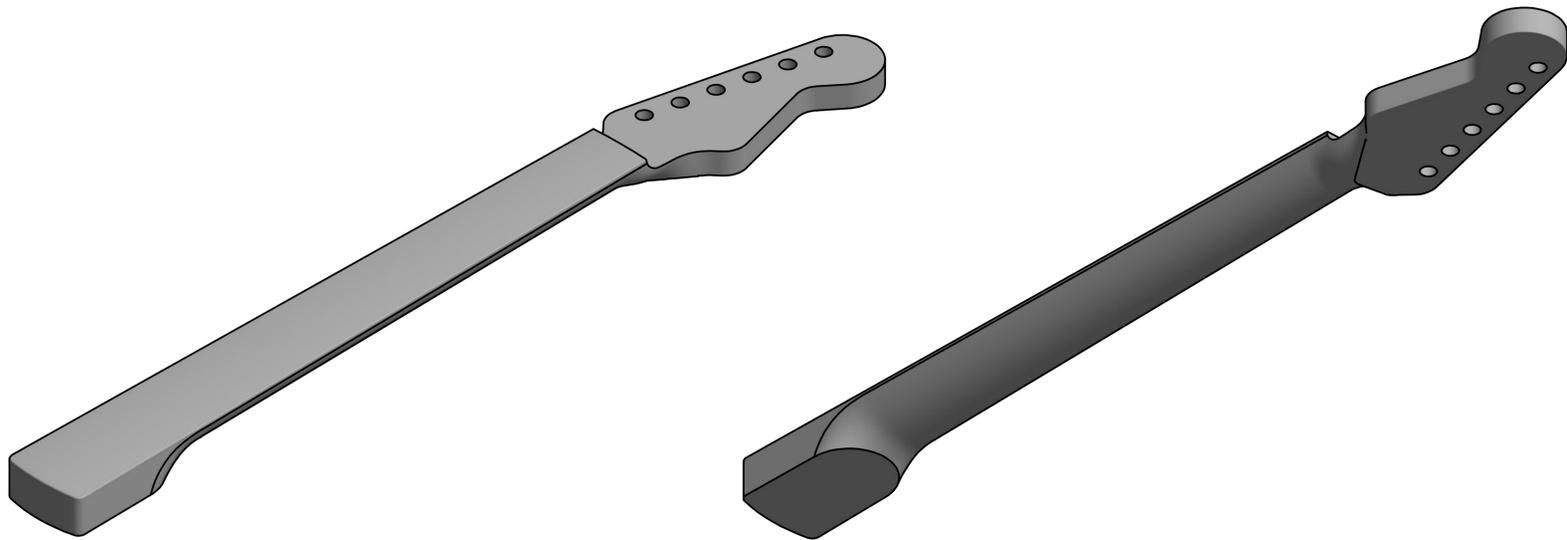
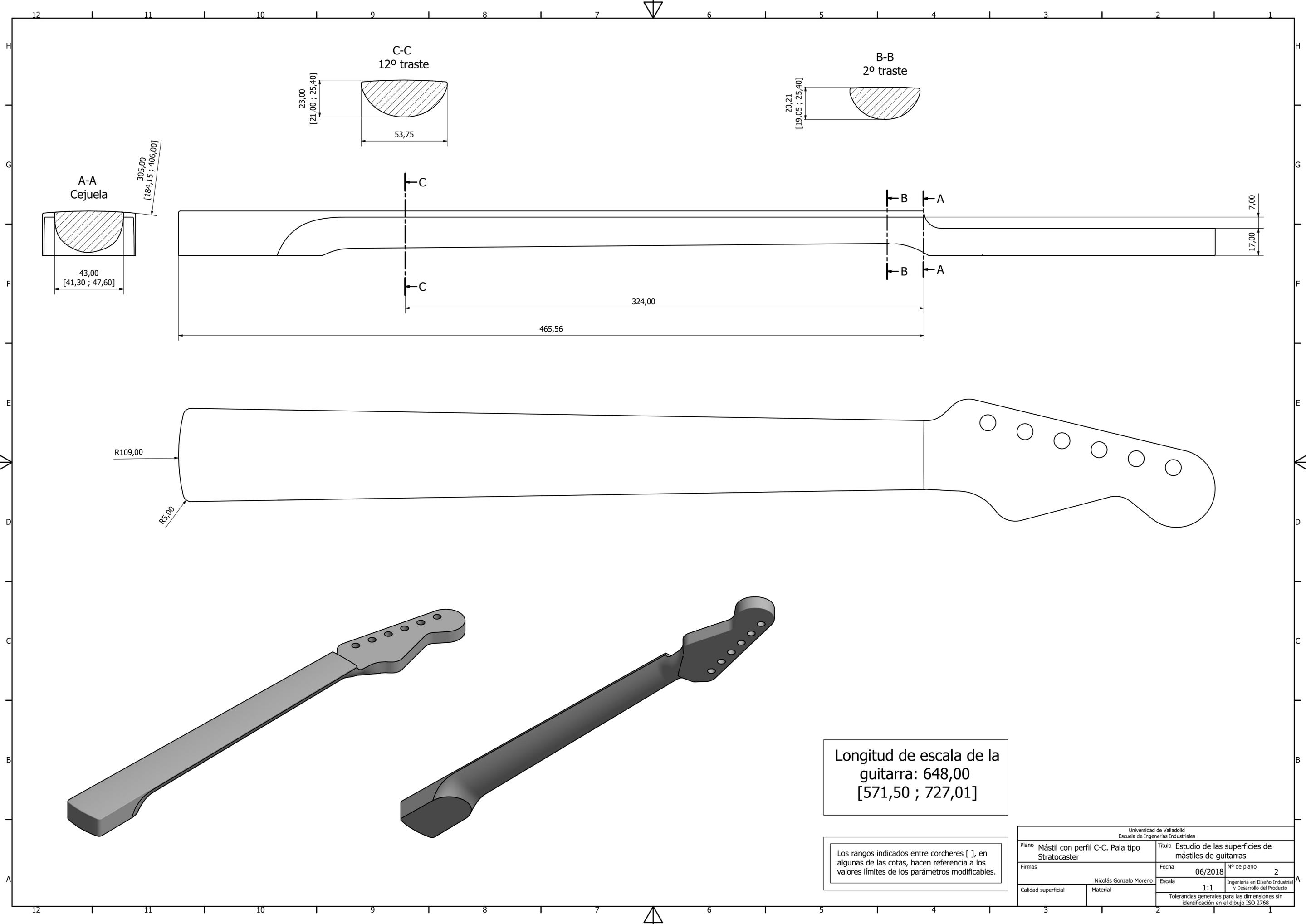
Este apartado proporciona la información necesaria para definir la geometría generada. Además, gracias a las vistas de corte, podremos visualizar, perfectamente, la capacidad del modelo de adoptar diferentes formas de perfil.

En este modelo, muchos de los elementos están generados a partir de superficies complejas y varias dimensiones se obtienen en función del resto de dimensiones, por lo que su definición a partir de planos acotados resulta casi imposible e innecesario, respectivamente. Por ello, y para una mejor comprensión, estos planos deberán ser acompañados por el fichero .stl.

El formato escogido, para dar soporte a los planos, es al A1, definido en la norma DIN 476. De este modo podremos representar los mástiles a escala 1:1.

El sistema de proyección utilizado es el europeo y se ha aplicado la normativa vigente. [28]

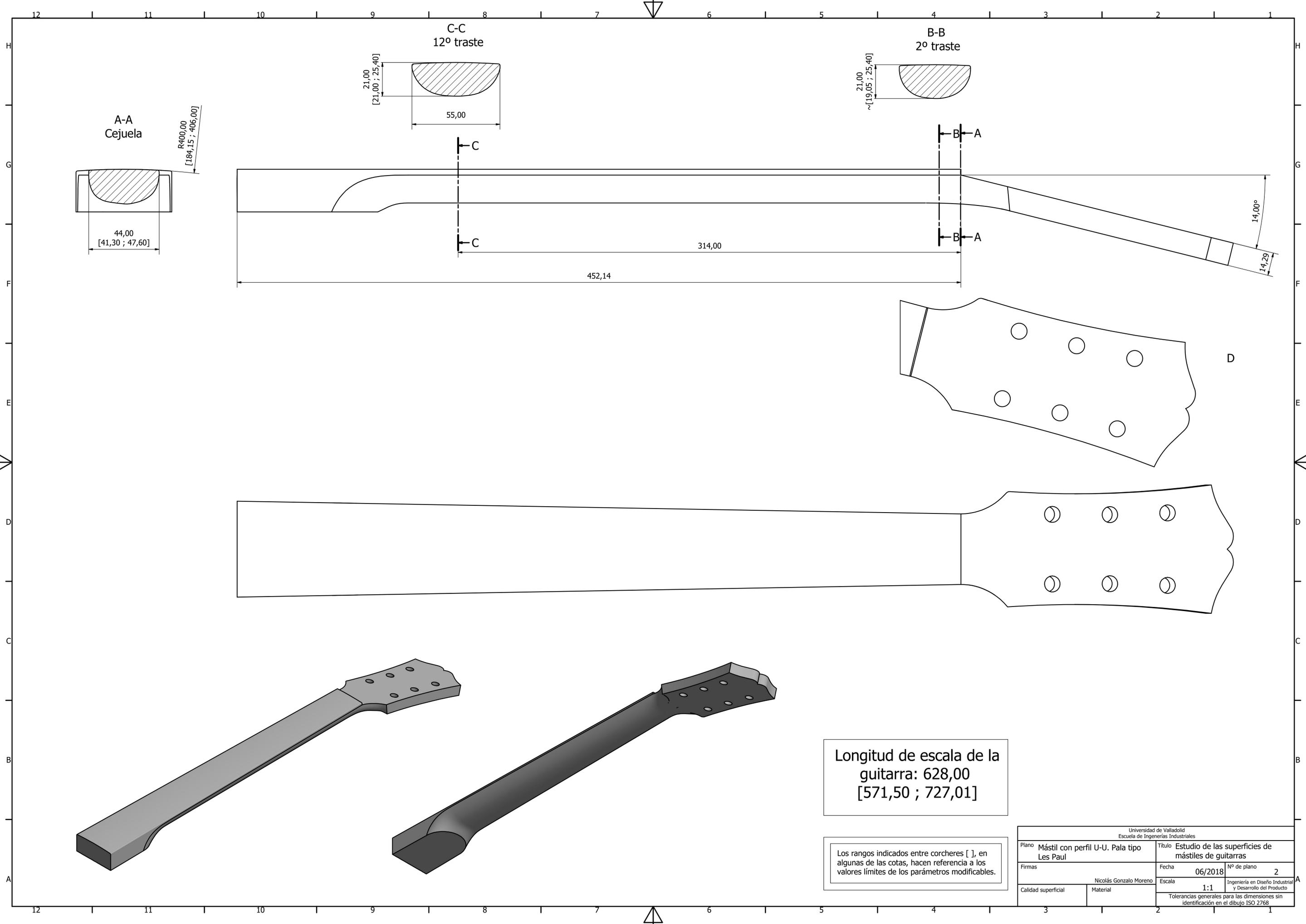
Como ya se indicó en la introducción del proyecto, el software utilizado para la ejecución de los planos técnicos será el Autodesk Inventor.



Longitud de escala de la guitarra: 648,00
 [571,50 ; 727,01]

Los rangos indicados entre corchetas [], en algunas de las cotas, hacen referencia a los valores límites de los parámetros modificables.

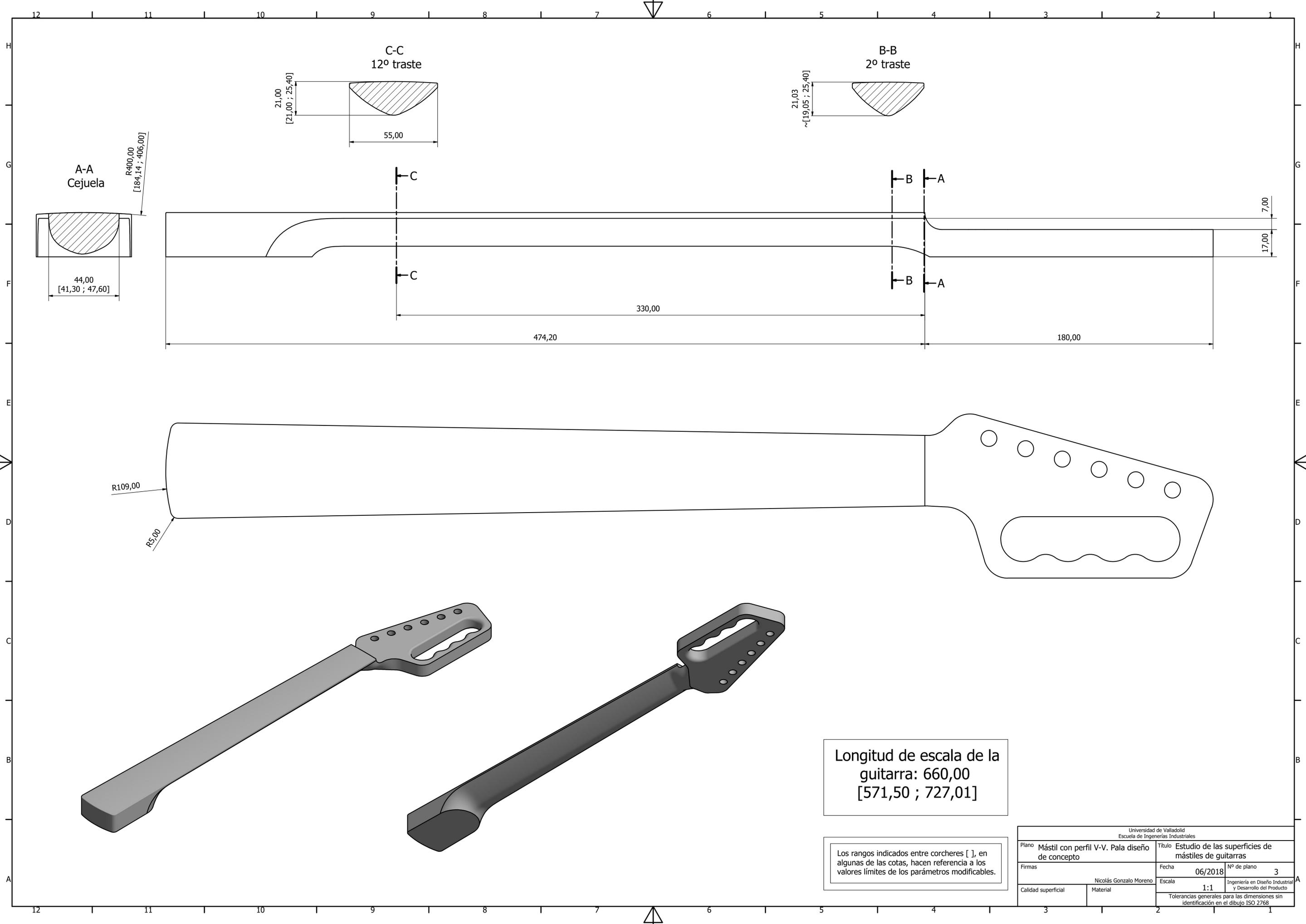
Universidad de Valladolid Escuela de Ingenierías Industriales			
Plano	Mástil con perfil C-C. Pala tipo Stratocaster	Título	Estudio de las superficies de mástiles de guitarras
Firmas	Nicolás Gonzalo Moreno	Fecha	06/2018
		Nº de plano	2
Calidad superficial	Material	Escala	1:1
Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto			
Tolerancias generales para las dimensiones sin identificación en el dibujo ISO 2768			



Longitud de escala de la guitarra: 628,00
[571,50 ; 727,01]

Los rangos indicados entre corcheros [], en algunas de las cotas, hacen referencia a los valores límites de los parámetros modificables.

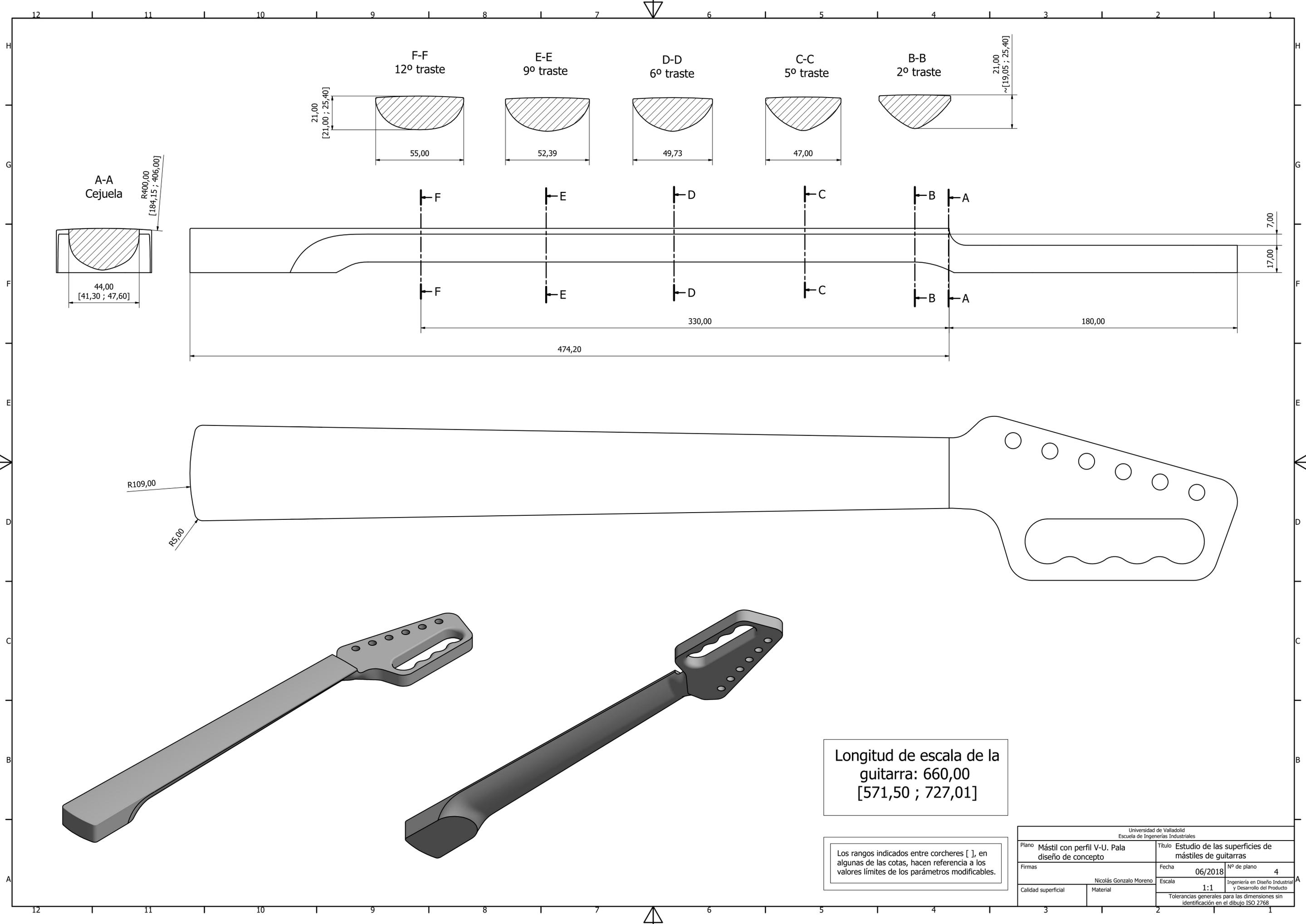
Universidad de Valladolid Escuela de Ingenierías Industriales			
Plano	Mástil con perfil U-U. Pala tipo Les Paul	Título	Estudio de las superficies de mástiles de guitarras
Firmas	Nicolás Gonzalo Moreno	Fecha	06/2018
Calidad superficial	Material	Nº de plano	2
		Escala	1:1
Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto			
Tolerancias generales para las dimensiones sin identificación en el dibujo ISO 2768			



Longitud de escala de la guitarra: 660,00
[571,50 ; 727,01]

Los rangos indicados entre corchetas [], en algunas de las cotas, hacen referencia a los valores límites de los parámetros modificables.

Universidad de Valladolid Escuela de Ingenierías Industriales			
Plano	Mástil con perfil V-V. Pala diseño de concepto	Título	Estudio de las superficies de mástiles de guitarras
Firmas	Nicolás Gonzalo Moreno	Fecha	06/2018
Calidad superficial	Material	Escala	1:1
		Nº de plano	3
		Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto	
Tolerancias generales para las dimensiones sin identificación en el dibujo ISO 2768			



A-A
Cejuela

R400,00
[184,15 ; 406,00]

44,00
[41,30 ; 47,60]

F-F 12° traste
E-E 9° traste
D-D 6° traste
C-C 5° traste
B-B 2° traste

21,00
[21,00 ; 25,40]

55,00
52,39
49,73
47,00

21,00
~[19,05 ; 25,40]

F F F F F F
E E E E E E
D D D D D D
C C C C C C
B B B B B B
A A A A A A

474,20
330,00
180,00

R109,00

R5,00

Longitud de escala de la guitarra: 660,00
[571,50 ; 727,01]

Los rangos indicados entre corchetas [], en algunas de las cotas, hacen referencia a los valores límites de los parámetros modificables.

Universidad de Valladolid Escuela de Ingenierías Industriales			
Plano	Mástil con perfil V-U. Pala diseño de concepto	Título	Estudio de las superficies de mástiles de guitarras
Firmas	Nicolás Gonzalo Moreno	Fecha	06/2018
Calidad superficial	Material	Escala	1:1
		Nº de plano	4
Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto			
Tolerancias generales para las dimensiones sin identificación en el dibujo ISO 2768			

5.2. PROTOTIPOS VIRTUALES

Los prototipos virtuales o renders⁸ nos ofrecen una representación visual del modelo, que nos generará una idea aproximada de cómo serán los productos físicos obtenidos a partir de dicho modelo. Mediante esta recreación podremos evaluar, y posteriormente depurar, las superficies modeladas. Mediante estos prototipos se busca ilustrar el objetivo alcanzado en este proyecto: un modelo de mástil parametrizado que sea capaz de adaptarse a los requisitos ergonómicos y técnicos de cada guitarrista.

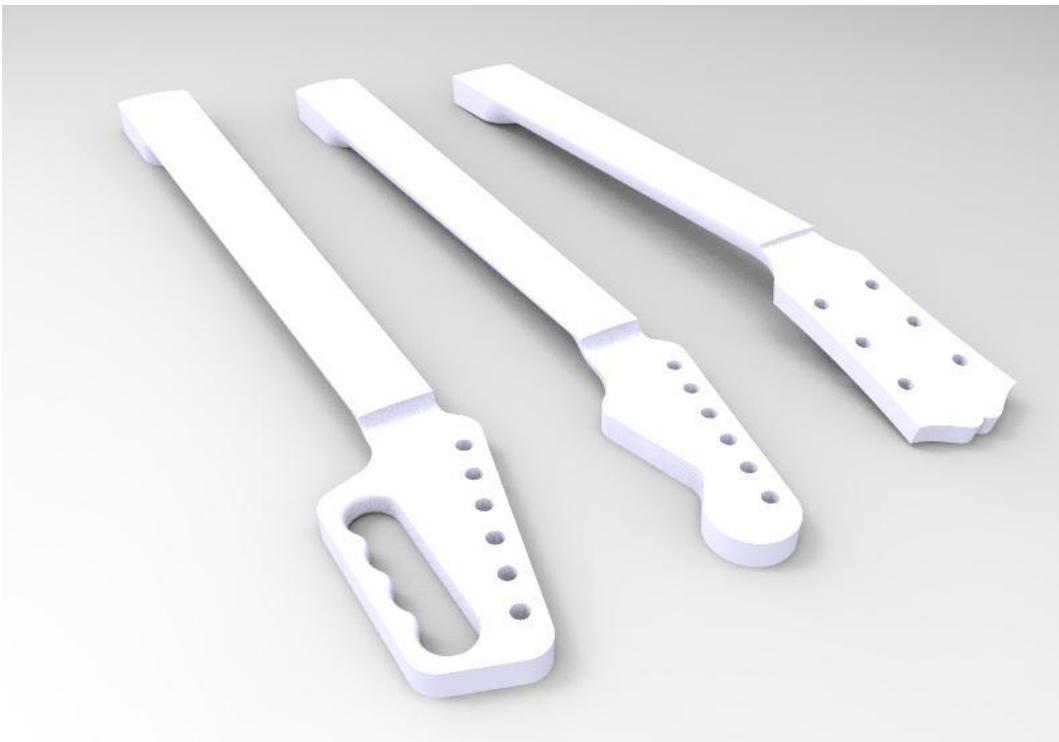


Fig. 133 Render (I). Render de oclusión. [27]

⁸ El render es una imagen digital que se crea a partir de un modelo o escenario, cuyo objetivo es dar una apariencia realista al modelo desde cualquier perspectiva.



Fig. 134 Render (II). Recreación con distintos tipos de madera.

En el siguiente render se representan, de izquierda a derecha, posibles combinaciones de formas de perfil (siendo la primera letra la forma en la cejuela y la segunda letra la forma en el decimosegundo traste): VV, CC, UU, CU, VU, UV. Se ha buscado jugar con la iluminación de tal modo que permita diferenciar los distintos tipos de perfil, aunque es cierto que mediante esta técnica de prototipado no son del todo apreciables las diferencias. Por ello, necesitamos de planos y de prototipos tangibles para poder analizar correctamente los perfiles obtenidos.



Fig. 135 Render (III). Distintas combinaciones de formas de perfil.

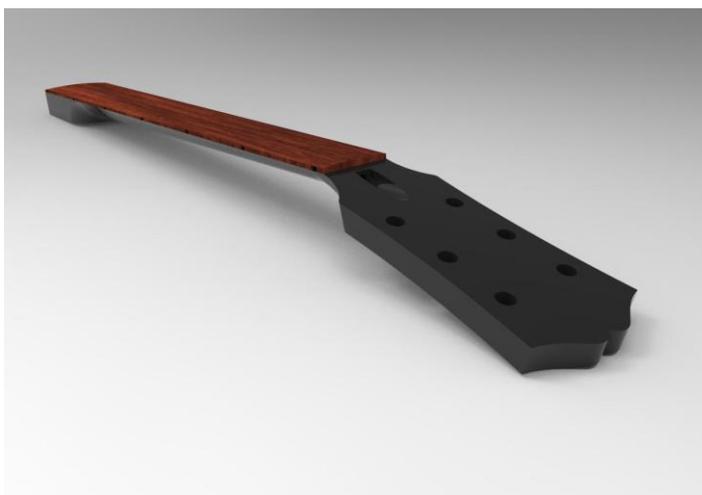


Fig. 136 Render (IV). Mástil de pala angulada con diapason de madera de ébano y cuerpo pintado en negro.



Fig. 137 Render (V). A la izq., diapasón y cuerpo de maderas deferentes. A la dcha., diapasón y cuerpo de la misma madera.



Fig. 138 Render (VI) Despiece del conjunto mástil. Diapasón, cuerpo y tapa de la barra de refuerzo.



Fig. 139 Render (VII). Diseño de concepto de pala.

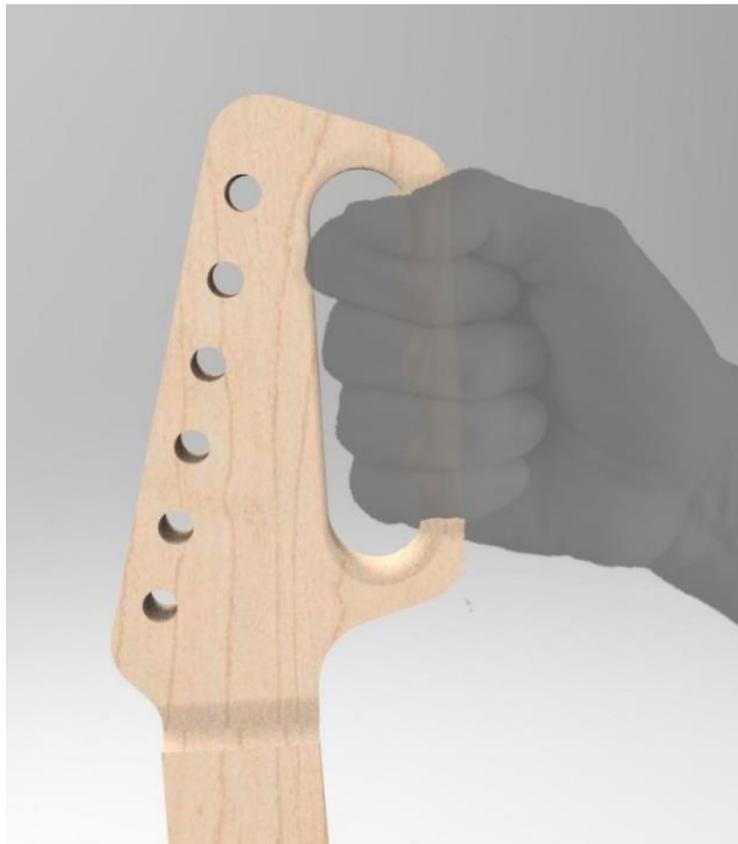


Fig. 140 Render (VIII). Diseño de concepto de pala.

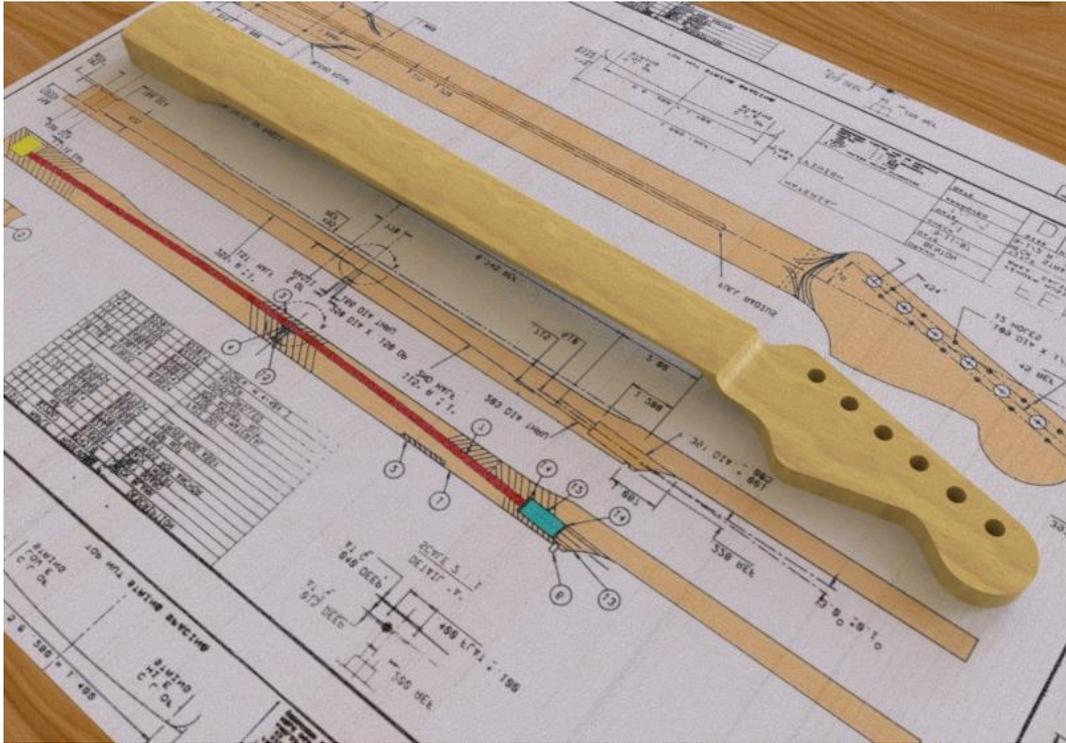


Fig. 141 Render (IX) Modelo en contexto.

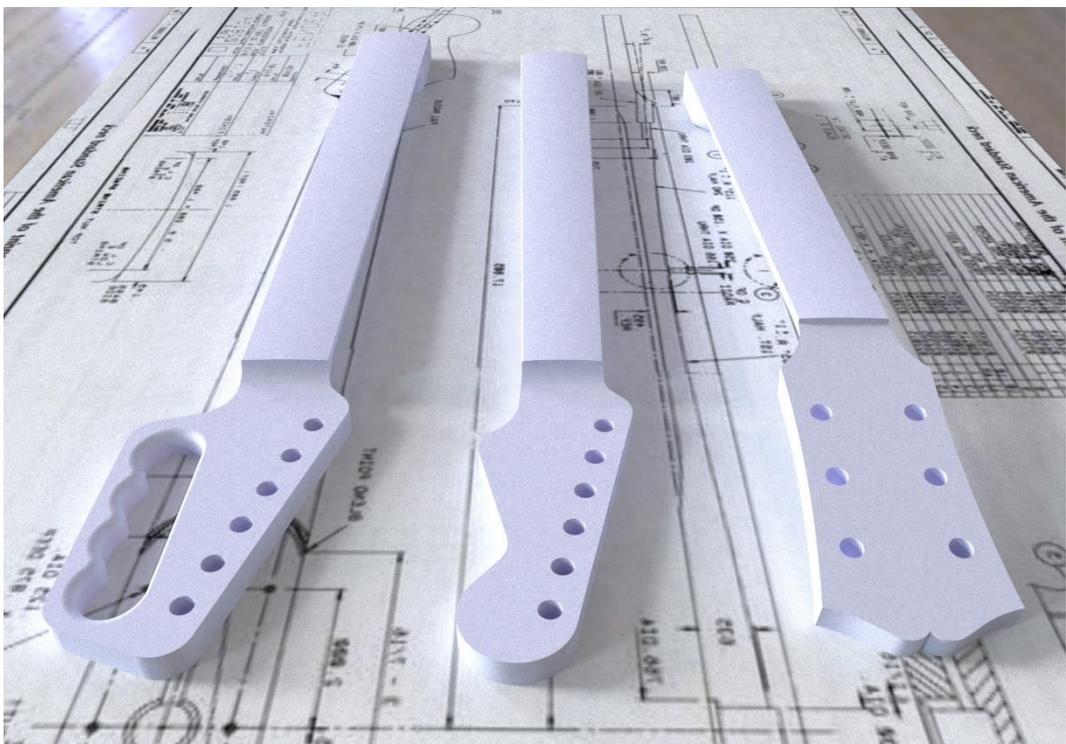


Fig. 142 Render (X). Render de oclusión. Modelo en contexto.

En este último render se pretende ilustrar el objetivo alcanzado en este proyecto: un modelo de mástil parametrizado que sea capaz de adaptarse a los requisitos ergonómicos y técnicos de cada guitarrista adoptando la geometría más adecuada.



Fig. 143 Render (XI). Representación final.

5.3. IMPRESIÓN 3D.

La impresión 3D, también conocida como manufactura por adición, es un proceso por el cual se crean objetos físicos colocando un material por capas en base a un modelo digital. Todos los procesos de impresión 3D requieren que el software, el hardware y los materiales trabajen en conjunto. [29]

Mediante esta técnica de prototipado podremos evaluar las superficies modeladas y apreciar perfectamente las diferencias entre las distintas geometrías obtenidas.

Se ha realizado, a escala 1:3, la impresión de tres modelos de mástiles. Cada uno de ellos cuenta con unas dimensiones, perfil y pala diferentes, con el fin de poder apreciar la mayor variedad de geometrías posibles.

El software utilizado para preparar el modelo para su impresión en 3D, como ya se indicó en la introducción del proyecto, es el Cura 3D Printing. En él se ha importado, en formato .stp, las tres variantes del modelo deseadas. Al ser una geometría compleja debemos sacrificar la curvatura del diapasón por una superficie recta, la cual se ha utilizado como base de la impresión. En las palas, al quedar en voladizo, debemos colocar material de soporte, que posteriormente será retirado, para permitir su impresión.

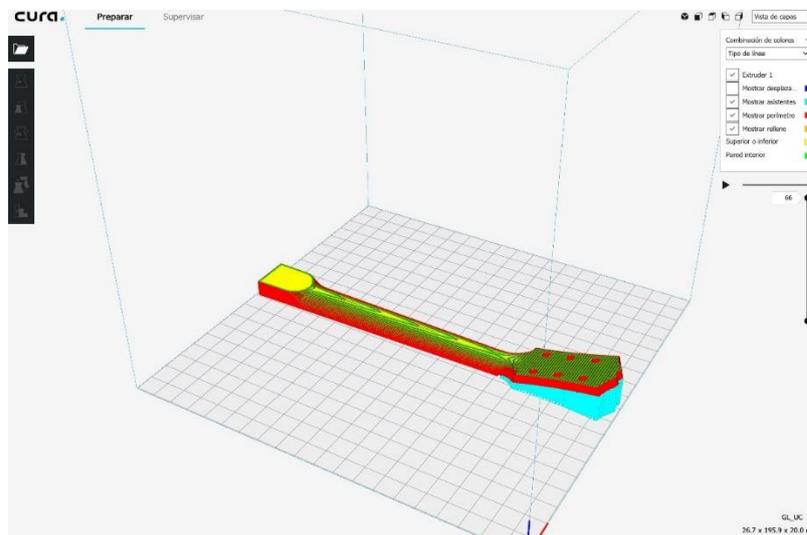


Fig. 144 Captura de pantalla del software Cura

El material utilizado para la impresión es “Woodfill” de Colorfabb, ya que es un material de imitación madera, de color similar a la madera de arce. Además,

nos aporta una textura similar a la madera recién mecanizada, antes de recibir los acabados posteriores.

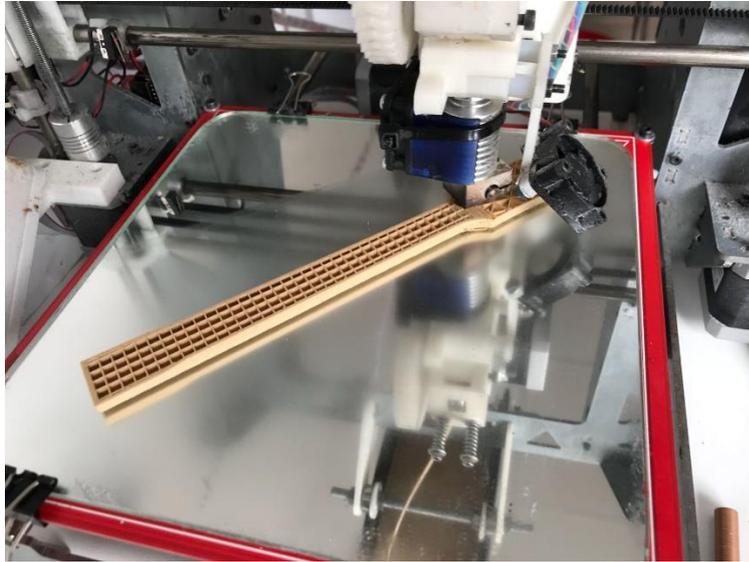


Fig. 145 Fotografía del proceso de impresión 3D

Para mostrar los resultados obtenidos de la impresión 3D, he aprovechado mis conocimientos relacionados con la fotografía de producto. Para ello, la cámara fotográfica empleada es una Canon EOS 1200D, ayudada de un trípode y una caja de luz led destinada a este tipo de fotografía. [27]



Fig. 146 Equipo utilizado para las fotografías de producto.



Fig. 147 Fotografía de producto (I)



Fig. 148 Fotografía de producto (II).



Fig. 149 Fotografía de producto (III).

6. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS.

6.1. CONCLUSIONES

Cuando este tfg me fue propuesto, me pareció una idea distinta a la gran mayoría de trabajos finales de nuestro grado; que suelen consistir en el desarrollo de un producto, desde la concepción de una idea hasta la definición de todas sus especificaciones.

En ese momento acepté desarrollarlo con entusiasmo, contando con que sería un proyecto complejo, que requeriría mucho tiempo de trabajo pero que me ofrecía la posibilidad de aumentar conocimientos en campos que son de gran interés para mí: el producto base (la guitarra eléctrica) y las materias desarrolladas en el grado, necesarias para la realización del proyecto. Llegados a este punto del proyecto, puedo corroborar que ha sido un proyecto largo y complejo a la par que apasionante, que ha requerido un arduo trabajo de análisis del producto y de un desarrollo previo de mis capacidades en la materia de modelado y parametrización.

La realización de este proyecto ha dado como resultado un modelo de mástil de guitarra eléctrica completamente parametrizado y sincronizado con una hoja de cálculo, capaz de adaptarse a los requisitos ergonómicos y funcionales de cada usuario. Todo ello basado en un exhaustivo análisis de los diseños de mástiles y herramientas precedentes.

Además, se ha conseguido cumplir todos los requisitos propuestos durante la fase inicial del proyecto:

El modelo es capaz de adquirir la geometría solicitada con el fin de adaptarse a la mano mediante la variación de sus parámetros y formas.

En principio, a falta de pruebas de funcionamiento, podemos deducir que el sonido producido por el instrumento no se verá afectado por las cualidades geométricas que adquiera el modelo, o al menos podrá ser contrarrestado mediante las propiedades de las cuerdas, por ejemplo. Al haber desarrollado el modelo dentro de las dimensiones y formas observadas en el mercado, cuya viabilidad ya ha sido comprobada, podemos deducir que el mástil no cederá a

las solicitaciones mecánicas, siempre que sea equipado por una barra de refuerzo que contrarreste las posibles carencias de la geometría obtenida.

Se ha posibilitado una modificación de los parámetros controlada, automatizada e intuitiva.

Los modelos obtenidos cuentan con una unión atornillada, ya que están destinados a acoplarse a los cuerpos de guitarra que dispongan de este tipo de unión, y son capaces de adaptar el diseño de pala deseado, como se ha probado mediante la implementación de tres diseños de pala distintos. Además, tal y como se ha simulado, será capaz de albergar un alojamiento para instalar la barra de refuerzo requerida.

Durante todo el proceso de modelado se ha tenido presente la estética final del mástil, obteniendo finalmente un diseño atractivo, sobrio, práctico y una estética funcional.

En mi opinión, como guitarrista, mediante este modelo hemos obtenido las bases para generar una herramienta que será capaz de ofrecer un diseño de guitarra hecho a medida para cada consumidor, que pueda evitar dolencias y posturas incómodas y, por consiguiente, optimizar su manejo. Un producto, en primer lugar, tiene que resultar útil a la sociedad, y este es el principio fundamental que ha conducido el proyecto; realizar un modelo de mástil que tenga en cuenta las necesidades de los guitarristas, evitando así posibles lesiones y ofreciendo un manejo cómodo, práctico e, incluso, placentero.

Por tanto, a nivel personal, puedo concluir que me siento orgulloso del trabajo realizado. Echando la vista atrás y valorando los resultados respecto a los objetivos propuestos en el momento de inicio, se ha conseguido lograr prácticamente todos ellos.

6.2. LÍNEAS FUTURAS

Añadir que, a raíz de este proyecto, quedan multitud de opciones abiertas que podrían ser desarrolladas en otros proyectos.

Por ejemplo, el estudio del mástil podría ampliarse a un estudio mecánico, comprobando el comportamiento, de las geometrías obtenidas junto con los elementos de refuerzo, ante las solicitaciones mecánicas pertinentes.

También sería deseable que se realizase un estudio ergonómico y paramétrico del resto de componentes de la guitarra, para conseguir un instrumento totalmente hecho a medida del consumidor. Además, esta misma metodología de modelado podría adaptarse al resto de variantes de guitarras, como pueden ser las guitarras españolas y acústicas e, incluso, a instrumentos de cuerda equipados con un mástil, como pueden ser bajos, violines, contrabajos, etc.

Uno de los principales futuros potenciales del modelo obtenido es el de ser implantado en una herramienta enfocada a la fabricación del mástil personalizado. Dicha fabricación tendría como base la tecnología CNC (Computer Numerical Control), la cual permite un preciso mecanizado de las preformas de madera capaz de obtener cualquiera de las formas programadas en el modelo.

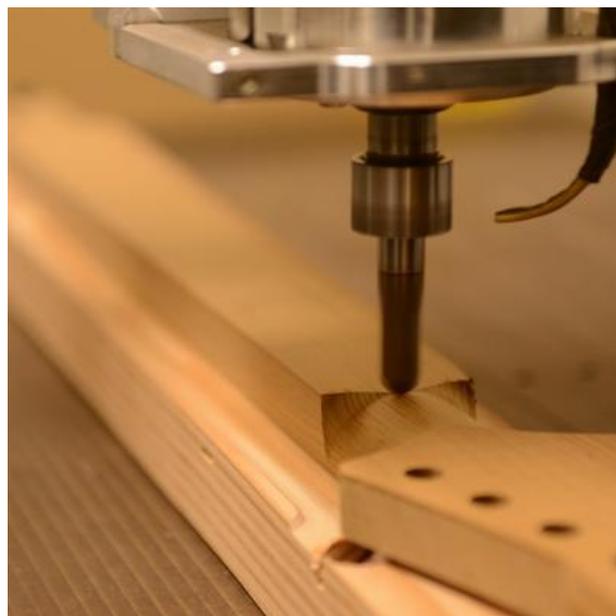


Fig. 150 Proceso de mecanizado de un mástil mediante tecnología CNC.

Esta posible herramienta podría ser empleada por las grandes marcas del sector y fábricas de customizado, para ofrecer al usuario la posibilidad de adquirir un producto diseñado totalmente a medida. Además, podrán complementar la herramienta con una mayor variedad de parámetros, como pueden ser: Tipos de maderas, dimensiones de las varillas de los trastes, componentes estéticos a añadir (inlays, binding, etc.), número de trastes,

tamaño de los taladros del clavijero, acabados de la superficie, etc., así como ofrecer una mayor variedad de tipos de unión y diseños de palas.

7. BIBLIOGRAFÍA

Introducción

Libros

[1] TORRECILLA IUSAGUBRE, Eduardo. El gran libro de CATIA. Barcelona: Marcombo, 2010. ISBN: 978-84267-1663-7.

Páginas web

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE ERGONOMÍA:

[2] <http://www.ergonomos.es/ergonomia.php> [Última consulta: 10/04/2018]

Marco teórico

Libros

[3] BURROWS, Terry. Método de guitarra eléctrica. Barcelona: Parramón, 2006. ISBN: 978-84-342-2914-3.

[4] KOCH, Martin. Building electric guitars. 2001. ISBN: 3-901314-07-5.

[5] KELLY WILL. How to build electric guitars. Minneapolis: Voyageur Press. 2012. ISBN: 978-0-7603-4224-4.

[6] SIMINOFF, Roger H. Constructing a solid-body guitar. Milwaukee: HLB Hall: Leonard Books. 1986. ISBN: 0-88188-451-0.

[7] BENEDETTO, Robert. Making an archtop guitar. Anaheim Hill. Centerstream Publications. 1996. ISBN: 978-1-57424-000-9.

Páginas web

EL APRENDIZ DEL LUTHIER:

[8] <https://aprendizdeluthier.com/75index.php/stratocaster/el-mastil-de-la-guitarra-explicado/> [Última consulta: 21/05/2018]

FRUDA:

[9] http://www.frudua.com/tipos_de_pala_guitarra.htm [Última consulta: 18/04/2018]

WARMOTH:

[10] <http://www.warmoth.com/Guitar/Necks/NeckConstructions.aspx> [Última consulta: 21/05/2018]

[11] <http://www.warmoth.com/Guitar/Necks/BackContours.aspx> [Última consulta: 28/05/2018]

[12] <http://www.warmoth.com/pages/CustomNeck.aspx> [Última consulta: 12/05/2018]

FENDER:

[13] <https://www.fender.com/> [Última consulta: 03/06/2018]

[14] <https://www.fender.com/articles/tech-talk/c-u-v-which-neck-shape-is-for-you> [Última consulta: 03/06/2018]

[15] <http://www.fendercustomshop.com/> [Última consulta: 12/05/2018]

[16] <https://shop.fender.com/> [Última consulta: 12/05/2018]

YAMAHA:

[17] https://es.yamaha.com/es/products/musical_instruments/guitars_basses/index.html [Última consulta: 12/05/2018]

GIBSON:

[18] <http://www.gibson.com/> [Última consulta: 12/05/2018]

STEVIE RAY:

[19] <http://www.stevieray.com/gear.htm> [Última consulta: 13/05/2018]

IBANEZ:

[20] http://www.ibanez.com/eu/index_es.php [Última consulta: 13/05/2018]

PRS GUITARS:

[21] <http://www.prsguitars.com/> [Última consulta: 13/05/2018]

GRETSCH GUITARS:

[22] <https://www.gretschguitars.com/> [Última consulta: 13/05/2018]

KIESEL GUITARS:

[23] <https://www.kieselguitars.com/> [Última consulta: 16/05/2018]

Desarrollo práctico

Libros

[1] TORRECILLA IUSAGUBRE, Eduardo. El gran libro de CATIA. Barcelona: Marcombo, 2010. ISBN: 978-84267-1663-7.

[24] VALIN, Antonio. Apuntes para la asignatura Diseño Asistido por Ordenador, Ingeniería de Diseño Industrial y Desarrollo de Producto, EII UVa, Valladolid.

Páginas web

GEO 3D:

[25] <http://ejercicios3d.geo3d.es/> [Última consulta: 18/04/2018]

3DS DASSAULT SYSTEMES:

[26] <https://www.3ds.com/es/productos-y-servicios/catia/> [Última consulta: 30/05/2018]

Resultados obtenidos

Cursos

[27] RECREA ASOCIACIÓN DE DISEÑO. Curso de fotografía del producto. EII Uva, Valladolid. Curso 2016-2017.

Libros

[28] ESCUDERO MANCEBO, David. Apuntes para la asignatura Informática Gráfica, Ingeniería de Diseño Industrial y Desarrollo de Producto, EII UVA, Valladolid.

[29] PRADANOS DEL PICO, Roberto. Apuntes para la asignatura Expresión Gráfica, Ingeniería de Diseño Industrial y Desarrollo de Producto, EII UVA, Valladolid.

Páginas web

AUTODESK:

[30] <https://latinoamerica.autodesk.com/solutions/3d-printing> [Última consulta: 30/05/2018]

Bibliografía

Páginas web

NORMAS APA:

[31] <http://normasapa.com/> [Última consulta: 03/06/2018]