



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

Disseny d'uns auriculars circumaurals convertibles entre un model acústicament tancat 'closed-back' i obert 'open-back'.

TREBALL DE FI DE GRAU

// Memòria

// Autor

Joan Corominas Trias

// Director

Jordi Voltas Aguilar

// Titulació

Grau en Enginyeria de Disseny Industrial i
Desenvolupament del Producte

// Convocatòria

Primavera, Curs 2021-2022. 22 / 06 / 2022

Abstract

// Català

L'ús d'auriculars resulta cada cop més comú en el dia a dia de moltes persones. Aquests dispositius es fan servir quotidianament per escoltar música, podcasts o la ràdio en multitud de situacions i en condicions externes diverses. Aquesta exposició directa al so durant períodes d'escolta molt prolongats pot arribar a causar pèrdua gradual d'oïda i altres lesions auditives. Cal assegurar que aquests hàbits d'ús són saludables i impulsar el desenvolupament d'alternatives que ofereixin formes d'escolta segures i que, al mateix temps, s'adaptin a les diferents circumstàncies i localitzacions en què l'usuari es pot trobar. L'enfoc del treball busca resoldre les diferents necessitats ocasionals que pot tenir l'usuari mitjançant la incorporació en únic parell d'auriculars circumaurals de les característiques pròpies de les tipologies 'closed-back' i 'open-back'. Així, s'aspira a desenvolupar un producte eficient i versàtil que integri atributs com la cancel·lació de soroll extern, ideal per entorns bulliciosos, amb una millor transpirabilitat, ideal per períodes d'escolta més llargs. El procés de disseny del producte plantejat s'ha organitzat en tres fases: una primera fase de recerca d'informació -d'usuari, de tecnologies i de mercat- la fase de conceptualització o ideació i la fase de desenvolupament de la solució final. El producte resultant compleix satisfactòriament les expectatives i objectius del projecte. S'ha plantejat l'electrònica que el model hauria d'incorporar per la reproducció d'un so equilibrat, i s'ha desenvolupat una solució tècnica que habilita els avantatges d'ambdues tipologies acústiques, mitjançant una conversió ergonòmica i senzilla, i sense sacrificar el rigor i el rendiment de les altres facetes de disseny implicades.

// English

The use of headphones is becoming more and more common in the daily lives of many people. These devices are used daily to listen to music, podcasts, or radio in a variety of situations and in diverse external conditions. This direct exposure to sound for extended periods of time can lead to gradual hearing loss and other hearing damage. We need to ensure that these usage habits are healthy and encourage the development of alternatives that offer safe ways of listening and at the same time adapt to the different circumstances and locations in which the user may find themselves. The focus of this project is to solve the different occasional needs that the user may have by incorporating in a single pair of over-ear headphones the characteristics of the closed-back and open-back typologies. Thus, the aim is to develop an efficient and versatile product that integrates attributes such as external noise cancellation, ideal for crowded environments, with better breathability, ideal for longer listening periods. The design process of the proposed product has been organized in three phases: a first phase of information research - user, technology, and market - the conceptualization or ideation phase and the development phase of the final solution. The resulting product satisfactorily meets the expectations and objectives of the project. The electronics that the model should incorporate for the reproduction of a balanced sound have been considered, and a technical solution has been developed, which enables the advantages of both types of acoustics, through an ergonomic and simple conversion, and without sacrificing the rigor and performance of the other design facets involved.

Índex

1	Introducció.....	1
2	Definició del projecte.....	3
2.1	Abast.....	3
2.3	Objectius i requeriments.....	4
2.4	Metodologia.....	5
2.5	Planificació del projecte.....	6
3	Fase de recerca.....	7
3.1	Àrea de recerca.....	7
3.2	Recerca centrada en l'usuari.....	8
3.2.1	Recull i anàlisi de dades estadístiques.....	8
3.2.2	Definició del públic objectiu. Perfil d'usuaris.....	11
3.2.3	Enquesta. Auriculars, hàbits i preferències.....	12
3.3	Recerca tècnica.....	15
3.3.1	Nocions generals sobre acústica i àudio.....	15
3.3.2	Informació general sobre auriculars i les seves tecnologies.....	16
3.3.3	Tecnologies de transducció i drivers en auriculars.....	19
3.3.4	Auriculars inalàmbrics, tecnologia Bluetooth.....	23
3.3.5	Electrònica, sistemes ANC i equalització.....	25
3.4	Benchmarking.....	27
3.5	Conclusions de la recerca (Insights).....	34
4	Fase de conceptualització de producte.....	38
4.1	Proposta de valor.....	38
4.2	Briefing i requeriments del projecte.....	38
4.3	Dinàmiques creatives.....	40
4.3.1	Brainstorming.....	40
4.3.1	Crazy Eight's.....	43
4.3.1	Analogical Thinking.....	45
4.4	Formalització de producte.....	46

5	Fase de desenvolupament de producte	48
5.1	Solució tècnica	48
5.1.1	Algoritme DSP	48
5.1.2	Diafragma d'iris	51
5.1.3	Copes dels auriculars	55
5.1.4	Diadema	58
5.2	Justificació tècnica de components	62
5.3	Proposta formal	66
5.4	Selecció de materials	68
5.5	Impacte ambiental	70
5.6	Bill of Materials	72
5.7	Escandall de costos	74
5.8	Comunicació de producte	74
6	Conclusions	80
7	Referències	81

Índex de figures

Figura 1. Exemples de models d'auriculars tancats i oberts.....	2
Figura 2. Descripció dels passos per realitzar una conversió de decibels.....	15
Figura 3. Explicació gràfica de la cancel·lació activa de soroll.....	18
Figura 4. Parts d'un driver dinàmic.....	21
Figura 5. Representació i diagrama d'un driver electroestàtic	21
Figura 6. Diafragma d'un driver planar-magnètic	22
Figura 7. Diagrama d'un driver balanced-armature	22
Figura 8. Components d'auriculars inalàmbrics: bateria i SoC	24
Figura 9. Diagrama d'un algoritme ANC Feedforward.....	25
Figura 10. Esbossos Crazy Eight's per a la generació d'idees sobre la conversió del model.....	44
Figura 11. Sketch del mecanisme d'un diafragma d'iris d'exemple.....	45
Figura 12. Sketch d'inspiració i exploració de formes d'auriculars	46
Figura 13. Sketch de la proposta final del producte a desenvolupar	47
Figura 14. Model d'un sistema ANC Filtered-X NLMS	48
Figura 15. Efecte del primer sistema sobre una ona de soroll simulada	49
Figura 16. Efecte del segon sistema sobre una ona de soroll simulada.....	49
Figura 17. Model d'algoritme de l'equalitzador paramètric i UI implementada	50
Figura 18. Modelat dels components del diafragma d'iris desenvolupat	52
Figura 19. Superposició de les fulles, model del conjunt del diafragma d'iris obert i model seccionat.....	53
Figura 20. Moviment de l'anell activador pel tancament del diafragma d'iris	54
Figura 21. Modelat dels components de l'auricular esquerre del producte desenvolupat.....	55
Figura 22. Model seccionat de l'auricular esquerre amb tots els components units.....	56
Figura 23. Interior de l'auricular esquerre i dret, darrere del coixinet i la tapa de l'auricular	57
Figura 24. Modelat de les copes dels auriculars amb botons i elements d'interacció indicats... 57	
Figura 25. Modelat dels components de la diadema dels auriculars	58
Figura 26. Unió de la forqueta amb la part lliscant exterior i rotació de la forqueta.....	59
Figura 27. Diadema central, extrusió i relleu a l'extrem d'aquesta extrusió	60

Figura 28. Extensió de la diadema: posició mínima i posició màxima.....	60
Figura 29. Part lliscant interior i model complet de la diadema extensa	61
Figura 30. Juntes exterior i interior. Unió a la diadema central.....	61
Figura 31. Drivers dinàmics QIGOM 50E13	62
Figura 32. Modelat dels components del driver QIGOM 50E13	63
Figura 33. Bateria de polímer de liti EL- 601235.....	64
Figura 34. Models de coixinets escollits pels auriculars.....	65
Figura 35. Modelat final de la proposta de producte, model seccionat	66
Figura 36. Model final de la proposta explosionat.....	67
Figura 37. Test de tipografies. Tipografia escollida indicada.	75
Figura 38. Procés de disseny i implementació del vector d'un iris al logotip.....	76
Figura 39. Logotip final. Versió positiva i negativa.	76
Figura 40. Render de presentació del producte.....	77
Figura 41. Render de comunicació del producte. Característiques principals.	77
Figura 42. Render de comunicació del producte. Missatge publicitari breu.	78
Figura 43. Render de comunicació del producte. Explosionat.	78
Figura 44. Render de presentació del producte. Gamma alternativa color cru.....	79
Figura 45. Render de presentació del producte. Escena amb ambdues gammes.	79

Índex de taules

Taula 1. Llistat de components, bill of materials i processos de fabricació.....	72
--	----

1. Introducció

Actualment, l'exposició continuada al so i a un elevat grau de contaminació acústica és molt freqüent. Moltes persones escolten música, la ràdio, podcasts, etc. en diferents moments al llarg del seu dia. Això dona lloc a l'ús d'auriculars en diferents situacions, llocs, circumstàncies i també amb diferents finalitats i interessos.

Cal trobar la manera d'assegurar que aquests hàbits són saludables i oferir opcions que compleixin amb els requisits de qualitat d'àudio i minimitzin els riscos de lesions auditives al mateix temps. En resum, es necessiten solucions per tal de regular l'impacte acústic dels auriculars en la generació actual i que aquests siguin capaços d'optimitzar la qualitat del so i l'experiència de l'escolta sense que aquesta sigui perjudicial ¹.

En el mercat d'auriculars tant circumaurals (over-ear) com supra-aurals (on-ear) existeix una divisió fonamental entre els diferents models en funció de les característiques acústiques que ofereix cada un. Així, aquests "auriculars de diadema" poden ser de dos tipus: o bé tancats (closed-back) o oberts (open-back) (veure *Figura 1*). Els primers, i més convencionals, permeten l'aïllament auditiu més o menys complet de l'usuari i, així mateix, impedeixen que el so reproduït surti a l'exterior. Per altra banda, els auriculars oberts deixen passar part del so extern, potenciant l'efecte estèreo (percepció multidireccional i tridimensional del so), generant una sensació més natural d'escolta i una reproducció de freqüències més lineal i precisa.

Tot i això, cap de les dues opcions és completament adequada pel que fa a la salut i seguretat de l'oïda dels usuaris. Amb els auriculars oberts, tot i que es redueix l'exposició directa al so gràcies a que distribueixen la música per tot l'espai en lloc de concentrar-se només a les orelles ², el seu disseny no els fa cancel·lar el soroll, i un error d'ús molt comú consisteix a incrementar massa el volum per tal d'ofegar els sorolls ambientals de fons. Els auriculars tancats sí que ofereixen un bon aïllament, però poden resultar perillosos si s'utilitzen en períodes de temps més llargs i poden causar infeccions de l'oïda: en formar un segell al voltant de les orelles que no permet passar l'aire, la suor augmenta i, combinat amb les temperatures més altes, es crea una condició ideal per l'aparició de bacteris a les orelles.

Amb la realització del treball, es vol desenvolupar el disseny d'un producte que aconseguixi incorporar les funcionalitats dels dos tipus d'auriculars, oferint versatilitat i un major grau d'adaptació a les necessitats i circumstàncies de l'usuari en diferents contextos, sense sacrificar la qualitat del so, l'experiència d'ús, la comoditat i ergonomia del disseny i minimitzant els danys i perills per l'oïda. D'aquesta manera, l'usuari podrà gaudir d'una escolta saludable quan, per exemple, sigui al transport públic i requereixi d'un bon aïllament del soroll, i també quan es trobi a casa seva durant períodes d'escolta més llargs i requereixi d'una bona transpirabilitat i una menor exposició directa al so. Tot amb els mateixos auriculars, realitzant el canvi de modalitats amb un moviment simple.



Figura 1. Exemples de models d'auriculars tancats (esquerra) i oberts (dreta).
Fonts: Beyerdynamic, Sennheiser.

2. Definició del projecte

2.1. Abast

Realització d'una recerca exhaustiva que contempli tots els factors rellevants i relacionats amb el desenvolupament del producte plantejat:

- Recerca centrada en l'usuari i les seves necessitats, definició del públic objectiu, recerca de dades i estadístiques demogràfiques sobre l'ús d'auriculars, anàlisi d'hàbits més comuns.
- Recerca de tecnologies, composició i funcionament que incorporen els auriculars circumaurals. Recerca d'elements i algorismes electrònics que implementen, materials, consideracions acústiques dels auriculars, diferències tècniques entre els auriculars oberts i tancats, especificacions elèctriques més comuns i viables, composició i tipus d'altaveus o controladors (drivers), tecnologia dels models inalàmbrics i diferències d'estructura amb els cablejats, mètodes de cancel·lació de soroll extern.
- Realització d'una anàlisi del mercat dels auriculars circumaurals, benchmarking comparatiu que inclogui models de la competència potencial i valoració de les millors pràctiques. Selecció de models amb característiques variades i exemplars tant oberts com tancats.

Definició d'una proposta de valor a partir de la informació recopilada i briefing on es plantegin els requeriments específics dels auriculars a desenvolupar: descripció de requeriments dimensionals, criteris ergonòmics, configuracions de producte, funcionalitats, gammes, preu, etc.

Realització de dinàmiques creatives i ideació de solucions coherents amb els requeriments establerts. Formalització primerenca de la idea o proposta definida, elaboració d'esbossos i sketches.

Activitats de desenvolupament de la proposta final per a la seva implementació industrial:

- Descripció de l'electrònica necessària que haurà d'implementar el producte.
- Anàlisi de mesures antropomètriques, estudi ergonòmic i definició de mesures del producte a desenvolupar.
- Implementació i desenvolupament de la solució tècnica definida: realització del modelat 3D funcional i explicació que contempli les diferents tecnologies utilitzades, mètodes de funcionament, unions, geometries, etc.
- Justificació tècnica dels components integrats a la solució final.
- Plànols tècnics 2D: plànols de conjunt, explosionats i d'especejament.
- Elaboració del Bill of Materials (llistat de components, selecció i justificació de materials, processos de fabricació) i escandall de costos de fabricació del producte.
- Anàlisi descriptiva de l'impacte ambiental del producte en les diferents fases i etapes del cicle de vida d'aquest.
- Comunicació del producte, branding i renders.

2.2. Objectius i requeriments

1. Solució tècnica que combini les dues modalitats amb efectivitat

S'espera obtenir la formalització i modelat 3D d'una solució tècnica d'un producte capaç de considerar-se open-back i closed-back al mateix temps. Aquesta solució haurà de ser rigorosa i el més eficient possible, de manera que no se sacrifiquin altres aspectes del disseny d'auriculars (comoditat, pes, durabilitat, estètica) per a integrar les funcionalitats de les dues tipologies. Selecció òptima de materials per l'obtenció del millor rendiment a nivell mecànic, acústic i òptic.

2. Criteris ergonòmics i experiència d'usuari

El disseny del producte contemplarà diferents escenaris i casos d'ús per tal de garantir-ne l'adaptabilitat. Les dimensions i formes dels auriculars s'hauran establert tenint en compte criteris ergonòmics per maximitzar la comoditat per un gran rang de clients potencials. Importància d'un bon disseny i desenvolupament de la diadema dels auriculars (articulacions, extensibilitat, flexibilitat).

El canvi entre modalitats (open-closed back) haurà de consistir en una conversió el més dinàmica possible, realitzable per l'usuari amb un moviment senzill.

3. Plantejament de la solució electrònica necessària

S'haurà d'arribar a una solució electrònica que plantegi els algorismes necessaris pel funcionament òptim dels auriculars i habiliti una reproducció del so equilibrada tant en la modalitat tancada del producte com en la modalitat oberta. Descripció també de l'electrònica requerida per a una cancel·lació del soroll extern efectiva. S'hauran de buscar algorismes de referència, sense arribar a implementar-los, i s'hauran de tenir en compte les geometries dels elements que cal implementar a l'interior de l'auricular.

4. Minimització de l'impacte ambiental

Mitjançant una anàlisi de tot el cicle de vida del producte, es buscarà que aquest suposi el mínim impacte mediambiental des de: la selecció de materials pensant en la màxima conservació de recursos i el baix impacte de cada un d'aquests, mínima varietat de materials i possible reciclatge o reutilització posterior, geometria que possibiliti una producció on es rebutgi el mínim material possible, consideració de processos de producció neta que requereixin el mínim consum d'aigua, energia i emissions de CO₂, màxima durabilitat i vida útil del producte.

5. Branding del producte

El resultat final inclourà el branding del producte creat: definició de marca, *naming*, logotip, varietat de gammes, *renders* per a la presentació i comunicació del producte.

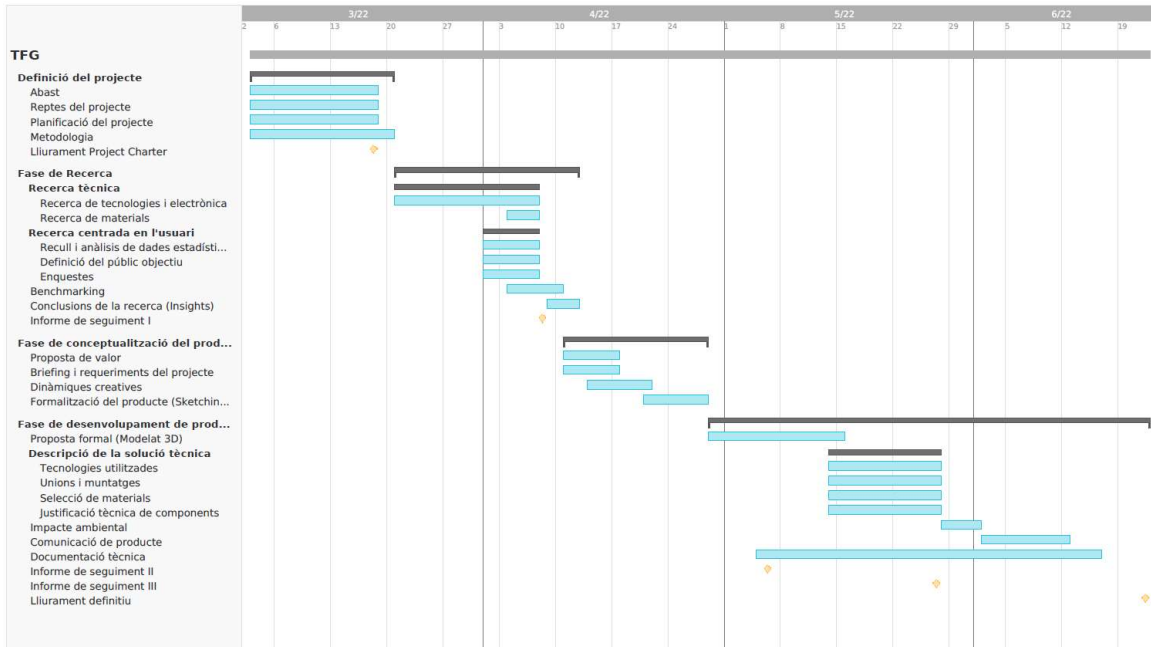
2.3. Metodologia

L'elaboració i desenvolupament del projecte s'ha dividit en 3 fases de treball principals, implicant cadascuna diferents metodologies utilitzades:

- Una primera fase de recerca, dividida al seu torn en una recerca centrada en l'usuari, una recerca tècnica i una recerca de mercat. Els mètodes utilitzats a la recerca centrada en l'usuari consisteixen en la realització d'enquestes per conèixer i valorar els hàbits d'ús d'auriculars i necessitats dels usuaris, així com la recopilació d'estadístiques i dades demogràfiques per justificar la problemàtica que es vol abordar amb el projecte. La recerca tècnica consisteix principalment en la consulta de referències, articles, estudis, webs, altres treballs, etc. per crear una base d'informació necessària de cara al posterior desenvolupament tècnic. Per a la recerca de mercat s'utilitza la metodologia del benchmarking, en què es comparen i s'analitzen diferents models d'auriculars circumaurals de la competència, identificant les millors pràctiques en diferents facetes del producte. De totes les etapes de la recerca s'extreuen un conjunt de conclusions o *insights*, que correspon a la informació més rellevant que s'utilitzarà posteriorment en el projecte.
- Seguidament, es treballarà en la fase de conceptualització o ideació del producte. Es treballa amb diferents mètodes de dinamisme creatiu per tal d'obtenir idees i possibles solucions a partir dels insights obtinguts a la recerca. Es recorre a la realització d'esbossos o *sketching* per tal de representar gràficament aquestes idees. Els esbossos s'elaboren amb tauleta gràfica utilitzant programes que inclouin sensibilitat a la pressió com Adobe Photoshop o Illustrator.
- A la fase de desenvolupament es duen a terme totes les tasques necessàries descrites a l'apart d'abast del projecte. La solució tècnica es desenvolupa progressivament amb el seu prototip virtual o modelat 3D per tal de comprovar la coherència i eficiència de geometries, mesures, tecnologies i peces implementades, etc. Per a la realització del modelat 3D i els plànols tècnics 2D s'utilitza el programa SolidWorks. Per a l'elaboració de *renders* o prototips virtuals fotorealistes s'utilitza el programa KeyShot i Adobe Photoshop. Pel disseny de la marca i logotip s'utilitza Adobe Illustrator. El Bill of Materials (BOM) i l'escandall de costos i pressupost s'elabora en una taula de Microsoft Excel.

2.4. Planificació del projecte

S'ha utilitzat un diagrama de Gantt com a eina de planificació, gestió i organització inicial de les diferents tasques a realitzar.



La planificació inicial no s'ha pogut seguir de forma estricta. Algunes de les tasques, especialment la recerca tècnica i el desenvolupament de la proposta formal final, han acabat requerint d'una dedicació i temps superiors al previst, provocant un cert endarreriment en la realització de les tasques posteriors.

3. Fase de recerca

3.1. Àrea de recerca

El marc de la recerca d'aquest projecte comprèn dos nivells diferents pel que fa a l'abast i concisió de la informació d'interès.

En el que es considera el primer nivell, es defineix una àrea de recerca àmplia en la qual es recopilarà informació general relacionada amb els auriculars, sense concretar o filtrar les dades trobades per tipologies de models o característiques específiques d'aquests. Aquesta recerca generalitzada s'aplicarà al recull d'informació sobre l'ús dels auriculars, hàbits de la població, dades estadístiques i factors de la salut auditiva vinculats a l'emprament d'aquest producte. S'apreciaran tots els resultats independentment de la tipologia a la que es refereixin (de diadema, in-ear, amb cable, inalàmbrics, etc.), s'observaran les diferències entre les dades dels diferents tipus d'auriculars i s'extrauran conclusions. L'objectiu és definir patrons d'ús d'auriculars en general, trobar problemes i riscos freqüents, verificar la necessitat d'un producte amb les característiques proposades, i identificar el perfil d'usuari que presenti una necessitat més accentuada pels auriculars en qüestió.

En el segon nivell de l'àrea de recerca es buscarà obtenir informació més precisa sobre els auriculars circumaurals open-back i closed-back. En aquest cas, per tant, sí que es limita la recerca a una tipologia específica per tal d'especialitzar-se en com són aquests models d'auriculars. Aquesta recerca específica s'aplicarà a la recerca de tecnologies i electrònica, materials, funcions, així com a la recerca de mercat i anàlisis de la competència. Tot i formar part de l'altre nivell, també es donarà certa prioritat a la informació recopilada sobre la usabilitat d'auriculars over-ear open i closed back. L'objectiu d'aquesta recerca és entendre i definir detalladament com funcionen les dues tipologies, quines tecnologies i electrònica s'utilitza per cada una per tal de plantejar la integració d'ambdues en un únic model, així com poder establir amb fonament en quin sector del mercat posicionar-se per tal de definir una estratègia de negoci òptima i quines característiques concretes ha de tenir el producte final per fer-ho.

3.2. Recerca centrada en l'usuari

3.2.1. Recull i anàlisi de dades estadístiques

Com a mínim 1.100 milions de persones estan en risc de perdre o veure disminuïda la seva capacitat d'audició per l'ús inadequat d'auriculars, segons les dades que l'Organització Mundial de la Salut (OMS) publicà el 2 de març de 2021 ³. Les persones d'edats compreses entre els 12 i els 35 anys, als països de renda mitjana i alta ⁴, són les que corren un major risc de perdre l'audició a causa de l'exposició prolongada i excessiva a la música forta i altres sons recreatius, el que pot comportar conseqüències devastadores per a la seva salut física i mental, educació i perspectives d'ocupació ¹.

Segons l'experta en la cura d'orelles i oïda de l'OMS, Shelly Chadha, aquest risc rau en "la manera que escolten música, a volums excessivament alts i durant uns temps molt prolongats" certes persones. En aquesta línia, l'entitat recomana utilitzar, en la mesura que sigui possible, auriculars que comptin amb l'opció de cancel·lació de soroll exterior, perquè hi ha estudis que mostren que les persones que els utilitzen no apugen tant el volum quan hi ha soroll de fons. "Moltes persones no saben que això és un risc o no li donen importància", declara Chadha ³.

"Milions d'adolescents i joves corren el risc de patir pèrdua d'audició a causa de l'ús inapropiat de dispositius d'àudio personals i a l'exposició a nivells de so nocius a llocs com ara clubs nocturns, bars, concerts i esdeveniments esportius" assenyala la Dra. Bente Mikkelsen, Directora del Departament de Malalties No Transmissibles de l'OMS. "El risc s'intensifica perquè la majoria dels dispositius d'àudio, llocs i esdeveniments d'entreteniment no ofereixen opcions d'escolta segures i contribueixen al risc de pèrdua d'audició" ¹.

L'augment en l'ús d'auriculars de la població, a causa de la nova normalitat generada per la COVID-19, ha implicat canvis en moltes dinàmiques de la vida i, indiscutiblement, ha estat i continuarà sent un determinant en la incidència dels problemes auditius actuals. No s'ha de considerar perjudicial l'ús d'auriculars, el que és negatiu és que alguns teletreballadors o estudiants els utilitzen per llargues jornades (al voltant de 6 hores o més), sumat a la generació de més soroll a les llars pels confinaments. Tot això comporta "que pugem encara més el volum de la música o les transmissions d'àudio per poder entendre-les millor" ⁵.

El tipus d'auriculars que es porten també pot marcar la diferència. Un estudi realitzat per Bill Hodgetts, professor d'audiologia a la Universitat d'Alberta, mostra que les persones acostumaven a escoltar a un volum més alt quan es trobaven en un entorn sorollós i quan portaven auriculars d'estil intraauricular (in-ear) en lloc dels circumaurals (over-ear). Hodgetts recomana triar auriculars que bloquegin el soroll extern ⁶.

Actualment, segons l'Organització Mundial de la Salut, hi ha 1.500 milions de persones amb problemes auditius. Segons les seves projeccions, aquest número es podria elevar fins als 2.500 milions el 2050, és a dir, una de cada quatre persones ³.

D'acord amb l'entitat, hi ha al voltant de 466 milions de persones que pateixen sordesa moderada o severa al món i s'estima que el 2030 la xifra arribi a 630 milions i el 2050 a gairebé 900 milions ⁵.

Almenys 700 milions dels afectats necessitaran atenció otològica per millorar la seva audició, així com altres serveis de rehabilitació, tret que es prenguin mesures per evitar-ho ^{7,8}.

Avui dia, gairebé un terç de les persones que pateixen aquest problema necessiten serveis de rehabilitació de l'audició, però l'OMS estima que només el 17% poden accedir-hi. D'altra banda, a causa de la pandèmia, el 74% dels 192 estats membres de l'OMS varen informar de la interrupció parcial o total dels serveis de rehabilitació auditiva ³.

Si es fan servir auriculars a més de 85 decibels, no és recomanable fer-los servir per més de vuit hores. Si se superen els 100 decibels, s'haurien de fer servir per a 15 minuts, màxim, per evitar fatiga auditiva. Segons l'OMS, si una persona s'exposa a sons superiors als 120 decibels, pot acabar amb dany auditiu, si l'exposició és més gran d'una hora ⁵.

"Podeu prendre un nivell de 85 decibels i definir que aquest nivell és generalment segur durant vuit hores. Després, cada tres decibels, a mesura que pugueu, reduïu a la meitat la quantitat de temps que podeu passar en aquest entorn. Si esteu escoltant auriculars a un nivell de 94 o 95 decibels i els teniu posats gairebé sempre, sens dubte causareu danys potencials a la vostra audició", diu Hodgetts ⁶.

L'exposició a sons forts provoca pèrdua temporal de l'audició o tinnitus. Ara bé, l'exposició prolongada o repetida pot provocar danys auditius permanents, que desemboquen en una pèrdua irreversible de l'audició. Segons l'OMS, els joves poden protegir millor la seva audició, entre d'altres:

- Mantenint el volum baix als dispositius d'àudio personals.
- Utilitzant auriculars/cascs ben ajustats i, si és possible, amb cancel·lació de soroll.

"Els governs, la societat civil i les entitats del sector privat, així com els fabricants de dispositius d'àudio personals, sistemes de so i equips de videojocs, (...) tenen una funció important que cal complir en la promoció de la nova norma mundial", comenta el Dr. Ren Minghui, subdirector general de l'OMS. "Hem de treballar plegats per promoure pràctiques d'escolta segures, especialment entre els joves" ¹.

Les intervencions de salut pública essencials per a la prestació de serveis de COA (Cuidado del Oído y la Audición) al llarg de la vida es resumeixen amb l'acrònim ESCUCHAR ^{7,8}: **Enfermedades del oído: prevenirlas y tratarlas, Soluciones de comunicación para cada condición, Comunidad empoderada y participativa, Uso racional de los dispositivos de audio y reducción del ruido, CHequeo auditivo a lo largo de la vida, Acceso a las tecnologías, Rehabilitación.**

Per altra banda, l'ús d'auriculars amb cancel·lació de soroll també pot suposar un risc per a la seguretat. Els vianants que utilitzen dispositius d'àudio personals reben menys informació auditiva del seu entorn i, per tant, són menys conscients dels senyals d'alerta importants com, per exemple, els clàxons dels cotxes. Els vianants joves que es distreuen amb la música dels dispositius d'àudio personals mentre creuen el carrer tenen un risc més elevat de ser atropellats per un vehicle ⁴.

En un estudi realitzat per la Universidad de Maryland, es van recopilar dades relacionades amb les morts i lesions entre els vianants que feien servir auriculars i que van passar entre gener de 2004 i juny de 2011 ⁹. Entre els resultats s'observa que:

- El nombre d'accidents va anar en ascens i el 2011 ja s'havia triplicat.
- Al voltant de dues terceres parts de les víctimes eren adolescents i joves.
- La majoria dels accidents van tenir lloc a ciutats.
- En un 70% dels casos l'accident va ser mortal (els vianants van ser atropellats per cotxes, camions, camionetes, autobusos i fins i tot trens).

Les marques fabricants d'auriculars amb més presència internacional també indiquen a les seves webs possibles mesures i formes d'ús dels seus dispositius per tal d'evitar la pèrdua d'audició. Logitech, per exemple, recomana que, per establir un nivell de volum segur ¹⁰:

- S'iniciï l'equip personal amb el control de volum al seu valor més baix.
- S'augmenti lentament el so fins que es pugui escoltar de manera còmoda i clara, i sense distorsió.
- S'eviti ajustar el volum a un nivell que impedeixi sentir converses i altres sorolls similars del voltant.

Un cop s'hagi establert un nivell de so còmode, deixar-lo allà. Si s'experimenta un soroll a les orelles, molèsties o parla apagada, reduir el volum o deixar d'escoltar i revisar l'audició.

A la pàgina de Bose també trobem un article relacionat amb el reconeixement de signes i tractament de pèrdua auditiva ¹¹, en aquest s'explica: Tot i que els defectes genètics, les lesions i les malalties també poden causar pèrdua auditiva, la pèrdua auditiva per soroll és més freqüent i es produeix quan s'exposa a sons de més de 85 decibels repetidament o durant un període de temps prolongat. Per a la majoria de les persones, la pèrdua auditiva és gradual, cosa que fa que sigui difícil de discernir. S'estima que, de mitjana, les persones experimentaran pèrdua auditiva durant set o deu anys abans de tractar-la.

Altres referències consultades en relació a dades i estadístiques demogràfiques, comportaments dels usuaris i impacte de l'ús d'auriculars en la població ¹²⁻¹⁴.

3.2.2. Definició del públic objectiu. Perfil d'usuaris

Tot i que, tradicionalment, l'ús d'auriculars sempre ha sigut més comú i associat a persones joves, específicament, s'està convertint cada cop més en una pràctica freqüent i quotidiana també en grups d'edats més avançats. A més a més, la nova normalitat, generada per la COVID-19, ha implicat canvis a moltes dinàmiques de la vida. Ja abans de la pandèmia, s'estava fent cada cop més comú veure persones caminar amb auriculars posats. Ara, amb l'augment del teletreball i de les múltiples activitats que es fan des de casa o de manera remota (conferències virtuals, classes, i major exposició a pantalles), l'ús d'auriculars ha augmentat molt més.

Amb això, tot i no limitar estrictament el rang d'edat d'aquest públic objectiu, s'emfatitzarà l'enfoc als grups d'edat d'adolescents i adults joves (de 12 a 35 anys), amb independència del seu gènere, ja que són els que, segons l'OMS ⁴, als països d'ingressos mitjans i alts estan més exposats a nivells de so perjudicials per l'ús de dispositius d'àudio personals. L'OMS calcula que 1.100 milions de joves dins d'aquest rang d'edat a tot el món podrien estar en risc de pèrdua auditiva a causa de pràctiques d'escolta perilloses (no només per l'ús d'auriculars, també d'altres dispositius d'àudio i a causa de l'exposició a nivells de so nocius a llocs com clubs nocturns, bars, concerts i esdeveniments esportius).

Per tant, el perfil d'usuari susceptible a tenir interès en el producte objecte del treball és qualsevol individu que utilitzi auriculars en diferents entorns amb situacions de soroll ambiental oposades, per exemple a casa i al transport públic, que els arribi a utilitzar més de dues hores diàries i es preocupi pel benestar de la seva audició i orelles. El públic objectiu busca que aquesta versatilitat i seguretat dels auriculars vagin acompanyades d'una bona qualitat d'àudio, superior a la d'uns auriculars econòmics convencionals, però sense arribar als requisits de so d'alta fidelitat que busquen els músics professionals o audiòfils més exigents.

3.2.3. Enquesta: Auriculars, hàbits i preferències

<https://forms.gle/kX4qKK7KZN2vSb9W7>

S'ha elaborat una enquesta per tal de realitzar un estudi destinat a l'anàlisi d'hàbits, comportaments i prioritats dels usuaris d'auriculars per tal de: verificar i contrastar els aspectes més rellevants observats en la recopilació de dades estadístiques, avaluar les necessitats plantejades i el grau d'urgència d'aquestes, i definir amb més precisió i fidelitat la conceptualització del producte objecte del treball.

Les preguntes incloses en l'enquesta, les formes de resposta proposades i les raons del plantejament de cada una d'elles són les següents:

1. Amb quin gènere t'identifiques?

- *Masculí*
- *Femení*
- *Altres...*

Pregunta únicament estadística. No es preveu cap distinció a nivell de gènere a l'hora de posicionar-se com a marca o definir el públic objectiu.

2. Quina edat tens?

- *Menys de 16 anys*
- *Entre 16 i 25 anys*
- *Entre 26 i 35 anys*
- *Entre 36 i 45 anys*
- *Entre 46 i 55 anys*
- *Entre 56 i 65 anys*
- *Més de 65 anys*

Pregunta estadística per estimar les edats de les persones estudiades, però també necessària per a poder filtrar les respostes dels individus de menys de 35 anys i analitzar específicament aquests grups d'edat d'acord amb la cert èmfasi que es vol donar als grups d'edat d'adolescents i adults joves.

3. Quantes hores al dia acostumes a utilitzar auriculars? (Considera auriculars de qualsevol tipus: de diadema, in-ear, amb cable, inalàmbrics, etc.)

- *Més de 6 hores*
- *Entre 4 i 6 hores*
- *Entre 2 i 4 hores*
- *Entre 30 minuts i 2 hores*
- *Menys de 30 minuts*

Qüestió plantejada per tal d'apreciar el temps d'escolta mitjà diari de la població i recopilar informació sobre els hàbits en l'ús d'auriculars, de qualsevol tipologia, i detectar possibles pràctiques inadequades en alguns dels individus enquestats.

4. En quines situacions i entorns els utilitzes normalment?

- A casa
- Al transport públic
- Al cotxe com a passatger
- Al carrer
- A la feina
- A la universitat, institut o escola
- Al gimnàs
- Altres...

L'objectiu d'aquesta pregunta és observar la varietat de llocs en què la gent acostuma a utilitzar auriculars, observant com coexisteix l'ús d'aquests, per part d'un mateix individu, tant en entorns sorollosos com en entorns sense contaminació acústica.

5. Procures vigilar i regular el volum d'escolta per tal d'evitar problemes i lesions auditives?

- Sí, sempre o gairebé sempre
- A vegades, quan hi penso
- No, no li dono importància

Es vol fer servir la pregunta com a un indicador del grau de conscienciació de la població respecte a les possibles implicacions i riscos que té per l'oïda l'ús inadequat dels auriculars. També es vol veure la importància que es dona a la pròpia seguretat auditiva.

6. Has patit mai pèrdua temporal d'audició, tinnitus o altres lesions a causa de l'ús d'auriculars?

- Sí
- No
- Desconec si la causa va ser l'ús d'auriculars

Tot i que la majoria de casos de pèrdua d'audició són graduals i difícilment detectables i vinculables amb l'ús d'auriculars, s'ha volgut plantejar una pregunta que serveixi com a una remota referència per indicar l'afectació de patologies auditives en els enquestats a causa d'utilitzar auriculars de qualsevol tipus.

7. Coneixes les diferències entre els auriculars oberts (open-back) i tancats (closed-back)?

- Sí
- No
- Conec l'existència dels dos tipus, però no conec exactament les diferències

Qüestió que mesura el grau de coneixement sobre els dos tipus de models d'auriculars implicats en el projecte. Es tindrà en compte per tal d'enfocar d'una forma o altra l'estratègia de màrqueting i comunicació, així com per estimar la innovació percebuda pel públic del producte que es desenvoluparà.

8. De les següents característiques i funcionalitats, quines prioritzares en uns auriculars circumaurals, concretament? Els auriculars circumaurals són els coneguts popularment com a "cascos" o "auriculars de diadema". Si us plau, no consideris els auriculars que es col·loquen a l'interior de les orelles, com per exemple els AirPods, o altres tipologies, per aquesta pregunta.

Amb aquesta pregunta s'analitzaran i avaluaran les preferències i factors que els usuaris prioritzen en uns auriculars circumaurals. La informació recopilada de les respostes servirà per definir el briefing i requeriments del producte a desenvolupar amb una base d'evidència fonamentada, es donarà més importància als aspectes que el públic més ha puntuat s'inclouran a la proposta amb rigorositat. Per tal d'elaborar aquesta escala de prioritats, s'ha demanat als enquestats que puntuïn un seguit de característiques de l'1 al 5, sent 1 una característica innecessària i 5 una d'essencial.

Les característiques o funcionalitats en qüestió són les següents:

- Que cancel·lin completament el soroll ambiental extern.
- Que reproduïxin el so amb precisió, fidelitat i naturalitat (mínima distorsió).
- Que el model no sigui totalment tancat al voltant de les orelles i presenti certa transpirabilitat.
- Que siguin portables (desmuntables o plegables, que disposin d'una funda o bossa).
- Que siguin còmodes (bona distribució del pes, elasticitat de la diadema).
- Que siguin inalàmbrics (mitjançant receptor USB, Bluetooth).
- Que siguin lleugers (minimització de dimensions i pes).
- Que disposin d'una gamma de colors àmplia de la qual escollir.
- Que tinguin un micròfon incorporat.

9. Per acabar, si tens alguna recomanació relacionada amb el desenvolupament dels auriculars (altres funcions, millores, consideracions auditives), agrairia que ho comentessis a continuació.

Pregunta oberta opcional per tal de recopilar possibles millores concretes proposades pels usuaris i tancar l'enquesta.

S'ha tancat l'enquesta havent obtingut un total 103 respostes. De totes les persones enquestades, 53 són dones (51,5%) i 50 homes (48,5%), per tant, hi ha paritat de gènere en les respostes. Pel que fa a l'edat dels enquestats, pràcticament un 38% es troben en la franja d'entre 16 i 35 anys, que ha sigut el grup d'edat més ampli. El segon grup d'edat del qual s'han obtingut més respostes ha sigut el d'individus d'entre 56 i 65 anys (26%). De la resta de franges s'han obtingut un volum similar de respostes (al voltant del 10%). Per tant, es tracta d'una mostra estudiada amb diversificació d'edats i amb un volum de joves i adolescents d'entre 12 i 35 anys considerable per a poder analitzar-lo separatament.

3.3. Recerca tècnica

3.3.1. Nocions generals sobre acústica i àudio

Teoria bàsica sobre acústica i dispositius electroacústics. Es descriuran alguns punts i conceptes fonamentals del camp de l'àudio per tal de crear una base d'informació tècnica imprescindible.

3.3.1.1. El Decibel

*“El decibel és una manera d'expressar "quant" d'una manera que sigui rellevant per a la percepció humana de la sonoritat. (...) Els canvis percebuts en la intensitat i la freqüència del so es basen en el canvi percentual respecte alguna condició inicial. Això vol dir que les persones que treballen en el camp de l'àudio s'han de preocupar pels ràtios.”*¹⁵ (p.97).

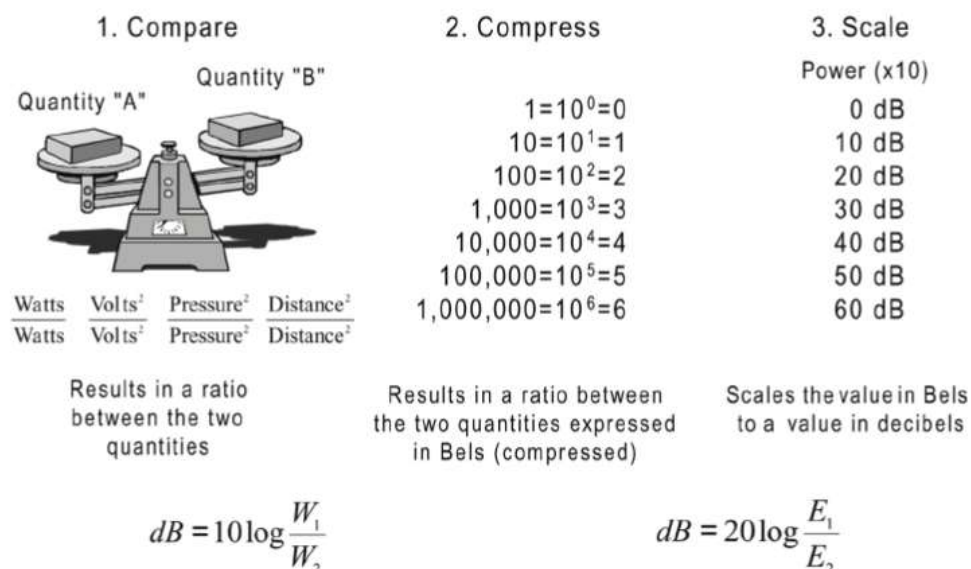


Figura 2. Descripció dels passos per realitzar una conversió de decibels. Font: SynAudCon.

Mitjançant l'ús del decibel, els canvis en el nivell de so a la posició de l'oient es poden determinar a partir dels canvis en el voltatge de sortida de qualsevol dispositiu davant de l'altaveu. Per exemple, una duplicació del voltatge de sortida del micròfon produeix un augment de 6 dB en el nivell de sortida del micròfon, el mesclador, el processador de senyal, l'amplificador de potència i, finalment, en el nivell de so de l'oient.

3.3.1.2. Sonoritat i nivell

La sonoritat (referida al concepte *loudness*, en anglès) percebuda d'un esdeveniment sonor està relacionada amb el seu nivell acústic (o volum), que al seu torn està relacionat amb el nivell elèctric que fa funcionar l'altaveu. Els nivells són pressions o potències elèctriques o acústiques expressades en decibels. En el seu rang de funcionament lineal, el sistema auditiu humà percebrà un augment de nivell com un augment de la sonoritat¹⁵.

3.3.1.3. Freqüència

Generalment, el so consisteix en pressions positives i negatives alternes, per la qual cosa, en comú amb altres camps d'estudi on hi ha senyals alterns, és útil interpretar els sons en funció del seu contingut de freqüència. D'aquesta manera, si sabem com es comporta una ona acústica en un rang de freqüències, podem predir com es comportaria per a qualsevol senyal ¹⁶.

Els humans poden escoltar freqüències tan baixes com 20 Hz i fins a 20.000 Hz (20 kHz). Les ones d'àudio són electromagnètiques. En un circuit d'àudio, la quantitat d'interès fluctuant sol ser el voltatge o corrent elèctrica. En un circuit acústic és la desviació de la pressió de l'aire respecte a la pressió atmosfèrica ambiental. Quan les fluctuacions de la pressió de l'aire tenen una freqüència entre 20 Hz i 20 kHz, són audibles per als humans i s'anomenen ones sonores. Un micròfon és un transductor que converteix les ones sonores en ones d'àudio. Un altaveu és un transductor que converteix les ones d'àudio en ones sonores.

La resposta espectral o de freqüència d'un sistema descriu les freqüències que poden passar per aquest sistema. Sempre s'ha d'indicar amb una tolerància adequada, com ara ± 3 dB. Aquest rang de freqüències és l'ample de banda (*bandwidth*) del sistema ¹⁵.

3.3.1.4. Longitud d'ona

La longitud d'ona acústica és la distància ocupada per un cicle d'una ona acústica d'una sola freqüència (l'equivalent espacial del període de temps). Té les unitats de metres i sol tenir el símbol λ ¹⁶.

Una ona acústica és aquella que es propaga mitjançant la vibració d'un medi com l'acer, l'aigua o l'aire. Les longituds d'ona de les freqüències d'àudio a l'aire oscil·len entre uns 17 m (20 Hz) i 17 mm (20 kHz). Quan el so es troba amb una superfície de l'espai, es produeix una interacció complexa. Si l'obstrucció és menor que la longitud d'ona de l'ona que la colpeja, l'ona es difracta al voltant de l'obstrucció i continua propagant-se ¹⁵.

3.3.2. Informació general sobre els auriculars i les seves tecnologies

Tots els auriculars actuen com a transductors que converteixen els senyals d'àudio (energia elèctrica) en ones sonores (energia d'ona mecànica). El controlador dels auriculars reacciona a l'àudio mitjançant principis electromagnètics, electroestàtics o piezoelèctrics i fa que un diafragma es mogui, el qual produeix el so que s'escolta ¹⁷.

Els auriculars es connecten a una font de senyal com un amplificador d'àudio, una ràdio, un telèfon mòbil, etc., ja sigui directament mitjançant un cable o mitjançant tecnologia sense fils (inalàmbrica) com Bluetooth, DECT o ràdio FM.

3.3.2.1. Característiques elèctriques ¹⁸⁻²⁰

Impedància. Els auriculars estan disponibles amb una impedància alta o baixa (normalment es mesura a 1 kHz). Els auriculars de baixa impedància estan en el rang

de 16 a 32 ohms i els d'alta impedància són d'uns 100-600 ohms. A mesura que augmenta la impedància d'un parell d'auriculars, es necessita més voltatge (a un corrent determinat) per conduir-lo i la sonoritat o volum dels auriculars per a un voltatge determinat disminueixen. Per tant, els auriculars de menor impedància solen ser més forts i eficients. Els auriculars d'impedància més alta tenen més capes de cable a la bobina de veu, produint una millor claredat i qualitat de so, però produeixen menys volum per a un nivell de sortida o voltatge determinat.

Sensibilitat. La sensibilitat és una mesura de l'efectivitat amb la que un auricular converteix un senyal elèctric entrant en un so audible. Per tant, indica el volum dels auriculars per a un nivell d'accionament elèctric determinat. Es pot mesurar en decibels de nivell de pressió acústica per miliwatt (dB (SPL)/mW) o en decibels de nivell de pressió acústica per volt (dB (SPL) / V). El nivell màxim de pressió acústica és una qüestió de preferència, amb algunes fonts que no recomanen més de 110 a 120 dB.

3.3.2.2. Auriculars circumaurals. Closed-Back vs Open-Back ^{19,21-23}

Els auriculars circumaurals (també anomenats auriculars *full size* o auriculars *over-ear*) tenen coixinets circulars o el·lipsoïdes que envolten les orelles. A causa de la seva mida, els auriculars circumaurals poden ser pesats, i es requereix un disseny ergonòmic de la diadema i els coixinets per reduir les molèsties derivades del pes. Els auriculars circumaurals poden ser, segons el seu disseny acústic, oberts (open-back) o tancats (closed-back).

Els **auriculars oberts** són aquells que tenen algun tipus de perforació a la part posterior de les copes que envolten l'orella que permeten que l'aire i el so entri i surti dels auriculars.

Aquesta "transpirabilitat" permet que l'excés de pressió sonora escapi dels auriculars i minimitza les ressonàncies/ecos dins de les copes. Això millora la claredat del so, redueix l'acumulació de freqüències dels baixos i amplia la imatge estèreo, és a dir, incrementa el realisme i la tridimensionalitat del so creant una sensació d'un pla imaginari on se situen els sons en l'espai. En resum, ofereixen una fidelitat de so alta i natural, sense gairebé cap distorsió per retroalimentació o reverberació.

Però aquesta millora de la qualitat del so només està disponible en ambients silenciosos, ja que les perforacions permeten que el soroll ambiental entri als auriculars. Això els fa més adequats per a entorns més tranquils, com ara a casa o a un estudi de música.

Els **auriculars tancats** es descriuen com a auriculars completament segellats que no permeten que entri el so de l'entorn ni que el so generat pel driver s'escapi dels auriculars.

Aquest sistema tancat és ideal per a la cancel·lació passiva de soroll (el bloqueig físic de les ones sonores) i també fa que sigui fàcilment compatible amb la cancel·lació activa de soroll, que millora encara més l'aïllament.

Com que els auriculars tancats no deixen escapar el so, generalment tenen camps estèreo més reduïts (un so menys "obert") i poden tenir una acumulació de freqüències baixes i altres ressonàncies a causa de l'acumulació de pressió d'aire dins de la carcassa segellada, agreujada per la pressió exercida als costats del cap pels coixinets per a les orelles. Això resulta en un so amb uns baixos més potents però també més propens a la distorsió.

Per escoltar en moviment el disseny tancat té més de sentit, ja que aïllarà a l'usuari dels entorns sorollosos que l'envolten mentre manté la seva escolta privada. Dit això, si va en bicicleta, camina per un lloc amb trànsit o en alguna altra situació a l'aire lliure on necessita mantenir una certa consciència del que passa al seu voltant, un model obert serà una elecció més segura.

3.3.2.4. Reducció del soroll ambiental ^{18,22}

L'**aïllament passiu del soroll** utilitza essencialment el cos de l'auricular, ja sigui per sobre o a l'orella, com a tap d'orella passiu que simplement bloqueja el so. Els tipus d'auriculars que proporcionen més atenuació són els auriculars *in-ear* i els auriculars tancats. Els auriculars tancats bloquegen de 8 a 12 dB i els *in-ears* entre 10 i 15 dB.

Els auriculars amb **cancel·lació de soroll activa** eviten que el soroll exterior entri generant "antisoroll" artificial per suprimir el so ambiental. Els micròfons a l'exterior dels auriculars recullen el soroll ambiental i el transmeten com a voltatges elèctrics. Dins dels auriculars, aquests voltatges s'afegeixen a l'àudio desitjat amb una freqüència invertida (veure *Figura 3*). Això neutralitza els components del so acústicament penetrants, per tal d'assegurar que la música és escoltada clarament per l'usuari sense que interfereixi el soroll extern.

Els auriculars amb cancel·lació de soroll activa poden atenuar el soroll ambiental en 20 dB o més, però són eficaços principalment en sons constants i a freqüències més baixes, en lloc de sons i veus agudes (*Es desenvoluparà una explicació més extensa sobre la tecnologia de cancel·lació de soroll activa i l'electrònica vinculada a l'apartat 3.3.5*).

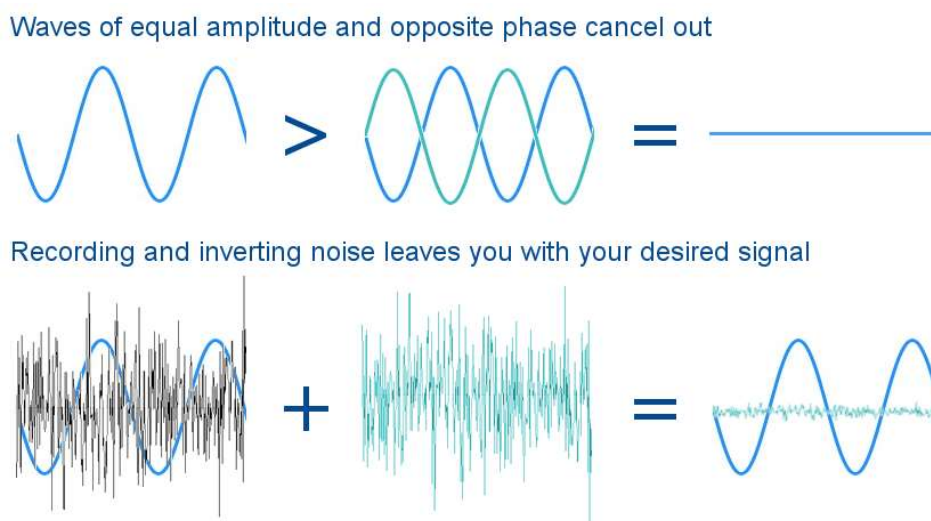


Figura 3. Explicació gràfica de la cancel·lació activa de soroll. Font: BubblyNet.

3.3.2.5. Materials comuns i procés de producció dels auriculars ²⁴

Els materials més bàsics i comuns que s'utilitzen en la producció d'auriculars són: PVC, cautxú, cuir artificial, escuma viscoelàstica (escuma amb memòria), coure, ceràmica, altres metalls.

El procés bàsic de producció i assemblatge d'aquests materials i els diferents components és el següent: Un cop finalitzat el disseny, les màquines d'emmotllament donen forma als components de plàstic. Una màquina de bobinar enrotlla el fil de coure al voltant d'un cilindre. Com a regla general, com més bobines, millor serà l'electromagnetisme (més alta impedància). La bobina de coure resultant es converteix ara en una bobina de veu (*s'explicarà amb més detall què és i quina funció té aquest component en el següent apartat*) que després és segellada amb un diafragma transparent o una coberta de plàstic. Per al segell, s'utilitza una petita quantitat de cola i llum ultraviolada per obtenir millors resultats. A continuació, la bobina de veu s'instal·la en una carcassa que està estratègicament posicionada per produir el millor so. Es completa la instal·lació de cables a l'alliberador de tensió de la diadema ajustable. El logotip i altres detalls pertinents dels auriculars s'estampen al producte acabat.

3.3.2.6. Referències de models existents i les seves característiques

Mitjançant la guia de compra d'AKG Harman ²⁵, es pretén conèixer les diferents característiques de models existents d'auriculars de gamma alta per a un conjunt d'aplicacions, funcionalitats i rang de preu requerits segons les necessitats de l'usuari. D'aquesta manera, es podran prendre aquestes especificacions com a referència pel model a desenvolupar en aquest projecte. Escollint diferents característiques principals (Bluetooth, ús en diferents situacions, preu) s'obté com a models recomanats els auriculars K361-BT i els K371-BT. Es tracta de dos parells d'auriculars closed-back, amb un preu de 145\$ i 199\$, respectivament, i amb les següents especificacions principals:

- Mida del driver: 50 mm.
- Sensibilitat: 114 dB SPL/V (a 1 kHz).
- Impedància: 32 Ω .
- Amplada de banda de la freqüència d'àudio: 15-28000 Hz i 5-40000 Hz, respectivament.
- Màxima durada de la bateria: 28 hores i 40 hores, respectivament.

3.3.3. Tecnologies de transducció i drivers en auriculars. Composició, tipologies, funcionament i característiques

3.3.3.1. Definició i components bàsics ²⁶

Els auriculars utilitzen diversos tipus de transductors per convertir els senyals elèctrics en so. Els controladors o drivers dels auriculars consisteixen principalment en tres components bàsics:

L'**imant** d'un controlador d'auriculars genera un camp magnètic que pot afectar la qualitat general del so dels auriculars. Com més forts siguin els imants (en relació a la mida del conductor), millor serà el so.

Els imants més forts tenen el potencial de crear un moviment d'aire més significatiu que, al seu torn, donarà lloc a una millor cobertura de freqüència del driver. Els imants són la "força motriu" dels altaveus, ja que s'encarreguen de moure el diafragma cap endavant i cap enrere, la qual cosa provoca vibracions a l'aire i genera ones sonores.

Les **bobines de veu** són la força física que entra en contacte i mou el diafragma per estimular la vibració a la seva superfície. Quan l'electricitat passa per les bobines de veu, es tornen electromagnètiques i interactuen amb els imants. Aquesta interacció d'atraure/repel·lir fa que les bobines vibrin i moguin el diafragma. Els diferents materials de la bobina de veu no afectaran massa la qualitat del so.

El **diafragma o con** vibra per moure l'aire, produint ones sonores que les orelles poden captar. Normalment té una membrana fina amb diversos materials amb vores suspeses per permetre la vibració. Quan l'electricitat passa per les bobines de veu i mou el diafragma, la membrana fina vibra i empeny l'aire per generar el so que escolta l'usuari des de cadascun dels altaveus dels auriculars.

3.3.3.2. Tipus de drivers ^{20,26-28}

1. Dinàmic / Bobina mòbil (Electrodinàmics). Molts fabricants utilitzen controladors dinàmics per dos motius: el baix preu i la seva capacitat per cobrir una àmplia gamma de freqüències. El diafragma dels controladors dinàmics té més espai per vibrar, cosa que el fa capaç de produir una millor resposta de baixos.

La bobina de veu d'un controlador dinàmic es troba dins d'un imant permanent. També està connectat directament amb el diafragma. Quan el corrent elèctric travessa la bobina de veu, produeix un camp electromagnètic. Aleshores, la bobina de veu ara magnètica atrau i repel·leix contínuament l'imant permanent, fent-lo vibrar a una freqüència determinada.

El diafragma també es mourà cap amunt i cap avall segons la vibració de la bobina, desplaçant així l'aire per sobre d'ell i generant ones sonores. Els controladors dinàmics tenen un dels mecanismes més senzills, que els permet arribar a un volum elevat amb menys potència (o una impedància menor).

Tanmateix, els controladors dinàmics de baixa qualitat són propensos a la distorsió no lineal a volums més elevats. El diafragma dels controladors dinàmics només vibra per les parts físicament connectades a la bobina de veu. Els components que no estan connectats a la bobina de veu rebran una vibració de secundària que distorsiona la seva forma a volums més alts.

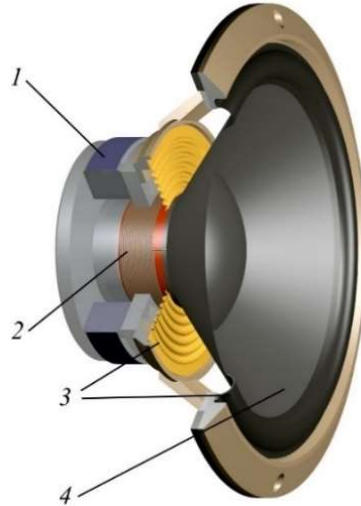


Figura 4. Parts d'un driver dinàmic. (1) imant, (2) bobina de veu, (3) suspensió i (4) diafragma.
 Font: Wikipedia Commons.

2. Electroestàtic. Els drivers electroestàtics consisteixen en un diafragma prim i carregat elèctricament i una membrana de PET recoberta, suspesa entre dues plaques metàl·liques perforades (elèctrodes). El senyal de so elèctric s'aplica als elèctrodes creant un camp elèctric; en funció de la polaritat d'aquest camp, el diafragma és atret cap a una de les plaques. L'aire passa a través de les perforacions; combinat amb un senyal elèctric que canvia contínuament que mou la membrana, es genera una ona sonora. Els auriculars electroestàtics solen ser més cars que els de dinàmics i són relativament poc freqüents.

Els controladors electroestàtics poden moure la membrana sense cap contacte físic. La membrana és ultrafina i més lleugera que l'aire que l'envolta, de manera que només l'electricitat estàtica és suficient per fer-la vibrar. La manca d'interferència física amb la membrana pot crear un so més net i evitar la distorsió.

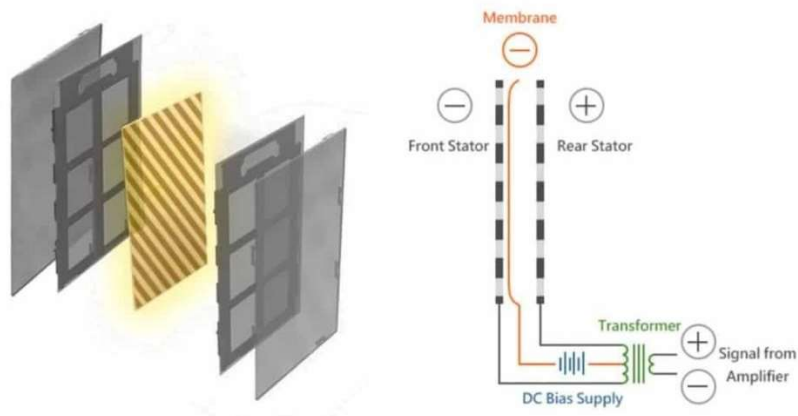


Figura 5. Representació i diagrama d'un driver electroestàtic. Font: GeekDad.

3. Planar-magnètic. Un controlador planar-magnètic consta d'una membrana relativament gran que conté un patró de filferro incrustat. Aquesta membrana està suspesa entre dos conjunts d'imants permanents, alineats en sentit contrari. Un corrent que passa pels cables incrustats a la membrana produeix un camp magnètic que reacciona amb el camp dels imants permanents per induir moviment a la membrana, que produeix so. Els controladors magnètics planars s'utilitzen habitualment als auriculars oberts.

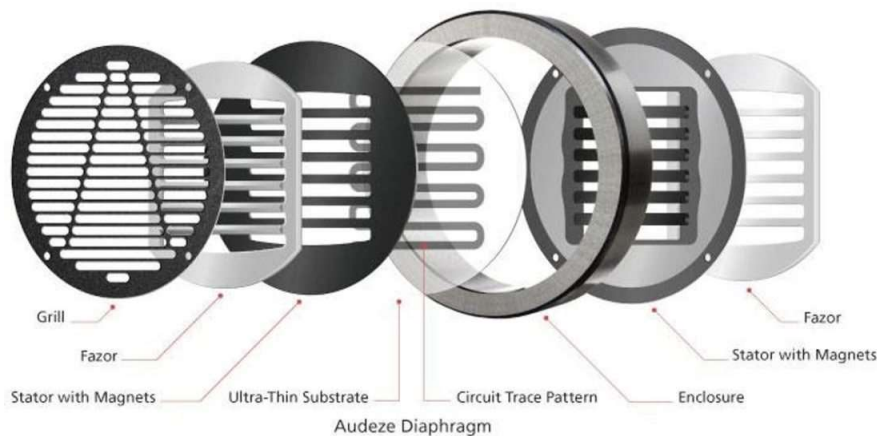


Figura 6. Diagrama d'un driver planar-magnètic. Font: TrustedReviews.

4. Balanced-Armature. Els drivers balanced-armature són populars per la seva excel·lent eficiència energètica. Aquests drivers s'utilitzen específicament als auriculars in-ear, concretament als IEM.

En els controladors balanced-armature, el senyal d'àudio entrant primer passa per la bobina de coure que envolta l'armadura. Aleshores, el corrent elèctric converteix l'armament en un electroimant, que s'atrau cap als imants per sobre i per sota.

El problema amb els controladors BA és que no desplacen l'aire per generar so, la qual cosa fa que els auriculars no tinguin uns baixos contundents. Els fabricants sovint compensen la manca de greus als auriculars amb drivers BA afegint controladors dinàmics al model, creant un nou tipus de driver conegut com a drivers híbrids.

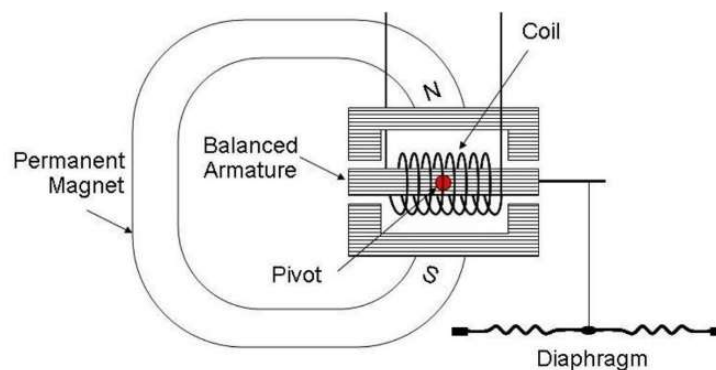


Figura 7. Diagrama d'un driver balanced-armature. Font: Wikimedia.

3.3.3.3. Diferències entre els drivers d'auriculars open-back i closed-back ^{21,29,30}

No tots els tipus de drivers són aplicables als dissenys d'auriculars oberts i tancats.

Els controladors balanced-armature impulsen el so a través d'un diafragma, però són en miniatura i només es troben als auriculars intraurals o als in-ear monitors.

Així que queden els controladors de bobina mòbil o dinàmics, electroestàtics i planar-magnètics com a tipologies de drivers aplicables als auriculars oberts i tancats. Tot i que els tres tipus es poden utilitzar tant en auriculars open-back com closed-back, cada tipus pot complementar de diferents formes el so que finalment arriba a l'usuari.

Tant en els drivers planar-magnètics com en els electroestàtics, el so s'envia de manera bidireccional. Com que el diafragma està entre dos imants permanents, en el cas dels planar-magnètics, o entre dues plaques metàl·liques perforades, en el cas dels electroestàtics, aquests tipus de drivers expulsen el mateix àudio en ambdues direccions: cap a l'orella i lluny d'ella. És per això que aquesta forma de funcionar complementa les característiques d'un disseny obert dels auriculars, que potencia la creació d'un escenari sonor clar i el realisme de la imatge estèreo del so generat.

Els drivers dinàmics, en canvi, envien ones sonores de manera unidireccional a causa de la naturalesa del seu disseny. També, com que el diafragma dels controladors dinàmics té més espai per moure's que les parts anàlogues d'altres tipus de controladors d'auriculars, és capaç de produir els baixos més potents. Aquesta manera de funcionar es complementa millor amb el comportament característic dels auriculars tancats, que presenten acumulació de freqüències baixes i altres ressonàncies a causa de l'acumulació de pressió d'aire dins de la carcassa segellada. Tot i això, els drivers dinàmics, gràcies al seu reduït cost, mida, alta disponibilitat, versatilitat del funcionament i eficiència energètica, són els més utilitzats en els auriculars circumaurals i existeixen molts models open-back que també els implementen.

3.3.4. Auriculars inalàmbrics, tecnologia Bluetooth

3.3.4.1. Funcionament general ^{17,31,32}

Els auriculars sense fil, o inalàmbrics, a diferència dels auriculars amb cable, reben els senyals d'àudio de les seves fonts connectades de forma inalàmbrica. Més concretament, el receptor inalàmbric dels auriculars rep el senyal d'àudio, incrustat en un senyal de ràdio o un senyal d'infrarojos conegut com a senyal portador, d'un transmissor. Descodifica l'àudio del senyal del portador i l'utilitza per fer funcionar els drivers dels auriculars. Un cop passat l'amplificador intern, els auriculars inalàmbrics són pràcticament iguals que els auriculars amb cable.

3.3.4.2. Components principals i estructura interna ^{31,33,34}

A continuació es descriuen els components principals dels auriculars inalàmbrics que funcionen per Bluetooth i les seves funcions.

1. Unitat de drivers. El driver o controlador situat dins dels auriculars és la part que realment produeix el so, com ja s'ha exposat en l'apartat de recerca anterior. Els auriculars Bluetooth i els auriculars amb cable utilitzen els mateixos tipus de drivers per produir música.

2. Bateria recarregable. Els auriculars Bluetooth, a diferència dels auriculars amb cable, requereixen de bateries per funcionar. La bateria alimenta el SOC intern perquè els auriculars es puguin connectar a altres dispositius habilitats per Bluetooth, processar i convertir senyals digitals en senyals analògics, utilitzar funcions de cancel·lació de soroll, etc. El dispositiu també conté un port de càrrega perquè l'usuari pugui carregar la bateria quan sigui necessari.

3. Sistema en un xip. Els auriculars Bluetooth contenen un system on a chip (SOC) que és un circuit integrat que conté el mòdul hardware de Bluetooth, un processador de senyal digital (DSP), un convertidor Digital-to-Analog (DAC), memòria, ports de connexió, microcontroladors, microprocessadors, etc.

El mòdul hardware de Bluetooth és un component que fa possible la comunicació Bluetooth. Cada dispositiu compatible amb Bluetooth, com ara un smartphone o una Smart TV, té un mòdul hardware de Bluetooth al seu interior.

Els auriculars Bluetooth contenen DAC i amplificadors integrats, ja que el senyal Bluetooth que rep de la font de so transfereix dades digitalment i s'ha de convertir en un senyal analògic que utilitzaran els drivers per produir música.

S'han consultat diferents fonts i referències ^{33,34} on es realitza el desmuntatge i anàlisi de models d'auriculars inalàmbrics per obtenir una millor comprensió de l'estructura interna d'aquests i de la mida, aspecte i posició dels seus components.



Figura 8. Components d'auriculars inalàmbrics: bateria (esquerra) i SoC (dreta). Font: AMD, Intel.

3.3.4.3. Còdecs d'àudio Bluetooth ^{34,35}

Els còdecs d'àudio són sistemes utilitzats per realitzar la codificació d'un fitxer, "co", així com la seva descodificació, "dec". En altres paraules, per poder aprofitar un còdec d'àudio, l'arxiu ha de poder codificar-se d'una banda -generalment al nivell de l'smartphone, PC, televisió...- i que sigui descodificat de l'altra, al nivell dels auriculars o l'altaveu Bluetooth.

En general, cada còdec tindrà els seus punts forts i febles. Encara que ofereix la velocitat de transmissió més baixa, el SBC està disponible a tots els productes Bluetooth. aptX és un còdec més equilibrat en la seva latència i taxa de bits, però amb menor adopció. Finalment, els dos millors còdecs en termes de qualitat de so (LDAC) i latència (aptX Adaptive) només es fan servir en alguns productes puntuals.

3.3.5. Electrònica, sistemes ANC i equalització

Com ja s'ha mencionat en l'apartat 3.3.2, els **sistemes ANC** utilitzen un element actiu per eliminar el soroll no desitjat.

Els passos per cancel·lar el soroll no desitjat són els següents: En primer lloc, el micròfon detecta el soroll que prové de l'exterior. Aleshores, el circuit elèctric llegeix la informació que prové del micròfon i crea un senyal de soroll que té la mateixa freqüència i amplitud que el soroll exterior, però amb una fase de 180° respecte a la font exterior. Aquest senyal s'envia a l'altaveu, que emetrà el so desitjat. Llavors, les ones sonores exteriors es cancel·len per les ones sonores generades per l'altaveu.

El factor limitant en l'eficiència dels dispositius de cancel·lació de soroll és el temps de reacció del sistema. Els auriculars que reaccionen més lentament proporcionen menys cancel·lació ³⁶.

S'han recollit referències de dissenys i implementacions de sistemes ANC per a aplicacions d'auriculars ^{37,38}, teoria fonamental i diagrames de blocs d'aquests sistemes ^{39,40}, principis de treball amb algorismes ANC ⁴¹, algorismes adaptatius utilitzats en auriculars ANC ⁴², estudi de hardware i software per la cancel·lació activa de soroll ⁴³ i exemples de codi font d'algorismes ANC ⁴⁴.

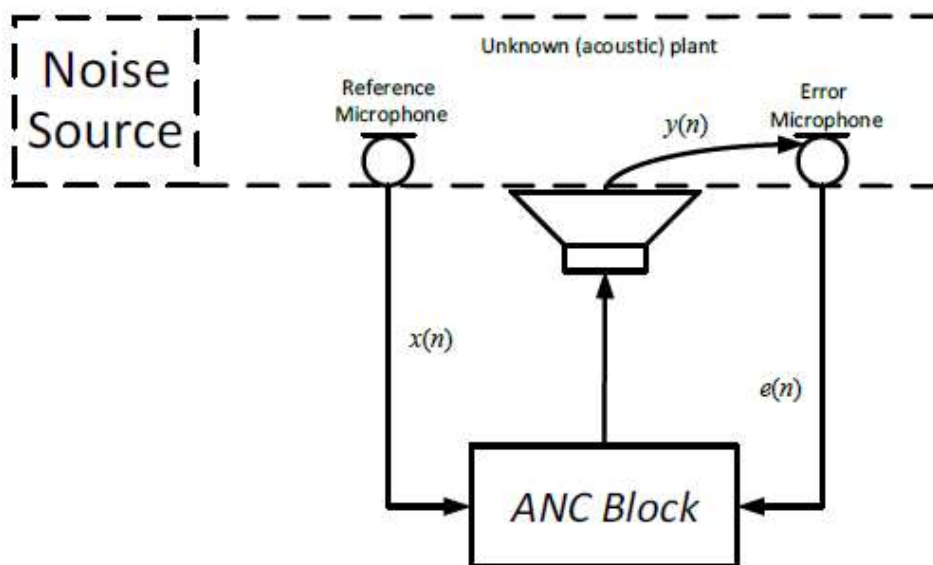


Figura 9. Diagrama d'un algoritme ANC Feedforward. Font: Integrated active noise control and sound quality enhancement system for hearing devices. Belyi, V.

Es poden trobar altres exemples i referències de circuits electrònics anàlegs d'auriculars, circuits d'auriculars amb micròfon, amplificadors, esquemes electrònics i altres dissenys a les fonts ^{45,46}.

Per tal d'incloure aquesta funció de cancel·lació de soroll activa amb la funció d'**equalització** de freqüències necessària, es requereix la implementació i la programació adient d'un DSP (digital signal processor) ⁴⁷.

El "digital signal processing" o processament de senyals digitals és el procés de prendre senyals analògics del món real (per exemple, veus i imatges), convertir-los en informació digital, fer els canvis necessaris i després reproduir-los en informació que es pot entendre i utilitzar.

Però els processadors de senyal digital són ordinadors que no entenen els senyals analògics que reben d'entrades com micròfons o càmeres. Requereixen un convertidor analògic a digital (ADC) per traduir l'entrada al llenguatge binari que entenen.

Els processadors de senyal digital (DSP) poden manipular el senyal convertit de moltes maneres per millorar el resultat final per als usuaris. A la indústria de l'àudio, els DSP poden fer moltes coses que fan que l'experiència global dels usuaris amb dispositius d'àudio sigui molt millor. Els avenços tecnològics com l'augment de greus, la cancel·lació activa de soroll, l'equalització adaptativa i l'escriptura de veu són tots resultats d'un processament de senyal digital d'avantguarda.

3.4. Benchmarking

Per tal de realitzar un estudi del mercat d'auriculars circumaurals (tant oberts com tancats) i dur a terme una anàlisi de la competència, es realitzarà un benchmark (o comparativa de mercat) en el qual s'inclouran 5 models d'alta demanda amb característiques diverses de les marques i fabricants amb més presència en el mercat en qüestió ⁴⁸⁻⁵¹.

De cada model s'analitzaran i compararan específicament 5 aspectes i facetes del producte fonamentals, identificant les millors pràctiques i definint el grau d'interès de cada un per a la possible incorporació de cara al disseny dels auriculars d'aquest projecte. D'aquesta manera, s'establiran les referències pels aspectes principals del disseny del producte i es posicionarà aquest en relació amb els models existents i amb més èxit del mercat.

Un cop realitzat l'anàlisi dels 5 productes (en els quals s'inclouran models de tipus open-back i closed-back) s'elaborarà una taula comparativa amb les puntuacions de tots els aspectes que s'han pres en consideració amb la finalitat de visualitzar conjuntament quines són les pràctiques més ben valorades.

Mitjançant la tècnica dels eixos comparatius, es procurarà trobar el segment del mercat, en funció de dos factors associats a l'eix vertical i horitzontal, en el que es vol posicionar el nou producte en relació amb les altres marques estudiades.

Els 5 aspectes que s'analitzaran de cada model són:

- L'aspecte d'**ús i funcionalitat**. S'analitzaran matèries sobre la comoditat, ergonomia, connectivitat, pes i dimensions, portabilitat i altres funcions característiques del producte.
- La **solució tecnològica** utilitzada i l'**eficàcia** d'aquesta. S'observarà la qualitat d'àudio reproduïda i les seves propietats, consideracions acústiques, transductors/drivers incorporats, materials, etc.
- La faceta **visual i estètica**. Es compararan els estils i acabats estètics dels models escollits. Formes, colors, textures, diversitat o uniformitat d'elements, orientació minimalista / kitsch, etc.
- El concepte d'imatge de la **marca i comunicació** del producte. S'analitzarà la manera en què es publicita i les fortaleses del producte ressaltades, els eslògans o la proposta de valor comunicada al públic, els valors i atributs associats a la marca del model.
- L'aspecte del **preu** del producte i el seu valor relatiu. Es definirà el rang de preus al qual es pot comprar cada model d'auriculars i es compararà amb el valor econòmic dels altres exemplars.

Els 5 models escollits són: els Sony WH-1000XM4 ⁵², els beyerdynamic DT 900 PRO X ⁵³, els Jabra Elite 85h ⁵⁴, els Grado SR325x ⁵⁵ i els Sennheiser HD 569 ⁵⁶.

Sony WH-1000XM4

Closed-back, inalàmbrics

SONY



ÚS I FUNCIONALITAT ●●●

- Combinen sofisticació i comoditat: coixinets suaus d'escuma d'uretà que alleugen la pressió en distribuir-la uniformement augmentant la superfície de contacte per crear un ajustament estable. Disseny molt lleuger.
- Els auriculars es pleguen cap a dins, de manera que caben perfectament en una bossa compacta.
- Sistema de control tàctil intuïtiu i ergonòmic: l'usuari pot canviar de pista, pujar o baixar el volum i respondre o realitzar trucades tocant o fent lliscar el dit sobre el panell de l'auricular.
- *Sense Engine* o control de so adaptatiu: funció intel·ligent que detecta on està l'usuari i què està fent per crear l'experiència d'escolta ideal en funció del so ambient.
- Compten amb un sensor de proximitat i dos d'acceleració que detecten quan l'usuari se'ls posa o se'ls treu per controlar la reproducció i així estalviar bateria.

SOLUCIÓ TECNOLÒGICA I EFICÀCIA ●●

- Auriculars amb cancel·lació de soroll que inclouen micròfons addicionals que ajuden a aïllar el so per reduir encara més els sons de freqüències mitjanes i altes. Aquesta tecnologia de sensor de soroll dual inclou dos micròfons a cada auricular, captura el soroll ambiental i passa les dades al processador de cancel·lació de soroll HD QN1. Detecta i s'adapta a més de 700 vegades/segon.
- L'amplificador del HD QN1 aconsegueix la millor relació senyal-soroll per a la reducció de distorsió i ofereix un so excepcional. Els drivers de 40 mm, dinàmics, amb diaframes de polímer de cristall líquid (LCP), fan que siguin ideals per a ritmes greus i permeten reproduir un ampli rang de freqüències (fins a 40 kHz).
- Tecnologia inalàmbrica LDAC que transmet el triple de dades que el BLUETOOTH® convencional.

VISUAL I ESTÈTICA ●●●

- Estètica elegant, sofisticada i minimalista. Uniformitat i integració d'elements unificats en un sol color i una textura mat totalment llisa, amb l'única excepció del logotip de Sony, un petit detall de diferent color i textura brillant.
- Forma de l'auricular lleugerament ovalada i lleuger relleu en el modelat de les copes, donant lloc a un resultat fi i estilitzat. La diadema és simple i s'integra perfectament en el model resultant.

MARCA I COMUNICACIÓ ●

- Es ressalta la cancel·lació de soroll més avançada i líder del mercat, la qualitat de so excepcional i la sèrie de funcions intel·ligents que garanteixen una escolta inigualable.
- Els principals eslògans utilitzats són: "Only music. Nothing else.", "Be at one with your music." i "Industry-leading noise cancelation".
- Sony és una marca i fabricant líder mundial en electrònica de consum. Transmet un caràcter innovador, confiança i excel·lència.

PREU

- Molt alt. Rang de preus entre 298,00 € i 380,00 €.

beyerdynamic DT 900 PRO X

Open-back, amb cable



ÚS I FUNCIONALITAT ● ●

- Excel·lent comoditat d'ús. El disseny robust de la diadema d'acer amb molla assegura que els auriculars over-ear proporcionin un ajust segur i garanteixin la durabilitat. Els coixinets de vellut flexible són suaus al tacte i garanteixen una ventilació superior. La diadema s'adapta ergonòmicament a la forma del cap de l'usuari amb l'ajut d'una escuma viscoelàstica (escuma amb memòria) i, com els coixinets per a les orelles, es pot substituir si cal.
- Ampli ventall d'aplicacions: en una interfície d'àudio, un portàtil, tauleta o telèfon mòbil.

SOLUCIÓ TECNOLÒGICA I EFICÀCIA ● ●

- El transductor STELLAR.45 ofereix un so d'uns nivells de rendiment mai assolits en auriculars d'estudi. Això és gràcies a l'imant anular de neodimi i al cable d'alta tecnologia revestit de coure que incorpora aquest driver. En combinació amb el diafragma de tres capes de l'altaveu recentment desenvolupat amb una capa d'amortiment integrada, s'ha aconseguit un sistema driver altament eficient que funciona de manera excel·lent en tots els dispositius de reproducció.
- L'estructura innovadora de la membrana controla el moviment axial de la bobina de veu i garanteix que es mantingui col·locada a l'obertura de l'imant fins i tot durant oscil·lacions elevades. La resposta ràpida del transductor, produïda pel baix pes de la bobina, creen un so fiable i sense distorsions fins i tot a nivells de pressió sonora alts.
- Resiliència i durabilitat de tots els components: diadema metàl·lica, components GRP (Glass(fiber) Reinforced Plastic), connector mini-XLR robust i cable resistent.

VISUAL I ESTÈTICA

- Disseny pulcre i reduït a l'essencial amb una única gamma de color negre que predomina en gairebé tots els elements. Ressalta el color i la textura de vellut dels coixinets que trenca amb la uniformitat absoluta del producte. Estètica molt seriosa i professional, els defineix clarament com uns auriculars d'estudi.
- Forma de l'auricular completament circular i plana amb les obertures de ventilació simètriques a la part exterior que doten el model de personalitat.

MARCA I COMUNICACIÓ ● ● ●

- Es ressalta el so detallat, ampli i transparent, la durabilitat, el rang d'aplicacions i la sostenibilitat del producte (made in Germany).
- El principal eslògan utilitzat és: "Trusted sound meets performance and flexibility."
- beyerdynamic és una empresa amb una visió fermament fixada en l'"output" i "input" qualitatiu de música, so i comunicació. Destaca i és valorada pel factor 'handmade': la majoria dels seus dissenys, desenvolupaments i productes són originaris d'Alemanya.

PREU ● ●

- Alt. Rang de preus entre 232,00€ i 249,00€.

Jabra Elite 85h

Closed-back, inalàmbrics




ÚS I FUNCIONALITAT ●

- Estructura de plàstic que atorga lleugeresa, i ergonomia cuidada que garanteix una molt bona comoditat, podent regular l'alçada de la diadema i controlar la reproducció mitjançant botons físics situats a l'auricular dret.
- Bateria duradora. Fins a 36 hores de bateria amb una sola càrrega (amb ANC activada) i càrrega ràpida.
- Varietat d'assistents de veu digitals autoritzats. Connexió amb un toc a Amazon Alexa, Siri® i Google Assistant™.
- Detecció de posició. Els auriculars reconeixen si l'usuari se'ls treu de l'orella i responen pausant o reproduint àudio i responent o silenciant trucades.
- Aplicació Jabra Sound+. L'usuari pot accedir a SmartSound i altres funcions per poder triar l'assistent de veu, personalitzar els perfils de música, modificar el nivell de soroll de fons que es vol bloquejar.

SOLUCIÓ TECNOLÒGICA I EFICÀCIA ●

- So que s'adapta automàticament a l'entorn. Tecnologia SmartSound que analitza l'entorn sonor de l'usuari i aplica automàticament els ajustos de so personalitzat, cancel·lació de soroll activa (ANC) intel·ligent i HearThrough per reproduir el so que necessita.
- Cancel·lació de soroll activa intel·ligent (ANC) respon a l'entorn de l'usuari, s'encén si detecta soroll de fons no desitjat d'acord amb les preferències indicades a l'aplicació Jabra Sound+. Els auriculars tenen 8 micròfons, 4 dels quals s'utilitzen per filtrar el so del seu entorn gràcies a la potent ANC. Drivers dinàmics.
- Tecnologia de trucades avançada que fa servir 6 dels 8 micròfons (MEMS) de l'auricular per millorar la qualitat de les trucades bloquejant el soroll del vent i les distraccions de l'entorn.

VISUAL I ESTÈTICA ● ● ●

- Varietat de textures que els fa uns auriculars molt característics: principalment textures de plàstic i pell sintètica, amb detalls acabats en pintura metal·litzada i un acabat exterior consistent en el folrament en una fina tela de la part posterior dels auriculars.
- L'auricular té una forma única: ovalada, però amb els costats verticals més linealment pronunciats (càpsula) i amb una elevació circular que sobresurt i fa destacar la superfície recoberta de tela.
- Presentació del producte realitzada en un estoig de transport semirígid d'una pell sintètica amb un interior recobert de vellut. Transmet la sensació de producte premium a primera vista.
- Varietat de gammes. Model disponible en 5 colors diferents: negre, negre coure, beix or, marí i negre titani.

MARCA I COMUNICACIÓ

- Es ressalta la cancel·lació de soroll, el disseny inalàmbric que també reforça l'experiència en trucades i la música amb la funció SmartSound. També es destaca l'app compatible Jabra Sound+.

PREU ● ●

- Alt. Rang de preus entre 233,99€ i 249.99€.

Grado SR325x

Open-back, amb cable

GRADO



ÚS I FUNCIONALITAT

- Pesen 340 g, són bastant lleugers, i presenten una bona capacitat d'ajustament per adaptar-se a diferents mides de caps. Els coixinets d'escuma, però, no presenten tanta adaptabilitat com altres productes.
- La seva estructura extremadament prima i la seva forma peculiar poden suposar una dificultat a l'hora d'acostumar-se al seu ús fins que resultin totalment còmodes.

SOLUCIÓ TECNOLÒGICA I EFICÀCIA ● ●

- Amb la seva carcassa metàl·lica d'alumini, l'SR325x aporta a la música una precisió molt alta. Una millor distribució de l'espai entre els instruments pinta una imatge més clara de la música en el seu escenari sonor.
- Els drivers dinàmics Grado es caracteritzen per la claredat i l'abast que aporten, revelant noves notes i detalls. Amb un equilibri tonal, dinàmica, imatge i realisme molt elevats, l'SR325x ofereix una presentació extremadament detallada del so.
- Concretament, incorporen els nous 4th Generation Grado drivers. Aquest nou disseny d'altaveus inclou un circuit magnètic més potent, una bobina de veu amb una massa efectiva reduïda i un diafragma reconfigurat. La reenginyeria d'aquests components per als drivers Grado de 44 mm millora l'eficiència, redueix la distorsió i preserva la integritat harmònica de la música.
- Situat en un recobriment exterior més durador, el cable connector de coure recuit de 8 conductors revela encara més la música amb una puresa millorada.

VISUAL I ESTÈTICA ●

- Estètica retro molt aconseguida i única que defineix clarament la identitat dels auriculars i suposa un dels factors més diferenciats del producte.
- Estructura prima que fa que ressalti l'auricular en si, de forma totalment circular, amb una part exterior metàl·lica i una reixeta com a detall visual que més destaca.
- Diadema de cuir que presenta costures blanques exclusives de l'SR325x de la sèrie Prestige.

MARCA I COMUNICACIÓ ● ●

- Es destaca per sobre de tot la qualitat inigualable del so aconseguit que reproduïen els auriculars, la innovació dels seus drivers i també el valor afegit en la fiabilitat i qualitat percebuda que suposa el fet que sigui un producte "Hand Assembled" a Brooklyn.
- Els principals eslògans utilitzats són: "Unparalleled Sound" i "The Sound of Metal" destacant la carcassa metàl·lica característica.
- Grado Labs munta uns auriculars en cada generació que representen un pas important en la reproducció sonora. Se'ls ha anomenat "El millor transductor d'electricitat-so del món".

PREU

- Molt alt. Rang de preus entre 339,00€ i 359,00€.

Sennheiser HD 569

Closed-back, amb cable



ÚS I FUNCIONALITAT

- Pel que fa al confort, les copes de les orelles són grans (7.5 cm alt, 5 cm ample, 2,5 cm profunditat), però no incorporen una vora de plàstic a la part posterior, cosa que fa que puguin clavar-se a la zona posterior de l'orella.
- Pesen molt poc, cosa que es tradueix en una major comoditat i conveniència, i els coixinets de les orelles tenen un tacte molt agradable gràcies a una tela suau i de qualitat. Tot i això, amb la seva lleugeresa, també presenten certa fragilitat.
- Bona versatilitat, l'HD 569 inclou dos cables desmuntables. Un és un cable de 3 m amb un endoll recte de 6,3 mm per a ús domèstic. L'altre és un cable d'1,2 m amb un endoll recte de 3,5 mm, però sobretot amb un comandament a distància d'1 botó i un micròfon que us permet gestionar les trucades.

SOLUCIÓ TECNOLÒGICA I EFICÀCIA

- El disseny over-ear acústicament tancat de l'HD 569 ofereix dos avantatges: en primer lloc, un gran escenari sonor, omplert de manera brillant pel sistema de transductor de Sennheiser amb detalls rics i una potent resposta de greus. En segon lloc, un aïllament acústic efectiu: el soroll exterior es manté fora, la música es manté a dins. Aquesta cancel·lació de soroll, però, és passiva en comptes d'activa. Per tant, depèn únicament del tancament físic que creen els auriculars al voltant de l'orella.
- La mida del transductor és de 38 mm. Compten amb una resposta de freqüència de 10 Hz a 28 kHz i una impedància de 23 ohms, cosa que possibilita el funcionament amb dispositius portàtils.

VISUAL I ESTÈTICA ●

- Com en la gran majoria d'auriculars de la marca Sennheiser, el model HD 569 tenen un disseny molt senzill, net i elegant, lliures d'elements cridaners que puguin obstruir l'estètica del conjunt.
- L'únic detall ressaltable, i tot i això discret i ben integrat, és la marca en braille incorporada a la part posterior de l'auricular esquerre, cosa que permet a les persones cegues o amb visió reduïda saber com col·locar-se'ls.
- Es tracta d'un model totalment negre, amb detalls blancs molt puntuals i amb una única gamma.
- Presentació dels auriculars en una caixa amb un foam a mesura que es pot utilitzar per guardar-los quan no s'estan fent servir.

MARCA I COMUNICACIÓ ● ●

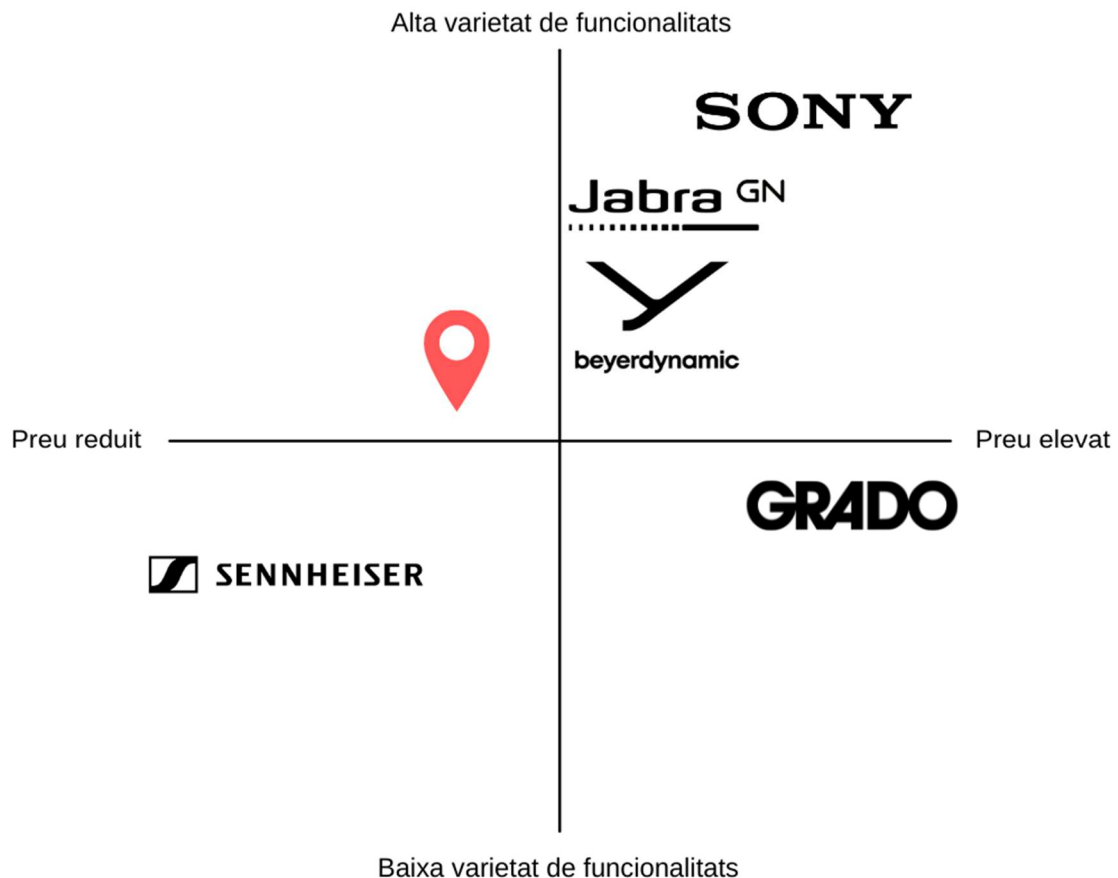
- Es ressalta la cancel·lació de soroll i l'òptima gestió de trucades gràcies al comandament a distància inclòs al cable.
- Els principals eslògans utilitzats són: "A true companion for real life" i "The best in class. Remastered."
- Sennheiser és una empresa amb la visió de donar forma al futur de la indústria de l'àudio, basant-se en la seva història, cultura d'innovació i passió per l'excel·lència.

PREU ● ●

- Baix. Rang de preus entre 103,00€ i 149,00€.

	ÚS I FUN- CIONALITAT	SOLUCIÓ TECNOLÒGICA I EFICÀCIA	VISUAL I ESTÈTICA	MARCA I COMUNICACIÓ	PREU
Sony WH 1000XM4	● ● ●	● ●	● ● ●	●	
beyerdyn. DT 900 PRO X	● ●	● ●		● ● ●	● ●
Jabra Elite 85h	●	●	● ● ●		● ●
Grado SR325x		● ●	●	● ●	
Sennhei. HD 569			●	● ●	● ●

- Eixos comparatius



3.5. Conclusions de la recerca (Insights)

Bloc 1 - Recerca centrada en l'usuari

(Recull i anàlisi de dades estadístiques)

Una de cada quatre persones patirà problemes auditius en el 2050. Actualment hi ha 1.500 milions de persones amb aquest tipus de patologies. Segons les projeccions de l'OMS, aquest número es podria elevar fins als 2.500 milions el 2050. Amb aquesta dada es fa evident la **necessitat d'aportar solucions preventives** que puguin reduir la freqüència i abundància amb la que s'ocasionen les malalties i lesions auditives.

Risc generalitzat de perdre o veure disminuïda la capacitat d'audició per l'ús inadequat d'auriculars. Aquest risc afecta a més de mil milions de persones, concretament joves d'entre 12 i 35 anys. Les males pràctiques consisteixen principalment en l'exposició directa a volums excessivament alts i durant temps molt prolongats.

Falta de solucions adequades que regulin aquesta exposició i males pràctiques o procurin adreçar-les. El risc s'intensifica perquè la majoria dels dispositius d'àudio, llocs i esdeveniments d'entreteniment no ofereixen opcions d'escolta segures i contribueixen al risc de pèrdua d'audició.

Amb la COVID-19 ha augmentat en gran mesura l'ús d'auriculars. Amb el canvi d'hàbits i dinàmiques quotidianes, moltes persones utilitzen auriculars durant períodes encara més extensos, i **en diferents contextos o situacions i per a diverses finalitats.**

Les entitats i experts recomanen utilitzar auriculars over-ear o circumaurals abans que auriculars in-ear o intraauriculars. També recomanen que els auriculars, en la mesura del possible, **cancel·lin al màxim el soroll extern** ja que d'aquesta manera es redueix la tendència a apujar massa el volum innecessàriament.

Contràriament, **l'ús d'auriculars amb cancel·lació de soroll pot suposar un risc per a la seguretat vial.** Els vianants que utilitzen dispositius d'àudio personals reben menys informació auditiva del seu entorn i, per tant, són menys conscients dels senyals d'alerta importants.

(Enquesta: Auriculars, hàbits i preferències)

Un 33% dels enquestats utilitzen auriculars més de 2 hores al dia. Això pot suposar un risc si s'escolta la música a més de 90 decibels. Pel 12% que els utilitza entre 4 i 6 hores el volum d'escolta hauria de ser menor a 88 decibels, i pels de més de 6 hores no s'hauria de passar dels 85. És molt fàcil no controlar el volum de reproducció del so, **no respectar aquests límits estrictament i causar danys potencials a l'audició.**

La gran majoria d'usuaris d'auriculars els utilitzen en diferents entorns els quals tenen condicions de soroll ambiental molt contràries. Els entorns on més s'utilitzen són: a casa (71,8%), al transport públic (46,6%), al carrer (36,9%) i a la feina (20,4%). Existeix la **necessitat d'un producte polivalent i òptim per tots aquests entorns.**

El 40% dels usuaris no tenen l'hàbit de regular el volum i vigilar de no excedir els límits per tal de prevenir lesions auditives. L'escolta de música o sons molt alts es pren a la lleugera i no hi ha suficient consciència dels perills que pot suposar. **Es prioritza poder escoltar bé i al volum que faci falta** el que es reproduïx en els auriculars abans que tenir cura per evitar la pèrdua d'audició.

Un 8% dels enquestats asseguren haver patit pèrdua temporal d'audició o tinnitus a causa de l'ús d'auriculars. Això no és una dada absoluta en relació a la totalitat de problemes auditius. La majoria de patologies consisteixen en la **pèrdua d'audició gradual, cosa que fa que sigui difícil de discernir**, que s'estima que, de mitjana, s'experimenta durant set o deu anys abans de tractar-la.

Un 32% dels usuaris coneixen la distinció entre auriculars open-back i closed-back. Per tant, s'haurà d'adoptar un enfoc de l'estratègia de màrqueting amb un cert caire explicatiu, que **exposi amb claredat les característiques de les dues tipologies** i les avantatges que suposa la integració d'ambdues.

L'ordre de prioritats de característiques i funcionalitats en els auriculars circumaurals establert pels usuaris, realitzant la suma total de punts, és el següent:

- 1. Que reproduïxin el so amb precisió, fidelitat i naturalitat (mínima distorsió) (477 punts).**
- 2. Que siguin còmodes (bona distribució del pes, elasticitat de la diadema). (477 punts).**
- 3. Que siguin lleugers (minimització de dimensions i pes) (417 punts).**
- 4. Que cancel·lin completament el soroll ambiental extern (397 punts).**
- 5. Que siguin inalàmbrics (mitjançant receptor USB, Bluetooth) (373 punts).**
- 6. Que el model no sigui totalment tancat al voltant de les orelles i presenti certa transpirabilitat (351 punts).**
- 7. Que siguin portables (desmuntables o plegables, que disposin d'una funda o bossa) (349 punts).**
- 8. Que tinguin un micròfon incorporat (329 punts).**
- 9. Que disposin d'una gamma de colors àmplia de la qual escollir (219 punts).**

Bloc 2 - Recerca de tecnologies i electrònica

La implementació de les modalitats open i closed back en un sol model convertible entre ambdues tipologies pot aportar grans millores i una **combinació de característiques i atributs d'interès**, resultant en uns auriculars molt complets, pràctics i polivalents. **Claredat del so, imatge estèreo amplia i bona transpirabilitat**, per una banda, i **aïllament del soroll extern i baixos potents**, per l'altra. Tot en un sol parell d'auriculars.

Ja que el model no podrà **dependre sempre d'un aïllament del soroll extern passiu**, ja que no seria efectiu en la seva modalitat oberta, serà necessari implementar un **sistema de cancel·lació de soroll activa (ANC)**, que evita que el soroll exterior entri generant "antisoroll" artificial per suprimir el so ambiental. D'aquesta manera es reforçarà la faceta d'aïllament sonor quan els auriculars estiguin en la modalitat tancada i es podrà tenir una cancel·lació moderada en la modalitat oberta.

En quant a les característiques elèctriques del model, tenint en compte els requeriments esperats i aplicacions del producte, aquest haurà de tenir una impedància al voltant de **32 ohms** (impedància mitjana-baixa), per tal de que **no necessiti un voltatge molt elevat** per conduir-lo i poder reproduir un nivell de sonoritat acceptable, i una sensibilitat de **110 dB(SPL)/V** per garantir una bona **versatilitat d'ús** i basant-se, també, en les especificacions de models existents dissenyats per a ventalls d'aplicacions similars.

El tipus de driver més idoni pel model objecte del treball és el **driver dinàmic** o de bobina mòbil. Els drivers dinàmics són els més comunament utilitzats, tant en auriculars tancats com oberts, gràcies al seu **baix preu, versatilitat, eficiència energètica i la seva capacitat per cobrir una àmplia gamma de freqüències**. Els controladors dinàmics tenen un dels mecanismes més senzills, que els permet arribar a un volum elevat amb menys potència (relacionat també amb una impedància menor).

Els **auriculars inalàmbrics**, en addició als components que es troben també en uns auriculars amb cable, han d'incorporar una **bateria recarregable i un SoC o sistema en un xip**, un circuit integrat que conté el **mòdul hardware de Bluetooth** juntament amb un **processador de senyal digital (DSP)**, un **convertidor Digital-to-Analog (DAC)**, memòria, ports de connexió, microcontroladors i microprocessadors, entre altres.

El **còdec de Bluetooth** que haurà d'incorporar el producte és l'**aptX o aptX HD**, ja que són considerats com els còdecs **més equilibrats en latència i taxa de bits** i, per tant, poden reproduir àudio de bona qualitat sense interferències ni retardament.

Tant pel **sistema ANC com pel que fa a l'equalització necessària** per compensar l'efecte acústic d'obrir o tancar els auriculars i reforçar les freqüències que es poden perdre en la conversió, s'hauran d'**integrar dins d'un mateix DSP (digital signal processor)**, que poden convertir senyals analògics en informació digital i **manipular el senyal convertit de moltes maneres per millorar el resultat final** que reben els usuaris. S'utilitzaran referències tant de sistemes ANC com d'equalitzadors, observant com són els seus algorismes per tal de conèixer i plantejar el sistema final necessari que s'haurà d'implementar en el DSP dels auriculars.

Bloc 3 – Recerca de mercat

Algunes de les millors pràctiques detectades pel que fa la faceta d'ús i funcionalitat són, del model Sony WH-1000XM4: **la incorporació de coixinets d'escuma d'uretà** que alleugen la pressió en distribuir-la uniformement, un **sistema de control tàctil** intuïtiu i ergonòmic, la funció **SenseEngine**, la capacitat de **plegar-se** cap endins, i el seu disseny especialment **lleuger**. També, del model beyerdynamic DT 900 PRO X, el **disseny robust de la diadema** i que **s'adapta ergonòmicament a la forma del cap de l'usuari amb l'ajut d'una escuma viscoelàstica**.

En quant a la **solució tecnològica i eficàcia**, cal destacar: la **tecnologia de sensor de soroll dual** i els **drivers de 40 mm amb diafragmes de polímer de cristall líquid** dels auriculars Sony; la composició i estructura del **driver STELLAR.45** i els **materials resilients** del model beyerdynamic; i la composició dels **drivers dinàmics 4th Generation** del model Grado SR325x.

De la faceta **visual i estètica** dels models analitzats, es prendran com a referència, principalment, els models Sony WH-1000XM4 i Jabra Elite 85h. Es destaca l'**elegància i minimalisme**, la **integració d'elements unificats en un sol color**, les **formes i relleus de les copes** i la **selecció de textures**.

Pel que fa a la imatge de la **marca i comunicació** del producte, es buscarà enfocar-se, de la mateixa manera que el model de beyerdynamic, en: el so detallat, ampli i transparent, el rang d'aplicacions i la sostenibilitat del producte. Els eslògans que, a priori, més representen la idea del producte que es vol desenvolupar són: **"A true companion for real life"** (Sennheiser HD 569) i **"Trusted sound meets performance and flexibility."** (beyerdynamic DT 900 PRO X). S'aspira transmetre valors similars als atribuïts a la marca Sennheiser: **donar forma al futur de la indústria de l'àudio, basant-se en la cultura d'innovació i passió per l'excel·lència**.

Es procurarà encabir el **preu de venda del producte final** en una franja entre un valor més elevat que el del model de Sennheiser (**103,00€ i 149,00€**) i menor al valor dels models beyerdynamic i Jabra (**232,00€ i 249,00€**).

Es troba una àrea d'oportunitat en una **posició del mercat on, en relació a les altres marques estudiades, el preu del producte sigui mitjà-baix i la diversitat de funcionalitats que presenten els auriculars també es trobi en un punt mig**. D'aquesta forma, el producte es centrarà en resoldre un grup reduït de funcionalitats o optimitzar el seu ús en unes situacions definides i no es comercialitzarà enfocant-se en la gran quantitat d'opcions, funcionalitats i aplicacions extra que aquests ofereixen.

4. Fase de conceptualització del producte

4.1. Proposta de valor

Auriculars circumaurals que busquen reduir els riscos que suposen uns hàbits d'escolta inadequats i prevenir lesions auditives mitjançant la integració d'un disseny acústic tancat i un d'obert en el mateix model, oferint versatilitat i adaptant-se a les diverses situacions en què es pot trobar l'usuari.

4.2. Briefing i requeriments del producte

El requeriment bàsic i la característica idiosincràtica principal és que els auriculars dissenyats implementaran les modalitats closed-back i open-back donant accés als avantatges dels dos tipus de disseny acústic.

Actualment, existeixen models "semi-open" que es troben a mig camí entre els auriculars oberts i els tancats. No obstant això, si es comparen, els auriculars semioberts tenen un rendiment general inferior en els respectius àmbits que caracteritzen els open o closed-back. Per aquest motiu els semioberts tenen menys demanda que els altres tipus d'auriculars circumaurals. Cal remarcar que el producte objecte d'aquest briefing no buscarà ser un gris o un punt mitjà entre les dues modalitats en qüestió, sinó que es tractarà d'un model convertible entre l'una i l'altra, obtenint el màxim potencial de les funcionalitats d'ambdues.

Els requeriments que defineixen el resultat esperat del disseny dels auriculars i el producte final són:

- Incorporació d'una solució tecnològica i un sistema de transducció de senyal elèctrica a so (drivers) que, segons la modalitat seleccionada, sigui capaç de:
 - Presentar una qualitat d'àudio idònia. Els auriculars hauran de ser capaços de reproduir el so amb precisió, mínima distorsió, fidelitat i naturalitat quan adoptin el disseny acústic obert, així com una bona qualitat dels baixos característica en la forma d'auriculars tancats.
 - Optimització de les condicions acústiques. El producte tindrà la capacitat de distribuir el so per tot l'espai, amb la modalitat oberta, reduint l'exposició directa continuada i, al mateix temps, oferirà amb la modalitat tancada una cancel·lació activa de soroll extern efectiva per entorns bulliciosos. *Amb això i la consideració d'altres factors acústics es buscarà minimitzar el risc de patir lesions auditives a causa de l'ús dels auriculars.*
- Consideració de criteris ergonòmics per tal que la comoditat i experiència d'ús siguin ideals per un gran rang de clients potencials: bona distribució del pes dels auriculars al voltant del cap i orelles, selecció de materials òptims pels coixinets i diadema per garantir la comoditat i l'adaptabilitat a la forma del cap

- de l'usuari. Sistema de control intuïtiu i ergonòmic, canvi entre modalitats (open-closed back) consistent en una conversió senzilla i dinàmica.
- Lleugeresa com a concepte fonamental pel disseny formal dels auriculars. Minimització de dimensions i pes a l'essencial per tal de potenciar la conveniència i utilitat del producte.
 - Model inalàmbric per tal d'assegurar el possible ús dels auriculars en qualsevol entorn sense necessitat de cables o ports connectors concrets. El mètode de connexió serà la tecnologia Bluetooth, ja que, actualment, és compatible amb pràcticament qualsevol dispositiu i és el mitjà més polivalent, en comparació amb altres com l'ús d'un receptor USB.
 - Estètica minimalista i elegant, amb integració i uniformitat d'elements unificats per un color predominant i unes formes estilitzades que compaginen amb la lleugeresa del disseny i l'accentuen.
 - Minimització de l'impacte ambiental en totes les fases del cicle de vida del producte: des de la selecció de materials pensant en la màxima conservació de recursos i el baix impacte de cada un d'aquests, mínima varietat de materials i possible reciclatge o reutilització posterior, consideració de processos de producció neta, màxima durabilitat i vida útil del producte.
 - El preu de venda final es trobarà entre 150,00 € i 250,00 €.

4.3. Dinàmiques creatives. Decisions conceptuals

4.3.1. Brainstorming

A partir de la definició dels reptes principals detectats com a problemes o oportunitats en la fase de desenvolupament d'*insights* i conclusions de la recerca, es realitza una primera aproximació mitjançant la tècnica de la pluja d'idees o *brainstorming*. Es visualitza cada un dels reptes i qüestions (inputs) i, pensant com es podria solucionar o donar resposta a aquestes qüestions concretes, es generen idees i propostes de forma dinàmica, capturant-les totes encara que puguin semblar provocadores i remarcant, finalment, les més destacades.

1. Com són els elements responsables de tancar i obrir el model.

- **Tapes superficials exteriors opaques i el més gruixudes possible** per tal de garantir l'aïllament. Són totalment planes i llises per evitar ressaltar visualment i tenen la mateixa forma que la silueta de l'auricular, tapant totalment la superfície oberta.
- Filtres acústics interns, que es col·loquen entre la superfície oberta i el driver de l'auricular. Poden ser transparents per assegurar que visualment no hi ha cap canvi aparent i que el model tingui una sola forma estètica.
- **Tapes exteriors amb forma còncava** per assegurar la concentració acústica interna del so i garantir l'aïllament. Donen forma de copa a l'auricular quan es col·loquen però el canvi estètic pot ser bruscat entre la modalitat oberta i la tancada, que quedaria molt més plana.
- **Sistema d'obertures amb forma de petites comportes o solapes** (vents) a la superfície posterior. Aquestes s'obren quan l'usuari les apuja amb un moviment ascendent del palmell de la mà per sobre la superfície i es tanquen amb un moviment descendent. Es podria implementar un sistema d'engrenatges que girant una rodeta sobre totes les comportes.
- Làmines que proporcionen aïllament acústic de forma unidireccional deixant passar el so per un dels seus costats, i bloquejant-lo quan intenta passar per l'altre. *"Apilant capes de materials no lineals juntament amb capes lineals ordinàries d'una manera asimètrica, han calculat els investigadors, una ona podria passar en una direcció, però rebotaria gairebé completament quan arriba des de l'altra direcció"*⁵⁷.

Factor comú. Independentment de la seva forma, posició i característiques, els elements que tanquen el model han de ser de materials aïllants acústics⁵⁸ per tal de garantir el bloqueig total del so en la modalitat acústicament tancada. Caldrà estudiar quin és el material idoni en funció de la solució finalment escollida.

2. Com actuen els elements responsables de tancar i obrir el model (com es col·loquen i s'allotgen a l'auricular, com els guarda l'usuari, si són elements independents, units entre ells, incorporats a l'interior del producte). *Idees relacionades amb el punt anterior.*

- **S'encaixen hermèticament a la superfície posterior**, posicionant-se a sobre de la superfície oberta (*casos de les tapes exteriors planes i gruixudes o amb forma còncaua*). Són elements independents de la resta del producte. L'usuari s'encarrega de posar i treure aquestes tapes. Quan no s'estan utilitzant, és a dir, quan no estan encaixades a l'auricular, es poden unir l'una amb l'altre o apilar de forma que ocupin el mínim espai i l'usuari les pugui guardar fàcilment. Cal estudiar si es poden guardar de forma integrada amb el model.
 - S'introdueixen els elements en una ranura a la zona inferior de l'auricular que es troba entre el coixinet i la copa de l'auricular (*cas del filtre acústic intern*). L'usuari encaixa els elements en aquesta ranura interior i els pot tornar a treure pressionant amb el dit polze.
 - **S'incorporen en el mateix auricular, mitjançant geometries on allotjar aquests elements** en la modalitat oberta i que es posicionin cobrint les entrades o la part oberta en el mode tancat. L'usuari realitza el moviment, el més senzill i ergonòmic possible (utilitzant únicament dos dits), per col·locar els elements i tancar o obrir el model. Cal aprofundir en l'estudi de geometries dels auriculars que possibilitin aquest funcionament.
 - Sistema de molla que pressionant la part posterior de la copa es produeix el gir de la tapa posterior (*cas de les làmines que proporcionen aïllament acústic de forma unidireccional*).
3. On es troben els elements de control dels auriculars, com són i com funcionen.
- Botons senzills que es troben en la **zona inferior d'alguna de les copes**. Per tal de que sigui el més senzill i intuïtiu possible i, al mateix temps, ocupi el mínim espai, només es necessitaria un botó d'on/off i una rodeta reguladora de volum, diferenciant-se un element de l'altre simplement amb el tacte. Faltaria, com a mínim, el botó de cancel·lació de soroll, que es podria col·locar a l'altra copa per diferenciar-se del d'on/off. Amb pocs botons, però, també es limiten les funcionalitats. Possibilitat de col·locar els botons en zones més laterals i no tant inferiors de les copes i com això condiona l'ergonomia.
 - **Botons a la base de la diadema**, és a dir, on aquesta s'uneix amb l'auricular. Poden presentar una millor accessibilitat i l'usuari utilitzaria els dits índex i mitger en comptes del polze, però internament podria ser més complicat de connectar els controls amb l'electrònica.
 - **Control tàctil intuïtiu en el relleu posterior de l'auricular** ⁵⁹. Control de reproducció tocant dos cops per pausar la pista d'àudio, lliscar cap al lateral per passar-la, i lliscar cap amunt i avall per regular el volum. Pot suposar una incompatibilitat amb la modalitat oberta dels auriculars, al no haver-hi una superfície llisa que actuï com a sensor tàctil.
 - Control mitjançant una app vinculada. S'allibera espai en el model i dona accés a totes les funcionalitats sense límits, però pot resultar poc convenient i restrictiu pel que fa a la usabilitat del producte.
 - **Funcionament dels controls inspirat en els altaveus Ultimate Ears** ⁶⁰. Botons de volum amb relleu palpables per la seva fàcil identificació, "màgic button" per

pausar i saltar pistes, botó amb il·luminació per indicar la bateria o vinculació amb altres dispositius, etc.

4. Forma i silueta de les copes.

- **Ovalada**, com els models analitzats de Sony ⁵² o Sennheiser ⁵⁶.
- Quadrada amb cantonades molt arrodonides com els AirPods Max ⁶¹.
- Silueta que ressegueix lleugerament la forma de l'orella, com el model JLab Studio Pro ⁶² o el Sennheiser HD 800S ⁶³.
- **Totalment circular** com els models analitzats de Grado ⁵⁵ o beyerdynamic ⁵³.
- Forma capsular única com el model analitzat de Jabra ⁵⁴.
- **Relleus** circulars o amb la mateixa forma externa equidistant cap a l'interior **a la part posterior** de l'auricular.

Factor comú. La forma dels auriculars haurà de complementar de forma òptima el funcionament del sistema finalment escollit per a la conversió entre el model obert i el tancat. També, cal escollir una forma final que sigui fidel a la premissa essencial de lleugeresa com a concepte fonamental pel disseny dels auriculars.

5. Forma de la diadema i funcionament (elasticitat, assentament amb el cap).

- S'uneix a un element que connecta la diadema i els auriculars, que pot ser una peça doblegada com el model d'auriculars Jabra estudiats ⁵⁴ o un sistema de topalls com els Grado Labs ⁵⁵.
- **Forma de forqueta als extrems on s'uneix i s'articula amb cada auricular**, de forma que queda integrada amb les copes, ja que la forma de forca ressegueix el contorn d'aquestes.
- Diadema **directament unida a la a l'auricular**, mitjançant una ranura en la superfície posterior d'aquest com en el model Bose Noise Cancelling 700 ⁶⁴.
- **Coixinet únicament a la zona central de la diadema**, la qual està en contacte directe amb el cap de l'usuari.
- Tota la diadema és d'un material suau que garanteix el confort, com el model Grado ⁵⁵ amb una diadema completament de pell.
- **Diadema extensible per dos punts a mitja altura d'aquesta**, mitjançant una tira interna que l'usuari pot estirar per regular l'alçada a la que queda cada auricular.

6. Detalls visuals.

- **Reixeta per a la superfície posterior en la modalitat oberta**, pot ser metàl·lica com el model Grado ⁵⁵ per tal de ressaltar més.
- **Petites obertures** com el model beyerdynamic⁵³ a la cara posterior en la modalitat oberta.
- Textures diferents a certes zones del model (a la part posterior de les copes, a la diadema) que contrastin lleugerament amb la textura del material predominant

de la resta del model, com en els auriculars Jabra Elite 85h⁵⁴ i la seva textura de tela folrada.

- **Ressaltat d'elements puntuals** com el logo del producte amb una textura brillant que destaquï i facin que el model final no sigui totalment monòton visualment.

Factor comú. Caldrà escollir els detalls visuals pensant en una estètica resultant del model minimalista i elegant i sense excés d'ornaments.

4.3.2. Crazy Eight's

La dinàmica creativa Crazy Eight's consisteix en un exercici que desafia a les persones a generar 8 idees diferents en 8 minuts. L'objectiu és anar més enllà de la primera idea que ens passi pel cap que sovint no és la més innovadora i pressionar al creatiu a generar una àmplia varietat de solucions posant a prova la creativitat. Es disposa d'un paper dividit en 8 parts i una eina per escriure o dibuixar. Es defineix el concepte o repte sobre el qual es generaran alternatives i solucions i es posa en marxa el temporitzador a 8 minuts. Es comença a dibuixar la primera idea en el primer rectangle o divisió. Quan s'acabi amb la primera idea haurà de passar a la segona divisió del paper i dibuixar la segona idea, així successivament fins a obtenir 8 esbossos ràpids de les 8 idees diferents en els 8 quadrats o divisions del paper en 8 minuts.

S'ha utilitzat aquesta tècnica per tal de generar i representar idees relacionades amb les dues primeres qüestions, que fan relació a com són i com actuen els elements responsables de tancar i obrir el model. Aquestes qüestions suposen un dels reptes de més importància del projecte i són més fàcilment comprensibles mitjançant l'elaboració d'esbossos i visualitzades gràficament. S'ha buscat també explorar possibilitats pel que fa a geometries i formes de funcionament relacionades amb les idees generades per a les qüestions esmentades.

Un cop passats els 8 minuts, s'han perfilat els esbossos inicials concretant alguns detalls de funcionament i s'han avaluat els pros i contres de cada idea (*veure Figura 10*). S'ha arribat a la conclusió que la segona i tercera idea són les que presenten una major viabilitat, eficiència i facilitat d'ús. Inicialment, s'han descartat la sisena i setena idea, ja que els elements de tancament no estan integrats als auriculars i es comprometria la comoditat a l'hora de guardar-los. La cinquena idea presenta una contra pel que fa a les fugues que seguiria presentant el model quan es tanqui acústicament, compromentent l'aïllament i fent-la poc òptima. Contràriament, la vuitena idea (enfonsament de la cara posterior) presenta una inconveniència ja que l'obertura posterior en la modalitat oberta no és suficient, ja que la superfície que s'enfonsa seguiria bloquejant gran part del so. La primera, segona i quarta idea, consisteixen en un funcionament de tapes similars, però amb diferents geometries. La és òptima d'elles seria la segona, ja que és la manera en que l'usuari podria moure aquestes tapes de forma més ergonòmica i senzilla. La tercera idea, consistent en una doble làmina amb el mateix patró d'obertures per tal de que encaixin o es superposin per obrir o tancar la cara posterior, també presenta un funcionament simple però eficaç.

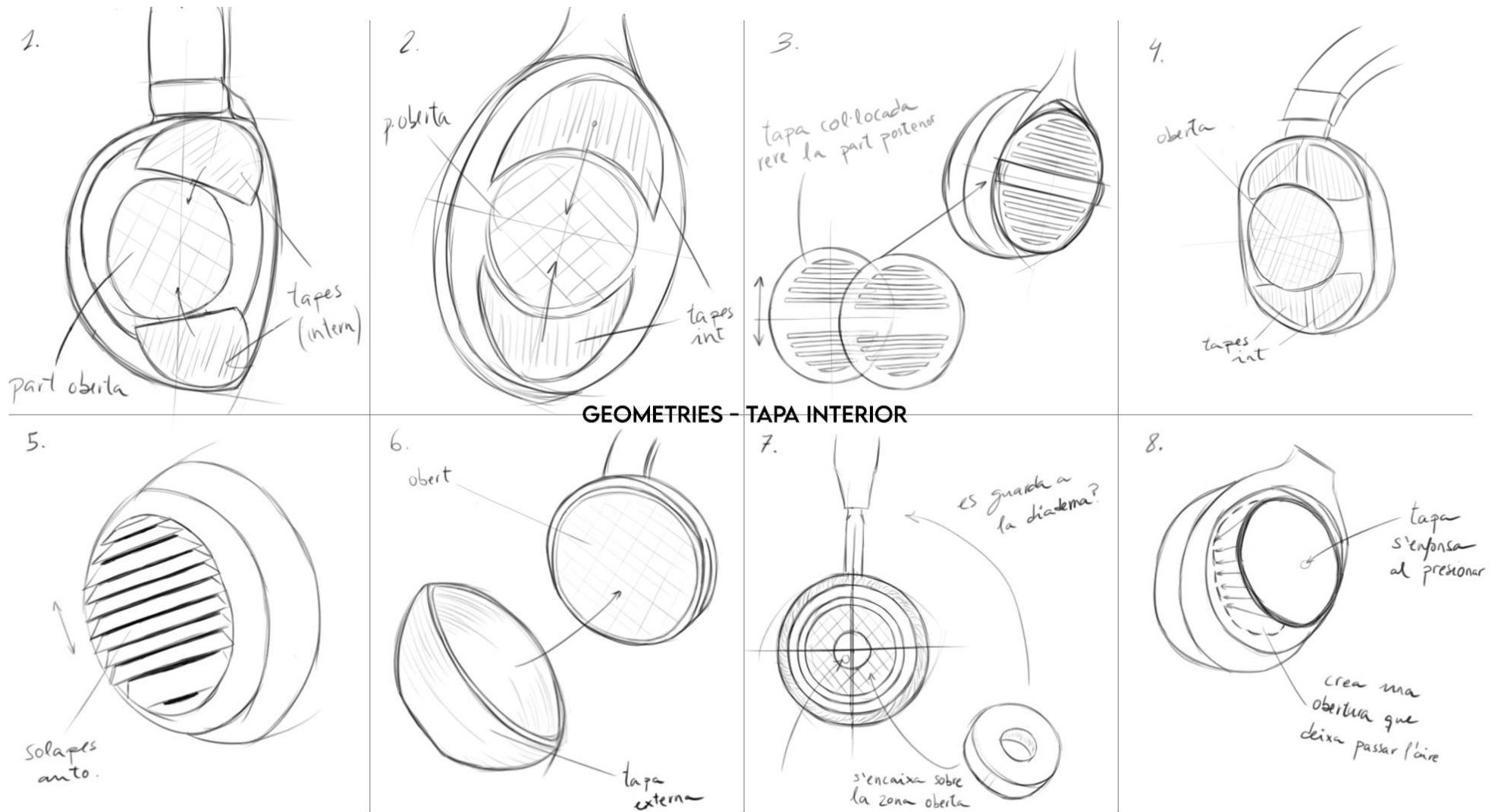


Figura 10. Esbossos Crazy Eight's per a la generació d'idees sobre la conversió del model. Font: Elaboració

4.3.3. Analogical Thinking

L'*analogical thinking* o *analogical reasoning* és un mètode de pensament lateral i una manera creativa d'obtenir noves idees i solucions als problemes. Introduir idees d'àmbits anàlegs resulta ser una font potencial d'innovació radical. Quan s'està treballant en un problema i s'agrupen coneixements d'àrees anàlogues, és probable que s'obtingui una novetat significativament més gran en les solucions proposades, per dos motius: les persones versades en camps anàlegs poden recórrer a diferents grups de coneixement i no s'està mentalment limitat per les solucions existents i conegudes al problema del camp objectiu. Com més gran sigui la distància entre el problema i el camp anàleg, més gran serà la novetat de les solucions.

A partir de les idees generades en les anteriors dinàmiques, observant els pros de les idees destacades i les millors característiques, s'ha arribat a una possible solució, per a l'obertura del model, existent en el camp anàleg de l'òptica i la fotografia: incorporar un mecanisme inspirat en un diafragma òptic o diafragma d'iris ⁶⁵.

La majoria de les càmeres modernes utilitzen un tipus de diafragma ajustable conegut com a diafragma d'iris, sovint anomenat simplement iris. Un diafragma d'iris pot reduir la quantitat de llum que arriba a un detector disminuint l'obertura, normalment amb "fulles" o "làmines" que formen un cercle. El diafragma té de dues a vint fulles (tenint la majoria de lents actuals entre cinc i deu fulles), depenent del preu i la qualitat del dispositiu en què s'utilitza. Les fulles rectes donen lloc a la forma de polígon de l'obertura del diafragma, mentre que les fulles corbes milloren la rodonesa de l'obertura de l'iris ⁶⁶.

Aquest sistema es podria incorporar als auriculars de manera que l'usuari pugui regular l'obertura del model mitjançant la rotació de la part posterior de l'auricular, obrint i tancant l'iris (veure *Figura 11*).

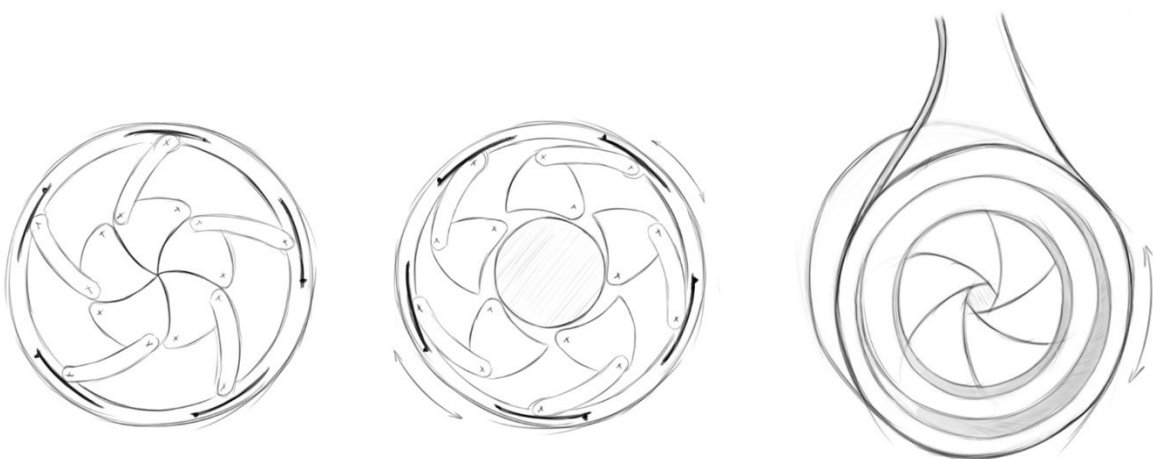


Figura 11. Sketch del mecanisme d'un diafragma d'iris d'exemple i incorporació bàsica en un auricular.
 Font: Elaboració pròpia.

4.4. Formalització de producte. Sketching de la proposta

Prèviament a la formalització de la proposta del producte final, s'han realitzat esbossos, a més a més dels corresponents a les dinàmiques creatives ja desenvolupades, d'auriculars que incorporin característiques i atributs dels models estudiats en el benchmarking. Amb això, s'ha volgut explorar les formes i trets més interessants d'aquests productes per tal de crear una base inspirativa i plasmar en aquests esbossos formes i siluetes de referència (*veure Figura 12*).

Finalment, utilitzant aquesta base inspirativa, prenent en consideració tots els requisits plantejats i les idees generades més destacades de les diferents dinàmiques creatives, s'ha creat una visió conjunta de tots els recursos originats a partir de la qual s'ha realitzat l'sketching de la proposta final. Aquesta representa gràfica i formalment el producte a nivell conceptual, que es desenvoluparà amb el rigor tècnic necessari en la següent fase del projecte (*veure Figura 13*).

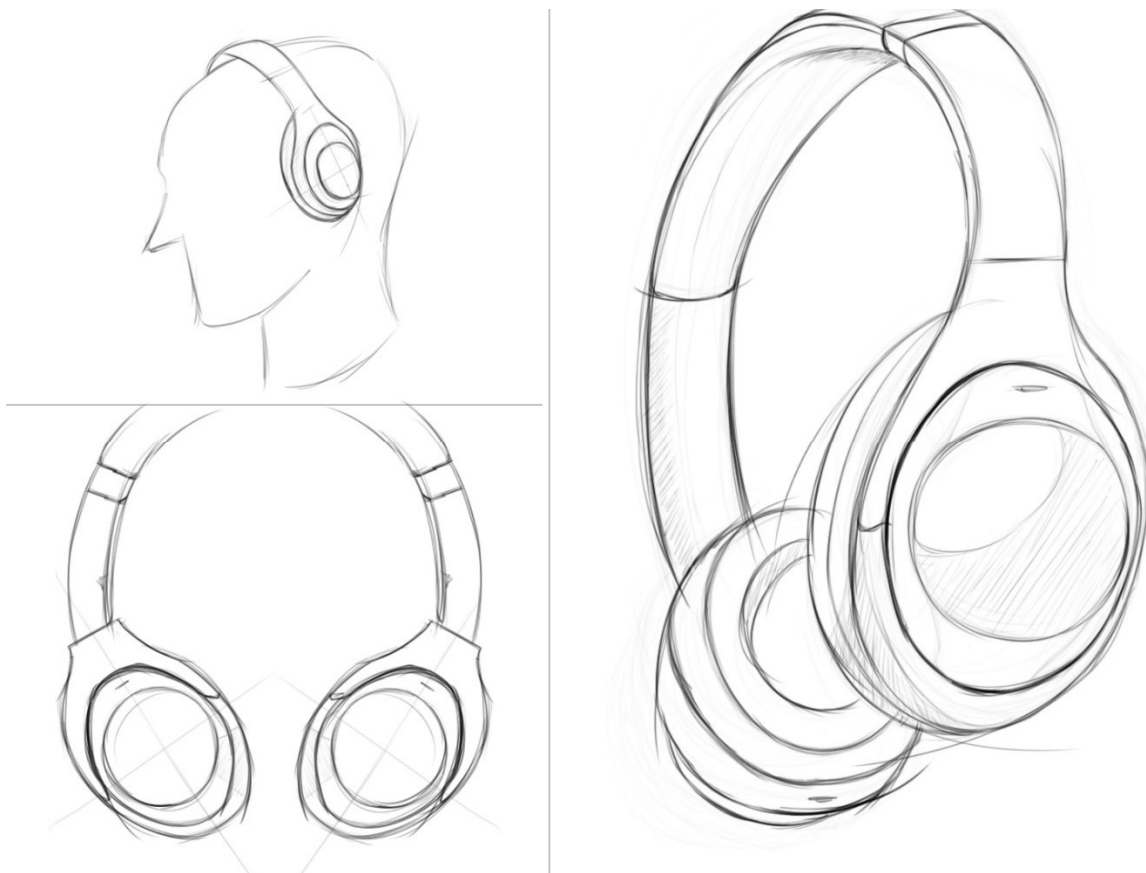


Figura 12. Sketch d'inspiració i exploració de formes d'auriculars.
Font: Elaboració pròpia.



Figura 13. Sketch de la proposta final del producte a desenvolupar.
Font: Elaboració pròpia.

5. Fase de desenvolupament del producte

5.1. Solució tècnica

5.1.1. Algoritme DSP. Cancel·lació de soroll activa i equalització

S'han investigat i analitzat diferents algoritmes de les llibreries i exemples disponibles a MATLAB, avaluant quins d'ells presenten un comportament més idoni i prenent-los com a referència per a la seva hipotètica aplicació posterior al model. Els algoritmes escollits pel que fa, per una banda, a la cancel·lació activa de soroll (ANC) i, per l'altra, a l'equalització per compensar l'efecte acústic d'obrir o tancar els auriculars, són els següents.

Active Noise Control Real-Time System ⁶⁷

Aquest exemple mostra com utilitzar Simulink® per dissenyar i simular un sistema ANC per cancel·lar el soroll dins d'un model basat en un tub mitjançant un filtre adaptatiu Filtered-X NLMS.

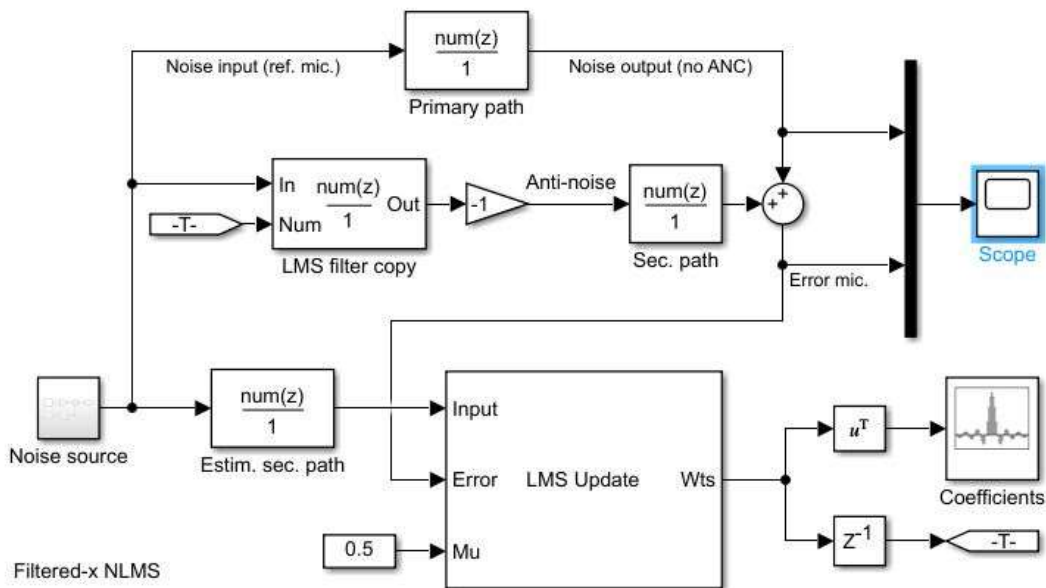


Figura 14. Model d'un sistema ANC Filtered-X NLMS. Font: MathWorks.

Es comença amb el model indicat a la Figura 14, que inclou tant el controlador ANC com l'entorn acústic del tub. Es simula el senyal al micròfon d'error com la suma de la font de soroll filtrada pel camí acústic principal i la sortida ANC filtrada pel camí acústic secundari. El bloc "Update LMS" es configura per tal de que minimitzi el senyal capturat pel micròfon d'error. En un sistema Filtered-X, l'entrada de l'Update NLMS és la font de soroll filtrada per l'estimació del camí secundari.

El sistema permet la generació automàtica de codi C per passar del model de simulació al prototip en temps real.

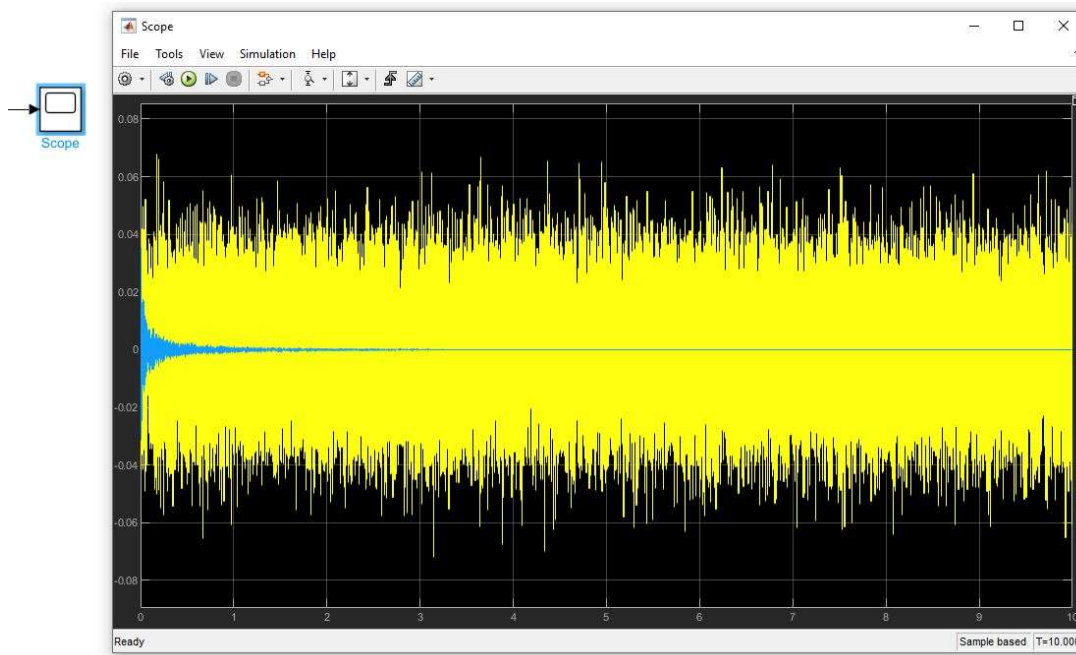


Figura 15. Efecte del primer sistema sobre una ona de soroll simulada (resultat mostrat a l'output del sistema, a Scope). Font: MathWorks.

En un altre exemple consultat, on també es representa l'efecte de control actiu del soroll mitjançant un filtre adaptatiu FIR Filtered-X LMS ⁶⁸, es mostra més detalladament el desenvolupament del codi i del software associat a l'algoritme LMS, i els passos per simular i estimar els diferents camins de propagació que intervenen.

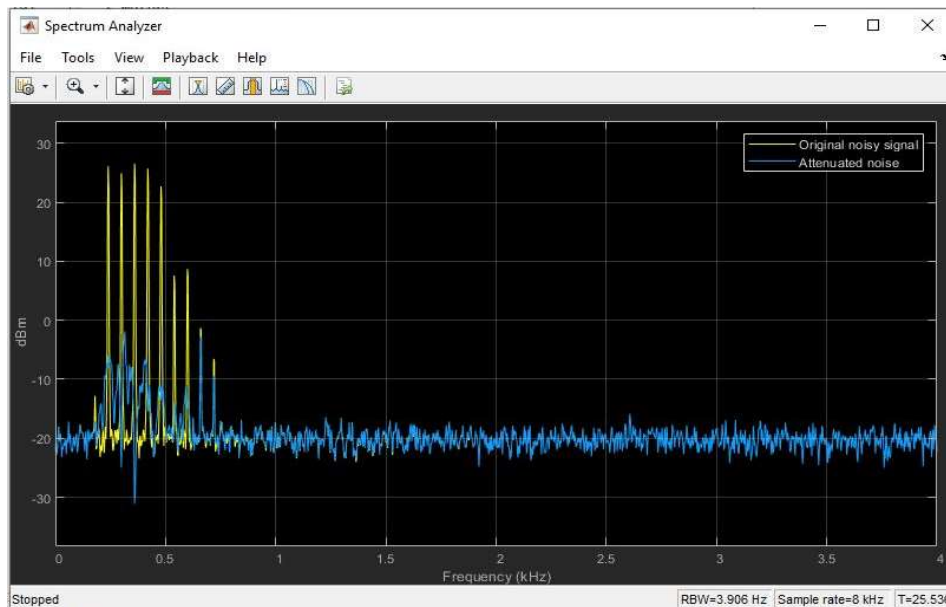


Figura 16. Efecte del segon sistema sobre una ona de soroll simulada. Font: MathWorks.

Un cop activat el filtre adaptatiu, l'algoritme resultant convergeix després d'uns 5 segons (simulats) d'adaptació. Comparant l'espectre del senyal d'error residual amb el del senyal de soroll original, es veu que la majoria dels components periòdics s'han atenuat considerablement. Tanmateix, és possible que el rendiment de la cancel·lació en estat estacionari no sigui uniforme en totes les freqüències.

Parametric Audio Equalizer ⁶⁹

Els equalitzadors paramètrics són filtres digitals utilitzats en àudio per ajustar el contingut de freqüència d'un senyal de so. Ofereixen capacitats que permeten l'ajust de 3 paràmetres concrets: el *gain* màxim (magnitud de decibels en què es modula el senyal), la freqüència central (freqüència a la que s'aplica aquest *gain* màxim) i l'amplada de banda (rang al voltant de la freqüència central on s'aplica també el *gain*) ⁷⁰.

L'algoritme de l'equalitzador paramètric d'aquest exemple proporciona tres filtres de segon ordre (biquadràtics) els coeficients dels quals es poden ajustar per aconseguir la resposta de freqüència desitjada. Una interfície d'usuari (UI) s'utilitza a la simulació per ajustar dinàmicament els coeficients de filtre i explorar el comportament.

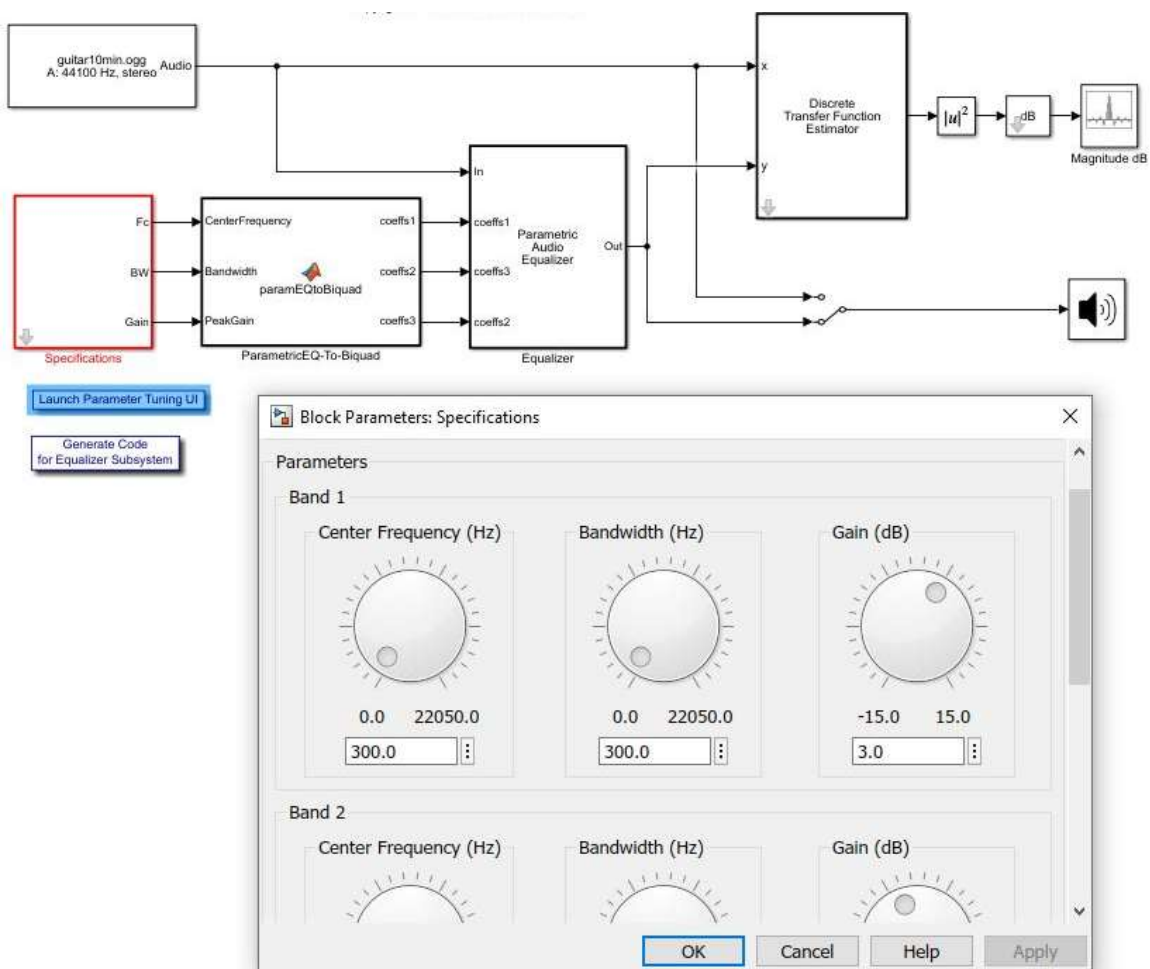


Figura 17. Model d'algoritme de l'equalitzador paramètric i UI implementada. Font: MathWorks.

Aquest model també permet generar codi C per al subsistema equalitzador basat en les especificacions de l'algoritme.

S'hauran d'integrar aquests algoritmes, tant el del sistema de cancel·lació de soroll activa com el del filtre d'equalització d'àudio, en el mateix DSP, el qual s'implementarà al SOC dels auriculars desenvolupats.

5.1.2. Diafragma d'iris. Conversió entre model open-back i closed-back

De cara al disseny del diafragma d'iris, el mecanisme finalment escollit per habilitar la conversió física entre un model obert i tancat, s'han considerat un seguit de requisits i restriccions que comporta la implementació efectiva del component en els auriculars.

- En primer lloc, el **diàmetre exterior del diafragma** ha de tenir una mesura coherent amb les mesures ergonòmiques definides per a les copes i coixinets (*veure Annex 1. Estudi ergonòmic*). Havent definit una altura de les copes de 105 mm i una amplada de 90 mm, el diàmetre exterior del diafragma no hauria de superar aquest últim valor, sent **80 mm** una mesura idònia.
- El **diàmetre d'obertura màxima** ha de ser el més gran possible per tal que la faceta oberta dels auriculars sigui el més destacable i fidel possible al comportament característic dels auriculars open-back: amb una major l'apertura del diafragma, es donarà una major incidència de les freqüències de l'entorn, un efecte estèreo i espaiositat del so superiors, i una millor transpirabilitat.
- El **tancament** ha de ser absolut. Així com en les càmeres mai es vol que l'iris es tanqui del tot, ja que sempre ha de passar un mínim de llum, en aquest cas es vol que les fulles tanquin l'obertura del tot, per tal de garantir el màxim aïllament del so exterior en la modalitat tancada.
- La **forma d'obrir i tancar** el diafragma ha de ser el més còmode, intuïtiva i senzilla possible. L'usuari ha de poder manipular l'iris amb facilitat i, evidentment, sense necessitat de veure'l ja que amb els auriculars posats el component quedarà fora del seu camp de visió.

Amb totes aquestes consideracions definides, s'han buscat alternatives per obtenir una solució tècnica eficient i que s'adapti a les restriccions del producte. Amb això, s'ha acabat implementant un sistema diferent al mostrat en l'sketch de la Figura 8, el qual requeria de molt espai entre el diàmetre exterior i el d'obertura màxima i podia presentar esclatxes en la unió de les fulles.

El sistema escollit consisteix en el '*blade overlapping*'⁷¹ o superposició de fulles, que **minimitza les fugues** que pot haver-hi en les esclatxes entre fulles i garanteix un **millor tancament**. A més a més, es **redueix l'espai** que les fulles ocupen en la posició oberta del diafragma, podent optar per un diàmetre d'obertura molt major amb un diàmetre exterior menor, de manera que aquest sigui adequat per les mesures definides en l'anàlisi ergonòmic.

El funcionament d'aquest sistema^{72,73} és similar als altres en el fet que cada fulla té un pivot a cada extrem, un a la cara superior i l'altre a l'inferior. Un d'aquests pivots es col·loca en un raíl o guia de la peça base immòbil del diafragma i l'altre s'introdueix en un forat de l'anell que es mourà (també pot ser al revés, que el raíl estigui en la peça mòbil i el forat a la immòbil). Totes les fulles de l'iris es col·loquen de la mateixa manera, en els seus rails i forats corresponents. Així, al fer girar l'anell, es força el moviment dels

pivots col·locats als raïls, de manera que totes les fulles es mouen simultàniament. La diferència del sistema amb *'blade overlapping'* rau en que cada fulla es col·loca per sobre de l'anterior i per sota de la següent. D'aquesta manera, quan s'accioni l'anell mòbil, totes les fulles es tanquen l'una sobre l'altre amb fricció, eliminant esclatxes i donant lloc a un tancament molt més ajustat.

Per un disseny i una elecció de mesures precisa i rigorosa, s'ha utilitzat el software de la pàgina *Iris Calculator*⁷⁴, una eina amb els diferents paràmetres que condicionen el disseny d'un diafragma d'iris (diàmetre exterior, obertura màxima, nombre de fulles, gruix de les fulles, gruix de la paret exterior, etc.) que, introduint les mesures dels paràmetres desitjats, retorna les mesures necessàries per la resta de paràmetres per tal que l'iris sigui funcional. S'han consultat diferents exemples de construcció d'aquest tipus de diafragmes d'iris per obtenir referències de muntatge i peces necessàries⁷⁵⁻⁷⁷.

El resultat final consisteix en un sistema amb un cos immòbil amb els diferents raïls, un anell activador amb forats i 8 pestanyes sortints per unir-se per clipatge al cos immòbil, un conjunt de 12 fulles i una reixeta que fa la funció de filtre per evitar l'entrada de partícules en suspensió i altres elements.

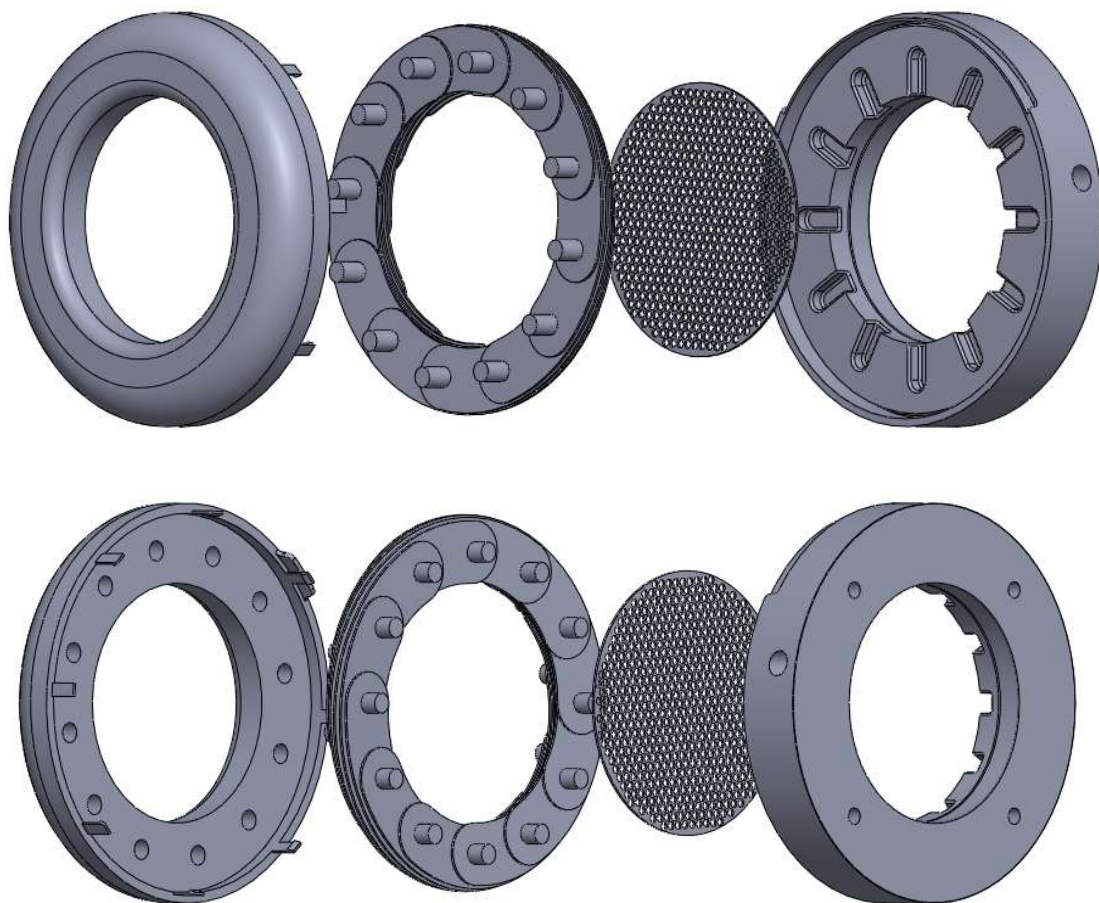


Figura 18. Modelat dels components del diafragma d'iris desenvolupat. D'esquerra a dreta: anell activador, conjunt de fulles, reixeta, cos immòbil. Font: Elaboració pròpia.

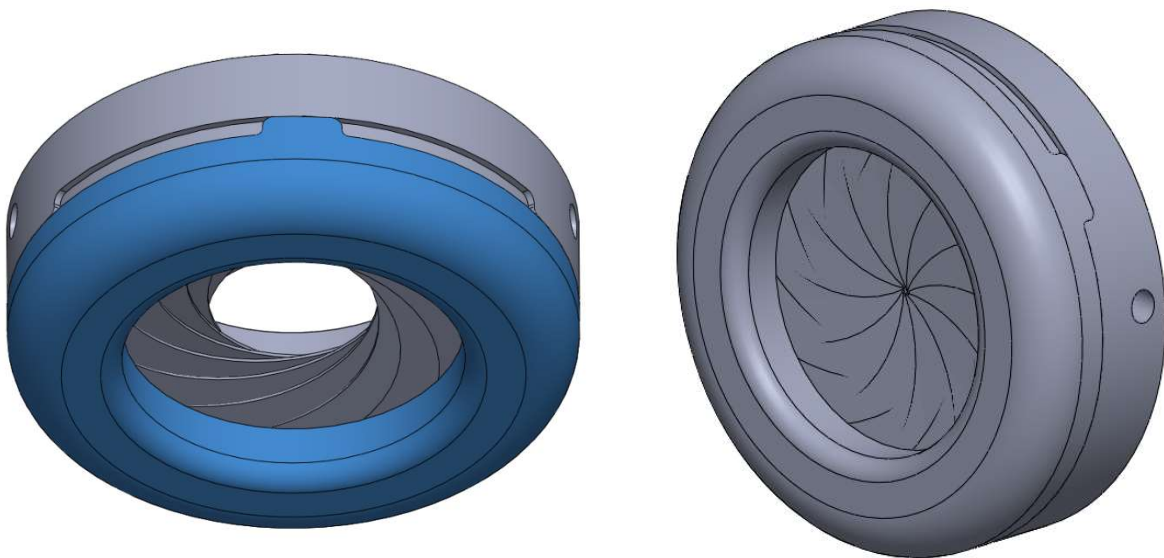
S'ha aconseguit una obertura màxima de 48 mm amb un diàmetre exterior de 80 mm, la qual resulta més que suficient per aconseguir un comportament acústic dels auriculars 'open-back'. També s'ha valorat l'obtenció d'un gruix mínim del component, pensant en la posterior implementació a la resta de l'auricular: un gruix menor redueix el pes total del producte i afavoreix una millor integració estètica en el conjunt del model, ja que no sobresurt tant de la part posterior de les copes.



Figura 19. Superposició de les fulles, model del conjunt del diafragma d'iris obert i model seccionat.
Font: Elaboració pròpia.

Pel que fa a la interacció de l'usuari amb l'iris, s'ha dissenyat l'anell activador de manera que aquest es pugui moure des de qualsevol punt de la seva superfície. D'aquesta manera, l'usuari, per obrir i tancar l'iris, només haurà de rotar la cara més exterior de l'auricular, utilitzant dos o més dits, resultant en una interacció intuïtiva, simple i ergonòmica.

També, s'ha incorporat una ranura al cos i un relleu a la vora superior de l'anell per indicar els límits d'obertura i tancament. Així, quan l'usuari roti l'anell i l'obri o tanqui al màxim, el relleu toparà amb la paret de la ranura i l'usuari sabrà que ha obert o tancat per complert el diafragma, i no podrà seguir rotant l'anell (*part ressaltada en blau a la Figura 20*).



*Figura 20. Moviment de l'anell activador pel tancament del diafragma d'iris.
Font: Elaboració pròpia.*

Per últim, s'han inclòs quatre forats roscats a la base del cos immòbil per la unió del diafragma amb la carcassa de l'auricular mitjançant cargols. També s'han realitzat dos forats a mitja altura de la cara lateral del cos immòbil per a la unió del diafragma amb la forqueta de la diadema.

5.1.3. Copes dels auriculars. Carcassa, espai intern i botons

Pel desenvolupament de les copes dels auriculars, és a dir, els auriculars en sí (sense la diadema), s'han diferenciat en primer lloc els components necessaris comuns entre l'auricular esquerre i el dret i els components específics de cada costat.

Com a elements comuns trobem (*veure d'esquerra a dreta la Figura 21*): el diafragma d'iris (prèviament descrit), la carcassa (es podria considerar un component específic ja que hi ha certes diferències de disseny entre la carcassa esquerra i dreta), el driver o controlador, la tapa de l'auricular, la tela del coixinet i el coixinet. Un últim element comú (però difícilment visible a la Figura 21) és el micròfon intern ANC, present en ambdues copes per un millor rendiment de la cancel·lació de soroll activa.

Les mesures de la silueta exterior dels components principals (coixinet, tapa i carcassa) s'han obtingut de l'estudi ergonòmic i l'anàlisi de mesures antropomètriques (*veure Annex 1*). Aquesta silueta es basa en una el·lipse de 105mm d'altura i 90mm d'amplada.

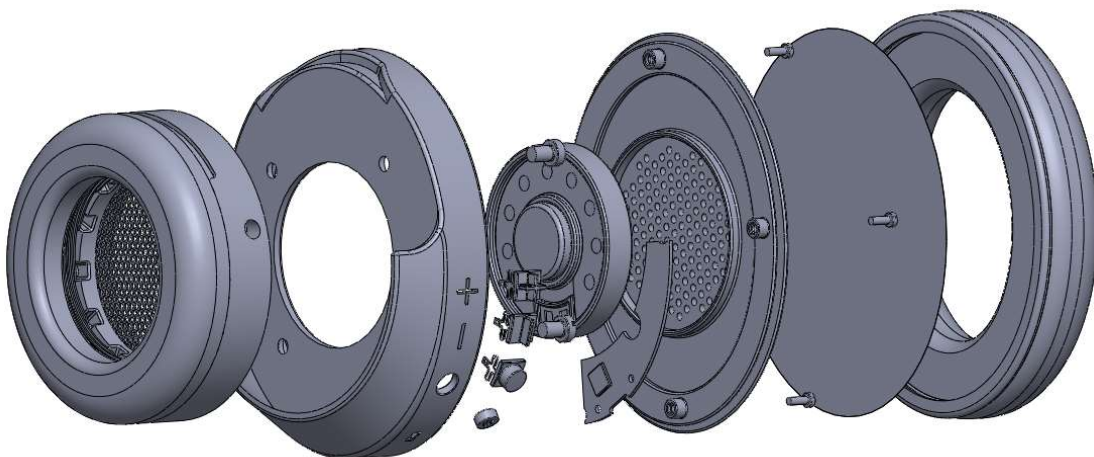


Figura 21. Modelat dels components de l'auricular esquerre del producte desenvolupat.
 Font: Elaboració pròpia.

Essencialment, la carcassa té un buidat de 12 mm de profunditat a la cara interna, creant l'espai necessari per l'allotjament de tots els components interiors. Aquest espai, però, s'ha vist condicionat pel requisit d'incloure un forat passant central de 48 mm de diàmetre, contigu amb l'obertura de l'iris per tal de poder habilitar la modalitat oberta del producte. La carcassa també incorpora 4 forats per a la unió amb el diafragma i 4 pivots amb forats roscats per la fixació amb la tapa mitjançant cargols (*veure amb més detall a la Figura 22*). A la cara lateral trobem els forats pels botons i micròfon ANC. A la cara posterior trobem un vorell que permet centrar el diafragma per la seva posterior fixació i que posteriorment es mimetitza estèticament amb la forqueta de la diadema. A la part superior, trobem una ranura que permet l'allotjament de la forqueta quan aquesta s'uneix al cos del diafragma. Finalment, també s'ha inclòs un forat passant a la cara superior per tal de fer passar el cable des de l'interior de l'auricular fins a la diadema i poder connectar, posteriorment, tots dos auriculars.

Pel que fa als altres components comuns, el driver de 50 mm (explicat amb més detall a l'apartat 5.2) s'uneix a la tapa de l'auricular gràcies a l'allotjament que aquesta inclou en el seu centre. La tapa s'uneix mitjançant 4 cargols a la carcassa. La tela estarà cosida a la part posterior del coixinet, però s'han modelat per separat per tal de poder aplicar diferents textures amb més facilitat posteriorment. El coixinet inclou una solapa en tot el seu contorn que es posa per sobre la tapa de l'auricular per unir-s'hi, però que l'usuari pot posar i treure per tal de canviar els coixinets en cas de que sigui necessari.

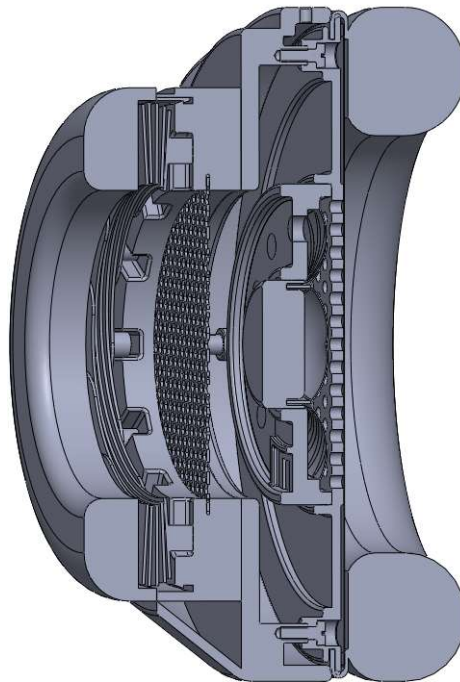


Figura 22. Model seccionat de l'auricular esquerre amb tots els components units.
 Font: Elaboració pròpia.

Els components específics de cada auricular són (veure Figura 23):

- A l'auricular esquerre: el botó de més volum, el botó de menys volum, el botó multifunció (prémer un cop per pausar/reprendre la pista, dos cops per passar de cançó, mantenir premut per activar/desactivar l'ANC), la PCB esquerra (cada auricular tindrà la seva placa de circuit imprès amb una forma adaptada a les necessitats) i el SOC (microxip, acoblat en un allotjament de la PCB esquerra).
- A l'auricular dret: el botó per encendre o apagar els auriculars, el botó Bluetooth (prémer quan es vulgui vincular un nou dispositiu Bluetooth), el connector o port USB de tipus C (per carregar el producte), la PCB dreta i la bateria. Cal remarcar que a la base interior de la carcassa dreta s'ha afegit un allotjament per a la bateria que no el trobem a la carcassa esquerra.

En ambdues carcasses trobem una extrusió que fa d'allotjament pel micròfon ANC.

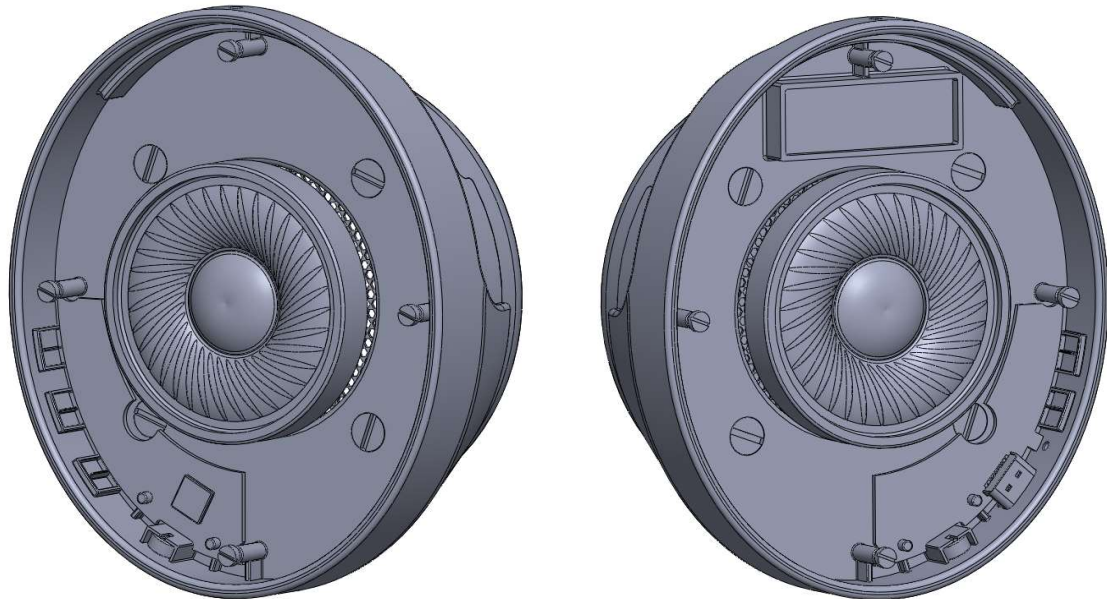


Figura 23. Interior de l'auricular esquerre i dret, darrere del coixinet i la tapa de l'auricular.
 Font: Elaboració pròpia.

La distribució de la posició i funcions dels diferents botons, ja breument comentada, s'ha implementat de la mateixa forma que es va plantejar en la fase de conceptualització i en l'sketch de la proposta final (Figura 13). S'han distribuït de manera que a l'auricular esquerre l'usuari trobi tots els botons relacionats amb el control de la música o pista que està escoltant i en el dret els controls relacionats amb l'activació/configuració del dispositiu (veure Figura 24). El relleu de cada botó permet a l'usuari identificar la forma de cada un sense necessitat de veure'l i associar-lo a la funció que fa.

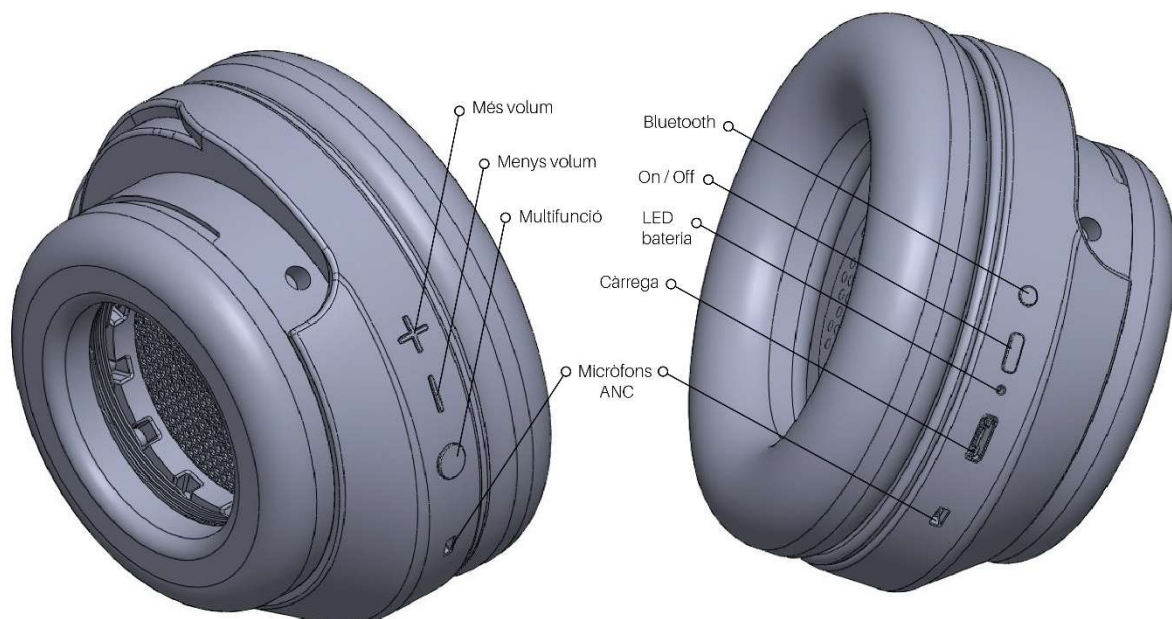


Figura 24. Modelat de les copes dels auriculars amb botons i elements d'interacció indicats.
 Font: Elaboració pròpia.

5.1.4. Diadema. Mecanismes d'articulació i extensions

Pel disseny i modelat de la diadema del producte, s'ha partit de l'arc traçat a partir de les mesures definides en l'anàlisi ergonòmic (*veure Annex 1*). S'ha equidistanciat aquest arc 8 mm cap a fora, preveient el gruix que tindrà el coixinet de la diadema (que és el que realment estarà en contacte amb el cap de l'usuari) i s'ha procedit a croquisar i modelar els diferents components de la diadema al llarg d'aquest arc.

La diadema és absolutament simètrica i s'estructura en 7 parts principals diferents: la forqueta, la part lliscant exterior, la part lliscant interior, la junta exterior, la junta interior, la part central de la diadema i el coixinet (*veure Figura 25*).



*Figura 25. Modelat dels components de la diadema dels auriculars.
Font: Elaboració pròpia.*

Degut a aquest caràcter simètric, trobem dues unitats iguals de tots els components excepte de la diadema central (que és una sola peça fixe) i el coixinet.

En primer lloc, la forqueta, el component dels extrems de la diadema, és l'element que connecta aquesta amb cada un dels auriculars. Compta amb dos pivots, un a cada una de les seves potes, que s'introdueixen als forats de la cara lateral del cos del diafragma d'iris. També té un pivot a la cara superior, que s'introdueix en el forat de la cara inferior de la part lliscant exterior. Aquest pivot té una ranura en la qual, un cop s'ha introduït al forat, s'hi col·loca una arandela de seguretat per mantenir unides la forqueta i la part lliscant. L'ajust d'aquesta unió permet que la forqueta giri sobre l'eix del pivot superior, habilitant la rotació simultània de tot l'auricular (veure *Figura 26*). Per últim, la forqueta també té un forat a la cara interna per on hi passa el cable provinent de l'interior de la carcassa de l'auricular, i surt per un forat situat a l'extrem del pivot superior.



Figura 26. Unió de la forqueta amb la part lliscant exterior i rotació de la forqueta.
 Font: Elaboració pròpia.

Pel que fa al funcionament de les dues parts lliscants, aquestes es divideixen en la part exterior i interior i són les encarregades de fer la diadema extensible. S'uneixen l'una amb l'altra mitjançant dos cargols a la zona inferior i un clipatge a la zona superior. La part lliscant exterior té una cara parcialment oberta, obertura que tapa la part lliscant interior quan s'uneixen ambdues.

Amb això, observem que la diadema central incorpora una extrusió cap als extrems de la peça, i a la punta d'aquesta extrusió hi trobem un petit relleu (veure *Figura 27*). Als laterals de l'interior de la part lliscant exterior hi trobem dues ranures o rails pels quals s'introdueix la diadema central. Aquests rails serveixen com a guia pel desplaçament o lliscament de la part exterior, que comporta el desplaçament adjacent de la forqueta i, per tant, de tot l'auricular, provocant l'extensió del model (veure *Figura 28*). Els límits d'aquest desplaçament són, per una banda, la paret del final dels rails i, per l'altra, el

petit relleu que es troba a sobre de l'extrusió mencionada topant amb la cara interior de la part lliscant exterior (que té certa pendent per tal de que aquest relleu es pugui encabir a pressió quan s'introdueixi en primer lloc la diadema central als rails). S'ha foradat aquesta extrusió per tal de poder fer passar el cable des de el pivot de la forqueta.



Figura 27. Diadema central, extrusió i relleu a l'extrem d'aquesta extrusió.
 Font: Elaboració pròpia.

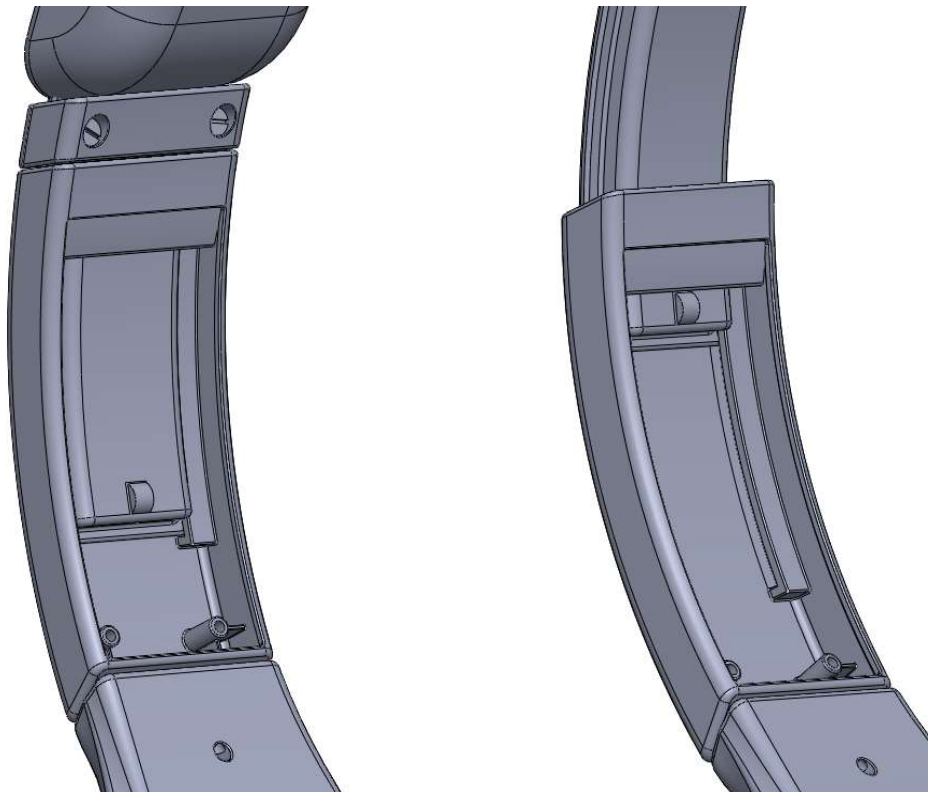


Figura 28. Extensió de la diadema: posició mínima i posició màxima.
 Font: Elaboració pròpia.

La part lliscant interior inclou un relleu dentat que té la funció d'aguantar i mantenir diferents posicions al llarg de l'extensió de la diadema, de forma que la part lliscant no es caigui de forma predeterminada (veure Figura 29). El petit relleu de l'extrem de l'extrusió de la diadema central s'insereix en les diferents concavitats del relleu dentat fixant la posició fins que l'usuari torna a fer força per canviar l'extensió de la diadema.



Figura 29. Part lliscant interior i model complet de la diadema extensa. Font: Elaboració pròpia.

El coixinet, que es descriurà amb més detall a l'apartat 5.2, consisteix en una planxa desplegable. D'aquesta manera, el coixinet es plega al voltant de la diadema central i els seus dos extrems s'enganxen amb velcro per tal que quedi pròpiament plegat.

Per últim, la junta exterior i la junta interior s'uneixen l'una amb l'altra, mitjançant dos cargols, posicionades a l'altura de dues ranures de la diadema central. D'aquesta manera, es "tanquen" a sobre de la diadema central i, al fer-ho, agafen els extrems del coixinet, fixant-lo al producte (veure Figura 30). Si l'usuari necessita un canviar el coixinet de la diadema, pot desenroscar els cargols i separar les juntes, desaferrant el coixinet per posteriorment desenganxar el velcro, desplegar-lo i treure'l de la diadema.

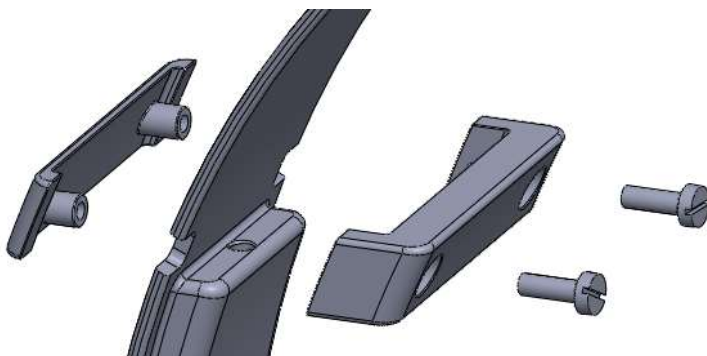


Figura 30. Juntes exterior i interior. Unió a la diadema central. Font: Elaboració pròpia.

5.2. Justificació tècnica de components

En aquest apartat es justificarà l'elecció dels models dels diferents components del producte que no han sigut dissenyats ad hoc per aquests auriculars i que s'obtidran de diversos proveïdors.

5.2.1. Drivers

El model de drivers escollits és el QIGOM 50E13. Es tracta d'uns drivers dinàmics de 50 mm de diàmetre amb un imant de neodimi N48 i un diafragma recobert d'una pel·lícula de titani (veure *Figura 31*).



Figura 31. Drivers dinàmics QIGOM 50E13. Font: NSC Audio Store.

S'ha escollit aquest model concretament per diversos motius. En primer lloc, la mida de 50 mm s'adequa perfectament a les mesures de la carcassa i de la tapa dels auriculars, sent 50 mm la mida màxima que el driver pot ocupar en l'espai habilitat.

Els imants de neodimi són el tipus més potent d'imant disponibles comercialment. En particular, el grau N48 és dels més potents d'aquest tipus dins dels estàndards més utilitzats que van entre N35 i N52 (sent l'N52 el més potent) ⁷⁸.

Amb un diafragma de pel·lícula de titani s'obté una major estabilitat i fidelitat del so en diferents rangs, aconseguint uns baixos i mitjans equilibrats, però també uns aguts més destacats en comparació amb altres drivers dinàmics.

Per últim, les especificacions tècniques i característiques elèctriques del model són ideals i concorden amb els valors òptims definits als *insights* de la fase de recerca: una impedància de 32 ohms, una sensibilitat de 110 dB(SPL)/V i, com ja s'ha mencionat, un ampli rang de freqüències de 20-20.000 KHz.

Per tal de fer constar en el BOM els diferents materials presents en el driver, s'ha procurat replicar el model manualment, amb tots els seus components (*veure d'esquerra a dreta la Figura 32*): el diafragma, la bobina de veu, l'ímant N48, la carcassa del driver i el filtre.

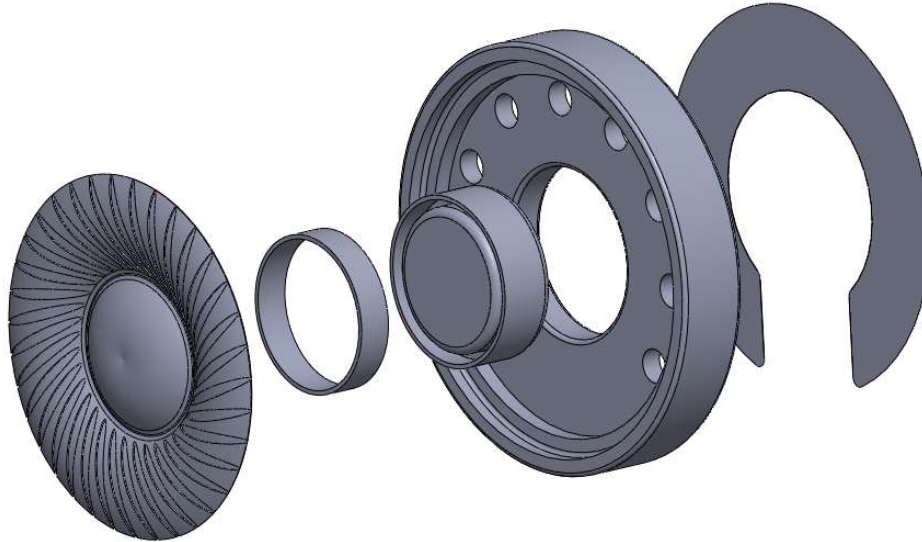


Figura 32. Modelat dels components del driver QIGOM 50E13. Font: Elaboració pròpia.

5.2.2. System on a Chip

Pel que fa al SOC (System on a Chip), s'ha escollit el model Qualcomm® CSR8670^{79,80}. Aquest model consisteix en una solució amb Bluetooth, memòria flaix incrustada i sensors tàctils capacitius integrats, que permet la creació de productes d'àudio portàtils amb una experiència d'usuari molt atractiva i un rendiment d'àudio superior.

El microxip compleix amb escriu tots els requisits plantejats que ha d'implementar el producte i inclou tots els elements i funcionalitats necessaris:

- **DSP** Qualcomm® Kalimba™ **programable** de 80 MHz amb A2DP i HFP integrats per aplicacions d'àudio.
- Compatibilitat amb la versió 4.2 de **Bluetooth**.
- **Còdecs d'àudio aptX** (definit en els insights com el més òptim pels auriculars desenvolupats), aptX de baixa latència, MP3, AAC i SBC disponibles.
- **ADC** (Analog-to-Digital Converter) i **DAC** (Digital-to-Analog Converter) estèreo de 16 bits.
- **Entrades possibles de micròfons**: fins a 2x analògics i 6x digitals.
- **Processament d'àudio** Qualcomm® meloD™, tecnologia d'ampliació estèreo.

A més, amb una mida de només 6,5 x 6,5 x 1 mm, es pot encabir perfectament en la PCB de l'auricular esquerre.

5.2.3. Micròfon ANC

Pels micròfons interns dels auriculars que possibilitaran la cancel·lació de soroll activa, s'ha escollit el model POM-2730L-HD-R, un micròfon ECM (Electret Condenser Microphone).

En un sistema ANC, el micròfon capturarà el soroll ambiental com a senyal d'àudio de la qual posteriorment s'inverteix de fase i s'afegeix al senyal dels auriculars per ajudar a cancel·lar el soroll ambiental. Aquests micròfons solen ser micròfons de condensador electret⁸¹ i, en general, cada auricular té els seu propi micròfon, per això se'n necessiten dos.

El model té una mida d'únicament 6 mm de diàmetre i 2,7 mm d'altura, i actua també en un rang de freqüències de 20-20.000 kHz. Utilitza FETs i diafragmes de primera qualitat per a una alta sensibilitat i una relació senyal-soroll òptima.

5.2.4. Bateria

Per a l'elecció del model de la bateria dels auriculars la restricció més problemàtica ha sigut la mida màxima del component. La bateria s'ha de col·locar a l'interior de la carcassa d'un dels auriculars, en aquest cas el dret, i, degut a l'obertura de 48 mm necessària situada al centre de la carcassa, l'espai disponible interior no és massa elevat. Per la resta de components de menors dimensions com botons, micròfons, ports USB, SoC, etc. no havia suposat un problema, però en el cas de la bateria una major mida ve normalment associada a una major capacitat i, per tant, a una major durabilitat i vida útil del producte.

Finalment, s'ha escollit la bateria de polímer de liti EL- 601235 (veure Figura 33) que té una mida allargada de 35x12 mm (de manera que es pot encabir a l'interior de la carcassa), una bona capacitat de 300 mAh (els models d'auriculars de més durabilitat inclouen bateries de 600 mAh) i una vida útil de 800 cicles de càrrega.



Figura 33. Bateria de polímer de liti EL- 601235. Font: Easy Lander.

5.2.5. Coixinets

Pels coixinets de les orelles s'ha escollit el model BWAVZ-HM5 Pads (*veure Figura 34, esquerra*). Es tracta d'uns coixinets de la marca *Brainwavz*, dissenyats per brindar comoditat sent el material de recobriment exterior cuir sintètic PU de proteïna i el coixí interior d'escuma viscoelàstica d'alta qualitat. Més gruixuts, còmodes i duradors que els coixinets estàndard, amb un bon ajustament per a la majoria dels auriculars over-ear. Les mesures d'aquest model i les mesures definides per a les copes dels auriculars són pràcticament les mateixes (110x90 mm i 105x90 mm), tractant-se d'un model de coixinets de les orelles idoni pel producte desenvolupat.

Pel que fa al coixinet de la diadema, s'ha escollit el model QC25 Headband Foam Cushion (*veure Figura 34, dreta*). Es tracta d'una làmina amb diferents franges o tires: la franja central correspon al coixinet en sí, la part en contacte amb el cap de l'usuari. A cada costat d'aquesta franja central hi trobem dues tires que es pleguen l'una sobre l'altra i s'adhereixen mitjançant un velcro. Cada una d'aquestes tires té unes petites pestanyes als extrems que són les que les juntes de la diadema desenvolupada oprimiran al tancar-se sobre d'elles per tal de fixar el coixinet al conjunt.

En el modelat 3D, el coixinet de la diadema s'ha replicat únicament a nivell geomètric en la seva posició plegada a sobre de la diadema, no estrictament perquè es pugui simular el seu funcionament i sigui desplegable.



Figura 34. Models de coixinets escollits pels auriculars. A l'esquerra, coixinet de les orelles. A la dreta, coixinet de la diadema. Font: *Brainwavz*.

5.3. Proposta formal. Modelat 3D



Figura 35. Modelat final de la proposta de producte, model seccionat. Font: Elaboració pròpia.



Figura 36. Model final de la proposta explosionat. Font: Elaboració pròpia.

5.4. Selecció de materials

5.4.1. Bioplàstic Eastman Trèva™

El material que es troba amb més predominança en el producte és el bioplàstic Eastman Trèva⁸²⁻⁸⁴. S'utilitzarà aquest material per a la fabricació de les carcasses, botons, diafragma d'iris (a excepció de la reixeta) i la majoria de parts de la diadema (a excepció de l'estructura central i el coixinet).

El bioplàstic d'enginyeria Trèva és un termoplàstic fabricat a partir de cel·lulosa extreta de polpa de fusta que ofereix un alt rendiment i comporta un impacte ambiental reduït. S'ha escollit Trèva per ser una opció sostenible i verda i pel seu conjunt de propietats ideals pels auriculars desenvolupats:

- Excel·lents **característiques de flux en processos d'emmotllament per injecció**, que habiliten una àmplia llibertat de disseny i permeten utilitzar-lo amb peces complicades i per omplir parets primes.
- Excel·lent **resistència química**, que resisteix millor que altres bioplàstics d'enginyeria alguns dels productes químics més difícils amb què s'entra en contacte diàriament, com ara olis per a la pell, cremes solars, netejadors domèstics, etc.
- Baixa birefringència que elimina el '*rainbow effect*' (fenomen en què es perceben flaixos de colors a sobre d'una imatge o superfície quan s'observa) que experimenten alguns plàstics amb la llum polaritzada, aconseguint un **rendiment òptic** superior. També presenta una excel·lent brillantor i colorabilitat.

Amb aquest conjunt de propietats, Trèva es pot utilitzar en aplicacions en contacte amb la pell (muntures d'ulleres, productes electrònics portables i altres dispositius personals) i aplicacions que requereixin dissenys intricats i complexos (caixes o carcasses de cosmètics o de productes electrònics).

Amb tot això, el factor determinant per a la selecció d'aquest material ha sigut la seva capacitat per millorar el **rendiment d'àudio** dels tancaments o carcasses on s'utilitza⁸⁵.

Amb l'objectiu de reduir ressonàncies i no desitjades en les carcasses i productes d'àudio, Trèva presenta **propietats inherents d'amortiment o 'damping' de vibracions** que poden reduir la distorsió i millorar el rendiment acústic. El '*damping*' o amortiment es refereix a la capacitat d'un material o sistema de dissipar energia. Les propietats d'amortiment de vibracions del material Eastman Trèva s'han demostrat en estudis⁸⁶ que comparen el seu rendiment acústic amb el d'altres materials competitiu (policarbonat i ABS) en rangs de freqüència rellevants per a aplicacions d'àudio de consum. Eastman també ha avaluat el rendiment d'àudio del material en un dispositiu totalment modelat: uns auriculars IEMs (in-ear monitors)⁸⁵.

Algunes de les àrees i factors en què un amortiment de vibracions millorat pot afegir valor són:

- Reducció de les ressonàncies en carcasses/tancaments que pot contribuir a l'experiència d'àudio d'un oient.
- Millora de la cancel·lació activa de soroll.
- Reducció de la càrrega en el processament de senyal digital (DSP).
- Reducció de la càrrega computacional amb l'eliminació de ressonàncies - per una durada més llarga de la bateria.

Aquestes singulars característiques acústiques fan que Trêva sigui un material idoni també per les fulles del diafragma d'iris desenvolupat.

5.4.2. Acer inoxidable A2 i A4

S'utilitzarà acer inoxidable per a la diadema central (estructura principal de la diadema) per tal de dotar el producte de major **resistència i durabilitat**. Addicionalment, l'acer inoxidable també presenta una bona resistència a la temperatura, resistència a la corrosió, una conformabilitat òptima i fàcil fabricació, requereix de baix manteniment, té un aspecte atractiu i és **respectuós amb el medi ambient i reciclable**.

Els tipus d'acer inoxidable, segons la seva composició, més utilitzats són l'A2 (o 304) i l'A4 (o 316). El tipus A2 conté un percentatge lleugerament superior en crom (18%-20%) mentre que el tipus A4 té una composició similar però amb un 2% de molibdè. Aquesta addició de molibdè proporciona més resistència a la corrosió que la que es troba al tipus A2. Tanmateix, l'A2 és una mica més mal·leable, la qual cosa el fa ideal per a aplicacions on es desitja certa flexibilitat ⁸⁷.

Per aquest motiu s'ha escollit l'acer inoxidable de **tipus A2 per a la diadema central**, ja que aquesta, tot i ser resistent, haurà de ser lleugerament flexible per tal de poder adaptar-se correctament al cap de l'usuari.

Per altra banda, els **elements de fixació** (cargols i arandeles) seleccionats seran també d'acer inoxidable, en aquest cas del **tipus A4**.

5.4.3. Cuir sintètic PU i escuma viscoelàstica

En els **coixinets**, tant en els de les orelles com en el de la diadema, trobem dos materials: el recobriments de cuir sintètic PU i l'interior d'escuma viscoelàstica.

El cuir sintètic ofereix una textura i **tacte suau** i agradable per l'usuari, així com una **estètica millorada**, podent fer-se en una gran varietat de colors i estils. Tot i no ser la opció més sostenible ambientalment (*veure apartat 5.5*) segueix sent una alternativa **més ecològica** que el cuir animal o el cuir sintètic fet de PVC.

L'escuma viscoelàstica, o escuma de memòria, potencia la **comoditat d'ús** dels auriculars, ja que s'estova i es modela en funció del contacte amb el cap de l'usuari, **adaptant-se a la seva forma** (i recuperant posteriorment la forma original). Addicionalment, l'escuma viscoelàstica actua com a material d'insonorització i bloqueja parcialment l'entrada física de soroll extern.

5.5. Impacte ambiental

En tot el procés de disseny i desenvolupament del producte s'han tingut en compte criteris fonamentals d'ecodisseny, economia circular i sostenibilitat, per tal de minimitzar l'impacte ambiental que els auriculars tindran en totes les fases del seu cicle de vida.

5.5.1. Impacte dels materials

S'ha abordat l'ambientalització del producte donant especial importància als materials que aquest incorporarà, ja que és on es pot fer més incidència en el procés de disseny. Així, s'han seleccionat materials per a la producció de peces pròpies que no sacrificuin la faceta ecològica per una millor eficiència o solvència tècnica i s'han prioritzat les opcions sostenibles. De la mateixa manera, s'han buscat alternatives pels components obtinguts de proveïdors fabricats també amb materials verds.

Molts auriculars del mercat consisteixen en materials plàstics barats, molts cops PVC. Com a resultat, tenen un impacte ambiental molt negatiu: el PVC és un material que allibera toxines al medi ambient al llarg del seu cicle de vida, des de la producció fins a l'eliminació. A part del fet de que es tracta de plàstics tòxics, molts duren poc. Com a resultat, els usuaris sovint acaben llençant-los amb regularitat, augmentant així el seu impacte ambiental.

Pel producte desenvolupat, s'ha evitat estrictament la incorporació de PVC en el model. En canvi, i com ja s'ha indicat a l'apartat anterior, el material més predominant del model és el bioplàstic Eastman Trèva. La matèria primera clau que s'utilitza per fer Trèva és la cel·lulosa derivada d'arbres collits de manera sostenible. Aquesta és funcional i sostenible, la qual cosa permet l'ús de menys material i crea productes que duraran més temps. El resultat final és un bioplàstic sense BPA (Bisfenol-A, un compost químic contaminant molt comunament utilitzat en la producció de plàstics) que arriba al punt òptim per reduir l'impacte ambiental sense comprometre el rendiment general. El Departament d'Agricultura dels Estats Units (USDA) ha certificat el bioplàstic d'enginyeria Eastman Trèva™ amb un contingut de base biològica del 42%⁸².

Per altra banda, l'acer inoxidable, present en la diadema central i els elements de fixació, és també un material inherentment sostenible per diverses raons. Es pot reciclar un nombre infinit de vegades sense cap reducció de la qualitat, degut a que la resolidificació del metall restaura els enllaços metàl·lics, permetent que el material recuperi totes les seves propietats originals de rendiment. Això contrasta fortament amb els materials no metàl·lics, la qualitat i el rendiment dels quals es degraden encara més després de cada procés de reciclatge. L'acer inoxidable no és perjudicial per a les persones, ni en la producció ni durant l'ús. Els productes i estructures fets amb acer inoxidable tenen una vida útil significativament més llarga que els fabricats amb altres materials. Com ja s'ha destacat anteriorment, es tracta d'un material resistent a la temperatura, als components químics i a la corrosió, i comporta uns costos de manteniment molt baixos.

El cuir sintètic PU és el material del model dels coixinets obtinguts de proveïdors. El cuir sintètic està fet de teixit recobert amb un polímer plàstic que pot ser poliuretà (PU) o clorur de polivinil (PVC). Tot i tractar-se de cuir vegetal, el cuir sintètic de PVC conté

dioxines que persisteixen en el medi i utilitza ftalats. Per si sol, el PVC seria realment rígid, així que per fer-lo més suau i mal·leable s'hi afegeixen plastificants de ftalats. Els ftalats es consideren cancerígens i disruptors endocrins. El cuir PU és sens dubte millor, però, tot i així, durant la seva fabricació s'utilitzen alts nivells de productes químics tòxics com la dimetilformamida ⁸⁸.

El millor seria utilitzar cuir vegetal sense plàstic, fabricats a partir surto, bolets, fulles... però no s'han trobat alternatives disponibles de models de coixinets amb aquest tipus de cuir vegetal. Si, hipotèticament, més endavant es planteja la fabricació pròpia dels coixinets del producte es podria utilitzar Piñatex ⁸⁹, un material fet de fibra de les fulles de rebuig de la planta de la pinya. Aquestes fulles són un subproducte de la collita de pinya existent, de manera que la matèria primera no requereix recursos ambientals addicionals per produir-la. És concebut com a una alternativa sostenible al cuir animal.

5.5.2. Durabilitat i vida útil

La durabilitat és un factor molt rellevant en l'impacte ambiental del producte i la sostenibilitat que se li associa. El primer factor que condiciona el temps de vida útil és la seva resistència i capacitat per suportar cops, accidents i possibles formes d'ús fins a cert punt errònies i en condicions adverses. Es considera que aquesta faceta de durabilitat "física" s'ha cobert amb èxit gràcies a una elecció de materials resistents duradors per si mateixos i amb un disseny i implementació de geometries coherents i òptimes per a la finalitat d'ús del producte.

L'altre factor directament vinculat a la durabilitat del producte és la capacitat i temps de vida de la bateria. La majoria d'auriculars inalàmbrics incorporen bateries amb una vida al voltant de 500 cicles de càrrega complets. D'aquesta manera, si es carrega el producte regularment un cop cada dos dies, la seva vida útil serà de 3 anys. Per altra banda, quanta més capacitat tingui aquesta bateria, més temps durarà la càrrega de cada cicle. Una bateria de 750 mAh ofereix 30 hores de reproducció de música contínua per càrrega ⁹⁰. La bateria escollida pel producte té un temps de vida útil de 800 cicles i una capacitat de 300 mAh. Per tant, es pot estimar que cada càrrega tindrà una duració d'aproximadament 12 hores. Considerant un temps d'ús regular de 6 hores diàries, els auriculars desenvolupats tindran una vida útil de com a mínim 4 anys i mig. Com ja s'ha mencionat en el punt 5.2.4, s'ha intentat obtenir una bateria amb una major capacitat, però totes eren d'unes dimensions massa grans per l'espai interior de la carcassa.

5.5.3. Fi de vida

S'ha procurat incorporar al producte la menor diversitat de materials possible i que tots els que s'han pogut escollir siguin reciclables o compostats, per tal que la fi de vida dels auriculars tingui el menor impacte ambiental possible. Tot i això, pel tractament dels residus electrònics insubstituïbles, s'haurien de portar a punts verds, deixalleries, o botigues d'electrònica on poden separar els materials i eliminar tot allò que no sigui reciclable, sense danyar el medi ambient.

5.6. Bill of Materials

CONJUNT	SUBCONJUNT	REF.	NOM	MODEL	MATERIAL	UNITATS	PROCÉS DE FABRICACIÓ	
A - COPES AURICULARS	A1 - Auricular Esquerre	A1.1	Carcassa Esquerre	Propi	Bioplàstic Eastman Tréva	1	Matèria prima	
							Emmotllament per injecció	
							Taladrat (Trepant de Columna CNC)	
							Roscat (Maquina eléctrica, Roscamat)	
		A1.2	Botó Més Volum	Propi	Bioplàstic Eastman Tréva	1	Matèria prima	
							Emmotllament per injecció	
	A1.3	Botó Menys Volum	Propi	Bioplàstic Eastman Tréva	1	Matèria prima		
						Emmotllament per injecció		
	A1.4	Botó Multifunció	Propi	Bioplàstic Eastman Tréva	1	Matèria prima		
						Emmotllament per injecció		
	A1.5	PCB Esquerre	Propi (Subcontractació)	Fibra de vidre (FR-4), Coure	1	Subcontractació fabricant de PCBs - PCBWay		
	A1.6	SoC	Qualcomm® CSR8670	Silici	1	Proveïdor - Arrow Electronics		
	A2 - Auricular Dret	A2.1	Carcassa Dreta	Propi	Bioplàstic Eastman Tréva	1	Matèria prima	
							Emmotllament per injecció	
							Taladrat (Trepant de Columna CNC)	
							Roscat (Maquina eléctrica, Roscamat)	
		A2.2	Botó On Off	Propi	Bioplàstic Eastman Tréva	1	Matèria prima	
							Emmotllament per injecció	
		A2.3	Botó Bluetooth	Propi	Bioplàstic Eastman Tréva	1	Matèria prima	
	Emmotllament per injecció							
	A2.4	Connector USB Tipus C	GCT USB4065-30-A	Aliatge de coure, Or, Acer inoxidable	1	Proveïdor - Mouser Electronics		
	A2.5	PCB Dreta	Propi (Subcontractació)	Fibra de vidre (FR-4), Coure	1	Subcontractació fabricant de PCBs - PCBWay		
	A2.6	Bateria	EL- 601235	Polímer de liti	1	Proveïdor - Easy Lander		
	A3 - Driver	A3.1	Carcassa Driver	QIGOM 50E13	ABS	2	Proveïdor - NSC Audio Store	
								Neodimi
								OFC (Oxygen Free Copper)
								Pel·lícula de titani
Paper								
A4	Tapa Auricular	Propi	Bioplàstic Eastman Tréva	2	Matèria prima			
					Emmotllament per injecció			
					Taladrat (Trepant de Columna CNC)			
A5	Coixinet	BWA-VZ-HM5 Pads	Escuma viscoelàstica, Cuir sintètic PU	2	Proveïdor - Brainwavz Audio			
						Malla de teixit de polièster		
A6	Tela Coixinet							
A7	Microfón ANC	POM-2730L-HD-R	PTFE (Tefló)	2	Proveïdor - Mouser Electronics			

CONJUNT	SUBCONJUNT	REF.	NOM	MODEL	MATERIAL	UNITATS	PROCÉS DE FABRICACIÓ
B - DIAFRAGMA D'IRIS		B1	Cos Diafragma	Propi	Bioplàstic Eastman Tréva	2	Matèria prima
							Emmottllament per injecció
		B2	Anell Activador	Propi	Bioplàstic Eastman Tréva	2	Matèria prima
							Emmottllament per injecció
B3	Fulla	Propi	Bioplàstic Eastman Tréva	24	Matèria prima		
B4	Reixeta	QIGOM 50mm Grill Mesh Cover	Alumini	2	Proveïdor - NSC Audio Store		
C - DIADEMA		C1	Forqueta	Propi	Bioplàstic Eastman Tréva	2	Matèria prima
							Emmottllament per injecció
		C2	Diadema Lliscant Exterior	Propi	Bioplàstic Eastman Tréva	2	Matèria prima
							Emmottllament per injecció
							Taladrat (Trepant de Columna CNC)
		C3	Diadema Lliscant Interior	Propi	Bioplàstic Eastman Tréva	2	Matèria prima
							Emmottllament per injecció
C4	Diadema Central	Propi	Acer inoxidable A2	1	Mecanitzat (Fresadora CNC)		
C5	Junta Diadema Exterior	Propi	Bioplàstic Eastman Tréva	2	Matèria prima		
					Emmottllament per injecció		
C6	Junta Diadema Interior	Propi	Bioplàstic Eastman Tréva	2	Matèria prima		
					Emmottllament per injecció		
C7	Coixinet Diadema	QC25 Headband Foam Cushion	Escuma viscoelàstica, Cuir sintètic PU	1	Proveïdor - Smart Watched Store		
D - ELEMENTS DE FIXACIÓ		D1	Cargol M2x4	DIN 84	Acer inoxidable A4	4	Proveïdor - Würth
		D2	Cargol M2x6	DIN 84	Acer inoxidable A4	12	Proveïdor - Würth
		D3	Cargol M4x6	DIN 84	Acer inoxidable A4	8	Proveïdor - Würth
		D4	Arandela Seguretat d4	DIN 6799	Acer inoxidable A4	2	Proveïdor - Würth

Taula 1. Llistat de components, bill of materials i processos de fabricació.

El llistat de components i referències s'ha organitzat de la següent manera: 3 grups generals associats als conjunts principals que trobem en el producte: les copes dels auriculars, el diafragma d'iris i la diadema. El conjunt de les copes dels auriculars inclou 3 subconjunts: Auricular Esquerra, Auricular Dret i el Driver. Dins dels dos primers subconjunts trobem únicament els components específics de cada costat, mentre que els components comuns en els dos auriculars es troben fora de qualsevol subconjunt.

5.7. Escandall de Costos i Pressupost

El cost de fabricació per unitat de producte resultant és de **126,6€** (*veure document Pressupost*).

A partir d'aquí, es realitza una estimació d'un cost unitari addicional del 30% d'aquest cost de fabricació, atribuït a altres costos de desenvolupament (software, electrònica, elements gràfics, promoció, etc.) i costos variables (transport, muntatge, packaging, etc.). S'obté un cost final per unitat d'aproximadament **164,6€**.

Aplicant un marge comercial del 20% i incloent l'IVA general del 21%, s'obté un P.V.P (preu de venda al públic) de **239,00€**.

Aquest preu de venda final es troba **dins del rang de preus indicat en el briefing** i requeriments del producte, definit a partir dels **insights de la recerca de mercat**.

5.8. Comunicació de producte

5.8.1. To comunicatiu

El to comunicatiu ha de ser lleugerament desenfadat però sense perdre la imatge de professionalitat que es vol transmetre o prendre un to massa vulgar. Es vol poder arribar a tots els públics, especialment al jove, i que es percebin la cultura d'innovació i la voluntat d'excel·lència com a valors principals de la marca del producte.

Cal remarcar que la posició del mercat en què se situa el model es defineix perquè el seu preu sigui mitjà en comparació a la competència i la diversitat de funcionalitats que presenten els auriculars també es trobi en un punt mig. Per tant, es comunicaran les característiques del producte enfocant-se en les funcions principals més que anunciant un llarg llistat de funcionalitats extres.

També, més que destacar una tecnologia excelsa darrere el desenvolupament de nous drivers i sistemes de transducció dels auriculars, es ressaltaran les avantatges acústiques fonamentals que presenta el model (aconseguides gràcies a la integració de les modalitats oberta i tancada) i l'adaptabilitat del producte a les diferents situacions en que es trobi l'usuari.

S'evitarà centrar el missatge comercial en el fet que el model integra les tipologies 'closed-back' i 'open-back', ja que són termes amb els quals una gran part del públic no està familiaritzat. En comptes s'atribuiran a l'anunci del producte els avantatges més destacables de cada modalitat (cancel·lació de soroll, so multidireccional i estereofònic, sensació natural, reproducció sense distorsions, transpirabilitat, etc.).

5.8.2. Branding del producte

El nom definit pel producte és **SoundFocus** (auriculars SoundFocus, SoundFocus headphones). Principalment, s'ha recorregut de nou a una analogia amb el camp de la fotografia i les càmeres ja que incorporen, igual que el model desenvolupat, un diafragma d'iris. En fotografia, l'obertura del diafragma està lligada a la profunditat de camp que s'obté en la fotografia que es fa. La profunditat de camp es correspon a la zona de la imatge que s'aprecia com a enfocada o nítida. Per tant, regulant l'obertura del diafragma s'enfoca la imatge de la forma desitjada. El sentit de l'analogia present en el nom "SoundFocus" rau en que, en el cas dels auriculars, l'usuari regula l'obertura del diafragma per tal d'aconseguir les condicions acústiques desitjades. D'aquesta manera, es pot dir que està "enfocant el so" o, en anglès, "focusing sound".

Aquest nom també pot fer referència a altres interpretacions. Per exemple, es pot entendre que es destaca el fet que els auriculars proporcionen un so precís i sense distorsions i, per tant, "enfocat". També, ja que en anglès "focus" també pot significar "concentrar-se", el nom fa referència a la cancel·lació activa de soroll que incorporen els auriculars i, per tant, en la facilitat de concentrar-se en el so independentment de les condicions acústiques externes.

Pel disseny del logotip del producte s'ha buscat una representació gràfica neta i minimalista. Per això, s'ha plantejat el desenvolupament d'una marca tipogràfica basada en el nom del model. S'han aplicat diferents tipografies (*veure Figura X*), amb diferents pesos i amb el nom escrit de diferents formes (majúscules, minúscules o combinació de les dues).

Finalment s'ha escollit la tipografia Poppins, de tipus Sans Serif amb acabaments arrodonits. Aquesta font tipogràfica aplicada al nom en minúscules dota la marca d'un caràcter modern i elegant però sense arribar a ser excessivament seriós o formal.

SOUNDFOCUS	SoundFocus	soundfocus
SOUNDFOCUS	SoundFocus	soundfocus
SOUNDFOCUS	SoundFocus	<u>soundfocus</u>
SOUNDFOCUS	SoundFocus	soundfocus
SOUNDFOCUS	SoundFocus	soundfocus
SOUNDFOCUS	SoundFocus	soundfocus
SOUNDFOCUS	SoundFocus	soundfocus
SOUNDFOCUS	SoundFocus	soundfocus
SOUNDFOCUS	SoundFocus	soundfocus

Figura 37. Test de tipografies. Tipografia escollida indicada (Poppins). Font: Elaboració pròpia.

Adicionalment, s'ha substituït la "o" de "focus" per un símbol vectoritzat d'un diafragma d'iris, l'element més identificatiu del producte. Suposa un canvi discret però suficient per caracteritzar la marca sense perdre l'aspecte minimalista i elegant (*veure Figura X*).

Finalment, s'ha afegit la paraula "headphones". Es tracta d'un element addicional que no s'utilitzarà, per exemple, en el logo incorporat en el model en sí, però sí en imatges promocionals i altres comunicacions.



Figura 38. Procés de disseny i implementació del vector d'un iris al logotip. Font: Elaboració pròpia.



Figura 39. Logotip final. Versió positiva i negativa. Font: Elaboració pròpia.

5.8.3. Imatges fotorealistes

S'ha elaborat un conjunt d'imatges fotorealistes (*renders*) per a la presentació i comunicació del producte (*s'inclouen a la memòria les imatges principals, per consultar la col·lecció completa de renders, veure Annex 2*).



Figura 40. Render de presentació del producte. Font: Elaboració pròpia.



Figura 41. Render de comunicació del producte. Característiques principals. Font: Elaboració pròpia.

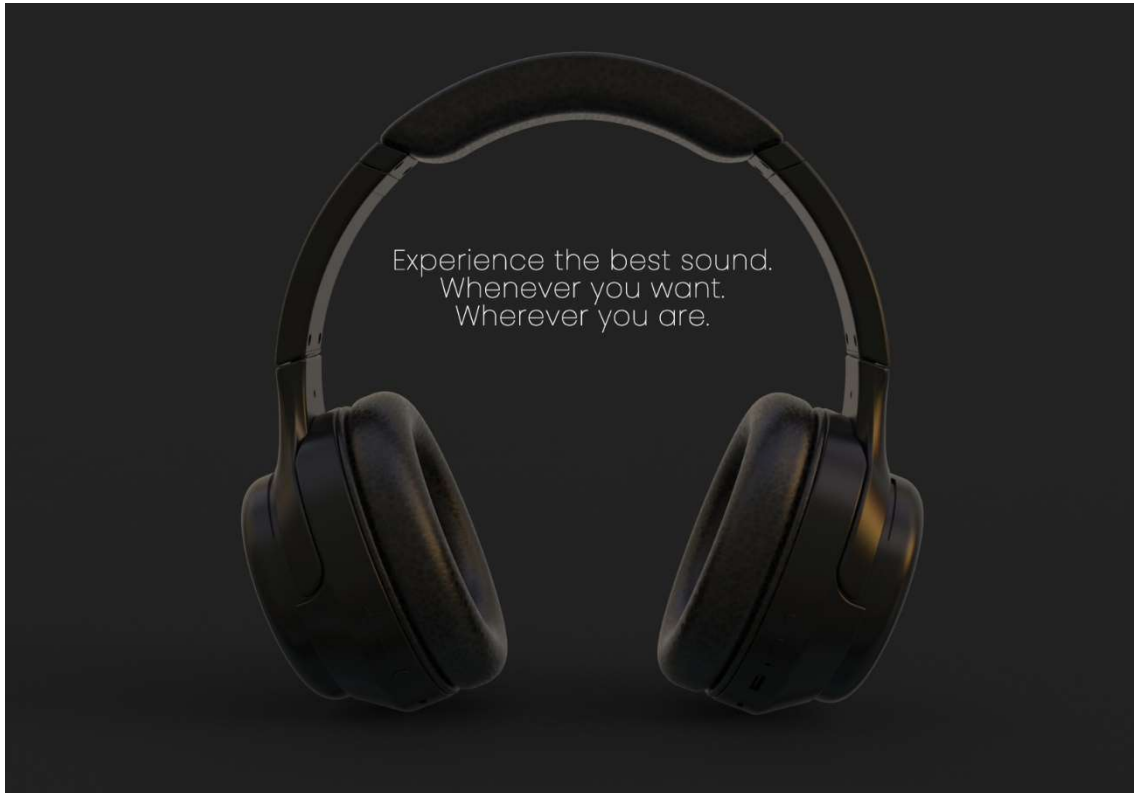


Figura 42. Render de comunicació del producte. Missatge publicitari breu. Font: Elaboració pròpia.



Figura 43. Render de comunicació del producte. Explosionat.. Font: Elaboració pròpia.



Figura 44. Render de presentació del producte. Gamma alternativa color cru. Font: Elaboració pròpia.



Figura 45. Render de presentació del producte. Escena amb ambdues gammes. Font: Elaboració pròpia.

6. Conclusions

El resultat final del projecte ha sigut satisfactori, i s'han complert en gran mesura tots els objectius plantejats a l'inici del treball.

S'ha desenvolupat una solució tècnica que incorpora tots els elements necessaris per tal que el model pugui ser tan acústicament obert com tancat, tot complint amb els requisits establerts en el briefing (condicions acústiques, funcions, model inalàmbric, preu) i sense sacrificar altres aspectes fonamentals del producte (comoditat, lleugeresa, durabilitat i estètica). S'ha aconseguit formalitzar en tres dimensions aquesta solució obtenint un model virtual funcional i capaç de mostrar el comportament, articulacions, geometries i conjunt de peces que té el producte final. S'han tingut en compte tots els elements necessaris pel funcionament del producte, també els components electrònics i interns de l'auricular, simplificant-los en alguns casos però reproduint amb fidelitat la seva mida real.

S'han definit les mesures clau dels auriculars que condicionen la comoditat i adaptabilitat a un ampli rang d'usuaris a partir d'un estudi ergonòmic i una anàlisi de les dades antropomètriques cercades. A partir d'aquestes mesures, s'han desenvolupat la resta de geometries de forma coherent obtenint un model amb uniformitat entre les diferents parts, la qual cosa també suposa una millor estètica final. Es tracta d'un model lleuger, amb les copes dels auriculars articulades de forma que es puguin rotar respecte a la diadema i dos punts d'extensió d'aquesta diadema per una millor acomodació en funció de les necessitats de l'usuari. L'experiència d'usuari vinculada a l'acció d'obrir o tancar els auriculars és òptima i molt senzilla, podent rotar la part posterior per regular l'obertura del diafragma.

S'han trobat referències d'algoritmes i sistemes adients per a resoldre les necessitats electròniques del model que s'implementarien al DSP programable del SoC intern. Aquests algoritmes aconsegueixen l'equalització del so per compensar les diferències acústiques entre la modalitat oberta i tancada, i la cancel·lació de soroll activa.

S'ha afrontat la reducció al mínim de l'impacte ambiental del producte a partir de la selecció de materials ecològics com el bioplàstic Treva o l'acer inoxidable, i prolongant al màxim la vida útil dels auriculars mitjançant una bateria amb un nombre de cicles i capacitat elevats i la durabilitat dels materials.

S'ha dissenyat una marca, nom i logotip del producte i s'han realitzat múltiples imatges fotorealistes per a la presentació i comunicació del producte, destacant els elements més rellevants. Com a conseqüència d'una falta de temps final, no s'han pogut desenvolupar alguns dels punts relacionats amb la comunicació del producte, un dels últims apartats, com la realització d'un packaging o un manual d'usuari.

El treball ha sigut la manera idònia d'aplicar gran part dels coneixements assolits al llarg de tot el grau i realitzar un projecte passant per totes les etapes del disseny i desenvolupament de producte. S'han posat en pràctica aquests coneixements en un producte d'un àmbit no treballat anteriorment, adquirint noves aptituds i polint-ne d'altres.

7. Referències

1. World Health Organization. La OMS publica una nueva norma para hacer frente a la creciente amenaza de la pérdida de audición. <https://www.who.int/es/news/item/02-03-2022-who-releases-new-standard-to-tackle-rising-threat-of-hearing-loss>. Published online March 2, 2022.
2. PlayButton. Are Open-Back Headphones Better for Your Ears? <https://playbutton.co/are-open-back-headphones-better-for-your-ears/>. Published online March 19, 2021.
3. laSexta. 1.100 millones de personas, en riesgo de perder la audición por el uso de auriculares. https://www.lasexta.com/noticias/ciencia-tecnologia/1100-millones-personas-riesgo-perder-audicion-uso-auriculares_20210302603e3ad726e3b800012a27e3.html. Published online March 2, 2021.
4. World Health Organization. *Hearing Loss Due to Recreational Exposure to Loud Sounds. A Review*. World Health Organization; 2015.
5. Gestarsalud. Uso inapropiado de audífonos está provocando aumento de casos de problemas auditivos. <https://gestarsalud.com/2021/05/14/uso-inapropiado-de-audifonos-esta-provocando-aumento-de-casos-de-problemas-auditivos/>. Published online May 14, 2021.
6. Young L, Global News. Constantly using headphones can cause hearing damage – here’s how to prevent it. <https://globalnews.ca/news/5307570/headphones-earbuds-hearing-loss/>. June 5, 2019.
7. World Health Organization. La OMS advierte que, según las previsiones, una de cada cuatro personas presentará problemas auditivos en 2050. <https://www.who.int/es/news/item/02-03-2021-who-1-in-4-people-projected-to-have-hearing-problems-by-2050>. Published online March 2, 2021.
8. World Health Organization. *World Report on Hearing*. World Health Organization; 2021.
9. VidadSalud. Las distracciones por uso de auriculares pueden conducir a un accidente grave. <https://www.vidaysalud.com/las-distracciones-por-uso-de-auriculares-pueden-conducir-a-un-accidente-grave/>. Published online February 21, 2016.
10. Logitech. PROTECT YOUR HEARING ADVISORY. <https://www.logitech.com/en-ch/resource-center/protect-hearing.html>.
11. Bose. RECOGNIZING THE SIGNS OF HEARING LOSS. https://www.bose.com/en_us/better_with_bose/recognizing-signs-of-hearing-loss.html.
12. IntraMed. ¿Es seguro caminar con auriculares? <https://www.intramed.net/contenidover.asp?contenidoid=74323>. Published online January 30, 2012.

13. National Institute on Deafness and Other Communication Disorders. *Quick Statistics About Hearing.*; 2021.
14. Sennheiser Newsroom. On the current situation of people with hearing loss in society. <https://en-de.sennheiser.com/newsroom/on-the-current-situation-of-hearing-impaired-people-in-society>. Published online July 20, 2021.
15. Ballou G. *Handbook for Sound Engineers.*; 2013. doi:10.4324/9780080927619
16. Borwick J. *Loudspeaker and Headphone Handbook, Third Edition.*; 2012. doi:10.4324/9780080496177
17. mynewmicrophone. How Do Headphones Work? (Illustrated Guide For All HP Types). <https://mynewmicrophone.com/how-do-headphones-work-illustrated-guide-for-all-hp-types/>.
18. Wikipedia. Headphones. <https://en.wikipedia.org/wiki/Headphones>.
19. SnazzyLabs. How do headphones really work? - Part 1-5 - "All About Headphones." https://www.youtube.com/watch?v=_W2z-iklgM0&ab_channel=SnazzyLabs. Published online September 5, 2014.
20. CulturaSonora. Especificaciones técnicas para auriculares: todo lo que necesitas saber. <https://www.culturasonora.es/blog/especificaciones-tecnicas-de-auriculares/>. Published online December 4, 2017.
21. mynewmicrophone. The Complete Guide To Open-Back & Closed-Back Headphones. <https://mynewmicrophone.com/the-complete-guide-to-open-back-closed-back-headphones/>.
22. Sennheiser. All Headphones, More about Premium Headphones, State-of-the-art headphone technology. <https://www.sennheiser-hearing.com/en-DE/headphones/>.
23. Clews D, MusicRadar. Open-back vs closed-back headphones: how do they differ? <https://www.musicradar.com/news/open-back-vs-closed-back-headphones>. Published online April 27, 2022.
24. WiredShopper. How Headphones are Made ? (Simple Answer). <https://thewiredshopper.com/how-headphones-are-made/>. Published online October 20, 2021.
25. AKG Harman. Pro Headphone Recommender. <https://www.akg.com/AKG-US-ProHeadphone-Recommender.html/?>
26. Headphonesty. 6 Types Of Headphone Drivers That You Should Know. <https://www.headphonesty.com/2017/04/5-types-headphone-drivers-know/>. Published online February 24, 2022.
27. Wykes A, SoundGuys. Headphone driver types: Which one's just right? <https://www.soundguys.com/driver-types-19347/>. Published online February 23, 2021.
28. Zococity. Drivers para auriculares: tipos, consejos y experiencia personal. https://www.youtube.com/watch?v=MB5ye9gZxHE&ab_channel=Zococity. Published online June 5, 2019.

29. MOON AUDIO. Closed Back vs Open Back Headphones: Everything you need to know. <https://www.moon-audio.com/closed-back-v-open-back-headphone-guide>. Published online August 18, 2020.
30. Booth C, TNW | Plugged. Audioheads! You need a pair of open-back, planar magnetic headphones. <https://thenextweb.com/news/need-pair-open-back-planar-magnetic-headphones-audio-video-analysis>. Published online March 21, 2021.
31. Branch Education. The Engineering Inside Wireless Earbuds || How do Wireless Earbuds and Audio Codecs Work? https://www.youtube.com/watch?v=_ZKNOKHpqE4. Published online December 13, 2020.
32. Branch Education. How does Bluetooth Work? https://www.youtube.com/watch?v=1I1vxu5qIUU&ab_channel=BranchEducation. Published online May 19, 2021.
33. Hrisko J, MakerPortal. Disassembling a Pair of Bluetooth Headphones. <https://makersportal.com/blog/2017/11/1/disassembling-a-pair-of-bluetooth-headphones>. Published online November 4, 2017.
34. Bearson R, Ear Rockers. How do Bluetooth Headphones work? <https://earrockers.com/how-do-bluetooth-headphones-work/>.
35. Frandroid. aptX, LDAC, SBC : tout comprendre aux codecs Bluetooth audio. https://www.frandroid.com/comment-faire/comment-fonctionne-la-technologie/752329_aptx-ldac-sbc-tout-comprendre-aux-codecs-bluetooth-audio. Published online August 29, 2020.
36. WikiBooks. Engineering Acoustics/Hearing Protection. https://en.wikibooks.org/wiki/Engineering_Acoustics/Hearing_Protection.
37. Kuo SM, Mitra S, Gan WS. Active noise control system for headphone applications. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. 2006;14(2):331-335. doi:10.1109/TCST.2005.863667
38. Schweber B, Analog IC Tips. Active noise cancellation, Part 2: Implementation. <https://www.analogictips.com/active-noise-cancellation-part-2-implementation-faq/>. Published online August 13, 2018.
39. Branch Education. How Do Noise Canceling Headphones Work? https://www.youtube.com/watch?v=Vli04uD8LtY&ab_channel=BranchEducation. Published online February 19, 2021.
40. Ortega C, Arias M. *Implementación de Filtros Adaptivos Usando El Kit DSP TMS320C6713TM Con Aplicaciones En Cancelación de Ruido Acústico.*; 2012.
41. Belyi V. *INTEGRATED ACTIVE NOISE CONTROL AND SOUND QUALITY ENHANCEMENT SYSTEM FOR HEARING DEVICES.*; 2020.
42. Vikash S. *Noise Cancellation In Headphones.*; 2002. Accessed May 12, 2022. https://www.ee.iitb.ac.in/~esgroup/es_mtech02_sem/es02_sem_rep_vikash.pdf
43. Aquino R, Lincoln J. *Hardware and Software Study of Active Noise Cancellation.* ; 2012.

44. García D. *CANCELACIÓN ACTIVA DE RUIDO UTILIZANDO EL KIT TMS320C5515 EZDSP*; 2015.
45. Avis MR, Lewis LJ. *Principles of Headphone Design : A Tutorial Review*.; 2006.
46. DiscoverCircuits. Headphone/Headset Circuits. <http://www.discovercircuits.com/A/a-headphone.htm>.
47. Yonata J, Headphonesty. Ultimate Guide to DSP Audio. <https://www.headphonesty.com/2022/01/dsp-audio/>. Published online March 21, 2022.
48. Krol J, CNN Underscored. The best over-ear headphones of 2022. <https://us.cnn.com/cnn-underscored/reviews/best-over-ear-headphones>. Published online January 31, 2022.
49. Dragan L, Wirecutter. The Best Over-Ear Headphones. <https://www.nytimes.com/wirecutter/reviews/best-over-ear-headphones/>. Published online February 7, 2022.
50. Cox J, Roberts B, What Hi-Fi. Best over-ear headphones 2022: wired and wireless over-ears for all budgets. <https://www.whathifi.com/best-buys/headphones/best-over-ear-headphones>. Published online March 28, 2022.
51. McCuaig V, RTINGS. The 17 Best Headphone Brands - Spring 2022 Reviews. <https://www.rtings.com/headphones/reviews/best/brands>. Published online May 2, 2022.
52. Sony. Sony, Electrónica, Auriculares WH-1000XM4. <https://www.sony.es/electronics/diadema/wh-1000xm4>.
53. beyerdynamic. beyerdynamic, Headphones & Headsets, DT 900 PRO X. <https://europe.beyerdynamic.com/dt-900-pro-x.html>.
54. Jabra. Jabra, Auriculares, Elite 85h. <https://www.jabra.es/bluetooth-headsets/jabra-elite-85h>.
55. Grado Labs. Grado Labs, Headphones, SR325x Prestige Series. <https://gradolabs.com/headphones/prestige-series/item/131-sr325x>.
56. Sennheiser. Sennheiser, Headphones, HD 569. <https://www.sennheiser-hearing.com/en-DE/p/around-ear-headphones-stereo-mic-hd-569/>.
57. Matson J, Scientific American. Physics tricks could make for one-way soundproofing. <https://blogs.scientificamerican.com/observations/physics-tricks-could-make-for-one-way-soundproofing/>. Published online April 27, 2011.
58. Acoustiblok UK. 30 TYPES OF SOUNDPROOFING MATERIALS EXPLAINED. <https://www.acoustiblok.co.uk/soundproofing-materials/>. Published online March 16, 2020.
59. Sony España. Cómo utilizar el control táctil de los auriculares inalámbricos WH-XB910N de Sony. https://www.youtube.com/watch?v=Or3ktLEN7ys&ab_channel=SonyEspa%C3%B1a.

60. Ultimate Ears. ULTIMATE FAMILY, Wireless Speakers. <https://www.ultimateears.com/es-es/wireless-speakers.html>.
61. Apple. AirPods Max. <https://www.apple.com/es/airpods-max/>.
62. JLab. Studio Pro Wireless Over-Ear Headphones. <https://www.jlab.com/products/studio-pro-wireless-over-ear-headphones>.
63. Sennheiser. HD 800 S. <https://www.sennheiser-hearing.com/es-MX/p/hd-800-s/>.
64. Bose. Bose Noise Cancelling Headphones 700. https://www.bose.es/es_es/products/headphones/noise_cancelling_headphones/noise-cancelling-headphones-700.html.
65. Wikipedia. Diaphragm (optics). [https://en.wikipedia.org/wiki/Diaphragm_\(optics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Diaphragm_(optics)).
66. Tanerxun. How to Design Mechanical Iris/Iris diaphragm. <https://www.tanerxun.com/mechanical-iris-shutter-mechanism/.html>. Published online May 7, 2022.
67. MATLAB, MathWorks. Active Noise Control with Simulink Real-Time. <https://es.mathworks.com/help/audio/ug/active-noise-control-with-simulink.html>.
68. MATLAB, MathWorks. Active Noise Control Using a Filtered-X LMS FIR Adaptive Filter. <https://es.mathworks.com/help/audio/ug/active-noise-control-using-a-filtered-x-lms-fir-adaptive-filter.html>.
69. MATLAB, MathWorks. Parametric Audio Equalizer. <https://es.mathworks.com/help/dsp/ug/parametric-audio-equalizer.html>.
70. MATLAB, MathWorks. Parametric Equalizer Design. <https://es.mathworks.com/help/audio/ug/parametric-equalizer-design.html>.
71. Iris Calculator. Refine your iris design with the blade overlap control. <https://iris-calculator.com/blade-overlap-control/>. Published online 2020.
72. Iris Calculator. Spaghetti iris dismantled and reassembled. https://www.youtube.com/watch?v=hFgHeSb7DFk&ab_channel=IrisCalculator.
73. Tome Rodrigo. How The Lens Aperture Mechanism Works In Detail - How It Works Canon 50mm f1.8 II. https://www.youtube.com/watch?v=cR7cibDvYyo&ab_channel=TomeRodrigo.
74. Iris Calculator. Iris Calculator, Design. <https://iris-calculator.com/design/>.
75. RetroTechJournal, Schaefer K. Building a Motorized Iris Diaphragm. <https://retrotechjournal.com/2010/08/09/building-a-motorized-iris-diaphragm/>. Published online August 9, 2010.
76. Kurt Schaefer. Iris Diaphragm Under Servo Control. https://www.youtube.com/watch?v=WHPrGHBgsaA&t=21s&ab_channel=KurtSchaefer.
77. Instructables, kommodore. How to Make a 12 Leaves Mechanical Irirs. <https://www.instructables.com/How-to-make-a-12-leaves-Mechanical-Irirs/>. Published online August 18, 2011.

78. Magnet Expert. MAGNETIC PROPERTIES OF NEODYMIUM MAGNETS.
<https://www.magnetexpert.com/magnetic-properties-of-neodymium-magnets-i694>.
79. Qualcomm. CSR8670, Embedded Flash Solution for Bluetooth Audio Applications.
<https://www.qualcomm.com/products/application/audio/csr8670>.
80. Qualcomm. Qualcomm® CSR8670 Bluetooth Audio Platform.
<https://docs.qualcomm.com/bundle/publicresource/87-CE851-1.pdf>.
81. Fox A, My New Microphone. Do All Headphones & Earphones Have Built-In Microphones? <https://mynewmicrophone.com/do-all-headphones-earphones-have-built-in-microphones/>.
82. Eastman. Eastman Trēva™ engineering bioplastic.
<https://www.eastman.com/Brands/Treva/Pages/Overview.aspx>.
83. Eastman. Eastman TREVA™ engineering bioplastic – General brochure.
https://www.eastman.com/Literature_Center/S/SPMBS4475.pdf.
84. Eastman. SP-MBS-5431 Injection molding processing and design guide.
https://www.eastman.com/Literature_Center/S/SPMBS5431.pdf.
85. Eastman. Acoustics Advantages of Eastman Polymers.
https://www.eastman.com/Literature_Center/S/SPMBS8019.pdf.
86. Quigley JP, Wiggins D. *Eastman and DW Designs Showcase Audio Clarity of Eastman Tritan™ Copolyester and Eastman Trēva™ Engineering Bioplastics.*; 2018.
87. Monarch Metal Inc. Stainless Steel: What's the Difference Between 304 and 316?
<https://www.monarchmetal.com/blog/stainless-steel-whats-the-difference-between-304-and-316/>. Published online May 18, 2016.
88. Confer S. Faux Leather vs Real Leather: Which One is More Eco Friendly?
<https://www.nomomente.org/post/faux-leather-vs-real-leather>. Published online November 29, 2021.
89. Piñatex®. Piñatex, About Us. <https://www.ananas-anam.com/about-us/>.
90. Cowin Audio. E7 Active noise cancelling bluetooth over-ear headphones.
<https://www.cowinaudio.com/products/cowin-e7-noise-cancelling-headphone>.

(Annexos)

1. D. Deopa, H.K. Thakkar, Prakash C. Anthropometric measurements of external ear of medical students in Uttarakhand Region. *J Anat Soc India*. 2013;62.
2. Kimin B, Jung. Eui S. Ear shape categorization for ergonomic product design. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2020;80.
3. Lee W, Lee B, Yang X. A 3D anthropometric sizing analysis system based on North American CAESAR 3D scan data for design of head wearable products. *Computers & Industrial Engineering*. 2018;117.

