



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

**Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del
Producto**

**Diseño paramétrico, con superficies, de una guitarra eléctrica
tipo Stratocaster para adaptación a una escala para manos
pequeñas**

Autor:

Martín Huidobro, David

Tutor:

**Prádanos del Pico, Roberto-Enrique
Departamento: Cienc de los Mat e IM,
EGI, ICGF, IM e IPF/ área de Expr.
Gráfica en la Ingeniería.**

Valladolid, septiembre de 2025.

RESUMEN

Este Trabajo de Fin de Grado aborda el diseño y desarrollo de una guitarra eléctrica paramétrica adaptada ergonómicamente a personas con manos pequeñas. El proyecto surge ante la necesidad de la falta de soluciones profesionales en el mercado, donde los modelos de escala reducida suelen estar dirigidos a principiantes y carecen de prestaciones técnicas avanzadas. A través de técnicas de diseño paramétrico se plantean los cambios necesarios para lograr un prototipo que integra lo mejor de dos arquetipos icónicos: la Gibson Les Paul, con su escala corta de 24,75" y ergonomía favorable, y la Fender Stratocaster, con su cuerpo contorneado y versatilidad técnica. El resultado es un instrumento inclusivo, ajustable mediante parámetros, que combina confort y estética Stratocaster. El diseño se fundamenta en criterios de ergonomía, antropometría y diseño centrado en el usuario.

PALABRAS CLAVE

Guitarra eléctrica, diseño paramétrico, ergonomía, diapasón, manos pequeñas.

ABSTRACT

This Final Degree Project addresses the design and development of a parametric electric guitar ergonomically adapted to people with small hands. The project arises from the need for the lack of professional solutions in the market, where reduced-scale models are usually aimed at beginners and lack advanced technical features. Through parametric design techniques, the necessary changes are proposed to achieve a prototype that integrates the best of two iconic archetypes: the Gibson Les Paul, with its short 24.75" scale and favorable ergonomics, and the Fender Stratocaster, with its contoured body and technical versatility. The result is an inclusive instrument, adjustable through parameters, that combines comfort and Stratocaster aesthetics. The design is based on criteria of ergonomics, anthropometry, and user-centered design.

KEYWORDS

Electric guitar, parametric design, ergonomics, fretboard, small hands.

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	17
OBJETIVOS	21
MEMORIA	25
1. JUSTIFICACIÓN Y MOTIVACIÓN DEL PROYECTO	26
1.1. Base antropométrica y limitaciones actuales	26
1.2. Déficit del mercado: una oportunidad de diseño	27
1.3. Impacto social y emocional.....	27
2. ESTADO DEL ARTE Y ANÁLISIS DE MERCADO	28
2.1. La guitarra eléctrica	28
2.2. Historia de la guitarra eléctrica	28
2.3. Partes de la guitarra eléctrica	33
2.4. Funcionamiento de la guitarra eléctrica	37
2.5. Fundamentos en el diseño de guitarras eléctricas	39
3. ESTUDIO DE MERCADO	42
3.1. Modelos de escala muy corta (22-22,5")	42
3.2. Guitarras de escala corta-media (24").....	43
3.3. Guitarras profesionales con Floyd Rose	43
3.4. Modelo estándar y ergonómico.....	44
3.5. Gibson Les Paul	45
3.6. Fender Stratocaster	47
4. ANÁLISIS ERGONÓMICO APLICADO AL DISEÑO DE GUITARRAS ELÉCTRICAS	50
4.1. Introducción a la ergonomía aplicada a la guitarra eléctrica.....	50
4.2. Dimensiones de la mano: datos antropométricos	50
4.3. Lesiones comunes.....	51
4.4. Soluciones ergonómicas aplicadas al diseño de la guitarra eléctrica.....	52
5. MARCO TEÓRICO	53
5.1. Antropometría aplicada al diseño de producto	53
5.2. Diseño centrado en el usuario	54
5.3. Diseño paramétrico y modelado de superficies	55
6. DEFINICIÓN DEL USUARIO OBJETIVO	56
6.1. Perfil antropométrico de personas con manos pequeñas	56
6.2. Requisitos ergonómicos.....	58
6.3. Expectativas funcionales y expresivas	60
7. DESARROLLO DEL DISEÑO	62
7.1. Fusión morfológica entre modelos Fender y Gibson	62
7.2. Rediseño de la guitarra.....	63
8. MODELADO CAD	66
9. MATERIALES Y COMPONENTES.....	70
9.1. Materiales	70
9.2. Componentes.....	72
10. PROCESO DE FABRICACIÓN	78
PLANOS	81
1. PLANO CONJUNTO	82
2. PLANO DE DIAPASÓN	82

3. PLANO DE MÁSTIL	82
4. PLANO DE CUERPO	82
MEDICIONES	83
1. CUADROS DE MATERIALES	84
1.1. Conjunto cuerpo.....	84
1.2. Conjunto mástil.....	85
1.3. Herrajes y electrónica	86
1.4. Acabados y consumibles	87
2. CUADRO DE MAQUINARIA	88
3. CUADROS DE PROCESOS DE FABRICACIÓN Y MONTAJE	89
3.1. Fabricación del cuerpo	89
3.2. Fabricación del mástil.....	89
3.3. Diapasón, trastes y cejuela	90
3.4. Acabado (sellado, tintado, lacado, pulido).....	90
3.5. Montaje	90
3.6. Inspección y ajuste final.....	91
3.7. Tiempo total estimado	91
PRESUPUESTO	93
1. COSTE DE MATERIALES	94
1.1. Coste del cuerpo	94
1.2. Coste del mástil.....	94
1.3. Coste de herrajes y electrónica	95
1.4. Coste de acabados y consumibles	96
1.5. Coste total de materiales	96
2. COSTE MANO DE OBRA DIRECTO (M.O.D.)	97
3. COSTE PUESTO DE TRABAJO	97
4. COSTE DE FABRICACIÓN	97
5. COSTE DE LA MANO DE OBRA INDIRECTA (M.O.I.).....	98
6. COSTE DE CARGAS SOCIALES.....	98
7. COSTE DE GASTOS GENERALES	98
8. BENEFICIO INDUSTRIAL.....	98
9. COSTE FINAL.....	98
CONCLUSIONES.....	101
BIBLIOGRAFÍA	103
ANEXOS	109
1. RELACIONES PARAMÉTRICAS	110
1.1. Relación paramétrica entre longitud de escala, posicionamiento de los trastes y longitud de diapasón	110
1.2. Otras relaciones paramétricas	111
1. CÁCULOS	113
2.1. Cálculos de los parámetros clave para una escala 24,75"	113
2. ÁNGULOS	114

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Guitarra eléctrica “Frying Pan” de Rickenbacker (1931). Fuente: Dumkaptaha. Disponible en:	
https://docs.dumkaptaha.com/?gib=23.24278099.2.14.....	29
Ilustración 2. “The Log” (1940), prototipo de guitarra eléctrica creado por Les Paul. Fuente: Manual Guitarra Eléctrica. Disponible en:	
https://manualguitarraelectrica.com/les-paul-biografia/.....	30
Ilustración 3. Gibson Les Paul Goldtop (1952). Fuente: 12fret. Disponible en:	
https://www.12fret.com/sold/1952-gibson-les-paul-gold-top/.....	30
Ilustración 4. Fender Telecaster American Original 50s. Fuente: Guitarristas.info. Disponible en:	
https://www.guitarristas.info/reviews/review-fender-american-original-50s-telecaster/7527.....	31
Ilustración 5. Fender Stratocaster 1954 (70º Aniversario, American Vintage II). Fuente: Fender. Disponible en:	
https://es.fender.com/products/70th-anniversary-american-vintage-ii-1954-stratocaster.....	31
Ilustración 6. Diferentes perfiles de mástil de guitarra (U, Soft V, C, Hard V, D, Medium V). Fuente: Manual Guitarra Eléctrica. Disponible en:	
https://manualguitarraelectrica.com/diferentes-perfiles-mastil-u-d-c-v/.....	34
Ilustración 7. Unión mástil-cuerpo por atornillado. Fuente:	
https://desafinados.es/tipos-de-union-mastil-cuerpo-en-guitarras-electricas/.....	34
Ilustración 8. Unión mástil-cuerpo por encolado. Fuente:	
https://tcgakki.com/es/pages/1954-gibson-les-paul?srsId=AfmBOorFeCtNQ8OELax_gHkza1yK2ARCBHGydvA5HUZ-KLDckoh8LF5V.....	35
Ilustración 9. Unión mástil-cuerpo Neck-through. Fuente:	
https://desafinados.es/tipos-de-union-mastil-cuerpo-en-guitarras-electricas/#google_vignette.....	35
Ilustración 10. Partes de la guitarra eléctrica. Trabajo propio.....	37
Ilustración 11. Ibanez GRGM21 miKro (fotografía oficial). Fuente: Ibanez. Disponible en:	
https://www.ibanez.com/usa/products/detail/grgm21_5a_02.html.....	42
Ilustración 12. Jackson Dinky Minion JS1X (fotografía oficial). Fuente: Stars Music. Disponible en:	
https://www.stars-music.es/jackson-dinky-minion-js-1x-black-gloss_93484.html.....	43
Ilustración 13. Fender Mustang Player II (fotografía oficial). Fuente: Stars Music. Disponible en:	
https://www.stars-music.es/fender-player-ii-mustang-mex-rw-birch-green_214433.html.....	43

Ilustración 14. Fender Player II Modified Stratocaster HSS Floyd Rose (fotografía oficial). Fuente: Fender. Disponible en: https://es.fender.com/products/player-ii-modified-stratocaster-hss-floyd-rose.....	44
Ilustración 15. Gibson Les Paul Standard 60s (fotografía oficial). Fuente: Stars Music. Disponible en: https://www.stars-music.es/gibson-les-paul-standard-60s-faded-vintage-cherry-sunburst_192074.html	44
Ilustración 16. Gibson Les Paul, vistas de alzado y planta. Fuente: https://www.intermusic-pro.com/blog/nuevos-modelos-gibson-2019-ya-disponibles/	46
La Les Paul incorpora 22 trastes de tipo medium jumbo y monta de fábrica un puente Tune-o-Matic con cordal Stopbar, un sistema que asegura la estabilidad de la afinación y un contacto sólido de las cuerdas con el cuerpo. Su peso promedio se sitúa entre 4 y 4,6 kg, lo que contribuye a su sustain característico, pero también la hace más pesada que otros modelos como la Fender Stratocaster. Desde los años 80, Gibson ha introducido variantes con cámaras internas para aligerar el peso sin comprometer demasiado el tono, respondiendo así a las demandas de músicos que buscaban mayor comodidad.....	46
Ilustración 17. Rebajes anatómicos Fender Stratocaster. Fuente: https://manualguitarraelectrica.com/stratocaster/#google_vignette ..	48
Ilustración 18. Diferencia de la longitud media de la mano entre un hombre y una mujer. Trabajo propio.	53
Ilustración 19. Medición del “span” de la mano (distancia entre el pulgar y el meñique en extensión). Trabajo propio.	54
Ilustración 20. Medición de la longitud de la falange en la mano. Trabajo propio.	57
Ilustración 21. Medición de la anchura de la palma de la mano. Trabajo propio.	58
Ilustración 22. Medición de la longitud de escala de la guitarra. Trabajo propio.	59
Ilustración 23. Medición de la cejuela de la guitarra. Trabajo propio.	59
Ilustración 24. Perfil del mástil de guitarra tipo “Flat C” o “Slim C”. Trabajo propio.	60
Ilustración 25. Radio del diapasón de la guitarra. Trabajo propio.	60
Ilustración 26. Modelado diapasón. Trabajo propio	66
Ilustración 27. Modelado radio de curvatura del diapasón. Trabajo propio.	66
Ilustración 28. Modelado clavijero. Trabajo propio.	67

Ilustración 29. Modelado perfil Slim C. Trabajo propio.....	67
Ilustración 30. Modelado cuerpo. Trabajo propio.....	68
Ilustración 31. Modelado unión cuerpo-mástil. Trabajo propio.....	68
Ilustración 32. Modelado guitarra completa. Trabajo propio.	69
Ilustración 33. Textura de la madera de aliso (Alder). Fuente: Majofesa. Disponible en: https://www.majofesa.com/tablon-de-madera/madera-de-alder/	70
Ilustración 34. Textura de la madera de palisandro (Rosewood). Fuente: iStockphoto. Disponible en: https://www.istockphoto.com/es/fotos/palisandro-madera	71
Ilustración 35. Pastilla Fender Humbucker Shawbucker 2 Zebra. Fuente: France Guitare. Disponible en: https://www.franceguitare.fr/es/pastillas-para-stratocaster/1431-pastilla-fender-humbucker-shawbucker-2-zebra.html.....	72
Ilustración 36. Pastilla estilo single coil vintage para puente de guitarra. Fuente: Maderas Barber. Disponible en: https://maderasbarber.com/tonewood/es/pastillas/4042-pastilla-estilo-st-single-coil-vintage-para-puente-de-guitarra-88-k.html.....	72
Ilustración 37. Puente Tune O Matic. Fuente: https://www.thomann.de/blog/es/tune-o-matic-el-senor-de-los-puentes-de-guitarra/	73
Ilustración 38. Alambre de trastes de níquel-plata para guitarra eléctrica (jumbo, 2.90 mm). Fuente: Grandado. Disponible en: https://esp.grandado.com/products/alambre-de-traste-de-niquel-y-plata-de-alambre-jumbo-de-guitarra-electrica-ancho-de-2-90mm	74
Ilustración 39. Clavijas Fender F-Type cromadas (años 70) para guitarra eléctrica. Fuente: Music Store. Disponible en: https://www.musicstore.com/es_ES/EUR/Fender-Clavijas-70-s-F-Type-cromados/art-GIT0001388-006	74
Ilustración 40. Golpeador Stratocaster HSS con tapa trasera. Fuente: Amazon. Disponible en: https://www.amazon.es/Dopro-Strat-HSS-Golpeador-pl%C3%A1stico/dp/B086HB7KJH	75
Ilustración 41. Pomos de control de volumen y tono para Fender Stratocaster. Fuente: Amazon. Disponible en: https://www.amazon.es/Pomos-control-guitarra-Fender-Stratocaster/dp/B01DLJOKSY	76
Ilustración 42. Selector de pastillas Fender de 5 posiciones. Fuente: Musical Guima. Disponible en: https://musicalguima.com/lutheria/6976-selector-switch-5-posiciones-fender.html	76

Ilustración 43. Placa de jack cromada para Fender Stratocaster. Fuente: Musik Produktiv. Disponible en: https://www.musik-produktiv.es/fender-stratocaster-jack-ferrule-chrome.html	77
Ilustración 44. Horno de secado convencional de madera (IDV). Fuente: Incomac. Disponible en: https://www.incomac.com/es/instalaciones/secado-convencional/idv/	78
Ilustración 45. Medidas paramétricas. Trabajo propio.	112
Ilustración 46. Forma de cuña unión mástil-cuerpo. Trabajo propio....	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparativa de modelos comerciales de guitarras eléctricas.	45
Tabla 2. Tabla de medidas antropométricas de mujeres clave (DINED / ANSUR II).....	50
Tabla 3. Tabla de medidas antropométricas de hombre clave (DINED / ANSUR II).....	51
Tabla 4. Comparativa técnica entre Fender Stratocaster y Gibson Les Paul.	63
Tabla 5. Especificaciones del rediseño de la guitarra eléctrica.	65
Tabla 6. Materiales conjunto cuerpo.	84
Tabla 7. Materiales conjunto mástil.	85
Tabla 8. Materiales herraje y electrónica.....	86
Tabla 9. Materiales para acabados y consumibles.....	87
Tabla 10. Cuadro de maquinaria.	88
Tabla 11. Cuadro de fabricación del cuerpo.	89
Tabla 12. Cuadro de fabricación del mástil.	89
Tabla 13. Cuadro de fabricación diapasón, trastes y cejuela.	90
Tabla 14. Cuadro de fabricación de sellado, tintado, lacado y pulido. ..	90
Tabla 15. Cuadro de fabricación de montaje.	90
Tabla 16. Cuadro de fabricación de inspección y ajustes finales.	91
Tabla 17. Cuadro de materiales del cuerpo.	94
Tabla 18. Cuadro de materiales del mástil.	94
Tabla 19. Cuadro de materiales de herraje y electrónica.....	95
Tabla 20. Cuadro de materiales de acabados y consumibles.	96
Tabla 21. Cuadro de coste de mano de obra directo.	97
Tabla 22. Cuadro de coste del puesto de trabajo.	97
Tabla 23. Cuadro de coste total.	99
Tabla 24. Cuadro de posiciones de los trastes.....	114

INTRODUCCIÓN

La guitarra eléctrica representa uno de los instrumentos más significativos y revolucionarios de la música del siglo XX. Su versatilidad sonora y expresividad han contribuido a su adopción masiva en géneros que van desde el rock y el blues hasta el jazz, pop y metal. A pesar de su evolución técnica y estilística, los diseños predominantes de guitarras eléctricas se han basado históricamente en estándares antropométricos promedio, sin considerar suficientemente la diversidad física de los intérpretes. Esto representa una limitación significativa para personas con manos pequeñas, quienes pueden experimentar dificultades técnicas, incomodidad e incluso frustración al intentar ejecutar ciertos acordes, escalas o técnicas avanzadas.

Este Trabajo de Fin de Grado se sitúa en el ámbito del diseño paramétrico aplicado a la ingeniería de producto, con el objetivo principal de desarrollar las claves necesarias para obtener un prototipo de guitarra eléctrica adaptado ergonómicamente a personas con manos pequeñas. El enfoque combina técnicas de modelado de superficies y parametrización, permitiendo definir variables críticas como longitud de escala, perfil del mástil o longitud de diapasón, para ajustarlas a las necesidades físicas del usuario final.

El proyecto se fundamenta en la fusión de dos diseños opuestos pero complementarios:

- La Gibson Les Paul, reconocida por su escala corta de 24,75", su mástil encolado y su ángulo de unión mástil-cuerpo, que proporcionan mayor comodidad de ejecución y un sustain prolongado.
- La Fender Stratocaster, que aporta un diseño contorneado, acceso óptimo a los trastes altos y un lenguaje estético icónico, pero con una escala larga de 25,5" que resulta más exigente para intérpretes con manos pequeñas.

El rediseño propuesto adopta la escala corta y los ángulos entre diapasón-cuerpo y diapasón-clavijero de la Les Paul, conservando la identidad visual de la Stratocaster mediante un cuerpo contorneado y ligero. En relación con la cejuela, se establece un ancho mínimo de 42 mm, evitando reducciones excesivas que podrían comprometer la ejecución.

La necesidad de este diseño se refuerza con testimonios de músicos profesionales. Slash destacó: *"Siempre vuelvo a la Les Paul; es la guitarra que más me transmite"* (Gibson, 2018), en referencia a su facilidad de ejecución. Jennifer Batten advirtió: *"Las dimensiones de muchas guitarras no se ajustan a las necesidades de las mujeres o de personas con manos pequeñas, y eso limita su expresividad y su acceso real a ciertos géneros"* (Guitar World, 2015).

Estos planteamientos ponen de relieve la brecha existente entre los estándares de diseño y la diversidad real de los intérpretes.

La investigación previa también constata la falta de soluciones profesionales en el mercado, donde los pocos modelos de escala reducida, como la Ibanez miKro, la Fender Mustang o la Jackson Dinky Minion, suelen estar dirigidos a principiantes y carecen de prestaciones técnicas avanzadas. La guitarrista Tina S. señaló: *“Tuve que modificar mi técnica porque muchas guitarras no estaban pensadas para manos pequeñas. Si no lo haces, te acabas lesionando o te estancas”*(Guitar Fandom, 2020).

En definitiva, el presente trabajo propone un rediseño inclusivo y paramétrico, cuyo objetivo es ofrecer un instrumento funcional, estético y adaptado. Como expresó Miyavi: *“El diseño de una guitarra puede ser la diferencia entre abandonar o amar la música”* (Rolling Stone Japan, 2020). A través de la integración de diseño centrado en el usuario y principios ergonómicos, se plantea un puente entre la tradición de los grandes modelos históricos y las necesidades físicas de una nueva generación de intérpretes.

OBJETIVOS

El presente Trabajo de Fin de Grado tiene como finalidad principal el desarrollo de los cambios necesarios entre los dos modelos populares de guitarras eléctricas Fender Stratocaster y Gibson Les Paul, para que a partir de ellos conseguir un modelo único, ergonómico y que combine los mejores detalles de cada una de las guitarras para que el diseño sea apto para usuarios con manos pequeñas. Esta propuesta surge como respuesta a una limitación persistente en el diseño convencional de instrumentos musicales, caracterizado por soluciones estandarizadas que no contemplan la diversidad morfológica de los usuarios.

El proyecto no se limita a un rediseño estético, sino que persigue una revisión técnica y funcional del instrumento, incorporando criterios de antropometría aplicada, ergonomía instrumental y diseño inclusivo. El resultado esperado es un modelo ajustable a distintos perfiles antropométricos y respetando en todo momento los condicionantes técnicos definidos:

- Anchura mínima de cejuela de 42 mm para preservar la comodidad de ejecución.
- Mástil encolado con ángulo tipo Les Paul, que optimiza la ergonomía y el sustain.
- Ángulo entre el diapasón y la cejuela para facilitar la interpretación.
- Cuerpo con morfología Stratocaster reducida y rebajes anatómicos.

Objetivos específicos:

1. Analizar las limitaciones técnicas y ergonómicas que enfrentan las personas con manos pequeñas al utilizar modelos convencionales de guitarra eléctrica, a partir de literatura y estudios antropométrico.
2. Estudiar y comparar los modelos existentes en el mercado, profesionales y de iniciación, con especial atención en la guitarra Fender Stratocaster y la guitarra Gibson Les Paul.
3. Identificar y definir los parámetros clave de diseño, tales como:
 - Longitud de escala.
 - Anchura de cejuela.
 - Grosor y perfil del mástil.
 - Radio de curvatura del diapasón.
4. Seleccionar un modelo base como la Fender Stratocaster, por su icónica estética, integrando características de guitarras reconocidas por su confort, como la Gibson Les Paul.
5. Desarrollar los cálculos necesarios sobre los parámetros clave del rediseño para que en caso de cambiar la longitud de escala de la guitarra, no haya que rediseñar el conjunto entero.

6. Evaluar las posibilidades de producción real, considerando materiales, proceso de producción y costes asociados a una fabricación personalizada bajo demanda.
7. Establecer mediciones clave a la hora de un supuesto de producción y fabricación a partir de los cambios sugeridos en la guitarra.

MEMORIA

1. JUSTIFICACIÓN Y MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

La guitarra eléctrica es uno de los instrumentos musicales más icónicos, versátiles y comercializados del mundo. Desde su auge en la década de 1950, con modelos como la Fender Stratocaster (1954) o la Gibson Les Paul (1952), se ha convertido en una herramienta indispensable en géneros tan diversos como el rock, blues, jazz, pop, metal y música alternativa. Su diseño ha evolucionado en términos de materiales, electrónica y manufactura, pero sus dimensiones fundamentales siguen respondiendo a parámetros antropométricos estándar.

La mayoría de los modelos disponibles en el mercado utilizan longitudes de escala estándar que oscilan entre las 25,5 pulgadas (648 mm) de Fender y las 24,75 pulgadas (629 mm) de Gibson. Estas dimensiones, aunque ergonómicamente aceptables para la mayoría de los usuarios adultos, no resultan adecuadas para personas con manos pequeñas si no se realizan ajustes ergonómicos sobre ellas. Una guitarra que no se adapta al usuario final, puede acabar provocando dificultades de ejecución, tensión innecesaria en los dedos y limitaciones técnicas para determinadas posiciones, acordes o digitaciones en el intérprete. Además, en estos modelos se aplican anchos de cejuela superiores a 42 mm, siendo esta medida el mínimo recomendable para mantener comodidad en la ejecución.

1.1. Base antropométrica y limitaciones actuales

Según datos del DINED (Base de Datos Antropométrica Holandesa) y estudios de ergonomía aplicada al diseño de producto (Pheasant & Haslegrave, 2005), se estima que:

- La longitud media de la mano adulta femenina se sitúa entre 16-17,5 cm, frente a los 18,5-20 cm de la masculina. Esta longitud se mide desde el pliegue distal de la muñeca hasta la punta del dedo medio, con la mano extendida.
- Las diferencias en la longitud de las falanges pueden variar hasta un 25% entre percentiles bajos y altos.
- Personas de complexión baja (percentiles 1-5) experimentan fatiga muscular más rápidamente si los objetos manipulados no se ajustan a su escala corporal.

Esto se traduce en una clara desventaja física al enfrentarse a guitarras estándar, cuyo diseño no contempla la diversidad de usuarios. El problema se intensifica cuando muchos músicos con manos pequeñas recurren a modelos

de iniciación, más pequeños, pero de calidad más limitada, que no ofrecen prestaciones profesionales.

El presente proyecto propone solventar estas limitaciones mediante un rediseño ergonómico y único, que combina la estética de la Stratocaster con medidas propias de la Les Paul: mástil encolado con ángulo, escala reducida de 24,75", cuerpo Stratocaster más compacto.

1.2. Déficit del mercado: una oportunidad de diseño

Aunque existen modelos adaptados, como la Ibanez miKro, la Fender Mustang o la Jackson Dinky, estos suelen estar orientados a:

- Niños o adolescentes en etapa inicial de aprendizaje.
- Segmentos de gama económica, con electrónica y acabados limitados.
- Estilos musicales muy concretos.

No existe actualmente un modelo de guitarra profesional que combine la ergonomía de la Les Paul con la estética y versatilidad de la Stratocaster.

Este vacío en el mercado representa una oportunidad de diseño industrial inclusivo, que no solo responde a necesidades funcionales, sino también emocionales y culturales, son muchos los guitarristas que buscan encontrar un tipo de guitarra adaptable a su ergonomía.

1.3. Impacto social y emocional

El diseño inclusivo cobra cada vez mayor importancia en ingeniería de producto. Este proyecto se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS):

- **ODS 4: Educación de calidad**, al facilitar el acceso igualitario a instrumentos profesionales adaptados.
- **ODS 5: Igualdad de género**, al visibilizar y resolver barreras físicas que afectan en particular a mujeres guitarristas.
- **ODS 10: Reducción de desigualdades**, al ofrecer una alternativa fuera de los estándares dominantes.

Testimonios de guitarristas profesionales como Jennifer Batten o Tina S. evidencian que la falta de modelos adaptados limita la técnica y la expresividad de muchos intérpretes. La propuesta aquí planteada busca superar esa barrera, ofreciendo una guitarra profesional, ergonómica y con estética reconocible, que combina lo mejor de Fender y Gibson en un modelo único.

2. ESTADO DEL ARTE Y ANÁLISIS DE MERCADO

Este apartado tiene como objetivo establecer el contexto técnico, histórico y comercial que justifica la viabilidad, necesidad y originalidad del proyecto. En este apartado se establecen conceptos básicos sobre la guitarra eléctrica, sus distintas partes y cómo ha evolucionado desde sus orígenes. Además, se incluye un análisis de mercado de distintas guitarras eléctricas presentes en el mercado actual.

2.1. La guitarra eléctrica

La guitarra eléctrica es un instrumento musical de cuerda pulsada que, a diferencia de la guitarra acústica o clásica, no utiliza una caja de resonancia para proyectar el sonido. En su lugar, se basa en un sistema de captación electromagnética: las cuerdas, fabricadas de acero u otras aleaciones metálicas, vibran sobre unas pastillas que contienen imanes y bobinas de cobre. La vibración altera el flujo magnético y se convierte en una señal eléctrica.

Esa señal se dirige a través del circuito interno de la guitarra (potenciómetros, selector, condensadores) hacia el jack de salida, que conecta con un amplificador. Allí la señal se amplifica y puede modificarse con controles de ecualización, pedales de efectos o procesadores digitales, lo que permite una paleta casi infinita de sonidos.

La guitarra eléctrica, por tanto, es al mismo tiempo un objeto físico y un sistema electrónico. La interacción entre las características del instrumento (escala, materiales, tipo de pastillas, configuración del mástil) y el procesamiento externo es lo que le confiere su enorme versatilidad. Gracias a ello, puede producir desde sonidos limpios, cristalinos y brillantes, hasta distorsiones agresivas y saturadas, siendo un instrumento imprescindible en estilos como el rock, blues, jazz, pop, metal o música alternativa.

Además, la guitarra eléctrica no solo se entiende como un instrumento musical, sino también como un icono cultural. Su imagen y sonido han quedado ligados a movimientos sociales y estéticos a lo largo de las décadas, convirtiéndose en símbolo de rebeldía, innovación y libertad artística.

2.2. Historia de la guitarra eléctrica

La guitarra eléctrica es uno de los inventos más influyentes del siglo XX, tanto en lo musical como en lo cultural. Su aparición respondió a una necesidad muy concreta: aumentar el volumen de la guitarra acústica para poder competir con otros instrumentos en formaciones de jazz, blues o big band, especialmente a

partir de la década de 1920. Hasta entonces, la guitarra había cumplido un papel principalmente rítmico o de acompañamiento, ya que carecía de la proyección necesaria frente a instrumentos de viento y percusión.

Orígenes y primeras experiencias (1920–1930)

En la década de 1920, músicos y fabricantes comenzaron a experimentar con distintos sistemas de amplificación. Algunos recurrieron a micrófonos colocados frente a la boca de la guitarra acústica, pero los problemas de realimentación y la falta de control limitaban mucho su efectividad. La solución más prometedora llegó con la aplicación del principio de inducción electromagnética: mediante imanes y bobinas, era posible captar directamente la vibración de las cuerdas metálicas y transformarla en una señal eléctrica.

El primer modelo reconocido como guitarra eléctrica fue la Rickenbacker “Frying Pan” (1931), diseñada por George Beauchamp y Adolph Rickenbacker. Este instrumento, de cuerpo metálico y forma circular, estaba pensado para tocarse sobre las rodillas y ya incorporaba una pastilla electromagnética rudimentaria. Aunque limitada en usos, supuso un punto de inflexión en la historia de la guitarra.



Ilustración 1. Guitarra eléctrica “Frying Pan” de Rickenbacker (1931). Fuente: Dumkaptaha. Disponible en: <https://docs.dumkaptaha.com/?gib=23.24278099.2.14>

La consolidación del cuerpo macizo (década de 1940)

Uno de los problemas de las primeras guitarras eléctricas era el acople acústico: al mantener la caja de resonancia de los modelos acústicos, las vibraciones del aire producían realimentación no deseada cuando se amplificaban. Músicos como Les Paul comenzaron a experimentar con cuerpos macizos de madera, eliminando la caja de resonancia. En 1940, Les Paul construyó su famoso prototipo “The Log”, consistente en un bloque de madera

con mástil y pastillas, al que añadió dos medias cajas acústicas a modo estético. Aunque en un principio fue recibido con escepticismo, sentó las bases de lo que sería la guitarra eléctrica moderna.



Ilustración 2. "The Log" (1940), prototipo de guitarra eléctrica creado por Les Paul. Fuente: Manual Guitarra Eléctrica. Disponible en: <https://manualguitarraelectrica.com/les-paul-biografia/>

La era dorada: Gibson Les Paul y Fender Telecaster/Stratocaster (1950–1960)

La década de 1950 marca el nacimiento de los modelos que aún hoy dominan el mercado. En 1952, Gibson lanzó oficialmente la Gibson Les Paul, fruto de la colaboración entre la marca y el músico. Este modelo presentaba un cuerpo de caoba con tapa de arce arqueada, mástil encolado y escala corta de 24,75 pulgadas. Su sonido cálido y con sustain se convirtió en referencia, especialmente en estilos como el jazz y el blues.



Ilustración 3. Gibson Les Paul Goldtop (1952). Fuente: 12fret. Disponible en: <https://www.12fret.com/sold/1952-gibson-les-paul-gold-top/>

Paralelamente, Leo Fender revolucionó el mercado con la Fender Telecaster (1950), la primera guitarra de cuerpo macizo producida en serie. Con construcción más simple (mástil atornillado, cuerpo plano de fresno o aliso y

pastillas single coil), ofrecía una producción más económica y una sonoridad brillante.



Ilustración 4. Fender Telecaster American Original 50s. Fuente: Guitarristas.info. Disponible en: <https://www.guitarristas.info/reviews/review-fender-american-original-50s-telecaster/7527>

Poco después, en 1954, Fender lanzó la Fender Stratocaster, con su característico cuerpo contorneado, trémolo sincronizado y tres pastillas single coil. La Stratocaster supuso un salto no solo técnico, sino también estético y ergonómico, y se convirtió en el modelo más influyente de la historia del rock.



Ilustración 5. Fender Stratocaster 1954 (70º Aniversario, American Vintage II). Fuente: Fender. Disponible en: <https://es.fender.com/products/70th-anniversary-american-vintage-ii-1954-stratocaster>.

Expansión y diversificación (1960–1980)

Durante las décadas de 1960 y 1970, la guitarra eléctrica se consolidó como símbolo de la cultura juvenil y vehículo de expresión de movimientos sociales. Figuras como Jimi Hendrix, Eric Clapton, Jimmy Page o Carlos Santana elevaron la guitarra a un nivel icónico, asociando su sonido con rebeldía, innovación y libertad.

En esta etapa aparecieron nuevas marcas y modelos que ampliaron el abanico sonoro: Gibson SG, Fender Jaguar y Jazzmaster, Rickenbacker 330 o las primeras guitarras de 12 cuerdas eléctricas. A finales de los 70 y principios de

los 80, fabricantes japoneses como Ibanez y Yamaha irrumpieron con fuerza, ofreciendo instrumentos de calidad a precios más competitivos, lo que impulsó la globalización del mercado.

Innovación tecnológica y virtuosismo (1980–2000)

La llegada de estilos como el heavy metal, el hard rock y el shred en los años 80 exigió guitarras más rápidas, ligeras y técnicas. Aparecieron los puentes de doble bloqueo, que permitían un uso más extremo de la palanca de trémolo sin comprometer la afinación. Las guitarras tipo Superstrat ofrecían mástiles delgados, escalas rápidas y configuraciones de pastillas más versátiles, pensadas para guitarristas virtuosos como Steve Vai, Joe Satriani o Eddie Van Halen.

En paralelo, la electrónica empezó a evolucionar hacia configuraciones más complejas, con coil-split, circuitos activos y la integración de pastillas piezoeléctricas para sonidos acústicos.

La era contemporánea (2000–actualidad)

En el siglo XXI, la guitarra eléctrica mantiene su hegemonía como instrumento popular, aunque compite con la creciente digitalización de la música. A pesar de ello, sigue siendo un pilar en géneros como el rock, pop, metal, jazz y derivados alternativos.

La producción actual combina procesos CNC de alta precisión con acabados artesanales en gamas altas y luthería. Además, han surgido guitarras con impresión 3D de componentes, uso de materiales y electrónica digital integrada.

Por otro lado, la cultura de la personalización ha crecido: muchos fabricantes ofrecen modelos personalizables donde el usuario puede elegir maderas, acabados, perfil de mástil y configuración de pastillas. También se ha extendido el interés por guitarras multiescala, de 7, 8 o más cuerdas, adaptadas a estilos modernos como el djent (estilo musical derivado del heavy metal que se desarrolló como una variación del tradicional metal progresivo) o el metal progresivo.

En resumen, la guitarra eléctrica ha pasado de ser un experimento técnico en los años 30 a convertirse en un símbolo cultural universal, con un lenguaje propio y una capacidad de adaptación que la mantiene vigente casi un siglo después de su creación. A pesar de los avances tecnológicos, los modelos de

referencia continúan siendo la base sobre la que se construyen la mayoría de los diseños, prueba de la solidez y relevancia de aquellos desarrollos pioneros.

2.3. Partes de la guitarra eléctrica

A continuación, se detallan los elementos fundamentales que componen una guitarra eléctrica, describiendo su función y relevancia en el diseño:

Clavijero y clavijas de afinación: El clavijero es la parte superior de la guitarra, donde se encuentran las clavijas de afinación. Estas permiten tensar o aflojar las cuerdas, regulando su altura de frecuencia. Existen diferentes disposiciones: en línea (6 en línea, típica de Fender) o 3+3 (tres a cada lado, típica de Gibson). Una buena calidad en las clavijas garantiza estabilidad en la afinación.

Cejuela: La cejuela es una pequeña pieza situada entre el clavijero y el diapasón. Contiene ranuras por donde pasan las cuerdas, manteniendo su separación y altura inicial. Su ancho define la anchura de la guitarra en la primera posición, un parámetro crítico para la comodidad de la mano izquierda. Algunos materiales comunes de los que suele hacerse son hueso, plástico, grafito o compuestos sintéticos.

Mástil: El mástil es una pieza alargada que conecta el cuerpo con el clavijero. Alberga el diapasón y los trastes. Puede unirse al cuerpo de distintas formas: atornillado, encolado o a través del cuerpo. Su perfil, grosor y acabado son determinantes para la ergonomía y la velocidad de ejecución. Existen distintos tipos de mástil:

- **Según el perfil:** hay cuatro tipos de perfiles:
 - C (Modern C, Slim C): es el perfil más común, cómodo y versátil. Su forma es delgada y redondeada.
 - U: más grueso y ancho, pensado para manos grandes o estilos donde se requiere más apoyo.
 - V: puede ser Soft V, con forma en V suave, cómodo para acordes y digitación, o Hard V, con la "V" más marcada, típico de guitarras vintage.
 - D: Similar a la "C" pero con los laterales más planos, usado en mástiles modernos de alta velocidad.

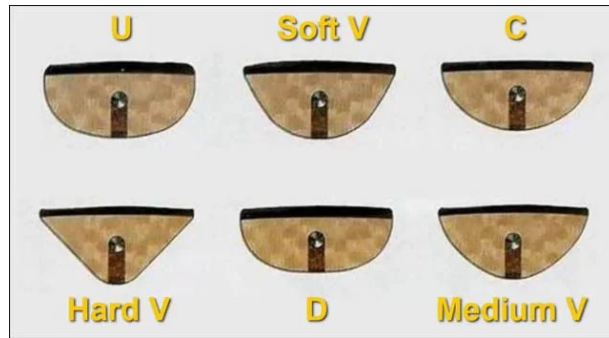


Ilustración 6. Diferentes perfiles de mástil de guitarra (U, Soft V, C, Hard V, D, Medium V). Fuente: Manual Guitarra Eléctrica. Disponible en: <https://manualguitarraelectrica.com/diferentes-perfiles-mastil-u-d-c-v/>

- **Según la unión al cuerpo:**
 - Bolt-on (atornillado): como en la Fender Stratocaster. Fácil de fabricar y reparar, sonido más brillante.
 - Set-neck (encolado): como en la Gibson Les Paul. Sonido con más sustain y tono cálido.
 - Neck-through (a través del cuerpo): el mástil atraviesa todo el cuerpo. Gran sustain, estabilidad y comodidad en trastes altos, pero más caro de fabricar.



Ilustración 7. Unión mástil-cuerpo por atornillado. Fuente: <https://desafinados.es/tipos-de-union-mastil-cuerpo-en-guitarras-electricas/>



Ilustración 8. Unión mástil-cuerpo por encolado. Fuente: https://tcgakki.com/es/pages/1954-gibson-les-paul?srltid=AfmBOorFeCtNQ80ELax_gHkza1yK2ARCBHGydvA5HUZ-KLDckoh8LF5V



Ilustración 9. Unión mástil-cuerpo Neck-through. Fuente: https://desafinados.es/tipos-de-union-mastil-cuerpo-en-guitarras-electricas/#google_vignette

Diapasón: El diapasón es la parte frontal del mástil sobre la que se apoyan los dedos. Suele fabricarse en maderas duras como palisandro, arce o ébano. Está dividido por trastes metálicos, que permiten obtener distintas notas al acortar la longitud vibrante de las cuerdas. Su radio puede ser más curvo (7,25") para acordes cómodos, o más plano (12" o más) para técnicas de bending y solos. El número de trastes: varía entre 21, 22 o 24, ampliando el rango tonal.

Trastes: Los trastes son pequeños alambres metálicos insertados en el diapasón. Al presionar una cuerda contra un traste, se acorta su longitud y se produce una nota determinada. Hay distintos tipos como medium, jumbo, extra-jumbo. La diferencia principal entre estos radica en su altura y ancho, siendo los extrajumbo los más altos y anchos, seguidos por los jumbo y luego los medium.

Cuerpo: El cuerpo es la parte más visible y estructural de la guitarra. Generalmente es macizo. El cuerpo aloja las pastillas, la electrónica y el puente.

Pastillas: Las pastillas son el corazón electrónico del instrumento. Cada pastilla está formada por uno o varios imanes rodeados de bobinas de cobre. Su función es convertir la vibración de las cuerdas en señal eléctrica. Hay distintos tipos de pastillas:

- **Single Coil:** Cuenta con una sola bobina, sonido brillante y definido, pero con ruido.
- **Humbucker:** Son de doble bobina, sonido cálido y potente, sin zumbido.
- **P90:** Bobina simple ancha, tono intermedio entre single coil y humbucker.
- **Mini-humbucker:** Más pequeño y brillante que un humbucker normal.
- **Lipstick:** Carcasa metálica, sonido delgado y característico.
- **Activas:** Con preamplificador y batería, sonido fuerte y comprimido.
- **Pasivas:** Tradicionales, sonido natural y expresivo.
- **Piezoeléctricas:** En el puente, imitan acústicas.
- **Coil-split:** Humbucker que puede funcionar como single coil.

Puente: El puente es el sistema que fija las cuerdas al cuerpo. Existen dos grandes familias:

- **Puente fijo:** aporta estabilidad de afinación y sustain (es la duración del sonido de una nota o acorde, es decir, cuánto tiempo la cuerda sigue vibrando hasta que el sonido se desvanece).
- **Puente móvil (trémolo):** permite variar la tensión de las cuerdas mediante una palanca, creando efectos de vibrato.

Controles electrónicos: La mayoría de las guitarras eléctricas incorpora potenciómetros de volumen y tono. El volumen maestro regula la intensidad de la señal. Los controles de tono modifican las frecuencias agudas, ofreciendo sonidos desde brillantes hasta cálidos. Suelen estar conectados mediante condensadores que definen la respuesta tonal.

Selector de pastillas: Es un interruptor que permite elegir qué pastilla o combinación de pastillas está activa. La Stratocaster suele usar selector de 5 posiciones, y la Les Paul selector de 3 posiciones. Este componente aumenta la versatilidad tímbrica del instrumento.

Jack de salida: Es el conector que transmite la señal eléctrica al amplificador o a una pedalera de efectos. Suele ser de ¼" (6,35 mm). En modelos Stratocaster está en el lateral inclinado; en Les Paul, en el canto.

Golpeador: Placa protectora de plástico, fijada al cuerpo, que protege la superficie de arañazos producidos por la púa. En muchos modelos, también sirve de soporte para la electrónica.

Cuerdas: Son la fuente primaria de vibración. Generalmente están fabricadas en acero niquelado, aunque existen variantes de acero inoxidable o níquel puro. Sus calibres: varían desde .008 (muy blandas) hasta .012 o más (mayor tensión y cuerpo). El calibre afecta directamente a la tensión, el sustain, la facilidad de ejecución y el carácter sonoro.

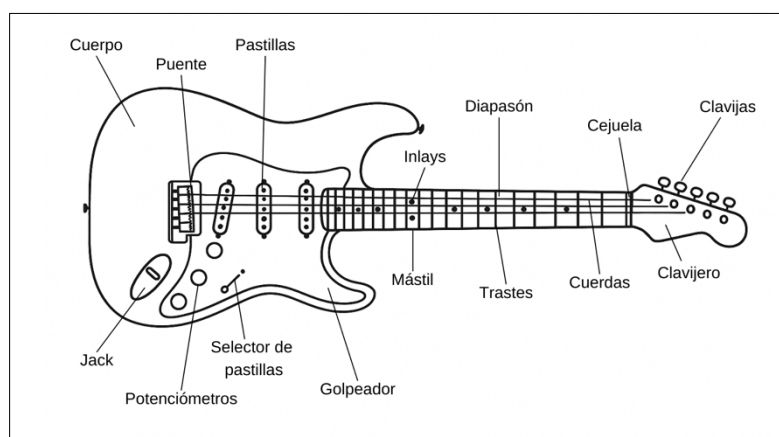


Ilustración 10. Partes de la guitarra eléctrica. Trabajo propio.

2.4. Funcionamiento de la guitarra eléctrica

La guitarra eléctrica es un instrumento musical cuya particularidad principal es que no depende de una caja de resonancia para proyectar el sonido. A diferencia de la guitarra acústica, que amplifica de manera natural las vibraciones de las cuerdas en su caja, la guitarra eléctrica necesita de un sistema de captación electromagnética y de amplificación externa para hacer audible su sonido.

El funcionamiento de la guitarra eléctrica se basa en el principio de inducción electromagnética, descrito por Michael Faraday en el siglo XIX. Las cuerdas metálicas de la guitarra, al vibrar, alteran el campo magnético generado por las pastillas electromagnéticas.

Cada pastilla está formada por uno o varios imanes alrededor de los cuales se enrolla un hilo de cobre muy fino (bobina). Cuando una cuerda vibra dentro de ese campo magnético, produce una perturbación que genera una corriente

eléctrica alterna en la bobina. Esta señal es de muy bajo nivel (milivoltios) y reproduce de forma analógica la vibración de la cuerda.

La señal captada por las pastillas se conduce hacia el circuito interno de la guitarra, donde pasa por distintos componentes electrónicos:

- Selector de pastillas: permite elegir cuál o cuáles están activas, cambiando así el timbre. La pastilla del mástil implica sonido grave y cálido, la del puente agudo y brillante, y combinaciones intermedias tonos mixtos.
- Potenciómetros de volumen: regulan la intensidad de la señal antes de salir de la guitarra.
- Potenciómetros de tono y condensadores: actúan como filtros pasivos que reducen frecuencias agudas, generando sonidos más cálidos u oscuros.
- Jack de salida: conector que envía la señal eléctrica al exterior.

Este circuito no amplifica la señal, solo la modula y la dirige.

Una vez que la señal sale por el jack, llega al amplificador de guitarra. Allí ocurre el verdadero aumento de volumen mediante varias etapas:

1. Preamplificador: eleva la débil señal de las pastillas a un nivel adecuado.
2. Etapa de ecualización y efectos: se modifican graves, medios y agudos, además de incorporar distorsión, reverb (efecto que simula el sonido reflejado en un espacio), delay (efecto en la multiplicación del sonido original y su reproducción con retardo, dando como resultado un característico eco sonoro envolvente) o cualquier otro efecto.
3. Etapa de potencia: amplifica la señal hasta un nivel suficiente para mover el altavoz.
4. Altavoz: convierte la señal eléctrica en sonido audible.

El conjunto guitarra–amplificador es inseparable: la guitarra genera la señal y el amplificador la hace audible y moldeable.

El funcionamiento final de una guitarra eléctrica no depende solo de las pastillas, sino de la interacción de todos sus componentes:

- Cuerdas: su calibre, material y tensión afectan el timbre y la dinámica de la señal.
- Maderas: aunque no proyectan acústicamente, influyen en el sustain y en la resonancia percibida en las vibraciones de las cuerdas.

- Puente y cejuela: transmiten las vibraciones al cuerpo y definen estabilidad de afinación.
- Pastillas: determinan en gran medida el carácter sonoro.
- Circuito eléctrico: filtra y ajusta la señal según el diseño del instrumento.

Una de las grandes ventajas del funcionamiento de la guitarra eléctrica es su versatilidad tímbrica. Dependiendo de la configuración de pastillas, el uso de controles de tono, el tipo de amplificador y los efectos añadidos, un mismo instrumento puede producir sonidos diferentes. Esto explica por qué la guitarra eléctrica ha sido adoptada en prácticamente todos los géneros musicales desde mediados del siglo XX.

2.5. Fundamentos en el diseño de guitarras eléctricas

El diseño de la guitarra eléctrica se apoya en una serie de fundamentos técnicos que aseguran tanto la funcionalidad acústica como la ergonomía del instrumento. Aunque la guitarra eléctrica carece de caja de resonancia, su estructura debe responder a leyes físicas, matemáticas y criterios antropométricos que garantizan la correcta entonación, la comodidad del intérprete y la estabilidad constructiva.

Escala y proporciones:

El concepto de escala es la base sobre la que se define cualquier guitarra eléctrica. La escala corresponde a la distancia vibrante de las cuerdas, es decir, la separación entre la cejuela y el puente. Esta medida condiciona aspectos críticos:

- Entonación y afinación: la colocación de los trastes depende directamente de la escala.
- Separación entre trastes: escalas más largas, 25,5", amplían la distancia, mientras que escalas más cortas, 24,75", reducen el espacio y facilitan la digitación.
- Tensión de cuerdas: a mayor escala, mayor tensión; a menor escala, menor esfuerzo para pulsar.

En guitarras de tamaño completo (4/4), la escala suele oscilar entre 629 mm (24,75") y 648 mm (25,5"). Existen además versiones reducidas (7/8, 3/4, 1/2), orientadas a jóvenes o personas con manos pequeñas, aunque en el ámbito profesional son poco frecuentes.

División de trastes y cálculo matemático:

Una vez definida la escala, el siguiente paso es la colocación de los trastes. Cada traste representa un semitono en la escala musical, lo que implica dividir la longitud vibrante de la cuerda en proporciones exactas.

El cálculo se realiza mediante la constante 17,817, derivada de la física de cuerdas vibrantes. Esta constante asegura que el traste 12 (octava) se sitúe en el punto exacto donde la longitud de la cuerda se reduce a la mitad, duplicando la frecuencia.

El procedimiento es acumulativo:

1. Se divide la longitud de escala entre 17,817 y se obtiene la distancia al primer traste.
2. Esa medida se resta a la longitud inicial, y el nuevo resultado se divide de nuevo por 17,817 y se obtiene la posición del segundo traste.
3. Así sucesivamente hasta completar los 21, 22 o 24 trastes.

Este cálculo garantiza la correcta afinación y la progresiva reducción de espacios hacia los registros agudos.

Dimensiones generales y ergonomía:

Aunque no existe un modelo estándar único, la experiencia acumulada en décadas de construcción ha generado proporciones recurrentes:

- Cuerpo: se suele inscribir en un rectángulo de 45 × 60 cm, con un grosor aproximado de 4–5 cm.
- Mástil: longitudes entre 40 y 55 cm, según la escala y el número de trastes.
- Clavijero: alrededor de 10 × 20 cm, variando según el diseño.

La forma del cuerpo es donde se da mayor libertad de diseño. Modelos como la Stratocaster introdujeron rebajes ergonómicos que transformaron la experiencia del intérprete. Otros, como la Les Paul, priorizaron robustez y sustain con un diseño más compacto y pesado. Esta dualidad refleja el compromiso entre funcionalidad ergonómica y carácter estético.

Unión mástil–cuerpo y estabilidad estructural:

El modo en que se une el mástil al cuerpo es otro fundamento clave:

- Atornillado: práctico, económico y reparable.

- Encolado: mejora la transmisión de vibraciones y el sustain.
- Neck-through: continuidad absoluta entre cuerpo y mástil, usada en gamas altas.

La elección influye tanto en el sonido como en la accesibilidad a trastes superiores y en la estética final del instrumento.

Influencia de materiales en el diseño:

Aunque la guitarra eléctrica no depende de la caja de resonancia, los materiales sí afectan al sustain, al timbre y al peso total. El diseño debe equilibrar estas variables:

- Aliso y fresno: equilibrados, brillantes y ligeros.
- Caoba: cálida, con graves potentes, pero más pesada.
- Arce: duro y brillante, ideal para tapas arqueadas.
- Palisandro o ébano: maderas densas para diapasones, resistentes al desgaste.

El diseño moderno incorpora incluso maderas laminadas, composites y plásticos de alta densidad, buscando sostenibilidad y estabilidad ante variaciones de humedad.

Ergonomía y antropometría aplicada:

Finalmente, un fundamento de diseño esencial es la adaptación a las características antropométricas del usuario. Aspectos como el ancho de cejuela (42 mm mínimo), el perfil del mástil (C, D, Slim, etc.), la curvatura del diapasono el peso total del instrumento responden a necesidades físicas concretas.

El diseño debe atender a la diversidad de intérpretes: desde guitarristas de manos grandes que prefieren mástiles anchos y gruesos, hasta intérpretes de manos pequeñas que requieren escalas más cortas, grosor reducido y accesibilidad mejorada a los trastes superiores.

3. ESTUDIO DE MERCADO

3.1. Modelos de escala muy corta (22–22,5")

Ibanez GRGM21 "miKro":

- Escala: 564 mm (22.2").
- Mástil: arce, cejuela 41 mm, grosor aproximado de 19.5 mm en traste 1, 21.5 mm en traste 12; radio de 400 mm (aproximadamente 15.7").
- Cuerpo: álamo o basswood; diapasón jatoba o pino.
- Electrónica: 2 humbuckers Infinity R; puente fijo F106.
- Peso: aproximadamente de 1,5 kg.
- Precio: 180 €.
- Ventajas: muy manejable, lo que la hace ideal para manos pequeñas.
- Limitaciones: enfoque juvenil, electrónica básica, sin trémolo.



Ilustración 11. Ibanez GRGM21 miKro (fotografía oficial). Fuente: Ibanez. Disponible en: https://www.ibanez.com/usa/products/detail/grgm21_5a_02.html

Jackson JS1X "Minion" Dinky:

- Escala: 572 mm (22.5"); radio 12"; cejuela 41.3 mm.
- Cuerpo: poplar; mástil arce con refuerzo de grafito.
- Electrónica: 2 humbuckers Jackson; puente hardtail.
- Peso: aproximadamente 2.8 kg.
- Precio: 150–165 €
- Ventajas: compacto, sonido potente.
- Limitaciones: no tiene trémolo, gama básica.



Ilustración 12. Jackson Dinky Minion JS1X (fotografía oficial). Fuente: Stars Music. Disponible en: https://www.stars-music.es/jackson-dinky-minion-js-1x-black-gloss_93484.html

3.2. Guitarras de escala corta-media (24")

Fender Mustang (Player II):

- Escala: 609.6 mm (24"); radio 9.5"; cejuela aproximada de 42 mm.
- Cuerpo: aliso; mástil maple, diapasón rosewood/pau ferro; 22 trastes.
- Puente: hardtail; 2 single-coils Alnico V.
- Precio: 659 € (Player II).
- Ventajas: compacta, ligera, estilo Fender profesional.
- Limitaciones: sin trémolo, escala solo ligeramente reducida.



Ilustración 13. Fender Mustang Player II (fotografía oficial). Fuente: Stars Music. Disponible en: https://www.stars-music.es/fender-player-ii-mustang-mex-rw-birch-green_214433.html

3.3. Guitarras profesionales con Floyd Rose

Fender Player II Modified Stratocaster HSS Floyd Rose:

- Escala: 648 mm (25.5"); radio 12"; cejuela aprximada de 44 mm.
- Cuerpo: aliso; mástil maple "Modern C"; diapasón rosewood; 22 trastes jumbo.

- Electrónica: 2 single-coils Noiseless + humbucker Player II; puente Floyd Rose Special.
- Peso: 3.7 kg.
- Precio: 1090 €.
- Ventajas: prestaciones profesionales, trémolo avanzado.
- Limitaciones: escala larga, no ergonómica para manos pequeñas.



Ilustración 14. Fender Player II Modified Stratocaster HSS Floyd Rose (fotografía oficial). Fuente: Fender. Disponible en: <https://es.fender.com/products/player-ii-modified-stratocaster-hss-floyd-rose>

3.4. Modelo estándar y ergonómico

Gibson Les Paul Standard:

- Escala: 628.65 mm.
- Cuerpo: caoba con tapa arce; mástil de caoba; diapasón de palisandro.
- Puente: Tune-O-Matic; 22 trastes; cejuela aproximada de 42,7 mm.
- Peso: 4–4.6 kg.
- Precio: 2500 €.
- Ventajas: escala más cómoda, sonido cálido, presencia profesional.
- Limitaciones: sin trémolo; peso elevado.



Ilustración 15. Gibson Les Paul Standard 60s (fotografía oficial). Fuente: Stars Music. Disponible en: https://www.stars-music.es/gibson-les-paul-standard-60s-faded-vintage-cherry-sunburst_192074.html

Modelo	Escala	Cejuela	Radio	Puente	Peso (kg)	Precio (€)
Ibanez GRGM21 miKro	22.2"	41 mm	15.7"	Fijo	~1.5	180
Jackson JS1X Minion	22.5"	41.3 mm	12"	Hardtail	~2.8	150–165
Fender Mustang Player II	24"	~42 mm	9.5"	Hardtail	~3.3	659
Fender Strat HSS Floyd Rose	25.5"	44 mm	12"	Floyd Rose Special	~3.7	1 090
Gibson Les Paul Standard 50s	24.75"	42,7 mm	12"	Tune-O-Matic	~4.3	2 500

Tabla 1. Comparativa de modelos comerciales de guitarras eléctricas.

3.5. Gibson Les Paul

La Gibson Les Paul es uno de los modelos más icónicos en la historia de la guitarra eléctrica. Su lanzamiento en 1952, fruto de la colaboración entre Gibson y el guitarrista Lester William Polsfuss, conocido como Les Paul, marcó un antes y un después en la construcción de instrumentos sólidos. Este modelo surgió como respuesta al éxito de la Fender Telecaster, aunque desde el inicio buscó diferenciarse con un diseño más refinado, una construcción más robusta y un sonido cálido y con gran sustain. A lo largo de las décadas, ha sido el instrumento predilecto de músicos como Jimmy Page, Slash, Joe Perry, Gary Moore o Zakk Wylde, consolidándose como un verdadero icono cultural.

En cuanto a su construcción, la Les Paul se caracteriza por un cuerpo sólido de caoba con una tapa arqueada de arce, en muchos casos flameado en sus versiones más lujosas. Esta combinación de maderas ofrece un equilibrio tonal único: la caoba aporta calidez y profundidad, mientras que el arce añade brillo y definición. El mástil, también de caoba, se une al cuerpo mediante encolado, lo que contribuye a un sustain prolongado y a un tono más resonante que en guitarras con mástiles atornillados. El diapasón suele ser de palisandro en los modelos Standard, mientras que en la gama Custom se emplea ébano, una madera más densa que refuerza los registros graves y da una sensación de mayor firmeza al tacto.

Las medidas de la Gibson Les Paul han permanecido prácticamente invariables desde sus orígenes. Su longitud de escala es de 24,75 pulgadas (629 mm), lo que facilita la ejecución al reducir la tensión de las cuerdas y acercar los trastes, una característica que la hace especialmente cómoda para intérpretes con manos pequeñas. La cejuela ronda los 43 mm de anchura y el radio del diapasón es de 12 pulgadas. El mástil presenta diferentes perfiles según la época: los modelos de los años 50 suelen tener un mástil más grueso, denominado “50s Rounded”, mientras que en los años 60 se popularizó el “Slim Taper”, más delgado y rápido. El grosor del mástil varía aproximadamente entre 22 mm en el primer traste y 25 mm en el traste 12, ofreciendo estabilidad y comodidad.

Una característica de esta guitarra es que cuenta con un ángulo del cuerpo respecto al diapasón de entre 3,5°-5°, este ángulo varía en función del modelo, y otro ángulo del mástil respecto al clavijero de entre 14°-17°, también diferente en función del modelo.



Ilustración 16. Gibson Les Paul, vistas de alzado y planta. Fuente: <https://www.intermusic-pro.com/blog/nuevos-modelos-gibson-2019-ya-disponibles/>

La Les Paul incorpora 22 trastes de tipo medium jumbo y monta de fábrica un puente Tune-o-Matic con cordal Stopbar, un sistema que asegura la estabilidad de la afinación y un contacto sólido de las cuerdas con el cuerpo. Su peso promedio se sitúa entre 4 y 4,6 kg, lo que contribuye a su sustain característico, pero también la hace más pesada que otros modelos como la Fender Stratocaster. Desde los años 80, Gibson ha introducido variantes con cámaras internas para aligerar el peso sin comprometer demasiado el tono, respondiendo así a las demandas de músicos que buscaban mayor comodidad.

En el apartado electrónico, la Les Paul destaca por su configuración de dos pastillas humbucker. Cada pastilla dispone de un control de volumen y uno de tono independiente, además de un selector de tres posiciones que permite alternar entre la pastilla de mástil, la de puente o una combinación de ambas. El cableado clásico de los años 50, conocido como 50's wiring, se sigue empleando en muchos modelos modernos, ya que conserva mejor los agudos cuando se reduce el volumen, aportando mayor claridad en la mezcla. En la actualidad, Gibson monta diferentes variantes de humbuckers, como las

Burstbucker, las 490/498 o las Custombucker, cada una con matices específicos de salida y respuesta tonal.

Los materiales empleados también han contribuido a forjar la identidad de la Les Paul. Además de la caoba y el arce del cuerpo y mástil, se utilizan trastes de aleación de níquel-plata, herrajes de níquel o dorados según la serie, y acabados en barniz de nitrocelulosa, un recubrimiento más delgado y resonante que los poliuretanos modernos, que permite que la madera “respire” y mejore con el paso de los años. En cuanto a los acabados, algunos de los más célebres son el Goldtop(1952), los Sunburst de finales de los 50, y colores icónicos como Cherry, Ebony, Wine Red, Heritage Cherry o Tobacco Burst.

Existen diversas variantes dentro de la familia Les Paul. La Standard es el modelo más representativo, mientras que la Custom ofrece un nivel superior. La Studio simplifica detalles estéticos para ofrecer una opción más asequible, mientras que las Junior y Special se orientan a la sencillez, con cuerpos planos y pastillas P90. Modelos más modernos, como la Les Paul Modern o la Traditional, buscan satisfacer tanto a quienes desean innovaciones como a los puristas que prefieren especificaciones fieles a los años 50 y 60.

En definitiva, la Gibson Les Paul combina un diseño inconfundible, materiales de alta calidad y especificaciones técnicas que han marcado el estándar de la guitarra eléctrica de cuerpo sólido. Su escala corta, el uso de caoba y arce, la unión encolada del mástil, el puente Tune-o-Matic y la electrónica de dos humbuckers definen un instrumento con sustain excepcional, tono cálido y gran versatilidad, cualidades que explican por qué, más de setenta años después de su creación, sigue siendo una de las guitarras más admiradas y utilizadas en el mundo.

3.6. Fender Stratocaster

La Fender Stratocaster es una de las guitarras eléctricas de cuerpo sólido más influyentes y reconocidas de la historia. Fue introducida por Leo Fender en 1954 como una evolución de la Telecaster y la Precision Bass, y supuso una revolución por su ergonomía, versatilidad sonora y facilidad de fabricación. Desde su lanzamiento, ha sido utilizada por guitarristas legendarios como Jimi Hendrix, Eric Clapton, David Gilmour, Jeff Beck, Stevie Ray Vaughan o John Mayer, consolidándose como un estándar en múltiples géneros musicales.

En cuanto a su diseño, la Stratocaster se distingue por un cuerpo contorneado de aliso o fresno, más ergonómico que el de la Telecaster, con rebajes tanto en la parte trasera como en el bisel frontal para apoyar el brazo. Este diseño curvado, conocido como “comfort body”, fue pionero en 1954 y sigue siendo

un referente en la construcción de guitarras. El mástil, tradicionalmente de arce, es atornillado al cuerpo, lo que facilita su fabricación, ajustes y reparaciones. El diapasón puede ser de arce o palisandro, dependiendo de la época y el modelo.



Ilustración 17. Rebajes anatómicos Fender Stratocaster. Fuente: https://manualguitarraelectrica.com/stratocaster/#google_vignette

Las medidas estándar de la Fender Stratocaster son diferentes a las de la Gibson Les Paul, lo que marca parte de su carácter. La escala es de 25,5 pulgadas (648 mm), más larga que la de Gibson, lo que genera una mayor tensión de cuerdas y un tono más brillante y definido. La cejuela suele tener un ancho de 42 mm, aunque en algunos modelos modernos se aproxima a los 43 mm. El radio del diapasón varía según la época: los modelos vintage de los años 50 y 60 tenían un radio más curvado de 7,25 pulgadas, ideal para acordes, mientras que los modelos actuales utilizan radios de 9,5" o 12" para facilitar bendings y técnicas modernas. El mástil puede encontrarse en distintos perfiles, desde los clásicos "Soft V" o "C" de los años 50 hasta el "Modern C" o incluso perfiles más planos en modelos contemporáneos.

El grosor del mástil es generalmente más fino que el de una Les Paul, con medidas aproximadas de 20 mm en el primer traste y 23 mm en el traste 12, lo que favorece la velocidad y la comodidad para manos más pequeñas. La Stratocaster incorpora 21 trastes en sus modelos vintage y 22 en la mayoría de versiones modernas. El peso suele ser más ligero que el de una Les Paul, situándose entre 3,2 y 3,7 kg dependiendo de la madera empleada.

En cuanto a electrónica, la configuración clásica de la Stratocaster incluye tres pastillas single coil, con un selector de cinco posiciones (originalmente de tres), que permite una gran versatilidad tonal. Estas posiciones ofrecen desde sonidos brillantes y cristalinos en la pastilla de puente, hasta tonos cálidos y redondos en la de mástil. El control de volumen y los dos tonos independientes permiten una amplia paleta sonora, más brillante que la de la Les Paul, y con menos salida, lo que la hace ideal para estilos limpios o con saturación moderada.

Los materiales tradicionales de la Stratocaster han variado a lo largo de los años, pero los más habituales son cuerpo de aliso o fresno, mástil de arce y diapasón de arce o palisandro. El acabado se realiza en lacas de nitrocelulosa en los modelos vintage y en poliéster o poliuretano en modelos modernos, lo que otorga mayor resistencia aunque resta algo de resonancia. Los colores clásicos incluyen el Sunburst de tres tonos (3-Tone Sunburst), Olympic White, Black, Candy Apple Red y otros acabados característicos de la gama Fender.

A lo largo de su historia, Fender ha producido múltiples variantes de la Stratocaster. El modelo Standard es la versión básica y más extendida, mientras que las series American Professional, American Vintage y Custom Shop ofrecen especificaciones premium. También existen versiones como la Player Series para gamas medias, la Stratocaster Deluxe con electrónica mejorada, o la Modified Stratocaster con Floyd Rose, orientada a estilos de alta ganancia.

En definitiva, la Fender Stratocaster destaca por su ergonomía, su ligereza y su versatilidad sonora. Su escala larga de 25,5", su configuración de tres single coils y su puente trémolo sincronizado la convierten en una guitarra brillante, clara y dinámica, perfectamente adaptable a géneros tan diversos como el rock, el blues, el funk o el pop. Más de 70 años después de su creación, continúa siendo uno de los instrumentos más vendidos y admirados del mundo, símbolo de la innovación de Leo Fender y del sonido moderno de la guitarra eléctrica.

4. ANÁLISIS ERGONÓMICO APLICADO AL DISEÑO DE GUITARRAS ELÉCTRICAS

4.1. Introducción a la ergonomía aplicada a la guitarra eléctrica

La ergonomía aplicada al diseño de la guitarra eléctrica es crucial para garantizar una experiencia de interpretación cómoda y libre de lesiones. La interacción con el instrumento ocurre principalmente en las manos, que son responsables de la digitación y el ataque a las cuerdas. Sin embargo, debido a la estandarización del diseño de las guitarras, especialmente en lo que respecta a escala, grosor del mástil y distancia entre trastes, muchos músicos con manos pequeñas encuentran dificultades en el uso de instrumentos diseñados para un perfil físico estándar, lo que puede llevar a incomodidad o lesiones.

Este análisis se centra en los aspectos clave de la ergonomía que afectan a los intérpretes con manos pequeñas, basándose en estudios antropométricos y biomecánicos, además de en las limitaciones de los diseños actuales que no contemplan esta diversidad física.

4.2. Dimensiones de la mano: datos antropométricos

El análisis de la antropometría de la mano es crucial para el diseño de una guitarra eléctrica adaptada a personas con manos pequeñas. Utilizando datos de estudios como DINED (Base de Datos Antropométrica Holandesa) y ANSUR II (Base de Datos Antropométrica de Estados Unidos), se obtienen valores representativos para medir la longitud de la mano, la anchura de la palma, la longitud de los dedos y la envergadura de la mano. En la tabla 3 y en la tabla 4, se muestran las medidas principales de la mano, según estos estudios, tanto para hombres como para mujeres.

Medida	P5 (mm)	P50 (mm)	P95 (mm)
Longitud de la mano (muñeca–dedo medio)	165	180	195
Anchura de la palma (metacarpiana)	72	77	83
Longitud dedo índice	68	74	81
Longitud dedo medio	74	80	87
Envergadura (pulgar–meñique extendidos)	180	196	215

Tabla 2. Tabla de medidas antropométricas de mujeres clave (DINED / ANSUR II).

Medida	P5 (mm)	P50 (mm)	P95 (mm)
Longitud de la mano (muñeca–dedo medio)	183	193	210
Anchura de la palma (metacarpiana)	80	88	96
Longitud dedo índice	74	81	88
Longitud dedo medio	81	89	95
Envergadura (pulgar–meñique extendidos)	200	215	230

Tabla 3. Tabla de medidas antropométricas de hombre clave (DINED / ANSUR II).

Las diferencias de tamaño entre los percentiles 5 y 95 muestran que las manos de las personas más pequeñas tienen una longitud de dedos y una anchura de palma considerablemente menores, lo que afecta a la comodidad de la ejecución. La falta de adaptabilidad en los diseños de guitarras eléctricas tradicionales genera limitaciones físicas que resultan en una mayor fatiga muscular, presión excesiva en la muñeca, y una dificultad para alcanzar ciertos acordes o notas en las posiciones altas del mástil.

Por ejemplo, una persona con un percentil 5 femenino (longitud de mano de 162 mm) puede tener dificultades para ejecutar ciertos acordes en una guitarra de escala 25,5" (648 mm), ya que la distancia entre los trastes es significativamente mayor, lo que requiere más esfuerzo en la apertura de los dedos.

La función de la mano izquierda en la guitarra eléctrica, que se encarga de presionar las cuerdas sobre el diapasón, está directamente influenciada por la longitud de los dedos, el grosor del mástil y la distancia entre trastes. La muñeca izquierda realiza flexiones, extensiones y movimientos de desvío radial y cubital para facilitar la ejecución de las notas, lo que requiere que la posición de la mano sea ergonómica y no genere presiones innecesarias.

La flexión de la muñeca se refiere a su capacidad para doblarse hacia adelante o hacia atrás. La extensión permite un movimiento de flexión hacia atrás, pero si se exceden ciertos rangos (más de 30°), el riesgo de presión sobre el túnel carpiano aumenta, lo que puede generar dolores y lesiones a largo plazo. De acuerdo con un estudio de Keir et al. (2007), la presión en el túnel carpiano suele estar asociada con posturas forzadas de muñeca, comunes cuando se tocan acordes complejos sin la ergonomía adecuada.

4.3. Lesiones comunes

El uso continuado de una guitarra sin una adecuada adaptación puede llevar a diversas lesiones músculo-esqueléticas. Estas incluyen:

- Túnel carpiano: presión excesiva sobre los nervios de la muñeca debido a posturas inadecuadas, como la extensión prolongada de la muñeca.
- Epicondilitis lateral (codo de tenista): causado por movimientos repetitivos de la muñeca y el antebrazo.
- Lesiones por esfuerzo repetitivo (RSI): tensión y fatiga muscular derivadas de la ejecución prolongada sin descansos, agravadas por un mal ajuste del instrumento.

Según un estudio de Zaza (1998), alrededor del 50% de los músicos profesionales han experimentado algún tipo de dolencia crónica o aguda debido al uso inadecuado de los instrumentos. Esto subraya la importancia de diseñar guitarras que sean cómodas para todos los tipos de usuarios, no solo para los que tienen una anatomía estándar.

4.4. Soluciones ergonómicas aplicadas al diseño de la guitarra eléctrica

Los principios ergonómicos aplicados al diseño de guitarras eléctricas para manos pequeñas buscan reducir la fatiga y mejorar la accesibilidad a los trastes. Entre las soluciones más efectivas, se encuentran:

1. Escala corta (24,75"): Facilita la digitación, reduce la tensión de las cuerdas y mejora la accesibilidad a trastes bajos.
2. Perfil Slim C del mástil: Proporciona un mejor agarre sin generar presión excesiva en la palma.
3. Ancho de cejuela de 42 mm: Equilibra la separación entre cuerdas y mejora la comodidad en la zona de la cejuela.

El diseño de guitarras eléctricas debe adaptarse a la diversidad antropométrica de los usuarios. Las manos pequeñas representan un segmento aún poco atendido en la industria musical. Los datos antropométricos y los estudios sobre lesiones indican que la adaptación ergonómica de guitarras eléctricas a las características físicas del intérprete no solo mejora la comodidad, sino que también previene lesiones a largo plazo.

5. MARCO TEÓRICO

El marco teórico establece las bases conceptuales y técnicas que sustentan el desarrollo de una guitarra eléctrica paramétrica adaptada a personas con manos pequeñas.

5.1. Antropometría aplicada al diseño de producto

La antropometría es la ciencia que estudia las dimensiones, proporciones y capacidades del cuerpo humano. En relación con el diseño de producto permite crear objetos más seguros, eficientes y confortables para los usuarios. Dentro del ámbito del diseño industrial, la antropometría es una herramienta clave para establecer dimensiones, rangos de ajuste y criterios de accesibilidad que se adecuen a la diversidad morfológica de la población.

Existen bases de datos internacionales, como DINED (Países Bajos), ANSUR II (EE.UU.) o el estudio CAESAR (Europa y EE.UU.), que recopilan medidas de poblaciones amplias segmentadas por edad, sexo, etnia y percentiles. Estas bases permiten establecer perfiles antropométricos representativos y definir rangos de diseño inclusivo que contemplen desde el percentil 5 (los más pequeños) hasta el percentil 95 (los más grandes).

La longitud media de la mano en adultos varía significativamente entre géneros y grupos poblacionales. En mujeres adultas, suele situarse entre 16,5 y 17,5 cm, mientras que en hombres oscila entre 18,5 y 20,5 cm. Esta longitud se mide desde el pliegue distal de la muñeca hasta la punta del dedo medio, con la mano extendida y los dedos juntos en posición neutra, tomando la medición en la palma de la mano.

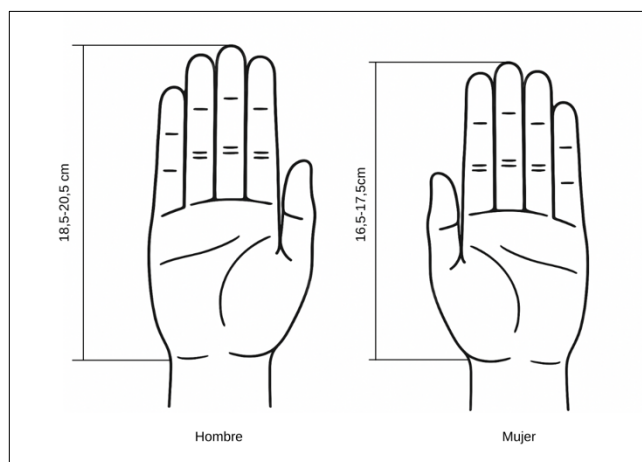


Ilustración 18. Diferencia de la longitud media de la mano entre un hombre y una mujer. Trabajo propio.

Además, la distancia entre el pulgar y el meñique en extensión (span) puede diferir hasta en 5 cm entre personas de diferentes percentiles, lo que afecta directamente a la capacidad para ejecutar acordes con extensiones amplias.

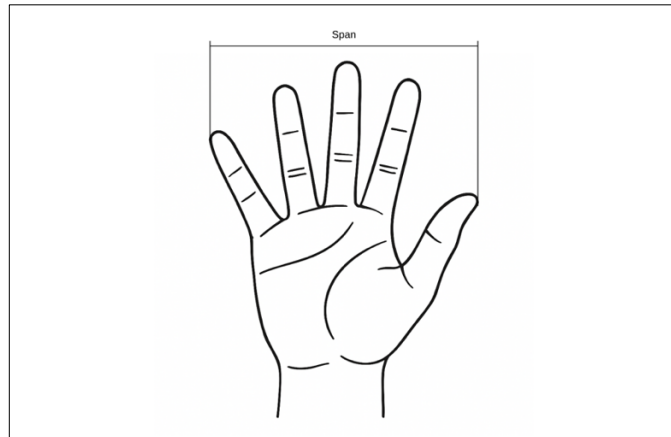


Ilustración 19. Medición del “span” de la mano (distancia entre el pulgar y el meñique en extensión).
Trabajo propio.

Otro factor importante es la longitud de las falanges y la flexibilidad de las articulaciones de los dedos, que condicionan el acceso a ciertos trastes y posiciones complejas. Las personas con manos de menor envergadura pueden experimentar limitaciones funcionales al tocar una guitarra con dimensiones estándar, lo que se traduce en fatiga, errores de ejecución y frustración.

Aplicar la antropometría al diseño de guitarras eléctricas implica adaptar la escala del instrumento (longitud de escala, cejuela, grosor de mástil, radio del diapasón) para que se ajuste a la fisiología del usuario. Esto no solo mejora la comodidad y la eficiencia técnica, sino que también abre la posibilidad de crear modelos personalizables mediante variables paramétricas.

En definitiva, la antropometría aplicada permite pasar de un diseño genérico a uno centrado en el usuario real, incrementando el rendimiento y la inclusividad del producto.

5.2. Diseño centrado en el usuario

El diseño centrado en el usuario (DCU) es una metodología que coloca al usuario final en el centro del proceso de diseño. Esto implica comprender sus necesidades reales, limitaciones físicas, preferencias estéticas y contexto de uso.

Aplicar Diseño Centrado en el Usuario en el diseño de una guitarra supone:

- Identificar los puntos críticos de incomodidad, como son trastes alejados, mástiles gruesos y cuerpos pesados.
- Proponer soluciones específicas y personalizables que mejoren la experiencia del usuario.

Esta filosofía no solo busca eficiencia funcional, sino también inclusión y satisfacción emocional. Diseñar para un perfil específico como "personas con manos pequeñas" implica romper con estándares genéricos y apostar por soluciones adaptadas.

5.3. Diseño paramétrico y modelado de superficies

El diseño paramétrico es una técnica que permite definir geometrías mediante variables ajustables. En lugar de generar una forma estática, se define una lógica de relaciones entre elementos, lo que permite modificar rápidamente el diseño ajustando parámetros como longitud, grosor, radio o proporciones.

En este proyecto, el diseño paramétrico es clave para:

- Crear un modelo ajustable de guitarra que se adapte a diferentes medidas, de esta forma si se cambia la longitud de escala en función de las necesidades, cambia de forma directa la longitud diapasón y del mástil.
- Permitir iteraciones rápidas durante el desarrollo sin rehacer el modelo desde cero.

Complementariamente, el modelado de superficies permite definir formas complejas, curvas suaves y transiciones orgánicas, fundamentales para representar el contorno del cuerpo de la guitarra y el perfil del mástil. Estas herramientas permiten pasar de un diseño técnico a un diseño emocionalmente atractivo y profesional.

6. DEFINICIÓN DEL USUARIO OBJETIVO

El diseño de una guitarra eléctrica paramétrica adaptada a personas con manos pequeñas no solo requiere comprender sus necesidades físicas, sino también sus expectativas y limitaciones técnicas. El perfil de usuario objetivo se refiere principalmente a personas con manos más pequeñas que los estándares promedio, lo cual puede incluir tanto a mujeres como adolescentes, o incluso músicos adultos con características físicas no convencionales. Esta caracterización detallada es esencial para garantizar que el diseño del instrumento esté alineado con las necesidades ergonómicas, funcionales y estéticas del usuario final.

6.1. Perfil antropométrico de personas con manos pequeñas

El perfil antropométrico del usuario objetivo está basado en las medidas de la población con manos más pequeñas, típicamente comprendidas entre el percentil 1 y el percentil 5 en términos de longitud de la mano. Esto incluye a personas con manos de pequeña envergadura, como las que suelen tener una longitud de mano inferior a 17 cm. Este rango es crucial para establecer las dimensiones específicas de la guitarra (como la longitud de la escala, el grosor del mástil y la anchura de la cejuela) que se adaptarán de forma ergonómica al usuario.

Mediciones clave:

- **Longitud total de la mano:** Entre 15,0 cm y 16,5 cm, que representa una disminución significativa respecto a los promedios masculinos (18,5 cm a 20,5 cm). Esta diferencia afecta a la dificultad de alcanzar trastes lejanos, lo que impacta la facilidad con que se pueden ejecutar ciertos acordes, especialmente aquellos que requieren extensión de los dedos o acordes complejos.
- **Longitud de los dedos (falanges):** La cual se mide con la mano recta y plana, en supinación, midiendo desde la punta del dedo hasta el último pliegue palmar. Las falanges en estos usuarios miden generalmente menos de 5,5 cm en el dedo medio, lo que puede resultar en dificultades para presionar las cuerdas en posiciones más alejadas del mástil y mayor riesgo de lesiones por esfuerzos repetitivos.

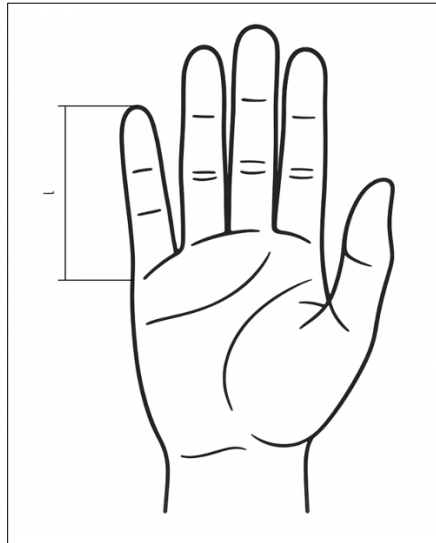


Ilustración 20. Medición de la longitud de la falange en la mano. Trabajo propio.

- **Apertura máxima entre el pulgar y el meñique (span):** Menos de 19 cm en la mayoría de los casos, lo que limita la capacidad para ejecutar técnicas que requieren mayor apertura, como acordes abiertos y ciertos riffs.
- **Anchura de la palma:** la cual obtiene midiendo la distancia lateral máxima de la palma entre el lado del pulgar y el lado del meñique, con la mano relajada y extendida. En el caso de manos pequeñas, generalmente es menor de 7,5 cm, lo que implica que la distancia entre el pulgar y el meñique es menor, dificultando un agarre cómodo en el mástil de las guitarras convencionales.

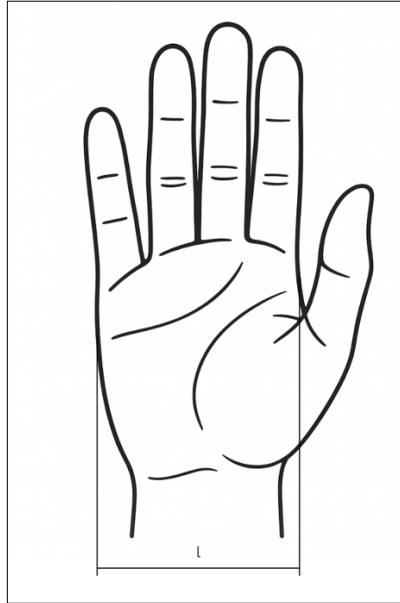


Ilustración 21. Medición de la anchura de la palma de la mano. Trabajo propio.

6.2. Requisitos ergonómicos

Para diseñar una guitarra eléctrica adecuada para este perfil de usuario, es fundamental que el instrumento cumpla con varios criterios ergonómicos que favorezcan la comodidad y facilidad de uso durante largas sesiones de práctica o presentaciones. Estos requisitos se centran en optimizar el acceso a todos los trastes, minimizar la tensión física y ofrecer una experiencia de ejecución cómoda y fluida.

Dimensiones adaptadas:

- **Escala reducida (24,75" o menor):** Una longitud de escala de 24,75" disminuye la distancia entre trastes, reduciendo la tensión de las cuerdas y facilitando el acceso a trastes lejanos. Esto es especialmente importante para personas con manos pequeñas, ya que permite alcanzar posiciones sin sobreesfuerzos, mejorando la técnica y evitando la incomodidad. La longitud de escala de una guitarra eléctrica se refiere a la distancia vibrante de las cuerdas, medida desde la cejuela hasta el puente.

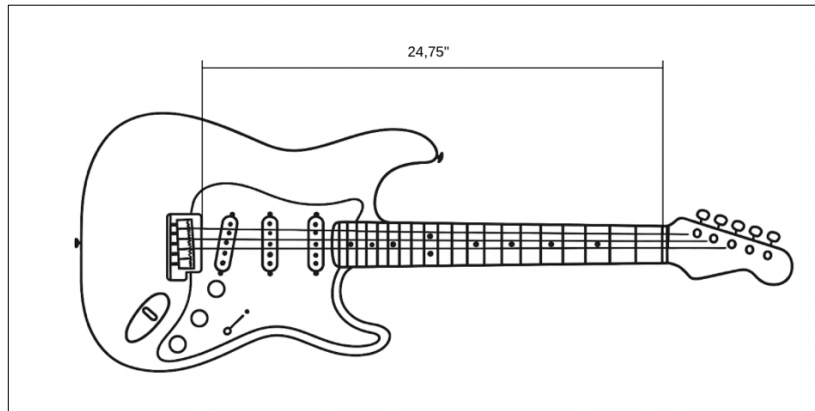


Ilustración 22. Medición de la longitud de escala de la guitarra. Trabajo propio.

- **Cejuela optimizada (42 mm):** Una cejuela más estrecha facilita un agarre más cómodo del mástil y mejora la precisión al realizar cambios rápidos de posición. Esto es especialmente importante para quienes tienen dedos más delgados y cortos, ya que reduce la necesidad de estirar los dedos más allá de lo natural.

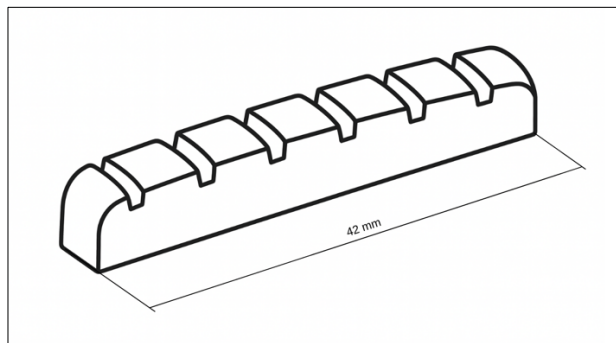


Ilustración 23. Medición de la cejuela de la guitarra. Trabajo propio.

- **Mástil delgado y cómodo:** Con un perfil flat C o slim C, permitiendo que el dedo índice envuelva el mástil sin esfuerzo excesivo. Además, el mástil debe ser lo suficientemente ligero para evitar tensión adicional en la muñeca y los dedos.

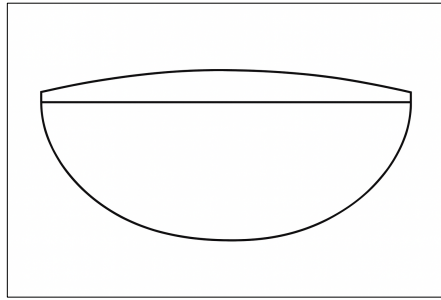


Ilustración 24. Perfil del mástil de guitarra tipo "Flat C" o "Slim C". Trabajo propio.

- **Curvatura del diapasón optimizada:** Un radio de diapasón de 12" o mayor es ideal para adaptarse a la presión natural de los dedos. Esto permite que las cuerdas queden más cerca del mástil, lo que facilita la ejecución de acordes y reduce la fatiga al presionar las cuerdas.

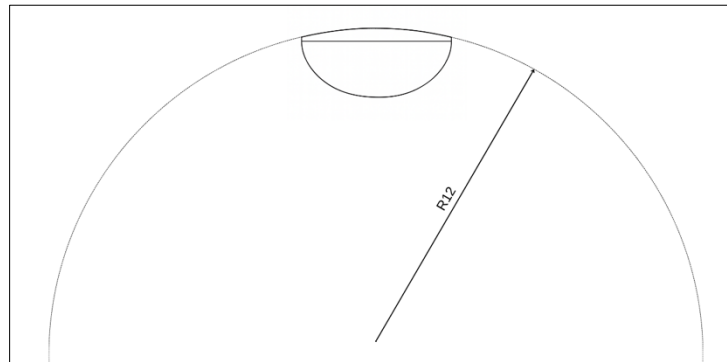


Ilustración 25. Radio del diapasón de la guitarra. Trabajo propio.

- **Peso total reducido:** El peso de la guitarra debe ser inferior a 3,5 kg para evitar la fatiga al tocar durante largos periodos de tiempo. Esto es especialmente importante para los usuarios con manos pequeñas, quienes pueden tener más dificultad para controlar instrumentos más pesados.

6.3. Expectativas funcionales y expresivas

Aunque el usuario objetivo tiene características físicas que limitan ciertos movimientos, las expectativas funcionales y expresivas de este usuario son muy altas. Este perfil de músico busca un instrumento que no solo sea cómodo, sino también técnicamente competente y capaz de satisfacer sus necesidades artísticas. El diseño debe ir más allá de la ergonomía y ofrecer una experiencia de ejecución que permita ejecutar técnicas avanzadas, explorar una amplia gama de sonidos y disfrutar de una estética profesional.

Acceso completo a trastes superiores:

El acceso a los trastes más altos (19–22) debe ser sin restricciones. Esto se logra mediante un diseño de mástil encolado (en lugar de atornillado), que permite una unión más flexible entre el cuerpo y el mástil, favoreciendo el acceso sin tensiones o posturas forzadas.

Capacidad para técnicas avanzadas:

La guitarra debe ser capaz de soportar técnicas avanzadas como bends (consiste en estirar la cuerda hacia arriba o hacia abajo con el dedo de la mano para aumentar la tensión y así subir la nota progresivamente en altura), legato (es una técnica de tocar las notas de manera ligada, sin púa en cada ataque, usando hammer-ons, golpear con el dedo para hacer sonar la nota, y pull-offs, retirar el dedo para que suene la cuerda anterior) o tapping (consiste en usar un dedo de la mano derecha para golpear directamente una nota en el diapasón, combinando con hammer-ons y pull-offs de la mano izquierda), que requieren facilidad en el acceso a trastes altos y un mástil ágil. Esto debe ir acompañado de un diseño de trastes jumbo que facilite la ejecución de técnicas como los bends de cuerdas, sin que la guitarra limite el rango de expresión.

Estética profesional:

Aunque el diseño debe ser adaptado funcionalmente, también se debe cuidar la estética del instrumento. La guitarra no debe parecer infantil ni simplificada. Debe tener una estética moderna y profesional. Esto es esencial para garantizar que el usuario se sienta seguro y cómodo al tocar en escenarios o frente a otros músicos.

7. DESARROLLO DEL DISEÑO

Este apartado recoge el proceso de definición de una guitarra eléctrica paramétrica, orientada a personas con manos pequeñas. El objetivo es crear un instrumento funcional, estético y personalizable que resuelva los problemas ergonómicos identificados, mejorando al mismo tiempo la experiencia de ejecución, la expresividad y la percepción estética del músico.

La guitarra rediseñada consiste en una Fender Stratocaster, a la que se le incluyen algunos detalles de la Gibson Les Paul, como son su longitud de escala, los ángulos cuerpo-diapasón y diapasón-clavijero, tapa arqueada y puente.

7.1. Fusión morfológica entre modelos Fender y Gibson

El diseño se inspira en dos modelos icónicos que representan enfoques opuestos pero complementarios en el diseño de guitarras eléctricas: la Fender Stratocaster y la Gibson Les Paul.

El presente diseño busca sintetizar lo mejor de ambos modelos: la ergonomía y escala cómoda de la Les Paul, con la accesibilidad, diseño contorneado y versatilidad técnica de la Stratocaster. Esta hibridación no solo resuelve limitaciones ergonómicas, sino que además refuerza el carácter innovador del instrumento.

Parámetro	Fender Stratocaster	Gibson Les Paul
Longitud de escala	25,5" (648 mm)	24,75" (629 mm)
Número de trastes	21-22	22
Radio del diapasón	9,5" (moderno)	12"
Anchura en cejuela	~42,8 mm	~43 mm
Perfil del mástil	C moderno	Rounded o 50s Slim Taper
Unión mástil-cuerpo	Atornillado (<i>bolt-on</i>)	Encolado con <i>neck pitch</i>
Ángulo mástil-cuerpo	0°	4-5°
Ángulo mástil-clavijero	Recto (sin inclinación)	14°

Tipo de puente	Trémolo sincronizado / Floyd Rose	Tune-O-Matic fijo
Pastillas	3 Single-Coil	2 Humbuckers
Configuración típica	SSS o HSS	HH
Selector	5 posiciones	3 posiciones
Acceso a trastes altos	Excelente (contorneado)	Limitado (corte simple)
Peso promedio	3,5–3,8 kg	4,2–4,5 kg
Material cuerpo	Aliso, fresno	Caoba con tapa de arce
Material mástil	Arce	Caoba
Diapasón	Palo rosa, arce	Palo rosa, ébano
Estética general	Contorneada, ligera, ergonómica	Tapa arqueada, sólida y clásica
Sonoridad	Brillante, definida, con ataque rápido	Cálida, sustain prolongado, más grave
Peso visual y estilo	Deportivo, moderno	Elegante, clásico

Tabla 4. Comparativa técnica entre Fender Stratocaster y Gibson Les Paul.

7.2. Rediseño de la guitarra

La guitarra se rediseña para adaptarse a la morfología del usuario objetivo. Se parte de una forma tipo Stratocaster, pero se introduce una serie de modificaciones clave.

- **Cuerpo:** Partiendo de la forma base de una Fender Stratocaster, sin apenas modificaciones, simplemente se cambia la zona de conexión con el mástil, ya que incorpora este ángulo característico de la Les Paul. También se modifica la posición del puente ya que varía la longitud de escala, es decir, para colocar el puente hay que medir 629 mm (sobre el plano del mástil) desde la cejuela, este es un parámetro que se explica cómo cambia en el anexo de parámetros.
- **Mástil:** El mástil será encolado, esto aporta una mejor transmisión del sonido. Perfil Slim C por su versatilidad, comodidad y adaptabilidad a diferentes estilos de interpretación y tipos de manos. La escala será de 24,75" similar también a la Les Paul, en el anexo de parámetros se explica cómo cambia el mástil en función de cambios en la longitud de escala.

- **Diapasón:** En el caso del diapasón también vamos a llevar a cabo un diseño similar a la Les Paul. Se establece un ángulo entre el diapasón y el cuerpo de 4, 5°, y otro entre el diapasón y el clavijero de 14°, estos ángulos facilitan la interpretación del instrumento de forma considerable. El diapasón contará con 22 trastes. Su longitud varía como parámetro en función del cambio de la longitud de escala.
- **Cejuela:** Esta tendrá un ancho de 42 mm para optimizar la digitación.
- **Pastillas:** En cuanto a las pastillas se opta por una combinación mixta tipo HSS (Humbucker en puente y single en medio y mástil), esta combinación se caracteriza por:
 - Humbucker en puente: te da sonido con cuerpo y potencia tipo Les Paul.
 - Single en mástil: tonos cálidos y cristalinos.
 - Single en medio: sonido brillante
- **Selector de cinco posiciones:** que permitirá combinar sonidos Gibson y Fender en una misma guitarra.
- **Potenciómetros:** Contará con un potenciómetro de volumen y dos potenciómetros de tono.
- **Puente:** Se usará un puente Tune-o-Matic, originario de la Gibson Les Paul, este puente permite compensar la inclinación de las cuerdas que genera el ángulo del cuerpo respecto del diapasón.
- **Clavijero:** Clavijas de afinación en línea, 6 en línea al igual que la Fender.
- **Jack de salida:** Será uno estándar de ¼" (6,35 mm).
- **Golpeador:** Golpeador ABS multicapa, para el soporte de la electrónica, este parte también del estilo Fender.
- **Trastes jumbo e inlays discretos:** Se incorporan trastes jumbo en níquel y plata e inlays discretos para dar un toque más minimalista a la guitarra
- **Cuerdas:** Las cuerdas seleccionadas para el prototipo mantienen la tradición de la Fender Stratocaster, empleando un juego Fender USA 250L de acero niquelado con calibre .009-.042.

En resumen, la guitarra se basa en una estética Fender Stratocaster a la que se realizan cambios que provienen de la Gibson Les Paul por sus ventajas ergonómicas para intérpretes con manos pequeñas.

Parte	Especificaciones del rediseño
Cuerpo	Forma base Stratocaster.
Mástil	Encolado, perfil Slim C, escala 24,75".
Diapasón	Ángulo diapason-cuerpo: 4,5°. Ángulo diapason-clavijero: 14°.
Trastes	22 trastes con una distancia de la cejuela al primer traste de 35,28 mm.
Cejuela	Ancho 42 mm.
Pastillas	Configuración HSS: Humbucker (puente), Single (medio), Single (mástil).
Selector	Selector de 5 posiciones.
Potenciómetros	1 volumen maestro y 2 tonos.
Puente	Tune-o-Matic.
Clavijero	6 en línea al estilo Fender.
Jack de salida	Estándar ¼" (6,35 mm).
Golpeador	ABS multicapa, estilo Stratocaster.
Trastes	Jumbo en níquel-plata.
Inlays	Discretos, estilo minimalista.
Cuerdas	Fender USA 250L, acero niquelado, calibre .009-.042
Peso	3,5 - 3,8 Kg

Tabla 5. Especificaciones del rediseño de la guitarra eléctrica.

8. MODELADO CAD

Se genera un modelo mediante la herramienta de modelado CATIA, que representa los cambios principales de este rediseño, en primer lugar se lleva a cabo el diapasón, combinando las medidas originales de una fender stratocaster con los elementos clave del rediseño.

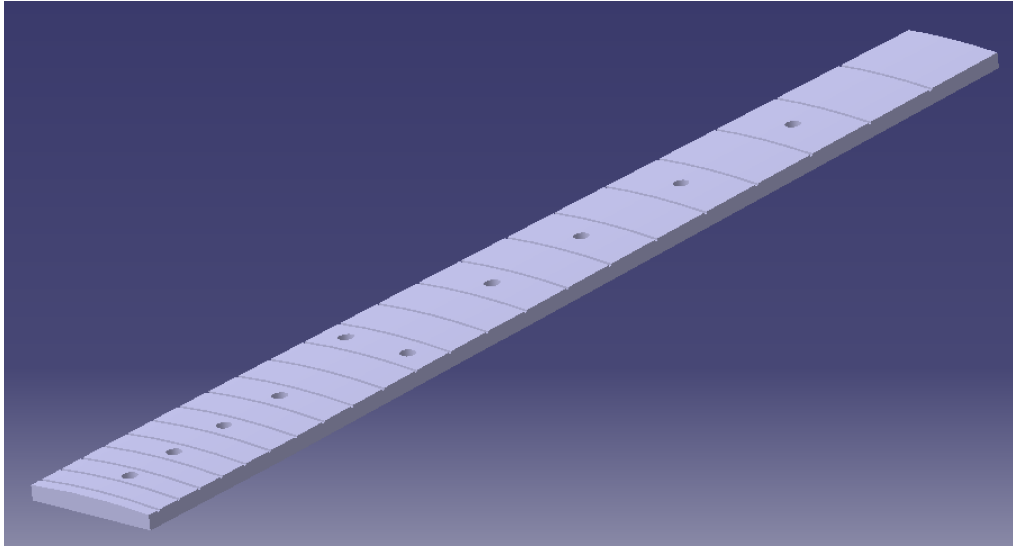


Ilustración 26. Modelado diapasón. Trabajo propio

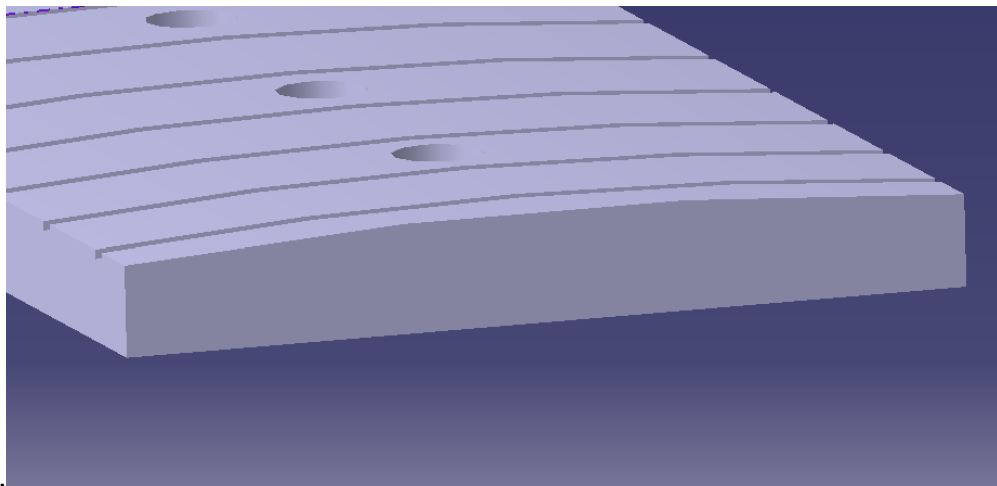


Ilustración 27. Modelado radio de curvatura del diapasón. Trabajo propio.

Podemos dividir el mástil en tres partes, por un lado, la zona de clavijero, por otro lado, la zona de perfil Slim C, y por último la unión con el cuerpo. La primera zona sería desde la zona es en la que se ha dado el ángulo de curvatura entre diapasón y clavijero, aquí no hay curvatura, es una superficie plana con aristas redondeadas.

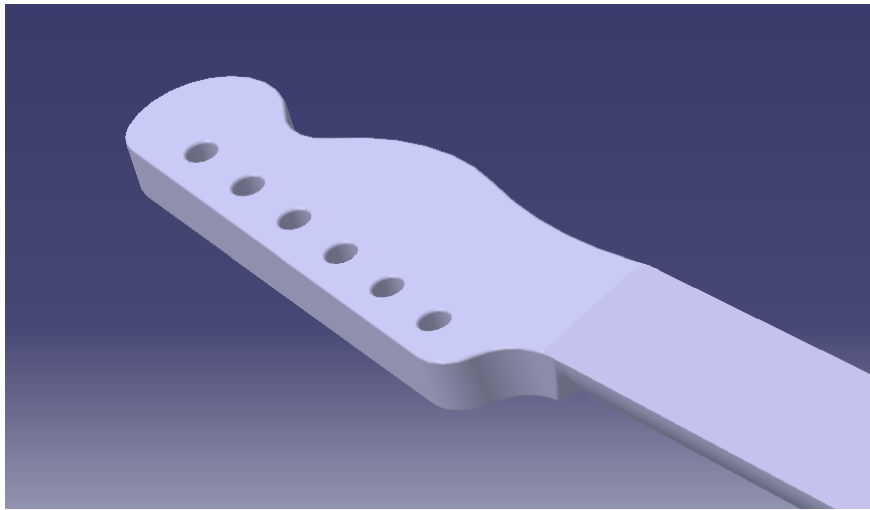


Ilustración 28. Modelado clavijero. Trabajo propio.

En segundo lugar, iría la zona correspondiente al perfil Slim C, este va aumentando progresivamente, con un ancho inicial de 42 mm en la zona donde va la cejuela, hasta un ancho final de 56 mm donde va el cuerpo.

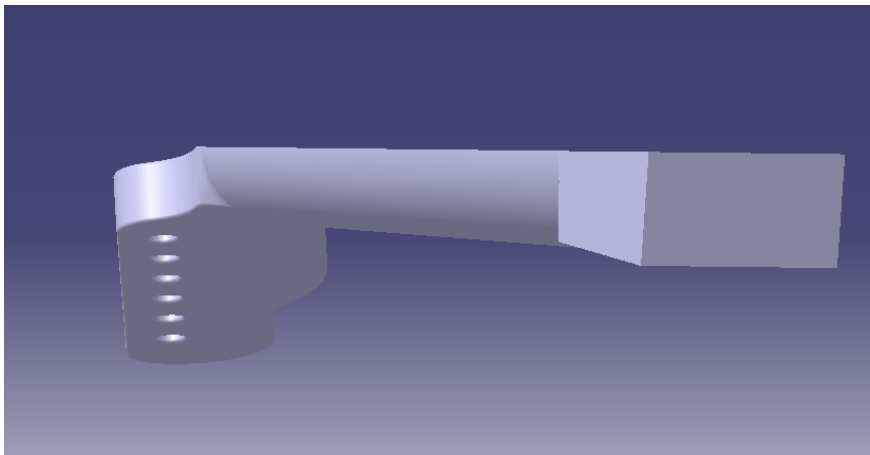


Ilustración 29. Modelado perfil Slim C. Trabajo propio.

Para finalizar, tendríamos la zona de unión al cuerpo, la cara superior de esa cara sigue siendo plana para poder sujetar bien el clavijero, pero la inferior no es paralela a esta cara, sino que está a 4,5 grados del plano de la cara superior, haciendo una forma de cuña que encaja en el cuerpo.

Para acabar se modeliza un formato de cuerpo, este es similar al de la Fender Stratocaster, con la única diferencia de la forma de unión entre cuerpo y mástil, esta unión permite encajar el mástil para darle ese ángulo de 4,5° respecto de la cara superior del cuerpo.

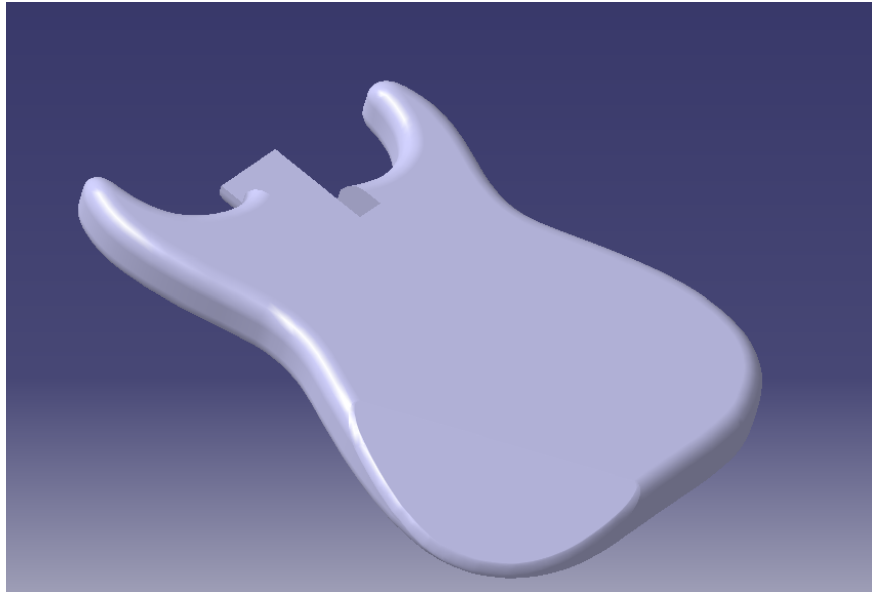


Ilustración 30. Modelado cuerpo. Trabajo propio.

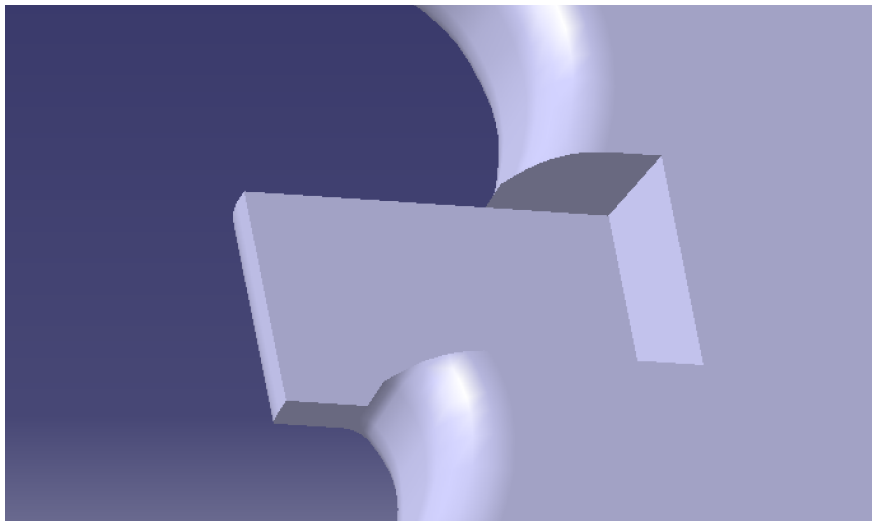


Ilustración 31. Modelado unión cuerpo-mástil. Trabajo propio.

Formados todos los componentes se han unido en un conjunto, que conformaría la forma de la guitarra rediseñada.

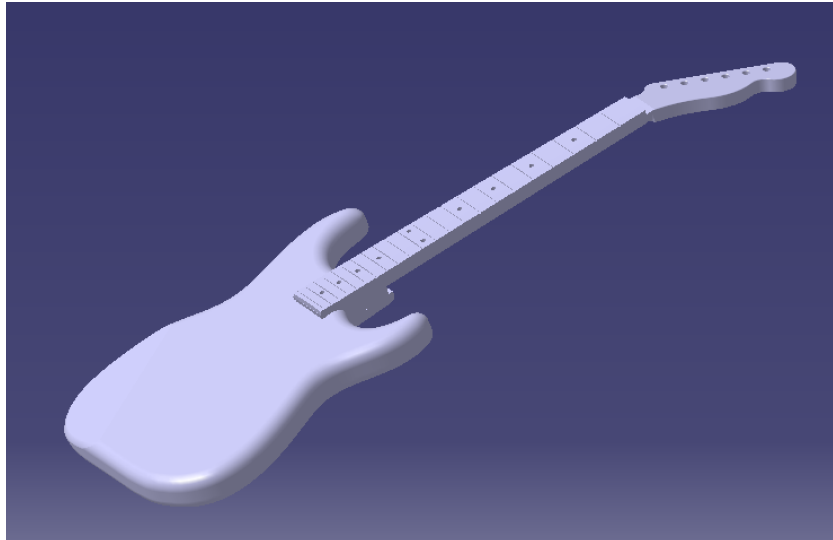


Ilustración 32. Modelado guitarra completa. Trabajo propio.

9. MATERIALES Y COMPONENTES

La selección de materiales y componentes resulta determinante en el diseño de una guitarra eléctrica, ya que influye tanto en las propiedades como en aspectos funcionales y estéticos. El diseño propuesto mantiene la tradición de la Fender Stratocaster en cuanto a materiales, por su probada calidad acústica, estabilidad y disponibilidad.

9.1. Materiales

Cuerpo: Madera de Aliso

- Ventajas:
 - Ligero y equilibrado, evitando fatiga al tocar.
 - Produce un sonido balanceado, con medios claros y agudos definidos, típico de la Stratocaster.
 - Fácil de mecanizar y trabajar en procesos CNC.
- Tratamiento:
 - Sellado y lijado fino antes de aplicar lacas.
 - Puede acabarse con pintura opaca o translúcida; el acabado en poliéster o poliuretano es habitual en Fender, lo que otorga resistencia a golpes y humedad.



Ilustración 33. Textura de la madera de aliso (Alder). Fuente: Majofesa. Disponible en: <https://www.majofesa.com/tablon-de-madera/madera-de-alder/>

Mástil: Madera de Arce

- Ventajas:

- Muy resistente a la torsión y estable frente a cambios de humedad.
 - Sonoridad brillante con ataque rápido.
 - Es el estándar en Fender por su fiabilidad.
- Tratamiento:
 - Puede acabarse al natural con aceite (más sensación orgánica) o barnizado en poliuretano para mayor resistencia.

Diapasón: Palisandro

- Ventajas:
 - Tacto suave y agradable, no requiere barnizado.
 - Sonido cálido que equilibra el brillo del arce.
 - Buena durabilidad frente al desgaste de los trastes.
- Tratamiento:
 - Se mantiene sin lacar, aplicando aceites naturales (aceite de limón) periódicamente para nutrir la madera.

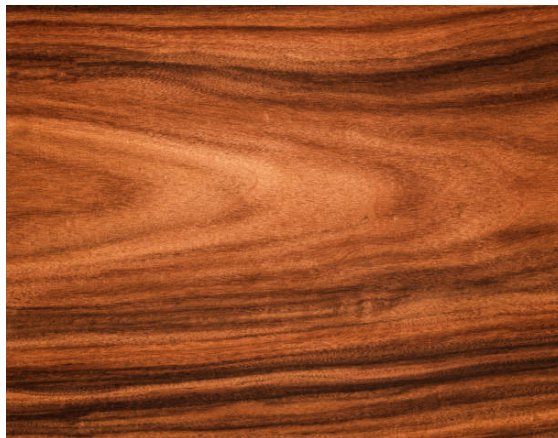


Ilustración 34. Textura de la madera de palisandro (Rosewood). Fuente: iStockphoto. Disponible en: <https://www.istockphoto.com/es/fotos/palisandro-madera>

Cejuela: Hueso sintético (o Nubone)

- Ventajas:
 - Resistente al desgaste, mejor transmisión de vibración que el plástico estándar.
 - Aporta estabilidad de afinación.
- Tratamiento:
 - Corte y pulido preciso.

9.2. Componentes

Pastillas: Configuración HSS

- Humbucker en puente: sonido grueso, con cuerpo y potencia, ideal para rock y metal.



Ilustración 35. Pastilla Fender Humbucker Shawbucker 2 Zebra. Fuente: France Guitare. Disponible en: <https://www.franceguitare.fr/es/pastillas-para-stratocaster/1431-pastilla-fender-humbucker-shawbucker-2-zebra.html>

- Single coil en medio: tono brillante y definido, útil en limpios y rítmicas.



Ilustración 36. Pastilla estilo single coil vintage para puente de guitarra. Fuente: Maderas Barber. Disponible en: <https://maderasbarber.com/tonewood/es/pastillas/4042-pastilla-estilo-st-single-coil-vintage-para-puente-de-guitarra-88-k.html>

- Single coil en mástil: sonido cálido y redondo, excelente para blues y solos melódicos.

Las ventajas de esta combinación es su máxima versatilidad, combinando el carácter Gibson (Humbucker) y Fender (Single coil).

Puente: Tune O Matic

- Ventajas:
 - Puente ajustable montado sobre dos postes metálicos roscados que permiten regular la altura y la entonación.
 - Gracias a su diseño elevado, compensa la inclinación del mástil.



Ilustración 37. Puente Tune O Matic. Fuente: <https://www.thomann.de/blog/es/tune-o-matic-el-senor-de-los-puentes-de-guitarra/>

Trastes: Jumbo en níquel-plata

- Ventajas:
 - Mayor altura, lo que facilita técnicas como bendings y legato.
 - Durabilidad elevada frente al desgaste.
- Tratamiento:
 - Pulido periódico y nivelado en procesos de ajuste.



Ilustración 38. Alambre de trastes de níquel-plata para guitarra eléctrica (jumbo, 2.90 mm). Fuente: Grandado. Disponible en: <https://esp.grandado.com/products/alambre-de-traste-de-niquel-y-plata-de-alambre-jumbo-de-guitarra-electrica-ancho-de-2-90mm>

Clavijas: Tipo Fender

- Ventajas:
 - Estabilidad de afinación.
 - Estilo clásico Fender, fácil sustitución.
- Tratamiento:
 - Lubricación ligera en mecanismos internos, limpieza de óxido.



Ilustración 39. Clavijas Fender F-Type cromadas (años 70) para guitarra eléctrica. Fuente: Music Store. Disponible en: https://www.musicstore.com/es_ES/EUR/Fender-Clavijas-70-s-F-Type-cromados/art-GIT0001388-006

Golpeador: Plástico ABS multicapa

- Ventajas:

- Protege el cuerpo contra golpes y arañazos de la púa.
 - Estética clásica Stratocaster.
- Tratamiento:
 - Limpieza con paños suaves, sin productos abrasivos.



Ilustración 40. Golpeador Stratocaster HSS con tapa trasera. Fuente: Amazon. Disponible en: <https://www.amazon.es/Dopro-Strat-HSS-Golpeador-pl%C3%A1stico/dp/B086HB7KJH>

Potenciómetros

Se incorporan tres potenciómetros, distribuidos en 1 de volumen maestro y 2 de tono. Esta configuración es estándar en la Fender Stratocaster y permite un control preciso del timbre y la dinámica de la señal eléctrica.

- **Potenciómetro de Volumen Maestro:** Regula la intensidad total de la señal que sale de la guitarra hacia el amplificador. A volumen bajo, permite obtener sonidos más limpios y suaves. A volumen alto, entrega toda la potencia de las pastillas, es ideal para distorsiones o solos.
- **Potenciómetro de Tono 1:** Regula la cantidad de agudos que se dejan pasar en la señal de la pastilla del mástil. Abierto al 100% aporta un sonido brillante y cristalino. Cerrado al 0% genera un sonido más oscuro y cálido, ideal para jazz o blues.
- **Potenciómetro de Tono 2:** cumple la misma labor de recorte de agudos, pero aplicado al circuito de las pastillas de medio y, en este rediseño, también a la humbucker del puente. Permite “domar” la brillantez de la pastilla del medio. En el puente,

suaviza los tonos agresivos de la humbucker para hacerla más versátil en estilos limpios.



Ilustración 41. Pomos de control de volumen y tono para Fender Stratocaster. Fuente: Amazon. Disponible en: <https://www.amazon.es/Pomos-control-guitarra-Fender-Stratocaster/dp/B01DLJ0KSY>

Selector de pastillas

El diseño emplea un selector de 5 posiciones, tipo palanca, característico de Fender, que ofrece la posibilidad de combinar de forma versátil las tres pastillas, en este caso HSS.

- Posición 1: Humbucker (puente).
- Posición 2: Humbucker + Single coil medio.
- Posición 3: Single coil medio.
- Posición 4: Single coil medio + Single coil mástil.
- Posición 5: Single coil mástil.

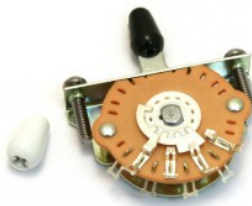


Ilustración 42. Selector de pastillas Fender de 5 posiciones. Fuente: Musical Guima. Disponible en: <https://musicalguima.com/lutheria/6976-selector-switch-5-posiciones-fender.html>

Jack de salida

El jack de salida de la guitarra, situado en el lateral del cuerpo al estilo de la Fender Stratocaster, constituye el punto de conexión entre el instrumento y el sistema de amplificación. Se trata de un conector estándar de ¼" (6,35 mm) que transmite la señal eléctrica generada por las pastillas hacia el amplificador o procesadores de efectos. Su ubicación lateral inclinada facilita la conexión del cable y aporta mayor seguridad durante la interpretación, evitando desconexiones accidentales y manteniendo la estética característica del modelo original.



Ilustración 43. Placa de jack cromada para Fender Stratocaster. Fuente: Musik Produktiv. Disponible en: <https://www.musik-produktiv.es/fender-stratocaster-jack-ferrule-chrome.html>

Cuerdas

Las cuerdas seleccionadas para el prototipo mantienen la tradición de la Fender Stratocaster, empleando un juego Fender USA 250L de acero niquelado con calibre .009-.042. Este tipo de cuerdas ofrece un equilibrio sonoro entre brillo y calidez, además de una tensión reducida que facilita la digitación y los bendings, lo que resulta especialmente adecuado para intérpretes con manos pequeñas. Suaves al tacto y versátiles, permiten obtener tanto sonidos limpios y definidos como tonos potentes en combinación con la electrónica HSS del instrumento.

Alma

Se escoge un lama de doble acción de 460 mm, algo más de la longitud paramétrica del mástil, el alma garantiza estabilidad estructural y corrige la tensión en el mástil. El diámetro es de 6mm en cada varilla.

10. PROCESO DE FABRICACIÓN

Selección y preparación de la materia prima

El proceso comienza con la selección de las maderas. Todas las maderas se reciben en tablones y se someten a un proceso de secado y estabilización en cámara de control de humedad hasta alcanzar un 6–8% de contenido, lo que evita deformaciones.

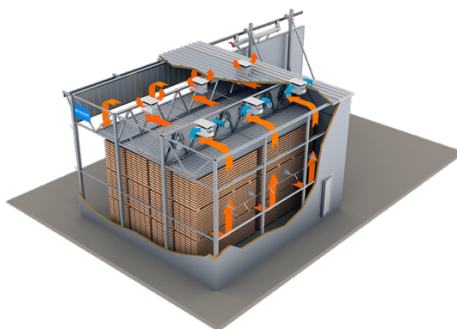


Ilustración 44. Horno de secado convencional de madera (IDV). Fuente: Incomac. Disponible en: <https://www.incomac.com/es/instalaciones/secado-convencional/idv/>

Posteriormente se escuadran y dimensionan con una sierra circular de escuadrar y una cepilladora para dejar superficies planas.

Corte y preparación del cuerpo

Con los bloques ya preparados, se corta la silueta de la guitarra con una sierra de cinta, siguiendo una plantilla. Después, con la cepilladora se mecaniza hasta lograr el grosor deseado. Los rebajes ergonómicos se hacen con lijas de tambor.

Cavidades para electrónica y pastillas

Con el cuerpo ya conformado, se realizan las cavidades para pastillas HSS, potenciómetros, selector de 5 posiciones y jack lateral. Se emplea una fresadora de banco con copiador y plantillas para asegurar precisión y repetibilidad. Para el alojamiento del puente se hace un fresado adicional en la parte trasera. Al terminar, las cavidades se forran con pintura conductiva o cinta de cobre para garantizar un correcto blindaje contra interferencias.

Fabricación del mástil

El mástil comienza con un listón de arce recto. Primero se abre una ranura longitudinal para el alma con una fresadora lineal. Luego se corta la silueta en sierra de cinta y se talla el perfil Slim C con escofinas, limas y lijas,

comprobando constantemente el grosor con galgas. El clavijero se corta con sierra de cinta y se le da el ángulo de 14° respecto al diapasón.

Elaboración del diapasón

El diapasón de palisandro se cepilla y regruesa hasta unos 6 mm. Se curva con un bloque de radio (12") y lijas de grano progresivo. Con una sierra de ranurar especial se realizan las ranuras para los 22 trastes, respetando la escala de 24,75". Se incrustan los inlays discretos perforando con un taladro de columna y rellenando con resina. Después se instalan los trastes jumbo de níquel-plata, prensándolos con una prensa.

Unión del mástil con el diapasón y encolado al cuerpo

El diapasón se encola al mástil con cola Titebond y prensas de carpintero. Una vez curado, se ajusta el conjunto al cuerpo, verificando el ángulo de 4° . Tras la prueba en seco, se encola el mástil en el cuerpo y se prensa durante varias horas.

Lijado y acabado superficial

Todo el instrumento se lija progresivamente con granos 120–400 hasta conseguir una superficie uniforme. Se aplica sellador de poro con pistola de aire, se lija al agua y se tiñe la tapa de arce si se desea resaltar la veta. Posteriormente se aplican varias capas de laca de poliuretano con pistola en cabina de pintura, intercalando lijados al agua (granos 1000–2000). Una vez curado, se pule con pulidora orbital y pastas de pulido hasta lograr un acabado espejo.

Montaje de herrajes

Se perforan los orificios para clavijas usando taladro de columna y se instalan con llaves de vaso. El puente trémolo de 2 puntos se coloca con postes anclados mediante taladro y calibre de profundidad. En la cavidad trasera se fijan el claw y los muelles que equilibran la tensión de las cuerdas. El jack lateral se fija en su cavidad con placa metálica. El golpeador y la tapa trasera se atornillan con destornillador eléctrico de par controlado.

Instalación de la electrónica

Se sueldan las pastillas HSS al selector de 5 posiciones y a los potenciómetros de volumen y tono. Todo se conecta al jack, y se verifica continuidad con un multímetro.

Encordado y ajuste

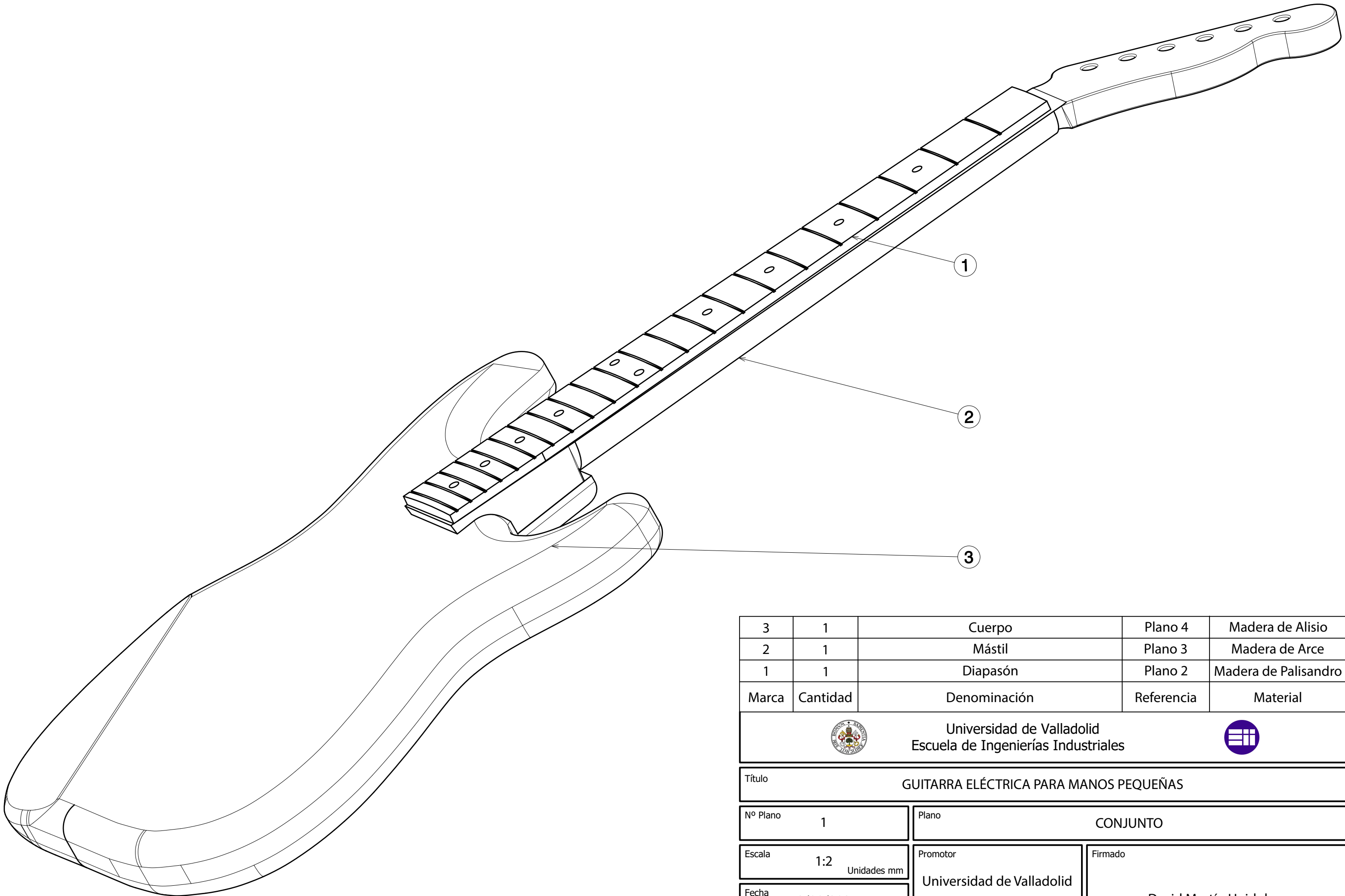
Se colocan las cuerdas Fender 250L (.009-.042). Con una llave Allen se ajusta el alma para obtener el relief adecuado (0,1-0,25 mm en el traste 7). La acción se regula con un calibre en el puente, la octavación moviendo selletas con destornillador y la altura de pastillas ajustando los tornillos de cada bobina. El trémolo se equilibra ajustando los muelles hasta que el puente quede flotando ligeramente.



Control final de calidad

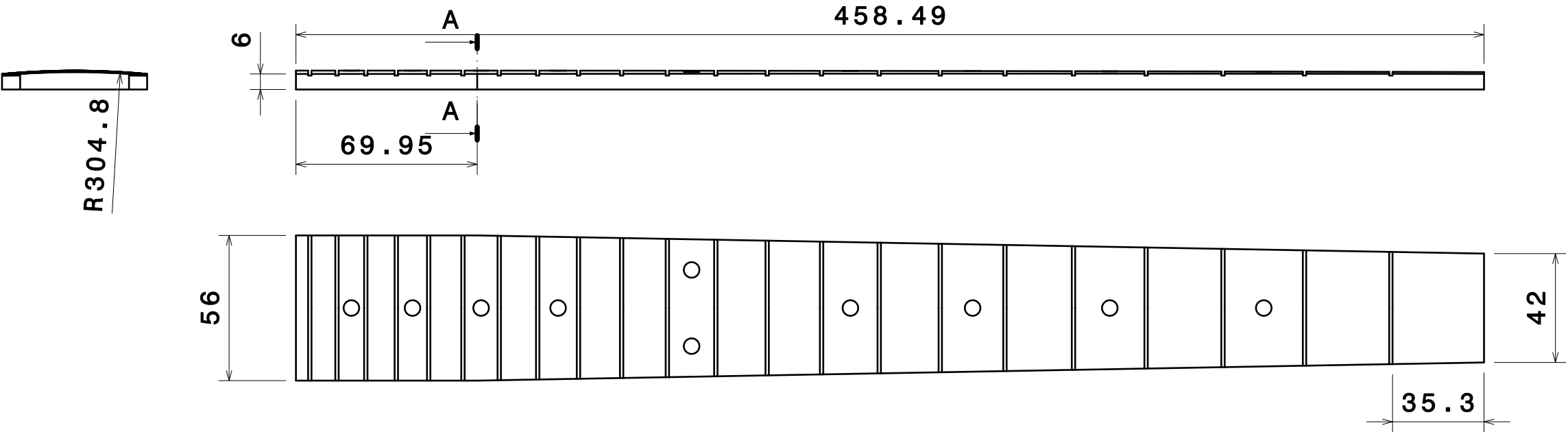
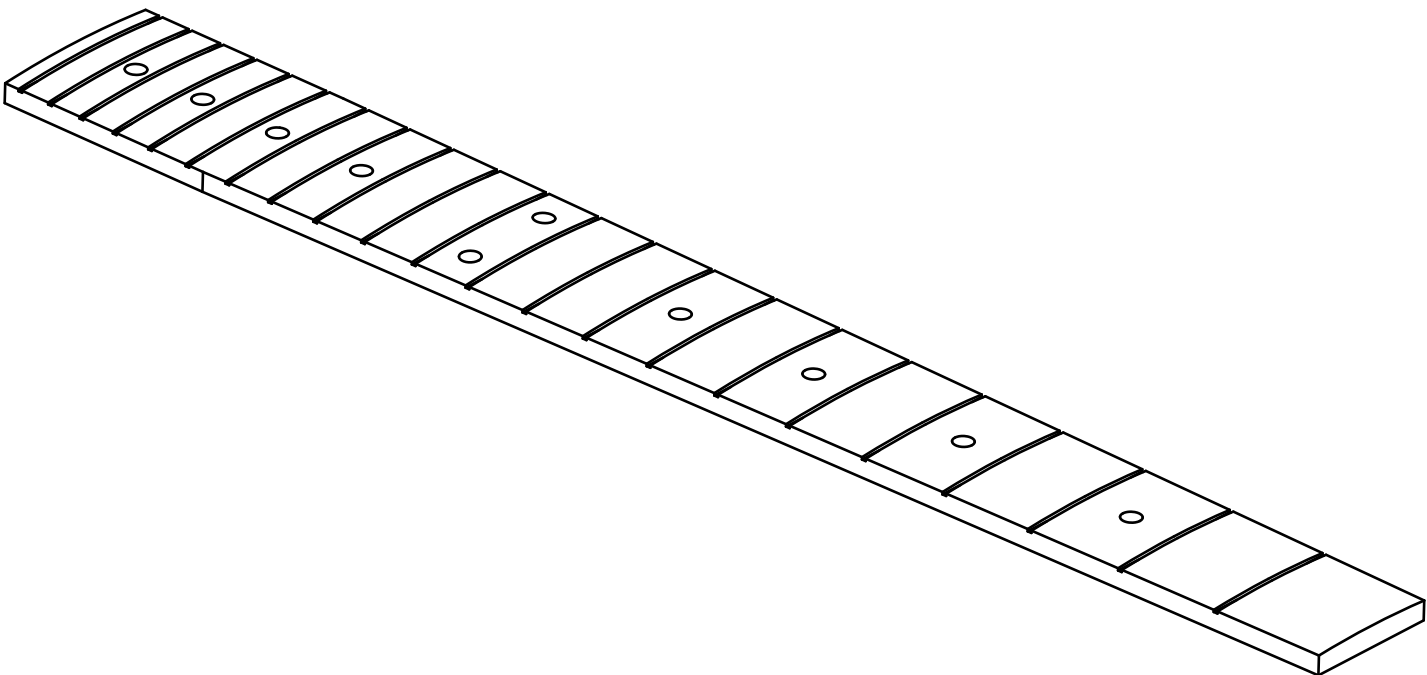
Se comprueba que el peso total esté por debajo de 3,5 kg, que la unión mástil-cuerpo sea sólida y sin fisuras, y que la electrónica funcione sin ruidos ni falsos contactos. Finalmente se prueba la guitarra en amplificador, evaluando la versatilidad tonal de la configuración HSS y la comodidad ergonómica.

PLANOS

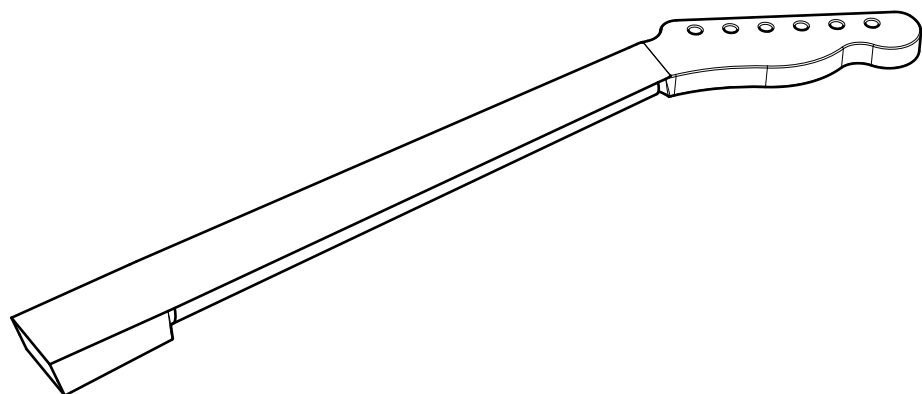
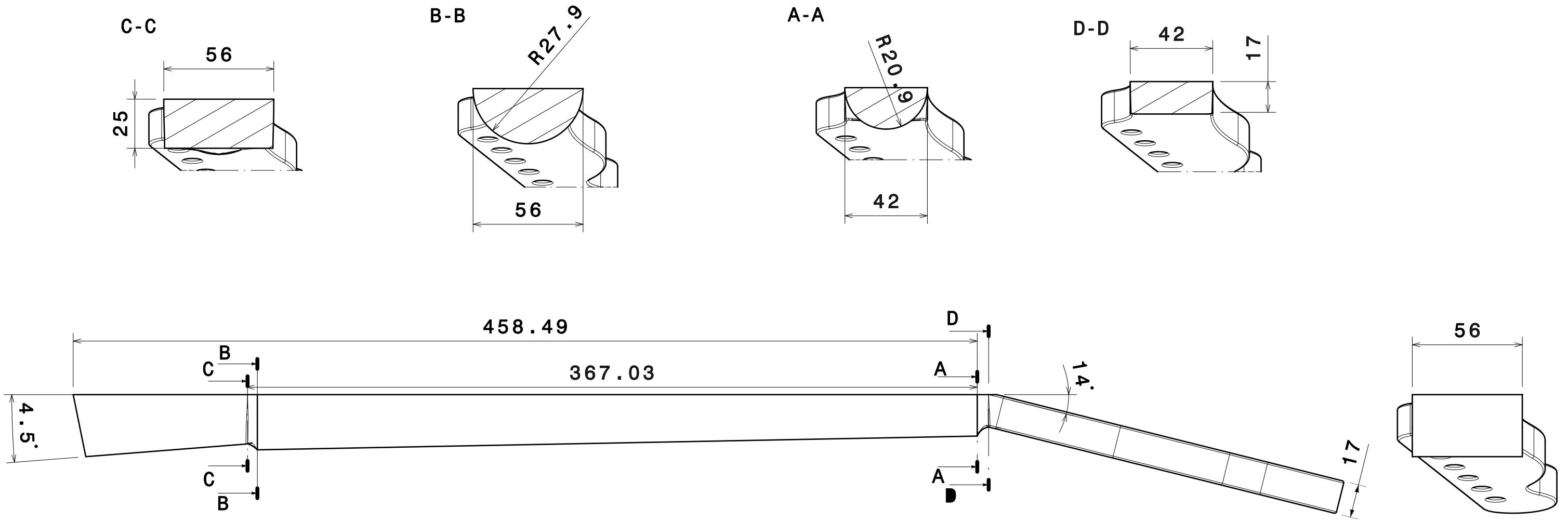
1. PLANO CONJUNTO
2. PLANO DE DIAPASÓN
3. PLANO DE MÁSTIL
4. PLANO DE CUERPO



3	1	Cuerpo	Plano 4	Madera de Alisio
2	1	Mástil	Plano 3	Madera de Arce
1	1	Diapasón	Plano 2	Madera de Palisandro
Marca	Cantidad	Denominación	Referencia	Material
<div><div></div><div>Universidad de Valladolid Escuela de Ingenierías Industriales</div><div></div></div>				
Título				
GUITARRA ELÉCTRICA PARA MANOS PEQUEÑAS				
Nº Plano		Plano		
1		CONJUNTO		
Escala		Promotor	Firmado	
1:2		Universidad de Valladolid	David Martín Huidobro	
Unidades mm				
Fecha				
12/09/2025				

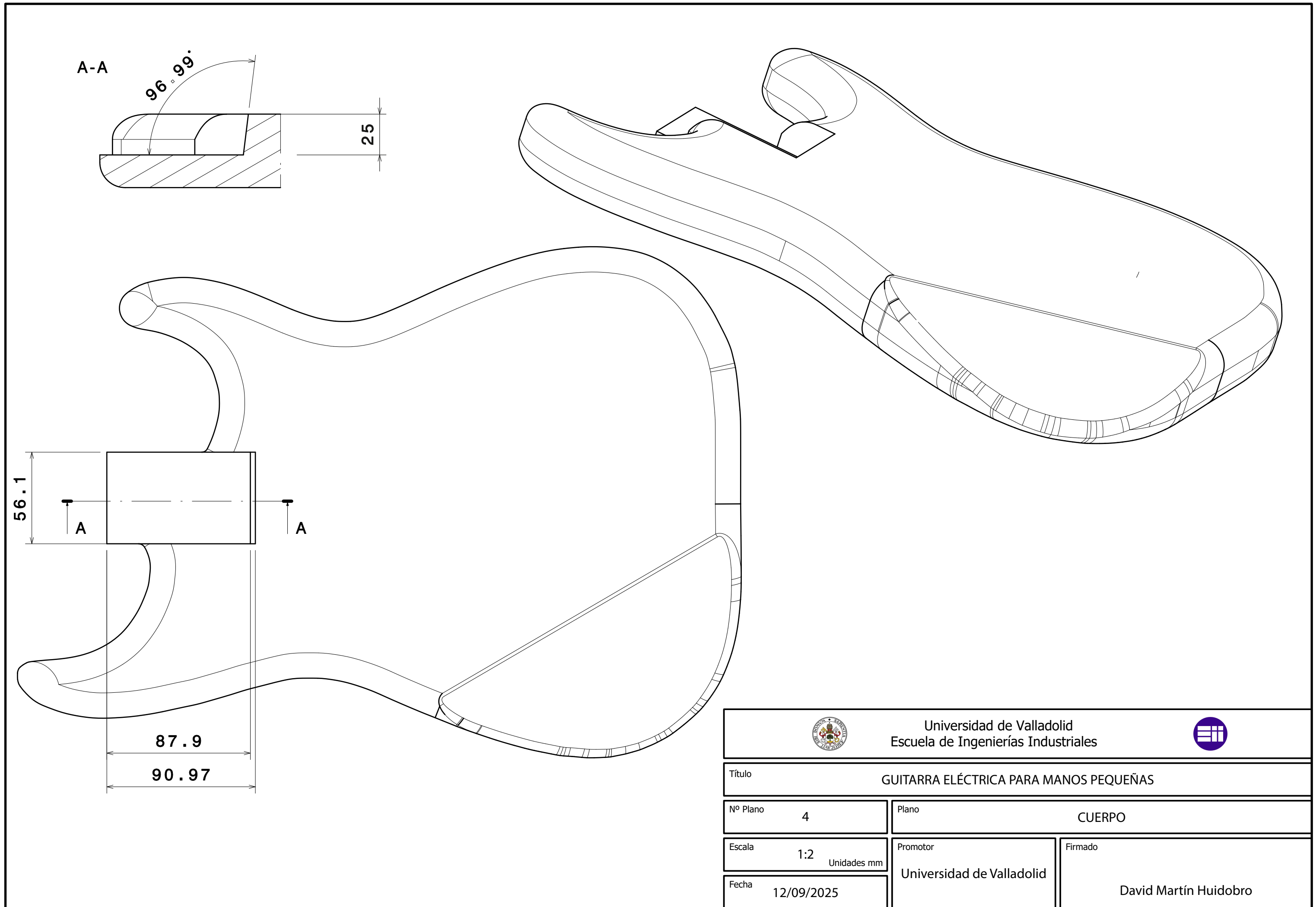


<div></div> <div>Universidad de Valladolid Escuela de Ingenierías Industriales</div> <div></div>		
Título GUITARRA ELÉCTRICA PARA MANOS PEQUEÑAS		
Nº Plano 2	Plano DIAPASÓN	
Escala 1:2 Unidades mm	Promotor Universidad de Valladolid	Firmado David Martín Huidobro
Fecha 12/09/2025		



Scale: 1:5

		Universidad de Valladolid Escuela de Ingenierías Industriales			
Título					
GUITARRA ELÉCTRICA PARA MANOS PEQUEÑAS					
Nº Plano		Plano			
3		MÁSTIL			
Escala		Promotor		Firmado	
1:2 Unidades mm		Universidad de Valladolid		David Martín Huidobro	
Fecha					
12/09/2025					



MEDICIONES

1. CUADROS DE MATERIALES

1.1. Conjunto cuerpo

Partida	Descripción técnica	Cantidad	Medida
Cuerpo base	Es el bloque principal donde recortas la silueta. El material usado es madera de Aliso. Espesor bruto 45–47 mm.	1	520×340×47 mm
Bloques plantilla	Plantillas para guiar la sierra y copiar con fresadora el contorno. Material MDF fenólico.	2	500×300×10 mm
Apoyos encolados	Plantillas para guiar la sierra y copiar con fresadora el contorno. Listones de pino para prensado de tapa. Reutilizable.	4	300×40×20 mm
Tornillería de pickguard	El pickguard hace de soporte de electrónica, la tornillería es la estándar (11 tornillos). Tornillos avellanados negros/niquelados Ø3×12 mm.	11	—
Golpeador	ABS multicapa estilo Strat (HSS, 11 tornillos), blanco/negro/blanco.	1	Strat HSS

Tabla 6. Materiales conjunto cuerpo.

1.2. Conjunto mástil

Partida	Descripción técnica	Cantidad	Medida
Mástil	Mástil encolado, perfil Slim-C, pala 6 en línea. Material arce. Espesor bruto 25–26 mm antes de perfilado.	1	700×90×26 mm
Diapasón	Palisandro. Espesor bruto 6,5–7 mm.	1	500×65×7 mm
Alma	Barra que atraviesa el mástil para compensar la tensión. 460 mm con anclaje en pala.	1	460 mm
Trastes	Jumbo Ni-Ag (18% níquel. Altura 1,2 mm.	1	2000 mm
Inlays	Dots discretos 6 mm y marcadores laterales 2 mm. Material nácar sintético.	1 set	—
Cejuela	42 mm de hueso.	1	42×5,8×8 mm
Espigas y cola	Titebond original para encolado mástil-cuerpo y diapasón.	1	250 ml
Calcas	Opcional para rotular la pala, base acrílica.	1	—

Tabla 7. Materiales conjunto mástil.

1.3. Herrajes y electrónica

Partida	Descripción técnica	Cantidad	Medida
Pastilla puente	Humbucker de salida media, 4 conductores.	1	—
Pastillas medio y mástil	Single-coil estilo Stratocaster. Resistencia 5,7–6,3 k Ω .	2	—
Selector	5 posiciones, estándar Fender.	1	—
Potenciómetros	1 de volumen 250 k Ω log. 2 de tono 250 k Ω log.	3	—
Jack	$\frac{1}{4}$ " (6,35 mm) mono, montado en lateral estilo Stratocaster.	1	—
Cableado	Cable trenzado/aislado 22–24 AWG y termo-retráctil.	1	3 m
Puente	Tune O Matic	1	—
Clavijas	6 en línea selladas, relación 18:1, con casquillos y tornillos.	1 set	—
Placa mástil	No aplica (set-neck). Refuerzos internos opcionales en cola de milano.	—	—
Cuerdas	Fender USA 250L .009–.042 (niqueladas).	1 set	—
Tornillería miscelánea	Tornillos para golpeador, tapa cavidad electrónica trasera.	—	—

Tabla 8. Materiales herraje y electrónica.

1.4. Acabados y consumibles

Partida	Descripción técnica	Cantidad	Medida
Sellador poro	Estabiliza la absorción antes del color.	1	250 ml
Tintes	Base alcohol/agua.	1	100 ml
Laca/Poliuretano	Sistema de dos componentes (color + catalizador).	1	750 ml
Lijas	Granos 120/180/240/320/400/800/1200 (banda y hoja).	surtido	—
Compuestos pulido	Pasta corte, pasta brillo y esponjas.	1	—
Estaño y flux	Soldadura limpia.	1	—
Disolventes/limpieza	Alcohol isopropílico, desengrasante.	1	—

Tabla 9. Materiales para acabados y consumibles.

2. CUADRO DE MAQUINARIA

Proceso	Máquina / Equipo	Modelo/Tipo	Cant.
Corte contorno	Sierra de cinta (volantes 350–400 mm).	Carpintería maderas duras.	1
Planeado y espesor	Cepillo y regruesadora.	Bancada 260–310 mm.	1+1
Fresados	Fresadora CNC.	Mesa aspiración / copiador.	1
Taladro	Taladro de columna y útiles de centrado.	500 W min.	1
Encolado	Prensas y sargentos. Útiles de alineación.	Jigs específicos.	1 set
Lijado	Lijadora de banda y roto-orbital.	Granos 120–1200.	1+1
Trastes	Sierra trasteado.	Caja muescas 0,6 mm.	1
Pintura	Cabina y compresor.	Filtros y EPI.	1
Pulido	Pulidora.	Velocidad variable.	1
Electrónica	Estación soldadura y multímetro.	60 W.	1
Ajustes	Juego galgas, regla 600 mm, calibre, estroboscópico	—	1

Tabla 10. Cuadro de maquinaria.

3. CUADROS DE PROCESOS DE FABRICACIÓN Y MONTAJE

3.1. Fabricación del cuerpo

Proceso	Descripción técnica	Cant.	Horas/guitarra
Aserrado	Recortar el contorno con sierra de cinta dejando 2-3 mm de margen.	1	1,2
Planeado	Cepillado y regrueso a espesor objetivo.	1	0,6
Cámaras	Fresado cavidades electrónica y pastillas.	1	1,5
Contornos	Rebajes forearm, belly cut y redondeos perimetrales.	1	0,6
Lijado base	Lijado de grano 120 hasta 240.	1	0,8

Tabla 11. Cuadro de fabricación del cuerpo.

Subtotal cuerpo: 4,7 h

3.2. Fabricación del mástil

Proceso	Descripción técnica	Cant.	Horas/guitarra
Aserrado mástil	Corte de bloque y pala 6-en-línea.	1	0,4
Canal del alma	Fresado y alojamiento de la tuerca.	1	0,3
Perfilado	Perfil Slim-C y taladro clavijas.	1	1,2
Encolado diapasón	Pegado del diapasón (alineación, prensado).	1	0,4
Unión cuerpo-mástil	Encolado.	1	0,8
Lijado	Lijado de grano 120 hasta 240.	1	0,6

Tabla 12. Cuadro de fabricación del mástil.

Subtotal mástil: 3,7 h

3.3. Diapasón, trastes y cejuela

Proceso	Descripción técnica	Cant.	Horas/guitarra
Ranurado trastes	Corte ranuras a paso 24,75" (tabla previa).	1	0,6
Inlays	Alojamiento y pegado de dots laterales.	1	0,4
Trasteado	Inserción, nivelado, coronado y pulido final.	1	1,6
Cejuela	Tallado y ranurado 42 mm.	1	0,5

Tabla 13. Cuadro de fabricación diapasón, trastes y cejuela.

Subtotal diapasón/trastes: 3,1 h

3.4. Acabado (sellado, tintado, lacado, pulido)

Proceso	Descripción técnica	Cant.	Horas/guitarra*
Sellado	Sellador poro (1-2 manos) y lijado 320.	1	0,8
Color	Tinte y reposo.	1	0,6
Laca PU	3-4 manos y curado.	1	1,4
Pulido	Corte y brillo. Protección final.	1	0,9

Tabla 14. Cuadro de fabricación de sellado, tintado, lacado y pulido.

Subtotal acabado: 3,7 h

3.5. Montaje

Proceso	Descripción técnica	Cant.	Horas/guitarra
Herrajes	Instalación puente 2 puntos, clavijas, botones correa.	1	0,7
Electrónica	Soldadura pastillas, potenciómetro y selector.	1	1,0
Golpeador	Ensamblado y montaje en cuerpo.	1	0,3
Cuerdas	Encordado .009-.042; estirado inicial.	1	0,2

Tabla 15. Cuadro de fabricación de montaje.

Subtotal montaje: 2,2 h

3.6. Inspección y ajuste final

Proceso	Descripción técnica	Cant.	Horas/guitarra
Ajustes	Alma, altura, octavación, radio, lubricación cejuela.	1	0,7
Verificación	Test eléctrico, ruido, continuidad, funcionalidad selector y controles.	1	0,3

Tabla 16. Cuadro de fabricación de inspección y ajustes finales.

Subtotal inspección: 1,0 h

3.7. Tiempo total estimado

El tiempo total estimado en horas por guitarra fabricada es:

Tiempo total estimado (fabricación + acabado + montaje + inspección)
= 4,7 + 3,7 + 3,1 + 3,7 + 2,2 + 1,0 = 18,4 h / guitarra

PRESUPUESTO

1. COSTE DE MATERIALES

1.1. Coste del cuerpo

Partida	Descripción técnica	Cantidad	Precio unitario (€)	Coste total (€)
Cuerpo base	Tablón de aliso (520×340×47 mm).	1	80,00	80,00
MDF plantillas	Tableros MDF (500×300×10 mm).	2	3,00	6,00
Blindaje	Cinta cobre apantallado (5 m).	1	7,00	7,00
Botones correa	Set metálico y arandelas fieltro.	1	5,00	5,00

Tabla 17. Cuadro de materiales del cuerpo.

Total cuerpo = 98€

1.2. Coste del mástil

Partida	Descripción técnica	Cantidad	Precio unitario (€)	Coste total (€)
Mástil	Tablón de arce (700×90×26 mm).	1	25,00	25,00
Diapasón	Palisandro (500×65×7 mm).	1	18,00	18,00
Alma	Doble acción (460 mm).	1	12,00	12,00
Trastes	Jumbo Níquel y plata (2 m).	1	15,00	15,00
Inlays	Dots y marcadores laterales.	1 set	5,00	5,00
Cejuela	42 mm grafito y hueso sintético.	1	6,00	6,00
Cola alifática	Titebond (250 ml).	0,2	12,00	2,40

Tabla 18. Cuadro de materiales del mástil.

Total mástil = 83,40€

1.3. Coste de herrajes y electrónica

Partida	Descripción técnica	Cantidad	Precio unitario (€)	Coste total (€)
Pastilla puente	Humbucker estilo PAF.	1	65,00	65,00
Pastilla mástil	Single coil Alnico V.	1	40,00	40,00
Pastilla medio	Single coil Alnico V.	1	40,00	40,00
Selector	Blade 5 posiciones.	1	12,00	12,00
Potenciómetros	1 Volumen y 2 Tono (250 kΩ log)	3	6,00	18,00
Condensadores	0,047 µF y 0,022 µF.	2	2,00	4,00
Jack salida	¼".	1	6,00	6,00
Cableado	3 m.	1	5,00	5,00
Puente	Tune O Matic	1	55,00	55,00
Clavijas	6 en línea selladas (18:1).	1 set	38,00	38,00
String trees	Guías cuerdas pala.	2	1,50	3,00
Tornillería	Varios.	1	5,00	5,00
Golpeador	ABS multicapa HSS (11 tornillos).	1	25,00	25,00
Cuerdas	Fender 250L .009-.042.	1	7,00	7,00

Tabla 19. Cuadro de materiales de herraje y electrónica.

Total herrajes y electrónica = 323€

1.4. Coste de acabados y consumibles

Partida	Descripción técnica	Cantidad	Precio unitario (€)	Coste total (€)
Sellador	250 ml.	0,2	12,00	2,40
Tintes	Base alcohol/agua 100 ml.	0,2	10,00	2,00
Laca PU 2K	Kit 750 ml.	0,2	30,00	6,00
Lijas	Surtido grano 120- 1200.	1	15,00	15,00
Pasta de pulido	Corte y brillo.	1	10,00	10,00
Estaño y flux	Soldadura electrónica.	1	5,00	5,00
Disolventes	Alcohol y pistola de limpieza.	1	5,00	5,00
Cinta carrocerero	Enmascarado acabado.	1	3,00	3,00

Tabla 20. Cuadro de materiales de acabados y consumibles.

Total acabados y consumibles = 48,40€

1.5. Coste total de materiales

Total materiales = 98€ + 83,40€ + 323€ + 48,40€ = 552,80€

2. COSTE MANO DE OBRA DIRECTO (M.O.D.)

Proceso	Categoría profesional	Jornal/h (€/h)	Horas	Coste (€)
Fabricación cuerpo	Operario especialista carpintería.	16,00	4,7	75,20
Fabricación mástil	Oficial luthier.	18,00	3,7	66,60
Diapasón y trastes	Oficial luthier.	18,00	3,1	55,80
Acabado	Técnico acabados y lacado.	17,00	3,7	62,90
Montaje cableado	Técnico montaje y electrónica.	17,00	2,2	37,40
Inspección y ajuste	Luthier senior.	20,00	1,0	20,00

Tabla 21. Cuadro de coste de mano de obra directo.

Total M.O.D. = 317,90€

3. COSTE PUESTO DE TRABAJO

Equipo/máquina	Tiempo (h)	Coste hora (€)	Coste total (€)
Sierra de cinta	0,6	8,00	4,80
Cepillo y regruessadora	0,3	10,00	3,00
Fresadora CNC	2,0	12,00	24,00
Taladro de columna	0,3	6,00	1,80
Prensas	0,4	5,00	2,00
Lijadoras	1,4	6,00	8,40
Cabina	1,2	15,00	18,00
Pulidora	0,9	6,00	5,40
Soldadura y multímetro	1,0	5,00	5,00

Tabla 22. Cuadro de coste del puesto de trabajo.

Total M.O.D. = 72,40€

4. COSTE DE FABRICACIÓN

El coste de fabricación se define como la suma del coste de los materiales, la mano de obra directa y el coste del puesto de trabajo.

C.F. (Coste de fabricación) = CM (Coste del material) + MOD (Coste de la mano de obra directa) + CPT (coste del puesto de trabajo) = 552,80€ + 317,90€ + 72,40€ = 943,10€

5. COSTE DE LA MANO DE OBRA INDIRECTA (M.O.I)

La mano de obra indirecta se corresponde a un porcentaje de la mano de obra directa, en este caso se va a tomar un 10% de la M.O.D.

Coste M.O.I. = 10% (M.O.D.) = 10% (317,90€) = 31,79€

6. COSTE DE CARGAS SOCIALES

Se fija un valor de cargas sociales de un 30% sobre el coste de la M.O.D.

Coste Cargas Sociales = 30%(M.O.D.) = 30% (317,90€) = 95,37€

7. COSTE DE GASTOS GENERALES

Estos suponen un 15% del subtotal que representa el coste de fabricación, mano de obra indirecta y cargas sociales.

Coste Gastos Generales = 15% (C.F. + M.O.I + C.S.) = 15% (943,10€ + 31,79€ + 95,37€) = 160,54€

8. BENEFICIO INDUSTRIAL

Se establece como beneficio un 10% de todo lo calculado anteriormente.

Beneficio Industrial = 10% (C.F. + M.O.I + C.S. + G.G.)= 10% (943,10€ + 31,79€ + 95,37€ + 160,54) = 123,08€

9. COSTE FINAL

Concepto	Coste (€)
Materiales y consumibles	552,80
Mano de obra directa (MOD)	317,90
Puesto de trabajo (maquinaria)	72,40
MOI	31,79
Cargas sociales	95,37
Gastos generales	160,54
Beneficio industrial	123,08

TOTAL PRESUPUESTO	1.353,88 €
--------------------------	-------------------

Tabla 23. Cuadro de coste total.

CONCLUSIONES

Este Trabajo de Fin de Grado ha puesto de manifiesto la importancia de aplicar el diseño paramétrico y la ergonomía en la construcción de instrumentos musicales. Se pone de manifiesto la importancia de diseñar para todos, no solo para la mayoría. Estos resultados del rediseño buscan que a raíz de un simple cambio en la longitud de escala se puedan llevar a cabo rediseños sencillos sobre la guitarra eléctrica.

Este instrumento se trata no solo de uno de los símbolos culturales más influyentes del siglo XX y XXI, sino también un vehículo de identidad, inclusión y creatividad.

Se ha podido analizar que muchos de los modelos existentes en el mercado han estado históricamente orientados a parámetros antropométricos estándar, dejando fuera a una parte significativa de músicos que, por sus características físicas, no encuentran en ellos una herramienta plenamente adecuada.

El desarrollo de un prototipo de guitarra eléctrica con escala de 24,75" y geometrías adaptadas demuestra que es posible integrar lo mejor de dos arquetipos clásicos, la Gibson Les Paul y la Fender Stratocaster, para crear un instrumento inclusivo. El diseño obtenido combina ergonomía, estética y versatilidad, resolviendo problemas comunes para intérpretes con manos pequeñas sin renunciar a la calidad ni a las prestaciones técnicas de un instrumento profesional.

Adaptar las medidas supone abrir la práctica musical a más intérpretes, mejorando la experiencia de ejecución y evitando frustraciones que pueden llevar al abandono del instrumento. En este sentido, el diseño inclusivo no es solo una mejora técnica, sino también una aportación cultural y social de gran valor.

La incorporación de herramientas CAD, modelado paramétrico y metodologías de diseño centradas en el usuario ha permitido demostrar la viabilidad de generar modelos ajustables y personalizables, capaces de responder a distintas necesidades sin rediseñar desde cero.

Como continuidad, se propone avanzar en la fabricación de un prototipo físico y en la exploración de nuevas configuraciones paramétricas, reforzando así la unión entre tradición musical y tecnologías de ingeniería avanzada.

BIBLIOGRAFÍA

Fender Musical Instruments Corporation. (2023). *Stratocaster: historia y especificaciones*. Recuperado de <https://www.fender.com>

Fender Musical Instruments Corporation. (2023). *Mustang Player II*. Recuperado de <https://www.fender.com>

Fender Musical Instruments Corporation. (2019). *Annual Player Report: demographics of new players*. Recuperado de <https://www.fender.com>

Gibson Brands Inc. (2018). *Les Paul Standard y entrevistas con Slash*. Recuperado de <https://www.gibson.com>

Ibanez Guitars. (2023). *Modelos miKro GRGM21*. Recuperado de <https://www.ibanez.com>

Jackson Guitars. (2023). *JS1X Dinky Minion*. Recuperado de <https://www.jacksonguitars.com>

Yamaha Music. (2023). *Revstar Series*. Recuperado de <https://www.yamaha.com>

Floyd Rose Marketing, Inc. (2023). *Sistema de trémolo Floyd Rose*. Recuperado de <https://www.floydrose.com>

Seymour Duncan. (2023). *Pickups para guitarra eléctrica*. Recuperado de <https://www.seymourduncan.com>

DiMarzio Inc. (2023). *Pickups humbucker y single coil*. Recuperado de <https://www.dimarzio.com>

Bare Knuckle Pickups. (2023). *Pickups boutique UK*. Recuperado de <https://www.bareknucklepickups.co.uk>

EMG Pickups. (2023). *Active pickups*. Recuperado de <https://www.emgpickups.com>

Jescar Fretwire. (2023). *Trastes jumbo series 57110*. Recuperado de <https://www.jescar.com>

Dunlop Manufacturing. (2023). *Accesorios y trastes*. Recuperado de <https://www.jimdunlop.com>

CTS Corporation. (2023). *Potenciómetros CTS serie 450*. Recuperado de <https://www.ctscorp.com>

Switchcraft, Inc. (2023). *Conectores de audio profesionales*. Recuperado de <https://www.switchcraft.com>

Cornell Dubilier (CDE). (2023). *Condensadores Orange Drop*. Recuperado de <https://www.cde.com>

Titebond / Franklin International. (2023). *Titebond Original*. Recuperado de <https://www.titebond.com>

Gotoh. (2023). *Puentes y clavijas de precisión*. Recuperado de <https://g-gotoh.com>

Schaller Electronic GmbH. (2023). *Puentes y clavijas alemanas*. Recuperado de <https://schaller.info>

Madinter. (2023). *Tonewoods y accesorios de luthería*. Recuperado de <https://www.madinter.com>

Maderas Barber. (2023). *Maderas para instrumentos musicales*. Recuperado de <https://www.maderasbarber.com>

Thomann Musikhaus. (2023). *Instrumentos musicales y componentes electrónicos*. Recuperado de <https://www.thomann.de/es>

Txirula Music. (2023). *Tienda de instrumentos musicales*. Recuperado de <https://www.txirula.com>

Musicopolix. (2023). *Catálogo online de instrumentos musicales*. Recuperado de <https://musicopolix.com>

StewMac. (2023). *Herramientas y materiales de luthería*. Recuperado de <https://www.stewmac.com>

Allparts. (2023). *Repuestos y electrónica*. Recuperado de <https://www.allparts.com>

Rockinger Guitars. (2023). *Luthería y repuestos*. Recuperado de <https://www.rockinger.com>

Pastrana Guitars. (2022). *Planos Fender Telecaster*. Recuperado de <https://www.pastranaguitars.com/diagramas/planos-fender-telecaster>

Guitarristas.info. (2023). *Reseñas y análisis de guitarras eléctricas*. Recuperado de <https://www.guitarristas.info>

Ultimate Guitar. (2023). *Tabs y reviews de guitarras*. Recuperado de <https://www.ultimate-guitar.com>

MyLesPaul Forum. (2023). *Foro de guitarras Gibson Les Paul*. Recuperado de <https://www.mylespaul.com>

DINED Database (TU Delft). (2023). *Anthropometric database*. Recuperado de <https://dined.io.tudelft.nl>

ISO 7250-1. (2017). *Basic human body measurements for technological design*. ISO.

U.S. Army Natick Soldier Research, Development and Engineering Center. (2012). *ANSUR II Anthropometric Survey (OpenLab PSU)*. Recuperado de <https://www.openlab.psu.edu/ansur2/>

Guitar World. (2015). *Jennifer Batten interview*. Recuperado de <https://www.guitarworld.com>

Gibson Brands Inc. (2018). *Slash: declaración sobre Les Paul*. Recuperado de <https://www.gibson.com>

Guitar Fandom. (2020). *Entrevista a Tina S*. Recuperado de <https://guitarfandom.com>

Rolling Stone Japan. (2020). *Entrevista a Miyavi*. Recuperado de <https://rollingstonejapan.com>

Fender. (2019). *Fender Annual Report – demographics*. Recuperado de <https://www.fender.com>

Statista. (2022). *Music instruments sales worldwide*. Recuperado de <https://www.statista.com>

NAMM. (2021). *Global report on music instruments market*. Recuperado de <https://www.namm.org>

Universidad de Valladolid. (2019). *TFG_00907 – Diseño de guitarra eléctrica mediante CAD*. Biblioteca de la UVA.

Universidad de Valladolid. (2020). *TFG_01276 – Estudio ergonómico y rediseño de instrumento musical eléctrico*. Biblioteca de la UVA.

Universidad de Valladolid. (2021). *TFG P-779 – Estudio de mercado de guitarras eléctricas*. Biblioteca de la UVa.

Universidad de Valladolid. (2018). *TFG I-2967 – Arpa eléctrica: diseño, fabricación y validación de prototipo*. Biblioteca de la UVa.

Jescar. (2023). *Wire fret technical datasheet*. Recuperado de <https://www.jescar.com>

Warmoth Custom Guitars. (2023). *Custom necks y cuerpos*. Recuperado de <https://www.warmoth.com>

Luthiers Mercantile International. (2023). *Supplies for guitar building*. Recuperado de <https://www.lmii.com>

Crimson Guitars. (2023). *Custom luthier UK*. Recuperado de <https://www.crimsonguitars.com>

Premier Guitar. (2023). *Guitar gear reviews*. Recuperado de <https://www.premierguitar.com>

Sweetwater. (2023). *Guitars and gear online store*. Recuperado de <https://www.sweetwater.com>

Tecnoblogueando. (2013, marzo). *Fabricación de una guitarra eléctrica*. Blogspot. <https://tecnoblogueando.blogspot.com/2013/03/fabricacion-de-una-guitarra-electrica.html?m=1>

Txirula. (s. f.). *Partes de una guitarra eléctrica*. Txirula Blog. <https://www.txirula.com/blog/partes-de-una-guitarra-electrica.html>

Aprendiz de Luthier. (s. f.). *Cómo funciona una guitarra eléctrica*. Aprendizdeluthier.com. <https://aprendizdeluthier.com/como-funciona-una-guitarra-electrica/>

ANEXOS

1. RELACIONES PARAMÉTRICAS

1.1. Relación paramétrica entre longitud de escala, posicionamiento de los trastes y longitud de diapasón

Al tratarse de un diseño paramétrico, adaptable en función de la longitud de escala y de los trastes, en cuanto cambia alguno de estos parámetros lo hace también la longitud del diapasón.

Conceptos clave:

- **Escala (L):** distancia entre cejuela y silla del puente, es decir, la longitud vibrante de la cuerda.
- **Traste (n):** posición donde, al presionar la cuerda, esta acorta su longitud vibrante para producir el n -ésimo semitono en el sistema temperado.
- **Diapasón:** pieza que no llega hasta el puente; termina en el último traste instalado, por lo que su longitud total no coincide con la escala.

Fórmulas de posicionamiento:

Existen dos formas equivalentes de calcular la posición del traste n (medida desde la cejuela):

1. Fórmula exponencial:

$$dn = L - \frac{L}{2^{n/12}}$$

donde:

- dn = distancia de la cejuela al traste n ,
- L = longitud de escala (629 mm en una guitarra de 24,75"),
- n = número de traste.

2. Constante 17,817:

La distancia del primer traste es:

$$d_1 = \frac{L}{17,817}$$

La separación sucesiva entre trastes puede obtenerse dividiendo la longitud vibrante restante por 17,817 en cada paso.

Ambas vías dan el mismo resultado, la constante 17,817 es una aproximación práctica de $dn = L - \frac{L}{2^{12}}$.

Para comprobar que el cálculo es correcto hay que fijarse en que la posición del traste 12 quede exactamente en la mitad de la escala $\frac{L}{2}$.

Longitud del diapasón:

La longitud del diapasón no coincide con la escala, ya que el diapasón termina en el último traste instalado. Se obtiene así:

$$\text{Longitud del diapasón} = dn_{\text{último}} + m$$

donde $dn_{\text{último}}$ es la posición del último traste y m es el margen adicional de madera desde la ranura del último traste hasta el borde final (normalmente 6–10 mm).

Parámetros que influyen:

- Escala: escalas más largas provocan trastes más separados y escalas más cortas, trastes más próximos.
- Número de trastes: añadir trastes no cambia la escala; solo alarga el diapasón porque agregas posiciones adicionales calculadas con la misma ley.
- Margen de cola: no afecta a la entonación, es madera “extra” tras el último traste, se ajusta por estética, rigidez y encaje con el cuerpo.

1.2. Otras relaciones paramétricas

En primer lugar, hay que definir los parámetros esenciales del rediseño, estos son los siguientes:

Longitud de escala (L): longitud desde la cejuela hasta el puente.

Longitud del diapasón (D): longitud del diapasón desde la cejuela hasta el final de este.

Longitud de entrada del mástil en el cuerpo (C): longitud que incide el mástil en el cuerpo.

Longitud desde la entrada del mástil en el cuerpo hasta el puente (P): longitud hasta el puente desde la cara donde comienza a incidir el mástil hasta la posición del cuerpo.

En la ilustración 45 se puede ver la guitarra de tumbada, en este caso se han supuesto todas las caras planas, en esa ilustración se muestran las longitudes paramétricas anteriormente mencionadas.

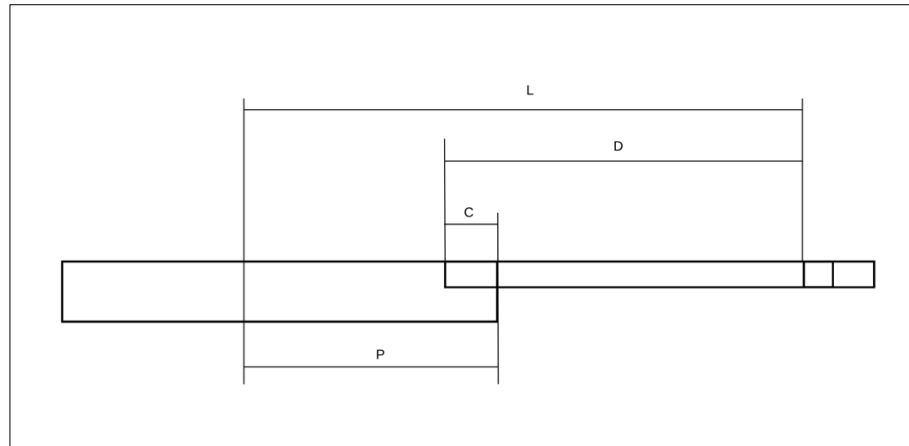


Ilustración 45. Medidas paramétricas. Trabajo propio.

En el apartado anterior se ha explicado cómo sacar la longitud del diapasón en función del número de trastes y la escala de la guitarra.

Si tenemos en cuenta que, en caso de cambiar L y D, C se va a mantener constante, siendo la distancia D-C la que varía en caso de cambio de longitud de escala o número de trastes. La distancia a la que debemos colocar el puente desde la cara donde empieza a meterse el mástil (P) será:

$$P = L - (D - C)$$

1. CÁCULOS

2.1. Cálculos de los parámetros clave para una escala 24,75"

Parámetros:

- Escala: $L = 629$ mm (equivalente a 24,75").
- Número de trastes: 22.
- Margen de cola: $m = 6$ mm.

Posiciones de los trastes:

Calculados tomando como origen la cejuela mediante la fórmula exponencial:

$dn = L - \frac{L}{2^{n/12}}$, con longitud de escala de 629 mm y redondeo a 2 decimales:

Traste	Desde cejuela (mm)	Paso al anterior (mm)
1	35,30	35,30
2	68,62	33,32
3	100,08	31,45
4	129,76	29,69
5	157,78	28,02
6	184,23	26,45
7	209,19	24,96
8	232,75	23,56
9	254,99	22,24
10	275,99	20,99
11	295,80	19,81
12	314,50	18,70
13	332,15	17,65
14	348,81	16,66
15	364,54	15,73
16	379,38	14,84
17	393,39	14,01
18	406,61	13,22
19	419,10	12,48
20	430,88	11,78
21	442,00	11,12
22	452,49	10,50

Tabla 24. Cuadro de posiciones de los trastes.

Para asegurarnos de que los cálculos son correctos dividimos la longitud de escala entre dos:

$$\frac{L}{2} = 314,50$$

Como podemos comprobar esta medida coincide con la posición del traste 12.

Longitud del diapasón:

Para un total de 22 trastes y un margen de cola $m = 6$ mm.

$$\text{Longitud del diapasón} = dn_{\text{último}} + m = 452,49 + 6 = 458,49 \text{ mm}$$

2. ÁNGULOS

Ángulo Diapasón-Clavijero:

Para darle la inclinación necesaria al clavijero respecto el diapasón, no hay ninguna complicación, simplemente en el modelado de la superficie, al formar parte del mismo cuerpo se ha modelado el cuerpo con esa inclinación, es decir, formando directamente un ángulo de 14° entre la cara superior de la base plana del mástil y la cara superior del clavijero.

Ángulo Diapasón-Cuerpo:

Para conseguir que se genere un ángulo de $4,5^\circ$ entre la cara del cuerpo y la cara del diapasón, se ha hecho una cuña en la unión entre el cuerpo y el mástil.

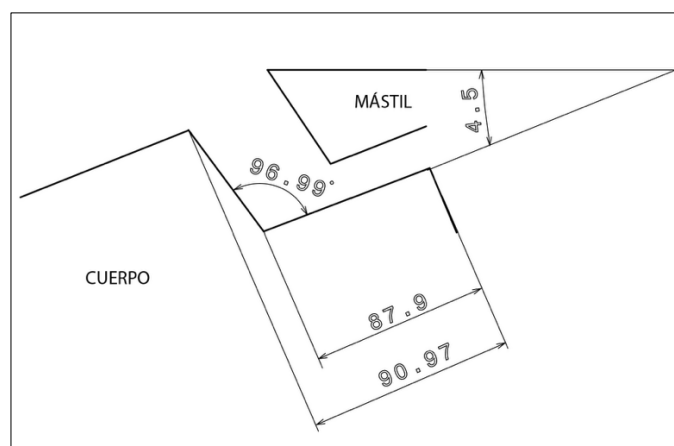


Ilustración 46. Forma de cuña unión mástil-cuerpo. Trabajo propio.

La cuña cuenta con un ángulo de $96,99^\circ$, este ángulo es similar en la zona de unión en ambas piezas, tanto mástil como cuerpo. Además, se han fijado unas dimensiones fijas que marcan las posiciones de dos puntos de la cuña respecto de la horizontal de la línea vertical del cuerpo. En los planos se puede apreciar cómo es esta unión.

Esto es sencillo de unir gracias a que el mástil va por completo encolado, además, estas medidas no cambian aunque cambie la longitud de escala o el número de trastes.

