

DISEÑO DE ARPA ELÉCTRICA

Autor: Mercedes Bendito Fernández

Tutor: José Manuel Geijo Barrientos



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Universidad de Valladolid



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

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

Diseño de arpa eléctrica

Autora:

Bendito Fernández, Mercedes

Tutor:

**Geijo Barrientos, José Manuel
Departamento: CMEIM, Expresión
gráfica en la ingeniería, ICGF, IM e
IPF**

Valladolid, mayo de 2024.

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño de un arpa eléctrica inspirada en la figura de un dragón. Pretende aunar la faceta artística de la música y el diseño del instrumento con los requerimientos técnicos que debe tener el mismo para hacerlo completamente funcional. El proyecto incluye el estudio del origen de los instrumentos de cuerda pulsada y su evolución, analizando la cultura musical en las distintas culturas del planeta, así como los conceptos físicos y mecánicos que intervienen en la creación de un instrumento musical. Analiza, además, la situación actual del mundo musical en cuanto a técnica y tendencias para desarrollar el diseño de un instrumento eléctrico de cuerda pulsada, similar al arpa celta, utilizando elementos decorativos que relacionen los conceptos históricos y culturales investigados con los requisitos de fabricación definidos según los objetivos de musicalidad pretendidos.

PALABRAS CLAVE

Instrumento musical, música, arpa eléctrica, dragones, fantasía

ABSTRACT

This project aims to design an electric harp inspired by the figure of a dragon. The project aims to combine the artistic facet of music and the design of the instrument with the technical requirements that it must have to make it fully functional. The project includes the study of the origin of plucked string instruments and their evolution, analyzing the musical culture in the different cultures of the planet, as well as the physical and mechanical concepts involved in the creation of a musical instrument. It also studies the current situation in the musical world in terms of technique and trends to develop the design of a plucked stringed electric instrument, similar to the Celtic harp, using decorative elements that relate the historical and cultural concepts investigated with the manufacturing requirements defined according to the intended musicality objectives.

KEYWORDS

Musical instrument, music, electric harp, dragons, fantasy

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	17
1. MEMORIA	19
1.1. INVESTIGACIÓN	20
1.1.1. HISTORIA DE LA MÚSICA Y LOS INSTRUMENTOS MUSICALES	22
1.1.1.1. ORÍGENES DE LA MÚSICA	22
1.1.1.2. EL ARCO MUSICAL	24
1.1.2. LA FÍSICA DEL SONIDO	26
1.1.2.1. AFINACIÓN Y ONDAS	26
1.1.2.2. HERCIOS Y NOTAS	28
1.1.2.3. ACÚSTICA	29
1.1.3. EL ARPA	31
1.1.3.1. EL ARPA Y SUS PARTES	31
1.1.3.2. TIPOS DE ARPAS	36
1.1.4. INSTRUMENTOS MODERNOS Y DISEÑOS ALTERNATIVOS EN LA MÚSICA	51
1.2. DISEÑO DE ARPA CELTA	56
1.2.1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO	58
1.2.2. BÚSQUEDA DE SOLUCIÓN	63
1.2.3. ERGONOMÍA	79
1.2.4. DIMENSIONES SEGÚN REQUISITOS TÉCNICOS Y ERGONÓMICOS	81
1.2.5. DESCRIPCIÓN FINAL DEL DISEÑO	83
1.2.6. DETALLES CONSTRUCTIVOS	85
1.2.7. MATERIALES	93
1.2.8. INGENIERÍA DE PROCESOS	97
1.2.9. IMÁGENES FINALES	105
2. PLANOS	113
3. MEDICIONES	125
4. PRESUPUESTO	127
ÍNDICE DE PRESUPUESTO	128

4.1. COSTO DE FABRICACIÓN	128
4.2. M.O.I	131
4.3. CARGAS SOCIALES	131
4.4. GASTOS GENERALES	132
4.5. BENEFICIO INDUSTRIAL	132
4.6. PRECIO DE VENTA	132
5. CONCLUSIONES	135
6. BIBLIOGRAFÍA	139
7. ANEXOS	151
7.1. CÁLCULOS	152

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Sauval, M. Pequeño hechicero con flauta o arco musical de Trois-Frères [ilustración]. Ariège, Francia. https://www.sauval.com/angustia/s1gruta.htm _____	23
Ilustración 2. Van Thiel, P. (2018) Egobore y Egoboro en "Multi-Tribal Music of Ankole. An ethnomusicological study including a glossary" [ilustración] Museo Real de África central, África. https://music.africamuseum.be/instruments/english/uganda/egobore.html __	24
Ilustración 3. Amin, O. S. M. (2500 A.C.) Liras de Ur. [fotografía] Museo Británico, Londres. https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=42173836 _____	25
Ilustración 4. Onda sonora. Trabajo propio. _____	26
Ilustración 5. Notas y hercios. Trabajo propio. _____	28
Ilustración 6. El Bosco. Sección del Jardín de las Delicias. 1490-1500 d.C. Museo del Prado, Madrid, España. https://www.museodelprado.es/coleccion/obra-de-arte/triptico-del-jardin-de-las-delicias/02388242-6d6a-4e9e-a992-e1311eab3609 _____	31
Ilustración 7. Caja de resonancia de arpa Legend customizada. 2012. Heartland Harps. https://heartlandharps.com/harps/models/ _____	32
Ilustración 8. Ogan, E. (2012) Detalle de arpa. [fotografía] Ámsterdam, Holanda. https://www.flickr.com/photos/erikogan/8073223682/ _____	32
Ilustración 9. Diderot, D. D'Alembert, J. (1751-1772) Extensión y funcionamiento de los pedales en un arpa.[fotografía] https://www.meisterdrucke.es/impresion-art%C3%ADstica/Robert-Benard/227759/L%C3%A1mina-XX%3A-La-extensi%C3%B3n-y-el-funcionamiento-de-los-pedales-en _____	34
Ilustración 10. Bill (2007) Clavija de violín [fotografía] https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2825479 _____	35

Ilustración 11. Clavijero de guitarra Fender. Trabajo propio. _____	35
Ilustración 12. Diagrama de tipos de arpas de HarpSchool. https://www.harp-school.com/wp-content/uploads/2017/03/harp-types-sizes-chart.jpg.webp _____	36
Ilustración 13. Dusty. (2014) Camac lever. https://manufacturing.dustystrings.com/blog/sharping-levers-camac-vs-loveland _____	37
Ilustración 14. Truitt, B. Palancas "Truitt" en Rees Concert Line Harp. [fotografía] Rees Harps Inc. https://handverksmusic.com/about-sharping-levers _____	37
Ilustración 15. Ratigan. Arpa clásica de pedales. [fotografía], https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1190165 _____	38
Ilustración 16. Wagenzik, A. Arpa doppia del s. XVI-XVII de André Thurau. [fotografía] Italia. https://michaeldollendorf.com/instruments/renaissance-arpa-doppia _____	39
Ilustración 17. Thurau, R. (s.XXI) Arpa barroca en el estilo del s. XVII de nombre Arianna. [instrumento] Italia https://thurau-harps.com/harps/arianna/ _____	40
Ilustración 18. Thurau, J. (s.XXI) Arpa románica medieval de nombre David inspirada en escultura de autor desconocido. [instrumento] Italia. https://thurau-harps.com/harps/david/ _____	40
Ilustración 19. Thurau, J. (s.XXI) Arpa románica del s.XII de nombre Compostela. [instrumento] Italia https://thurau-harps.com/harps/compostela/ _____	41
Ilustración 20. Bodsworth, J. (2007) Arpa de la tumba de Any. [instrumento] Museo Británico, Londres https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3804247 _____	42
Ilustración 21. Wilkinson, J. G. (1837) Interpretación de un fresco de la tumba real en Tebas que representa a los arpistas, de "Modales y costumbres de los antiguos egipcios" [ilustración] https://www.meisterdrucke.es/impresion-art%C3%ADstica/John-Gardner-Wilkinson/189372/Interpretaci%C3%B3n-de-un-fresco-de-la-tumba-real-en-Tebas-que	

representa-a-los-arpistas%2C-de-%26quot%3BModales-y-costumbres-de-los-antiguos-egipcios%26quot%3B%2C-1837.html _____	42
Ilustración 22. Arched Harp from New Kingdom, (1390-1295 A.C.) [instrumento] Egypt. Dominio público por TheMet.	
https://www.metmuseum.org/art/collection/search/546194 _____	43
Ilustración 23. Día del Arpa Paraguaya en honor a Félix Pérez Cardozo, 1997. Archivo Última Hora. https://www.ultimahora.com/como-el-arpa-paraguaya-logro-alcanzar-un-record-mundial-n2889364 _____	44
Ilustración 24. Rwhaun (2017) Ekidongos [fotografía]	
https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=61893560 _____	45
Ilustración 25. Nagata Arte africano. N'goni [instrumento] Burkina Faso.	
https://angata.net/producto/ngoni-2/ _____	46
Ilustración 26. Mangbetu. (s.XIX-s.XX) Arpa figurativa de República Democrática del Congo. [instrumento] Museo Metropolitano de Arte, Nueva York, EE. UU.	
https://angata.net/producto/ngoni-2/ _____	46
Ilustración 27. Flossingjonah. (2020) Instrumento Guzheng. [fotografía]	
https://instruments.fandom.com/wiki/Guzheng _____	47
Ilustración 28. Hayda, J. (2015) Modelo de banduria de Chernihiv. [instrumento]	
https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=41505896 _____	48
Ilustración 29. Scarfia, G. (2015) Arpa celta. [fotografía]	
https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=41505896 _____	49
Ilustración 30. Jacobson, J. (2021) Deborah Henson-Conant tocando arpa eléctrica de fibra de carbono [fotografía] https://tendimag.com/2021/12/17/versatilidade-a-harpa-de-deborah-henson-conant/ _____	52

Ilustración 31. Santos Guitars. (2021) Pastilla magnética. [ilustración]
https://santosguitars.com/es/smartblog/7_Claves-para-entender-las-pastillas.html _ 53

Ilustración 32. Santos guitars. (2021) Circuito y componentes en instrumento con pastilla eléctrica magnética. [ilustración]
https://santosguitars.com/es/smartblog/7_Claves-para-entender-las-pastillas.html _ 53

Ilustración 33. Ortega Braña, G. (2016) Deformación de un material piezoeléctrico. [ilustración] <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/62408/Ortega%20-%20OPTIMIZACI%C3%93N%20DE%20LA%20ACTIVACI%C3%93N%20EL%C3%89CTRICA%20Y%20DE%20LA%20RESPUESTA%20PIEZOEL%C3%89CTRICA%20DE%20POL%C3%8DMEROS%20ES....pdf?sequence=1> _____ 54

Ilustración 34. Hayes, G. Diagrama de las partes de una pastilla piezoeléctrica [ilustración] <https://hazeguitars.com/blog/acoustic-power-the-magic-of-piezoelectricity> _____ 55

Ilustración 35. Guitar Wiring (2018) Fishman acoustic Matrix UST. [fotografía] <https://hazeguitars.com/blog/acoustic-power-the-magic-of-piezoelectricity> _____ 55

Ilustración 36. Modelo Plug&Play de Harp-E. 2024. <https://www.harp-e.com/products/plug-play> _____ 59

Ilustración 37. Harpa SALDEL- ESS Delta Ebony. Salvi. 2017. https://www.thomann.de/es/salvi_delta_electric_harp.htm?gad_source=1&gclid=CjwKC-AjwuJ2xBhA3EiwAMVjkVCpxUf_yBW-M_dqwjJ3_N4Lihh95pPLNSCdnjka7woN-jewH_FMtKxoCAiIQAvD_BwE _____ 60

Ilustración 38. Modelo Ultra Light de harpa Neveltec. 2024. <https://neveltec.com/> _ 61

Ilustración 39. Fremem Harfen (2022) Modelo Electric Luna de Fremem Harfen. [instrumento] <https://www.travel-harp.com/> _____ 62

Ilustración 40. Boceto de dragón en vuelo. Trabajo propio.	63
Ilustración 41. Halun, J. (2009) Fragmento del mural de los nueve dragones en la ciudad prohibida. [fotografía] Pekín, China.	
https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9090153	67
Ilustración 42. Bertuch, F. J. (1806) Ilustración de un dragón alado. [dibujo]	
https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=23651242	69
Ilustración 43. Ucello, P. (1456-1460) San Jorge y el dragón. [cuadro] Museo Jacquemart-André, París.	
https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5037936	71
Ilustración 44. Jakobs, T. Ilustración de la bandera de Gales.	
https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=355609	72
Ilustración 45. Benioff, D. Weiss, D. B. (2011-2019) Juego de Tronos. [fotograma]	
https://as.com/meristation/2018/06/29/betech/1530291401_128428.html	73
Ilustración 46. Fangmeier, S. (2006) Eragon. [fotograma] https://es.ign.com/eragon-theater/183053/news/disney-suma-mas-efectivos-a-su-catalogo-de-fantasia-y-anuncia-una-serie-de-eragon	74
Ilustración 47. Logo de la marca MSI. Trabajo propio.	74
Ilustración 48. Colom, B. (2024) Azulejo decorativo. Fornalutx, España.	74
Ilustración 49. Cohen, R. (1996) Dragonheart. [fotograma]	
https://poniendostrellitas.wordpress.com/2020/06/04/dragonheart-%E2%98%86%E2%98%86%E2%98%86/	75
Ilustración 50. Solares, J. El arpista. [escultura] España	
https://www.smellslikeart.org/es/autor/Solarescultura	79

Ilustración 51. Dimensiones principales requeridas según el tamaño de las cuerdas.	
Trabajo propio. _____	82
Ilustración 52. Boceto del alzado del instrumento final. Trabajo propio. _____	83
Ilustración 53. Diseño final del producto. Trabajo propio. _____	84
Ilustración 54. Clavijero de guitarra acústica Fender. Trabajo propio. _____	87
Ilustración 55. Tornillo de afinación (dech.) y tornillo de posicionamiento (izq.). Trabajo propio _____	88
Ilustración 56. Rees Harps Inc. Ajuste de tornillos de afinación en arpa de regazo.	
[fotografía] EE.UU. https://reesharps.com/slipping-lever-harp-tuning-pins _____	88
Ilustración 57. Mecanismo de palanca desactivado (izquierda) y activado (derecha).	
Trabajo propio. _____	89
Ilustración 58. Esquema del anclaje de las cuerdas en un instrumento musical. Trabajo propio. _____	90
Ilustración 59. Rosado, Sofía. 2018. Nudo de anclaje paso a paso para una cuerda de arpa. SofiMultiarte. https://sofiarosado.webnode.es/cambiarcuerdas/ _____	91
Ilustración 60. Martin Nylon Classic guitar strings. StringsbyMail.	
https://www.stringsbymail.com/martin-s160-classical-nylon-strings-with-ball-end-bulk-sleeve-25-sets-20424.html _____	91
Ilustración 61. Harley Benton. (2012) Mono output Jack socket.	
https://www.thomann.de/es/harley_benton_parts_mono_output_jack_socket.htm?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwltKxBhDMARIsAG8KnqX-Dgkx3j3IDW7oN-DWbxzGj1ogakXVw1V7j-D6g309wEQkvpErAeEaAnL2EALw_wcB _____	92
Ilustración 62. Bocetos de la sección del puente. Trabajo propio. _____	92

Ilustración 63. Innerstream. (2021) Nylon-6 y Nylon6,6. [ilustración]	
https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=112727156	93
Ilustración 64. Saperaud. Fibra de carbono (de abajo a la izquierda a arriba a la derecha) junto a cabello humano. 2005. Dominio público:	
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/71/Cfaser_haarrp.jpg	95
Ilustración 65. Molde de fibra de carbono para arpa Legend. 2012. Heartland harps.	
https://heartlandharps.com/harps/models/	96
Ilustración 66. Chadwick, S. (2018) Irish tuning pins. [fotografía]	
https://simonchadwick.net/shop/pins	96
Ilustración 67. Wright, I. (2016) Fabricación manual de pieza con lámina de fibra de carbono. [fotografía]	
https://www.engineering.com/story/unlocking-carbon-fibers-potential-in-manufacturing	97
Ilustración 68. Guangzhou Wise (2020) Operario cortando láminas de fibra de carbono. [fotografía]	
China https://www.gdwise.com/info-detail/ns-showcases-new-cfrp-process-that-reduces-moulding-times-by-up-to-80-5	98
Ilustración 69. Kuzu (2020) Piezas de latón [fotografía]	
https://kuzudecoletaje.es/el-laton-y-su-mecanizado/	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de longitud de cuerdas, diámetros, materiales y hercios según la nota.	
Trabajo propio _____	86
Tabla 2. Datos técnicos del nylon-6. Ibermetal, aluminios y plásticos Cataluña S.L.	
https://ibermetal.es/plasticos/poliamida/ _____	94
Tabla 3. Mediciones de volúmenes y pesos de las piezas. _____	126
Tabla 4. Cuadro de precios para mano de obra directa. _____	128
Tabla 5. Cuadro de precios de contrata para la maquinaria. _____	129
Tabla 6. Tabla precios materiales para las piezas de fabricación. _____	129
Tabla 7. Precios de las piezas de fabricación. _____	130
Tabla 8. Precios de los materiales de fabricación y compra. _____	130
Tabla 9. Coste total de fabricación. _____	131
Tabla 10. Precios totales para una unidad. _____	133
Tabla 11. Frecuencia de las notas musicales. _____	156
Tabla 12. Notas y longitudes de las cuerdas del arpa. _____	158
Tabla 13. Tensiones de las cuerdas para el calibre, longitud y frecuencias escogidos.	160
Tabla 14. Longitudes para las notas sostenidas. _____	162

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Introducción

Existen en la actualidad pocos elementos que combinen de forma homogénea campos de estudio tan diferentes como el mundo de la música. El arte tiene la capacidad de incorporar elementos de todas las disciplinas conocidas, sin restricciones académicas ni fronteras, para crear nuevos conceptos que no hubieran sido concebidos de otra forma.

Así como se entrelazan la química y la pintura, la lógica y la literatura, o la historia y la arquitectura, ningún concepto es único, y ningún arte está aislado. La música es física, y es cultura, es ciencia y es historia, y literatura, y antropología, y religión... La música es arte, y el arte es lo que uno decide que sea.

En este caso el arte es ingeniería.

El ser humano lleva fabricando herramientas para generar sonidos desde el inicio de sus capacidades, hasta llegar al conjunto de instrumentos musicales de los que disfrutamos hoy en día. Este proyecto surgió de la idea de estudiar estos instrumentos, profundizando en los componentes clásicos y menos conocidos, como reto personal.

Al hablar sobre las paradojas del mundo musical y las limitaciones del pensamiento creativo moderno en *El arte de los ruidos*, Russolo, L. (1916, pp. 9, 13) defiende que “Hay que romper este círculo restringido de sonidos puros y conquistar la variedad infinita de los sonidos-ruidos. [...] el arte de los ruidos no debe limitarse a una reproducción imitativa.”

El arte musical requiere de constante cambio e innovación para seguir el ritmo de la evolución creativa moderna, pero para innovar es necesario conocer en profundidad lo ya existente. El arpa es uno de los claros ejemplos de instrumento musical clásico, generalmente desconocido e inaccesible para la mayoría, cuya evolución y complejidad lo convierten en el ideal objeto de estudio.

La idea propulsora del proyecto es el estudio de este instrumento concreto, sus inicios y desarrollo, y diferencias alrededor del mundo, para el posterior diseño de un producto que incorpore los elementos culturales y artísticos elegidos.

Objetivos

Se presentan como objetivos del proyecto los siguientes:

1. El estudio de los orígenes de los instrumentos musicales de cuerda pulsada, su evolución a lo largo de los años, sus variantes geográficas, su funcionamiento y otros datos de interés.
2. Aprendizaje de los conceptos físicos básicos involucrados en la creación, amplificación y propagación de sonidos, profundizando en los aspectos de tonalidad musical.
3. Estudio en profundidad del arpa como instrumento, sus partes, mecanismos, variantes, detalles técnicos, así como nuevos diseños y muestras de la aplicación de nuevas tecnologías en el diseño de este instrumento.
4. Diseño integral de un instrumento de cuerda pulsada, en este caso un arpa que refleje el trabajo de investigación previo en cuanto a la historia, la inspiración, el estudio de mercado de productos ya existentes, mecanismos innovadores, detalles técnicos, etc., utilizando un diseño innovador, creativo. El diseño deberá reflejar los conocimientos adquiridos durante el desarrollo de la actividad lectiva en grado de Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto, siendo coherente con los métodos existentes de fabricación en la industria actual, empleando las herramientas de diseño tridimensional, y presentando evidencias de pensamiento crítico.
5. Por último, deberán incluirse al proyecto documentos de aplicación económica y académica, como son las mediciones y el presupuesto en el primer caso, y las conclusiones y referencias bibliográficas en el segundo.

I. MEMORIA

I.I. INVESTIGACIÓN

1.1. INVESTIGACIÓN	20
1.1.1. HISTORIA DE LA MÚSICA Y LOS INSTRUMENTOS MUSICALES	22
1.1.1.1. ORÍGENES DE LA MÚSICA	22
1.1.1.2. EL ARCO MUSICAL	24
1.1.2. LA FÍSICA DEL SONIDO	26
1.1.2.1. AFINACIÓN Y ONDAS	26
1.1.2.2. HERCIOS Y NOTAS	28
1.1.2.3. ACÚSTICA	29
1.1.3. EL ARPA	31
1.1.3.1. EL ARPA Y SUS PARTES	31
CAJA DE RESONANCIA	31
CONSOLA	32
COLUMNA	33
CUERDAS	33
PEDALES	34
CLAVIJAS	34
1.1.3.2. TIPOS DE ARPAS	36
Tipos de arpas según sus mecanismos	36
Arpa de palanca	36
Arpas de pedal	38
Arpas multicurso	39
Otros tipos de arpas sin pedales	40
Tipos de arpas según su procedencia geográfica	41
Arpa egipcia	41
Arpa latinoamericana	43
Arpa africana	44
Arpa china	47
Arpa ucraniana	47
Arpa celta	48

1.1.4.INSTRUMENTOS MODERNOS Y DISEÑOS ALTERNATIVOS EN LA MÚSICA	51
Arpa eléctrica	51
Pastillas magnéticas	53
Pastillas piezoeléctricas	54

I.I.I. HISTORIA DE LA MÚSICA Y LOS INSTRUMENTOS MUSICALES

I.I.I.I. ORÍGENES DE LA MÚSICA

La música nació del ser humano durante ritos, celebraciones y como forma de mostrar emociones a través de sonidos y ritmos. El cuerpo humano podría considerarse el instrumento musical más antiguo de la historia. Unas simples palmadas crean ritmo, un golpe de pies añade acompañamiento, y de pronto el sonido de las pieles en movimiento, el crisar del fuego y las respiraciones aceleradas forman la primera sinfonía conocida.

La música, al igual que cualquier otra expresión artística es inherente al ser humano y surge en sus inicios de las emociones mismas.

El gran descubrimiento llegó con el uso de la voz. El complejo aparato fonador del que constan nuestros cuerpos nos permite no solamente crear sonidos con diferentes intensidades, duración, brillo o énfasis, sino también con diferentes entonaciones. Es este cambio de afinación en el sonido emitido el que permitió un paso hacia el avance exponencial que supuso la creación de melodías.

Ya no solo son ritmos y dinámicas, sino canciones en todo su derecho.

Con la llegada de avances evolutivos, con el homo habilis y el homo erectus, las primeras herramientas rudimentarias comenzaron a aparecer para hacer de las tareas diarias un trabajo más sencillo.

Como es natural, el desarrollo de estas primeras herramientas dejó de tener un objetivo meramente técnico y dirigido a la supervivencia, sino que también se comenzaron a desarrollar gran cantidad de objetos dirigidos a la expresión meramente artística. Joyas, pinturas y otros avances fueron acompañados de los primeros inventos dirigidos a la creación de música. Ya no solo se trata de golpear objetos unos contra otros probando diferentes ruidos, sino de la creación de instrumentos de percusión más complejos, y tras ellos, los instrumentos melódicos.

Los primeros instrumentos musicales fueron pequeñas flautas de hueso. A pesar de todo, el origen de estos hallazgos ha sido debatido en varias ocasiones, puesto que, aunque se hayan encontrado diversos restos de flautas de hueso de formas similares, se ha demostrado que algunos de estos primeros instrumentos no fueron fabricados por seres humanos, sino por animales carroñeros al perforar los huesos con sus dientes.

Sin embargo, otro de los primeros instrumentos melódicos hallados que fueron indudablemente creados por el ser humano, son los instrumentos de cuerda pulsada. Con origen en Mesopotamia, Egipto e India, algunos siglos antes de Cristo, la lira fue una de las primeras formas de crear melodías de forma consciente a través de la ingeniería. Se cree que este instrumento nace en sus inicios como un arco de caza.

En las pinturas rupestres del paleolítico de la Gruta de Trois Frères del sur de Francia, que datan del 15.000 a.C, se puede observar lo que se cree un arco musical. Este arco no era más que un arco de caza habitual, al que pulsando o frotando la cuerda emitía notas. Con esta misma técnica, añadiendo más cuerdas, comenzaron a desarrollarse la lira, el arpa y muchos otros que vinieron después.



Ilustración 1. Sauval, M. Pequeño hechicero con flauta o arco musical de Trois-Frères [ilustración]. Ariège, Francia.
<https://www.sauval.com/angustia/s1gruta.htm>

En su inicio, la fabricación de estos primitivos instrumentos musicales se basaba en materiales de origen animal, utilizándose los restos no comestibles de las cazas como los huesos, el pelo, ciertas partes de la casquería..., junto a elementos naturales y no duraderos como maderas, etc.

Es por esto por lo que, a pesar de los hallazgos de flautas de hueso o tambores de piel de animal, no podemos asegurar que civilizaciones previas, no hubieran desarrollado ya en su momento artefactos musicales que se han perdido debido al desgaste natural de los materiales con los que se habían fabricado.

1.1.1.2. EL ARCO MUSICAL

El arco musical se toca de diversas formas: pulsando con los dedos, golpeando o frotando con una vara o con otro arco. A diferencia de los instrumentos de cuerda más modernos, no tiene caja de resonancia y a menudo utiliza un resonador externo, como una calabaza, un hoyo en el suelo o la propia boca del intérprete.

Este tipo de instrumento sigue siendo parte de diversas culturas alrededor del mundo. Por ejemplo, el "birimbao" en Brasil y Angola, el "mouthbow" o arco de boca simple entre los apalaches en Estados Unidos, y entre las culturas precolombinas.

Se pueden unir varios arcos "birimbao" de diferentes tamaños sobre un único resonador para crear un pluriarco con varias notas musicales. Este tipo de instrumento es conocido como arpa arqueada. En este sentido, África no solo es la cuna de la humanidad, sino también de muchos instrumentos de cuerda. Una variante perfeccionada del pluriarco es el arpa arqueada, como el *adungu*, *ekidongo* o *egoboro* (il. 2), típicos de Uganda en África oriental.

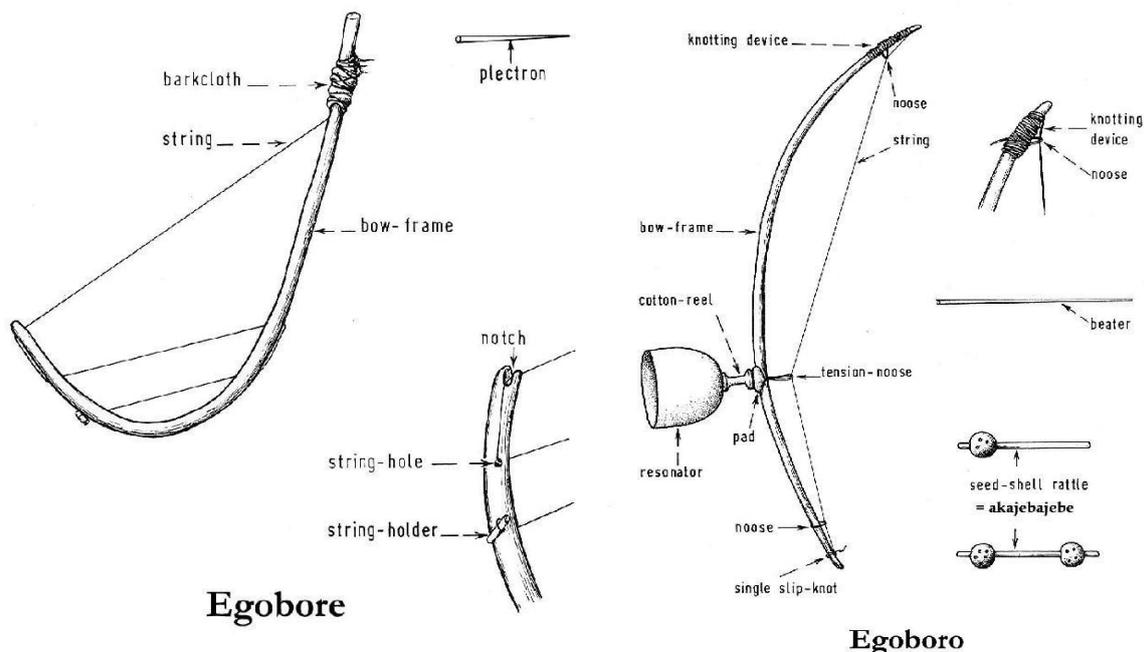


Ilustración 2. Van Thiel, P. (2018) Egobore y Egoboro en "Multi-Tribal Music of Ankole. An ethnomusicological study including a glossary" [ilustración] Museo Real de África central, África.
<https://music.africamuseum.be/instruments/english/uganda/egobore.html>

Los primeros instrumentos musicales se pueden organizar en cuatro categorías separadas según el método de formación del sonido; instrumentos autófonos, membranófonos, cordófonos y aerófonos. Estas cuatro categorías de instrumentos se corresponden respectivamente con aquellos que se basan en la producción de sonidos por medio de su propia materia al golpear unos con otros, aquellos que suenan a base del golpeo de membranas tensadas, los que se componen de cuerdas a las que se hace vibrar, y los que reproducen sonido al soplar en el interior de una cavidad. Estas cuatro formas de crear sonidos se han mantenido hasta el día de hoy y se conocen comúnmente como instrumentos de percusión, de cuerda y de viento. Más adelante, con el avance de las tecnologías, estas diferentes categorías han evolucionado en gran medida, pero sigue manteniéndose la metodología básica de los instrumentos primitivos.



Ilustración 3. Amin, O. S. M. (2500 A.C.) Liras de Ur. [fotografía] Museo Británico, Londres.
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=42173836>

1.1.2. LA FÍSICA DEL SONIDO

1.1.2.1. AFINACIÓN Y ONDAS

De una forma simplificada, se podría decir que la música no son más que vibraciones en las partículas del aire que llegan a nuestro oído y se procesan por nuestro cerebro. La explicación completa es algo más larga, pero no mucho más compleja.

Las cosas que vibran producen sonido, y por consecuencia; música.

En el caso de los instrumentos de cuerda pulsada, si queremos explicar su funcionamiento, se deberán tener en cuenta dos conceptos básicos: una cuerda finita, sujeta en ambos extremos vibra al ser pulsada con una frecuencia específica, y si una vibración es sonido, un sonido en una frecuencia concreta es una nota musical.

La música está compuesta de tantas notas musicales como se quieran utilizar, pero si queremos producir instrumentos musicales que reproduzcan sonidos con las frecuencias específicas que buscamos para las notas musicales, es importante conocer ciertos conceptos sobre la física de ondas.

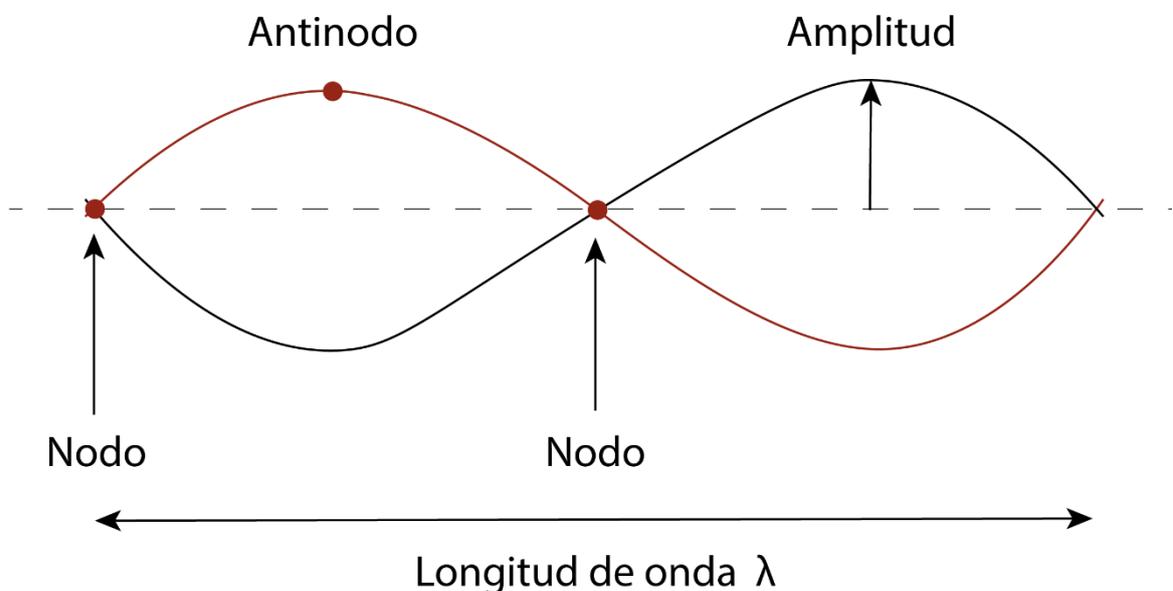


Ilustración 4. Onda sonora. Trabajo propio.

Si la frecuencia es la nota musical, entonces dicha nota dependerá de la longitud de la cuerda, la tensión de esta, y su densidad lineal. La cuerda sujeta en sus dos extremos al vibrar producirá ondas de doble longitud a la de la cuerda. Se puede deducir que, si la velocidad de propagación de la onda es igual a la frecuencia por su longitud, y también a la raíz cuadrada de la tensión de la cuerda partida de su densidad lineal, entonces la frecuencia se define como la raíz de la tensión entre la densidad lineal, partida por la longitud de onda.

Estos tres conceptos de longitud, tensión y densidad lineal (relacionable con el material y diámetro de este) son los únicos que intervienen en la frecuencia de vibración que nos determinará la nota musical en una cuerda y que se podría variar de una forma sencilla cambiando alguno de estos parámetros a voluntad.

1.1.2.2. HERCIOS Y NOTAS

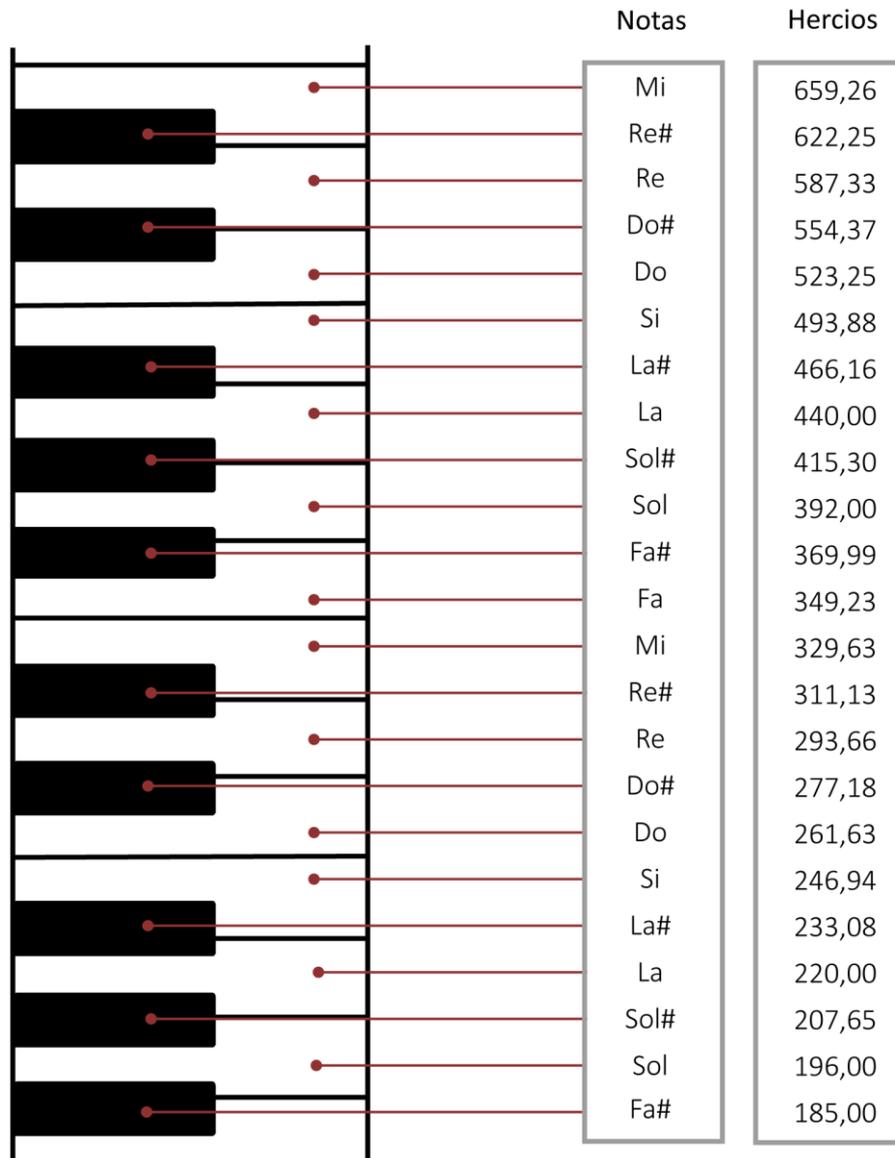


Ilustración 5. Notas y hercios. Trabajo propio.

Como ya hemos visto, la afinación de las notas musicales depende de varios parámetros físicos y es, en resumen; una frecuencia escogida arbitrariamente. Aunque es cierto que la elección de ciertas frecuencias para su uso y combinación en escalas específicas se trata de una mera convención, se ha de tener en cuenta que existen muchos factores socioculturales que han intervenido a lo largo de los siglos para que esto sea así.

A pesar de que la música es ante todo física en su esencia, no todas las culturas utilizan las mismas notas, ni los mismos intervalos a la hora de representar dicha física a través del arte musical.

La música occidental está basada en su origen en el concepto de armonías. Las notas musicales se utilizan en conjunto junto a otras para crear acordes y conjuntos armoniosos que definen en su raíz los intervalos entre notas y la afinación de estas. Este tipo de música y escalas de afinación es el que hemos mamado en la cultura europea desde tiempos inmemorables y el que, debido al colonialismo y posteriormente a la globalización, se ha extendido en gran parte del planeta. Esto, sin embargo, no quiere decir que no existan otras formas de hacer música basadas en otros intervalos diferentes, como puede ser la oriental, la cual utiliza los llamados “microtonos”. Estos microtonos no dejan de ser distancias más pequeñas en cuanto a las notas musicales (o en algunos casos mayores), y que restringen de diferente forma la creación de acordes y armonías según las conocemos en el mundo occidental, pero no por ello la creación de música igualmente agradable para el oído humano.

1.1.2.3. ACÚSTICA

La acústica es una rama de la física que se centra en el estudio del sonido y su comportamiento en diferentes entornos y medios. Uno de los aspectos fundamentales de la acústica es la propagación de las ondas sonoras a través de distintos medios, ya sean sólidos, líquidos o gaseosos, y cómo estas propiedades afectan la calidad y el timbre de los sonidos.

La propagación de las ondas sonoras en diferentes medios depende de diversas variables, como la densidad, la elasticidad y la temperatura del medio. Por ejemplo, en el aire, que es el medio más común para la propagación del sonido en la música, las ondas sonoras se desplazan a través de vibraciones de las moléculas de este. Sin embargo, en medios más densos como el agua o sólidos como la madera, las ondas sonoras se propagan de manera diferente debido a las diferencias en las propiedades físicas de esos materiales.

La elección del material para la fabricación de un instrumento musical es crucial ya que afecta directamente su sonido y calidad tonal. La caja de resonancia de un instrumento, por ejemplo, juega un papel fundamental en la amplificación y modificación del sonido producido por el instrumento. La caja de resonancia es responsable de capturar, amplificar y proyectar las vibraciones sonoras generadas por las cuerdas, membranas u otras fuentes de sonido del instrumento. Está diseñada para vibrar de manera armónica con las frecuencias específicas producidas por el instrumento, lo que amplifica ciertos

armónicos y atenúa otros, dando como resultado el timbre característico del instrumento. Por lo tanto, el material utilizado para construir la caja de resonancia debe tener propiedades acústicas adecuadas que permitan una vibración controlada y una respuesta sonora deseada.

1.1.3. EL ARPA

1.1.3.1. EL ARPA Y SUS PARTES



Ilustración 6. El Bosco. Sección del Jardín de las Delicias. 1490-1500 d.C. Museo del Prado, Madrid, España.
<https://www.museodelprado.es/coleccion/obra-de-arte/triptico-del-jardin-de-las-delicias/02388242-6d6a-4e9e-a992-e1311eab3609>

CAJA DE RESONANCIA

La caja de resonancia de un arpa clásica es la parte más voluminosa del instrumento. Es la parte del arpa con la que está en contacto el arpista y tiene como función amplificar el sonido de las cuerdas.

La parte interior en la que se introducen las cuerdas se llama tapa armónica.

La caja de resonancia se fabrica habitualmente con madera. Puede fabricarse a partir del ensamblaje de varias piezas de madera o directamente de un solo bloque.



Ilustración 7. Caja de resonancia de arpa Legend customizada. 2012. Heartland Harps. <https://heartlandharps.com/harps/models/>

CONSOLA

La consola es la parte superior del arpa, con forma ondulada en horizontal. Es en esta parte donde se anclan las cuerdas y las clavijas o palancas. En la mayoría de las arpas, las clavijas se sitúan a un lado de esta pieza, pero existen modelos en los que se sitúan a ambos lados o en posiciones diferentes. Esta pieza se suele fabricar de madera.



Ilustración 8. Ogan, E. (2012) Detalle de arpa. [fotografía] Ámsterdam, Holanda. <https://www.flickr.com/photos/erikogan/8073223682/>

COLUMNA

Al igual que la caja de resonancia y la consola, la columna de un arpa se fabrica habitualmente con madera, aunque no es estrictamente necesario.

Es la parte vertical que une la consola con la caja de resonancia y que se sitúa al lado contrario del arpista al tocar el instrumento. Esta pieza está frecuentemente decorada ya que tiene poca función en el instrumento más allá de la de mantener la estructura y sostener la consola.

CUERDAS

Las cuerdas del arpa son elementos fundamentales que producen el sonido cuando se pellizcan o se pulsan. Tradicionalmente, las cuerdas de un arpa celta están hechas de nylon o tripa, aunque también se pueden utilizar otros materiales modernos.

Entre los materiales más habituales para las cuerdas de arpas modernas podemos encontrar las tripas de “animal” naturales, el nylon y el acero.

También se ha de tener en cuenta que, para mantener una tensión constante en cuerdas con diferente afinación en un instrumento, la variable se encuentra en el grosor de la cuerda y la longitud de esta. Esto presenta un problema especialmente en el caso de las cuerdas que representan las notas más graves, ya que para conseguir estos sonidos se requiere de una longitud mucho mayor a la vez que una menor tensión. Lo que sucede en estos casos es que las cuerdas superan habitualmente los dos milímetros de diámetro y comienzan a enmudecerse y el sonido deja de ser limpio y agradable. Por este motivo, con el fin de conseguir alcanzar estas tonalidades deseadas sin rebajar la tensión demasiado ni exceder el calibre máximo que se puede considerar adecuado, se utilizan cuerdas entorchadas con metal. Este tipo de cuerdas se suelen fabricar a base de finísimos hilos de seda o nylon y se recubren de metales como el latón o la plata, para conseguir los requisitos de tensión y afinación deseados.

La tripa natural presenta ciertos problemas, como su corta vida útil, su mayor tasa de fallo o su alto coste, por lo que algunas opciones sintéticas han aparecido con aspecto y tacto similar pero más resistentes. Los calibres de este tipo de cuerdas van desde 0.38 a 2.40 milímetros

Por otro lado, se utilizan como convenio cuerdas de color rojo para las notas Do, y Azules o Negras para las notas Fa. El resto de las cuerdas tienden a ser blancas.

PEDALES

Algunas arpas celtas modernas están equipadas con pedales que permiten cambiar la afinación de ciertas cuerdas mientras se toca, lo que proporciona una mayor flexibilidad tonal y facilita la ejecución de diferentes piezas musicales.

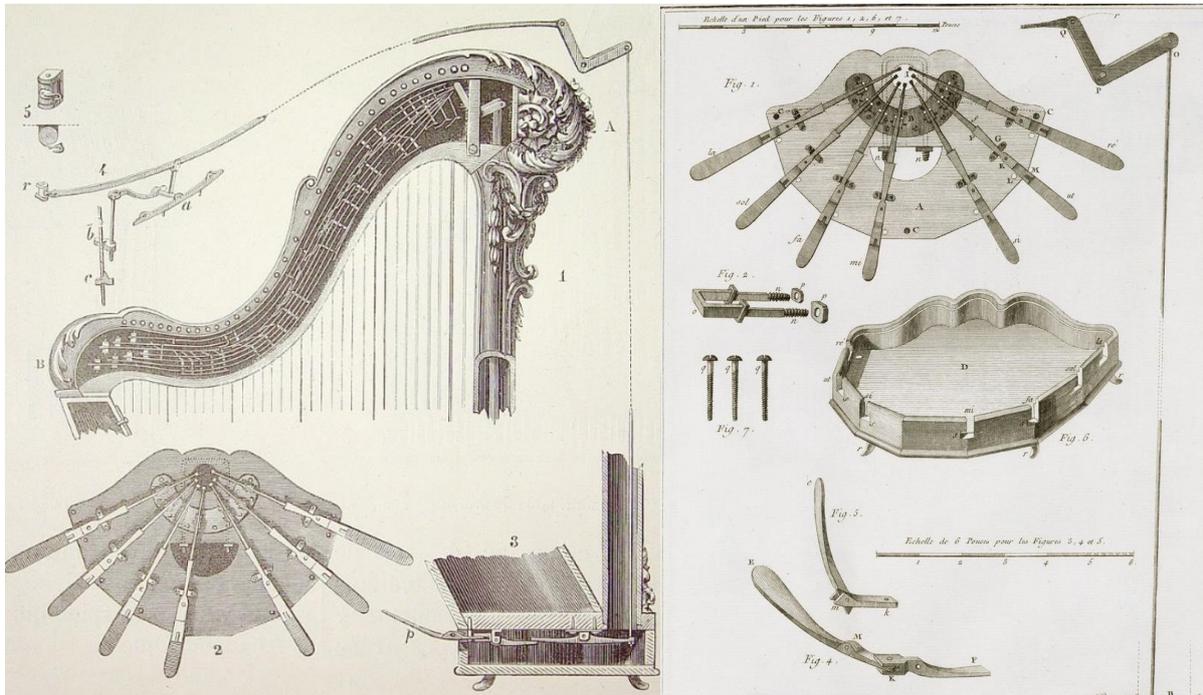


Ilustración 9. Diderot, D'Alembert, J. (1751-1772) Extensión y funcionamiento de los pedales en un arpa.[fotografía]
<https://www.meisterdrucke.es/impresion-art%C3%ADstica/Robert-Benard/227759/L%C3%A1mina-XX%3A-La-extensi%C3%B3n-y-el-funcionamiento-de-los-pedales-en>

CLAVIJAS

Existen distintos tipos de clavijas que se utilizan de forma más o menos frecuente en los instrumentos de cuerda. Las clavijas son una parte esencial de cualquier instrumento de cuerda ya que permiten tensar y destensar dichas cuerdas según la nota que se quiera conseguir.

En los modelos tradicionales de arpa, lo más habitual es encontrar tornillos tensores muy simples. Los tornillos cuentan con un agujero para introducir la cuerda en un extremo, un cuerpo con una pequeña conicidad y un extremo hexagonal. Este tipo de tornillos se ajustan con una llave hexagonal y se mantienen sujetos a la consola gracias a la fuerza de rozamiento y el ajuste con el que se introducen en el agujero correspondiente.

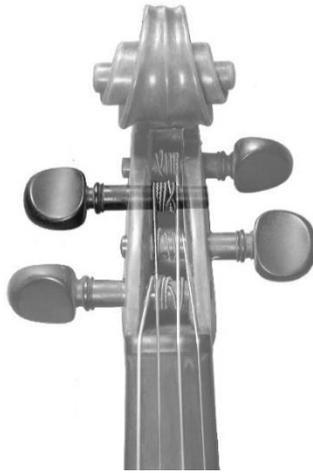


Ilustración 10. Bill (2007) Clavija de violín [fotografía] <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2825479>

Por otra parte, con el paso de los años, las arpas han comenzado a introducir clavijeros mucho más complejos, similares a los que se utilizan en otro tipo de instrumentos, como pueden ser las guitarras. Este tipo de clavijeros mecánicos u orbitales (il. 11) cuentan con la ventaja permitir una mayor precisión a la hora de ajustar la tensión, sin precisar de un ajuste por apriete, pero suelen ser mucho más voluminosos y tener un aspecto que contrasta con la estética más tradicional de las arpas.



Ilustración 11. Clavijero de guitarra Fender. Trabajo propio.

1.1.3.2. TIPOS DE ARPAS

Dentro del conjunto de distintos modelos de arpa que se comercializan hoy en día, podemos encontrar variaciones según los mecanismos que utilizan, su procedencia o ámbito geográfico, y algunos de difícil categorización.



Ilustración 12. Diagrama de tipos de arpas de HarpSchool. <https://www.harp-school.com/wp-content/uploads/2017/03/harp-types-sizes-chart.jpg.webp>

Tipos de arpas según sus mecanismos

Algunas de las características que diferencian los distintos modelos de arpas son entre otros, el número de cuerdas, los materiales con los que estas se fabrican, la disposición de estas, los clavijeros y sus diferentes mecanismos de afinación, etc.

Arpa de palanca

Este tipo de arpa se diferencia principalmente en el tipo de clavijero que utiliza. Como su nombre indica, este tipo de clavijero posee una pequeña palanca por cada cuerda existente, que permite el cambio de la tensión de la cuerda según su posición. Con este cambio de la tensión se permite conseguir dos notas diferentes para cada cuerda, y por lo tanto mayor versatilidad. El mayor problema que presenta este tipo de arpas es que el cambio de posición de palanca, realizado a mitad de una interpretación, exige ocupar una de las manos momentáneamente.



Ilustración 13. Dusty. (2014) Camac lever. <https://manufacturing.dustystings.com/blog/sharping-levers-camac-vs-loveland>



Ilustración 14. Truitt, B. Palancas "Truitt" en Rees Concert Line Harp. [fotografía] Rees Harps Inc. <https://handverksmusic.com/about-sharping-levers>

Arpas de pedal

Igual que las arpas de palanca, los pedales permiten la modificación de la tensión de cada cuerda. Las arpas de pedal, sin embargo, presentan varias ventajas con respecto a otro tipo de arpas, y es por esto por lo que se necesita de un nivel avanzado para el uso de este tipo de arpas y se pueden encontrar con más frecuencia en entornos profesionales.

Las arpas de pedales cuentan con un total de siete pedales, y cada uno de ellos permite tres posiciones que se corresponden con tres tensiones; para un sonido natural, sostenido o bemol. Cada uno de los siete pedales se corresponden a su vez con cada una de las notas de la escala occidental, por lo que las iteraciones de posiciones permiten interpretar piezas musicales en cualquiera de las tonalidades habituales, e incluso su variación a mitad de interpretación sin necesidad de mover las manos.



Ilustración 15. Ratigan. Arpa clásica de pedales. [fotografía], <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1190165>

Arpas multicurso

Este tipo de arpas presentan varias filas de cuerdas y, en ocasiones, una variación en la inclinación de algunas cuerdas, haciendo que se crucen en un lugar determinado. Este tipo de arpas presentan una distribución similar al piano, ya que las cuerdas inclinadas en una dirección representan tonos naturales como “las teclas blancas” y las que se inclinan en dirección contraria se corresponden con “las teclas negras”.

Este tipo de arpas presentan la ventaja de no requerir de un cambio de afinación a mitad de la interpretación, pero requieren de una técnica algo diferente, ya que el cruce de cuerdas sucede a una altura determinada.

El arpa *doppia* italiana (il.16) es un buen ejemplo de este tipo de arpas.

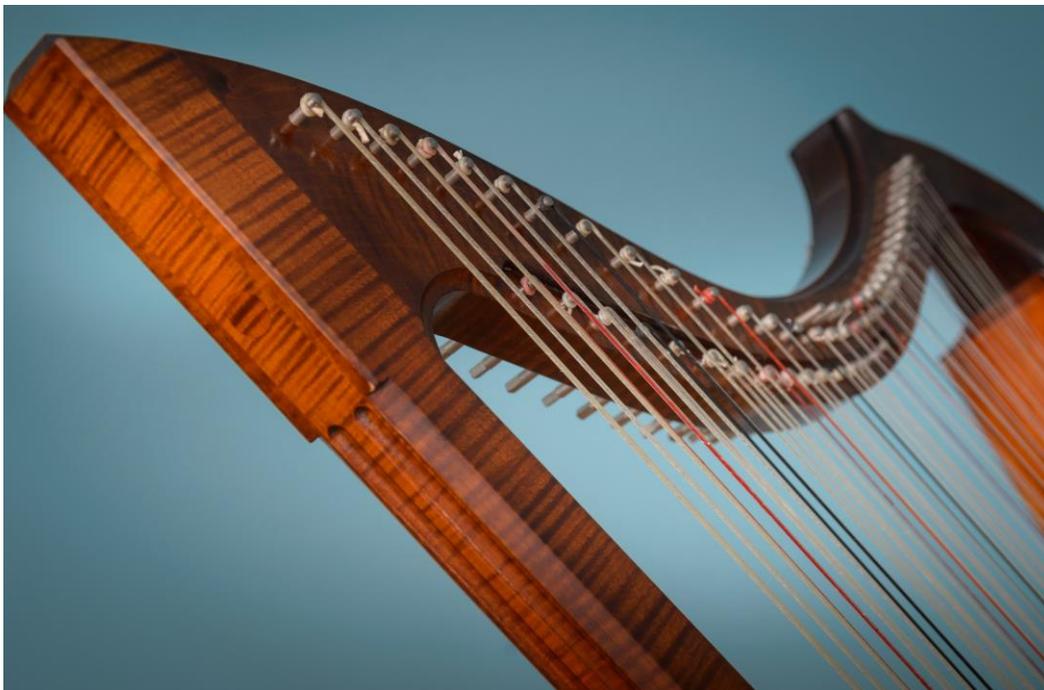


Ilustración 16. Wagenzik, A. Arpa doppia del s. XVI-XVII de André Thureau. [fotografía] Italia.
<https://michaeldollendorf.com/instruments/renaissance-arpa-doppia>



Ilustración 17. Thureau, R. (s.XXI) Arpa barroca en el estilo del s. XVII de nombre Arianna. [Instrumento] Italia <https://thureau-harps.com/harps/arianna/>

Otros tipos de arpas sin pedales

Además de las arpas de palanca, existen muchos otros modelos sin pedales. Este tipo de arpas suelen ser utilizados entre principiantes y presentan tamaños más pequeños, con mecanismos de clavijeros más simples, menor número de cuerdas, menos peso...



Ilustración 18. Thureau, J. (s.XXI) Arpa románica medieval de nombre David inspirada en escultura de autor desconocido. [Instrumento] Italia. <https://thureau-harps.com/harps/david/>



Ilustración 19. Thureau, J. (s.XXI) Arpa románica del s.XII de nombre Compostela. [instrumento] Italia <https://thureau-harps.com/harps/compostela/>

Tipos de arpas según su procedencia geográfica

A pesar de que no todos los tipos de arpa tienen un origen geográfico determinado y actualmente podemos encontrar cualquier modelo de arpa alrededor del planeta, existen algunos modelos típicos de zonas geográficas concretas que han perdurado en el tiempo como elemento específico de la cultura de dicha zona.

Arpa egipcia

En Egipto, la música se consideraba un elemento terapéutico y de comunión con el más allá. El arpa era uno de los instrumentos predilectos de los antiguos egipcios, tal y como atestiguan la gran cantidad de ilustraciones en frescos que se conservan. Este instrumento se empleaba a menudo en los templos para acompañar a la oración en composiciones polifónicas.

Existen variaciones del instrumento musical en cuanto a número de cuerdas y decoraciones, pero el instrumento más conocido de este tipo es el arpa encontrada en la Tumba de Any, un antiguo escriba Real de Atón y Amenothep II (o Amenofis II, séptimo faraón del Antiguo Egipto) (il. 20).



Ilustración 20. Bodsworth, J. (2007) Arpa de la tumba de Any. [instrumento] Museo Británico, Londres <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3804247>

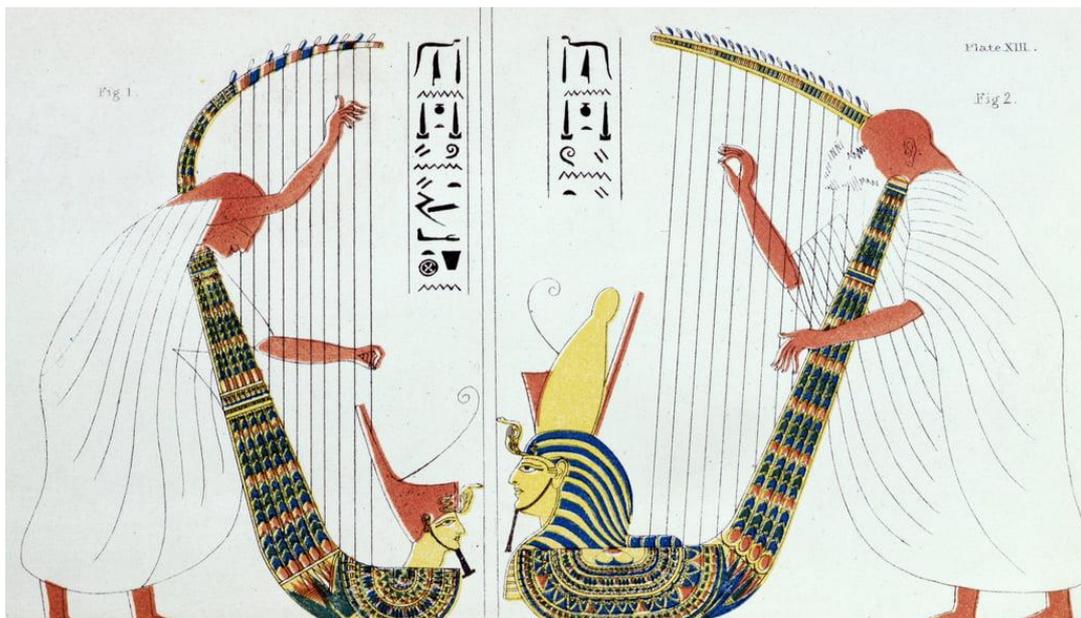


Ilustración 21. Wilkinson, J. G. (1837) Interpretación de un fresco de la tumba real en Tebas que representa a los arpistas, de "Modales y costumbres de los antiguos egipcios" [ilustración] <https://www.meisterdrucke.es/impresion-art%C3%ADstica/John-Gardner-Wilkinson/189372/Interpretaci%C3%B3n-de-un-fresco-de-la-tumba-real-en-Tebas-que-representa-a-los-arpistas%2C-de-%26quot%3BModales-y-costumbres-de-los-antiguos-egipcios%26quot%3B%2C-1837.html>



Ilustración 22. Arched Harp from New Kingdom, (1390-1295 A.C.) [instrumento] Egypt. Dominio público por TheMet. <https://www.metmuseum.org/art/collection/search/546194>

Arpa latinoamericana

El arpa llegó a latinoamérica como consecuencia de las misiones coloniales y los trovadores. El arpa que se extendió por el Nuevo Continente fue el arpa diatónica de una sola cordada, es decir, con una sola fila de cuerdas afinadas en una escala no cromática o de notas “naturales”.

Con el paso del tiempo, este instrumento se fue extendiendo por las diferentes naciones, las cuales utilizaban distintos materiales para fabricarlas según los recursos de más fácil acceso dependiendo de la zona. Además, en ciertas regiones el arpa quedó más arraigada como parte de la identidad cultural, como en Méjico, Venezuela, Colombia o Perú, entre otros.

Arpa Paraguaya

El arpa paraguaya es considerado instrumento nacional y su llegada a Paraguay se remonta al siglo XVI aproximadamente. Esta versión característica del arpa diatónica se diferencia de otros modelos en la posición del nacimiento de las cuerdas en el cabezal. Al contrario que en las arpas clásicas, en este modelo las cuerdas no se sitúan a la izquierda del cabezal, lo cual tiene la ventaja de reducir los esfuerzos y la torsión del cabezal del instrumento.

Este tipo de arpas no requieren de una columna y una caja de resonancia tan fuertes, y tienen un peso bastante menor. El clavijero del arpa paraguaya es muy similar al de una guitarra.



Ilustración 23. Día del Arpa Paraguaya en honor a Félix Pérez Cardozo, 1997. Archivo Última Hora.
<https://www.ultimahora.com/como-el-arpa-paraguaya-logro-alcanzar-un-record-mundial-n2889364>

Arpa africana

Como ya hemos visto, el arco musical puede considerarse el primer instrumento cordófono del que tenemos constancia. África es la cuna de prácticamente toda la civilización moderna y es por ello que tampoco extraña que gran parte de los instrumentos de cuerda más primitivos se originaron en esta zona geográfica.

El arco musical fue dando paso con el paso del tiempo a muchos otros modelos de arpa, de los cuales algunos han conservado la calabaza como caja de resonancia mientras que muchos otros evolucionaron hacia otros mecanismos.

Dentro de las arpas africanas que se conservan hoy en día, podemos hacer una distinción entre arpas arqueadas y arpas rectas.

Entre de las arpas arqueadas encontramos instrumentos como el *A'dungu*, también llamado *Ekidongo* o *Ennenga* (il. 24). este instrumento podemos encontrarlo en zonas del norte de Uganda. Este instrumento utiliza un mástil arqueado, una caja recubierta de cuero tensado y puede tener entre 5 y 10 cuerdas aproximadamente, afinadas en una escala de Sol Mayor (sol-la-si-do-re-fa#-sol)



Ilustración 24. Rwhaun (2017) Eki-dongos [fotografía] <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=61893560>

Por otro lado, el *N'goni* y el *Kora*, son otros dos instrumentos muy similares de mástil recto que poseen normalmente unas diez cuerdas, o 21 en el caso del *Kora* (versión más compleja del *N'goni*) y cuya educación y maestría se transmite por tradición familiar las zonas occidentales de África, principalmente en pueblos de Burkina Faso.

Este instrumento está afinado en una escala pentatónica y sirve habitualmente de acompañamiento al Balafón, instrumento también pentatónico.



Ilustración 25. Nagata Arte africano. N'goni [instrumento] Burkina Faso. <https://angata.net/producto/ngoni-2/>

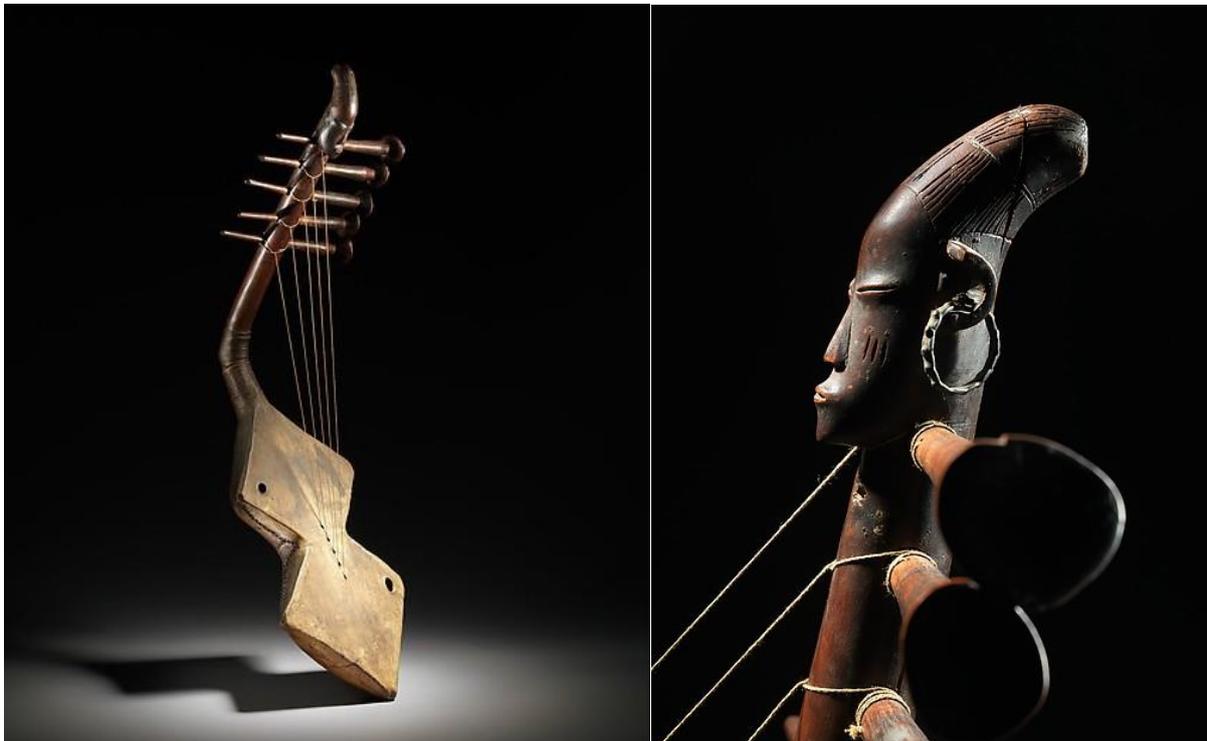


Ilustración 26. Mangbetu. (s.XIX-s.XX) Arpa figurativa de República Democrática del Congo. [instrumento] Museo Metropolitano de Arte, Nueva York, EE. UU. <https://angata.net/producto/ngoni-2/>

Arpa china

Aunque están considerados dentro del grupo de las cítaras, el *Guzheng* (il. 27) o el *Guqin* (una versión más antigua) son instrumentos de cuerda pulsada muy similares a las arpas. El *Guzheng* es un instrumento que está compuesto por una caja de madera de *wu tong* o *Paulownia tormentosa* y entre 21 y 31 cuerdas tensadas sobre ella. El *Guzheng*, además de tener un número mayor de cuerdas, se diferencia del *Guqin* por poseer puentes bajo cada cuerda, dando la oportunidad de crear melodías a un lado mientras que se distorsionan los sonidos en el otro lado para obtener efectos como el vibrato.



Ilustración 27. Flossingjonah. (2020) Instrumento Guzheng. [fotografía] <https://instruments.fandom.com/wiki/Guzheng>

Arpa ucraniana

El término “bandura” se utiliza con frecuencia para referirse a un gran número de instrumentos de cuerda de Europa del Este, pero principalmente se refiere al instrumento de cuerda pulsada tradicional de Ucrania.

Este instrumento tiene características del arpa, la cítara o incluso del laúd. Se toca de una forma similar a la guitarra, pero empleando ambas manos para pulsar las cuerdas tensadas sobre la caja en vez de situar una sobre el mástil.



Ilustración 28. Hayda, J. (2015) Modelo de banduria de Chernihiv. [instrumento]
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=41505896>

Arpa celta

Estas arpas, de raíces gaélicas, típicamente tienen alrededor de un metro de altura y cuentan con aproximadamente 34 cuerdas, aunque también existen versiones más pequeñas con menos cuerdas. Se fabrican con materiales como nogal o caoba, y sus cuerdas suelen ser de alambre. En este tipo de arpas es más frecuente observar motivos simbólicos decorando la caja o el mástil.

Una característica única del arpa celta es su conexión con la mitología y la cultura celta. Según algunas leyendas, el arpa era un símbolo sagrado que tenía poderes mágicos y podía comunicarse con los dioses.

Se sabe que el arpa celta fue utilizada en diversas ceremonias religiosas y rituales, así como en eventos sociales y festivos. Además de su uso en la música, el arpa celta también tenía un significado simbólico y cultural importante para los celtas, y se consideraba un instrumento sagrado en muchas ocasiones.



Ilustración 29. Scarfia, G. (2015) Arpa celta. [fotografía] <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=41505896>

Arpa escocesa

El *Clàrsach* (en gaélico), es un tipo de arpa pequeña, que suele contar con alrededor de diez cuerdas y se fabrica principalmente en latón. Este tipo de arpa tiene una forma triangular bastante reconocible.

Arpa irlandesa

El arpa galesa, siendo muy similar a la escocesa, cuenta con la importancia simbólica de representar una nación entera.

El rey Brian Boru combatió a los Vikingos durante el siglo X, y se dice que era un diestro músico de arpa, además de un gran impulsor de las artes. El arpa de Brian Boru pasó a ser un símbolo nacional. Sin embargo, el arpa más antigua que se conserva, la llamada Arpa de Brian Boru, data del siglo XIV o XV. Es este instrumento el que posteriormente terminó siendo mundialmente conocido gracias a la marca de cervezas Guinness, además de ser símbolo nacional irlandés.

Arpa galesa

El arpa galesa proviene del *telyn*, instrumento utilizado por trovadores y que presenta tamaños considerablemente pequeños. Con el paso de los años, sin embargo, las dimensiones se fueron agrandando y durante la Edad Media fueron surgiendo dos vertientes diferenciadas. Por un lado, aparecieron las arpas románticas, de casi dos metros de altura y de forma curvada, y por otro, el arpa gótica, la cual utiliza líneas rectas.

1.1.4. INSTRUMENTOS MODERNOS Y DISEÑOS ALTERNATIVOS EN LA MÚSICA

En los últimos años, el mundo de la música se ha visto revolucionado por los avances tecnológicos y las nuevas tendencias. Los instrumentos ya no se fabrican únicamente de forma artesanal por parte de luthieres, sino que llevan ya tiempo produciéndose de forma industrial. Los nuevos métodos de fabricación han permitido que se abaraten los costes de manera considerable, haciendo que la música se extienda y esté al alcance de muchas más personas, pero también han tenido sus consecuencias.

La producción en serie conlleva una uniformidad en el diseño que se basa en la optimización del proceso, el tiempo y los costes, pero debido a esto se pierden muchas de las características únicas del mundo de la fabricación artesana de instrumentos.

Hoy en día encontramos instrumentos baratos en el mercado, y muchas veces el consumidor paga por una “puesta a punto” por parte de algún luthier artesano si quiere mejorar la calidad melódica y acabados del instrumento. Sin embargo, aunque estos procesos pueden mejorar de forma considerable el sonido, no consiguen cambiar el diseño base y la estética del instrumento.

En los últimos años, ha surgido un sentimiento individualista y creativo que empuja al inconformismo y el deseo de destacar de forma creativa que también se ha manifestado en el mundo de la música. Por esta causa muchos músicos han comenzado a “tunear” sus instrumentos, modificándolos de diferentes formas en su estética más allá de su funcionalidad.

Arpa eléctrica

Una de las muestras más evidentes de la aplicación de nuevas tecnologías en la música es la implementación de pastillas eléctricas. Estas pastillas eléctricas se extendieron de forma rápida tras la llegada de la guitarra eléctrica, ya que es una tecnología fácilmente aplicable a otros tipos de instrumentos de cuerda.

Una pastilla eléctrica es capaz de percibir las vibraciones de la cuerda y convertirlas en señales eléctricas, que a su vez se pueden modificar, amplificar y distorsionar de forma externa al instrumento, con amplificadores, altavoces, loopers...

La gran ventaja que presentan estas pastillas es muy simple; dejan de necesitarse las cajas de resonancia y se abre la puerta a una mayor versatilidad en los diseños.

Existen dos tipos de pastillas, las magnéticas y las piezoeléctricas.



Ilustración 30. Jacobson, J. (2021) Deborah Henson-Conant tocando arpa eléctrica de fibra de carbono [fotografía]
<https://tendimag.com/2021/12/17/versatilidade-a-harpa-de-deborah-henson-conant/>

A pesar de que existen diversas personas que afirman haber desarrollado el primer prototipo de arpa eléctrica durante la década de los 70 y los 80, uno de los mayores exponentes de este instrumento es la arpista Deborah Henson-Conant, la cual cuenta en uno de sus espectáculos, el camino que siguió para desarrollar su propio instrumento de fibra de carbono junto a su luthier. No se puede relacionar esta idea con una sola fuente, pudiéndose haber llevado a cabo de forma simultánea en diferentes lugares, pero Deborah es indudablemente uno de los mayores ejemplos de creatividad e innovación en los instrumentos en el mundo de la música.

Pastillas magnéticas

Las pastillas eléctricas magnéticas tienen un funcionamiento muy sencillo y están compuestas de una serie de imanes rodeados por una bobina de cobre. Se basan en la aplicación de la ley de Faraday, que explica la corriente inducida que aparece al variar la distancia relativa entre imán y bobina.

Los cables de cobre suelen ir unidos a un control de tono, un control de volumen y a una simple entrada de cable jack, aunque pueden estar directamente conectados al jack, con el cual podemos enchufar un amplificador externo.

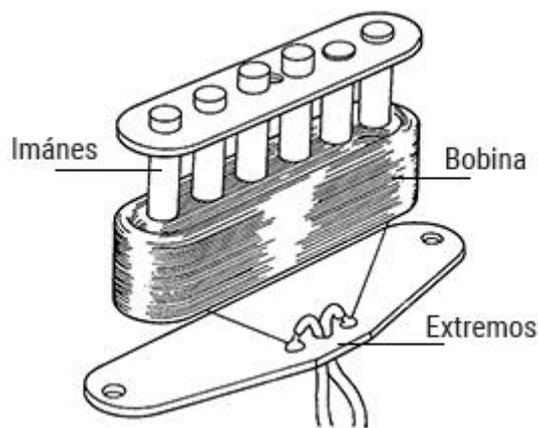


Ilustración 31. Santos Guitars. (2021) Pastilla magnética. [ilustración] https://santosguitars.com/es/smartblog/7_Claves-para-entender-las-pastillas.html

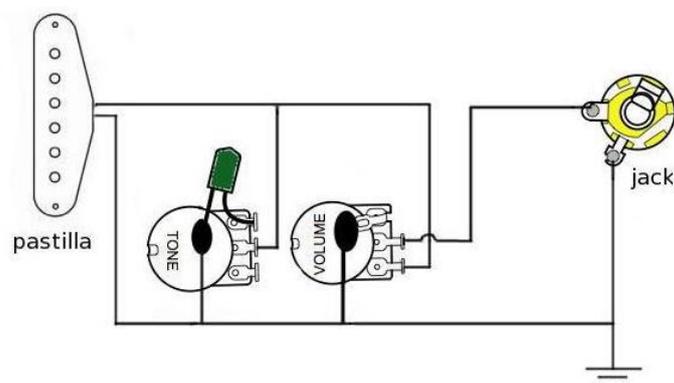


Ilustración 32. Santos guitars. (2021) Circuito y componentes en instrumento con pastilla eléctrica magnética. [ilustración] https://santosguitars.com/es/smartblog/7_Claves-para-entender-las-pastillas.html

Pastillas piezoeléctricas

Las pastillas piezoeléctricas están compuestas por cristales piezoeléctricos que generan una corriente eléctrica cuando son deformados por la presión de las cuerdas del instrumento.

En un material piezoeléctrico, como ciertos cristales, cerámicas y polímeros, los átomos y moléculas están dispuestos de tal manera que, cuando el material se somete a una fuerza externa que lo deforma, los centros de carga positiva y negativa se desplazan ligeramente, generando una diferencia de potencial eléctrico entre sus caras. Este efecto se conoce como efecto directo piezoeléctrico.

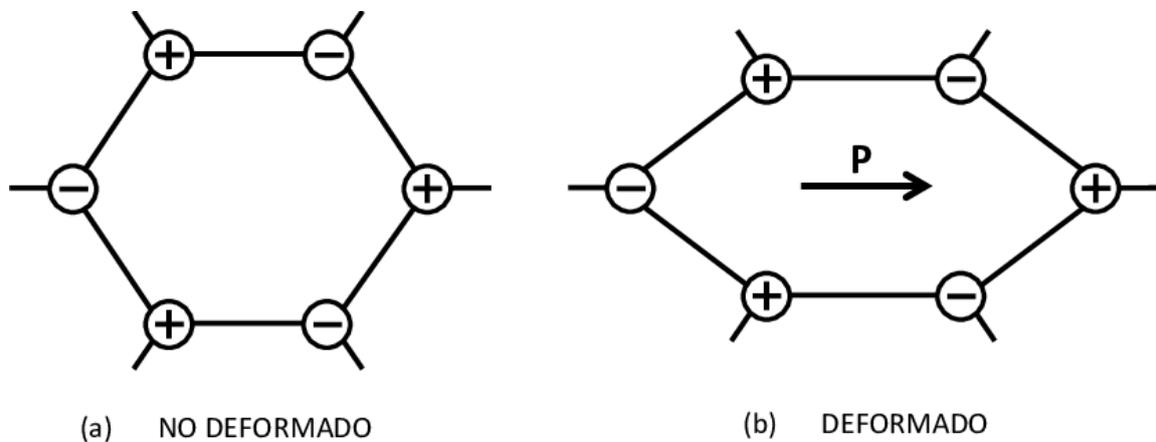


Ilustración 33. Ortega Braña, G. (2016) Deformación de un material piezoeléctrico. [Ilustración]

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/62408/Ortega%20-%20OPTIMIZACI%C3%93N%20DE%20LA%20ACTIVACI%C3%93N%20EL%C3%89CTRICA%20Y%20DE%20LA%20RESPUESTA%20PIEZOEEL%C3%89CTRICA%20DE%20POL%C3%8DMEROS%20ES....pdf?sequence=1>

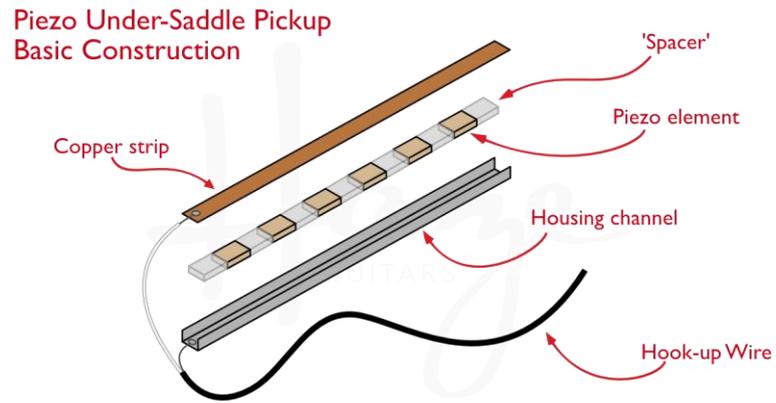


Ilustración 34. Hayes, G. Diagrama de las partes de una pastilla piezoeléctrica [ilustración] <https://hazeguitars.com/blog/acoustic-power-the-magic-of-piezoelectricity>



Ilustración 35. Guitar Wiring (2018) Fishman acoustic Matrix UST. [fotografía] <https://hazeguitars.com/blog/acoustic-power-the-magic-of-piezoelectricity>

I.2. DISEÑO DE ARPA CELTA

1.2. DISEÑO DE ARPA CELTA	56
1.2.1.PRESENTACIÓN DEL PROYECTO	58
NATURALEZA DEL PROYECTO	58
JUSTIFICACIÓN DE DISEÑO	58
ANTECEDENTES	59
HARPE	59
Salvi	60
NEVELTEC	61
FREMER HARFEN	62
1.2.2.BÚSQUEDA DE SOLUCIÓN	63
Naturaleza y música:	63
Dragones	65
Breve introducción a la historia de los dragones	67
DRAGONES EN LA ACTUALIDAD	73
El dragón como instrumento	76
1.2.3.ERGONOMÍA	79
Dimensiones necesarias para una correcta ergonomía:	79
Posición del cuerpo al tocar en relación con el instrumento:	80
Lesiones más comunes entre arpistas:	80
Consideraciones ergonómicas a la hora de diseñar un arpa:	81
1.2.4.DIMENSIONES SEGÚN REQUISITOS TÉCNICOS Y ERGONÓMICOS	81
1.2.5.DESCRIPCIÓN FINAL DEL DISEÑO	83
1.2.6.DETALLES CONSTRUCTIVOS	85
Cuerdas	85
Clavijas	87
Palanca	89
Anclajes en la base	90
Pastilla piezoeléctrica, circuito y salida de jack	92

1.2.7.MATERIALES _____	93
Cuerdas _____	93
Cuerpo del arpa _____	95
Clavijas, tornillos y palancas _____	96
Latón _____	96
1.2.8.INGENIERÍA DE PROCESOS _____	97
PROCESOS DE FABRICACIÓN _____	97
DIAGRAMA DE PROCESOS _____	100
1.2.9.IMÁGENES FINALES _____	105

I.2.1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

NATURALEZA DEL PROYECTO

Se busca el diseño de un arpa eléctrica en su totalidad, aplicando los conocimientos investigados sobre los requisitos técnicos para los instrumentos musicales, los antecedentes culturales y los datos concretos de interés investigados para la inspiración.

JUSTIFICACIÓN DE DISEÑO

En la música actual, hay una tendencia creciente hacia la personalización y la individualidad en el ámbito de los instrumentos. Los músicos están buscando formas de destacar y expresar su identidad artística a través de instrumentos personalizados y únicos. Esto puede incluir la modificación de instrumentos tradicionales para adaptarlos a sus necesidades específicas, la creación de instrumentos completamente nuevos o la incorporación de tecnología para ampliar las capacidades sonoras.

Además, muchas orquestas han incorporado en su repertorio arreglos de música popular, adaptando canciones famosas de diferentes géneros como el pop, el rock o el hip-hop para ser interpretadas por una orquesta sinfónica. Esto amplía el alcance de la música clásica y atrae a audiencias más jóvenes y diversas.

Otra propulsora importante de esta nueva tendencia es la música de películas y videojuegos, que a menudo incorpora elementos de la cultura popular. Las bandas sonoras se han convertido en un elemento importante en el repertorio de muchas orquestas. Interpretar esta música en conciertos en vivo proporciona una experiencia inmersiva para el público y destaca la conexión entre la música y otras formas de arte. Algunas orquestas han creado proyectos multimedia que combinan música en vivo con elementos visuales y narrativos inspirados en la cultura popular. Estos espectáculos pueden incluir proyecciones de películas, animaciones, actuaciones teatrales o arte digital, creando experiencias multidisciplinarias que atraen a una amplia variedad de audiencias.

ANTECEDENTES

ESTUDIO DE MERCADO

En el mundo de la música contemporánea, las arpas electroacústicas modernas han surgido como una fusión innovadora entre la tradición centenaria del arpa y la tecnología de vanguardia. Estas arpas, equipadas con sistemas electrónicos que amplifican y manipulan su sonido, ofrecen a los intérpretes una gama ampliada de posibilidades sonoras y expresivas.

En el mercado actual podemos encontrar gran variedad de productos diferentes, con distintos tamaños, materiales y gamas de calidad. A continuación, se presentan algunos modelos existentes en el mercado actual más representativos.

HARP-E

Modelo Plug&Play

Precio: 1395,00 €

Dentro de las opciones más asequibles que podemos encontrar en arpas electroacústicas de tamaño mediano está la marca Harp-E, con modelos de arpa diseñados con madera, con opción de conectar a un amplificador, y con distintos modelos que permiten al comprador montar las diferentes piezas en casa.



Ilustración 36. Modelo Plug&Play de Harp-E. 2024. <https://www.harp-e.com/products/plug-play>

Salvi

Modelo SALDEL-ESS Delta Ebony

Precio = 4768,00 €

La casa Thomann comercializa diferentes modelos de arpas, entre ellos este de la marca Salvi, fabricado en fibra de carbono. Esta arpa de alta gama es de tamaño similar a un arpa celta e incluye accesorios como el apoyo, una bolsa de transporte, un asa para colgarla y ofrece también la posibilidad de conectar el instrumento y regular el volumen y brillo del sonido con un sistema integrado.



Ilustración 37. Harpa SALDEL- ESS Delta Ebony. Salvi. 2017.

https://www.thomann.de/es/salvi_delta_electric_harp.htm?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwuJ2xBhA3EiwAMVjkVCpxUf_yBW-M_dqwJJ3_N4Lih95pPLNSCdnjka7woN-jewH_FMtKxoCAiIQAvD_BwE

NEVELTEC

Modelo Ultra Light

Precio = 9759,34 €

Dentro de las arpas de alta gama, incluyendo distintos accesorios, en fibra de carbono y con un tamaño ligeramente más grande, encontramos el modelo Ultra Light de Neveltec. Esta arpa cuenta con 34 cuerdas y un sistema piezoeléctrico patentado en cada una de ellas. El conjunto del arpa pesa solamente unos 4 kilos, haciéndola uno de los modelos más ligeros de arpa que existen actualmente en el mercado.



Ilustración 38. Modelo Ultra Light de harpa Neveltec. 2024. <https://neveltec.com/>

FREMER HARFEN

Modelo Electric Luna

Precio = 2940,00 €

Con también 34 cuerdas (C2-A6) y un tamaño compacto de 78 x 55 centímetros, el modelo Luna de la marca alemana Fremer Harfen es un arpa en formato de viaje, con un peso ligero de menos de 6 kilos.



Ilustración 39. Fremer Harfen (2022) Modelo Electric Luna de Fremer Harfen. [instrumento] <https://www.travel-harp.com/>

1.2.2. BÚSQUEDA DE SOLUCIÓN

Tal como se ha visto previamente, los instrumentos musicales presentan muy frecuentemente elementos decorativos inspirados en la naturaleza, como las plantas, y los animales. Además, como en cualquier otra muestra de expresión artística, los instrumentos muestran relación con elementos culturales del lugar y la época en que se encuentran, especialmente con conceptos como la religión y la mitología. Las arpas no son una excepción.

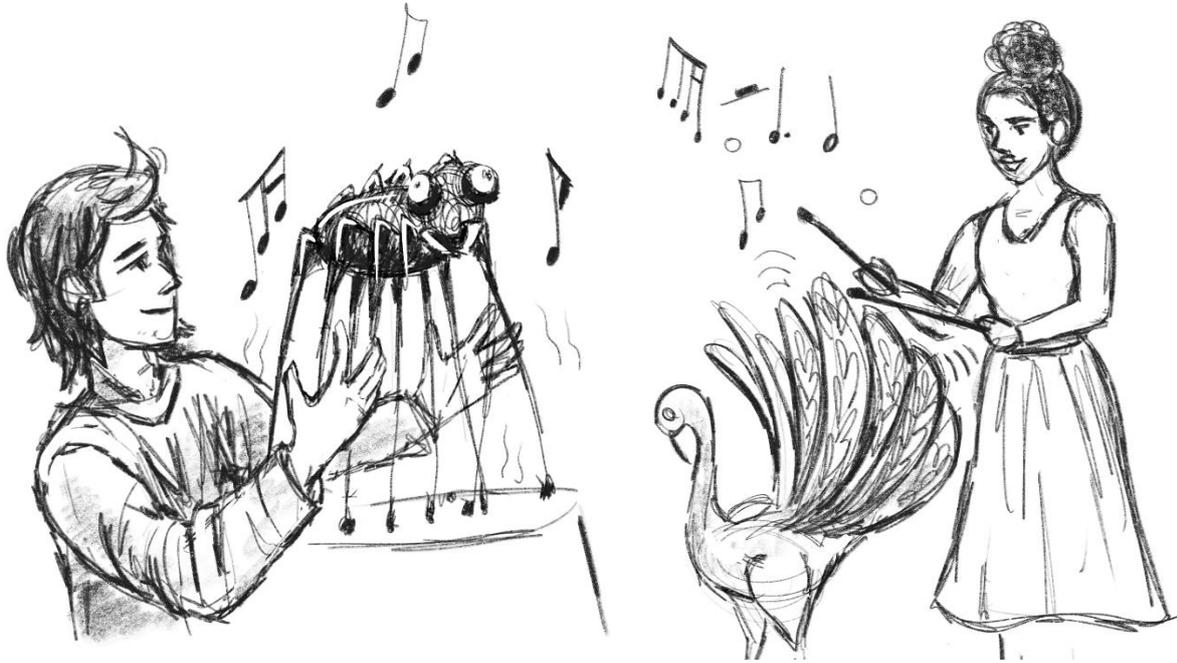
Teniendo en mente el objetivo de llegar a un diseño que resultara innovador y diferente, se comenzó el proceso creativo con una serie de bocetos que exploraran algunas de las ideas estudiadas en los apartados de investigación.

Naturaleza y música:

El animal como instrumento

Bocetos de elaboración propia:





Comenzando con el concepto de naturaleza para la inspiración de instrumentos, se llevan a cabo algunos bocetos que exploran las posibilidades de relacionar animales con la música, de la forma en que aparece el toro durante la antigua Mesopotamia en las Liras de Ur (il. 3, pág 21), el ser humano en el arpa de la Tumba de Any (il. 20, pág. 38) en Egipto.

Los animales son una fuente inagotable de ideas para la creación de instrumentos, con conceptos como “el canto de las ballenas”, y haciendo uso de su anatomía única con el espiráculo, viene a la mente de forma casi inmediata una flauta. Por otro lado, si observamos su apariencia de una forma más directa, las arañas, con sus largas patas y sus redes, nos pueden recordar a los instrumentos de cuerda, del mismo modo que las diferentes plumas de un ave pueden llevarnos a pensar en un xilófono. Al mismo tiempo, si añadimos un toque de fantasía y abstracción, un coro de ranas cazando libélulas al vuelo, se convierte de pronto en una batería.

Los animales, como hemos visto, son una perfecta fuente de inspiración, pero precisamente por esto, existen ya diversas muestras de arpa con figuras de esta clase, y contradice el deseo de crear un instrumento único y diferente en su esencia.

Con esto en mente, y tras observar la obra de Thureau al reconstruir el arpa románica “Compostela” (il. 19, pág 37), la cual muestra una figura demoníaca, recordando a aquella de una gárgola, surge la idea de abandonar los animales reales y explorar animales mitológicos. Buscando una muestra de ser mitológico que resultara reconocible, interesante y tuviera suficiente relación con la cultura y el arte, una idea apareció de forma instantánea; el dragón.

Dragones

Bocetos de elaboración propia:





Breve introducción a la historia de los dragones

DRAGÓN ASIÁTICO



Ilustración 41. Halun, J. (2009) Fragmento del mural de los nueve dragones en la ciudad prohibida. [fotografía] Pekín, China. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9090153>

En China

El dragón es un elemento importante de la cultura china y está compuesto por partes de nueve animales distintos; ojos de langosta, cuernos de ciervo, bigotes de bagre, melena de león, cola de serpiente, morro de camello, nariz de perro, escamas de pez y garras de águila. En algunas representaciones se le añaden alas de murciélago, pero de forma general el dragón se representa sin alas a pesar de mantener su habilidad de volar.

La teoría de tótem propone que el origen del dragón proviene de la costumbre de añadir en el escudo de armas los símbolos de cada uno de los pueblos conquistados.

El dragón se asocia en la cultura china de forma constante con el agua, especialmente con los cuerpos de agua en movimiento como ríos o cascadas. Esta relación hace que se

asocie de forma habitual con eventos atmosféricos. Por otro lado, el dragón se utiliza también como símbolo imperial, por lo que va estrechamente relacionado con el poder y la fuerza.

En Japón

El dragón en Japón se muestra como una representación de la fuerza y la justicia, y está profundamente influenciado por el dragón proveniente de otras partes de Asia, como China. Este dragón japonés se muestra con una forma muy similar, con un cuerpo de serpiente, cuernos, bigotes y patas terminadas en garras. De igual forma se sigue relacionando de forma directa con el agua y elementos acuáticos.



Ilustración 7. Utsushi-e, H. I. (1860) El dragón de la serie *Ilustraciones Modernas de preceptos budistas*. [cuadro].

Dominio público:

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=624802>



Ilustración 8. Jin, S. (2008) Escultura de dragón japonés. [fotografía]

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=53403044>

DRAGÓN EUROPEO

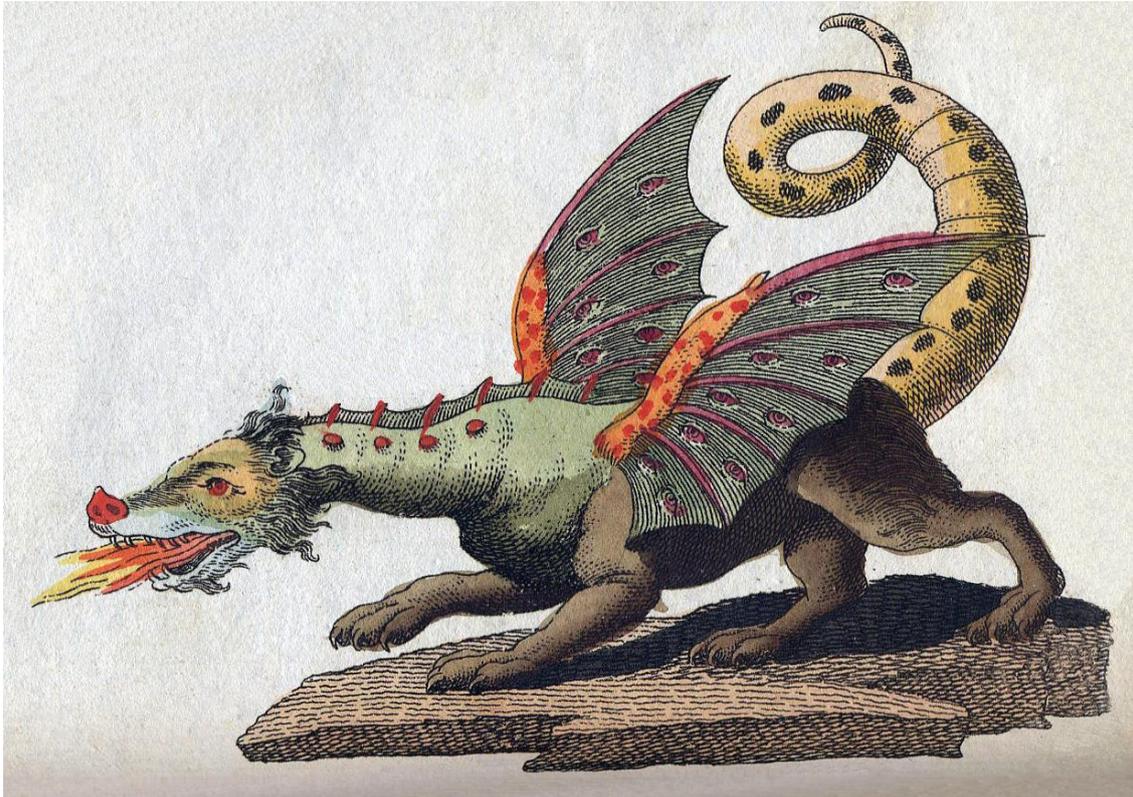


Ilustración 42. Bertuch, F. J. (1806) Ilustración de un dragón alado. [dibujo]
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=23651242>

Dragones en la mitología griega y la Edad Media

La palabra dragón proviene del latín *draco*, que a su vez viene del griego *δράκων*, la cual significa serpiente o dragón.

En la Antigua Grecia aparecen en numerosas ocasiones menciones a enormes serpientes monstruosas, como la Hidra de Lerna.

En la *Teogonía*, Hesíodo menciona ya la figura del dragón dentro de la mitología griega en diferentes ocasiones, una de ellas es su descripción de la Quimera; “Tres eran sus cabezas: una de león de encendidos ojos, otra de cabra y la otra de serpiente, de violento dragón.” (Hesíodo, 700 a.C., p.6). Utiliza también la figura del dragón de forma similar en su descripción del titán Tifón, del cual nació el dragón que mataría Heracles para conseguir las manzanas doradas, y que fue inmortalizado por Hera en el cielo nocturno, cerca del polo Norte.

La figura del dragón ha evolucionado a lo largo de la historia y ha adoptado innumerables variantes en su representación.

Dragones de Latinoamérica

En Latinoamérica también encontramos numerosas leyendas sobre seres y dioses con formas serpentina.

Quetzalcóatl es una deidad importante en la mitología mesoamericana, especialmente entre los aztecas y los mayas. Representa al dios serpiente emplumada, asociado con la creación, el conocimiento, la sabiduría y el ciclo agrícola. Su figura es central en diversas leyendas y tradiciones.

Dragón en España

En la península ibérica también podemos encontrar una gran cantidad de mitos y leyendas sobre este tipo de criaturas como el *culebre* asturiano, el dragón de Oroel en Jaca, el *drac de Sant Celoni* en Barcelona o el *drac de na Coca* en Mallorca, el dragón Ladón que custodiaba el jardín de las Espérides (las Islas Canarias) y muchas otras originadas durante la Edad Media.

Con la llegada del cristianismo a Europa, la leyenda de estos seres mitológicos que habían ido evolucionando desde la antigüedad desde las serpientes monstruosas y mezclándose con la idea ancestral del dragón asiático, entre otros, fue tomando un simbolismo diabólico. El cristianismo proponía una división clara entre el bien y el mal que se extendió de forma atractiva entre los aldeanos de la época, utilizando muchos de los mitos paganos preexistentes para continuar su narración de la encarnación del mal, en especial todos aquellos que tuvieran relación con la serpiente. El dragón abandonó los complejos matices simbólicos que poseía para convertirse en una representación más de Satanás.



Ilustración 43. Ucello, P. (1456-1460) San Jorge y el dragón. [cuadro] Museo Jacquemart-André, París.
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5037936>

Dragones anglosajones

En la mitología nórdica encontramos a la gran serpiente Jormungandr, la cual rodea la tierra desde el fondo del mar y la serpiente Nidhoggr, que rodea una de las raíces del Yggdrasil.

Dragón celta

El origen exacto de los dragones en la mitología celta no está claramente definido, ya que muchas de estas historias se transmitieron oralmente durante siglos antes de ser registradas por escrito. Sin embargo, como en la mayoría de las culturas de la zona europea, se cree que las representaciones de dragones en la mitología celta pueden haber sido influenciadas por las creencias pre-célticas en serpientes y otros animales míticos.

Uno de los dragones más famosos en la mitología celta es el Dragón de Cadwaladr, que aparece en la leyenda galesa de Lludd y Llefelys. Otro dragón destacado es el Dragón Rojo de Gales, que es un símbolo nacional de Gales y a menudo se asocia con el rey Arturo y otros héroes de la mitología británica.

En algunas historias celtas, los dragones son retratados como guardianes de tesoros o de conocimientos sagrados.

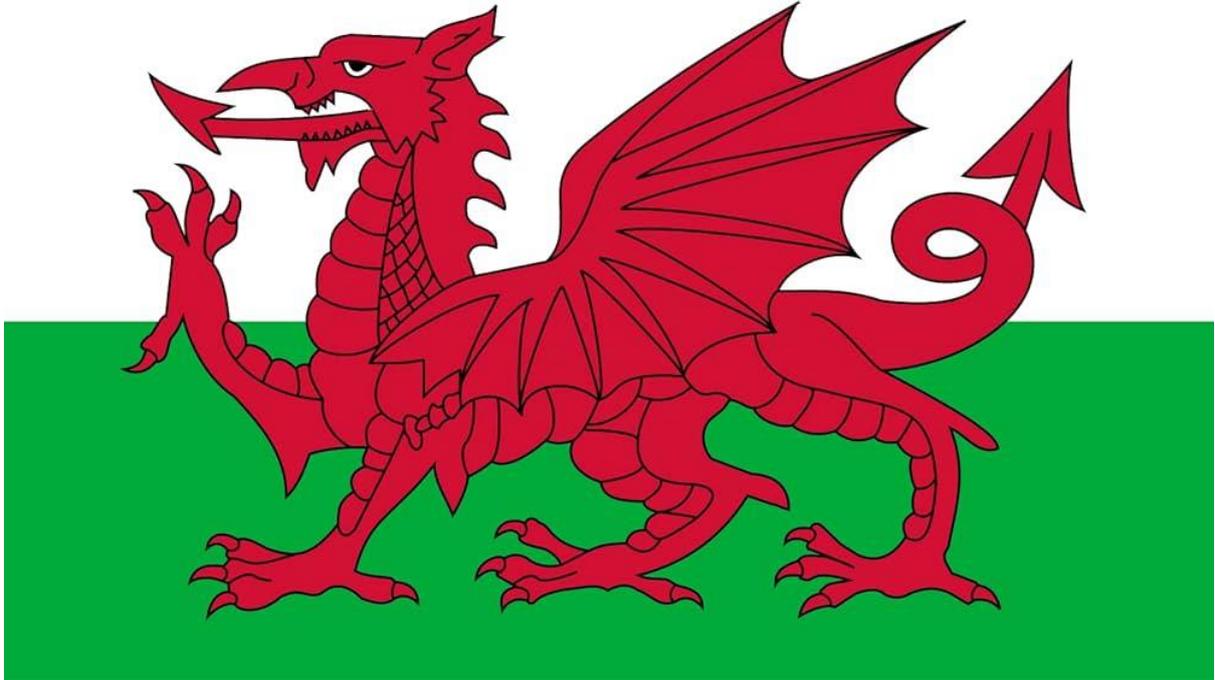


Ilustración 44. Jakobs, T. Ilustración de la bandera de Gales. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=355609>

DRAGONES EN LA ACTUALIDAD

El resurgimiento del dragón como icono en la cultura popular en los últimos años ha sido notable, y se debe en parte a su capacidad para evocar un sentido de fantasía, poder y misterio.

Películas como la serie "Cómo entrenar a tu dragón" de DreamWorks han presentado a estas criaturas de manera amigable y compleja, explorando la relación entre humanos y dragones. Además, la serie de televisión "Juego de Tronos" destacó la presencia de dragones como símbolos de poder y cambio en la trama.



Ilustración 45. Benioff, D. Weiss, D. B. (2011-2019) Juego de Tronos. [fotograma]
https://as.com/meristation/2018/06/29/betech/1530291401_128428.html

La literatura fantástica ha continuado utilizando dragones como elementos centrales en historias épicas. Por ejemplo, en la saga "El Hobbit" de J.R.R. Tolkien, con el dragón Smaug, en novelas como "Eragon" de Christopher Paolini, o la nueva saga "Alas de sangre" de Rebecca Yarros.



Ilustración 46. Fangmeier, S. (2006) Eragon. [fotograma] <https://es.ign.com/eragon-theater/183053/news/disney-suma-mas-efectivos-a-su-catalogo-de-fantasia-y-anuncia-una-serie-de-eragon>

Muchos videojuegos como "The Elder Scrolls" y "Dark Souls" han incorporado también dragones como enemigos formidables o aliados poderosos. En el arte y el diseño encontramos incontables muestras de la figura del dragón utilizada como decoración, logo o inspiración.



Ilustración 47. Logo de la marca MSI. Trabajo propio.



Ilustración 48. Colom, B. (2024) Azulejo decorativo. Fornalutx, España.

Por otro lado, muchas bandas de música han adoptado la figura del dragón en sus letras y estética. Por ejemplo, la banda de rock Imagine Dragons lleva el nombre de esta criatura mítica y a menudo hace referencia a ella en sus canciones y arte de álbumes.

Además de esto, 2024 es el año del dragón según el horóscopo chino, algo que sucede únicamente cada doce años y que ha influido en el resurgimiento de esta figura mitológica en la cultura popular alrededor de todo el mundo.



Ilustración 49. Cohen, R. (1996) Dragonheart. [fotograma] <https://poniendostrellitas.wordpress.com/2020/06/04/dragonheart-%E2%98%86%E2%98%86%E2%98%86/>

El dragón como instrumento

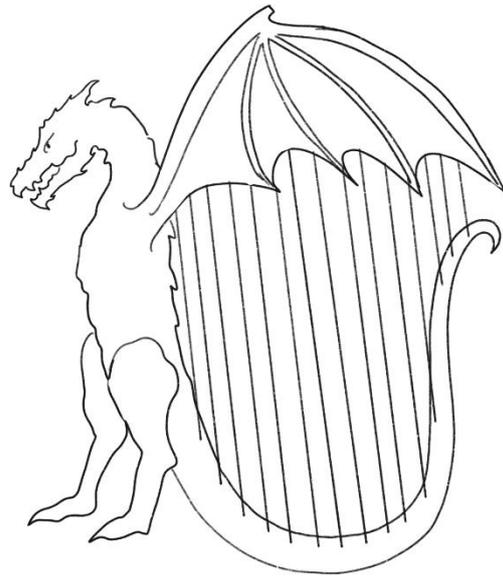
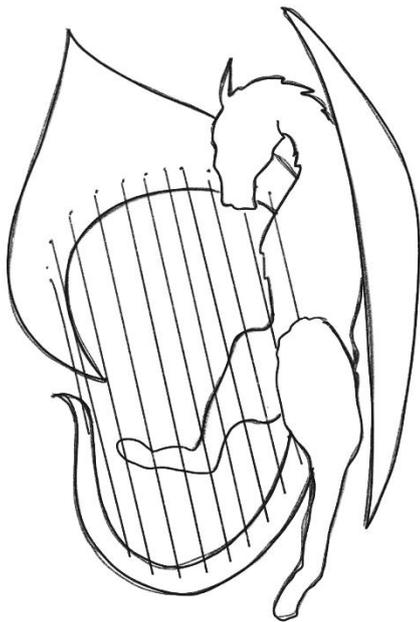
Tras explorar la figura del dragón en los apartados anteriores, llegamos a las siguientes conclusiones que nos ayudarán a completar el diseño del instrumento:

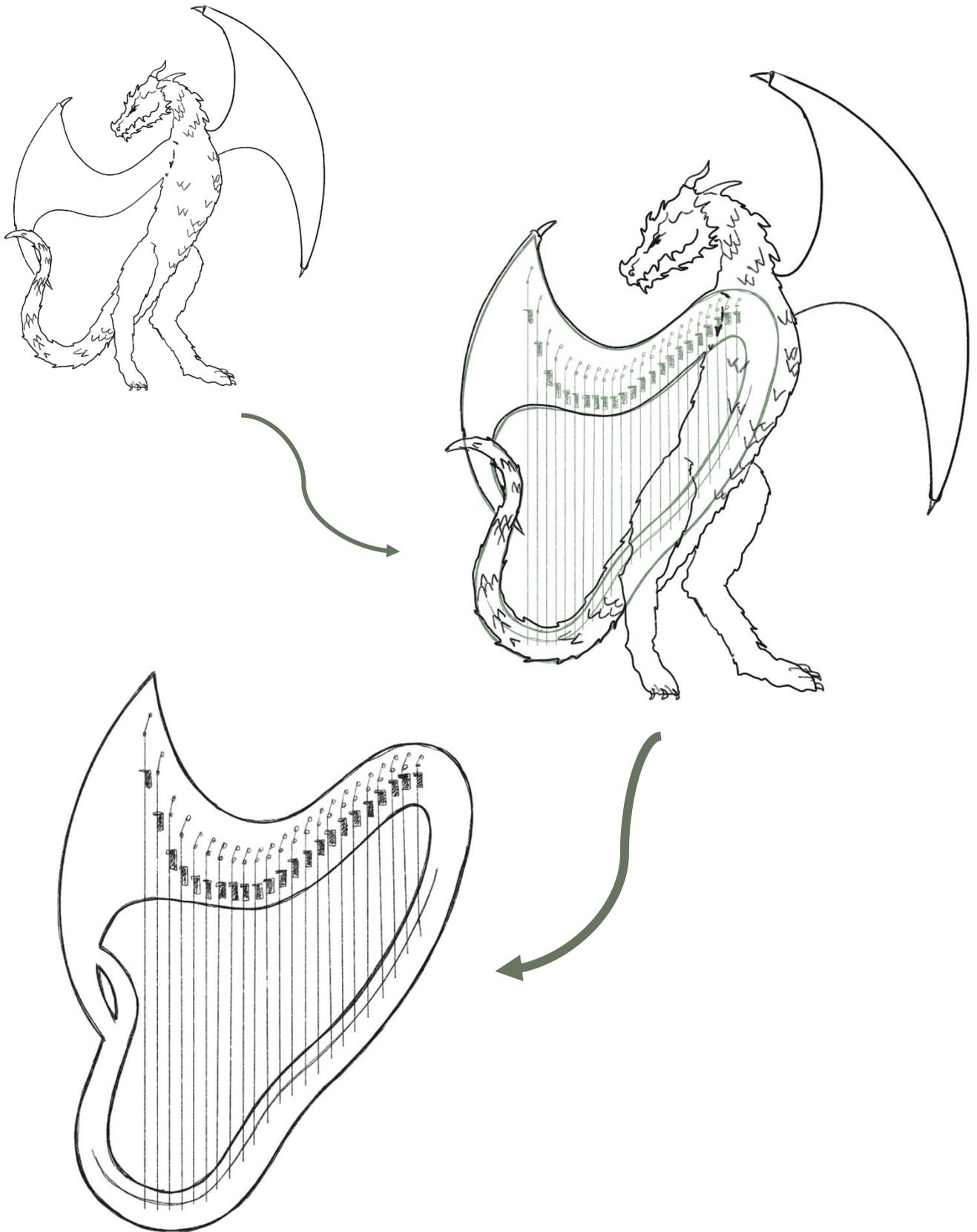
- El dragón es una figura legendaria que trasciende culturas y geografías, presente en mitologías de diversas civilizaciones, desde el dragón chino al wyvern europeo, y se asocia con el conocimiento, la fuerza y la fantasía.
- Aunque su representación varía y es versátil, suele ser reptiloide, con escamas, garras y alas membranosas. Su anatomía exhibe líneas curvas que sugieren elegancia o líneas angulares para expresar ferocidad.
- Los colores más comunes son rojo, verde, azul y negro, con significados simbólicos como poder y naturaleza.

A continuación, lo único que queda es la unificación de los conocimientos sobre las formas y la construcción de las arpas con el dragón, su anatomía, simbología, colores y todo aquello que se ha estudiado, tratando de llegar al diseño de un instrumento atractivo.

Bocetos de elaboración propia:







1.2.3. ERGONOMÍA

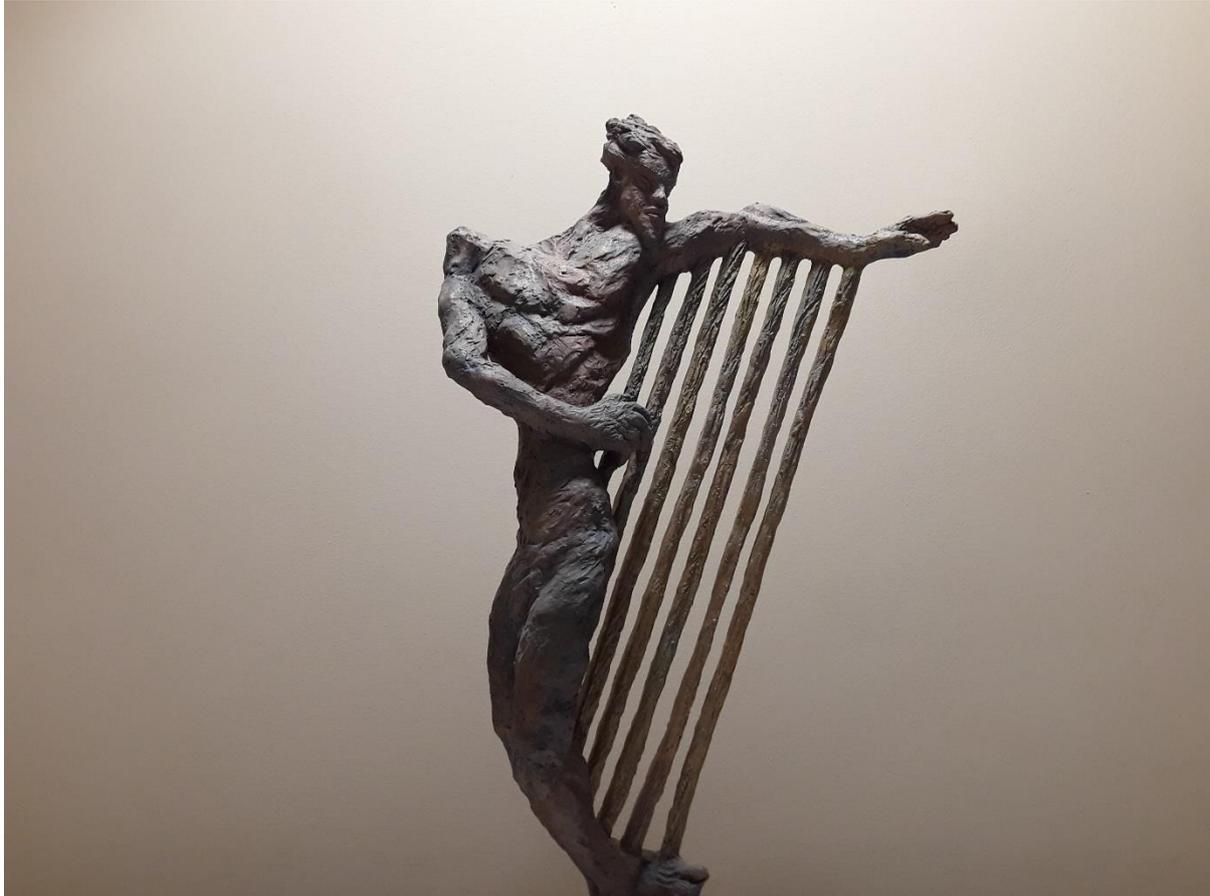


Ilustración 50. Solares, J. El arpista. [escultura] España <https://www.smellslieart.org/es/autor/Solarescultura>

La ergonomía de un arpa es un aspecto crucial para los arpistas, ya que tocar este instrumento requiere una postura específica y movimientos repetitivos que pueden afectar la salud y el rendimiento del músico. Aquí hay algunos puntos importantes a considerar:

Dimensiones necesarias para una correcta ergonomía:

Altura del arpa: El arpa debe tener una altura adecuada para que el arpista pueda acceder fácilmente a todas las cuerdas sin tensión excesiva en los brazos o la espalda.

Distancia entre cuerdas: Las cuerdas deben estar espaciadas de manera que el arpista pueda alcanzarlas cómodamente sin necesidad de estirar excesivamente los dedos.

La distancia entre cuerdas en un arpa celta puede variar según el diseño del instrumento y las preferencias del músico, pero generalmente es más amplia que en un arpa clásica o de pedal. En un arpa celta típica, la distancia entre cuerdas puede variar, siendo más estrecha en la parte superior y más ancha en la inferior, pero suele estar alrededor del centímetro y medio. Esta medida se ajusta para permitir un acceso cómodo y preciso a cada cuerda, facilitando la ejecución de diferentes técnicas y acordes, así como para prevenir lesiones relacionadas con la tensión excesiva en las manos y los dedos durante la interpretación.

Anchura del arpa: La distancia entre las cuerdas y el tamaño del arpa en general deben ser apropiados para la comodidad del arpista y para permitir una postura relajada.

Posición del cuerpo al tocar en relación con el instrumento:

Postura erguida: El arpista debe sentarse con la espalda recta y los hombros relajados para evitar tensiones musculares.

Posición de los brazos: Los brazos deben estar ligeramente extendidos hacia adelante y los codos deben estar relajados y cerca del cuerpo para permitir movimientos fluidos.

Posición de las manos: Las manos deben estar en una posición natural y relajada, con los dedos curvados sobre las cuerdas y las muñecas en una posición neutra para evitar lesiones por esfuerzo repetitivo.

Lesiones más comunes entre arpistas:

Tendinitis: La repetición constante de movimientos puede provocar inflamación y dolor en tendones y músculos.

Dolor de espalda: Una postura incorrecta o el uso de un arpa mal diseñado pueden causar tensión en la espalda baja y los hombros.

Lesiones en las manos y muñecas: La tensión excesiva en las manos y muñecas puede causar lesiones como el síndrome del túnel carpiano o la epicondilitis lateral (codo de tenista).

Consideraciones ergonómicas a la hora de diseñar un arpa:

Peso del arpa: El arpa debe ser lo suficientemente ligera como para transportarla y manejarla fácilmente, pero lo suficientemente estable como para mantenerse en su lugar mientras se toca. Los materiales utilizados en la construcción del arpa deben ser duraderos pero livianos para minimizar la tensión en el músico.

Diseño del cuerpo del arpa: La forma y el tamaño del cuerpo del arpa deben permitir una postura cómoda y una buena accesibilidad a todas las cuerdas.

1.2.4. DIMENSIONES SEGÚN REQUISITOS TÉCNICOS Y ERGONÓMICOS

Espacio cuerdas:

Teniendo un total de 23 cuerdas, y sabiendo que cada una de ella debe tener una separación de al menos unos 15 milímetros, con una sencilla multiplicación podemos obtener la dimensión mínima horizontal que tendrá el espacio de cuerdas de nuestra arpa.

$$22 \times 17 \text{ mm} = 369 \text{ mm}$$

Espacio vertical:

En cuanto al espacio vertical, las dimensiones dependen de factores diferentes. Por un lado, hemos de tener en cuenta el largo de cada cuerda, no solo hasta la clavija, sino la distancia entre esta y la palanca, y de la palanca al anclaje inferior. Por otro lado, se ha de tener en cuenta que las cuerdas no se sitúan en una posición totalmente vertical, sino que se encuentran inclinadas en un ángulo.

Se ha de tener en cuenta que el grosor de las cuerdas no es constante y que la separación entre los centros de estas no será constante. Las cuerdas más graves tienen un mayor diámetro, por lo que la separación entre clavijeros de estas cuerdas será mayor para que se cumpla la distancia mínima entre cuerdas. Siguiendo esta norma, a medida que los hercios aumentan, las cuerdas se reducen de diámetro y la distancia entre clavijeros se puede ir reduciendo de forma proporcional.

En este caso observamos que la cuerda más corta tendrá una longitud de 153 milímetros, mientras que la más larga medirá 603 milímetros. Además, en un arpa clásica, la inclinación habitual de las cuerdas con respecto a la vertical de la columna es de unos 30°.

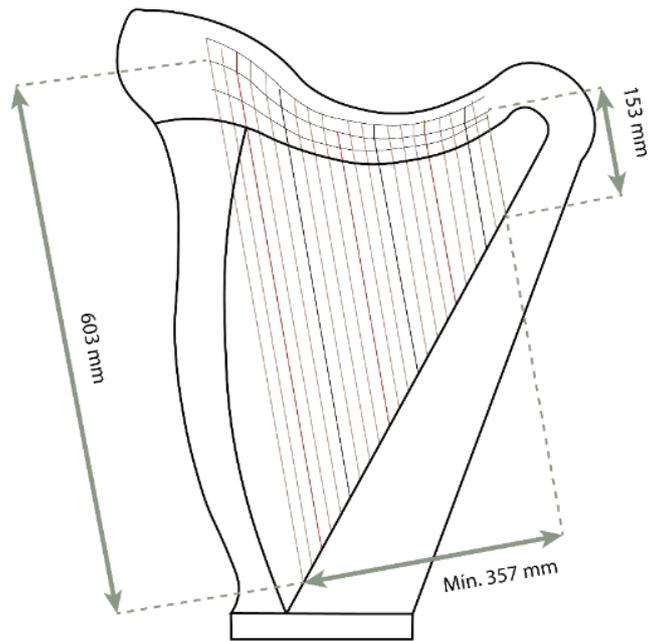


Ilustración 51. Dimensiones principales requeridas según el tamaño de las cuerdas. Trabajo propio.

1.2.5. DESCRIPCIÓN FINAL DEL DISEÑO

Se trata de un arpa de tamaño pequeño, inspirada en los modelos de arpa celta en cuanto a su tamaño y número de cuerdas, reduciendo al máximo las dimensiones al eliminar la caja de resonancia y añadir un sistema de pastilla piezoeléctrica.

Se han tenido en cuenta las influencias culturales en cuanto a estilos musicales tocados más habituales en este tipo de arpas, los requisitos melódicos y técnicos que estos presentan para crear un instrumento versátil. Se toma como inspiración la figura mitológica del dragón, con sus formas serpentinadas, sinuosas y las alas de “murciélago”.

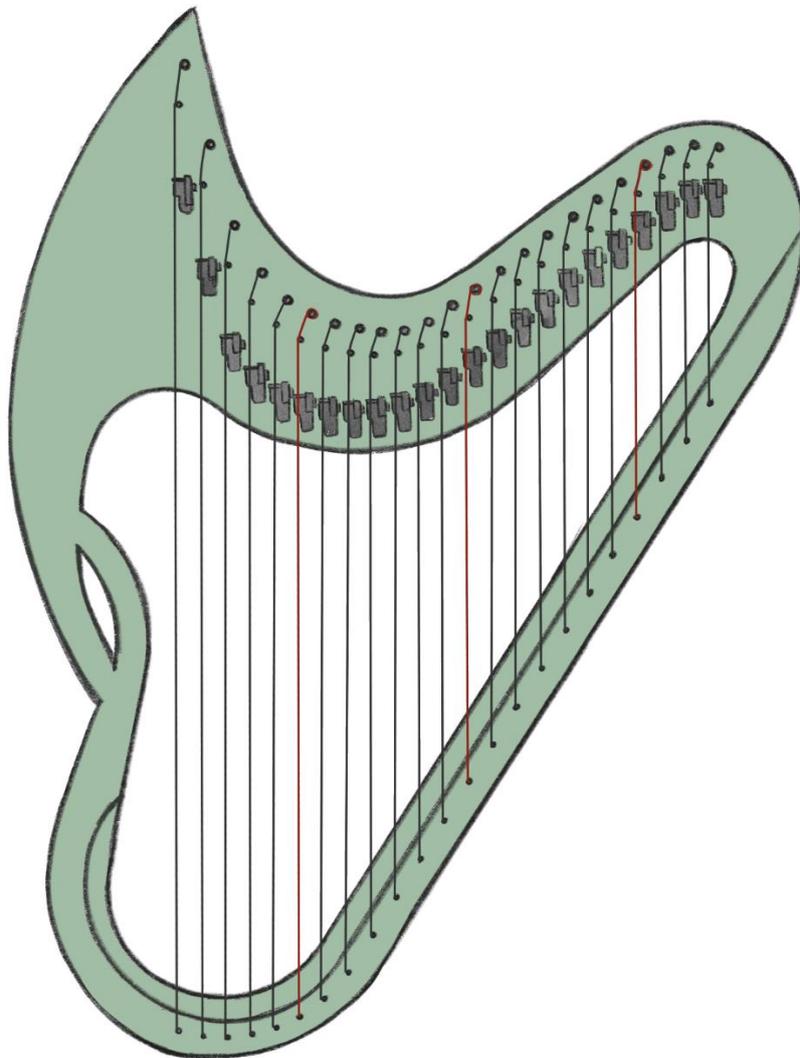


Ilustración 52. Boceto del alzado del instrumento final. Trabajo propio.

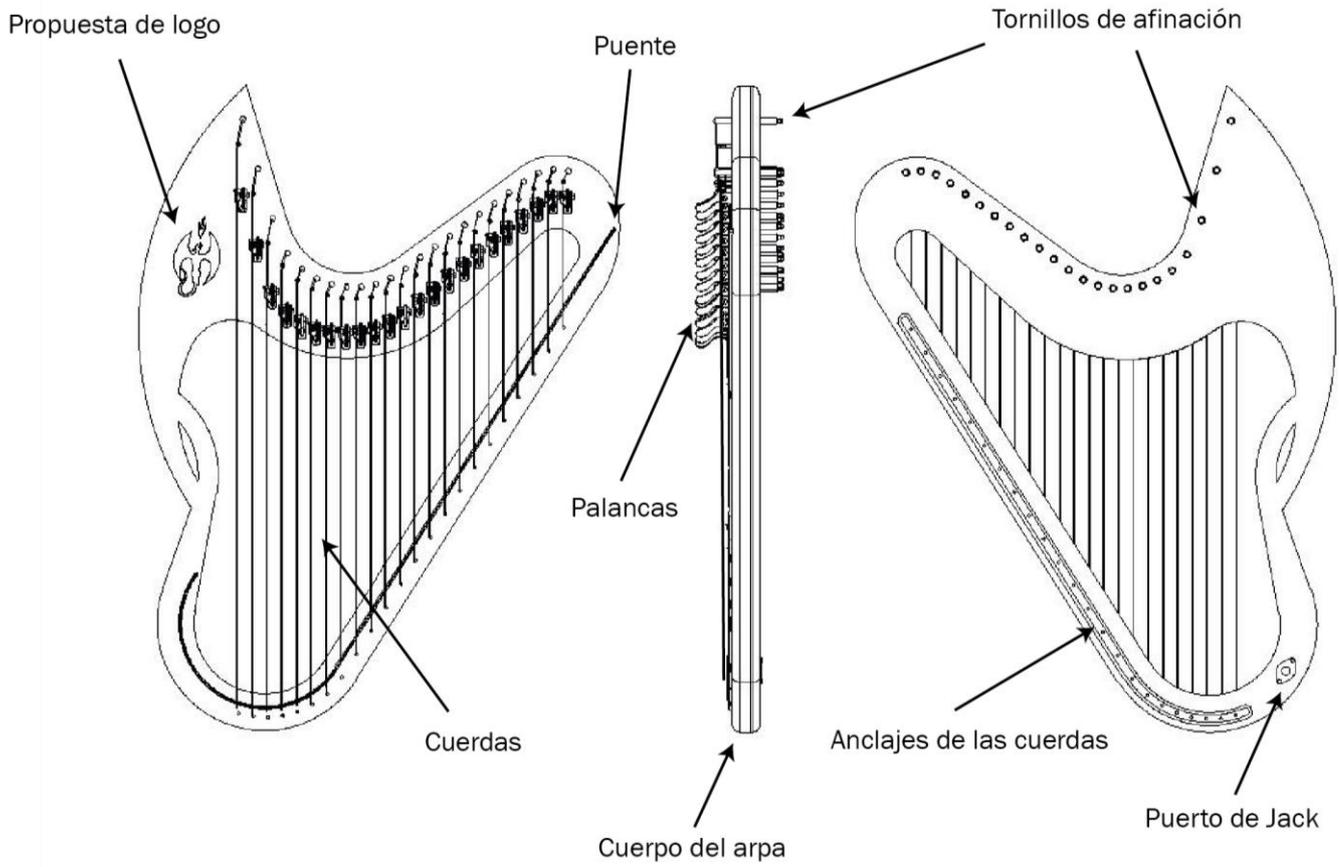


Ilustración 53. Diseño final del producto. Trabajo propio.

I.2.6. DETALLES CONSTRUCTIVOS

Cuerdas

Para realizar los cálculos de las tensiones de las cuerdas en ambas afinaciones (tanto naturales como sostenidas) hemos tenido en cuenta las longitudes y calibres de las cuerdas más habituales. Con estos dos parámetros definidos, y teniendo en cuenta las frecuencias correspondientes a cada una de las notas que se quieren reproducir, se utiliza en cada caso la siguiente fórmula:

$$F = \frac{1}{2} L \times \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Siendo $\mu = \rho \times (\pi \times \text{radio}^2)$

L= longitud en metros

T= tensión en Newtons

μ = densidad lineal en kg/m

ρ = densidad en kg/m³

d = diámetro de la cuerda = calibre en metros

F= frecuencia en Hz

Ejemplo:

Para la nota La4 natural (A4 en lenguaje anglosajón) se corresponde una frecuencia de 440Hz según la afinación estándar de arpas. Esta cuerda, la cual hemos definido que será de un material de nylon de 1150 kg/m³ y con un calibre de 1,65 mm de diámetro, sabemos que medirá aproximadamente 0,485 metros de longitud.

Teniendo todos estos parámetros definidos y convirtiendo los datos a las unidades correspondientes, obtenemos que la cuerda tiene una densidad lineal de 2,46 x 10⁻³ kg/m y la cuerda se encontrará a una tensión de 448,11 newtons.

De esta forma obtenemos las longitudes y tensiones a las que trabajan las cuerdas según el diseño escogido, teniendo en cuenta las tensiones máximas para el material de las cuerdas.

Nº Cuerda	Longitud	Nota	Diámetro (m)	Material	Frecuencia (Hz)
1	0,143 m	fa#7/solb7	0,00066	Nylon	2959,955
		fa7	0,00066		2793,830
2	0,168 m	mi#7=fa7	0,00068	Nylon	2793,830
		mi7	0,00068		2637,020
3	0,186 m	re#7/mib7	0,0007	Nylon	2489,020
		re7	0,0007		2349,320
4	0,199 m	do#7/reb7	0,00076	Nylon	2217,461
		do7	0,00076		2093,000
5	0,213 m	si#6=do7	0,0008	Nylon	2093,000
		si6	0,0008		1975,530
6	0,226 m	la#6/sib6	0,00082	Nylon	1864,655
		la6	0,00082		1760,000
7	0,24 m	sol#6/lab6	0,00085	Nylon	1661,219
		sol6	0,00085		1567,980
8	0,254 m	fa#6/solb6	0,00092	Nylon	1479,978
		fa6	0,00092		1396,910
9	0,267 m	mi#6=fa6	0,00095	Nylon	1396,910
		mi6	0,00095		1318,510
10	0,281 m	re#6/mib6	0,001	Nylon	1244,508
		re6	0,001		1174,660
11	0,294 m	do#6/reb6	0,00105	Nylon	1108,731
		do6	0,00105		1046,500
12	0,308 m	si#5=do6	0,00108	Nylon	1046,500
		si5	0,00108		987,770
13	0,326 m	la#5/sib5	0,00115	Nylon	932,328
		la5	0,00115		880,000
14	0,347 m	sol#5/lab5	0,0012	Nylon	830,609
		sol5	0,0012		783,990
15	0,371 m	fa#5/solb5	0,00125	Nylon	739,989
		fa5	0,00125		698,460
16	0,397 m	mi#5=fa5	0,0013	Nylon	698,460
		mi5	0,0013		659,250
17	0,422 m	re#5/mib5	0,00135	Nylon	622,254
		re5	0,00135		587,330
18	0,442 m	do#5/reb5	0,00145	Nylon	554,365
		Do5	0,00145		523,250
19	0,46 m	si#4=do5	0,00155	Nylon	523,250
		si4	0,00155		493,880
20	0,481 m	la#4/sib4	0,00165	Nylon	466,164
		la4	0,00165		440,000
21	0,51 m	sol#4/lab4	0,00175	Nylon	415,305
		sol4	0,00175		391,995
22	0,562 m	fa#4/solb4	0,0018	Nylon	369,994
		fa4	0,0018		349,228
23	0,612 m	mi4#=fa4	0,00185	Nylon	349,228
		mi4	0,00185		329,628

Tabla 1. Tabla de longitud de cuerdas, diámetros, materiales y hercios según la nota. Trabajo propio

Clavijas



Ilustración 54. Clavijero de guitarra acústica Fender. Trabajo propio.

A pesar de que los aparatos de afinación utilizados por otros instrumentos de cuerda como las guitarras presentan diversas ventajas, las arpas, por su elevado número de cuerdas, su reducido espacio, los materiales que utiliza, y muchos otros motivos, siguen utilizando principalmente un sistema tradicional de tornillos de afinación y tornillos de puente. Este primer tipo de tornillos presentan una ligera conicidad y una superficie rugosa para introducirse con ajuste en la consola de arpa. Las cuerdas se introducen en un pequeño orificio en uno de sus extremos y se giran con la ayuda de una herramienta hasta alcanzar la tensión deseada de la cuerda.

Por otro lado, los tornillos de puente permiten sostener la cuerda a la altura deseada sobre la superficie de la consola. Este tipo de tornillos se introducen en el cuerpo del arpa con una rosca ajustable.



Ilustración 55. Tornillo de afinación (dech.) y tornillo de posicionamiento (izq.). Trabajo propio



Ilustración 56. Rees Harps Inc. Ajuste de tornillos de afinación en arpa de regazo. [fotografía] EE.UU. <https://reesharps.com/slipping-lever-harp-tuning-pins>

Palanca

Los mecanismos de palanca en los instrumentos de cuerda sirven para ejercer cierta presión sobre la cuerda en un punto intermedio entre los anclajes. De esta forma se acorta la distancia total de vibración de la cuerda, por lo que, al mantenerse la tensión, aumenta la frecuencia.

De esta forma, colocando la palanca a una distancia específica, podemos aumentar la frecuencia en un semitono para cada cuerda, permitiendo al arpista variar las notas entre su frecuencia natural y sus sostenidas.

Este mecanismo funciona de forma similar a lo que sucede cuando colocamos un capo en el primer traste de una guitarra.

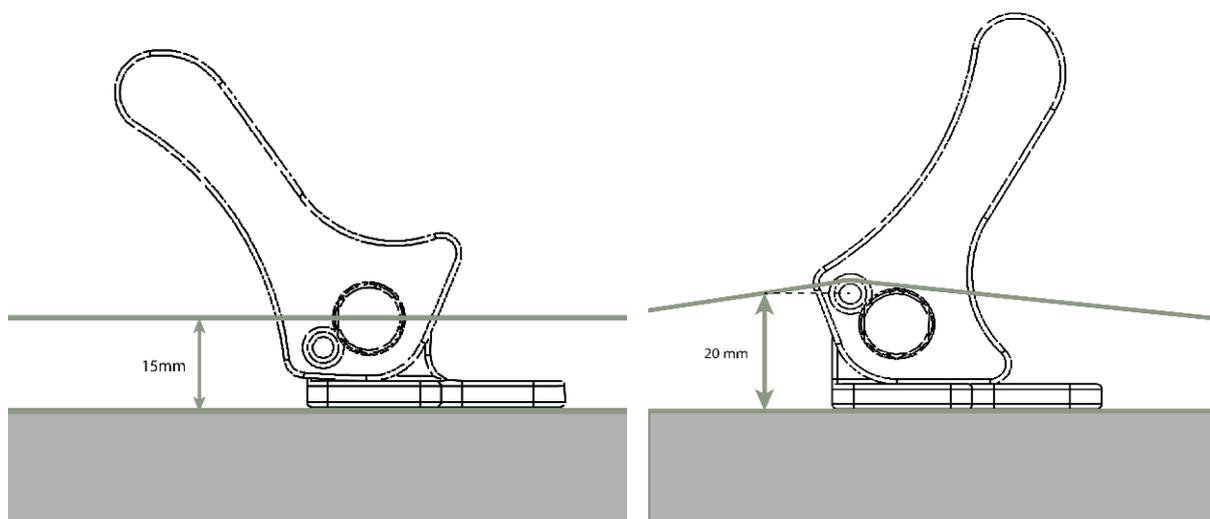


Ilustración 57. Mecanismo de palanca desactivado (izquierda) y activado (derecha). Trabajo propio.

Ejemplo:

Se emplea la cuerda La4 como referencia.

La longitud escogida para la cuerda La 4 de nylon, es de 481 milímetros. A una tensión de 440 Newtons, aproximadamente, y un diámetro de 1,65 milímetros, con la longitud escogida, la cuerda vibra a 440Hz de frecuencia.

Sin embargo, si acortamos la distancia total de vibración con una palanca a 457 milímetros, la frecuencia aumenta hasta los 466Hz, y obtenemos un La#4 o un sib4.

Anclajes en la base

El sistema de anclaje en los instrumentos de cuerda suele ser extremadamente simple. Se emplea un tope para que la cuerda quede sujeta en su extremo tras el orificio de salida de cada cuerda.

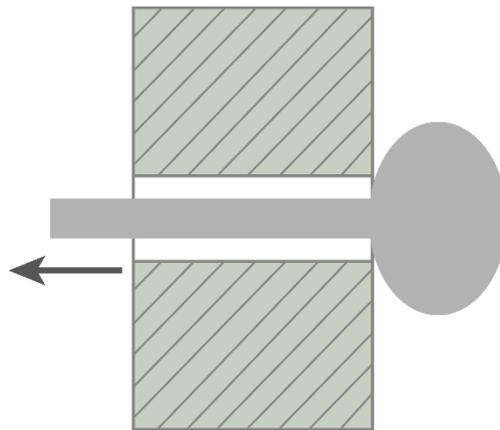


Ilustración 58. Esquema del anclaje de las cuerdas en un instrumento musical. Trabajo propio.

En ocasiones las cuerdas se venden con un sistema de tope ya incluido en uno de los extremos de la cuerda (como sucede con las cuerdas de guitarra), pero también es posible que se necesite hacer un nudo como se muestra en la siguiente imagen para que la cuerda se mantenga en posición.

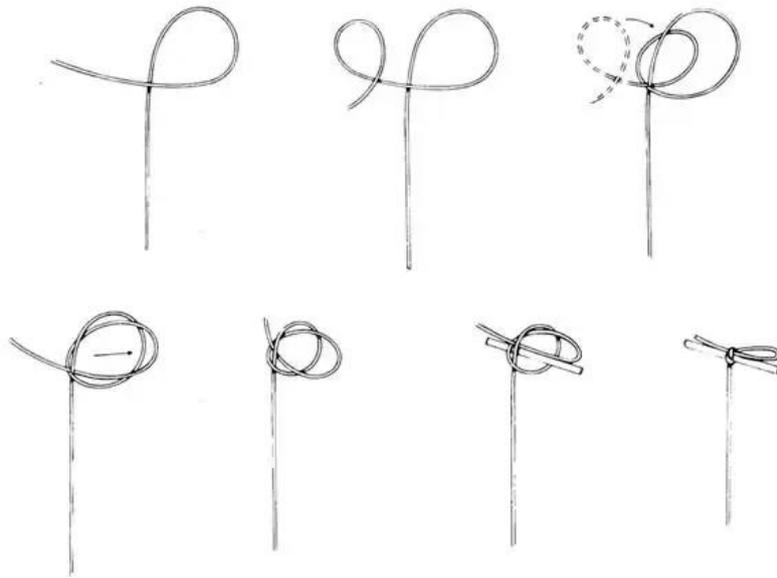


Ilustración 59. Rosado, Sofía. 2018. Nudo de anclaje paso a paso para una cuerda de arpa. SofiMultiarte. <https://sofiarosado.webnode.es/cambiarcuerdas/>

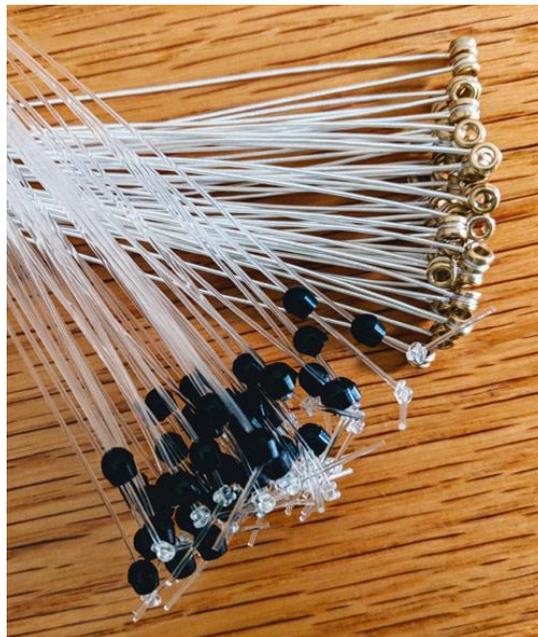


Ilustración 60. Martin Nylon Classic guitar strings. StringsbyMail. <https://www.stringsbymail.com/martin-s160-classical-nylon-strings-with-ball-end-bulk-sleeve-25-sets-20424.html>

Pastilla piezoeléctrica. circuito y salida de jack



Ilustración 61. Harley Benton. (2012) Mono output jack socket.

https://www.thomann.de/es/harley_benton_parts_mono_output_jack_socket.htm?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwltKxBhDMARIsAG8KnqX-DgXk3j3IDW7oN-DWbxzGj1ogakXVw1V7j-D6g309wEQkvpErAeEaAnL2EALw_wcB

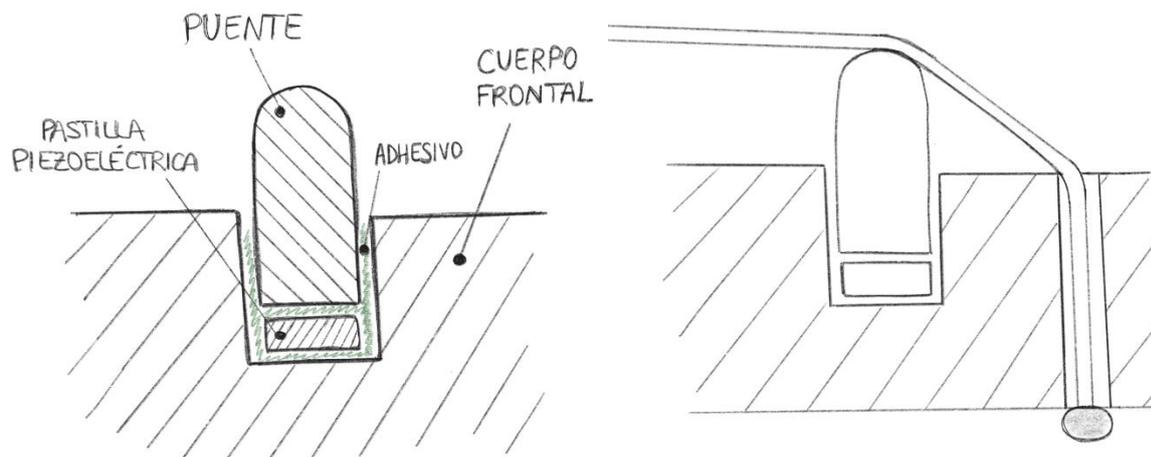


Ilustración 62. Bocetos de la sección del puente. Trabajo propio.

Las pastillas piezoeléctricas captan las vibraciones de las cuerdas y las transmiten en forma de impulso eléctrico. El tipo de pastilla escogida es una “undersaddle piezo-pickup”, lo que quiere decir que se coloca bajo el puente. De esta forma la cuerda hace vibrar el puente y este transmite las vibraciones a la pastilla que se encuentra entre el cuerpo del arpa y el mismo.

La pastilla piezoeléctrica se conecta a su vez con un puerto jack mediante un cable de cobre, permitiendo enchufar el instrumento a un amplificador o cualquier otro dispositivo deseado.

1.2.7. MATERIALES

Cuerdas

Poliamida 6 / Nylon 6

Las cuerdas más habituales para las arpas celtas de tan pocas cuerdas suele ser el nylon. El nylon presenta un tacto agradable al tocar, y es mucho más resistente y duradero que otros materiales.

El material de las cuerdas que se van a utilizar es relevante en el diseño, ya que las características de densidad lineal de este material son las que nos permitirán hacer los cálculos con los que podremos obtener tanto las longitudes como las tensiones de nuestras cuerdas.

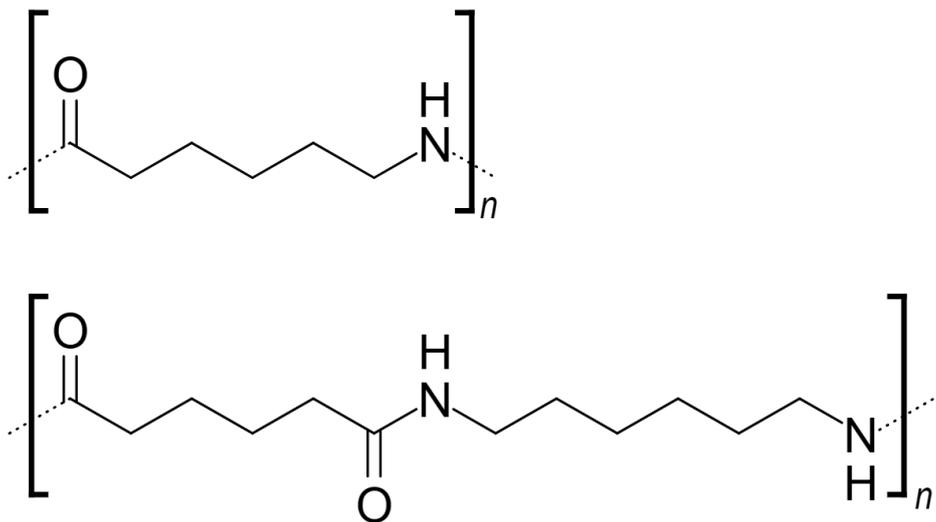


Ilustración 63. Innerstream. (2021) Nylon-6 y Nylon6,6. [ilustración]
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=112727156>

Datos técnicos del nylon-6 :

PROPIEDADES	MÉTODO	P.6/Nylon	UNIDAD
DENSIDAD	DIN 53479	1,41	gr/cm ³
ABSORCIÓN DE HUMEDAD	50% HR 100% HR	2,7 9	%
PUNTO DE FUSIÓN	ASTM D789	7,20	°C
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	DIN 52612	0,28	W/Km
COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA DE 20 °C A 50 °C		85.10-6	m/m K
TEMPERATURA MÁX. DE UTILIZACIÓN	NORMAL PUNTAS	90 150	°C
TEMPERATURA MÍNIMA DE UTILIZACIÓN		-40	°C
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	DIN 53455	70	N/m/m ²
MÓDULO DE ELASTICIDAD	DIN 53457	2.850	N/m/m ²
ALARGAMIENTO A LA ROTURA	DIN 53455	>50	%
RESISTENCIA AL IMPACTO	DIN 53453	3,8	Kj/m ²
DUREZA A LA BOLA	DIN 53456	136	N/m/m ²
DUREZA SHORE	DIN 53505	D 75	
DUREZA ROCKWELL	ASTM D785	M 82	
RIGIDEZ TRASVERSAL	DIN 53482	5.10 e 12	Ohm/cm
COEFICIENTE DE FRICCIÓN		0,1 - 0,3	μ

Tabla 2. Datos técnicos del nylon-6. Ibermetal, aluminios y plásticos Cataluña S.L. <https://ibermetal.es/plasticos/poliamida/>

Cuerpo del arpa

Fibra de carbono

La fibra de carbono es un material compuesto con excepcional resistencia y ligereza. Compuesto por fibras de carbono extremadamente delgadas, este material ofrece una combinación única de propiedades mecánicas y térmicas. Cuenta con una resistencia a la tracción notablemente alta, por lo que es capaz de soportar cargas extremas sin comprometer su integridad estructural. Además, su bajo peso lo convierte en una opción ideal para la industria aeroespacial, automotriz, deportiva, o incluso para la fabricación de instrumentos musicales.

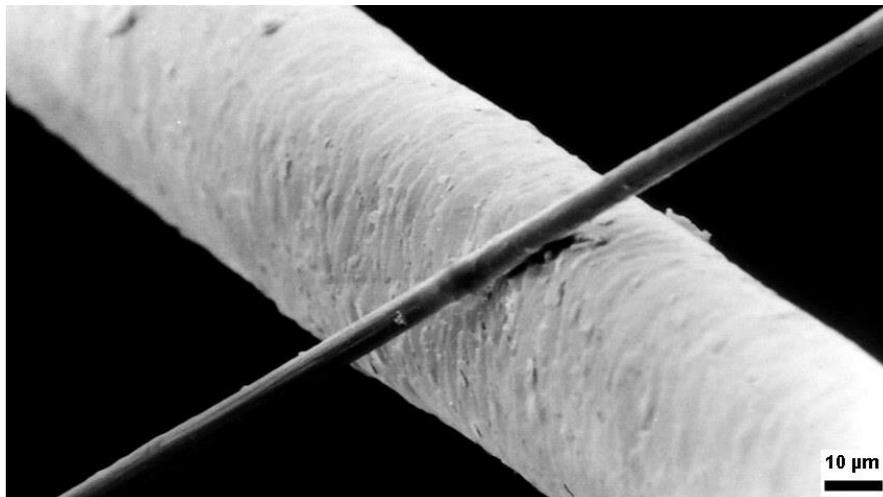


Ilustración 64. Saperaud. Fibra de carbono (de abajo a la izquierda a arriba a la derecha) junto a cabello humano. 2005. Dominio público: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/71/Cfaser_haarrp.jpg



Ilustración 65. Molde de fibra de carbono para arpa Legend. 2012. Heartland harps. <https://heartlandharps.com/harps/models/>

Clavijas, tornillos y palancas

latón

El latón, una aleación de cobre y zinc, es ideal para fabricar piezas de instrumentos musicales como el arpa por varias razones. Su excelente resonancia acústica produce un sonido claro y brillante, mientras que su maleabilidad permite la fabricación de componentes precisos y delicados. Además, su resistencia a la corrosión garantiza una larga vida útil, y su atractivo color dorado mejora la apariencia visual de los instrumentos.



Ilustración 66. Chadwick, S. (2018) Irish tuning pins. [fotografía] <https://simonchadwick.net/shop/pins>

1.2.8. INGENIERÍA DE PROCESOS

PROCESOS DE FABRICACIÓN

Fibra de carbono

En el caso de las piezas de fibra de carbono, existen diferentes formas de fabricación según el proceso que se quiera seguir, y los recursos con los que se cuente.

La fibra de carbono se comercializa en láminas, que pueden estar “pre-impregnadas” de resina o no. Estas láminas están compuestas por las fibras entrelazadas o tejidas, unidireccionalmente, en diagonal o cruzadas entre sí. Para llevar este material flexible a su estado final, deberán aplicarse presión y calor a las fibras impregnadas de la resina epoxi, hasta que esta quede polimerizada y rígida. Lo que cambia entre un proceso y otro es el orden en que se aplican estos elementos.

En algunos casos se utiliza un molde, en el cual se colocan las láminas para posteriormente inyectar la resina con presión y curar en el horno. En otras ocasiones la resina se aplica manualmente sobre las láminas, o se utiliza una bolsa de vacío sobre el molde para su introducción al horno. La elección de un método u otro está determinada principalmente por la geometría de la pieza.



Ilustración 67. Wright, I. (2016) Fabricación manual de pieza con lámina de fibra de carbono. [fotografía] <https://www.engineering.com/story/unlocking-carbon-fibers-potential-in-manufacturing>

Para la elaboración del producto diseñado en este proyecto se ha escogido el método manual que utiliza las láminas “pre-impregnadas” de resina, o láminas Prepreg, por la mayor simplicidad y eficiencia que presentan durante el proceso de fabricación. Los pasos que se han de seguir en su fabricación son los siguientes:

1. Primero se han de cortar las formas escogidas de las láminas Prepreg, teniendo en cuenta los requisitos de resistencia mecánica en cada punto del producto, utilizando fibras unidireccionales o entrecruzadas acorde con las necesidades.
2. A continuación, se colocan las piezas en el interior del molde ya preparado y limpio, superponiendo las capas y ejerciendo presión de forma adecuada. Este proceso requiere de cierta destreza por parte del operario, debido a la complejidad que presenta el conseguir un acabado uniforme de calidad.
3. Durante este proceso se puede aplicar un “debulking” o proceso de compresión mediante una bolsa y máquina de vacío durante aproximadamente 10 minutos. Con esto se consigue suavizar la geometría, acercando el material a cantos y esquinas, sacando burbujas de aire e imperfecciones.
4. Una vez obtenida la forma de la pieza satisfactoriamente, se introduce en la bolsa de vacío dentro del horno para su curado durante varias horas, donde la temperatura se aumenta en su fase final para mejorar la fluidez de la resina.
5. Por último, una vez terminado el proceso de curado, se procede al desmoldeo, el cual se debe realizar con cuidado, debido a que los bordes de la pieza son muy afilados y necesitan ser mecanizados antes de proceder con el resto del proceso de fabricación.



Ilustración 68. Guangzhou Wise (2020) Operario cortando láminas de fibra de carbono. [fotografía] China <https://www.gdwise.com/info-detail/ns-showcases-new-cfrp-process-that-reduces-moulding-times-by-up-to-80-5>

Latón

La norma DIN 1718 define al latón como una aleación entre cobre y zinc con más de un 50% de cobre en su composición. Se trata de un material dúctil, por lo que muchas veces se pueden obtener planchas de este material en frío a partir de lingotes, y se vuelve quebradizo al calentarlo cerca de la temperatura de fusión.

El proceso de fabricación de las piezas de latón se lleva a cabo mediante el uso de mecanizadoras CNC, con arranque de viruta.



Ilustración 69. Kuzu (2020) Piezas de latón [fotografía] <https://kuzudecoletaje.es/el-laton-y-su-mecanizado/>

DIAGRAMA DE PROCESOS

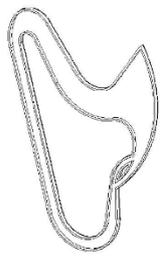
DIAGRAMA SINÓPTICO		
Diagrama nº 1	Hoja 1 de 5	Método: Actual/Propuesto
Producto: Arpa eléctrica		Lugar: Dep. de fabricación
		Operario: Especialista
Actividad: Fabricación de la pieza frontal del cuerpo del arpa		Compuesto por: Mercedes Bendito
		Fecha: 30/04/2024
<p>0,05 (1) Preparación del molde</p> <p>0,15 (2) Cortar piezas de las láminas Prepreg</p> <p>0,4 (3) Montar piezas sobre el molde</p> <p>0,3 (4) Debulking</p> <p>0,15 (5) Terminar preparación de las últimas capas</p> <p>0,01 [1] Inspección visual</p> <p>7 (6) Curado de las piezas</p> <p>0,1 (7) Desmoldeo</p> <p>0,02 [2] Inspección</p> <p>0,75 (8) Mecanizado de bordes, taladros y roscas</p> <p>0,17 (9) Limpieza</p>		
Resumen		Croquis
Actividad	Cantidad	Tiempo (horas)
Operaciones	9	9,07
Inspecciones	2	0,03
Total	11	9,1
		

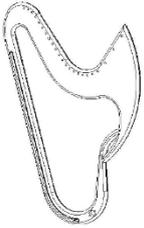
DIAGRAMA SINÓPTICO		
Diagrama nº 1	Hoja 2 de 5	Método: Actual/Propuesto
Producto: Arpa eléctrica		Lugar: Dep. de fabricación
		Operario: Especialista
Actividad: Fabricación de la pieza trasera del cuerpo del arpa		Compuesto por: Mercedes Bendito
		Fecha: 30/04/2024
<p>0,05 (1) Preparación del molde</p> <p>0,15 (2) Cortar piezas de las láminas Prepreg</p> <p>0,4 (3) Montar piezas sobre el molde</p> <p>0,3 (4) Debulking</p> <p>0,15 (5) Terminar preparación de las últimas capas</p> <p>0,01 (1) Inspección visual</p> <p>7 (6) Curado de las piezas</p> <p>0,1 (7) Desmoldeo</p> <p>0,02 (2) Inspección</p> <p>0,75 (8) Mecanizado de bordes, taladros y roscas</p> <p>0,17 (9) Limpieza</p>		
Resumen		Croquis
Actividad	Cantidad	Tiempo (horas)
Operaciones	9	9,07
Inspecciones	2	0,03
Total	11	9,1
		

DIAGRAMA SINÓPTICO		
Diagrama nº 1	Hoja 3 de 5	Método: Actual/Propuesto
Producto: Arpa eléctrica		Lugar: Dep. de fabricación
		Operario: Especialista
Actividad: Fabricación de la pieza tapa de la salida de Jack		Compuesto por: Mercedes Bendito
		Fecha: 30/04/2024
<p>0,05 (1) Preparación del molde</p> <p>0,15 (2) Cortar piezas de las láminas Prepreg</p> <p>0,4 (3) Montar piezas sobre el molde</p> <p>0,3 (4) Debulking</p> <p>0,15 (5) Terminar preparación de las últimas capas</p> <p>0,01 (1) Inspección visual</p> <p>7 (6) Curado de las piezas</p> <p>0,1 (7) Desmoldeo</p> <p>0,02 (2) Inspección</p> <p>0,75 (8) Mecanizado de bordes, taladros y roscas</p> <p>0,17 (9) Limpieza</p>		
Resumen		Croquis
Actividad	Cantidad	Tiempo (horas)
Operaciones	9	9,07
Inspecciones	2	0,03
Total	11	9,1
		

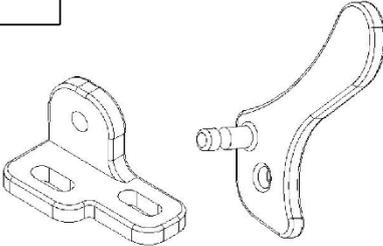
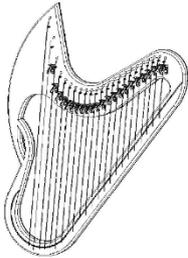
DIAGRAMA SINÓPTICO		
Diagrama nº 1	Hoja 4 de 5	Método: Actual/Propuesto
Producto: Arpa eléctrica		Lugar: Dep. de fabricación
		Operario: Especialista
Actividad: Fabricación de las piezas del clavijero		Compuesto por: Mercedes Bendito
		Fecha: 30/04/2024
<p>0,02 (1) Preparación del latón</p> <p>0,5 (2) Mecanizado de las formas</p> <p>0,3 (3) Pulido</p> <p>0,17 (4) Limpieza</p> <p>0,01 (1) Inspección visual</p> <p>0,75 (5) Pintado y barnizado</p> <p>0,01 (6) Montado de piezas</p>		
Resumen		Croquis
Actividad	Cantidad	Tiempo (horas)
Operaciones	6	1,75
Inspecciones	1	0,01
Total	7	1,76
		

DIAGRAMA SINÓPTICO		
Diagrama nº 1	Hoja 5 de 5	Método: Actual/Propuesto
Producto: Arpa eléctrica		Lugar: Dep. de fabricación
		Operario: Especialista
Actividad: Preparación del producto completo final		Compuesto por: Mercedes Bendito
		Fecha: 30/04/2024
<p>0,05 (1) Preparación de las piezas</p> <p>0,15 (2) Pintado y barnizado de las piezas</p> <p>1 (3) Montado y pegado de las piezas del cuerpo</p> <p>0,5 (4) Montar de las piezas restantes</p> <p>0,01 [1] Inspección</p> <p>0,4 (5) Colocación y tensado de las cuerdas</p> <p>0,02 [2] Inspección</p>		
Resumen		Croquis
Actividad	Cantidad	Tiempo (horas)
Operaciones	5	2,1
Inspecciones	2	0,03
Total	7	2,13
		

1.2.9. IMÁGENES FINALES

Base del clavijero:



Palanca del clavijero:

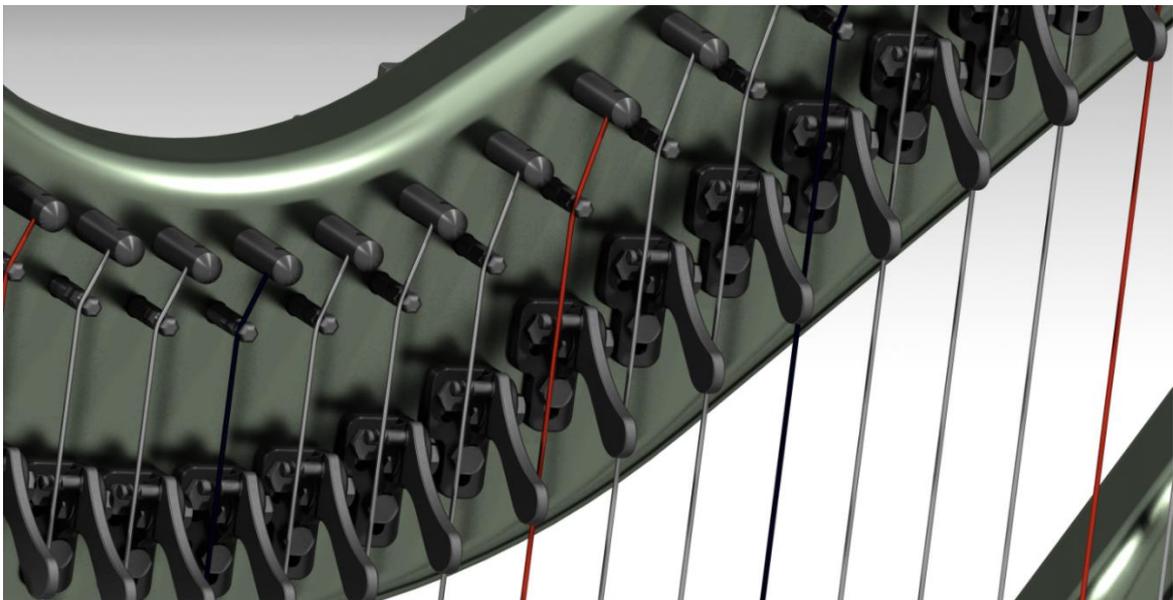


Clavijero montado desactivado (izq.) y activado (dcha.):



Producto montado:

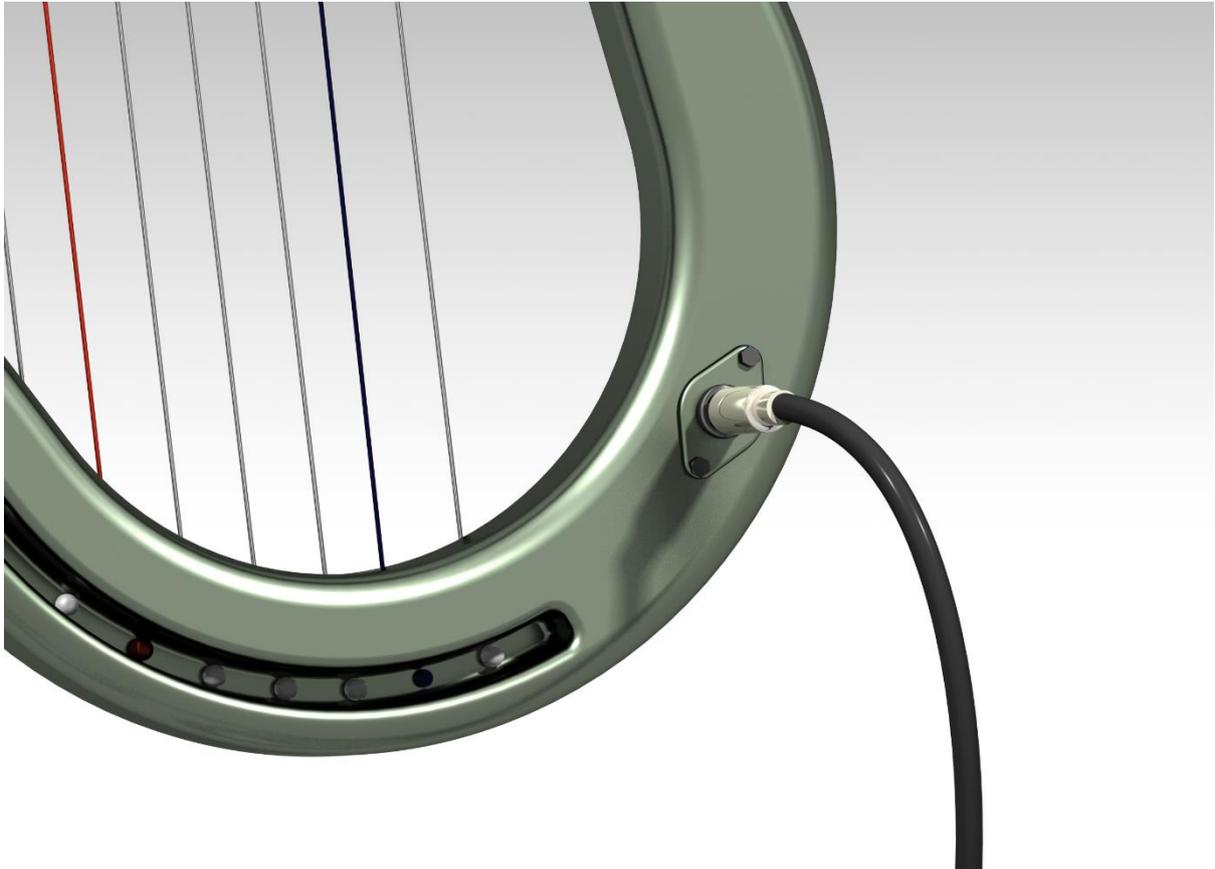


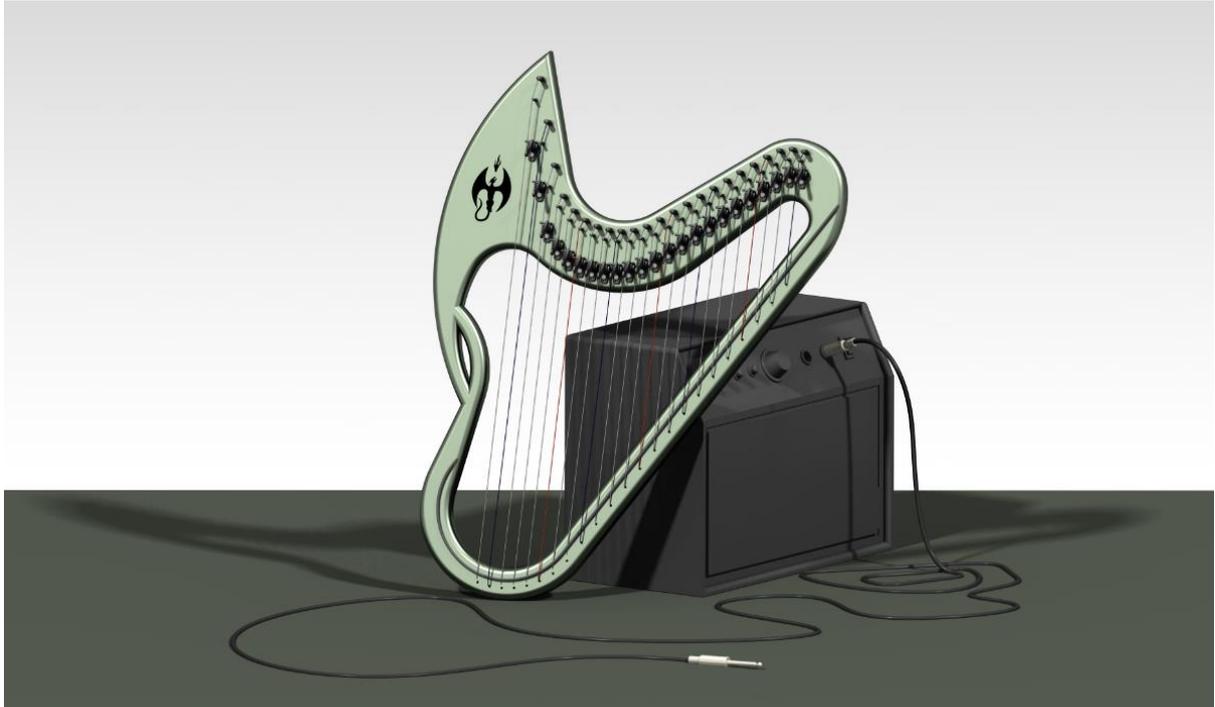


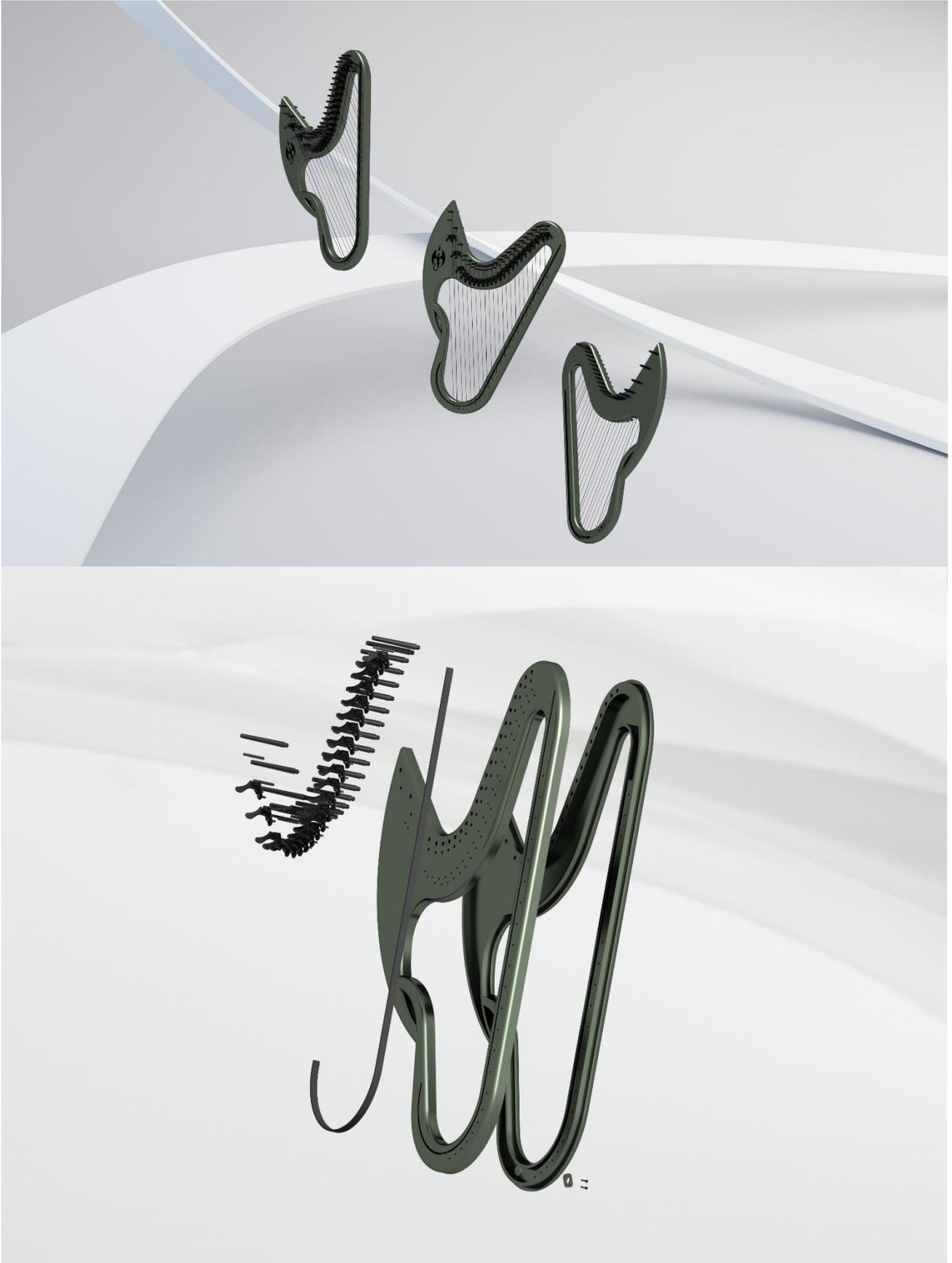
Detalle del puente:



Detalle del conector jack enchufado:











2. 20 años

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 0. PLANO DE CONJUNTO.

PLANO 1. CUERPO FRONTAL.

PLANO 2. CUERPO TRASERO.

PLANO 3. TAPA DE JACK.

PLANO 4. PUENTE.

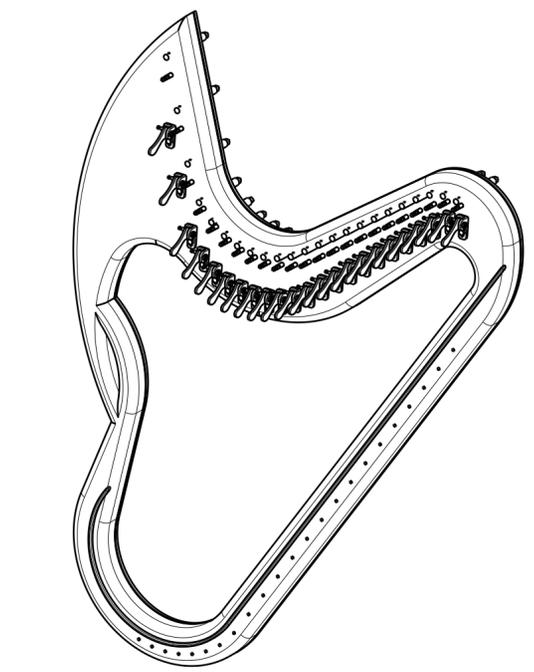
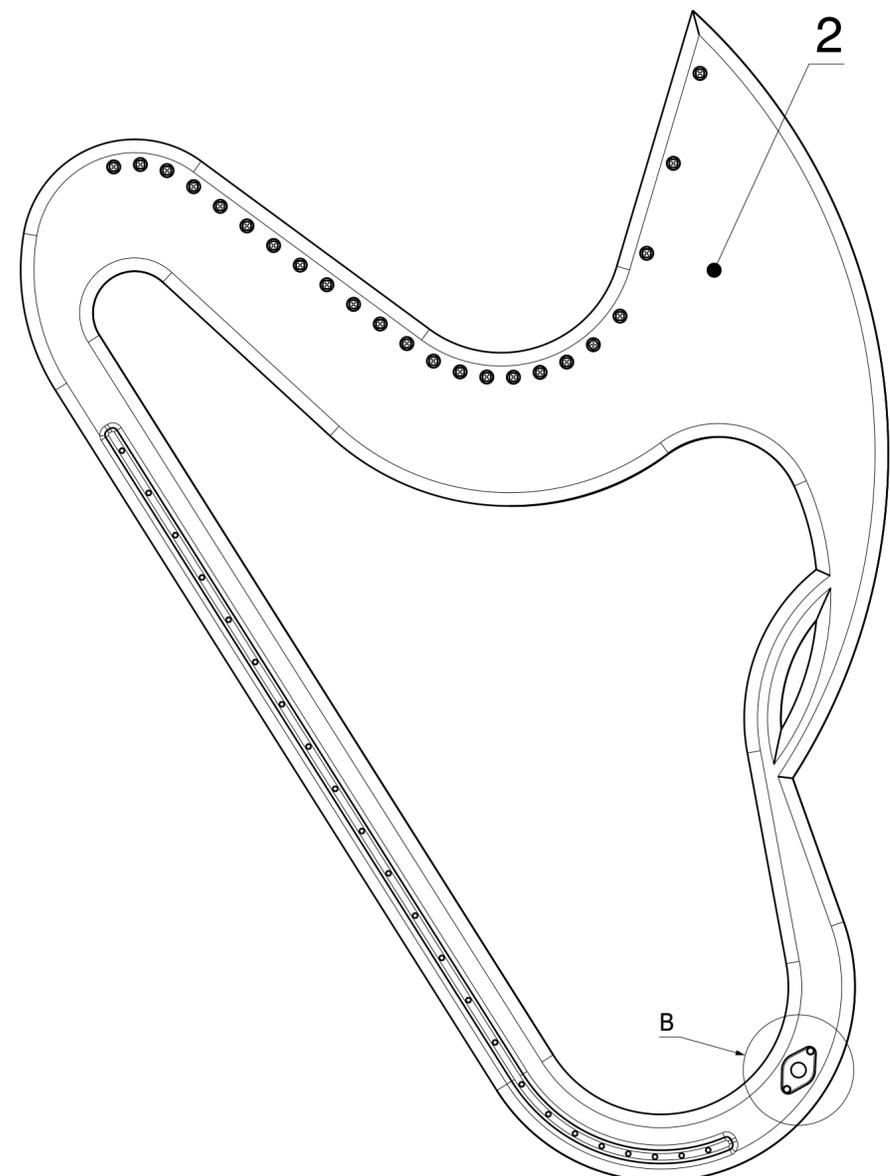
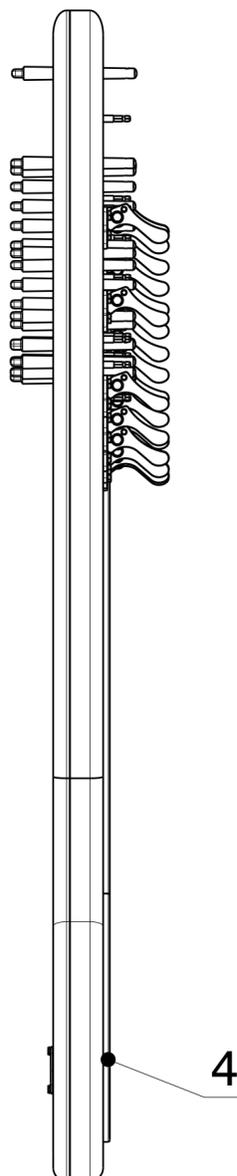
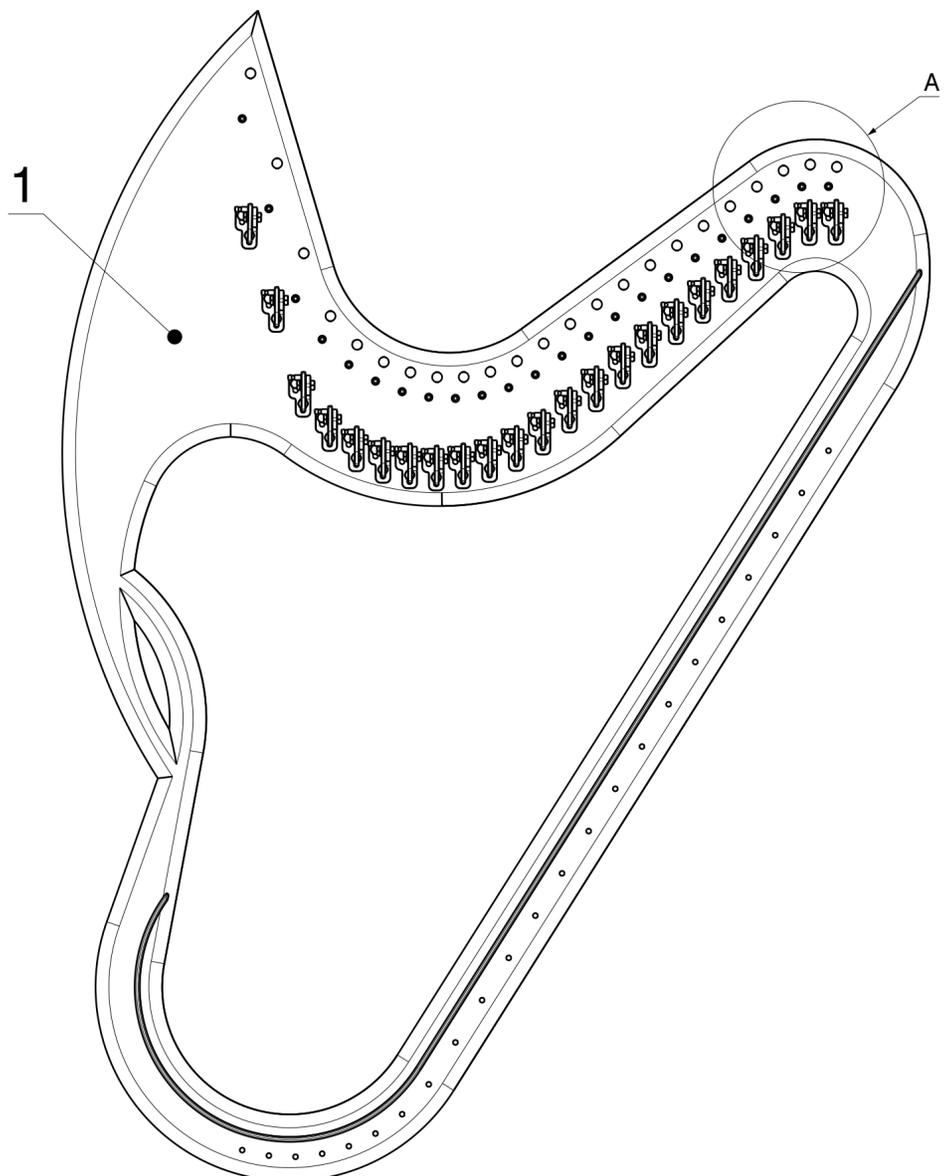
PLANO 5. TORNILLO DE PUENTE.

PLANO 6. TORNILLO DE AFINACIÓN.

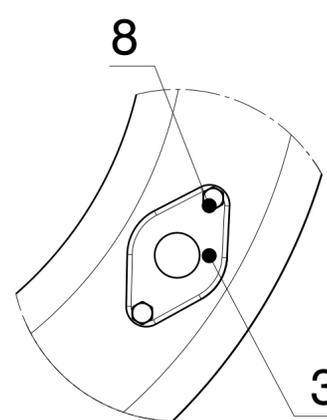
PLANO 7. CONJUNTO DEL CLAVIJERO.

PLANO 8. BASE DEL CLAVIJERO.

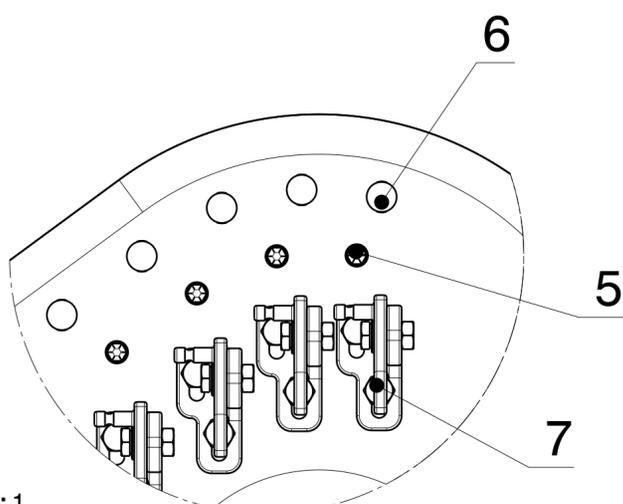
PLANO 9. PALANCA DEL CLAVIJERO.



Vista isométrica
ESCALA 1:5



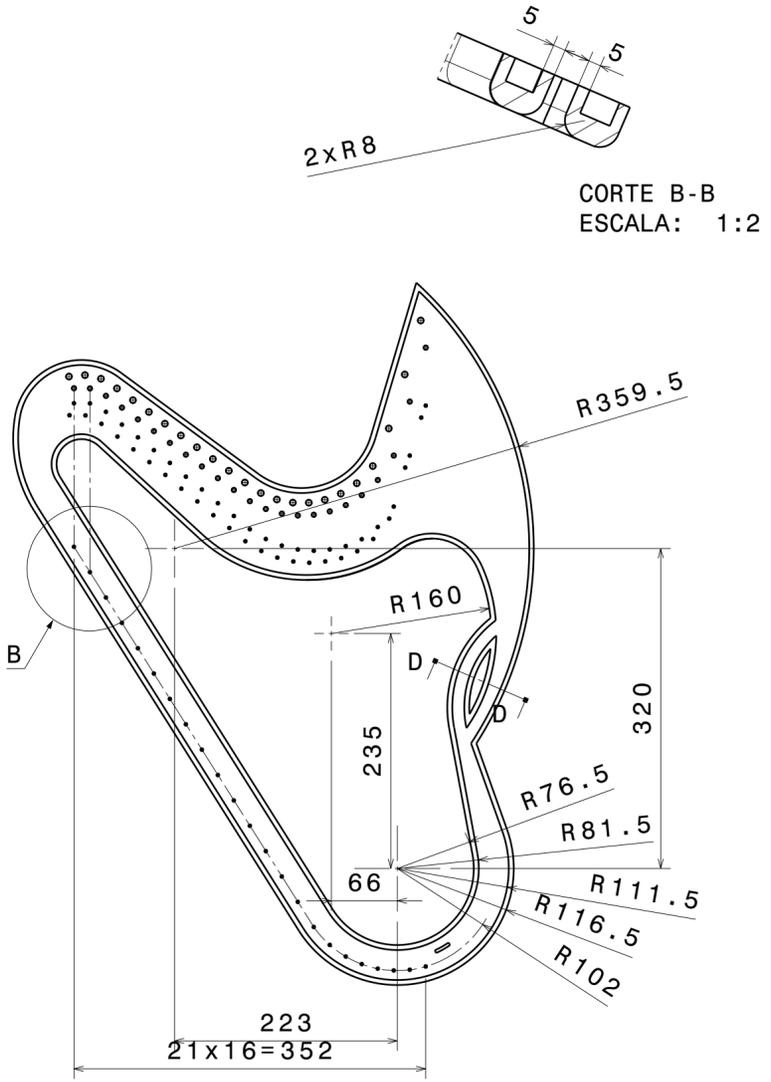
DETALLE B
ESCALA: 1:1



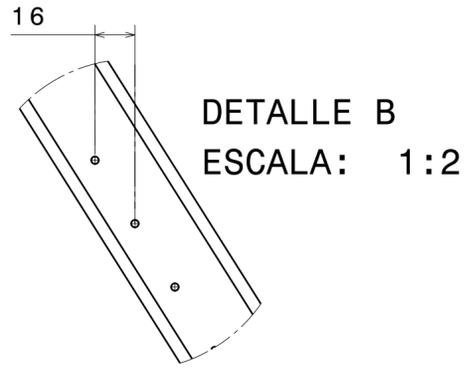
DETALLE A
ESCALA: 1:1

1	Tornillo de cabeza hex. ISO 4017-M2x8-8.8	8	ISO 4017	PLA
22	Conjunto de clavijero	7	PLANO 7	-
22	Tornillo de afinación	6	PLANO 6	CB752S
22	Tornillo de puente	5	PLANO 5	CB752S
1	Puente	4	PLANO 4	PLA
1	Tapa Jack	3	PLANO 3	Fibra carbono
1	Cuerpo trasero	2	PLANO 2	Fibra carbono
1	Cuerpo frontal	1	PLANO 1	Fibra carbono
Nº Piezas	Denominación	Marca	Referencia	Material

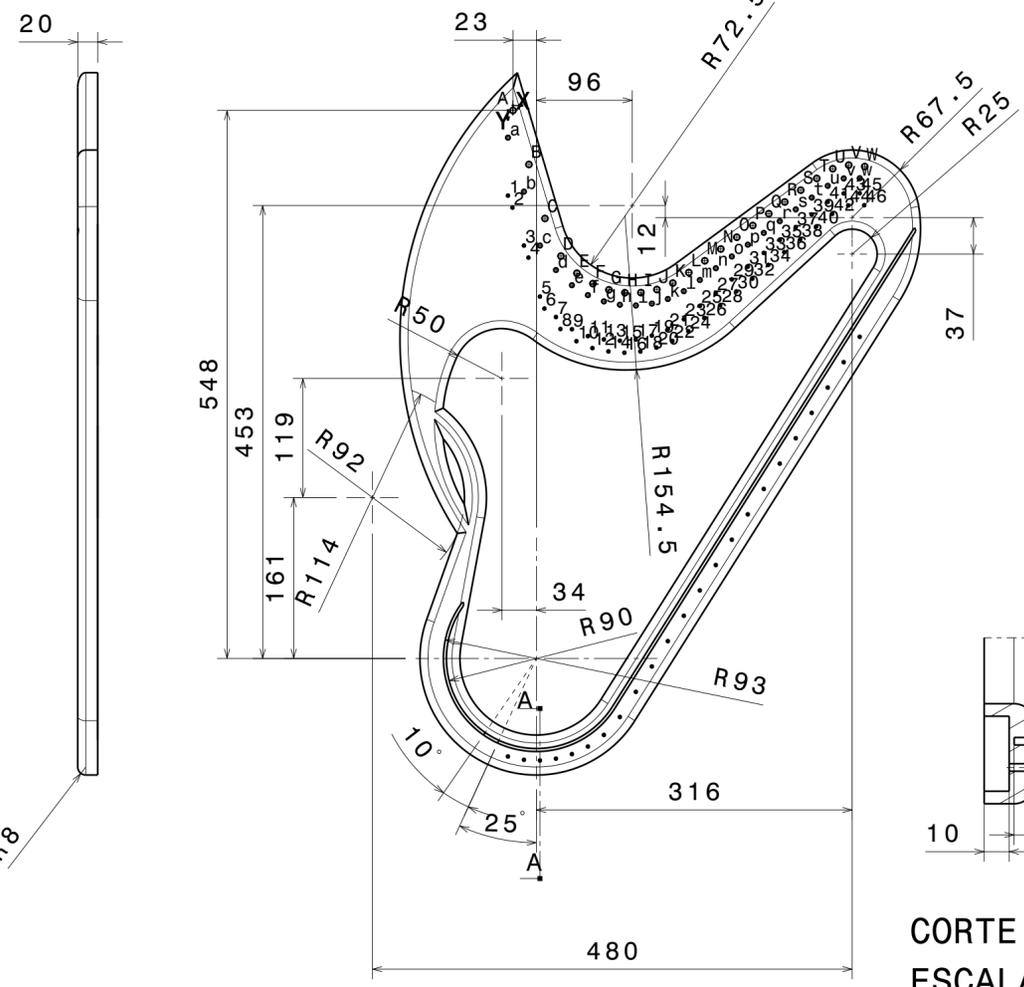
DISEÑADO POR: Mercedes Bendito		PLANO DE CONJUNTO	I	-
FECHA 15/04/2024			H	-
Centro EII		G	-	
		F	-	
		E	-	
		D	-	
TAMANO A2		Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto-UVa		
ESCALA 1:3	-	ARPA ELÉCTRICA		
		PLANO 0	A	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.				



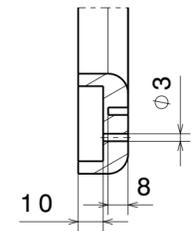
CORTE B-B
ESCALA: 1:2



DETALLE B
ESCALA: 1:2



CORTE A-A
ESCALA 1:1



Tuning pin holes				Bridge pin			
REF.	X	Y	Ø	REF.	X	Y	Metric
A	0	0	6	a	-5	27,11	5
B	16	53,97	6	b	11	81,09	5
C	32	107,95	6	c	27	135,06	5
D	48	145,56	6	d	43	159,51	5
E	64	162,72	6	e	59	174,7	5
F	80	173,13	6	f	75	184,61	5
G	96	179,33	6	g	91	190,89	5
H	112	182,2	6	h	107	194,25	5
I	128	182,1	6	i	123	194,96	5
J	144	179	6	j	139	193,09	5
K	160	172,55	6	k	155	188,48	5
L	176	162,03	6	l	171	180,7	5
M	192	150,27	6	m	187	169,46	5
N	208	138,5	6	n	203	157,7	5
O	224	126,74	6	o	219	145,93	5
P	240	114,97	6	p	235	134,16	5
Q	256	103,21	6	q	251	122,4	5
R	272	91,44	6	r	267	110,63	5
S	288	79,67	6	s	283	98,87	5
T	304	67,91	6	t	299	87,1	5
U	320	58,25	6	u	315	75,34	5
V	336	54,63	6	v	331	67,92	5
W	352	56,05	6	w	347	67,74	5

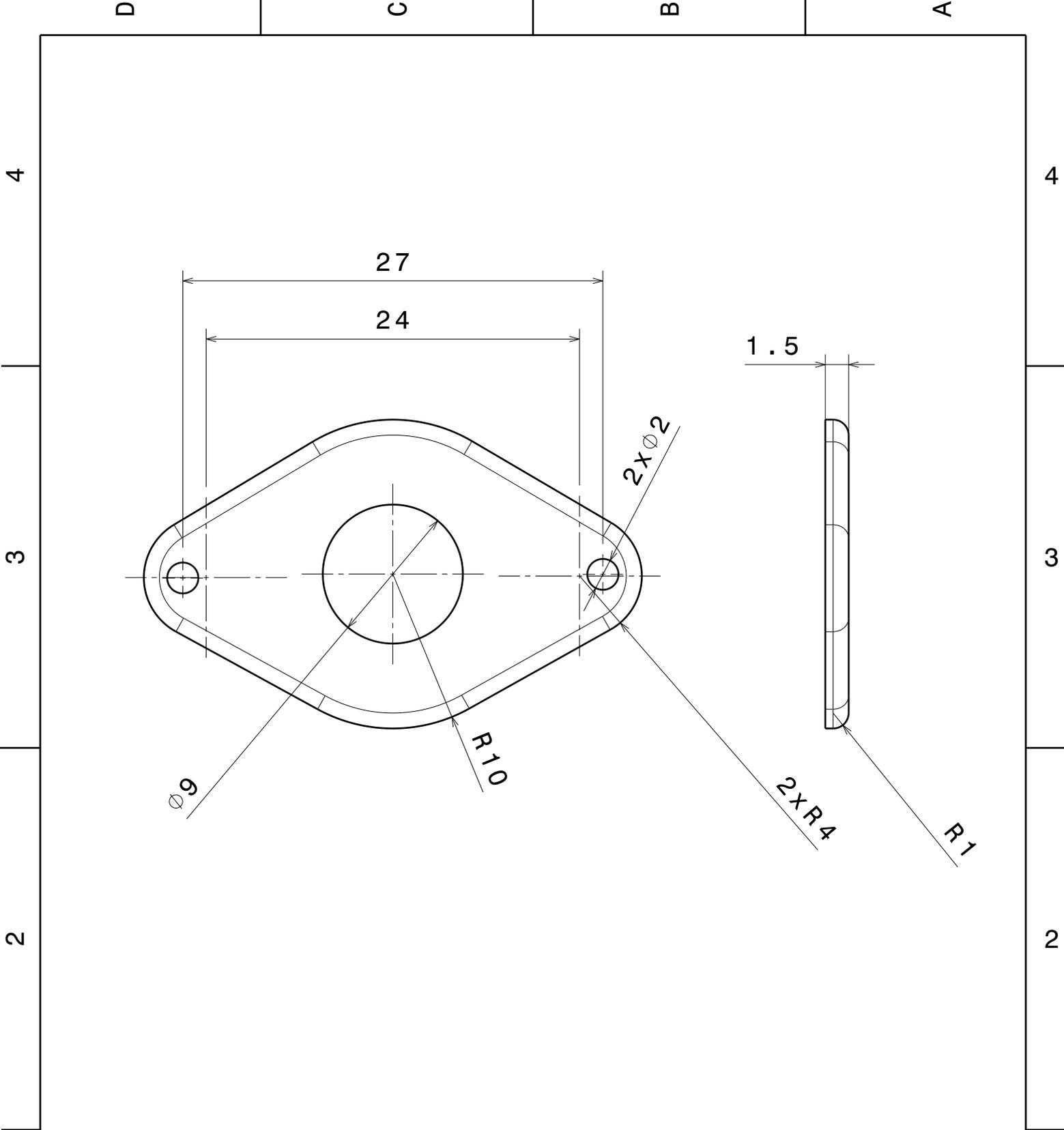
Sharpening Lever holes			
REF.	X	Y	Metric
1	-5	85,11	3,5
2	-0,5	97,11	3,5
3	11	135,09	3,5
4	15,5	147,09	3,5
5	27	186,06	3,5
6	31,5	198,06	3,5
7	43	206,51	3,5
8	47,5	218,51	3,5
9	59	218,7	3,5
10	63,5	230,7	3,5
11	75	225,61	3,5
12	79,5	237,61	3,5
13	91	228,89	3,5
14	95,5	240,89	3,3
15	107	230,25	3,5
16	111,5	242,25	3,5
17	123	228,96	3,5
18	127,5	240,96	3,5
19	139	225,09	3,5
20	143,5	237,09	3,5
21	155	218,48	3,5
22	159,5	230,48	3,5
23	171	208,7	3,5

Sharpening Lever holes			
REF.	X	Y	Metric
24	175,5	220,7	3,5
25	187	195,46	3,5
26	191,5	207,46	3,5
27	203	182,7	3,5
28	207,5	194,7	3,5
29	219	168,93	3,5
30	223,5	180,93	3,5
31	235	156,16	3,5
32	239,5	168,16	3,5
33	251	142,4	3,5
34	255,5	154,4	3,5
35	267	129,63	3,5
36	271,5	141,63	3,5
37	283	116,87	3,5
38	287,5	128,87	3,5
39	299	104,1	3,5
40	303,5	116,1	3,5
41	315	91,34	3,5
42	319,5	103,34	3,5
43	331	82,92	3,5
44	335,5	94,92	3,5
45	347	82,74	3,5
46	351,5	94,74	3,5

Radios de redondeo no acotados 1mm

DISEÑADO POR: Mercedes Bendito		<h1>Cuerpo frontal</h1>	I	-
FECHA: 03/04/2024			H	-
Tolerancia general para las dimensiones sin indicación individual: ISO 2769-m		G	-	
TAMANO: A2		F	-	
ESCALA: 1:5	MATERIAL: Fibra de carbono	E	-	
INGENIERÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL Y DESARROLLO DE PRODUCTO-UVA		D	-	
DISEÑO DE PRODUCTO-UVA		C	-	
Arpa eléctrica		B	-	
PLANO 1		A	-	

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.



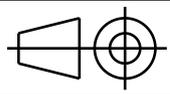
DISEÑADO POR
Mercedes Bendito

FECHA
11/04/2024

Tolerancias generales para las dimensiones sin indicación en el dibujo:

ISO 2768-m

TAMANO:
A4



Tapa Jack

Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto-UVa

ESCALA
1:1

MATERIAL
Fibra carbono

PRODUCTO
Arpa eléctrica

PLANO
3

I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

D

C

B

A

4

378

10

3

2

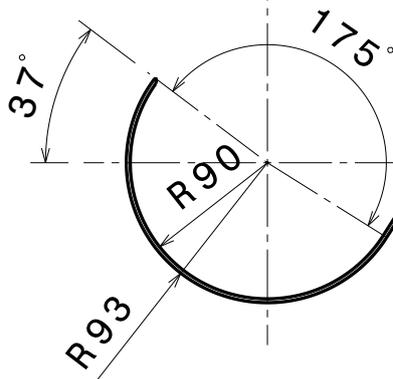
1

4

3

2

1



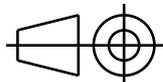
Radios de redondeo no acotados 1mm

DISEÑADO POR:
Mercedes BenditoFECHA
15/04/2024Tolerancias generales para las
dimensiones sin indicación en
el dibujo:

ISO 2768-m

TAMANO

A4

Ingeniería en Diseño Industrial y
Desarrollo de Producto-UVa

ESCALA

1:5

MATERIAL

PLA

PRODUCTO

Arpa eléctrica

PLANO

4

I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

D

A

D

C

B

A

4

4

3

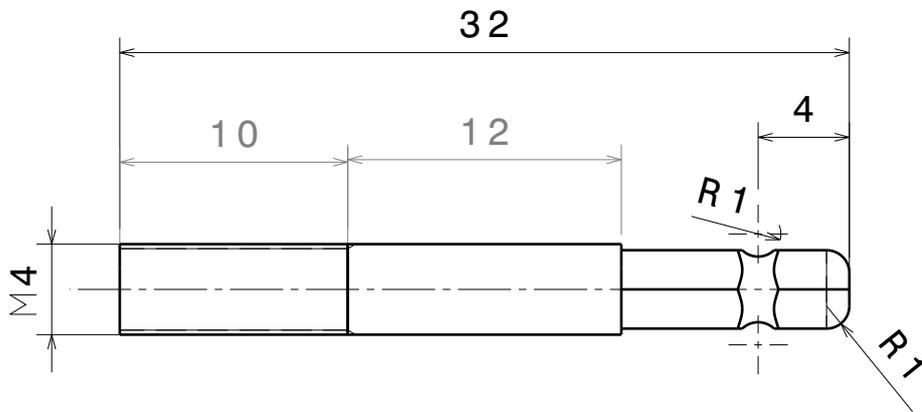
3

2

2

1

1



Diseñado por:
Mercedes Bendito

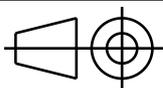
FECHA
19/04/2024

Tolerancias generales para las dimensiones sin indicación en el dibujo:

ISO 2768 - m

TAMANO

A4



Tornillo de puente

Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto-UVa

ESCALA
3:1

MATERIAL
CB752S

PRODUCTO

ARPA ELÉCTRICA

PLANO
5

I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

D

A

D

C

B

A

4

4

3

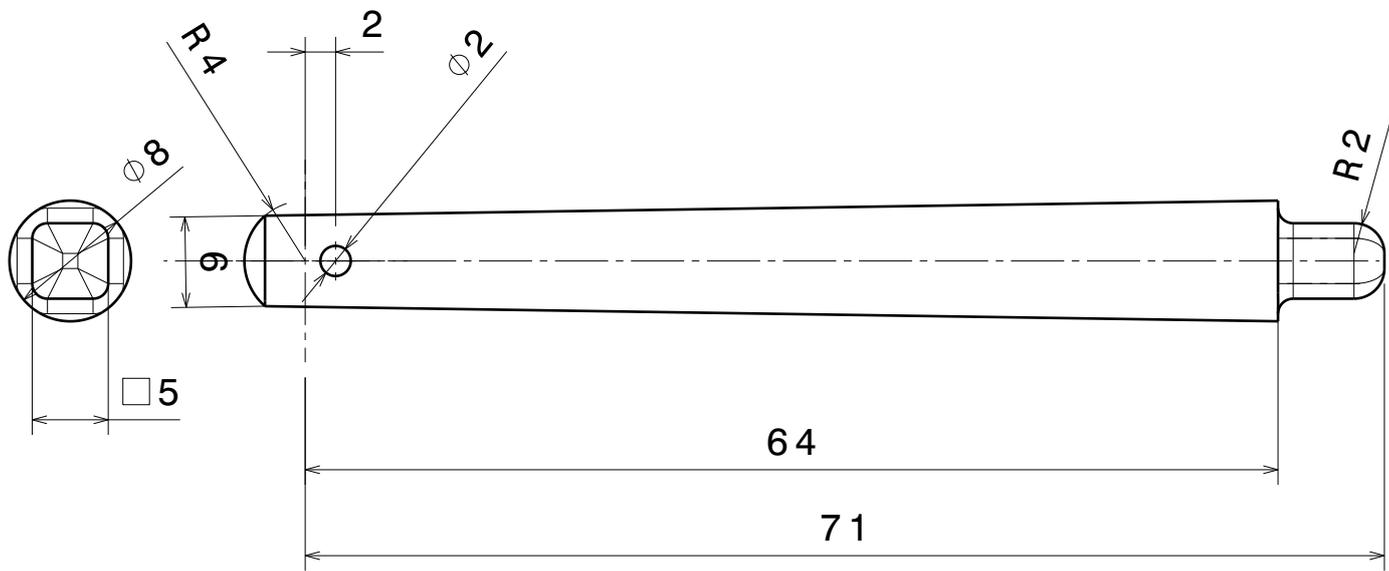
3

2

2

1

1



Radios de redondeo no acotados 1mm

DISEÑADO POR: Mercedes Bendito		<h1>Tornillo de afinación</h1>		I	-
FECHA 19/04/2024				H	-
Tolerancias generales para las dimensiones sin indicación en el dibujo: ISO 2768-m				G	-
TAMANO A4		<h2>Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto-UVa</h2>		F	-
ESCALA 2:1	MATERIAL CB752S			E	-
PRODUCTO ARPA ELÉCTRICA		PLANO 6		D	-
				C	-
				B	-
				A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

D

A

D

C

B

A

4

4

3

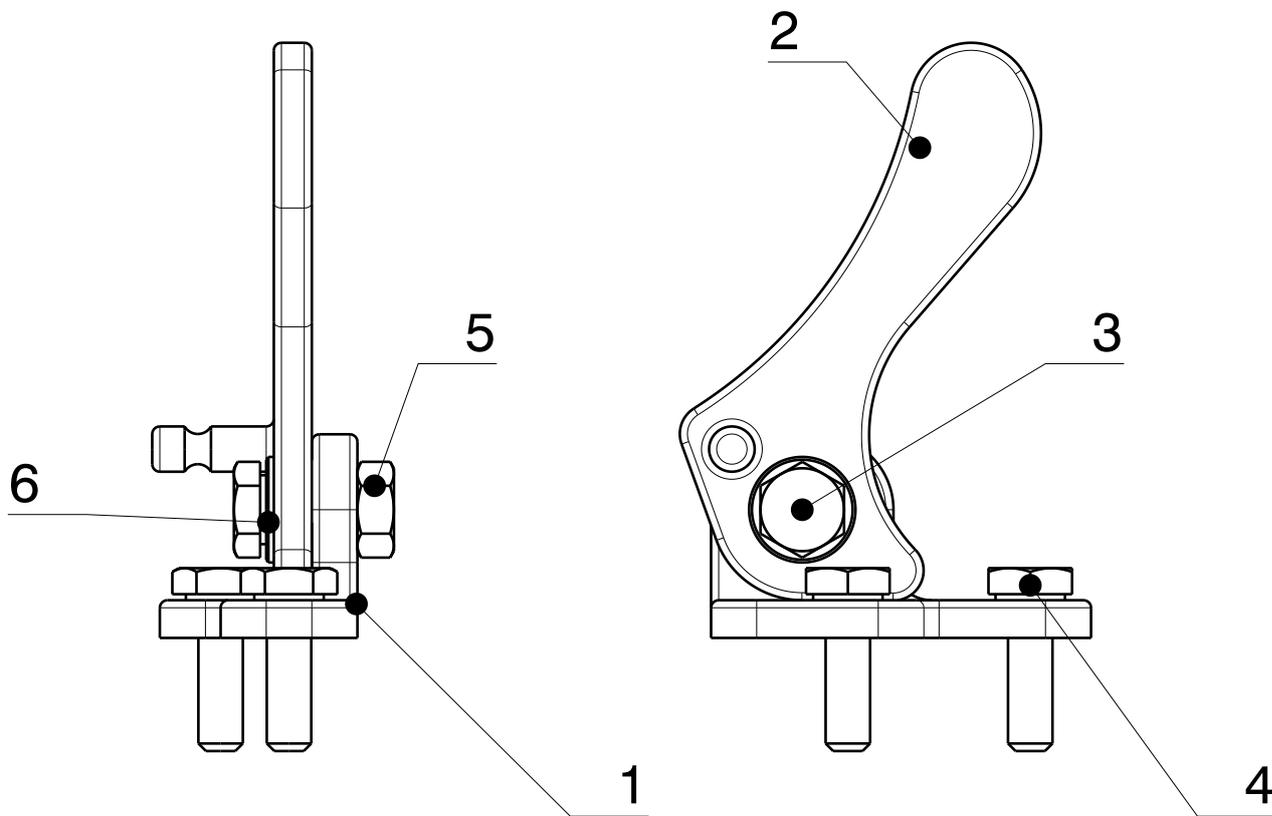
3

2

2

1

1



1	Arandela ISO 7089-3-200HV-A2	6	ISO 7089	
1	Tuerca hexaogonal normal ISO 4032-M3-8	5	ISO 4032	
2	Tornillos de cabeza hexagonal ISO 4017-M3x10-8.8	4	ISO 4017	
1	Tornillo de cabeza hexagonal ISO 4017-M3x8-8.8	3	ISO 4017	
1	Palanca del clavijero	2	Plano 9	CB752S
1	Base del clavijero	1	Plano 8	CB752S
Nº piezas	Denominación	Marca	Referencia	Material

DISEÑADO POR:

Mercedes Bendito

FECHA:

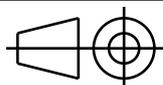
11/04/2024

Tolerancia general para las dimensiones sin indicación individual:

ISO 2768-m

TAMANO

A4



Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto-UVa

ESCALA

2:1

PRODUCTO

Arpa eléctrica

PLANO

7

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

D

A

D

C

B

A

4

4

3

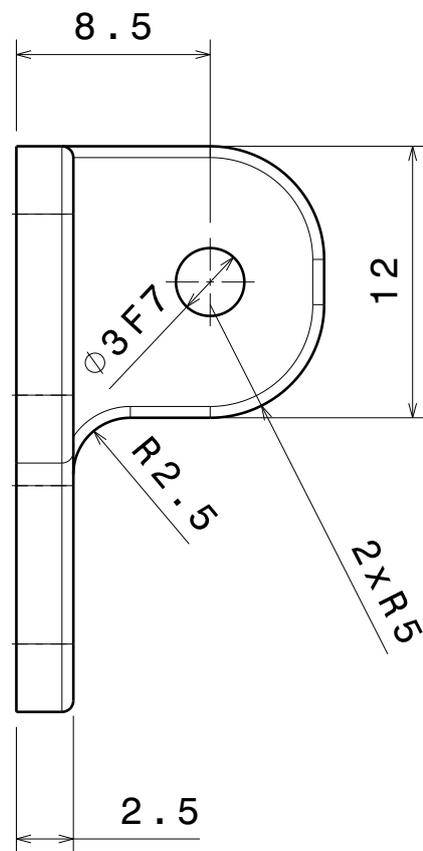
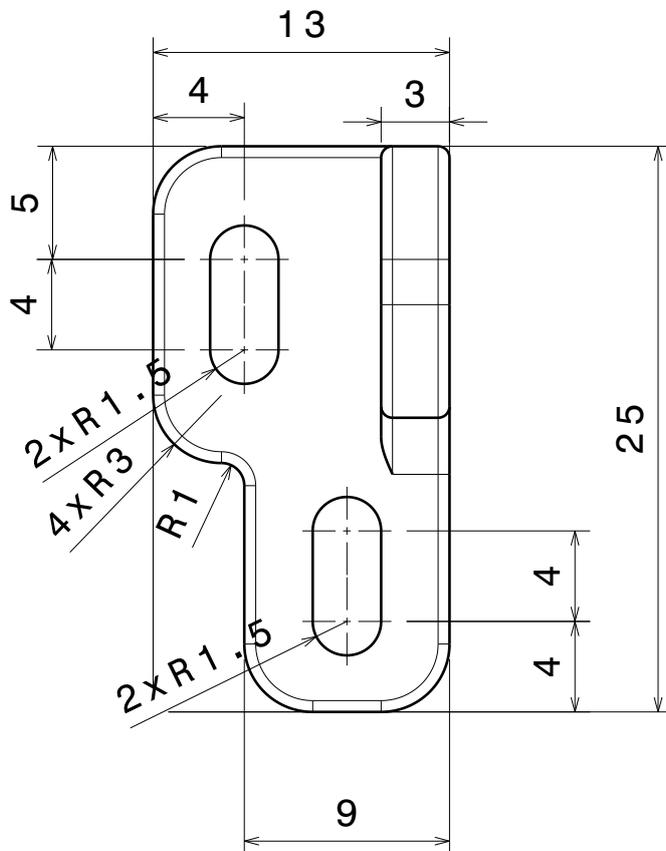
3

2

2

1

1



Radios de redondeo
no acotados 0,5 mm

DISEÑADO POR:

Mercedes Bendito

FECHA:

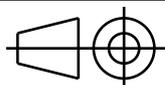
03/04/2024

tolerancias generales para
las dimensiones sin
indicación en el dibujo:

ISO 2768-m

TAMANO

A4



Base del clavijero

Ingeniería en Diseño Industrial y
Desarrollo de Producto

ESCALA

3:1

MATERIAL

CB572S

PRODUCTO

Conjunto del clavijero
(Arpa eléctrica)

PLANO

8

I

-

H

-

G

-

F

-

E

-

D

-

C

-

B

-

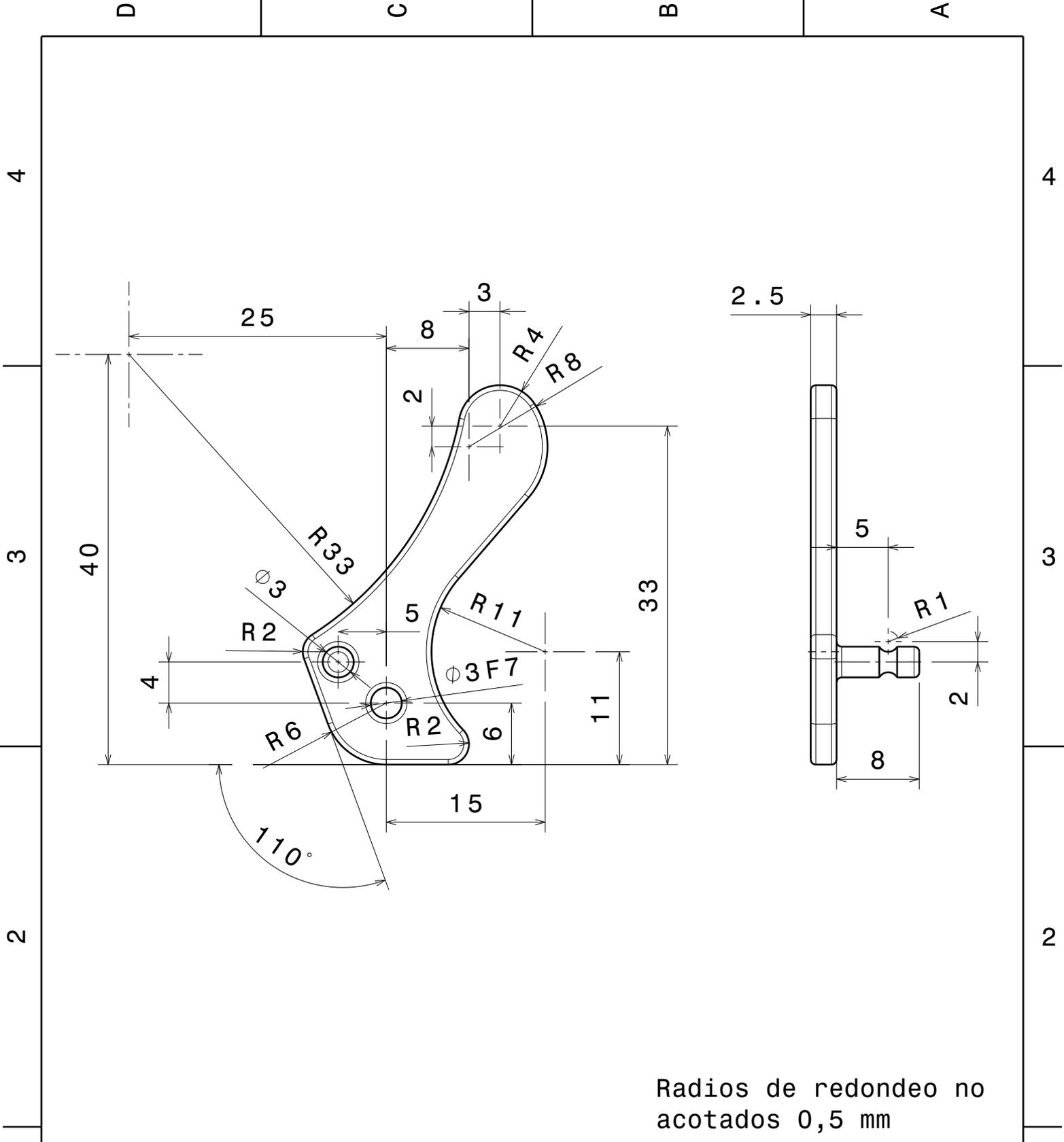
A

MARCA 1

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

D

A

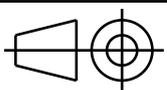


Radios de redondeo no acotados 0,5 mm

DISEÑADO POR:
Mercedes Bendito
FECHA
03/04/2024

Tolerancias generales para las dimensiones sin indicación en el dibujo:
ISO 2768-m

TAMANO
A4



Palanca del clavijero

Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto-UVa

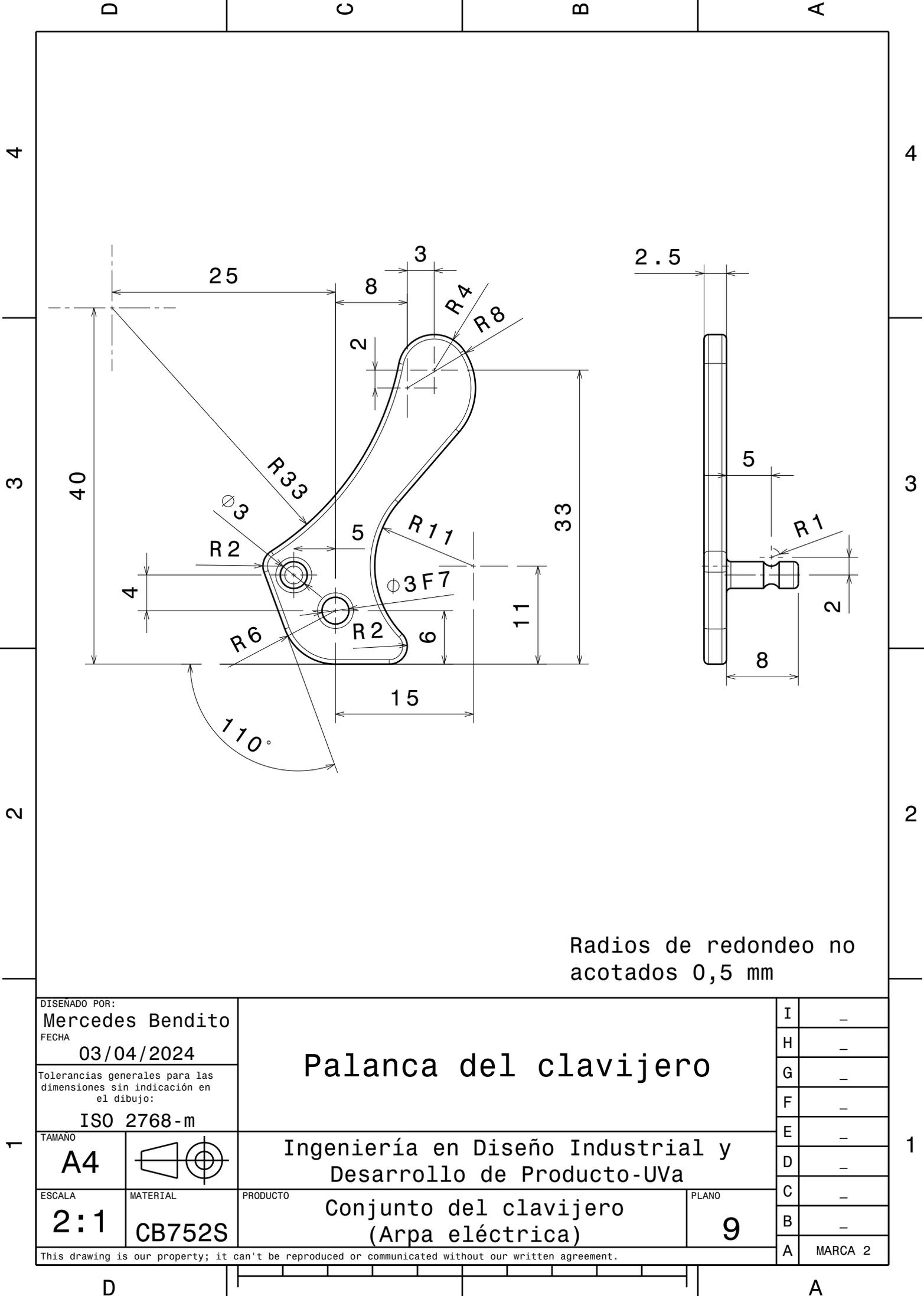
ESCALA
2:1
MATERIAL
CB752S

PRODUCTO
Conjunto del clavijero (Arpa eléctrica)

PLANO
9

I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	MARCA 2

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.



3. MEDICIONES

Pieza	Marca	Volumen (cm ³)	Volumen (m ³)	Material	Densidad (kg/m ³)	Peso (Kg)
Cuerpo frontal	1	1192,986	0,001192986	Fibra de carbono	1750	2,0877255
Cuerpo trasero	2	1296,943	0,001296943	fibra de carbono	1750	2,26965025
Tapa jack	3	0,522	0,000000522	Fibra de carbono	1750	0,0009135
Puente	4	25,406	0,000025406	PLA	1240	0,03150344
Tornillo de puente	5	0,374	0,000000374	Latón	8100	0,0030294
Tornillo de afinación	6	2,741	0,000002741	Latón	8100	0,0222021
Base del clavijero	8	0,929	0,000000929	Latón	8100	0,0075249
Palanca del clavijero	9	0,915	0,000000915	Latón	8100	0,0074115

Tabla 3. Mediciones de volúmenes y pesos de las piezas.

4. *f* RESUPUESTO

ÍNDICE DE PRESUPUESTO

- 1) COSTE DE FABRICACIÓN
 - a. MANO DE OBRA DIRECTA (MOD)
 - b. MATERIALES
 - c. PUESTO DE TRABAJO
- 2) MANO DE OBRA INDIRECTA (MOI)
- 3) CARGAS SOCIALES
- 4) GASTOS GENERALES
- 5) BENEFICIO INDUSTRIAL

4.1. COSTE DE FABRICACIÓN

4.2. Cuadro de mano de obra

Nº	Operario	Tarea	Salario (€/h)	Horas	Repeticiones	Total €
1	Especialista	Preparación del molde	8,5	0,05	3	1,275
2	Peón	Cortado de las láminas Prepreg	8,1	0,15	3	3,645
3	Especialista	Montaje de los recortes sobre el molde	8,5	0,4	3	10,2
4	Especialista	Debulking	8,5	0,3	3	7,65
5	Especialista	Preparación de las últimas capas	8,5	0,15	3	3,825
6	Oficial de 1ª	Inspección primera	10,4	0,01	6	0,624
7	Peón	Curado de las piezas	8,1	7	3	170,1
8	Peón	Desmoldeo	8,1	0,1	3	2,43
9	Especialista	Mecanizado de bordes y taladros	8,5	0,75	3	19,125
10	Peón	Limpieza	8,1	0,17	6	8,262
11	Oficial de 1ª	Inspección segunda	10,4	0,017	6	1,0608
12	Especialista	Montaje y pegado de piezas Colocación de las cuerdas y	8,5	1,5	1	12,75
13	Especialista	afinación	8,5	0,4	1	3,4
14	Especialista	Pintado y pulido	8,5	3	6	153
TOTAL						397,35

Tabla 4. Cuadro de precios para mano de obra directa.

4.3. Cuadro de maquinaria

Nº	Máquina	Precio/h	Horas	Total €
1	Aspiradora de vacío	8	0,6	4,8
2	Horno de curado industrial	11	21	231
3	Mecanizadora CNC	10,5	0,75	7,875
4	Pistola de pulverización de pintura	5	1,8	9
5	Cabina de pulverización	7	2	14
6	Atornillador inalámbrico	3	1	3
TOTAL				269,675

Tabla 5. Cuadro de precios de contrata para la maquinaria.

4.4. Cuadro de materiales

MATERIAL	PESO (Kg)		PRECIO	
	NETO	BRUTO	€/Kg	Total (€)
Fibra de carbono	4,358	4,794	60	287,64
PLA	0,032	0,352	20	7,04
Latón	0,04	0,044	5	0,22

Tabla 6. Tabla precios materiales para las piezas de fabricación.

PIEZAS DE FABRICACIÓN							
Pieza	Marca	Material	Peso/unidad (kg)	Unidades	Peso total	Precio (€/Kg)	Total (€)
Cuerpo frontal	1	Fibra de carbono	2,088	1	2,088	60	125,28
Cuerpo trasero	2	Fibra de carbono	2,271	1	2,271	60	136,26
Tapa jack	3	Fibra de carbono	0,001	1	0,001	60	0,06
Puente	4	PLA	0,032	1	0,032	20	0,64
Base del clavijero	8	Latón	0,008	22	0,176	5	0,88
Palanca del clavijero	9	Latón	0,007	22	0,154	5	0,77

Total € piezas fabricación 263,89

Tabla 7. Precios de las piezas de fabricación.

CONJUNTO MATERIALES			
Material	Cantidad	Precio/u	Total €
Fibra de carbono	4,794 kg	60 €	287,65
PLA	0,352 kg	20 €	7,04
Latón	0,044 kg	5 €	2,2
Tornillos de cabeza hex. M3x8	22 ud.	0,15 €	3,3
Tornillos de cabeza hex. M3x10	44 ud.	0,15 €	6,6
Tornillo de cabeza hex. M2x8	2 ud.	0,07 €	0,14
Arandela plana	22 ud.	0,01 €	0,22
Tuerca normal hex. M3	22 ud.	0,06 €	1,32
Adhesivo especial	50ml	0,50 €	25
Alcohol isopropílico	0,03l	6,50 €	0,19
Bolsa plástica para vacío	2 ud.	0,10 €	0,2
Pastilla piezoeléctrica	1 ud.	80 €	80
Puerto jack 1/4"	1 ud.	4,70 €	4,7
Tornillo de puente	22 ud.	0,50 €	11
Tornillo de afinación	22 ud.	1 €	22
Esmalte acrílico de poliuretano	0,4L	38 €	15,2
Esmalte negro	0,04L	12 €	0,48
Barniz acrílico	0,4L	20 €	8
		Total €	475,24

Tabla 8. Precios de los materiales de fabricación y compra.

El total del coste de fabricación es igual a la suma del coste de los materiales, la mano de obra directa y el coste del puesto de trabajo.

$$\text{CF (Coste de fabricación)} = \text{CM (Coste del material)} + \text{MOD (Coste de la mano de obra directa)} + \text{CPT (coste del puesto de trabajo)}$$

COSTE FABRICACIÓN	
MOD	397,35 €
MATERIALES	475,24 €
PUESTO DE TRABAJO	269,68 €
TOTAL	1.142,27 €

Tabla 9. Coste total de fabricación.

4.2. M.O.I

El coste de la mano de obra indirecta MOI se define como un porcentaje de la mano de obra directa MOD. En este caso se establece en un 35%.

$$\text{MOI} = 35\% (\text{MOD}) \quad \text{MOD} = 397,35 \text{ €}$$

$$\text{MOI} = 139,07 \text{ €}$$

4.3. CARGAS SOCIALES

Las cargas sociales se establecen en un porcentaje de un 40% sobre la suma de los costes de mano de obra directa e indirecta de la siguiente forma:

$$\text{CS (Cargas sociales)} = 40\% (\text{MOD} + \text{MOI})$$

$$\text{MOD} + \text{MOI} = 536,42 \text{ €}$$

$$\text{CS} = 214,57 \text{ €}$$

4.4. GASTOS GENERALES

Los gastos generales GG representan un 18% de la mano de obra directa en este caso.

$$GG = 18\% (MOD) \quad MOD = 397,35 \text{ €}$$

$$GG = 51,66 \text{ €}$$

4.5. BENEFICIO INDUSTRIAL

El beneficio industrial BI se establece en un 15% sobre el total del coste total en fábrica, el cual representa la suma del coste de fabricación CF, junto a la mano de obra indirecta MOI, las cargas sociales CS y los gastos generales GG.

$$CT = Cf + MOI + CS + GG$$

$$CF = 1142,27 \text{ €} \quad MOI = 139,07 \text{ €} \quad CS = 214,57 \text{ €} \quad GG = 51,66 \text{ €}$$

$$CT = 1547,57 \text{ €}$$

$$BI = 15\% (CT)$$

$$BI = 232,14 \text{ €}$$

4.6. PRECIO DE VENTA

El precio de venta en fábrica resulta de la suma entre el coste total en fábrica CT y el beneficio industrial BI.

$$Pv = CT + BI$$

$$Pv = 1.779,7 \text{ €}$$

CONCEPTO	PRECIO (€)	
Coste de fabricación Cf	Material	475,24
	MOD	397,35
	P.T.	269,68
Coste de mano de obra indirecta MOI		139,07
Cargas Sociales CS		214,57
Gastos Generales GG		51,66
Coste total de fábrica		1547,57
Beneficio industrial BI		232,14
Precio de venta en fábrica Pv		1779,70
Precio de venta al público IVA 21%		2153,44

Tabla 10. Precios totales para una unidad.

El presupuesto general de ejecución por contrata de una unidad de producto asciende a DOS MIL CIENTO CINCUENTA Y TRES EUROS CON CUARENTA Y CUATRO CÉNTIMOS.



Fdo. Mercedes Bendito Fernández

5. ONCLUSIONES

Como conclusión a este proyecto, se realiza una comparativa entre los objetivos establecidos antes de su inicio y los resultados obtenidos, y reflexiones sobre el trabajo realizado.

1. *El estudio de los orígenes de los instrumentos musicales de cuerda pulsada, su evolución a lo largo de los años, sus variantes geográficas, su funcionamiento y otros datos de interés.*

Se ha llevado a cabo una investigación que ha establecido los antecedentes al proceso de diseño, motivando el aprendizaje de conocimientos nuevos e inspirando ideas originales y únicas. Se ha profundizado en conceptos como los orígenes de la música y los instrumentos, y todas las referencias culturales y artísticas involucradas en el mundo musical, para proveer de contexto al proceso de diseño del arpa eléctrica.

Se han estudiado nuevos conceptos o ideas como el origen del arpa en el arco musical, el desarrollo y evolución de este instrumento a lo largo del tiempo y sus variantes geográficas. Al mismo tiempo se han descubierto innumerables ejemplos de instrumentos inspirados en elementos naturales, específicamente en animales y seres mitológicos.

2. *Aprendizaje de los conceptos físicos básicos involucrados en la creación, amplificación y propagación de sonidos, profundizando en los aspectos de tonalidad musical.*

Gracias al estudio de los orígenes y el desarrollo histórico de la música y los instrumentos musicales, se ha comprobado la gran importancia del conocimiento científico en dicho proceso. Se establece la necesidad de conocer los conceptos físicos básicos involucrados en la creación de sonidos melódicos y de adquirir herramientas cognitivas para la fabricación de objetos capaces de recrear los sonidos deseados.

Durante el desarrollo de la actividad para completar este segundo objetivo, se han observado también muestras de implementación de nuevas tecnologías en los instrumentos musicales durante las últimas décadas, complementando los conocimientos técnicos preexistentes. Con esto ampliamos el campo de estudio más allá de los instrumentos y tecnologías clásicas.

3. *Estudio en profundidad del arpa como instrumento, sus partes, mecanismos, variantes, detalles técnicos, así como nuevos diseños y muestras de la aplicación de nuevas tecnologías en el diseño de este instrumento.*

Durante el proceso de estudio del arpa como instrumento, se han evidenciado sus innumerables variantes según su origen geográfico, su tamaño, tecnologías, las necesidades musicales que cubren, los materiales de fabricación, relación con elementos culturales, etc. El arpa como instrumento es extremadamente variado y versátil, por lo que se han tratado de estudiar los instrumentos más representativos y los mecanismos que los diferencian.

Por otro lado, como parte de este objetivo, también se ha llevado a cabo una investigación y reflexión sobre la situación del arpa en la actualidad, con algunos de los arpistas más conocidos y representativos de las nuevas tendencias en el mundo de las arpas.

El conocimiento principal establecido con el estudio del arpa ha sido la evolución que ha sufrido este instrumento a lo largo del tiempo y de las diferentes culturas, que se mantiene hoy en día con el auge de las nuevas tecnologías y del deseo constante de innovación en el mundo artístico.

4. *Diseño integral de un instrumento de cuerda pulsada, en este caso un arpa que refleje el trabajo de investigación previo en cuanto a la historia, la inspiración, el estudio de mercado de productos ya existentes, mecanismos innovadores, detalles técnicos, etc., utilizando un diseño innovador, creativo. El diseño deberá reflejar los conocimientos adquiridos durante el desarrollo de la actividad lectiva en grado de Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto, siendo coherente con los métodos existentes de fabricación en la industria actual, empleando las herramientas de diseño tridimensional, y presentando evidencias de pensamiento crítico.*

El proceso de diseño comienza estableciendo la naturaleza del proyecto y justificando su desarrollo según las necesidades actuales y la motivación para su creación. A continuación, se procede a hacer un estudio de los instrumentos existentes en el mercado que se asemejan a la idea inicial, según se establece en el objetivo.

Después de esto se añade un apartado donde se muestran los bocetos de la evolución de la idea inicial, explorando ideas de instrumentos inspirados en la naturaleza y los animales hasta llegar a la idea final de un arpa inspirada en la figura y la anatomía de un dragón. Teniendo esta idea asentada se procede a presentar un pequeño estudio del dragón como icono, su representación en distintas partes del planeta, su impacto en la actualidad y en la cultura popular.

Unificando el diseño de los diseños con la investigación de los dragones, se consigue llegar al modelo final del arpa, que unifica los conocimientos adquiridos previamente durante el proyecto. Se describen los detalles técnicos del diseño del arpa, sus materiales, dimensiones, mecanismos específicos y se aportan imágenes digitales procedentes de un modelo 3d, creado además de los planos del producto y sus partes.

- 5. Por último, deberán incluirse en el proyecto documentos de aplicación económica y académica, como son las mediciones y el presupuesto en el primer caso, y las conclusiones y referencias bibliográficas en el segundo.*

Junto a la memoria y los planos se han incluido apartados de mediciones, donde se menciona los volúmenes y cantidades de material referentes a cada pieza, así como un apartado de presupuesto, donde se hace una estimación de los precios de mano de obra, materiales y puesto de trabajo entre otros, para llegar a un precio de venta final para el producto diseñado. Se ha incluido también un apartado de referencias bibliográficas.

En definitiva, se han cumplido por completo el objetivo principal de aprendizaje y descubrimiento de una disciplina que resultaba prácticamente desconocida, aprendiéndose no solo aquello que resultaba pertinente para el desarrollo de este proyecto, sino muchos otros conceptos históricos, culturales, científicos y artísticos aplicables a un amplio abanico de posibilidades académicas.

Como posibles líneas futuras del proyecto, se incluye la posibilidad de explorar diseños alternativos del arpa en distintos tamaños, para adaptarse a las distintas necesidades de los arpistas. Además, se propone explorar la inclusión de un sistema de ajuste de volumen y brillo de sonido integrado, y el diseño de accesorios para el instrumento, como un apoyo de suelo o un arnés. También sería posible ampliar el proyecto con el diseño de un embalaje para el transporte y su venta, así como una imagen corporativa y un nombre de marca que lo acompañe.

b.  **BIBLIOGRAFÍA**

BIBLIOGRAFÍA

Arrobas, M., Purita, G. y Testasecca, I. (2017). *Mitos celtas para pensar: un inicio a la filosofía*. Maipue.

Beléndez, A. (1992). *Temas de Física para Ingeniería: Acústica*. Fundamentos Físicos de la Ingeniería. Revista de ciencias, (2) E. U. Politécnica de Alicante, Universidad de Alicante.

Hesíodo. (2021). *Obras y fragmentos*. Gredos.

Latham, A. (2017). *Diccionario enciclopédico de la música*. México: FCE - Fondo de Cultura Económica.

Masetti Bitelli, L. (2004). *Restauración de Instrumentos y Materiales: Ciencia, Música, Etnografía*. España: Nerea.

Merino de la Fuente, J. M., & Muñoz-Repiso, L. (2013). *La percepción acústica: Física de la audición*. Revista de ciencias, (2), 19-26.

Russolo, L. (2020). *El arte de los ruidos*. Casimiro.

Velázquez, A. (2021). *Cómo vivir sin dolor si eres músico: La mejor postura. Técnicas y ejercicios para alcanzar una mejor calidad musical evitando dolores y lesiones*. Ma Non Troppo.

WEBGRAFÍA

Admin. (s. f.). *String spacing*. Heartland Harps. <https://heartlandharps.com/string-spacing/#:~:text=Most%20harps%20have%20spacing%20from,the%20strings%20comfortably%2C%20without%20error>

Admin. (2022, 21 marzo). *Dragones: ¿Leyenda o realidad?* AMC SELEKT. <https://amcselekt.es/blog/archivo-canal-historia/dragones-criaturas-legendarias-historia/>

Aleluca. (2022, 10 mayo). *El Arco Musical – Un poco de historia*. Escuela de Música la Sala En Barcelona - Poble Sec. <https://escuelademusicalasala.com/el-arco-musical-un-poco-de-historia#:~:text=El%20instrumento%20de%20cuerda%20m%C3%A1s,que%20generalmente%20es%20de%20madera>

Aretxa. (s. f.). *Clàrsach, Cláirseach*. <https://instrumundo.blogspot.com/2013/08/clarsach-clairseach.html>

Arpa de pedales | Mediterranean Harp Luthiery. (s. f.). <https://concertharps.com/restauracion-y-reparacion/arpa-de-pedales/>

Aspectos antropométricos de la población laboral española aplicados al diseño industrial - INSST - Portal INSST - INSST. (s. f.). Portal INSST. <https://www.insst.es/documentacion/material-tecnico/documentos-tecnicos/aspectos-antropometricos-de-poblacion-laboral-espanola-aplicados-al-diseno-industrial-2003>

Balearic Fasteners. (s. f.). *Tornillería industrial inox - Comprar tornillos de acero inoxidable*. <https://www.balearic-fasteners.com/>

Bellido, N. (2012, 26 agosto). *El desarrollo del arpa en Latinoamérica y en Costa Rica | La guitarra y los instrumentos de cuerda pulsada*. <https://www.laguitarra-blog.com/2012/08/26/el-desarrollo-del-arpa-en-latinoamerica-y-en-costa-rica/>

Braña, O., & Eloy, G. (2016). *OPTIMIZACIÓN DE LA ACTIVACIÓN ELÉCTRICA y DE LA RESPUESTA PIEZOELÉCTRICA DE POLÍMEROS ESPUMADOS y MODELIZACIÓN DE LOS PROCESOS ELECTROSTÁTICOS INTERNOS*. <https://doi.org/10.4995/thesis/10251/62408>

Castro Composites. (s. f.). *Resinas y fibras de refuerzo*. <https://www.castrocompositesshop.com/es/>

ClipCarbono. (s. f.). *Información variada a cerca de la fibra de carbono*. <https://www.clipcarbono.com/es/content/10-informacion-variada-a-cerca-de-la-fibra-de-carbono#:~:text=Su%20m%C3%B3dulo%20de%20elasticidad%20supera%20los%20300%20y%20aun%20los%20500%20GPa>

Colaboradores de Wikipedia. (s. f.). *Kora (instrumento)*. Wikipedia, la Enciclopedia Libre. [https://es.wikipedia.org/wiki/Kora_\(instrumento\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Kora_(instrumento))

Colaboradores de Wikipedia. (2023, 11 abril). *Dragón europeo*. Wikipedia, la Enciclopedia Libre. https://es.m.wikipedia.org/wiki/Drag%C3%B3n_europeo#:~:text=En%20el%20druidismo%20irland%C3%A9s%20y,conocimiento%20y%20de%20la%20divinidad

Colaboradores de Wikipedia. (2024a, enero 22). *Arpa de la tumba de Any*. Wikipedia, la Enciclopedia Libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Arpa_de_la_tumba_de_Any

Colaboradores de Wikipedia. (2024b, marzo 16). *Kora (instrumento)*. Wikipedia, la Enciclopedia Libre. [https://es.wikipedia.org/wiki/Kora_\(instrumento\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Kora_(instrumento))

Colaboradores de Wikipedia. (2024c, abril 10). *Liras de ur*. Wikipedia, la Enciclopedia Libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Liras_de_Ur

Colaboradores de Wikipedia. (2024e, abril 13). *Música celta*. Wikipedia, la Enciclopedia Libre. https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%BAsica_celta

Colaboradores de Wikipedia. (2024f, abril 16). *Danza del dragón*. Wikipedia, la Enciclopedia Libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Danza_del_drag%C3%B3n

Colaboradores de Wikipedia. (2024g, abril 16). *Instrumento de cuerda*. Wikipedia, la Enciclopedia Libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Instrumento_de_cuerda

¿Cómo el arpa paraguaya logró alcanzar un récord mundial? - Última Hora | Noticias de Paraguay y el mundo, las 24 horas. Noticias nacionales e internacionales, deportes, política. Noticias de último momento. (2020, 9 junio). Última Hora. <https://www.ultimahora.com/como-el-arpa-paraguaya-logro-alcanzar-un-record-mundial-n2889364>

Conoce el arpa de pedales | Mediterranean Harp Luthiery. (s. f.). <https://concertharps.com/conoce-el-arpa-de-pedales/>

Concert harp mechanism, how does it work? [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=cSJAq3gfgCk>

Cuba, A. F. (2017, 21 enero). El cartel del Festival do Mundo Celta revive al dragón de la ría Ortejana. *La Voz de Galicia*. https://www.lavozdeg Galicia.es/noticia/ferrol/ortigueira/2017/01/21/cartel-festival-do-mundo-celta-ortigueira-revive-dragon-ria/0003_201701F21C7991.htm

CUERDAS PULSADAS. (s. f.). *Aquila Nuevo Nylgut NGH ROJO para arpas*. Cuerdas Pulsadas. <https://cuerdaspulsadas.com/es/categoria/arpa-aquila-corde-ngh/nuevo-nylgut-ngh-rojo/>

Cunningham, R. (1998, 12 junio). US6080921A - Blade sharpening device for a lever harp - Google Patents. <https://rb.gy/1rro4i>

De Instrumentos Musicales, N.- T. (2023a, septiembre 12). LA MÚSICA CELTA y SUS INSTRUMENTOS PRINCIPALES. *NEOMÚSICA* | *Tu blog de música*.

<https://neomusica.es/blog/musica-celta-instrumentos/>

De Instrumentos Musicales, N.- T. (2023b, septiembre 12). LOS TIPOS DE ARPA: PLURALIDAD MUSICAL - NEOMUSICA. *NEOMÚSICA* | *Tu blog de música*.

<https://neomusica.es/blog/tipos-de-arpa/>

Delgado, D. (2021, 22 febrero). *¿Por qué el símbolo de Irlanda es un arpa? Muy Interesante*. <https://www.muyminteresante.es/historia/34914.html>

Dragones, las criaturas más malignas y fascinantes. (2024, 2 enero).

historia.nationalgeographic.com.es.

https://historia.nationalgeographic.com.es/a/dragones-fascinante-encarnacion-mal-arte_19643

Easy Composites Ltd. (2017, 11 diciembre). *How to Make Prepreg Carbon Fibre Parts (XPREG® XC110)* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=HfrFaKDsJxc>

El dragón chino: mitos y leyendas. (s. f.). <https://www.uv.es/uvweb/instituto-confucio-uv/es/instituto-confucio/dragon-chino-mitos-leyendas-1285919278217/GasetaRecerca.html?id=1285990690593>

EL ORIGEN DEL ARPA CELTA. (s. f.). Celtiberia.net.

<https://www.celtiberia.net/es/biblioteca/?id=937>

El Rincón del Luthier. (s. f.). *El rincón del luthier*. <https://elrincondeluthier.es/>

Encriptada, M. (2022, 14 septiembre). *Regla del tetracordo*. Música Encriptada.

<https://musicaencriptada.es/2021/09/13/regla-del-tetracordo/>

Estrellalogos. (2014, 31 marzo). *¿Cómo es un arpa?* Musicalogos.
<https://musicalogos.wordpress.com/2014/03/31/como-es-un-arpa/>

Estudio Shine. (2024, 4 marzo). *Clases de música - La Escuela de Música Shine*. La Escuela de Música Shine. <https://www.shinemusicschool.es/es/>

Exploralo. (2021, 25 enero). *Cuevas del Drach en Mallorca: Curiosidades, historia, precio y cómo llegar*. Viajes En Grupo Por el Mundo | Llena Tu Vida de Nuevas Aventuras | Huakai. <https://huakai.es/cuevas-del-drach/>

Fischer, A. (2022, 29 agosto). *¿De dónde vienen los dragones realmente? Esto dice la mitología antigua*. National Geographic En español.
<https://www.ngenespanol.com/historia/origen-de-los-dragones/>

Germán Ocaña. (2021a, agosto 29). *Mecanismo de arpa de pedales o concierto completo con Fusion 360. Fusion 360 pedal harp mechanism*. [Vídeo]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=9ujA6MI8Yeg>

Germán Ocaña. (2021b, agosto 29). *Mecanismo arpa de pedales o concierto, ¿cómo funciona?* [vídeo]
https://www.youtube.com/watch?v=cSJAq3gfgCk&ab_channel=Germ%C3%A1nOca%C3%B1a

Handcrafted Celtic and folk harps. (s. f.). Turmennan Harp Parts.
<https://www.harpparts.co.uk/>

Historical Images from Clive Morley Harps. (s. f.).
<https://www.morleyharps.co.uk/historical-images>

How It's Made. (2023, 16 julio). *How Carbon Fiber is Made in Factories | HOW IT'S MADE* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=VNLWSu41Xts>

Irlandés, V. (2020, 4 noviembre). *MODOS LAS ESCALAS MUSICALES CELTAS*. VIOLÍN IRLANDÉS - 2020. <https://violinirlandes.com/tutorial-de/modos-las-escalas-musicales-celtas/#:~:text=Modo%20D%C3%B3rico%20escalas%20d%C3%B3ricas%20m%C3%A1s%20usadas%20en%20la%20M%C3%BAsica%20Celta&text=Por%20ejemplo%20las%20notas%20de%20la%20escala%20de%20Mi%20menor,%20Do%23%20y%20Re>

La 440. Historia de la electricidad en clave de salsa | Editores. (s. f.). https://www.editores-srl.com.ar/revistas/ai/4/miravalles_la_440#:~:text=En%201936%20una%20conferencia%20internacional,en%201975%20como%20ISO%2016

Libretexts. (2021, 4 octubre). *4.4: Central Africa*. Humanities LibreTexts. https://human.libretexts.org/Bookshelves/Art/SmartHistory_of_Art/04%3A_Africa/4.04%3A_Central_Africa

Manzanas, J. (2021, 11 diciembre). ¿Cuál es el origen de la música? *okdiario.com*. <https://okdiario.com/curiosidades/cual-origen-musica-8255519>

Modos musicales: La guía definitiva de la música modal. (s. f.). <https://emastered.com/es/blog/music-modes>

Módulo elástico y coeficiente de Poisson de materiales compuestos. (s. f.). <https://www.sonelastic.com/es/fundamentos/tablas-propiedades-materiales/compuestos.html>

Montero, J., & Montero, J. (2015, 23 febrero). *Cálculo de la frecuencia de nuestras notas musicales* | *El Club del Autodidacta*. El Club del Autodidacta | Polifacetismo y Creatividad. <http://elclubdelautodidacta.es/wp/2012/08/calculo-de-la-frecuencia-de-nuestras-notas-musicales/>

Mundo, C. (2012, 13 abril). Uso de escalas orientales en la música occidental. *Quarter Note*. <https://quarter-note.blogspot.com/2008/08/uso-de-escalas-orientales-en-la-musica.html>

N.D. (2007, 9 agosto). El homo habilis y el homo erectus fueron coetáneos. *La Voz de Galicia*. https://www.lavozdeg Galicia.es/noticia/sociedad/2007/08/09/homo-habilis-homo-erectus-fueron-coetaneos/0003_6046930.htm

Ocaña, G. (2002). *Construcción de INSTRUMENTOS TRADICIONALES*. <https://www.luispayno.es/colabora/arpaeur.htm>

Ocaña, G. (2003). CUERDAS-CONOCIMIENTOS PRÁCTICOS. *Ocaña Artesanía_The Sound Of Wood*. <https://www.caja-pdf.es/2013/09/07/cuerdas-arpas/cuerdas-arpas.pdf>

Orts, M. A. (2023, 17 abril). Música y física. *FisiQuímicamente*. <https://fisiquimicamente.com/blog/2023/02/01/musica-y-fisica/>

ParaguayanHarps.com - Acerca del Arpa paraguaya. (s. f.). [https://www.paraguayanharps.com/es/historia.html#:~:text=El%20arpa%20diat%C3%B3nica%20\(diat%C3%B3nica%20significa,el%20arpa%20funcionaba%20como%20instrumento](https://www.paraguayanharps.com/es/historia.html#:~:text=El%20arpa%20diat%C3%B3nica%20(diat%C3%B3nica%20significa,el%20arpa%20funcionaba%20como%20instrumento)

Pemaro. (s. f.). *Ecuación para una cuerda de guitarra*. <https://citharaworld.blogspot.com/2017/03/ecuacion-para-una-cuerda-de-guitarra.html>

Pina_Nes. (s. f.). *música celta – Revista Rezuma Azud*. <https://portal.edu.gva.es/rezumaazud/va/tag/musica-celta/>

Poliamida 6 / nylon 6 - Ibermetal. (s. f.). Ibermetal. <https://ibermetal.es/plasticos/poliamida/>

Pyramid Cuerdas para Arpas. (s. f.). Thomann. https://www.thomann.de/es/pyramid_cuerdas_arpas.html

¿Qué son los Modos “Griegos”? – *Cresciento: Academia Online*. (s. f.).

<https://cresciento.net/armonia-moderna/sistema-modal-y-modos-griegos/>

Redondo Herrero, O. (2014). *CARACTERIZACIÓN DE LAMINADOS DE FIBRA DE CARBONO-EPOXI REFORZADOS CON OXIDO DE GRAFENO* [Trabajo de fin de máster, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA].

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/59500/Tesis.pdf?sequence=1>

Renaissance Arpa doppia | *Michael Dollendorf - Early Music*. (s. f.).

<https://michaeldollendorf.com/instruments/renaissance-arpa-doppia>

Ríos, X. (2024, 9 febrero). Xulio Ríos: El otro dragón. *El Diario Vasco*.

<https://www.diariovasco.com/opinion/xulio-rios-dragon-20240209070115-nt.html#&ref=>

Santos Guitars | *Eco-Friendly boutique guitars*. (s. f.). Santos Guitars.

<https://santosguitars.com/es/>

SemiColonWeb. (s. f.). *Historia - Cuevas del Drach - Mallorca*. Cuevas del Drach.

<https://www.cuevasdeldrach.com/historia.php>

SL, E. (s. f.). *NYLON - PA.6 - ELECTROCOME*. <https://www.electrocome.com/p-1-28/NYLON--PA6.htm>

Soto, S. (2016). *PLANOS DE CONSTRUCCIÓN ARPA CELTA 22*. www.academia.edu.

https://www.academia.edu/23767227/PLANOS_DE_CONSTRUCCI%C3%93N_ARPA_CELTA_22

The Metropolitan Museum of Art. (s. f.). <https://www.metmuseum.org/>

Tony. (2017, 26 abril). *Mathematics of the Harp*. Scientific Gems.

<https://scientificgems.wordpress.com/2017/04/26/mathematics-of-the-harp/>

Unknown. (s. f.-a). *De Dragones, música y cuentos*.

https://miisladelamusica.blogspot.com/2013/05/de-dragones-musica-y-cuentos_17.html

Unknown. (s. f.-b). *Las cuerdas de guitarra, poliamida musical*.

<https://poliamidaselmaterialeversatil.blogspot.com/2012/10/las-cuerdas-de-guitarra-poliamicida.html>

Vera, J. M. G. (2005, 8 diciembre). MXPA05013308A - *Arpa musical de cuerdas de alta tension desarmable y hueca construida a base de metales inoxidables con sistema de afinacion estable y mejoras o aplicaciones metalicas en arpas de madera*. - Google Patents.

[https://patents.google.com/patent/MXPA05013308A/es?q=\(clavija+arpa\)&oq=clavija+arpa](https://patents.google.com/patent/MXPA05013308A/es?q=(clavija+arpa)&oq=clavija+arpa)

Vila, A. (2018, 19 abril). *5 canciones sobre (más o menos) Sant Jordi y la leyenda del dragón, la princesa y la rosa*. Science Of Noise - Rock Magazine.

<https://www.scienceofnoise.net/5-canciones-sobre-mas-o-menos-sant-jordi-y-la-leyenda-del-dragon-la-princesa-y-la-rosa/>

Vilà, J. M. (s. f.). *Celta | Historia de los dragones | Josep M. Vilà*.

<https://www.smartproms.com/dragones/tradicion-cultural/indoeuropea/indoeuropea-en-europa-del/celta/>

Why is the Welsh dragon red? (s. f.). <https://www.studycountry.com/wiki/why-is-the-welsh-dragon-red>

Wiki, C. T. H. (s. f.). *Sharping Levers for Harps*. Harp Wiki.

https://harp.fandom.com/wiki/Sharping_Levers_for_Harps#Brough_Levers

7. NEXOS

7.1. CÁLCULOS

Origen del La 440Hz

Durante mucho tiempo, la afinación exacta de los instrumentos se hacía de forma relativa a una referencia algo arbitraria. En las orquestas se afinaba un instrumento y el resto se afinaba en relación con ese, o se utilizaba un diapasón para todos ellos. El problema que esto presentaba era que cada fabricante de diapasones creaba instrumentos ligeramente distintos, por lo que la frecuencia no era unificada.

Con el paso de los siglos, la tendencia fue la de afinar los instrumentos de cuerda a una frecuencia que iba aumentando, lo que se traducía en una mayor tensión en las cuerdas, y por tanto una mayor proyección del sonido y notas más brillantes. Sin embargo, otros instrumentos no poseían la misma versatilidad que los de cuerda, lo que hacía que se necesitaran rediseños y mantenimientos en instrumentos como los órganos, los cuales parecían ir acortando sus tubos con el paso de las décadas con el fin de adaptarse a las modas.

Esta evolución es evidente si observamos la variación de frecuencia de los diapasones de famosos compositores a lo largo de la historia.

El diapasón de Georg Friedrich Händel de 1740, compositor de obras tan conocidas como el famoso “Hallelujah”, estaba afinado a 422.5 Hz. En 1800, por otro lado, Beethoven utiliza un diapasón afinado a 455,4Hz.

No fue hasta el siglo XIX que se hicieron esfuerzos por unificar la frecuencia de referencia. En el año 1955 la Organización Internacional de Normalización decidió apoyar la decisión de utilizar los 440Hz como afinación de la nota *La* central. Esta decisión se reafirmó en el año 1975 con la ISO 16, aunque su uso llevaba extendiéndose desde el año 39 tras una conferencia internacional.

A pesar de todo, la decisión de afinar el La4 a 440 Hz no deja de ser eso, una decisión. Muchas personas deciden afinar sus instrumentos a frecuencias ligeramente distintas, existiendo varias corrientes que prefieren los 442Hz para afinar violines y otros instrumentos de cuerda, o aquellos que prefieren basarse en la exactitud histórica y deciden afinar sus instrumentos según la frecuencia habitual de la época histórica en la que se compuso la pieza que van a interpretar.

Durante muchos años, los materiales con los que se fabricaban los instrumentos eran los principales condicionantes de la afinación, sin embargo, hoy en día los avances tecnológicos nos permiten decidir con exactitud la afinación de nuestros instrumentos.

Las notas musicales

En el sistema occidental de notación musical, las octavas se dividen en intervalos de frecuencias de doce.

Teniendo como referencia los 440Hz del La natural central, el que se encuentra a la derecha del do central en un piano, también conocido como La₄, las frecuencias se doblan a medida que subimos de octava. Es decir, si el la₄ tiene una frecuencia de 440Hz, el la₅ es 880Hz, el la₆ 1760Hz y así sucesivamente.

Las frecuencias se asignan a las notas musicales siguiendo una progresión geométrica. Para obtener la frecuencia de una nota específica, necesitamos una frecuencia de referencia y el intervalo o distancia a la que nos encontramos de ella.

Si la octava se divide en doce semitonos en total, entonces podemos seguir el siguiente razonamiento para obtener la razón logarítmica:

$$F = F_1 \times Q$$

Siendo F la nota que queremos obtener y F₁ la de referencia.

En este caso cogemos el la₄ 440Hz como referencia, por lo que la nota que queremos obtener estará a un semitono por encima de La, es decir, el La#.

$$Fr \text{ La\#} = 440 \text{ Hz} \times Q$$

Para la nota que corresponde a una distancia dos semitonos, es decir, el Sol tendríamos que hacer:

$$Fr \text{ Sol} = 440 \text{ Hz} \times Q \times Q = 440 \times Q^2$$

Para una distancia de una octava, tenemos que:

$$Fr \text{ La}_5 = 880 \text{ Hz} = 440 \text{ Hz} \times Q^{12},$$

por lo que

$$Q^{12} = 2; \text{ y } Q = 1,0594631$$

Con este resultado podemos hallar entonces todas las frecuencias de las notas que necesitamos, sin importar la frecuencia exacta que decidamos tomar para la nota de referencia.

Nota	$2^{(1/12)}$	Distancia en semitonos a La4	$2^{(1/12)} \times$ Distancia en semitonos a La4	Frecuencia
La4	1,0595	1	1,0595	440
La#4	1,0595	2	1,1225	466,1638
Si4	1,0595	3	1,1892	493,8833
Si#4 = Do5	1,0595	4	1,2599	523,2511
Do#5	1,0595	5	1,3348	554,3653
Re5	1,0595	6	1,4142	587,3295
Re#5	1,0595	7	1,4983	622,2540
Mi5	1,0595	8	1,5874	659,2551
Mi#5=Fa5	1,0595	9	1,6818	698,4565
Fa#5	1,0595	10	1,7818	739,9888
Sol5	1,0595	11	1,8877	783,9909
Sol#5	1,0595	12	2	830,6094
La5	1,0595	13	2,1189	880
La#5	1,0595	14	2,2449	932,3275
Si5	1,0595	15	2,3784	987,7666
Si#5=Do6	1,0595	16	2,5198	1046,5023
Do#6	1,0595	17	2,6697	1108,7305
Re6	1,0595	18	2,8284	1174,6591
Re#6	1,0595	19	2,9966	1244,5079

Mi6	1,0595	20	3,1748	1318,5102
Mi#6=Fa6	1,0595	21	3,3636	1396,9129
Fa#6	1,0595	22	3,5636	1479,9777
Sol6	1,0595	23	3,7755	1567,9817
Sol#6	1,0595	24	4	1661,2188
La6	1,0595	25	4,2379	1760
La#6	1,0595	26	4,4899	1864,6551
Si6	1,0595	27	4,7568	1975,5332
Si#6=Do7	1,0595	28	5,0397	2093,0045
Do#7	1,0595	29	5,3394	2217,4611
Re7	1,0595	30	5,6569	2349,3181
Re#7	1,0595	31	5,9932	2489,0159
Mi7	1,0595	32	6,3496	2637,0205
Mi#7=Fa7	1,0595	33	6,7272	2793,8259
Sol7	1,0595	34	7,1272	2959,9554
Sol#7	1,0595	35	7,5510	3135,9635
La7	1,0595	36	8	3322,4376
La#7	1,0595	37	8,4757	3520

Tabla 11. Frecuencia de las notas musicales.

Tensiones de las cuerdas según los datos de longitud, diámetro y material escogidos

Nº cuerda	Longitud (m)	NOTA	Calibre diámetro (m)
1	0,153	mi#7=fa7	0,00068
		mi7	0,00068
2	0,162	re#7/mib7	0,0007
		re7	0,0007
3	0,173	do#7/reb7	0,00076
		do7	0,00076
4	0,184	si#6=do7	0,0008
		si6	0,0008
5	0,196	la#6/sib6	0,00082
		la6	0,00082
6	0,208	sol#6/lab6	0,00085
		sol6	0,00085
7	0,222	fa#6/solb6	0,00092
		fa6	0,00092
8	0,237	mi#6=fa6	0,00095
		mi6	0,00095
9	0,253	re#6/mib6	0,001
		re6	0,001
10	0,27	do#6/reb6	0,00105
		do6	0,00105
11	0,289	si#5=do6	0,00108
		si5	0,00108
12	0,307	la#5/sib5	0,00115
		la5	0,00115
13	0,327	sol#5/lab5	0,0012
		sol5	0,0012
14	0,35	fa#5/solb5	0,00125
		fa5	0,00125
15	0,373	mi#5=fa5	0,0013
		mi5	0,0013
16	0,398	re#5/mib5	0,00135
		re5	0,00135
17	0,425	do#5/reb5	0,00145
		Do5	0,00145
18	0,453	si#4=do5	0,00155
		si4	0,00155
19	0,485	la#4/sib4	0,00165
		la4	0,00165
20	0,515	sol#4/lab4	0,00175

		sol4	0,00175
21	0,56	fa#4/solb4	0,0018
		fa4	0,0018
22	0,603	mi4#=#fa4	0,00185
		mi4	0,00185

Tabla 12. Notas y longitudes de las cuerdas del arpa.

Para estos datos, se han obtenido las siguientes tensiones de cada cuerda, especificando el porcentaje de la tensión límite a la que trabaja cada cuerda. Se ha de tener en cuenta que las cuerdas de un arpa suelen estar tensadas a entre un 20 y un 50% de su tensión límite, existiendo arpas de alta tensión con porcentajes mayores, pero por encima de un 70% podemos esperar mayor desgaste y una elevada recurrencia de fallo.

Como se menciona anteriormente, la fórmula utilizada para hallar estos datos es la siguiente:

$$F = \frac{1}{2} L \times \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Siendo $\mu = \rho \times (\pi \times \text{radio}^2)$

L= longitud en metros

T= tensión en Newtons

μ = densidad lineal en kg/m

ρ = densidad en kg/m³

d = diámetro de la cuerda = calibre en metros

F= frecuencia en Hz

Nº cuerda	NOTA	Tensión (Newtons)	Mpa	% de rotura
1	la#7			
	la7	232,0588	820,7401	28,7979
2	sol#7/lab7			
	sol7	261,3114	812,2850	28,5012
3	fa#7/solb7			
	fa7	258,2686	754,9076	26,4880
4	mi#7=fa7			
	mi7	271,9414	748,8029	26,2738
5	re#7/mib7			
	re7	256,4237	666,3037	23,3791
6	do#7/reb7			
	do7	273,5934	603,0988	21,1614
7	si#6=do7			
	si6	305,5137	607,8001	21,3263
8	la#6/sib6			
	la6	289,0766	547,3880	19,2066
9	sol#6/lab6			
	sol6	277,6472	489,2891	17,1680
10	fa#6/solb6			
	fa6	294,0805	442,3852	15,5223
11	mi#6=fa6			
	mi6	318,3893	449,1810	15,7607
12	re#6/mib6			
	re6	319,0900	406,2779	14,2554
13	do#6/reb6			
	do6	318,0038	367,2517	12,8860
14	si#5=do6			
	si5	343,4018	374,8566	13,1529
15	la#5/sib5			
	la5	348,7270	335,7376	11,7803
16	sol#5/lab5			
	sol5	341,9218	302,3252	10,6079
17	fa#5/solb5			
	fa5	337,3548	274,9014	9,6457
18	mi#5=fa5			
	mi5	369,1921	278,1479	9,7596
19	re#5/mib5			
	re5	359,7873	251,3555	8,8195

20	do#5/reb5			
	Do5	375,6472	227,4857	7,9820
21	si#4=do5			
	si4	434,4606	230,2487	8,0789
22	la#4/sib4			
	la4	447,9241	209,4820	7,3502
23	sol#4/lab4			
	sol4	450,9199	187,4707	6,5779
24	fa#4/solb4			
	fa4	447,6998	175,9349	6,1732
25	mi4#=fa4			
	mi4	488,5106	181,7359	6,3767
Total: 8420,94559				

Tabla 13. Tensiones de las cuerdas para el calibre, longitud y frecuencias escogidos.

Por otro lado, para conocer la distancia a la que se debe colocar el sistema de palanca para aumentar un semitono la afinación de la cuerda se ha utilizado el mismo proceso de forma inversa al empleado para hallar la longitud de la cuerda y su tensión.

En este caso, partimos de unos datos específicos de longitud y tensión de la cuerda, por lo que deseamos conocer el punto exacto de la cuerda donde, al presionarla, vibrará a la frecuencia deseada. Para conseguir esto tan solo hay que aplicar la misma fórmula, dejando la longitud como incógnita. Finalmente, como lo que deseamos es hallar una distancia desde el tornillo de puente, calcularemos la diferencia de la longitud original de la cuerda y la obtenida para conocer el resultado buscado.

N.º cuerda	Frecuencia (Hz)	Longitud de la cuerda para la nota sostenida	Tensión de la cuerda
1	2959,955	0,137	
	2793,830		251,193
2	2793,830	0,144	
	2637,020		327,877
3	2489,020	0,153	
	2349,320		338,029
4	2217,461	0,161	
	2093,000		362,009
5	2093,000	0,174	
	1975,530		409,406
6	1864,655	0,183	
	1760,000		384,342
7	1661,219	0,198	
	1567,980		369,649
8	1479,978	0,210	
	1396,910		384,971
9	1396,910	0,224	
	1318,510		404,096
10	1244,508	0,239	
	1174,660		393,627
11	1108,731	0,255	
	1046,500		377,050
12	1046,500	0,273	
	987,770		390,039
13	932,328	0,290	
	880,000		393,228
14	830,609	0,309	
	783,990		385,026
15	739,989	0,330	
	698,460		379,052
16	698,460	0,351	
	659,250		418,231
17	622,254	0,376	
	587,330		404,487
18	554,365	0,401	
	523,250		406,300
19	523,250	0,428	

	493,880		447,991
20	466,164	0,458	
	440,000		440,566
21	415,305	0,500	
	391,995		442,207
22	369,994	0,529	
	349,228		450,903
23	349,228	0,569	
	329,628		503,202

Tabla 14. Longitudes para las notas sostenidas.

