

TREBALL FI DE GRAU

Grau en Enginyeria Mecànica

**PROCÉS DE DISSENY, PROGRAMACIÓ EN CNC I
FABRICACIÓ D'UNA GUITARRA ELÈCTRICA**



Memòria i Annexos

Autor: Arnau Roca i Coll

Director: José Antonio Travieso i Rodriguez

Convocatòria: MAIG 2022

RESUM

El següent projecte és un treball de final d'estudis del grau d'enginyeria mecànica cursat a la Universitat Politècnica de Catalunya. Té com a objectiu fer una explicació de tot el procés seguit per la fabricació d'una guitarra elèctrica des de zero amb un procés de control numèric.

Comença per una petita introducció a l'instrument, la física del so i la física del so aplicat a una guitarra. Es dissenya una guitarra amb cos de caoba, mànec d'arç i diapasó de palissandre. El model s'acosta a una guitarra estil Telecaster amb l'electrònica variada.

Ha sigut dissenyada amb el programa SolidWorks per poder treballar posteriorment amb una fresadora de control numèric de la marca Riegre utilitzant el programa TopSolid. A continuació s'han fet acabats manuals per deixar la guitarra apunt col·locant totes les peces i soldant l'electrònica.

El resultat final és el d'una guitarra amb bon so, estètica i còmode. L'acabat és natural, color fusta.

A l'apartat d'annexes es poden consultar tots els plànols de disseny i el programa de CNC.

RESUMEN

El siguiente proyecto es un Trabajo de fin de estudios del grado en ingeniería mecánica cursado en la Universidad Politécnica de Catalunya. Tiene como objetivo hacer una explicación de todo el proceso seguido para la fabricación de una guitarra eléctrica des de cero con un proceso de control numérico.

Empieza con una pequeña introducción del instrumento, la física del sonido y la física del sonido aplicado a una guitarra. Se diseña una guitarra con cuerpo de caoba, mástil de arce y diapason de palosanto. El modelo se aproxima a una guitarra estilo Telecaster con electrónica variada.

Ha sido diseñada utilizando el programa SolidWorks para poder trabajar posteriormente con una fresadora de control numérico de la marca Rierge mediante el programa TopSolid, Seguidamente se hicieron trabajos manuales para dejar la guitarra terminada colocando todas las piezas y soldando la electrónica.

El resultado final es una guitarra con buen sonido, estética i cómoda. El acabado final es natural, color madera.

En el apartado de anexos se pueden consultar todos los planos de diseño de la guitarra y el programa de CNC.

ABSTRACT

The following project is a final year project for the degree in mechanical engineering. It aims to explain the whole process of making an electric guitar from scratch using a numerical control process.

It begins with a brief introduction to the instrument, the physics of the sound and the physics of the sound applied to a guitar. A guitar is designed with a mahogany body, archtop and rosewood fretboard. The model is similar to a Telecaster style guitar with a variety of electronics.

It has been designed with the SolidWorks program so that it can be worked on later with a Riegre numerical control milling machine using the TopSolid program. Afterwards, the guitar was finished by hand to finish the guitar by placing all the parts and soldering the electronics.

The final result is a guitar with a good sound, aesthetic and comfortable. The finish is natural, wood colored.

In the annexes section you can consult all the design plans and the CNC program.

AGRAÏMENTS

No haguera sigut possible l'elaboració d'aquest projecte sense l'ajuda d'en Joan Carles Parellada, *ArtStringLuthier*. Luthier experimentat en l'ampli camp de la reparació, ajustaments i fabricació de guitarres, tant elèctriques com acústiques. M'ha permès estar al seu taller, impregnar-me de la seva passió per aquest instrument, i ha compartit amb mi tots els coneixements necessaris que poguessin fer de la meua guitarra, l'instrument que busco. Agrair-li que m'hagi ajudat i deixat les eines necessàries per fer els acabats finals del meu projecte.

També vull agrair especialment a la *Fusteria Roca Fitó*, a en Jaume Roca, l'Assumpta Casellas i al tècnic de la fresadora, en Xevi Canet. Ells m'han ajudat a aprendre a crear amb el programa de CNC per tallar les diferents peces. M'han deixat el seu taller on he pogut fer les proves necessàries perquè tot encaixés a la perfecció i amb l'ajuda dels seus coneixements realitzar un bon instrument.

ÍNDEX

RESUM	I
RESUMEN	II
ABSTRACT	III
AGRAÏMENTS	IV
ÍNDEX	V
ÍNDEX D'IMATGES	VIII
1. PREFACI	11
1.1 ORIGEN DEL TREBALL	11
1.2 MOTIVACIÓ	11
1.3 REQUERIMENTS PREVIS	12
2. INTRODUCCIÓ	13
2.1. OBJECTIUS DEL TREBALL	13
2.2. ABAST DEL TREBALL	13
3. MARC TEÒRIC	14
3.1. HISTÒRIA	14
3.2. L'INSTRUMENT	14
3.2.1. Parts d'una guitarra elèctrica	14
3.2.2. Física del so	16
3.2.3. Física de la guitarra	19

4. PLANTEJAMENT	20
5. DISSENY	21
5.1. MODEL	21
5.1.1. Cos	21
5.1.2. Mànec	23
5.1.3. Claviller	24
5.1.4. Diapasó	25
5.2. MATERIALS	26
5.2.1. Fusta	26
5.2.2. Components mecànics	27
5.3. ELECTRÒNICA	27
5.3.1. Pastilles	27
5.3.2. Selectors	28
5.3.3. Potenciòmetres	28
6. FABRICACIÓ	29
6.1. DISSENY 3D	29
6.1.1. Cos	29
6.1.2. Mànec	29
6.1.3. Diapasó	30
6.1.4. ENSAMBLATGE	31
6.2. DISSENY ELECTRÒNIC	32
6.3. PROGRAMACIÓ I MECANTITZATS AMB LA FRESADORA DE CNC 33	

6.3.1. Dia 1	34
6.3.2. Dia 2	34
6.3.3. Dia 3	35
6.4. ACABATS MANUALS	37
6.4.1. Eines i processos	38
7. RESULTAT FINAL	40
CONCLUSIONS	41
REFLEXIÓ FINAL	42
PRESSUPOST I/O ANÀLISI ECONÒMICA	43
BIBLIOGRAFIA	44
ANNEXES	45
A1. PLÀNOL GENERAL	45
A2. COS	45
A3. MÀNEC	45
A4. DIAPASÓ	45
A5. CLAVILLES WILKINSON 191CL 6 LÍNEA	50
A6. ÀNIMA DOBLE ACCIÓ	50
A7. SWITCH DPDT on-on-on	51
A8. SWITCH LES PAUL DM20W	51
A9. PASTILLA HUMBUCKER	52
A10. PONT GOTOH GE103B-T	52

A11. CORDAL GOTOH GE101A	53
A12. POTENCIÒMETRE CTS.....	53
A13. MECANITZATS COS	54
A14. MECANITZATS MÀNEC.....	55
A15. MECANITZATS DIAPASÓ.....	56

ÍNDIX D'IMATGES

Imatge 3.2.1-1: Llaüt.....	14
Imatge 3.2.1-2: Viola de mà	14
Imatge 3.2.1-1: Parts d'una guitarra elèctrica	16
Imatge 3.2.2-1: Fenomen físic del so	17
Imatge 3.2.2-2: Esquema fenomen físic del so.....	17
Imatge 5.1.2-1: Exemples forma del màstil (mides en in)	23
Imatge 5.1.3-1: Claviller 6 en línia.....	24
Imatge 5.1.3-2: Angle de presió a la selleta	24
Imatge 5.1.4-1: Escales de diapasó	25
Imatge 5.2.1-1: So cos de caoba	26
Imatge 5.2.1-2: So mànec d'arç	26
Imatge 5.2.1-3: So diapasó de palissandre.....	26
Imatge 5.2.1-4: Superposició de caoba, arç i palissandre	27
Imatge 6.1.1-1: Cos part superior	29
Imatge 6.1.1-2: Cos part inferior	29
Imatge 6.1.2-1: Mànec part superior	30
Imatge 6.1.2-2: Mànec part inferior	30

Imatge 6.1.2-3: Claviller	30
Imatge 6.1.3-1: Diapassó part superior	31
Imatge 6.1.3-2: Diapasó part frontal	31
Imatge 6.1.3-3: Diapasó detall selleta i punts de referencia	31
Imatge 6.1.4-1: Ensamblatge	31
Imatge 6.1.4-2: Explosionat	32
Imatge 6.2-6.1.4-1: Circuit 2 humbucker, 2 volum, 2 tons i 3 posicions	33
Imatge 6.3.1-1: Mecanitzat del cos prototip 1	34
Imatge 6.3.1-2: Cos prototip 1	34
Imatge 6.3.2-1: Mecanitzat del cos prototip 2	35
Imatge 6.3.2-2: Cos prototip 2	35
Imatge 6.3.2-3: Programació mecanitzat prototip mànec	35
Imatge 6.3.2-4: Mecanitzat prototip mànec	35
Imatge 6.3.3-1: Encaix prototips cos i mànec	35
Imatge 6.3.3-2: Mecanitzat mànec	35
Imatge 6.3.3-3: Mecanitzat mànec	36
Imatge 6.3.3-6: Encaix mànec i cos	36
Imatge 6.3.3-7: Mecanitzat diapasó	36
Imatge 6.3.3-8: Mecanitzat diapasó	36
Imatge 6.3.3-9: Encaix diapasó, mànec i cos	37
Imatge 6.3.3-10: Mecanitzat cos	37
Imatge 6.3.3-11: Programació mecanitzat cos	37
Imatge 6.3.3-12: Mecanitzat cos	37
Imatge 6.4.1-1: Forats per cablejat	38
Imatge 6.4.1-2: Tall trasts	38

Imatge 6.4.1-3: Tall trasts _____	39
Imatge 6.4.1-4: Incrustacions de nacre _____	39
Imatge 6.4.1-5: Diapasó acabat _____	39
Imatge 7-1: Resultat final _____	40

1. PREFACI

1.1 ORIGEN DEL TREBALL

Des dels 4 anys, paral·lelament als meus estudis, he estudiat música. A 6 anys vaig triar la guitarra clàssica com a instrument i durant 2 anys ho vaig compaginar amb l'estudi del clarinet a l'Escola de Música de Gurb. A 12 anys vaig entrar al Conservatori de Música de Vic, on em vaig acabar d'endinsar al món de la música i la guitarra, obtenint el títol de Grau Professional en l'especialitat de guitarra clàssica. Com a segon instrument vaig fer guitarra elèctrica amb totes les optatives de música moderna, per així poder aconseguir tots els coneixements per desenvolupar-me bé amb la guitarra elèctrica. Quan vaig venir a Barcelona a estudiar enginyeria mecànica a l'EEBE no vaig seguir amb els meus estudis musicals, així i tot, mai he deixat de tocar. He fet classes particulars de guitarra elèctrica i he estat tocant a casa, pels amics, família i en un grup de música, *l'Esquerda*. Així que la guitarra i la música sempre han sigut un complement més en la meva formació personal, no m'ha, ni l'he abandonat mai.

1.2 MOTIVACIÓ

La meva principal motivació per dur a terme un treball com aquest ha sigut la unió de la meva passió amb tots els coneixements adquirits al llarg dels anys i assignatures que he anat cursant a l'EEBE. Poder fer una guitarra especial, personalitzada i dissenyada per mi, estalviant el màxim de processos artesanals i manuals, els quals requereixen molta pràctica i traça. Fer-la de manera àgil i pràctica. Crear una guitarra per mi i més endavant poder repetir el procés per dissenyar i fabricar guitarres per amics músics que en vulguin una de personalitzada, ja que un cop feta, els passos ses simplifiquen molt si s'utilitza una fresadora de CNC.

1.3 REQUERIMENTS PREVIS

És imprescindible per poder dissenyar, tenir coneixements bàsics d'algun programa de disseny en 3D. En el meu cas he utilitzat el SolidWorks, programa utilitzat en les assignatures d'*Expressió Gràfica* i *Ampliació d'Expressió Gràfica. Disseny Mecànic*.

Per fer un bon disseny sempre s'ha de tenir en compte que el que s'està dissenyant posteriorment s'haurà de fabricar. L'assignatura de *Fabricació* i *Taller* (cursada durant el meu intercanvi acadèmic a Argentina) són assignatures que m'han ensenyat, tant de manera teòrica com pràctica, a la bona utilització d'eines i maquinària per construir qualsevol peça, així com detalls imprescindibles, com poden ser les toleràncies per poder fer encaixar tots els elements que té la guitarra, sense que tinguin joc les peces que han de quedar fixades (el pont i el mànec) o puguin tenir joc les parts mòbils com les pastilles.

Per altra banda, actualment estic treballant des del març de 2021 a *Presscat*, una Caldereria Industrial especialitzada en la fabricació de dipòsits, tolves, estructures, escales, baranes... en ferro i acer inoxidable. Allà hi vaig començar de pràctiques extracurriculars i en l'actualitat hi exerceixo com a delineant tècnic projectista. Hem fet projectes que han requerit dissenys des de zero, amb la seva precisa previsió de materials i processos, que m'ha simplificat molt la feina a l'hora de començar a plantejar un projecte com aquest, tot i ser un camp totalment diferent del del metall, el qual hi estic més avesat.

2. INTRODUCCIÓ

2.1. OBJECTIUS DEL TREBALL

El treball consta dels següents objectius:

- Aprendre la mecànica i física bàsica de l'instrument
- Escollir fustes compatibles qualitat/preu amb el disseny establert
- Dissenyar una guitarra estètica i còmode
- Escollir els components mecànics per a una bona precisió
- Escollir els components electrònics per buscar un so en concret
- Dissenyar el circuit electrònic per a la correcta execució dels components
- Programar una fresadora de CNC per tallar totes les peces de fusta
- Aprendre conceptes bàsics de fusteria
- Preveure tots els processos que tingui el projecte
- Aplicar conceptes apresos durant la carrera de manera pràctica

2.2. ABAST DEL TREBALL

El projecte es basa en 3 passos: plantejament, disseny i fabricació.

Tenint en compte tots els coneixements que tinc sobre l'instrument i sabent bé quin estil de so i guitarra voldria que sortís, l'objectiu és que quedi una molt bona guitarra. Ha de ser una guitarra còmoda i l'afinació de l'instrument ha de ser l'adequada. Treballant damunt d'un programa i un disseny a l'ordinador a vegades és difícil imaginar-te com podria ser la guitarra un cop la tinguis a les mans.

3. MARC TEÒRIC

3.1. HISTÒRIA

La guitarra és un instrument de corda pinçada. Prové de la lira, un instrument que es creu que va ser inventat pels hitites l'any 1500 a.C. Paral·lelament han aparegut instruments similars en altres indrets del món fins a l'actualitat, passant per instruments com la viola de mà (*vihuela* en castellà) o el llaüt. No és fins a l'any 1850 quan apareix la primera guitarra espanyola, altrament dit guitarra clàssica, que és la que coneixem en l'actualitat. La guitarra elèctrica apareix al segle XX, quan Leo Fender crea la primera gràcies als avenços tecnològics i nous estils de música moderna emergents, com el jazz, blues, rock'n'roll, funk..., on hi ha tingut un paper fonamental pel desenvolupament de l'estil i de l'instrument.



Imatge 3.2.1-1: Llaüt



Imatge 3.2.1-2: Viola de mà

3.2. L'INSTRUMENT

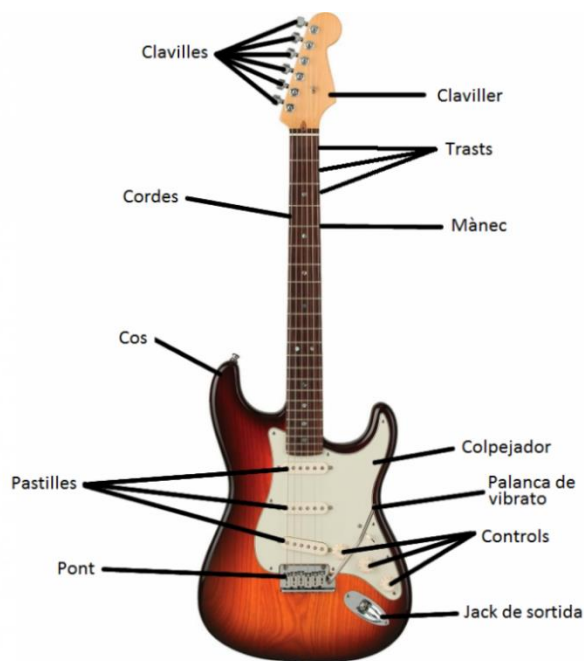
3.2.1. Parts d'una guitarra elèctrica

La guitarra elèctrica està composta de les següents parts:

- Claviller o pala: part superior. Conté les clavilles
- Clavilles: claus per afinar i mantenir afinada la guitarra on hi van enrotllades les cordes
- Cordes: són d'acer, i a diferència de les cordes de guitarra acústica, que també ho són, aquestes estan dissenyades per crear un corrent altern a la bobina de la pastilla en afectar amb la seva vibració el camp magnètic.

- Selleta: punt de suport superior del diapasó on la corda acaba el seu recorregut. La distància d'aquesta al pont fa variar la disposició dels trasts per tal que la guitarra estigui afinada en cada punt, tot i variar la seva longitud.
- Ànima: peça col·locada a l'interior del mànec i el diapasó per poder inclinar el mànec en cas que sigui pertinent per un bon ajustament de la guitarra i que les cordes quedin més a prop del diapasó. L'ànima consta d'una rosca de dretes i una d'esquerres, soldades a una peça metàl·lica i a una ànima, que al collar o descollar fa la suficient força per doblegar el mànec.
- Mànec: part que uneix totes les peces de la guitarra. Rep tota la tensió produïda per la corda o l'intèrpret. També és el punt de tacte de la mà esquerra, i conté el diapasó encolat a sobre.
- Diapasó: part de la guitarra que conté els trasts. Té per disseny un petit radi per tenir més bon tacte a l'hora de tocar.
- Trasts: peça metàl·lica que crea la disposició de totes les notes al llarg del diapasó. En pressionar una corda, el trast marca la longitud entre trast i pont perquè soni la freqüència de la nota adient.
- Cos: peça de fusta encarregada de produir la ressonància de l'instrument i conté tots els components electrònics de la guitarra
- Pastilles: component electrònic compost d'un bobinat de filferro que crea un camp electromagnètic amb la vibració de les cordes i que es transmet en una corrent altern, anàloga a l'amplitud i freqüència de la corda. Hi ha diferents tipus de pastilles: pastilles simples i dobles. Van repartides en el cos, com més a la vora del pont el so és més brillant i a la vora del mànec més rodó.
- Selector: palanca que activa i desactiva les pastilles per a les diverses combinacions de so
- Potenciòmetres: varien el to i el volum depenent del tipus de potenciòmetre.
- Colpejador: protecció i envellidor del cos de la guitarra
- Palanca de *vibrato*: aplicat a un pont mòbil, crea un *vibrato* al variar la tensió de les cordes.

- Pont i cordal: part de recolzament de les cordes. N'hi ha de molts tipus, però en tots, és imprescindible la possibilitat d'ajustament de la longitud final de la corda per tal de quintar la guitarra, ja que l'afinació de l'instrument no és del tot una ciència exacta.
- Connector Jack: entrada del Jack per tal de poder enviar el so a l'amplificador.
- Botons i corretja: cargols als extrems del cos per poder penjar la guitarra i tocar dret.



Imatge 3.2.1-1: Parts d'una guitarra elèctrica

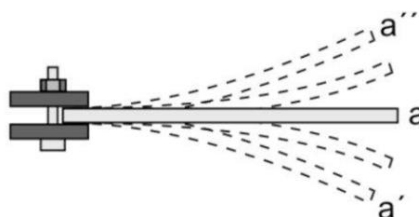
3.2.2. Física del so

El so és un fenomen provocat per la vibració mecànica i propagat per un medi (normalment l'aire). Es pot analitzar des de dos punts de vista:

- Fenomen físic
- Fenomen fisiològic

3.2.2.1. El so com a fenomen físic

Considerem una vareta subjectada des d'un dels extrems. Si la doblem fins arribar a la posició (a') i la deixem anar, aquesta oscil·larà al voltant de la seva posició d'equilibri creant pressions i depressions a l'aire del seu voltant creant així unes ones sonores.



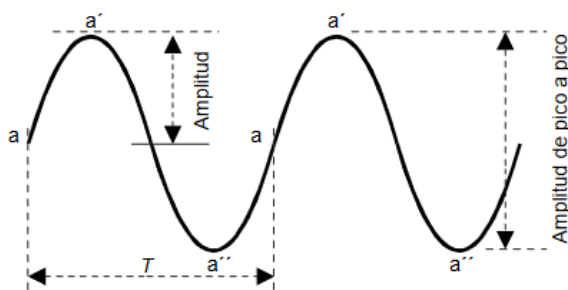
Imatge 3.2.2-1: Fenomen físic del so

Les principals característiques físiques d'una ona sonora són:

- Cicle: recorregut de la vareta fins passar dos cops seguits pel punt (a).
- Amplitud d'ona: desplaçament des de la zona d'equilibri fins un extrem ($a-a'$).
- Amplitud pic a pic: desplaçament pic a pic
- Període: temps que triga la vareta a completar un cicle sencer. Les unitats en SI són els (s) i el símbol és (T).
- Freqüència: és la inversa del període i representa el nombre de cicles efectuats en un segon. Les unitats en SI són els *Hertz* (Hz) i el símbol és (f).

$$f = \frac{1}{T} \quad (\text{Eq. 3.2.2-1})$$

Es pot exemplificar en aquest esquema:



Imatge 3.2.2-2: Esquema fenomen físic del so

- Longitud d'ona: distància que recorre una ona sonora en el temps d'un període. Depèn de la velocitat de propagació (c) en (m/s) i de la freqüència. La unitat en SI son metres (m) i el símbol és (λ)

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (\text{Eq. 3.2.2-2})$$

Així doncs, al ser la freqüència la inversa del període s'obté que:

$$\lambda = cT \quad (\text{Eq. 3.2.2-3})$$

3.2.2.2. El so com a fenomen fisiològic

Des d'un punt de vista fisiològic el so és una pertorbació en el medi que provoca sensacions auditives. Poden ser sons periòdics o no periòdics. Ens interessen els periòdics, ja que formen part de l'estudi sonor de la música, on podem diferenciar el *to* i el *timbre*.

- *To*: és la qualitat del so que ens permet distingir entre sons aguts o greus. Què ho determina és la freqüència. A freqüències baixes sons greus i a la que va pujant el so va sent més agut. Cada nota de l'escala musical se li atribueix una freqüència buscada entre 12 subdivisions de l'octava. L'oïda humana percep freqüències des de 20-20k Hz.

Taula 1: intervals de freqüència per a les notes de l'escala de Do

Intervalo	Longitud	Intervalo	Razón con la nota anterior	Escala Natural		Escala Temperada	
				Nota	f (Hz)	Nota	f (Hz)
Tónica	L	1 f		Do ₄	260,74	C	261,63
Segunda	$8/9 = 0,889$	$(3/2)(3/2)f/2 = 9/8 f$	$9/8 = 1,125$	Re ₄	293,33	D	293,66
Tercera	$64/81 = 0,790$	$(9/4)(9/8) f/2 = 81/64 f$	$9/8 = 1,125$	Mi ₄	330,00	E	329,63
Cuarta	$3/4 = 0,75$	4/3 f	$256/243 = 1,053$	Fa ₄	347,65	F	349,23
Quinta	$2/3 = 0,667$	3/2 f	$9/8 = 1,125$	Sol ₄	391,11	G	392
Sexta	$16/27 = 0,593$	$(3/2)(9/8) f = 27/16 f$	$9/8 = 1,125$	La ₄	440	A	440
Séptima	$128/243 = 0,527$	$(3/2)(81/64) f = 243/128 f$	$9/8 = 1,125$	Si ₄	495	B	493,88
Octava	$1/2 = 0,500$	2 f	$256/243 = 1,053$	Do ₅	521,48	C	523,25

- Timbre: dos instruments musicals que toquin la mateixa nota no ens produeixen la mateixa sensació auditiva, tot i tenir la mateixa freqüència. Això és el que entenem com el "color" d'un so. Aplicat a la guitarra, pot tenir diferents colors depenent de l'atac de la corda, la posició on es toca, la intensitat, la combinació de pastilles, l'ús d'afectes com distorsions, reverb,, wah-wah...

3.2.3. Física de la guitarra

La guitarra comprèn tots aquests aspectes físics i fisiològics de manera molt visible. En ser un instrument de corda, la vibració que crea la corda en ser polsada és la que provoca el so. I depenent de la corda i trast que pressionem tocarem una nota o una altra, en pressionar un trast, s'escurça la longitud de la corda sense variar la seva tensió i provoca un augment de la freqüència. Aquesta taula mostra la freqüència respecte al trast i la corda.

Taula 2: Relació trast-corda amb la freqüència

Fret	String 6	String 5	String 4	String 3	String 2	String 1
mut	82.400	110.00	146.80	196.00	246.90	329.60
1	87.300	116.54	155.53	207.65	261.58	349.20
2	92.491	123.47	164.78	220.00	277.14	369.96
3	97.991	130.81	174.58	233.08	293.61	391.93
4	103.82	138.59	184.96	246.94	311.07	415.27
5	109.99	146.83	195.95	261.63	329.57	439.96
6	116.53	155.56	207.61	277.19	349.17	466.12
7	123.46	164.81	219.95	293.67	369.93	493.84
8	130.80	174.61	233.03	311.13	391.93	523.21
9	138.58	185.00	246.89	329.63	415.23	554.32
10	146.82	196.00	261.57	349.23	439.93	587.28
11	155.55	207.65	277.12	370.00	466.09	622.20
12	164.80	220.00	293.60	392.00	493.80	659.20
13	174.60	233.08	311.06	415.31	523.16	698.40
14	184.98	246.94	329.55	440.00	554.27	739.93
15	195.98	261.63	349.15	466.17	587.23	783.93
16	207.63	277.18	369.91	493.89	622.15	830.54
17	219.98	293.66	391.91	523.26	659.14	879.93
18	233.06	311.13	415.21	554.37	698.34	932.25
19	246.92	329.63	439.90	587.34	739.86	987.68
20	261.60	349.23	466.06	622.26	783.86	1046.4
21	277.16	369.99	493.77	659.26	830.47	1108.6
22	293.64	392.00	523.14	698.46	879.85	1174.6
23	311.10	415.30	554.24	740.00	932.17	1244.4
24	329.60	440.00	587.20	784.00	987.60	1318.4

Tal com podem observar a la *Taula 2*, la guitarra és un instrument ja de per si desafinat, ja que no existeix una relació directa per poder estar afinada en tots els seus punts. Es pot observar, per exemple, en que la nota LA, que per norma general té una freqüència de 440Hz, la podem tocar en diferents posicions de la guitarra:

- Corda 1 – Trast 5 → 439,96Hz
- Corda 2 – Trast 10 → 439,94Hz
- Corda 3 – Trast 14 → 440Hz

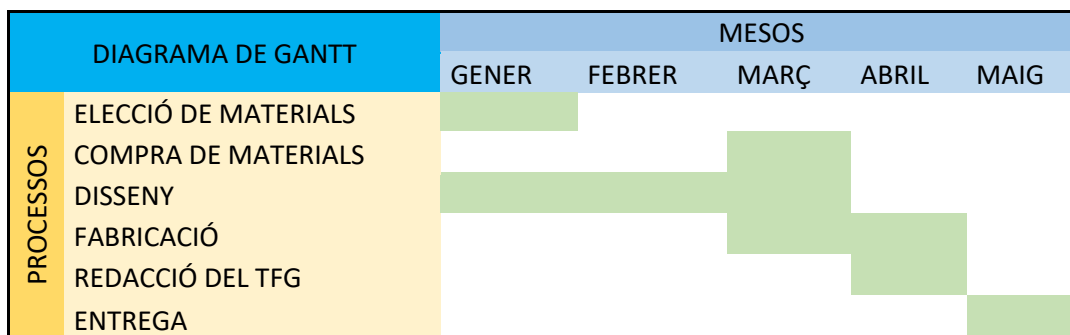
4. PLANTEJAMENT

El principal incentiu d'aquest projecte, a part de fer-me el meu propi instrument, era el fet de poder treballar i aprendre a fer servir una fresadora de CNC. N'havia vistes però no programat directament. Vaig contactar amb en Jaume Roca, amic de la família, qui és fuster i disposa de dues fresadores de CNC al seu taller. Des de bon inici li vaig demanar si podria utilitzar-la en cas de fer aquest projecte i no m'hi va posar cap inconvenient. Em va permetre la possibilitat d'anar a treballar a la Fusteria Roca Fitó alguns dies en què el gruix de feina del tècnic de la fresadora, en Xevi Canet, fos menor i pogués estar pendent de mi, ajudar-me i ensenyar-me el correcte funcionament de la seva fresadora *Rierge* (fabricada a mida per les condicions del taller), i poder tallar les peces necessàries.

Per altra banda, vaig contactar amb en Joan Carles Parellada, luthier des de fa 25 anys, a qui podia demanar-li molts dubtes sobre la construcció d'una guitarra i molts detalls a tenir en compte, consultar mides i fer servir algunes de les seves eines per acabar la guitarra, ja que algun procés manual no el podria fer amb la fresadora.

Per temes laborals, a finals de l'any 2021 no vaig poder començar el TFE així que em vaig posar en contacte amb el meu tutor, en José Antonio Travieso demanant-li com veuria si em presentés a la convocatòria addicional. En confirmar-m'ho em vaig poder organitzar millor i començar el projecte al gener. Ja que tenia poc temps vaig intentar estructurar-me un Diagrama de Gantt amb els processos a seguir i uns terminis a complir per poder entregar la memòria. És el següent:

Taula 3: Diagrama de Gantt



5. DISSENY

5.1. MODEL

5.1.1. Cos

Hi ha infinitat de models de guitarra. El primer pas era decidir entre 3 tipus: Sòlida, semibuida, buida. Per motius, sobretot constructius, em vaig encaminar cap a una guitarra sòlida, ja que requereix menys processos i el so que genera era també el que buscava.



Imatge 5.1.1-1: Guitarra sòlida



Imatge 5.1.1-2: Guitarra semi-buida



Imatge 5.1.1-3: Guitarra buida

Així i tot, continuen havent-hi infinitat de models. L'estil escollit s'anomena *Telecaster*, sobretot per l'estètica, tot i que l'únic que volia conservar d'aquesta guitarra és la forma del cos. Ni l'electrònica, ni mànec, ni materials n'he seguit la referència. L'electrònica i materials m'he basat molt en la guitarra *Ibanez AS-103*, que consta de Humbuckers i dos selectors, mentre que la *Telecaster* sol dur unes pastilles simples.



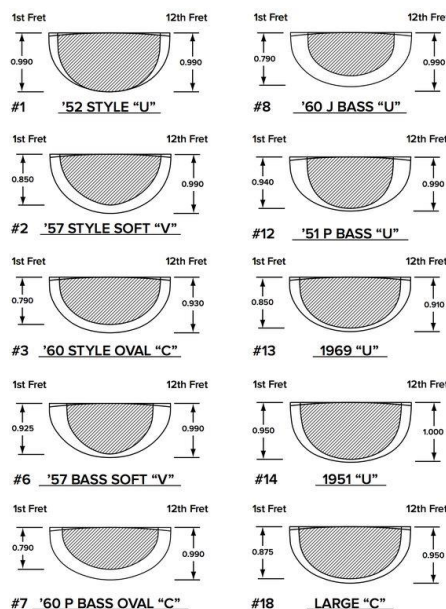
Imatge 5.1.1-4: Fender Telecaster



Imatge 5.1.1-5: Ibanez AS-153

5.1.2. Mànec

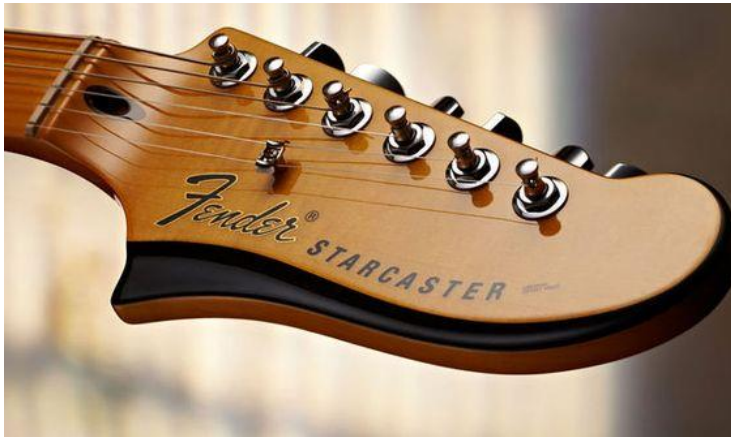
La forma del mànec és la que dona la comoditat a l'interpret i és molt personal. Hi ha qui pot preferir mànecs amples, estrets, en forma de U, de D.... A l'hora de dissenyar s'ha de tenir en compte la gran tensió que ha d'aguantar i el tipus de fixació en el cos si es vol fer encolat o cargolat. En el meu cas el mànec serà cargolat al cos i amb forma de C.



Imatge 5.1.2-1: Exemples forma del mànec (mides en in)

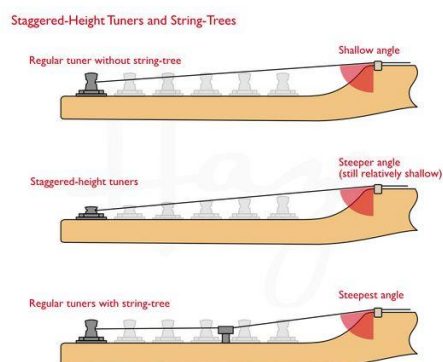
5.1.3. Claviller

Hi ha diferents tipus de clavillers, però els més comuns vindrien a ser els 6 en línia i els de 3 per banda. En el meu cas, intentant mantenir l'estil de la *Telecaster* els col·locaré 6 en línia.



Imatge 5.1.3-1: Claviller 6 en línia

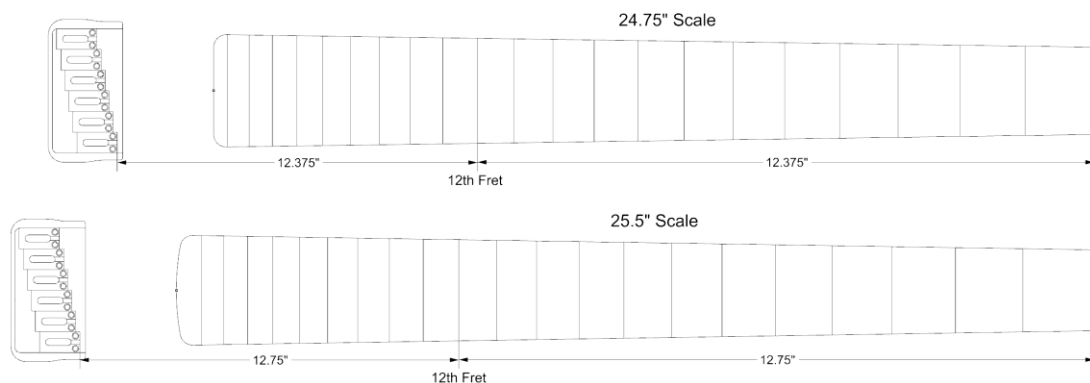
El claviller i el mànec sorgiran del mateix bloc de fusta, sense talls ni encolades, així que a la pala s'haurà de fer un rebaix per fer que les cordes pressionin bé sobre la selleta. En cas de no ser suficient sempre es pot afegir un component que pressiona la 1a i 2a corda, les quals queden més allunyades de la selleta, perquè tinguin l'angle adient.



Imatge 5.1.3-2: Angle de pressió a la selleta

5.1.4. Diapasó

El diapasó és una part fonamental per un bon disseny de guitarra, ja que conté tota la disposició de trast per fer que la guitarra soni afinada. La distància entre el pont i la selleta marca una disposició o una altra: N'hi ha varies, 24,75" o 25,5" són els més típics. La meua elecció és un mànec de 25,5". Dona més tensió a la corda i queda la mà més oberta en tocar.



Imatge 5.1.4-1: Escales de diapasó

Taula 4: Posició trast en escala de 25,5"

25.5" fret scale		Printable
fret	from nut	fret to fret
1	1.431"	1.431" (nut-1)
2	2.782"	1.351" (1-2)
3	4.057"	1.275" (2-3)
4	5.261"	1.203" (3-4)
5	6.397"	1.136" (4-5)
6	7.469"	1.072" (5-6)
7	8.481"	1.012" (6-7)
8	9.436"	0.955" (7-8)
9	10.338"	0.902" (8-9)
10	11.189"	0.851" (9-10)
11	11.992"	0.803" (10-11)
12	12.750"	0.758" (11-12)
13	13.466"	0.716" (12-13)
14	14.141"	0.675" (13-14)
15	14.779"	0.638" (14-15)
16	15.380"	0.602" (15-16)
17	15.948"	0.568" (16-17)
18	16.484"	0.536" (17-18)
19	16.990"	0.506" (18-19)
20	17.468"	0.478" (19-20)
21	17.919"	0.451" (20-21)

5.2. MATERIALS

5.2.1. Fusta

El material principalment utilitzat per la construcció de guitarres és la fusta, es solen fer servir fustes com la caoba, arç, avet, palissandre, freixe, cedre, banús... Vaig consultar el bloc <https://soundsmarket.com/blog/maderas-usadas-en-la-construccion-de-guitaras> on vaig analitzar els diferents tipus de fusta, comparant el preu amb la pàgina web <https://www.madinter.com/> on hi he comprat pràcticament tot el material que no he trobat a la botiga *Diesi7* de Vic.

Així doncs, el material escollit pel cos és la **caoba**, fusta que aporta molta calidesa i cos al so. És relativament econòmica i resistent.



Imatge 5.2.1-1: So cos de caoba

Pel mànec i per contrarestar la calidesa de la caoba vaig escollir l'**arç**, ja que és una fusta densa i dura que provoca un so brillant.



Imatge 5.2.1-2: So mànec d'arç

Per acabar, vaig escollir el **palissandre** com a fusta del diapasó, principalment per un motiu estètic i perquè el diapasó de la meua guitarra actual, la *Ibanez AS-93* el du i és molt còmode.



Imatge 5.2.1-3: So diapasó de palissandre

Les tres fustes són estèticament molt agradables i vaig decidir no pintar-les, intentar que la guitarra tingués un acabat natural a partir de l'aplicació d'un vernís brillant.



Imatge 5.2.1-4: Superposició de caoba, arç i palissandre

5.2.2. Components mecànics

Els elements mecànics escollits són:

- Cordal: GOTOH model GE101A
- Pont: GOTOH model GE103B-T
- Clavilles: WILKINSON model 191CL
- Selleta: BOSTON model NTC-5
- Trasts: FENDER model Jumbo
- Cordes: ELIXIR 10-52
- Ànima: Doble acció perfil baix 460mm

Tots ells han sigut escollits per referències que en tinc d'altres guitarres que he provat o tinc i em donen confiança.

5.3. ELECTRÒNICA

Estem parlant d'una guitarra elèctrica, així que la electrònica hi juga un paper clau per un bon so, precisió i fa que cada guitarra tingui una personalitat diferent.

5.3.1. Pastilles

Existeixen dos tipus molt diferenciats de pastilles: les simples i les dobles, que es diferencien per tenir un o dos bobinats de filferro. Mai m'han acabat d'agradar el so de les pastilles simples, ja que creen sorolls, tenen un so molt brillant i els hi falta cos pel meu gust i pels estils que prefereixo tocar. Així que no he tingut dubtes a l'hora d'escollir les pastilles dobles o *Humbuckers* com a les que vull col·locar a la

guitarra. Sent el component més car de tot el procés, inicialment col·locaré les pastilles *Humbucker* Epiphone 650R y 700T, que són unes pastilles senzilles i, si tot funciona a la perfecció i queda una bona guitarra, ja invertiré més diners a posar-hi unes pastilles adients.

5.3.2. Selectors

Un selector de pastilla és imprescindible en qualsevol guitarra. Aquest té la funció de determinar si sona la pastilla del pont, les dues o la pastilla del mànec. Jo hi posaré el selector LES PAUL model DM20W. És un selector típic.

Una gran idea que em va donar en Joan Carles Parellada va ser l'opció de col·locar un *Switch DPDT on-on-on*. Aquest seria un altre selector que actua com a commutador, fa variar el circuit dintre la mateixa pastilla. Té tres posicions i et dona l'opció de fer sonar cada pastilla com a pastilla simple, pastilla doble o pastilla doble en sèrie, per tenir una gamma més àmplia de sons.

5.3.3. Potenciòmetres

S'hi utilitzen de dos tipus:

- Potenciòmetre de variació lineal (B): La resistència és directament proporcional a l'angle de gir i serveix per apujar o abaixar el volum de la pastilla. provoca una variació en el timbre de la pastilla.
- Potenciòmetre de variació logarítmica (A): La resistència depèn logarítmicament de l'angle de gir. Provoca una variació en el timbre de la pastilla

Els potenciòmetres escollits és el model CTS 500k, que és un estàndard en guitarres elèctriques.

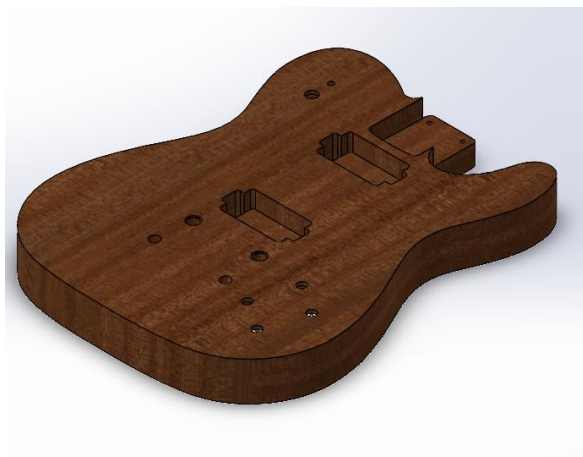
6. FABRICACIÓ

6.1. DISSENY 3D

He utilitzat el programa *SolidWorks 2020* que ens facilita l'EEBE per poder fer un disseny acurat de totes les parts de la guitarra. Hi he dibuixat les 3 parts necessàries per fer amb el programa de la fresadora: el cos, el mànec i el diapasó. Tots els plànols del model i els plànols de tots els components estan a l'apartat d'annexos.

Per altra banda, a la pàgina web www.grabcad.com hi he trobat molts arxius de parts de la guitarra en format .step per fer servir en el meu ensamblatge.

6.1.1. Cos



Imatge 6.1.1-1: Cos part superior

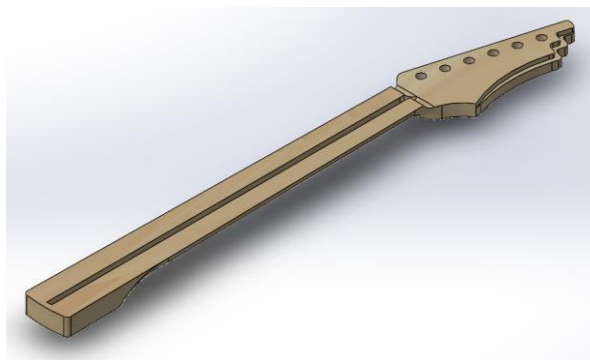


Imatge 6.1.1-2: Cos part inferior

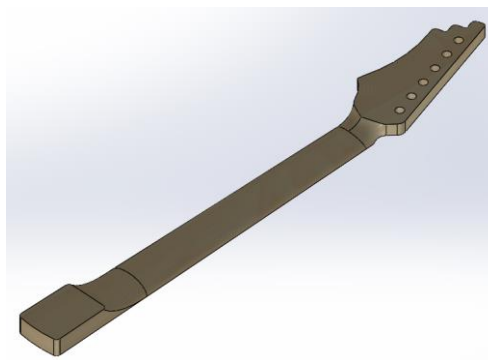
Com podem observar és un disseny tipus *Telecaster* amb els corresponents orificis per dues pastilles *Humbucker*, els orificis per la col·locació del pont i el cordal, amb una caixa de connexions on hi van els 4 potenciòmetres i una caixa de selectors on hi va el selector i el *switch DPDT*, amb un encaix pel mànec.

6.1.2. Mànec

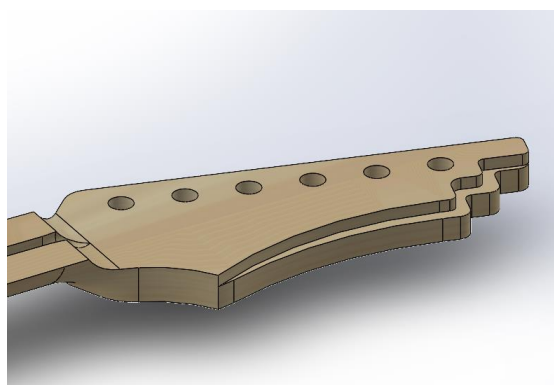
El mànec l'he dibuixat tot a partir de superfícies, ja que té molts punts rodons. He fet servir un vídeo bastant explicatiu que feia un mànec similar adaptant-lo a les necessitats de la meva guitarra.



Imatge 6.1.2-1: Mànec part superior



Imatge 6.1.2-2: Mànec part inferior

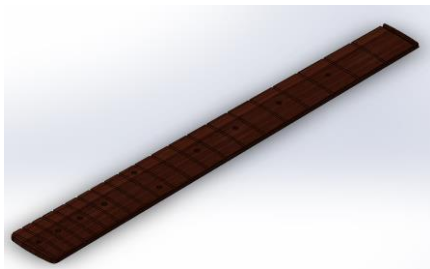


Imatge 6.1.2-3: Claviller

El mànec i claviller estan compostos d'una sola peça. Té una forma de C per comoditat de l'interpret, amb un encaix on poder collar-lo al cos. Conté una regatera per col·locar-hi l'ànima. El claviller conté els forats per col·locar-hi les clavilles i estan orientats de manera que la corda quedi al màxim recta possible des de la sortida de la selleta. Conté un rebaix de 5 mm que és un toc personal de disseny.

6.1.3. Diapasó

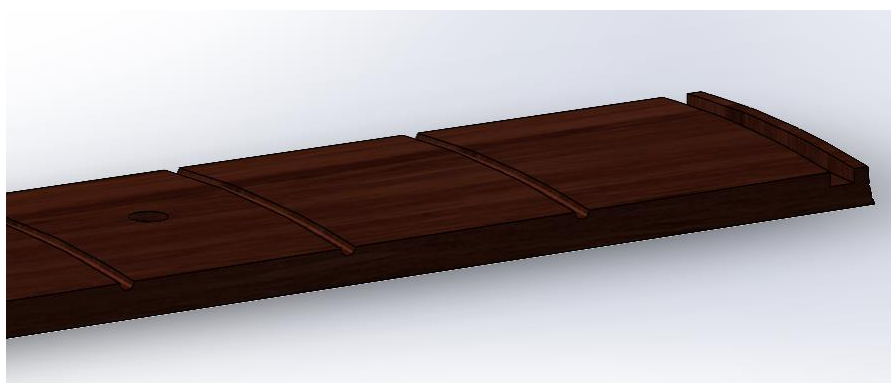
El diapasó té un radi de 9" homogeni al llarg de tota la peça. Conté els trasts col·locats per la relació de 25,5" del pont a la selleta. Els forats són per unes peces de nacre de 6mm que serveixen de referència per l'interpret.



Imatge 6.1.3-1: Diapasó part superior



Imatge 6.1.3-2: Diapasó part frontal

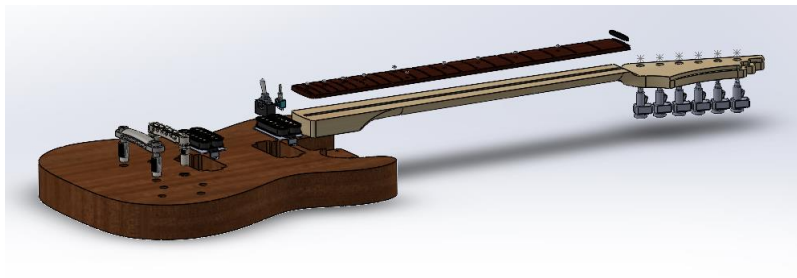


Imatge 6.1.3-3: Diapasó detall selleta i punts de referencia

6.1.4. ENSAMBLATGE



Imatge 6.1.4-1: Ensamblatge



Imatge 6.1.4-2: Explosionat

6.2. DISSENY ELECTRÒNIC

La guitarra està dissenyada perquè hi puguin haver dos “switch”. El simple té 3 posicions on designa quina pastilla sona:

- Posició superior: sona només la pastilla del mànec. Es produeix un color més rodó i es sol utilitzar en estils de música com jazz o blues.
- Posició central: sonen les dues pastilles. El color és més brillant. Ofereix versatilitat per tocar amb algunes distorsions o acompanyaments.
- Posició inferior: El timbre és més metàl·lic. S'utilitza per tocar rock, heavy, funk... i permet treure molt profit de distorsions i overdrives per fer solos.

El segon “switch” és un commutador DPDT on-on-on. Aquest també té 3 posicions i varia la posició de la pròpia pastilla. Les pastilles consten de dos bobinats, així que la posició d'aquest “switch” crea:

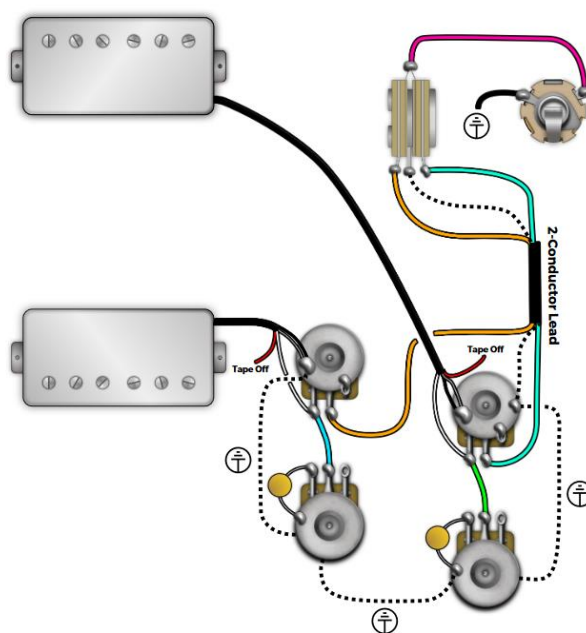
- Posició superior: anul·la una de les dues pastilles, fent que soni com una pastilla simple
- Posició central: les pastilles humbucker actuen tal i com funcionen habitualment, en paral·lel.
- Posició inferior: fa que les pastilles es disposin en sèrie i crea un so entremig de les dues anteriors

La idea és aquesta, però unes pastilles bones que estiguin preparades per fer aquestes commutacions són cares i tot hi deixar-ho preparat així, de moment hi he instal·lat el circuit habitual d'una guitarra amb 2 humbuckers, 1 switch de 3 posicions, 2 potenciòmetres de volum i 2 potenciòmetres de to. D'aquesta manera

puc veure el potencial que té la guitarra i més endavant canviar les pastilles per unes de més bones.

Les pastilles que hi col·loco són unes pastilles extretes d'una guitarra senzilla que utilitzava fa uns anys i la qual no he tocat més per l'adquisició d'una guitarra millor. Són unes pastilles Epiphone 650R y 700T.

El circuit instal·lat a la guitarra és el següent:



Imatge 6.2-6.1.4-1: Circuit 2 humbucker, 2 volum, 2 tons i 3 posicions

6.3. PROGRAMACIÓ I MECANTITZATS AMB LA FRESADORA DE CNC

La fresadora de CNC utilitzada és una fresadora de la casa *Rierge* i és programable des de la mateixa màquina o mitjançant el programa *Top Solid*. Pràcticament no havia utilitzat mai una fresadora de control numèric, així que en Xevi Canet va estar-me guiant i es va assegurar de que sempre féssim tots els passos adients per poder-la utilitzar. Em va donar nocions bàsiques del programa i em va permetre

programar. Vaig tenir l'oportunitat d'anar 3 dies a la fusteria a treballar. Els passos van ser els següents:

6.3.1. Dia 1

Vaig ensenyar-li el meu disseny, i vam enviar els arxius en format *.step* al programa *Top Solid* que es el que utilitzen allà. Vam estar fent diverses proves i em va ensenyar el funcionament del programa, la disposició d'eines, velocitats i revolucions, així com els *topes* i el funcionament de la fresadora en 3 eixos. Vam definir quines serien les eines per fer el procés:

- Broca plana $\varnothing 16$ (per contorns)
- Broca plana $\varnothing 6$ (per forats)
- Broca rodona $\varnothing 16$ (per superfícies arrodonides)

Vam poder mecanitzar un prototip del cos amb un retall de fusta DM que tenien al taller. Va anar molt bé per adonar-me que havia fet petits els forats de les pastilles i així modificar-ho.



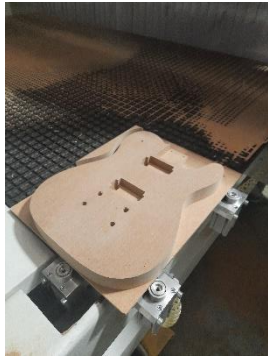
Imatge 6.3.1-1: Mecanitzat del cos prototip 1



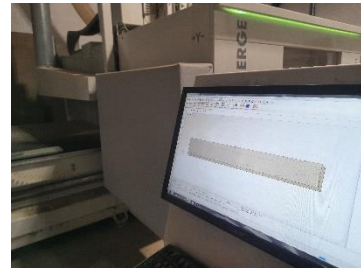
Imatge 6.3.1-2: Cos prototip 1

6.3.2. Dia 2

Al veure possibles problemes i situacions en les que ens podríem trobar vaig editar una mica el disseny per tal que anés tot millor i vam mecanitzar molt. Vam poder acabar el dia havent mecanitzat un prototip del cos en DM amb un disseny definitiu i començar el mànec.



Imatge 6.3.2-1: Mecanitzat del cos prototip 2



Imatge 6.3.2-3: Programació mecanitzat prototip mànec



Imatge 6.3.2-2: Cos prototip 2



Imatge 6.3.2-4: Mecanitzat prototip mànec

6.3.3. Dia 3

Va ser l'últim dia de fabricació en CNC. Vam acabar el prototip del mànec i comprovar l'encaix amb el cos. Al haver sortit bé ja ens vam disposar a tallar el mànec definitiu.



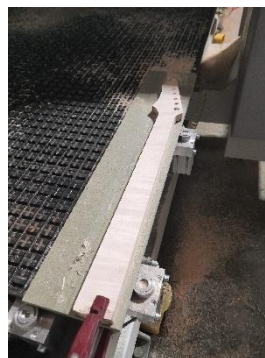
Imatge 6.3.3-1: Encaix prototips cos i mànec



Imatge 6.3.3-2: Mecanitzat mànec



Imatge 6.3.3-3: Mecanitzat mànec



Imatge 6.3.3-4: Mecanitzat mànec



Imatge 6.3.3-5: Mecanitzat mànec



Imatge 6.3.3-4: Encaix mànec i cos

El tall del diapasó el vam fer directament amb la fusta bona ja que era la peça més senzilla



Imatge 6.3.3-5: Mecanitzat diapasó



Imatge 6.3.3-6: Mecanitzat diapasó

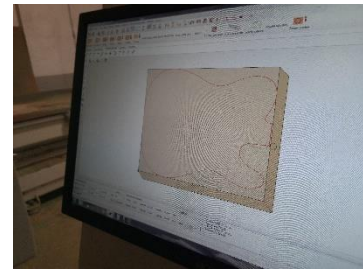


Imatge 6.3.3-7: Encaix diapasó, mànec i cos

L'última peça a mecanitzar va ser el cos, el qual ja teníem el programa fet del segon prototip.



Imatge 6.3.3-8: Mecanitzat cos



Imatge 6.3.3-9: Programació mecanitzat cos



Imatge 6.3.3-10: Mecanitzat cos

6.4. ACABATS MANUALS

Hagués anat molt bé poder fer tota la guitarra amb la fresadora però hi ha forats que queden en una inclinació que no hi pot arribar (forats pel cablejat) o no teníem l'eina per fer aquell mecanitzat (regatera del trast). A part d'això era necessari encolar totes les peces que fessin falta i soldar els components. Per tal de fer-ho vaig anar al taller d'en Joan Carles Parellada, el Luthier i em va ajudar i proporcionar totes les eines necessàries.

6.4.1. Eines i processos

Els processos que vam fer van ser els següents:

- Forats pel cablejat: vam utilitzar un trepant amb broca de 12mm i 250mm de llarg per fer els forats que travessen les caixes de connexió fins les pastilles i l'entrada del jack.
- Tall de les regateres pels trasts: utilitzarem un utillatge que té amb unes plantilles adients a la disposició dels trasts que havia escollit, la de 25,5" i amb una serra vam fer els talls.
- Col·locació dels trasts: amb una premsa manual i una mica de cola vam situar tots els trasts a lloc
- Col·locació dels punts de nacre: vam encolar i llimar els punts de nacre per tal que quedessin incrustats al diapasó de manera uniforme i sense relleu.
- Cargolar el mànec: amb un trepant de sobretaula vam passar els forats fets prèviament amb la fresadora per tal de collar el mànec al cos.
- Encolar el diapasó: vam situar l'ànima al mànec i hi vam encolar el diapasó a sobre.
- Soldadura del circuit electrònic: amb un soldador elèctric d'estany vam soldar tots els components i pastilles entre sí, seguint el circuit plantejat.



Imatge 6.4.1-1: Forats per cablejat



Imatge 6.4.1-2: Tall trasts



Imatge 6.4.1-3: Tall trasts



Imatge 6.4.1-4: Incrustacions de nacre



Imatge 6.4.1-5: Diapasó acabat

7. RESULTAT FINAL

El resultat final del meu projecte és el següent:



Imatge 7-1: Resultat final



Imatge 7-2: Resultat final



Imatge 7-3: Resultat final



Imatge 7-4: Resultat final

ANALISIS AMBIENTAL

El projecte afecta ambientalment en el consum de fustes per a us humà i algunes d'aquestes fustes son tropicals i en perill d'extinció com el cas del palissandre que ja és una espècie protegida al Brasil i no sen pot fer us de la seva fusta. En el cas del meu projecte el Palissandre és de l'Índia.

CONCLUSIONS

Les conclusions extretes del projecte són les següents:

- Un bon disseny i una acurada preparació de tots els elements de qualsevol peça a construir és imprescindible.
- Cal tenir en compte totes les toleràncies, i si parlem de fusta, tenir en compte que s'ha de llimar
- La fresadora de CNC no és una eina tan automàtica com pensava. Si es fan peces complexes, s'ha de tenir molt de compte en cada procés per no espatllar la peça i sobretot espatllar la màquina.
- La definició d'eines i altures és una part imprescindible a l'hora de posar a punt la màquina.
- Amb el programa *Top Solid* la programació dels processos és senzilla, important un .step.
- La resistència de les fustes i les seves propietats és crucial a l'hora de preparar un disseny per una guitarra.

REFLEXIÓ FINAL

Puc afirmar que he après molt. M'ha omplert poder fer un treball complet sobre unes de les meves principals passions, la música i la guitarra, i combinar-ho així amb molts coneixements apresos durant la carrera i poder-los aplicar en aquest projecte.

El resultat ha sigut superior a l'esperat. Quan vaig començar a plantejar el projecte no esperava arribar aquí i que quedés un instrument com el que ha quedat. Té un bon so, és còmode i estèticament m'agrada molt. Són les principals expectatives que volia complir i ho he aconseguit. De totes maneres, veient com ha anat avançant el projecte, he decidit no acabar-la. Vull millorar-la. Vull posar-li unes bones pastilles, vull col·locar algun vinil a la pala com a marca, dissenyar un colpejador... Així que de moment encara no la he envernissat.

Puc dir que aquest treball ha fet que tingui ganes de fer-ne més. En Joan Carles Parellada sempre havia fet les guitarres de manera manual i artesana, i un cop vist quin és el resultat del tall amb la fresadora ja m'ha demanat que n'hi dibuixi una per ell amb uns dissenys que té, així que ara tocarà millorar i aprendre més.

Com a millora per a pròxims dissenys haig de tenir en compte que la fresadora no deixa un bon acabat, i que tota peça s'ha de llimar per deixar-la perfecte. En el disseny del l'encaix del mànec amb el cos ho hauria d'haver tingut en compte, ja que sortint de la fresadora encaixava a la perfecció i un cop llimat ja tenia joc.

PRESSUPOST I/O ANÀLISI ECONÒMICA

He preparat un pressupost orientatiu respecte de com seria fabricar una altra guitarra com aquesta. El cost del material hi he posat el que hauria tingut posant el preu d'unes pastilles diferents a les que porta actualment la meua guitarra. Les hores les he optimitzat, ja que per un altre disseny, un altre mecanitzat i les hores de taller serien molt reduïdes comparat amb el que he trigat a fer aquesta. El tall de fresadora hauria de ser externalitzat, perquè no dispo d'aquesta màquina.

Així doncs, el cost d'una guitarra com la proposada seria aquest:

Taula 5: Pressupost

PRESSUPOST							21,00%
	Item	Ut	Qt	Preu	Cost	IVA	
	Disseny - Delinellant	h	30	23,00 €	690,00 €	834,90 €	
Fusteria Roca Fitó	Programació i tall fresadora	h	10	60,00 €	600,00 €	726,00 €	
	Taller - Fabricació	h	20	23,00 €	460,00 €	556,60 €	
1. TOTAL HORES					1.750,00 €	2.117,50 €	
	20561-20-31.07		1				
MATERIAL	COS	FUSTA CAOBA	UT	1	120,00 €	120,00 €	145,20 €
	MÀNEC	FUSTA ARÇ	UT	1	6,26 €	6,26 €	7,57 €
	DIAPASÓ	FUSTA DIAPASÓ	UT	1	70,00 €	70,00 €	84,70 €
	CLAVILLES	WILKINSON 191CL 6 LÍNEA	UT	1	40,50 €	40,50 €	49,01 €
	SELLETA	BOSTON NTC5 CARBONI	UT	1	4,00 €	4,00 €	4,84 €
	ÀNIMA	DOBLE ACCIÓ PERFIL BAIX 460mm	UT	1	10,36 €	10,36 €	12,54 €
	PUNT	PUNT NÀCAR BLANC 6mm	UT	10	0,95 €	9,50 €	11,50 €
	SITCH DPDT	SWITCH DPDT ON-ON-ON	UT	1	6,75 €	6,75 €	8,17 €
	SITCH	SWITCH LES PAUL DM20W	UT	1	9,20 €	9,20 €	11,13 €
	PASTILLA						
	HUMBUCKER	SEYMOUR DUNCAN	UT	1	100,00 €	100,00 €	121,00 €
	PASTILLA						
	HUMBUCKER	SEYMOUR DUNCAN	UT	1	100,00 €	100,00 €	121,00 €
	PONT	GOTOH GE103B-T	UT	1	32,00 €	32,00 €	38,72 €
	CORDAL	GOTOH GE101A	UT	1	41,60 €	41,60 €	50,34 €
	POTENCIÒMETRE	CTS A53/20 500K	UT	2	5,95 €	11,90 €	14,40 €
	POTENCIÒMETRE	CTS B52/20 500K	UT	2	5,95 €	11,90 €	14,40 €
	ENVELLIDOR	MP.KNOB-BO BOCOTE	UT	2	5,40 €	10,80 €	13,07 €
	ENVELLIDOR	MP.KNOB-OL OLIVERA	UT	2	5,40 €	10,80 €	13,07 €
	SORTIDA JACK	BOSTON SC-11	UT	1	6,10 €	6,10 €	7,38 €
	TRAST	FENDER JUMBO	UT	1	15,50 €	15,50 €	18,76 €
	CORDES	ELIXIR 10-52	UT	1	13,90 €	13,90 €	16,82 €
	PLACA	PLACA JACK	UT	1	6,60 €	6,60 €	7,99 €
1. TOTAL MATERIAL					637,67 €	771,58 €	
	ACABATS	UT	1	70,00 €	70,00 €	84,70 €	
1. TOTAL ACABATS					70,00 €	84,70 €	
TOTAL COST					2.457,67 €	2.973,78 €	

Aquest pressupost és per fer una guitarra. Tots els processos s'optimitzarien en el cas de fer-ne més d'una.

BIBLIOGRAFIA

GARRIDO, Miguel. Historia de la guitarra. *Guitarras Garrido Pozuelo*. 11 de enero de 2020 Disponible a: <https://guitarrasgarridopozuelo.com/historia-de-la-guitarra/>

Maderas usadas en la construcción de guitarras - SoundsMarket. *SoundsMarket*. 9 de abril de 2020. Disponible a: <https://soundsmarket.com/blog/maderas-usadas-en-la-construccion-de-guitarras>

Cuerdas de guitarra eléctrica: material, calibre y diseño. *Guitarriego*. 14 de julio de 2020. Disponible en: <https://guitarriego.com/pedales-de-guitarra/cuerdas-de-guitarra-electrica-material-calibre-y-diseno/>

Conceptos fundamentales del sonido. *ACD ACUSTICS - SISTEMAS DE INSONORIZACIÓN* [en línea]. [sense data]. Disponible a: <https://www.acdacustics.com/files/conceptos.pdf>

BUSTINS MOLINA, Denis. *ESTUDIO CUANTITATIVO DE LA CALIDAD SONORA DE UNA GUITARRA ESPAÑOLA*. Treball final de grau, Universitat Politècnica de Catalunya, 2017.

RAYMOND, David y Dennis WARING. *Make Your Own Electric Guitar & Bass*. Sterling Publishing, 2001.

DONAHUE, Jim. *Guitars, Design, Production and Repair*. Imprintbooks, 2003.

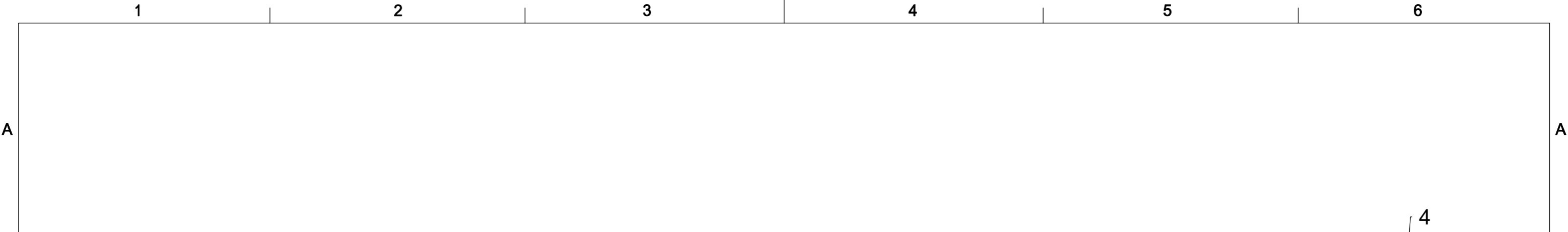
ANNEXES

A1. PLÀNOL GENERAL

A2. COS

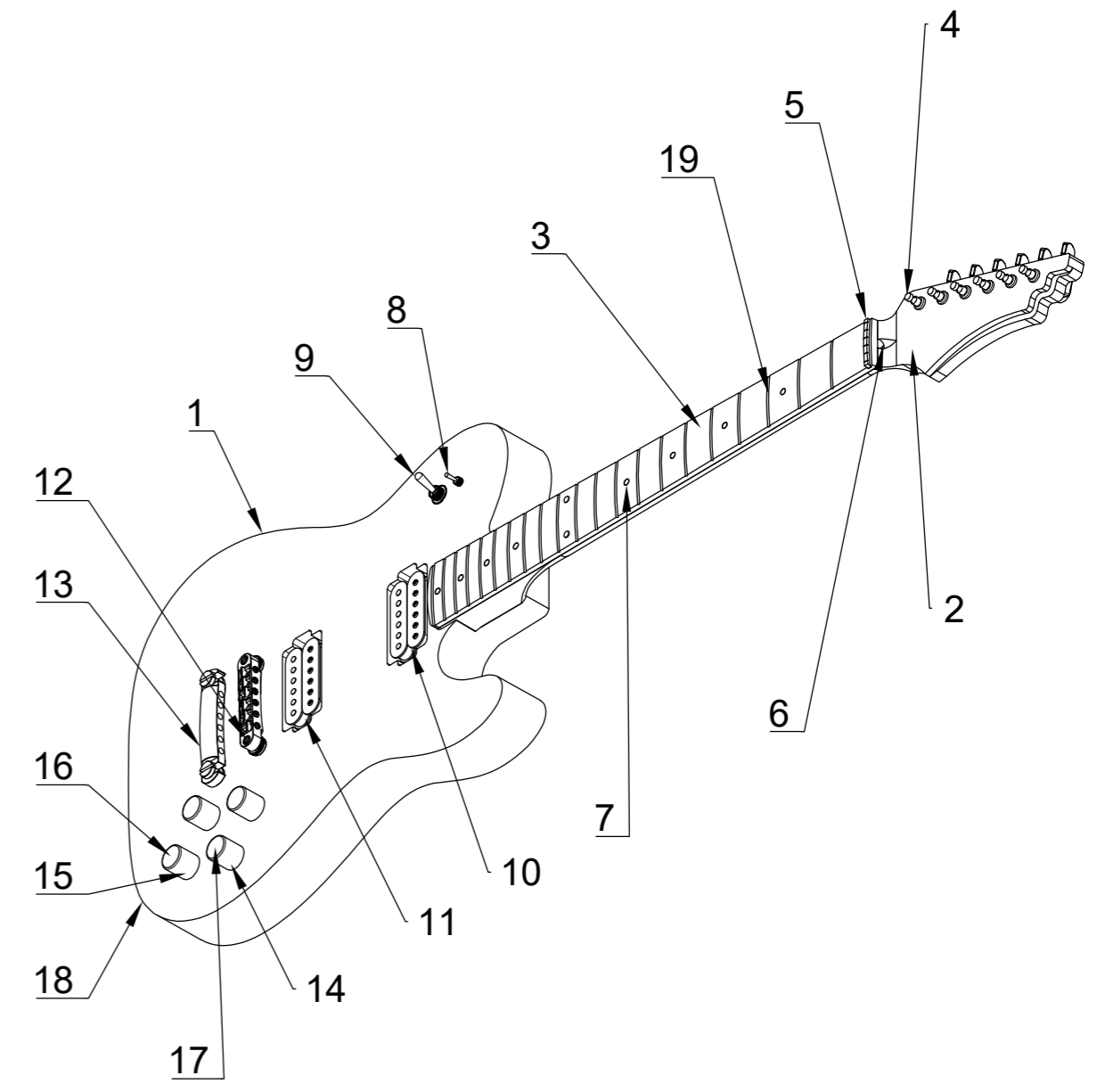
A3. MÀNEC

A4. DIAPASÓ



MATERIALS

Nº	NOM	Qt	MATERIAL	ACABAT	FABRICACIÓ	ANNEX Nº
1	COS	1	CAOBA	VERNÍS	CNC	A2
2	MÀNEC	1	ARÇ	VERNÍS	CNC	A3
3	DIAPASÓ	1	PALISSANDRE	VERNÍS	CNC	A4
4	CLAVILLES	6	ALUMINI	CROMAT	191CL 6 LÍNEA	A5
5	SELLETA	1	CARBONI	-	BOSTON NTC5	
6	ÀNIMA	1	ACER	-	COMERCIAL	A6
7	PUNT	10	NÀCAR LAMINAT	BLANC	COMERCIAL	
8	SWITCH DPDT	1	-	-	DPDT ON-ON-ON	A7
9	SWITCH	1	-	BLANC	LES PAUL DM20W	A8
10	PASTILLA HUMBUCKER	1	-	-	EPIPHONE 650R	A9
11	PASTILLA HUMBUCKER	1	-	-	EPIPHONE 700T	A9
12	PONT	1	ZINC	NÍQUEL	GOTOH GE103B-T	A10
13	CORDAL	1	ALUMINI	NÍQUEL	GOTOH GE101A	A11
14	POTENCIÒMETRE	2	-	-	CTS A53/20 500K	A12
15	POTENCIÒMETRE	2	-	-	CTS B52/20 500K	A12
16	ENVELLIDOR	2	BOCOTE	-	MP.KNOB-BO	
17	ENVELLIDOR	2	OLIVERA	-	MP.KNOB-OL	
18	SORTIDA JACK	1	-	-	BOSTON SC-11	
19	TRAST	21	ACER	NÍQUEL	FENDER JUMBO	




UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

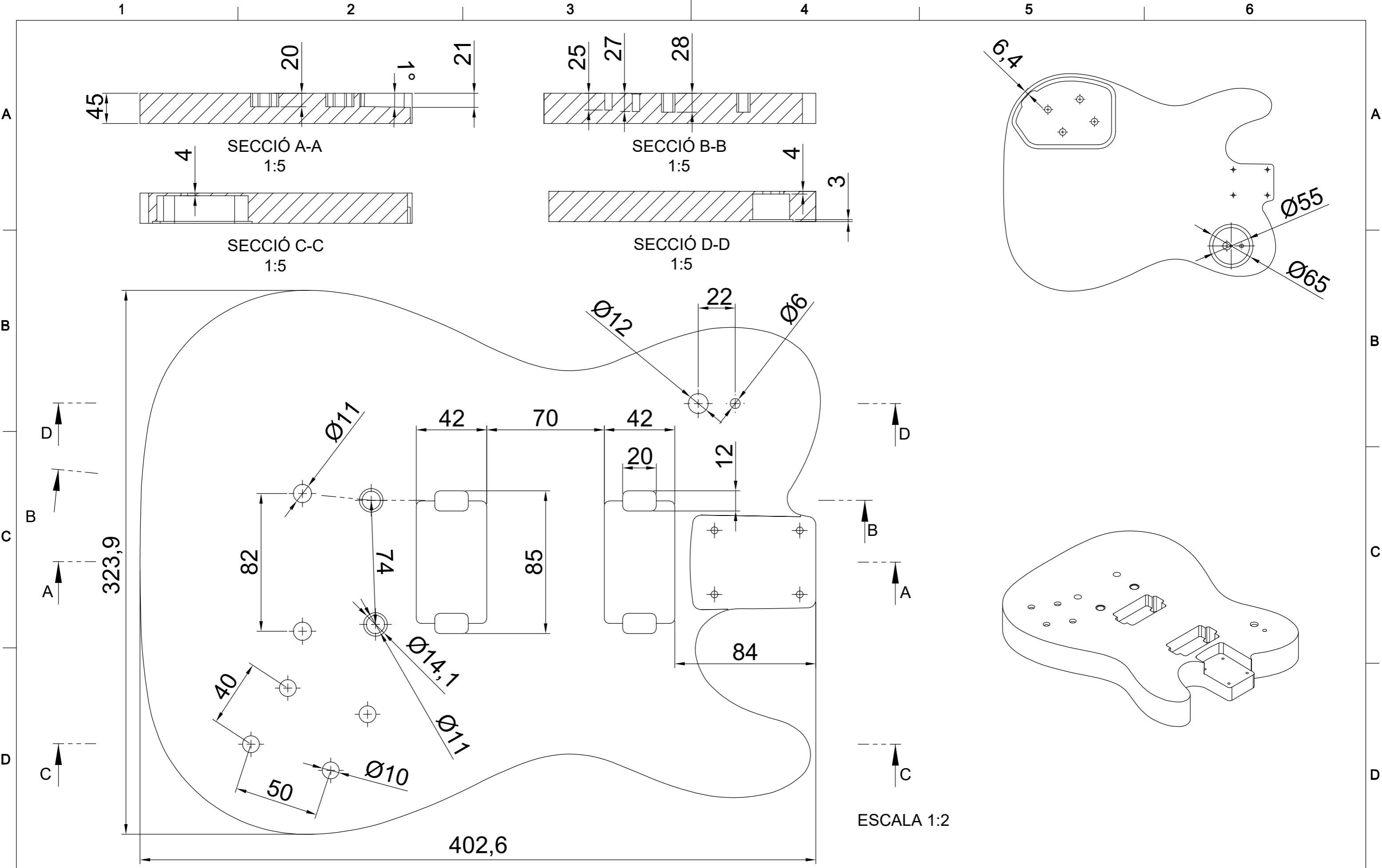
PROJECTE:
 PROCÉS DE DISSENY, PROGRAMACIÓ EN CNC I
 FABRICACIÓ D'UNA GUITARRA ELÈCTRICA

NOM PLÀNOL:
 PLÀNOL GENERAL

MATERIAL:
ACABAT:

DIBUIXANT: Arnau Roca
DATA: 25.04.2022

ANNEX Nº:
A1



1

2

3

4

5

6

A

A

B

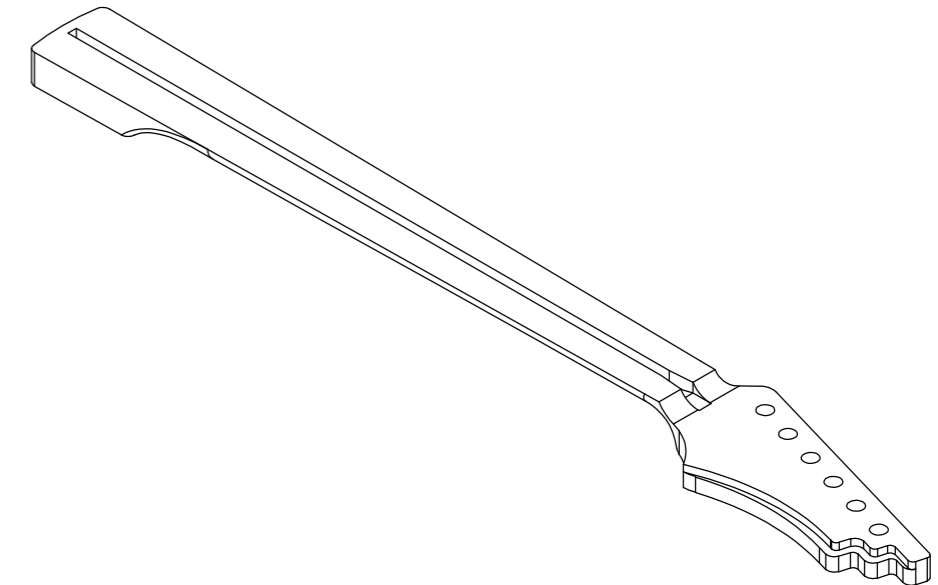
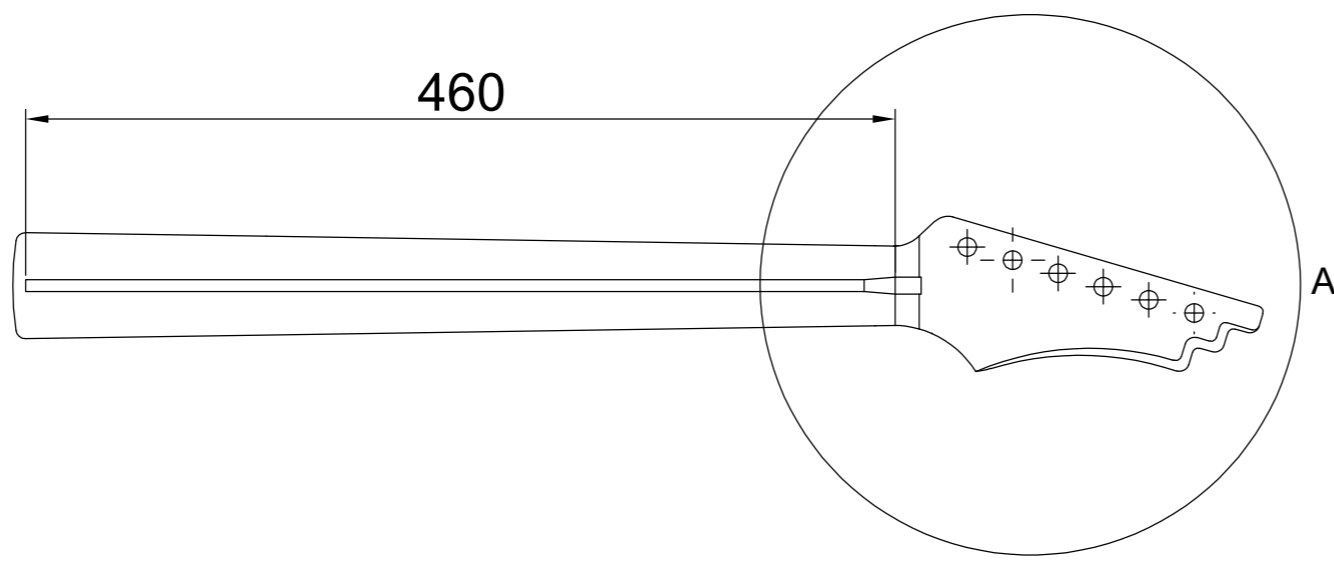
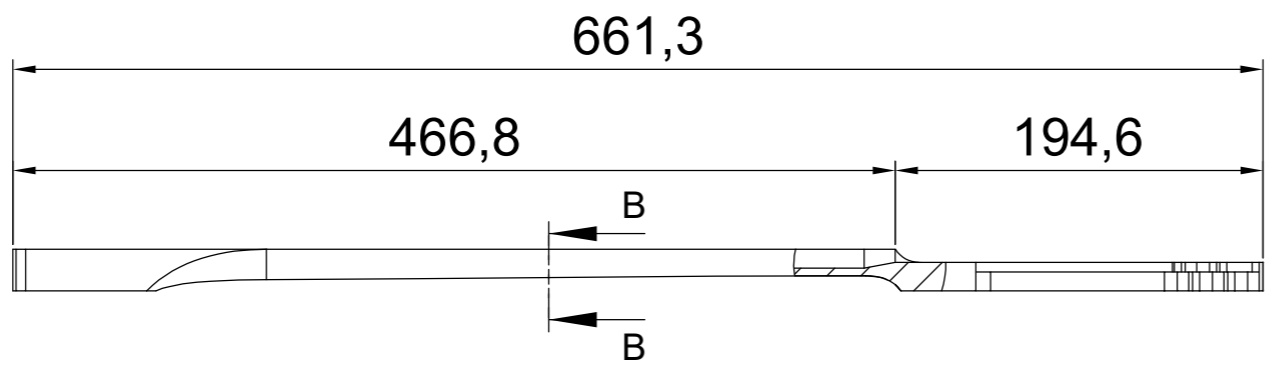
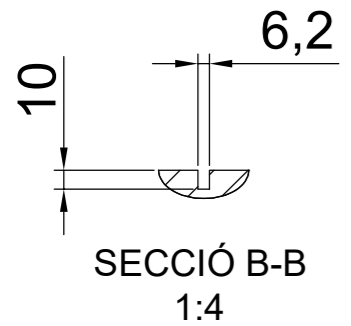
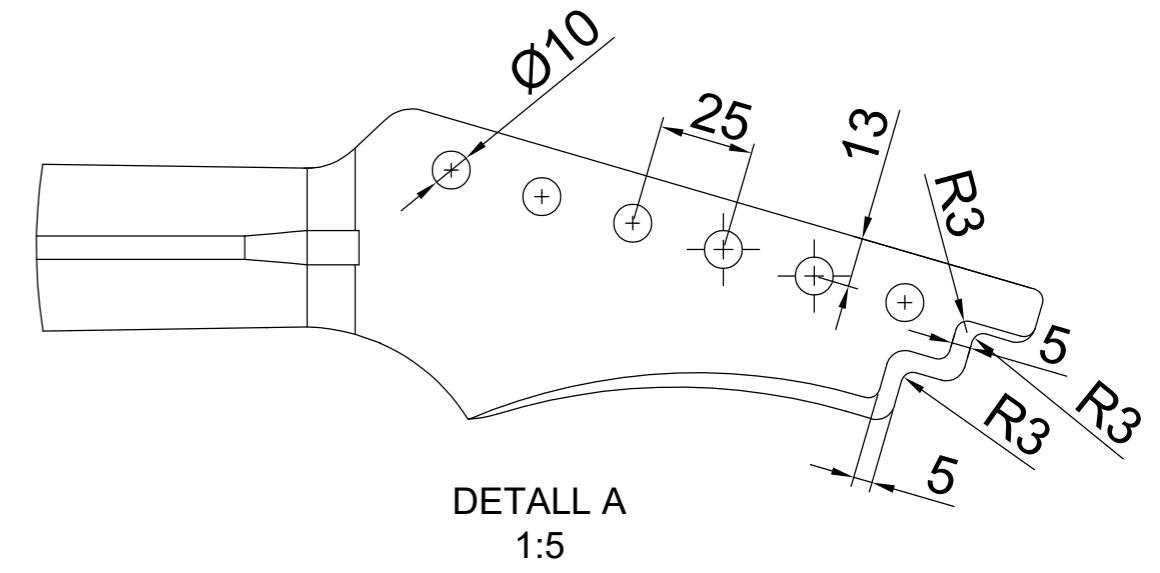
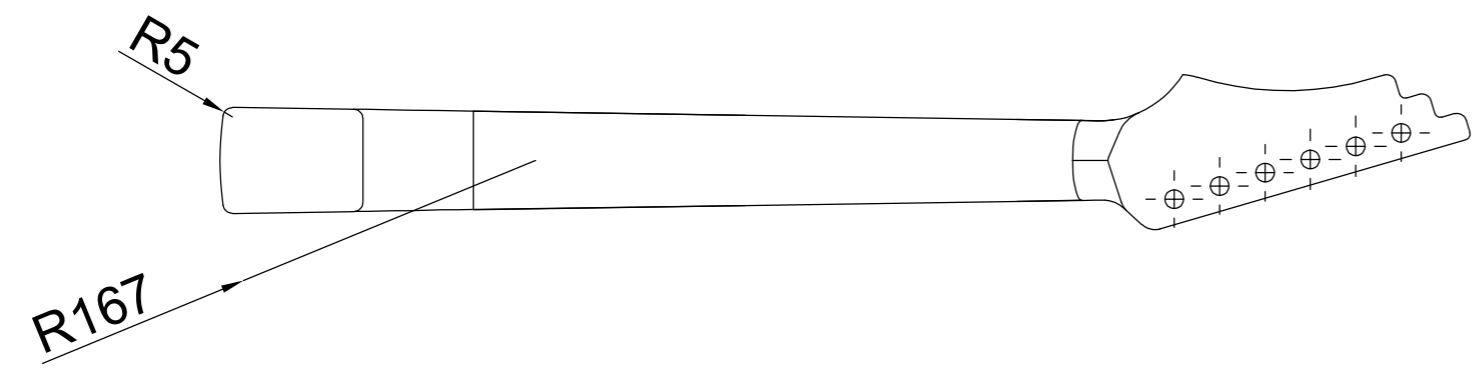
B

C

C

D

D



ESCALA 1:4



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

PROJECTE:
 PROCÉS DE DISSENY, PROGRAMACIÓ EN CNC I
 FABRICACIÓ D'UNA GUITARRA ELÈCTRICA

NOM PLÀNOL:
MÀNEC

MATERIAL: ARÇ
ACABAT: VERNÍS

DIBUIXANT: Arnau Roca
DATA: 25.04.2022

ANNEX Nº:
A3

1

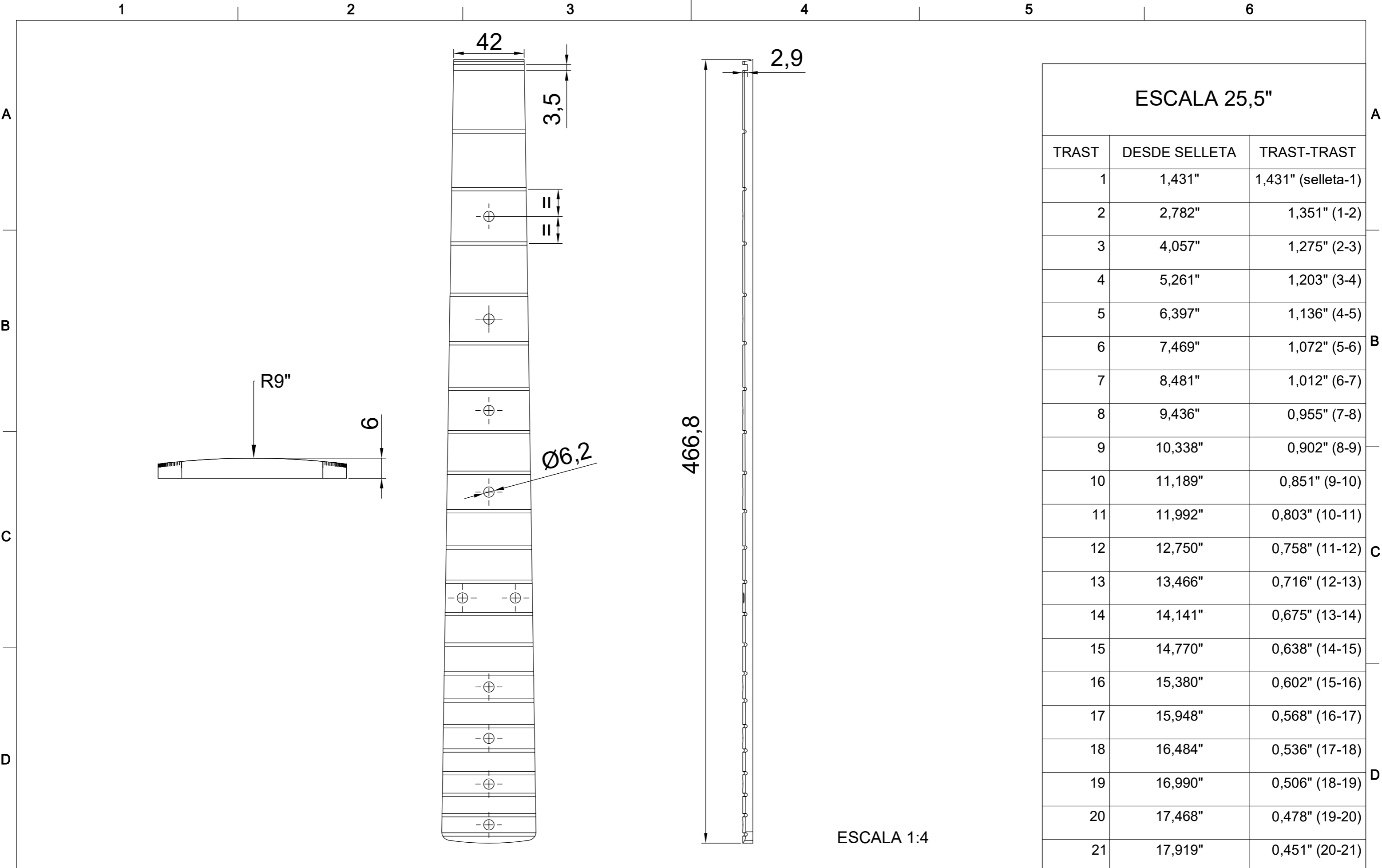
2

3

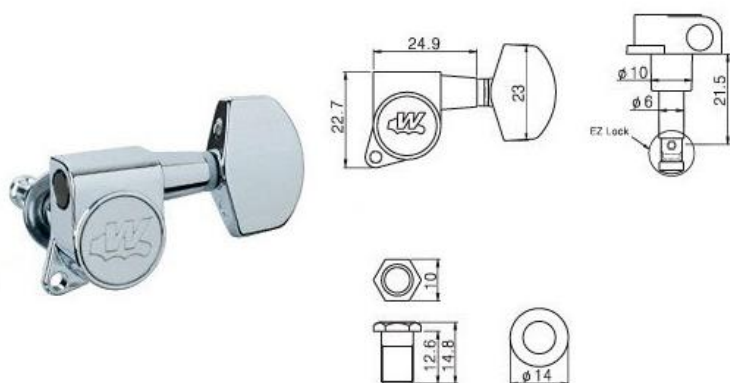
4

5

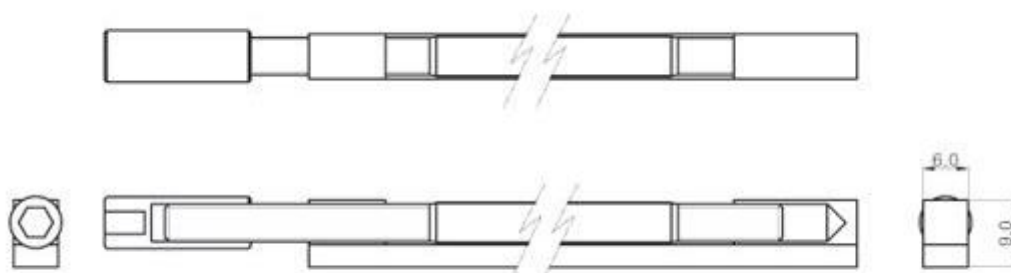
6



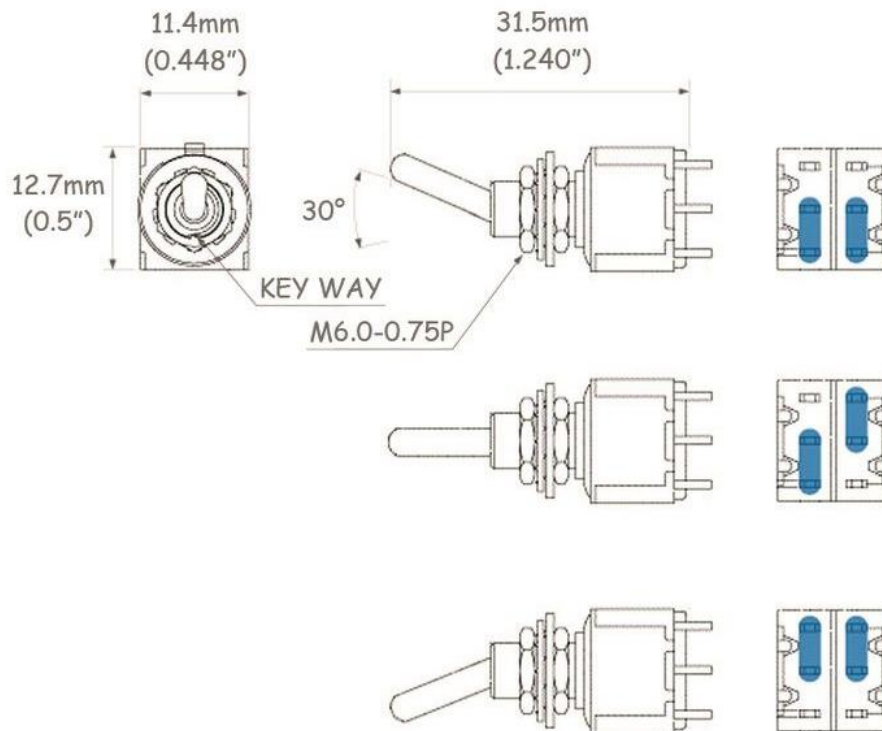
A5. CLAVILLES WILKINSON 191CL 6 LÍNEA



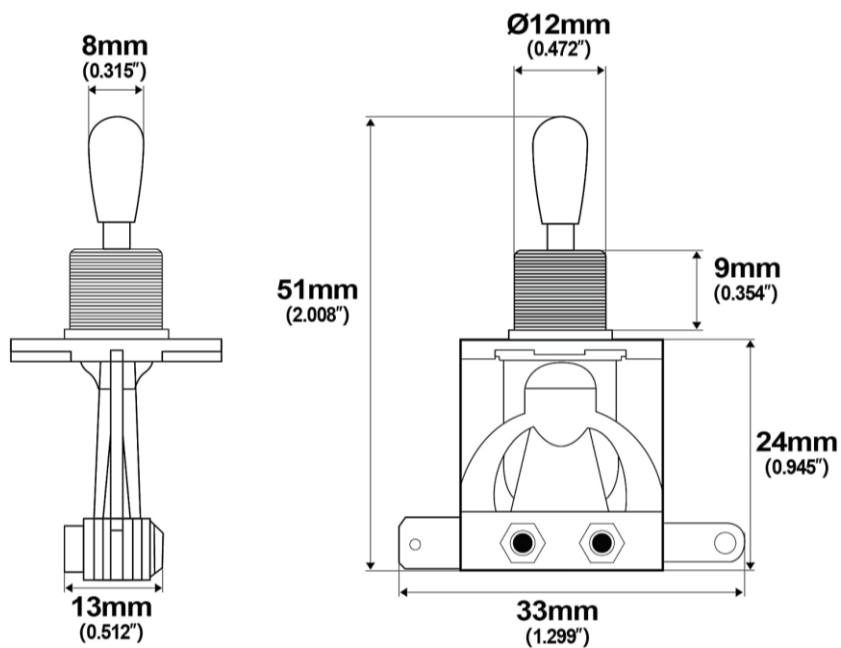
A6. ÀNIMA DOBLE ACCIÓ



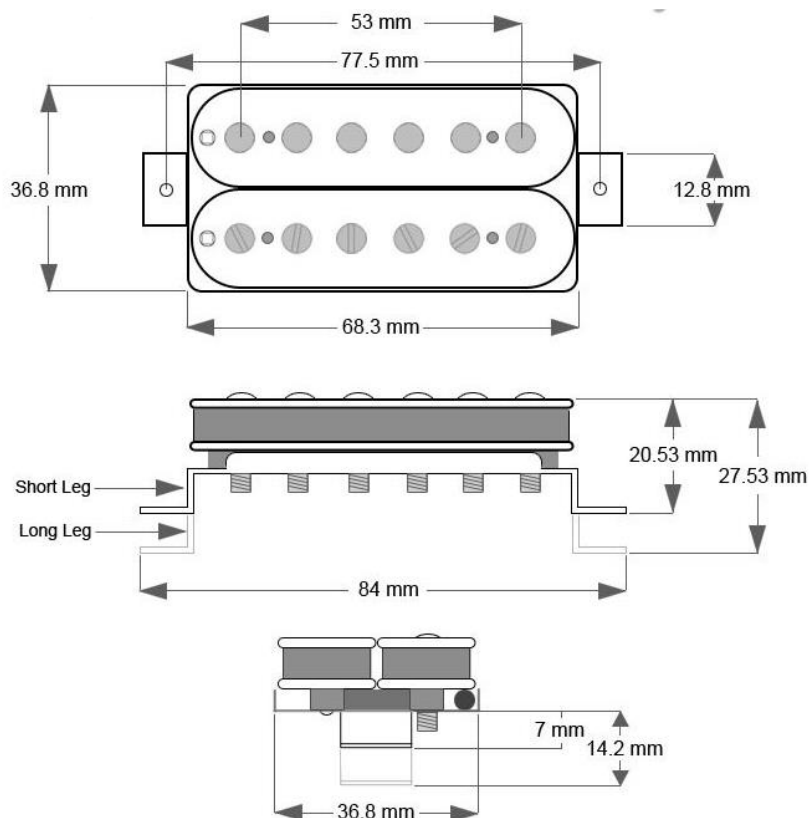
A7. SWITCH DPDT ON-ON-ON



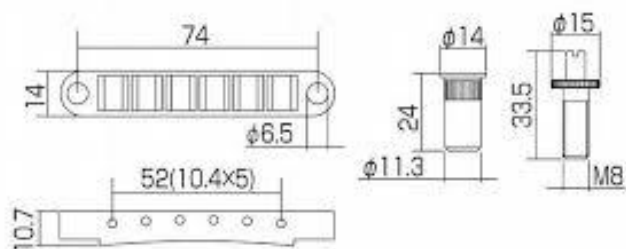
A8. SWITCH LES PAUL DM20W



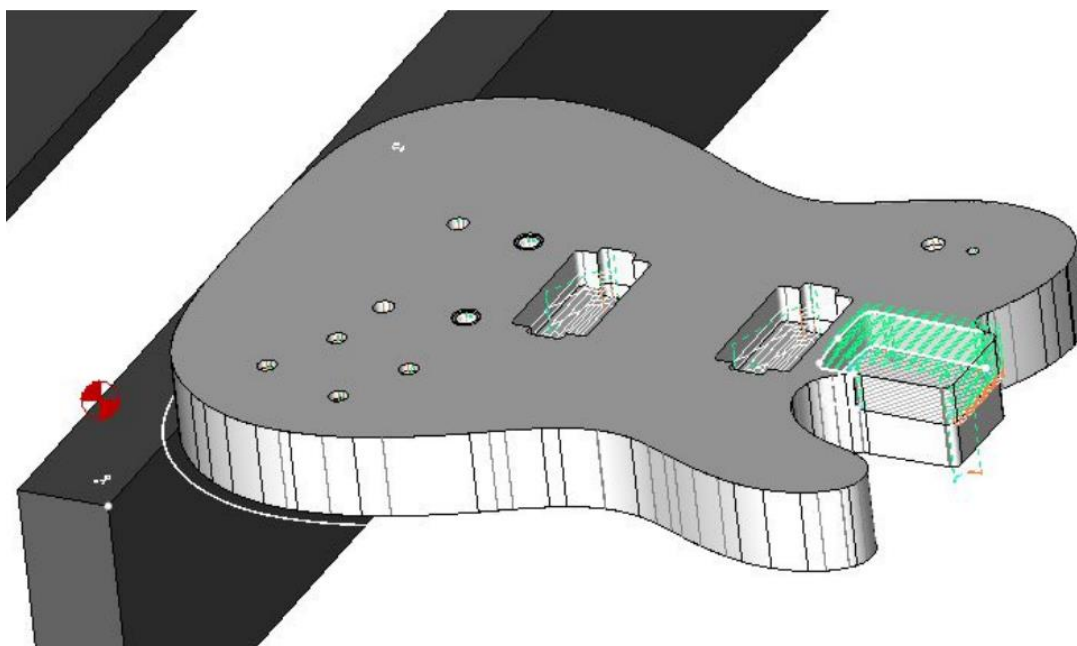
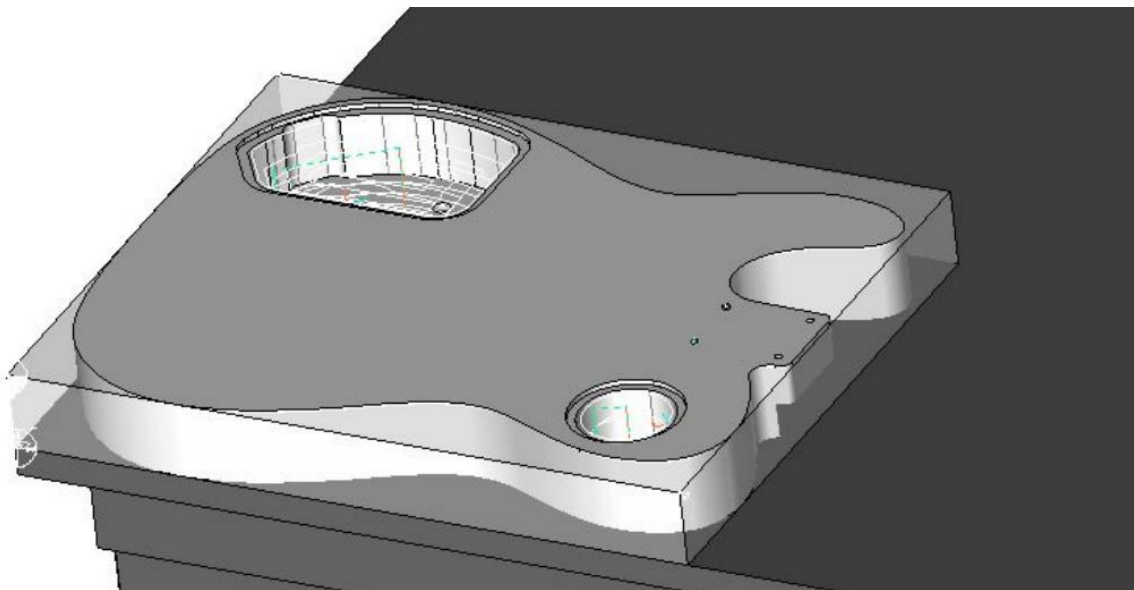
A9. PASTILLA HUMBUCKER



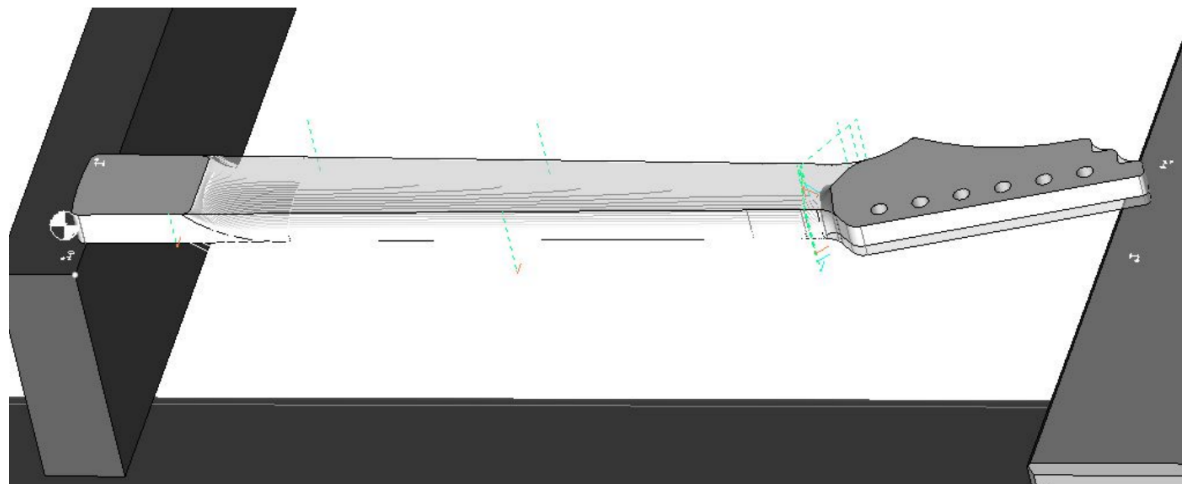
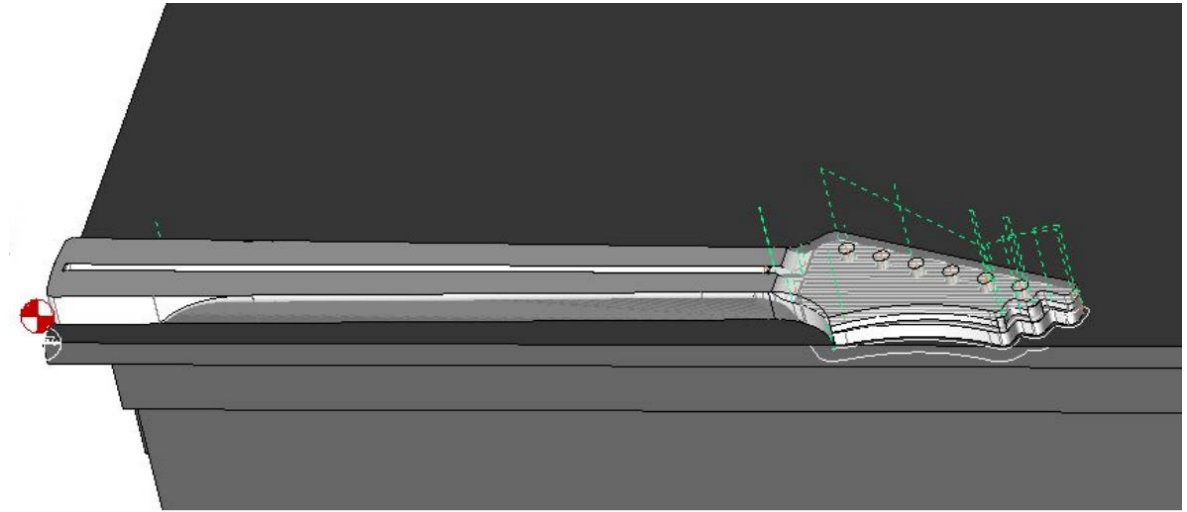
A10. PONT GOTOH GE103B-T



A13. MECANITZATS COS



A14. MECANITZATS MÀNEC



A15. MECANITZATS DIAPASÓ

