

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR DE GANDIA
Màster en Enginyeria Acústica



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA POLITÈCNICA
SUPERIOR DE GANDIA

**“AVALUACIO DE L'EFICÀCIA DEL SO
D'ALERTA DELS VEHICLES
ELÈCTRICS EN LA PERCEPCIÓ DELS
VIANANTS: PROPOSTES PER A LA
FUTURA IMPLANTACIÓ”**

TREBALL FI DE MÀSTER

Autor:
FERRAN MOCHOLÍ BELENGUER

Tutor:
**FRANCISCO SALES CASTELLS
RAMÓN**

GANDIA, 2019

Agraïments

Al meu tutor Paco per l'ajuda prestada i la llibertat creativa que m'ha deixat durant tot el procés.

A mos pares, Fernando i Pili, per haver fet de mi la persona que sóc, de la qual estic molt orgullós, i per recolzar-me en totes les decisions que prenc.

Al meu germà Eduard per estar ahí sempre i ser el meu company de vida.

A Salva per traure sempre el millor de mi, contagiar-me el seu optimisme i fer-me vore que la vida pot ser molt més senzilla del que pareix.

Als meus companys de màster per acollir-me com un més i ajudar-me en tot el que he necessitat a pesar de la dispensa acadèmica.

Resum

La transformació del transport és ja una realitat. Les noves tecnologies aplicades a l'automoció, el big data i l'economia compartida estan canviant la forma en què la població s'acosta al món del transport. De fet, en els últims anys hem vist una massiva i revolucionària proliferació de vehicles elèctrics de mobilitat personal en les principals capitals mundials que ha obligat a redactar ràpidament diverses normatives i polítiques per a poder aixina controlar i gestionar el seu ús de manera eficient.

No obstant, tot i que actualment s'ha desenvolupat nova legislació per a fomentar la transformació de les ciutats convencionals en Smart Green Cities en què el nombre de vehicles de combustió es reduïska gradualment, hi ha certa problemàtica amb els vehicles elèctrics propiciada per la seua insonoritat. Aquesta és la raó per la qual, l'Administració Nacional de Seguretat del Trànsit dels EUA i la Unió Europea han exigit que a partir dels anys 2020 i 2021 respectivament, els vehicles hauran d'incloure sistemes d'alerta per a advertir els vianants de la seua presència, la qual cosa pretén reduir els accidents deguts a aquesta causa. De totes formes, a pesar de l'exigència, no s'ha especificat un tipus de senyal concreta ni unes característiques bàsiques d'emissió, és a dir, s'ha oferit llibertat creativa baix certes premisses, el qual està provocant que cada companyia automobilística estiga desenvolupant de manera independent la seua pròpia tecnologia i sonoritat.

Aleshores, amb les premisses anteriors i amb el propòsit de facilitar la mobilitat dels usuaris, incrementar la seguretat viària, i consegüentment, aportar solucions al sector ITS (Intelligent Transportation Systems) en un moment tan crucial políticament i tecnològicament, aquest treball fi de màster es centrarà en l'avaluació del nivell de pressió sonora òptim que hauria de ser emès pels vehicles elèctrics per a garantir la seguretat dels vianants. Això comportarà l'anàlisi de diferents tipus de senyals, el disseny i implementació d'un sistema capaç d'emetre i monitoritzar el soroll de fons, la realització de proves i assajos en entorns reals i un posterior anàlisi de totes les dades obtingudes.

Resumen

La transformación del transporte es ya una realidad. Las nuevas tecnologías aplicadas a la automoción, el big data y la economía compartida están cambiando la forma en la que la población se acerca al mundo del transporte. De hecho, en los últimos años hemos visto una masiva y revolucionaria proliferación de vehículos eléctricos de movilidad personal en las principales capitales mundiales, la cual ha obligado a redactar rápidamente diversas normativas y políticas para así controlar y gestionar su uso de manera eficiente.

No obstante, a pesar de que actualmente se ha desarrollado nueva legislación para fomentar la transformación de las ciudades convencionales en Smart Green Cities en las que el número de vehículos de combustión se reduzca gradualmente, existe cierta problemática con los vehículos eléctricos propiciada por su insonoridad. Esta es la razón por la que la Administración Nacional de Seguridad del Tráfico de los EE.UU y la Unión Europea han exigido que a partir de los años 2020 y 2021 respectivamente, los vehículos deberán incluir sistemas de alerta para advertir a los viandantes de su presencia, lo cual pretende reducir los accidentes debidos a esta causa. Sin embargo, a pesar de la exigencia, no se ha establecido un tipo de señal concreta ni unas características de emisión, es decir, se ha ofrecido libertad creativa bajo ciertas premisas, lo cual ha provocado que cada compañía automovilística esté desarrollando de manera independiente su propia tecnología y sonoridad.

Así pues, con las premisas anteriores y con el propósito de facilitar la movilidad de los usuarios, incrementar la seguridad vial, y consecuentemente, aportar soluciones al sector ITS (Sistemas Inteligentes de Transporte) en un momento tan crucial, política y tecnológicamente, este trabajo fin de máster se centrará en la evaluación del nivel de presión sonora óptimo que debería ser emitido por los vehículos eléctricos para así garantizar la seguridad de los viandantes. Ello conllevará el análisis de distintos tipos de señales, el diseño e implementación de un sistema capaz de emitir y monitorizar del ruido de fondo, la realización de pruebas y ensayos en entornos reales y un posterior análisis de todos los datos obtenidos.

Abstract

The transformation of transport is a reality. New technologies applied to the automotive industry, big data and shared economy are changing the way people approach the world of transport. In fact, in recent years we have seen a massive and revolutionary proliferation of electric vehicles for personal mobility in the main world capitals, which has forced the drafting of various regulations and policies quickly in order to control and manage their use efficiently.

However, although new legislation has been developed to promote the transformation of conventional cities into Smart Green Cities in which the number of combustion vehicles is gradually reduced, there is a problem with electric vehicles due to their soundproofing. This is the reason why the National Traffic Safety Administration (U.S.) and the European Union have demanded that from the years 2020 and 2021 respectively, the vehicles must include warning systems to warn pedestrians of their presence, which aims to reduce accidents due to this cause. However, the problem arises because despite the requirement, no specific signal type or emission characteristics have been established. They have only determined a few premises, which has caused each car company to be developing independently its own technology and sound.

Therefore, with the previous premises and with the purpose of facilitating the mobility of users, increasing road safety, and consequently, providing solutions to the ITS (Intelligent Transportation Systems) at such a crucial time, politically and technologically, this project will focus on the evaluation of the optimal sound pressure level that should be emitted by electric vehicles in order to guarantee the safety of pedestrians. This will involve the analysis of different types of signals, the design and implementation of a system capable of emitting and monitoring the background noise, the realization of tests and trials in real environments and a subsequent analysis of all the data obtained.

Índex

1. Introducció i objectius

1.1 Contextualització	1
1.2 Justificació	4
1.3 Objectius i organització	5

2. Vehicles elèctrics

2.1 Situació actual	7
2.2 Necessitat de sistemes d'alerta acústica	10

3. Problemàtica actual

3.1 Contaminació acústica	15
3.2 Obligatorietat de sistemes d'alerta.	16
3.3 Caracterització del soroll	18
3.4 Què soroll s'ha d'emetre?.	21

4. Sistema de captació i emissió

4.1 Introducció	23
4.2 Captació	24
4.3 Emissió	29
4.4 Emmagatzematge i reproducció	32
4.5 Caracterització dels nivells d'emissió	37
4.6 Implementació del sistema complet	39

5. Senyals per als sistemes d'alerta

5.1 Introducció	46
5.2 Caracterització de senyals	47
5.3 Probes i resultats	50

6. Assajos en entorns reals

6.1 Preparatori	59
6.2 Realització de las probes	60
6.3 Resultats	63
6.4 Programació final a partir dels resultats	68

7. Conclusions

7.1 Conclusions	72
7.2 Línies futures	74
7.3 Viabilitat econòmica	76
7.4 Distribució temporal del treball	77

8. Bibliografia

Capítol 1

Introducció i objectius

1.1 Contextualització

El sector del transport està en constant canvi i evolució a causa de la integració cada vegada més interna i global de les tecnologies, les quals estan actualment tractant d'aconseguir un transport intel·ligent i col·laboratiu que cada vegada siga menys contaminant. No obstant, amb el continu creixement de la població mundial, s'espera encara un major augment del parc vehicular en els propers anys, la qual cosa es traduirà properament en un trànsit insostenible dins les principals ciutats si no es prenen mesures al respecte [1].

Les imminents conseqüències d'aquest creixement estaran estretament relacionades amb la pèrdua de productivitat, l'augment d'accidents i contaminació i el seu corresponent impacte negatiu en la salut pública. Per tant, per tal de minimitzar tots aquests efectes, augmentar la seguretat viària i protegir el medi ambient, la gestió i el control del trànsit emergixen hui en dia com una prioritat dins dels Sistemes Intel·ligents de Transport [2].

Tot l'anterior implica una contínua instal·lació i millora de la infraestructura viària actual, la qual s'està redefinint a si mateixa en els nostres dies. Si fa uns anys aquesta es limitava merament a components físics com barreres, semàfors i senyals de trànsit, la futura infraestructura viària es veurà obligada a incloure components com drons, xarxes inalàmbriques i intel·ligència artificial per tal d'adaptar-se als canvis tecnològics actuals [3]. A més, degut a que les carreteres cobreixen una gran proporció de la superfície terrestre, especialment dins de ciutats, el futur ideal seria que la gran quantitat de tecnologies emergents pogueren convertir aquest element, actualment passiu, en un element un poc més productiu.

Aquesta és la principal raó per la qual cada vegada és més freqüent escoltar parlar de les Smart Cities o les denominades ciutats intel·ligents [4]. Aquest terme fa referència al desenvolupament urbà basat en la sostenibilitat que s'està produint en les principals capitals mundials a causa de les noves polítiques urbanes, les quals s'estan centrant en inversions socials, millora d'infraestructures d'energia i transport, desenvolupament de noves tecnologies de comunicació i moltes altres accions que contempen i promouen qualitat de vida sense interferir amb un desenvolupament econòmic-ambiental sostenible.

Aquesta transformació actual de les ciutats cap metròpolis dinàmiques que ajuden al benestar social s'ha vist especialment afectada per la revolució tecnològica sofrida des que Internet va arribar a les nostres vides. A més, amb l'auge vigent d'Internet of Things (IOT) i la tecnologia 5G, s'estima que la quantitat de dispositius connectats a Internet dins de les ciutats creixerà considerablement en els propers anys, incloent també tot tipus de vehicles i infraestructura [5]. Aleshores, les ciutats quedaran totalment sensoritzades. No obstant, perquè això siga possible, els corresponents ajuntaments hauran d'invertir grans quantitats econòmiques, la qual cosa comportarà indirectament la creació i aplicació de noves normatives i polítiques urbanes.

Per tant, de tota la informació anterior es desprèn una idea fonamental: les ciutats intel·ligents necessiten serveis de transport intel·ligents. El moviment adequat i segur de persones, béns i serveis ha demostrat accelerar el creixement i el desenvolupament de la població, i per tant, una xarxa de transport ben planificada i eficientment administrada ha de ser una prioritat per a qualsevol societat. I és que el sistema de transport d'una ciutat és un dels elements bàsics per al bon funcionament de la mateixa, ja que en absència d'enginyeria, plans de trànsit adequats i seguretat viària, la vida per a les persones que residixen a les àrees urbanes es complica.

En les últimes dècades, el transport terrestre ha augmentat fins al seu nivell màxim [6], i com és predictable, a mesura que creixen els requisits per a la capacitat del transport, és cada vegada més difícil per a les entitats encarregades de la seua gestió proporcionar serveis segurs i d'alta qualitat. A més, a tot l'anterior es suma un altre problema afegit: la mobilitat a les principals ciutats ha sofrit enormes canvis a causa del desenvolupament tecnològic i la proliferació de nous vehicles elèctrics de mobilitat personal, la qual cosa està suposant actualment un gran repte per a la convivència i seguretat de tots els usuaris.

En definitiva, les carreteres s'estan saturant, i això està provocant problemes de transport relacionats amb:

- La congestió del trànsit.
- L'impacte mediambiental.
- El consum d'energia.
- Les pèrdues econòmiques.
- Els accidents i la seguretat.

I precisament serà en aquest últim problema en el qual es centre el nostre projecte fi de màster. I és que davant l'enigmàtica i imminent regulació viària prevista per a començaments de 2020 i 2021 sobre l'obligatorietat de sonorització de vehicles elèctrics [7], sembla lògic i justificable la realització d'un estudi que, almenys, ajude en l'obtenció del nivell de emissió mínim òptim que aquests haurien d'emetre per ser percebuts pels vianants en funció de l'entorn sense produir major contaminació acústica de la necessària.

Per aquest motiu i en vista que el sector ITS tracta d'oferir nous enfocaments que proporcionen infraestructura avançada i solucions de gestió de trànsit i mobilitat, es planteja un projecte que faci ús de les diferents tecnologies electròniques i de comunicació actuals amb l'objectiu d'ajudar en l'optimització de la seguretat viària deguda a la insonoritat produïda pels diferents vehicles elèctrics. Aixina, aquest projecte es basarà en la implementació d'un sistema mitjançant Arduino que permeti estudiar en primera instància, quin és el nivell de pressió sonora mínim necessari perquè els vianants puguin detectar aquest tipus de vehicles en funció del soroll de fons, la qual cosa ajudarà en les següents etapes d'investigació relacionades amb aquest tema d'actual debat.



Figura 1. Diferents vehicles elèctrics que no tenen sonoritat.

1.2 Justificació

La motivació que comporta la realització d'aquest treball ve justificada pels següents fets:

- La recent normativa elaborada per la Unió Europea sobre l'obligatorietat de sistemes d'alerta en vehicles elèctrics per a l'any 2021.
- Les mesures preventives i correctores de caràcter mediambiental per a combatre la contaminació i reduir el canvi climàtic que estan adoptant les principals ciutats i països.
- La decisió cada vegada més unànime dels principals països per accelerar la introducció dels vehicles elèctrics mitjançant diferents tipus d'incentius.
- La ràpida proliferació de vehicles elèctrics de mobilitat personal produïda en els últims anys.
- Les actuals problemàtiques relacionades amb la sinistralitat dels vehicles elèctrics i la seua convivència amb la resta de vehicles.

A més, totes aquestes mesures anteriors, estan promogudes també a la mateixa vegada per:

- L'obligatorietat per als fabricants automobilístics d'obtenir emissions baixes en el còmput global dels seus vehicles (necessiten incorporar vehicles no contaminants en la seua flota).
- Les contínues restriccions a certes zones de les ciutats on només es permet l'ús de vehicles elèctrics o de certificació ECO i ZERO.

Per tant, observem que a pesar de que el vehicle elèctric semblava vindre per a solucionar tots els problemes anteriors, l'absència de soroll d'aquest tipus de vehicles, encara que redueix la contaminació acústica, està suposant un gran risc, ja que els vianants no són del tot conscients la seua circulació. La nostra percepció de la presència d'un vehicle és totalment auditiva si no es troba en el nostre camp de visió i parcialment auditiva en cas contrari, i més en els nostres dies en què ens distraïem fàcilment i fixem moltes vegades la nostra mirada en els telèfons mòbils en situacions on no deuríem. Com a conseqüència, s'estan produint atropellaments que no ocorrien amb els cotxes de combustió 'clàssics', la qual cosa està ocasionant un problema greu de seguretat viària [8].

Aleshores, davant d'aquesta clara i evident necessitat d'implementar sistemes d'alerta a causa de la recent normativa europea i els problemes anteriorment citats, sorgix la motivació i realització d'aquest treball d'investigació.

1.3 Objectius i organització

Després d'introduir el projecte i descriure la motivació que comporta el seu desenvolupament dins dels Sistemes Intel·ligents de Transport, anem a definir i concretar quin és l'objectiu principal d'aquest:

Un dels majors problemes dels vehicles elèctrics és que solen passar inadvertits pels vianants, sent aquesta una causa potencial d'atropellaments i col·lisions. Aquest problema es deu principalment a l'absència de soroll perceptible generat pels motors elèctrics. Sorprenentment, aquesta propietat positiva per a la reducció de la contaminació acústica, resulta contràriament en un problema de seguretat viària. A més, amb l'actual foment dels vehicles de tracció elèctrica per les noves polítiques mediambientals, aquesta problemàtica es podria veure fins i tot incrementada en els propers anys. És per aquest motiu pel qual la futura regulació viària prevista per al 2020 contempla aspectes sobre el soroll i sons d'alerta que hauran d'emetre els vehicles. En conseqüència, en el marc d'aquesta problemàtica, es proposa un treball fi de màster que avalue les característiques del so que haurien d'emetre els vehicles elèctrics per a poder ser aixina detectats pels vianants però sense elevar innecessàriament el nivell de contaminació acústica urbana.

Per a aconseguir aquest propòsit, s'han fixat també altres objectius parcials que complementen la idea principal del projecte. Aquests són:

Fase	Objectius
Estat de l'art	Anàlisi de l'estat de l'art: recollida bibliogràfica d'informació relacionada amb les problemàtiques actuals per a generar solucions factibles i eficients.
	Estudi de les especificacions establides per la normativa europea i internacional referida al control i gestió del trànsit urbà.
Fase inicial	Caracterització acústica del so generat pels vehicles elèctrics i de combustió.
	Anàlisi dels requeriments electroacústics necessaris per a reproduir possibles sons d'alerta.

Metodologia	Implementació d'un sistema mitjançant Arduino per a monitoritzar el nivell de soroll ambient.
	Implementació d'un sistema mitjançant Arduino capaç de reproduir diferents senyals acústiques d'alerta.
	Implementació d'un sistema adaptatiu que emeta diferents senyals, monitoritzi el soroll de fons i mostri la diferència entre elles per un display.
Proves en entorns reals	Realització d'assajos en entorns reals mitjançant la utilització del sistema dissenyat.
	Verificació de resultats.
Tractament de dades	Recollida i tractament de les dades obtingudes.
	Realització d'un anàlisi estadístic per obtenir diferents valors òptims en funció del soroll ambient.
Plantejaments futurs	Estudi i disseny de possibles alternatives sonores al problema plantejat.
Finalització	Redacció de la memòria del Treball Fi de Màster.
	Redacció d'un article científic per ser publicat en revistes d'alt impacte

Capítol 2

Vehicles elèctrics

2.1 Situació actual

Actualment, la venda i matriculació de vehicles continua a l'alça, tant a Espanya com a la resta del món [9], sent el desplaçament mitjançant vehicles privats el mètode de transport més comú dins de les principals ciutats. L'evolució d'aquest creixement al nostre país es pot observar a la Figura 2, la qual mostra que encara que el nombre de nous conductors ha disminuït respecte a anys anteriors, la qual cosa s'atribueix principalment a la crisi econòmica de principis de segle, la tendència és que el trànsit i el nombre de vehicles a les carreteres continue incrementant-se.

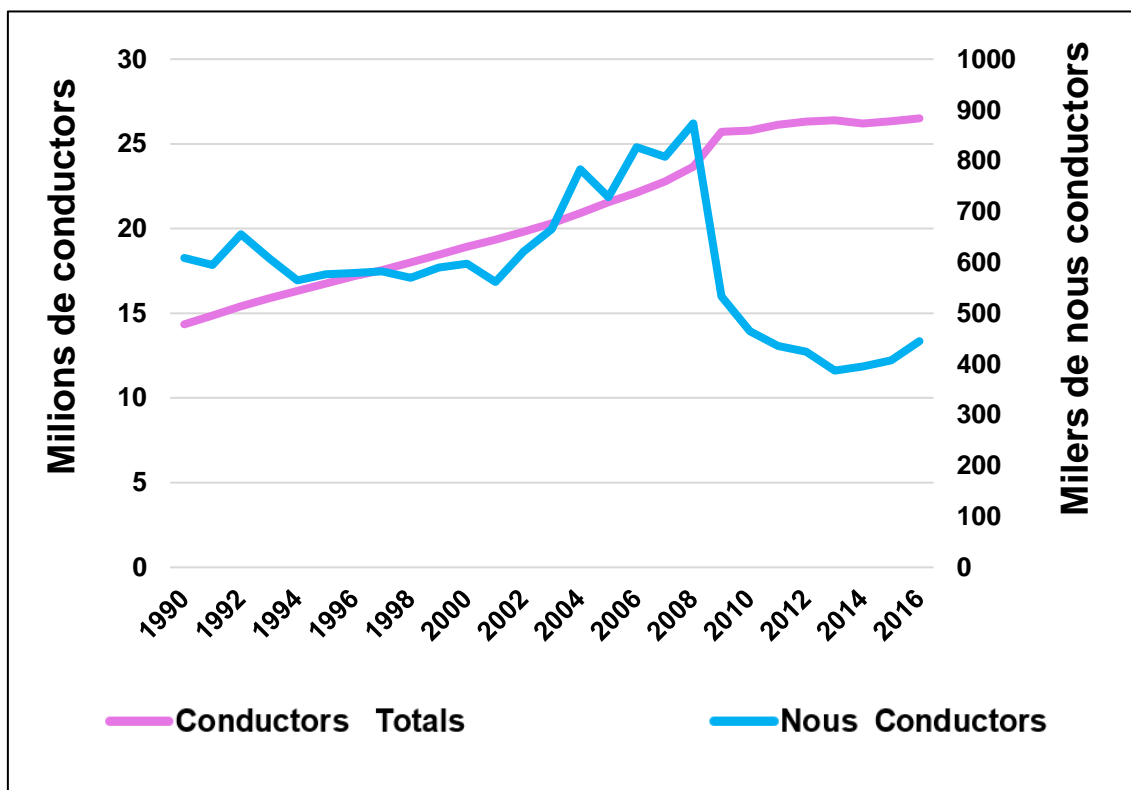


Figura 2. Evolució de conductors a Espanya.

Per això mateixa, les entitats responsables de la gestió del trànsit de les principals capitals mundials estan intentat elaborar i establir noves polítiques mediambientals i ecològiques per a aixina potenciar l'ús del transport públic, facilitar l'elèctric i reduir la quantitat de vehicles de combustió interna en les carreteres [10].

No obstant, els vehicles elèctrics encara no han acabat de trobar el seu lloc al nostre país. A Espanya hi ha actualment al voltant de 63.000 vehicles elèctrics en circulació [11], dels quals 25.000 són automòbils (tingam en compte que aquestos representen tan sols l'1% del parc automobilístic total de turismes del nostre país, situat aproximadament en 24 milions). A més, cal notar que aquesta xifra quasi la igualen les motocicletes i els ciclomotors, que junts sumen més de 21.000 vehicles. La resta, tal com es mostra a la Figura 3, es repartixen entre furgonetes, camions, autobusos i altres tipus de vehicles.

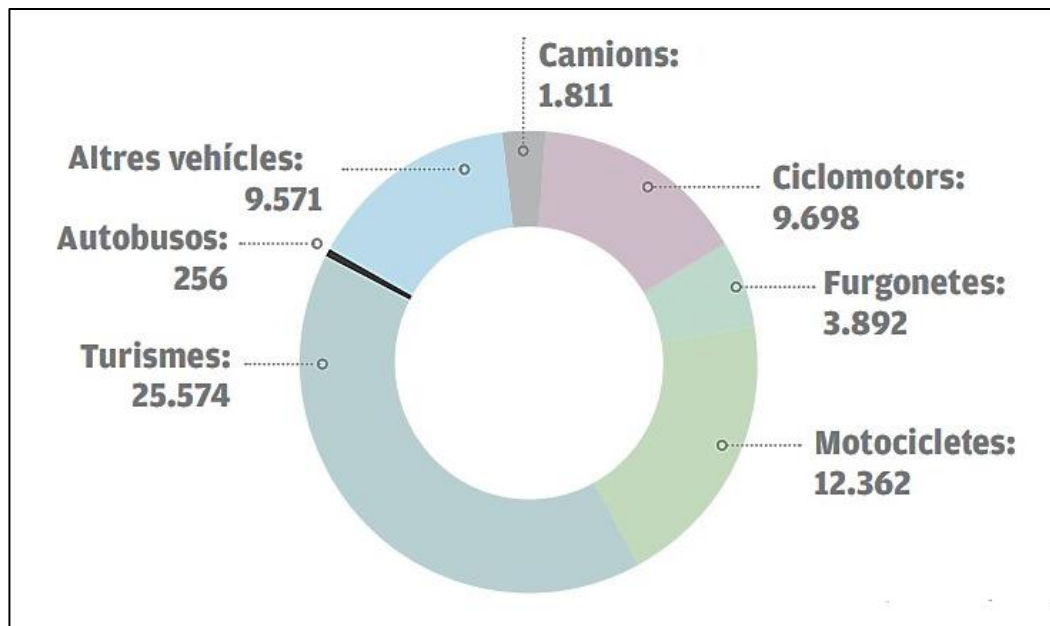


Figura 3. Parc de vehicles elèctrics per categories.

Respecte a la seua presència per comunitats autònomes, Madrid i Catalunya destaquen enfront de la resta. A Madrid es mouen diàriament 21.672 vehicles elèctrics, mentre que Catalunya compta amb una flota de 16.708 vehicles d'aquest tipus en circulació. El pòdium el tanca la Comunitat València amb 5.339 unitats elèctriques, i en el següent escaló ja trobaríem comunitats com el País Basc, Galícia, Castella i Lleó, Aragó, Múrcia, Balears i Canàries, les quals sobrepassen totes la barrera dels 1.000 vehicles elèctrics.



Figura 4. Quantitat de vehicles elèctrics per comunitats.

En el que portem de 2019, s'han matriculat un total de 5.459 automòbils elèctrics purs [12]. De fet, l'any passat va ser el cinquè any consecutiu en què els vehicles elèctrics van doblar quasi del tot les seues vendes (13.882 comercialitzats a 2018 enfront dels 8.611 de 2017). A més, sembla que aquesta tendència no només es mantindrà aquest any, sinó que serà encara més gran segons llancen les dades de comercialització dels primers mesos de registre. No obstant, si comparem aquestes quantitats amb el nombre total de vendes i matriculacions globals, aquestes segueixen quedant encara en resultats irrisoris, ja que en el mateix període de temps es van vendre a Espanya aproximadament 700.000 turismes "tradicionals".

En canvi, aquesta situació no es dona de la mateixa manera a la resta del món, ja que trobem països europeus com Noruega, paradís per excel·lència del cotxe elèctric, on la quota de penetració arriba actualment al 22%. De fet, el govern noruec planteja prohibir la venda de cotxes de combustió per 2025 [13].

Però, tot i la situació actual a Espanya, la tendència que seguirà la mobilitat urbana global és clara i evident:

- Es tractarà de reduir els nivells de contaminació mitjançant l'impuls dels vehicles elèctrics.
- Es tractarà d'eliminar pràcticament la venda i ús de vehicles de combustió.

➤ Es tractarà de disminuir l'ús de vehicles privats en ciutats mitjançant diferents mesures:

- Restricció d'accessos.
- Taxes i impostos.
- Impuls del transport públic.

2.2 Necessitat de sistemes d'alerta acústica

El canvi tecnològic propiciat per l'aparició de les aplicacions mòbils i les noves tecnologies està provocant un efecte inesperat en la mobilitat urbana de les principals ciutats, la qual cosa ha canviat per complet la forma típica de desplaçar-se. Amb elles, el compartir mitjans de transport s'ha convertit en una fórmula molt interessant i nova per als ciutadans. De fet, són diverses les grans empreses que han apostat per això i gràcies a les quals, els habitants de les ciutats s'han llançat a provar aquesta mobilitat compartida de cotxes, bicicletes, motos i patinets elèctrics.

No obstant, en els últims anys aquest tipus de vehicles han proliferat ràpidament en la nostra societat també per a l'ús personal i individual, la qual cosa ha obligat a redactar noves normatives a causa de la seua gran acceptació i instantània penetració. De fet, la mobilitat urbana està experimentant tants canvis en tan poc de temps, que la DGT s'ha vist obligada a elaborar la "Instrucció 16 / V-124" sobre "Vehicles de Mobilitat Personal" per a catalogar aquestes noves formes de transport que sorgixen quasi cada dia i enriquixen l'oferta de mitjans amb els que moures per les ciutats [14]. Aquesta intrucció distingeix entre:

Taula 1. Catalogació de vehicles de mobilitat personal.

Característiques	A	B	C ₀	C ₁	C ₂
Velocitat màxima	20 km/h	30 km/h	45 km/h	45 km/h	45 km/h
Masa	≤ 25 Kg	≤ 50 Kg	≤ 300 Kg	≤ 300 Kg	≤ 300 Kg
Capacitat de persones	1	1	1	3	3
Ample màxim	0,6	0,8	1,5	1,5	1,5
Ràdio de gir màxim	1 m	2 m	2 m	2 m	2 m
Altura màxima	2,1 m	2,1 m	2,1 m	2,1 m	2,1 m
Longitud màxima	1 m	1,9 m	1,9 m	1,9 m	1,9 m
Distribució de mercaderies	No	No	No	No	Sí

- Vehicles ‘Tipo A’: inclou vehicles de mobilitat personal de dimensions més menudes com patinets elèctrics xicotets i rodes i plataformes elèctriques.
- Vehicles ‘Tipo B’: inclou els vehicles de mobilitat personal de majors dimensions com els patinets elèctrics grans i seqways.
- Vehicles ‘Tipo C₀’: inclou els vehicles de més de dos rodes que s'utilitzen per a l'ús personal.
- Vehicles ‘Tipo C₁’: inclou els vehicles de més de dos rodes que s'utilitzen per a realitzar transport de persones.
- Vehicles ‘Tipo C₂’: inclou els vehicles de més de dos rodes destinats al transport de mercaderies.



Figura 5. Vehicles amb catalogació A.



Figura 6. Vehicles amb catalogació B.



Figura 7. Vehicles amb catalogació C.

Però a més de l'elaboració d'aquesta normativa per a catalogar els diferents vehicles i poder aixina gestionar el seu ús de manera eficient, hem de ser conscients de que aquests han passat a formar part de la flota de vehicles urbans que circula i conviu diàriament amb el resta d'usuaris i mitjans de transport, la qual cosa, està requerint cada vegada més tindre un major control sobre aquest tipus de vehicles.

Aquest seguiment es porta a terme mitjançant els sistemes de control de trànsit, en els quals, es diferencien tres capes tal i com s'observa a la Figura 8. La capa inferior, i per tant la més accessible per als usuaris, correspon a la infraestructura i els equips presents a la via, com per exemple els sensors, els actuadors, els panells de missatgeria variable, els semàfors, les càmeres i els reguladors de trànsit. Les sales de control o centres de gestió del trànsit formarien la capa superior, des dels quals, es rep constantment informació de tota la infraestructura desplegada i es controlen la majoria dels elements anteriors de forma remota. Finalment, la capa intermèdia la conformaria la xarxa de comunicacions, a través de la qual es realitza aquest intercanvi d'informació bidireccional entre les dues capes.



Figura 8. Organització d'un sistema de gestió i control de trànsit.

A més, comunament a l'àmbit vial, es distingeixen dos tipus de trànsit: el trànsit urbà i el trànsit interurbà. Diem que el trànsit interurbà és aquell que transcorre entre poblats o ciutats a través de les vies interurbanes i la gestió és dirigida per la Direcció General de Trànsit. En canvi, el trànsit urbà seria aquell que transcorre dins dels poblats i ciutats, sent aquest gestionat per cadascun dels ajuntaments corresponents. En conseqüència, sembla evident que la gestió del trànsit interurbà resultarà en general molt més senzilla, ja que aquesta bàsicament consistirà en obtenir informació dels sensors i mantindre informats als usuaris de les possibles incidències. Però en les vies urbanes, a part d'aquestes dos tasques, hi ha una complexitat addicional que sorgix precisament de la convivència de vianants, infraestructura i vehicles.

Aquest problema del trànsit urbà es dona en les interseccions, en les quals coexistixen vehicles i vianants, la qual cosa va obligar a les entitats responsables de la gestió del trànsit a instal·lar infraestructura que gestionara la preferència de pas a uns i altres alternativament mitjançant els més que coneguts semàfors, ja que a pesar que es van començar a utilitzar a mitjan segle XIX, han demostrat ser un sistema segur, econòmic i eficaç en aquesta tasca.

Però si aquesta faena ja resultava complicada simplement contemplant l'escenari de vehicles de combustió "clàssics" i vianants, aquesta s'ha vist exponencialment enrevessada amb la creació i foment de carrils bici i l'aparició de tots els vehicles elèctrics anteriorment anomenats, els quals circulen per aquestes vies que combinen trams per carretera i trams per vorera. Aquest fet ha complicat terriblement l'escenari urbà de tal manera que lamentablement, són quotidianes les notícies sobre atropellaments i fins i tot morts per aquesta problemàtica, el detonant del qual recau directament en la insonoritat d'aquest tipus de vehicles.

Per això mateixa, cada vegada es requereixen centres més grans, complexos i eficients per gestionar i controlar de manera eficaç les limitacions que ofereixen les infraestructures actuals. A més, naix també la necessitat de gestionar situacions que requereixen controls intel·ligents que no es poden controlar íntegrament des d'aquests centres, com és el cas del nostre projecte. Aleshores, a pesar de la instal·lació d'espines magnètiques en diversos punts conflictius per ajudar en la seua gestió [15], segueixen existint multitud de situacions com les de la Figura 9 en les que aquesta coexistència segueix suposant un perill potencial de seguretat viària.



Figura 9. Situacions vials perilloses.

De manera que, resulta més que evident que actualment es requereixen sistemes intel·ligents que ajuden en la gestió d'aquesta problemàtica actual, encara que de totes formes, les xifres parlen per si soles:

- Els automòbils elèctrics de major rendiment tenen un 40% més de probabilitats de patir un accident que un vehicle de combustió equivalent. Aquestes són les conclusions d'un informe elaborat per la companyia francesa d'assegurances AXA a base a les seues dades de reclamacions [16].
- Els cotxes elèctrics tenen fins a un 35% més possibilitats d'atropellar un vianant que un amb motor convencional. Aquesta xifra s'eleva al 57% pel que fa a la probabilitat d'accidentar-se amb un ciclista. Aquestes són les conclusions d'un estudi elaborat per l'Administració Nacional de Seguretat del Trànsit a les Carreteres d'Estats Units (NHTSA) [17].
- Els diversos vehicles elèctrics de mobilitat personal provoquen aproximadament un accident diari. En els primers mesos de 2019, es van produir cinc accidents mortals per patinets elèctrics, però es preveu que aquesta xifra es triplique el proper any. Aquestes són les conclusions d'un estudi elaborat per la Fundació Línia Directa [18].

Capítol 3

Problemàtica actual

3.1 Contaminació acústica

Per tots és conegut que la principal font de soroll ambiental a les principals ciutats és la causada pel trànsit. De fet, aquesta constitueix aproximadament el 80% de la contaminació total [19], una xifra tremendament elevada. No obstant, és curiós observar que les principals queixes referents a la contaminació urbana per part de la població no procedeixen d'aquesta font, sinó de la convivència ciutadana i de l'oci nocturn.

La incorporació dels vehicles de propulsió elèctrica en el trànsit urbà semblava que anava a obrir les esperances perquè el soroll ambiental que s'havia anat incrementant lleugerament durant les dos últimes dècades, finalment es reduiria. Però pareix ser que això finalment no serà aixina a causa de les raons anteriorment anomenades.

És cert que els vehicles de propulsió elèctrica aporten molts avantatges:

- Menor soroll: el cotxe elèctric és molt menys sorollós que els de gasolina, la qual cosa és un plus afegit per a reduir la contaminació acústica i augmentar la qualitat de vida de les grans ciutats.
- Zero emissions: els cotxes elèctrics no emeten gasos contaminants ni d'efecte hivernacle a l'atmosfera. Són vehicles que no necessiten de cap tipus de combustible per funcionar, ja que n'hi ha prou amb la càrrega de les seues bateries, de manera que en certa mesura, contribueixen a un desenvolupament mediambiental sostenible.
- Facilitats: amb l'objectiu de fomentar el seu ús, algunes ciutats ofereixen certs avantatges fiscals i bonificacions en les tarifes d'aparcament públic.

- **Simplicitat:** en comparació amb els vehicles de combustió, els vehicles elèctrics són més econòmics de mantindre, ja que com tenen una mecànica menys complicada, patixen teòricament menys avaries. A més, el consum també és menor, vora 1 euro per cada 100 km, una gran diferència respecte al preu en alça dels carburants tradicionals.

No obstant, a causa de la seua encara limitada autonomia, l'escassetat d'una xarxa adequada de carregadors ràpids i la gestió estatal de les energies, els vehicles de propulsió elèctrica encara no han tingut un impacte significatiu al país, ni a nivell comercial ni a nivell mediambiental. Més bé, tot el contrari, ja que una de les seues principals virtuts irònicament s'ha convertit en el seu principal contratemps: la seua insonoritat i els problemes de seguretat vial que aquesta ocasiona.

3.2 Obligatorietat de sistemes d'alerta

Un dels principals beneficis que presentaven els vehicles elèctrics i híbrids enfront dels vehicles de combustió era que no generaven soroll. Aquest fet es pensava que ajudaria gratament en la disminució de la contaminació acústica urbana tal com proposava l'Organització Mundial de la Salut, ja que l'exposició prolongada a grans nivells de soroll provoca danys i seqüeles irreversibles en la salut. Però com ja hem vist, aquesta virtut s'ha convertit en un inconvenient per a la seguretat de la resta d'usuaris.

Per això, a partir de l'1 de juliol de 2019 ha entrat en vigor una nova mesura de la Unió Europea que obliga als vehicles a seguir uns requisits mínims d'emissió de so perquè aquests puguin ser percebuts més fàcilment pels vianants [20]. Aleshores, ara caldrà equipar als vehicles amb el sistema d'alerta acústica AVAS (per les sigles en anglès de Acoustic Vehicle Alerting Systems). A més, aquesta mesura afectarà a tots els vehicles silenciosos de transport per carretera a Europa, és a dir, als vehicles híbrids i als vehicles elèctrics.

Es pretén que aquesta llei comunitària s'aplique als automòbils de nova homologació a partir del mateix 1 de juliol, però a partir de juliol de 2021, s'estendrà a tots els models que es comercialitzen. D'aquesta manera, la mesura pretén donar un temps d'adaptació als fabricants i als consumidors. Aquesta modificació va dirigida, segons ha indicat la pròpia institució, als vehicles de les categories N i M, és a dir, als vehicles destinats al transport de persones i mercaderies, però s'espera que aquesta s'acabe aplicant a la resta de vehicles de mobilitat personal. De fet, alguns ajuntaments ja han

començat a obligar a assegurar els patinets elèctrics precisament pels problemes que ocasionen.

Aixina és que, segons la normativa, els cotxes es veuran obligats a emetre sons quan vagen a menys de 20 quilòmetres per hora i quan circulen marxa enrere (a més velocitat s'entén que el soroll aerodinàmic i el dels neumàtics serà suficient). No obstant, el so que aquests emetixquen podrà ser dissenyat pels diferents fabricants, ja que la llei de la Unió Europea tan sols ha especificat que com a recomanació, aquest hauria de ser similar al d'un motor de combustió tradicional. L'única cosa que sí que ha fixat la Comissió Europea és el rang en el qual ha trobar-se el nivell d'emissió, en aquest cas, entre 56 i 75 dB. A més, assenyalen que quedarà totalment prohibida la desactivació manual d'aquest sistema, una opció que sí que era possible en alguns models avançats abans d'aquesta reforma.

Segons la Unió Europea, aquesta decisió es deu a que la reducció del soroll ha eliminat una font important del senyal acústic que advertia als usuaris més vulnerables de la via, com podien ser les persones amb discapacitat visual, els usuaris del carril bici o qualsevol vianant despistat, per tant, és tracta d'un canvi per a la millora de la seguretat de tots ells. De fet, hi ha diversos estudis que demostren que els vehicles híbrids i elèctrics causen molts més atropellaments que els vehicles convencionals, i a més, que els vianants, per tant, necessiten estar un 74% més a prop d'aquests vehicles per escoltar-los i evitar accidents [21].

Aquesta reforma europea havia estat dissenyant-se des de l'any 2018, però açò no sols es cosa d'Europa. La mateixa situació ha passat en els Estats Units, on també serà obligatori incloure un sistema d'alerta a partir de Setembre de 2020 a causa dels diversos estudis de la National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) que van relacionar les probabilitats d'estar involucrat en un accident amb els vehicles d'aquest tipus [22].





Figura 10. Principi de funcionament del sistema AVAS.

3.3 Caracterització del soroll

A les àrees urbanes de les principals metròpolis, el soroll i la contaminació és un dels principals problemes a afrontar. Això provoca que, per a caracteritzar la contaminació acústica d'una determinada ciutat, s'elaboren els anomenats mapes de soroll, els quals tracten de representar gràficament sobre un pla els nivells de pressió sonora per carrer o tram per a després prendre les mesures oportunes, però la realitat és que moltes zones dels nuclis urbans es troben actualment saturades acústicament a causa de l'elevat volum de trànsit.

El soroll emès per un cotxe es compon bàsicament de tres factors: el soroll emès pel motor, el soroll produït pel contacte de les rodes amb l'asfalt i el soroll produït pel tall del vent. Per tant, amb l'objectiu de tindre una primera comparativa simplista entre la sonoritat produïda pels dos tipus de vehicles, la Taula 2 mostra una confrontació entre vehicles de combustió i vehicles de tracció elèctrica pel que a soroll es refereix.

Taula 2. Comparativa del soroll generat per vehicles elèctrics i de combustió.

	Vehicles de combustió	Vehicles de tracció elèctrica
	A velocitats baixes, el soroll del motor és el predominant.	A baixes velocitats, el soroll produït pels cotxes elèctrics és molt baix, sent pràcticament inaudible.
	A mesura que el vehicle augmenta la seua velocitat, el soroll de les rodes cobra importància i fins i tot passa a ser el predominant (aproximadament a partir de 60km / h).	A partir d'aproximadament 30 km/h, el cotxe comença a ser audible gràcies al soroll de les rodes i del tall del vent. No obstant, ho és en menor grau que el vehicle de combustió.

Per tant, a pesar de que els vehicles tenen diferents de fonts de soroll com el motor, els neumàtics i el soroll aerodinàmic, es pot observar de la Taula 2 que la font de soroll dominant dependrà principalment de la velocitat del vehicle i de les seues pròpies característiques, raó per la qual, s'estan desenvolupant sons d'alerta que varien en funció d'aquesta.

De manera més detallada i ampliada, es podria dir que per a vehicles de combustió amb velocitats inferiors a 50 quilòmetres per hora, domina el soroll del motor, per a velocitats lleugerament superiors a aquesta, domina el soroll dels neumàtics, i per a velocitats major als 80 quilòmetres per hora, se li suma a aquesta última el soroll aerodinàmic [23].

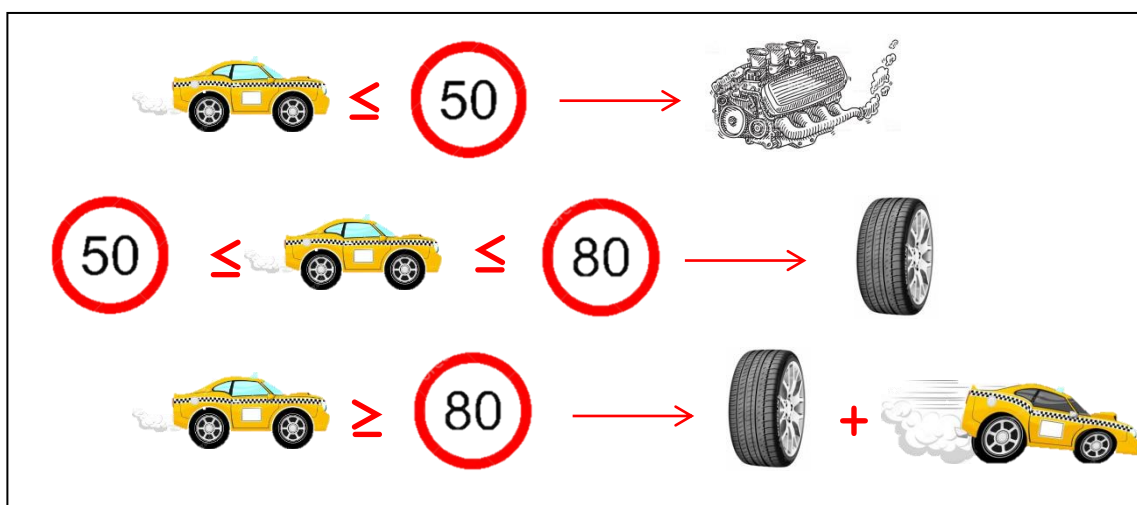


Figura 11. Principal font de soroll en vehicles de combustió en funció de la velocitat.

No obstant, la situació més freqüent en entorns urbans és l'arrancada dels vehicles quan estan parats en els semàfors. En aquests escenaris, el soroll del motor predomina notablement, radiant energia de baixa freqüència que generalment no pot ser absorbida pels elements constructius propers. En canvi, en vies més ràpides, com per exemple les de circumval·lació, on la velocitat està limitada a 80 km/h, o quan la circulació urbana és fluida i ràpida, el soroll del neumàtic és el predominant.

Les components de baixa freqüència radiades pel motor de combustió estan relacionades amb el seu tipus i el seu règim de gir. Aquesta energia de baixa freqüència és la que entra amb facilitat en els domicilis que donen al carrer i en conseqüència, és la culpable de les molèsties de la vida quotidiana dels ciutadans. A més, a peu de carrer, les components de baixa freqüència dificulten la comunicació verbal.

Hem vist que el motor elèctric oferix una sèrie d'avantatges interessants davant els problemes anteriors: és molt més silenciós, té un funcionament molt més equilibrat, no té vibracions, té un major rendiment, no emet gasos i a més, el seu manteniment és pràcticament nul. L'únic inconvenient sembla ser l'emmagatzematge d'energia, l'autonomia i la recàrrega, ja que des del punt de vista acústic, l'absència de vibracions i soroll el fan especialment interessant.

Però el problema és que els vehicles elèctrics són massa silenciosos en circulació urbana. A velocitats reduïdes, només radien soroll dels neumàtics, i a velocitats més elevades, se li sumen a aquests simplement el soroll aerodinàmic, la qual cosa genera un problema de seguretat viària. A més, generalment els vehicles elèctrics solen tindre una secció de neumàtics lleugerament inferior als vehicles de combustió, el que encara disminueix més la seua contribució sonora.

En conseqüència, la Figura 12 mostra el resultat d'un estudi on es va comparar el soroll emès pels vehicles de combustió i vehicles elèctrics per a velocitats de 0 a 30 km/h. La prova es va realitzar per la vesprada al pàrquing de la 'Ciutat Politècnica de la Innovació' de la Universitat Politècnica de València aprofitant aixina la tranquil·litat dels mesos estivals. Es va escollir també aquest lloc ja que el Grup de Sistemes de Control de Trànsit té un emplaçament ahí amb espines magnètiques i per tant, amb una cabina amb accés elèctric. El soroll de fons de l'escenari durant el mesurament sigué de 49 dB.

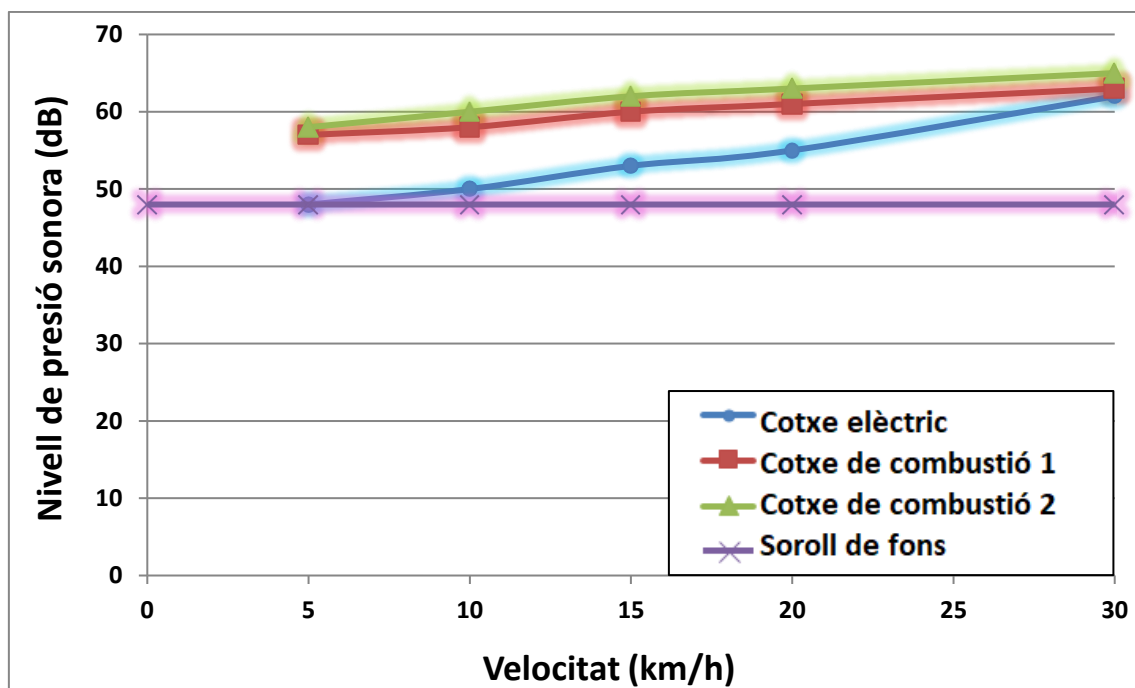


Figura 12. Comparativa de SPL en vehicles de combustió i elèctrics.

S'observa que a baixes velocitats, la diferència entre un vehicle de combustió i un vehicle elèctric pot ser realment significativa (al voltant de 10 dB). Per dalt de 20 i 30 km/h, el soroll produït pels neumàtics provoca que les diferències es facen menys pronunciades, raó per la qual, la Unió Europea ha exigit sistemes d'alerta per a velocitats inferiors a 20 km/h i l'Administració Nacional de Seguretat del Trànsit a les Carreteres d'EE.UU, per a velocitats inferiors a 30 km/h. A més, cal destacar que de la Figura 12 es desprèn també una idea fonamental: en entorns amb major soroll ambient, els quals són molt comuns en les principals vies de les ciutats, el so produït pel cotxe elèctric quedaria totalment emmascarat pel soroll de fons, pràcticament independent de la velocitat d'aquest.

3.4 Què soroll s'ha d'emetre?

Una volta coneixem el motiu i la importància dels sistemes d'alerta que hauran de ser implementats en els propers anys, la següent pregunta lògica que hauríem de plantejar-se seria: com ha de ser aquest soroll? La Unió Europea tan sols ha detallat que com a recomanació, aquest hauria de ser semblant al d'un cotxe de combustió 'típic', però clar, al ser generat de forma artificial, hauríem de jugar amb aquest perquè siga més agradable i menys molest, o simplement hauríem de replicar-lo? La resposta sembla encara no estar clara.

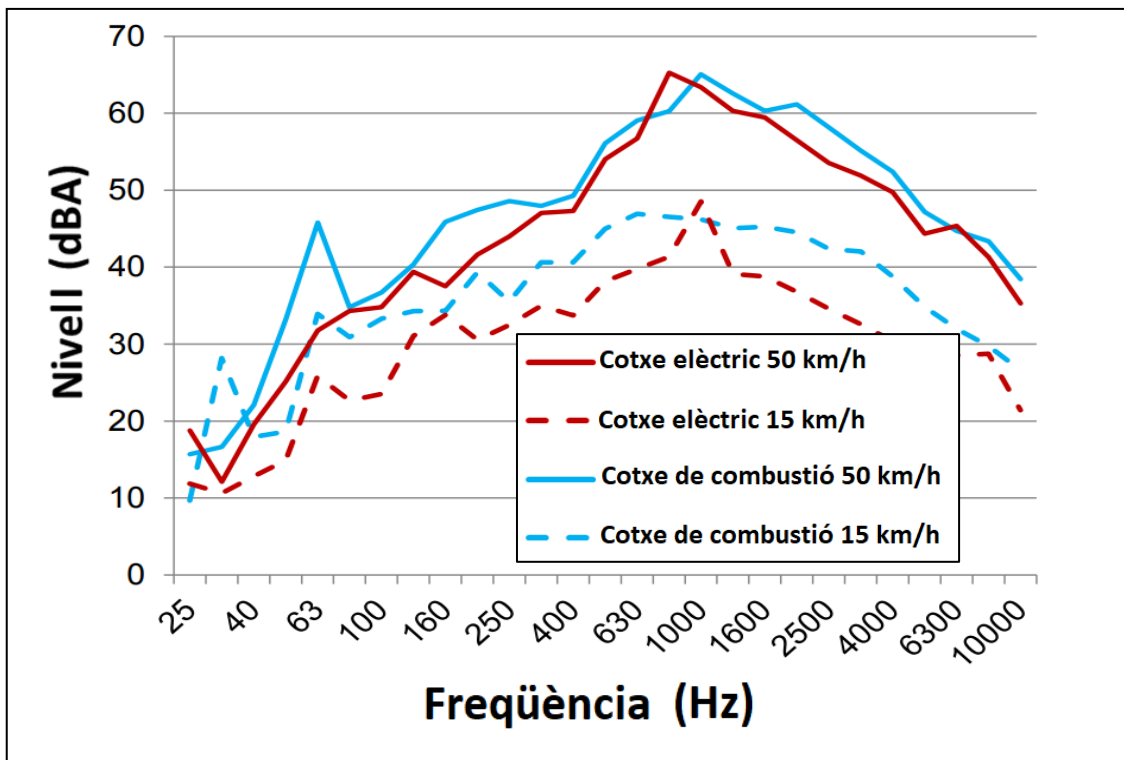


Figura 13. Comparativa espectral entre vehicles de combustió i elèctrics [24].

La Figura 13 mostra una comparativa espectral dels dos tipus de vehicles en funció de la velocitat, mitjançant la qual, observem que una primera opció podria contemplar un so adaptatiu que emetera a diferents freqüències a major o menor nivell en funció de la velocitat a la qual circule, ja que el soroll que generen els vehicles depèn directament d'aquesta.

No obstant, com comentàvem anteriorment, la llibertat creativa que s'ha facilitat està provocant que cada companyia automobilística estiga generant la seua pròpia sonoritat, el que baix el meu punt de vista, acabarà en una distinció més de la pròpia marca i en un escenari urbà al que conviuran tot tipus de sons, la qual cosa, pot resultar un poc caòtica.

Els diferents sistemes d'alerta que s'estan desenvolupant hui en dia comprenen des de xicotets xiulits fins melodies musicals, però la veritat és que hi ha poca informació al respecte a causa de la privacitat i exclusivitat amb què les empreses estan tractant l'assumpte. Es sap que està havent molta experimentació electrònica, i per tant artística, fins a tal punt que la companyia BMW ha contractat al més que conegut compositor alemany Hans Zimmer perquè desenvolupe el seu sistema d'alerta, famós per haver creat les bandes sonores del 'Rey León' o 'Gladiator' entre altres [24].

De totes maneres, a continuació es detallen alguns exemples de la tecnologia que van desenvolupar anys enrere algunes companyies i que alguns dels seus models fins i tot ja incloïen actualment:

- Nissan: el so dissenyat s'anomena 'Cant'. És un so modular totalment artificial que sembla emular el so d'una nau espacial. Varia en funció de la velocitat i tracta de simular l'arrancada dels vehicles de combustió clàssics [25].
- Jaguar: el sistema d'alerta que ha desenvolupat aquesta companyia és molt similar a l'anterior però amb la diferenciació de que aquest últim resulta molt més tonal. També varia amb la velocitat [26].

Capítol 4

Sistema de captació i emissió

4.1 Introducció

L'objectiu d'aquesta investigació és l'avaluació del nivell de pressió sonora òptim que hauria de ser emès pels vehicles elèctrics per a garantir aixina la seguretat completa dels vianants. Amb aquesta idea, ens vam proposar dissenyar i implementar un sistema que fora capaç de monitoritzar el soroll de fons, emetre certes senyals mitjançant un altaveu i obtenir la diferència entre els dos nivells. El propòsit a aconseguir és que els vehicles emitixquen el nivell de pressió sonora mínim necessari perquè siguin escoltats pels vianants però sense generar contaminació acústica innecessària. La fi que aquest projecte busca bàsicament és que aquests nous sistemes d'alerta siguin adaptatius i per tant, emitixquen en funció de les condicions de l'entorn. No té sentit emetre amb la mateixa intensitat en plena hora punta del migdia quan el soroll urbà és elevat que a les 4 del matí que és mínim.

Per aquesta raó, es proposa utilitzar la combinació de diverses tecnologies. Això comportarà la captació del nivell de soroll de fons mitjançant un micròfon compatible amb Arduino, l'emissió de diferents senyals prèviament emmagatzemades en una targeta SD i un posterior processat de la informació per a calcular la diferència de nivells.

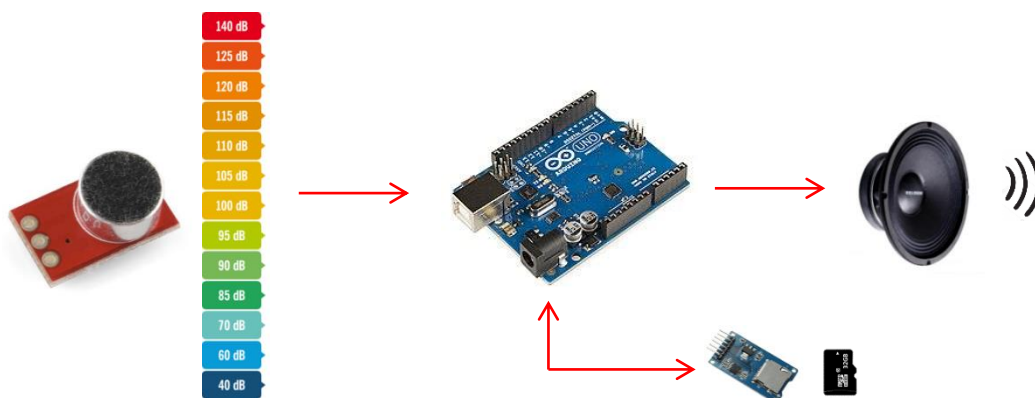


Figura 14. Esquemàtic del sistema proposat.

4.2 Captació

En el nostre entorn quotidià conviuen tot tipus de sons, alguns més agradables i altres més molestos a gust de cadascú, però el que és innegable és que amb el desenvolupament de la societat moderna, els entorns tranquils i silenciosos estan pràcticament desapareixent. A les principals ciutats prevalixen els ambients sorollosos, però estar sotmés a aquests escenaris durant molt de temps ha demostrat tindre un impacte directe i significatiu en la salut. Aquesta és la raó per la qual, per a mesurar aquests nivells i poder aixina controlar-los i gestionar-los, s'utilitza comunament el "Nivell de Pressió Sonora" (Sound Pressure Level o SPL), el qual s'expressa en decibels (dB).

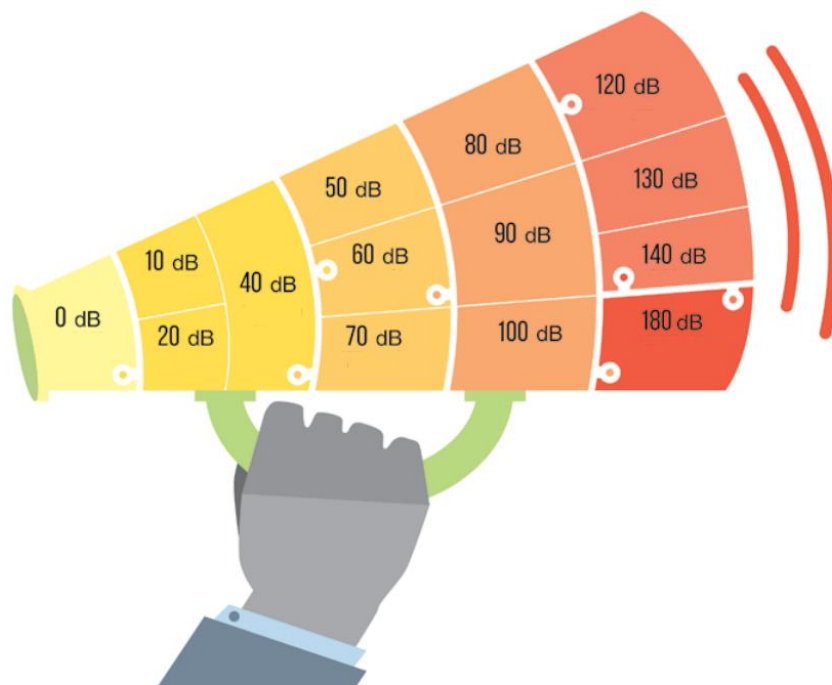


Figura 15. Nivells de presi3n sonora.

Els sons s3n una sensaci3n auditiva provocada per les vibracions i ones acústiques que es propaguen a través dels diferents mitjans. Quan les freqüències de les vibraci3n s3n inferiors a 20 Hz, es denominen infrasons, mentre que si s3n superiors a 20.000 Hz, se'ls denomina ultrasons (els dos inaudibles per a l'ésser humà). No obstant, quan aquestes es troben dins dels 20-20.000 Hz, generalment tractem de caracteritzar-les mitjançant la captaci3n a través d'un micr3fon calibrat o un son3metre.

A partir de la sensibilitat del micròfon es pot determinar la pressió acústica en qualsevol punt de mesura, però els valors de pressió sonora amb què ens podem trobar poden cobrir un ampli rang. Només tenint en compte el rang dinàmic de l'oïda humana, entre l'umbral d'audició ($20\mu\text{Pa}$) i el límit del dolor a partir del qual podem patir pèrdua auditiva (20Pa) trobem 6 ordres de magnitud. En conseqüència, sol utilitzar-se amb més freqüència l'escala logarítmica. Per a això es defineix el nivell de pressió sonora expressat en dB anteriorment anomenat, prenent com a referència $P_{ref} = 20\mu\text{Pa}$, corresponent a l'umbral d'audició:

$$SPL(\text{dB}) = 20\log\left(\frac{P}{P_{ref}}\right)$$

A més, amb el temps es va descobrir que la sensació sonora d'intensitat en els éssers humans s'aguditza per a sons dèbils i disminueix per a sons forts, la qual cosa es deu al fet que l'audició humana no és lineal, sinó també logarítmica.

En conseqüència, per al sistema a desenvolupar es va escollir el mesurador de nivell de so SEN0232 Gravity de la companyia DFRobot [27], el qual és compatible amb Arduino i es mostra a la Figura 16. Aquest sensor és capaç de mesurar amb suficient precisió el nivell de senyal de l'entorn mitjançant un micròfon de baix soroll. A més, es tracta d'una tecnologia Plug-and-Play sense soldadura, la qual cosa simplificava i facilitava encara més la seua implementació en la nostra aplicació.



Figura 16. Sensor per mesurar el nivell de pressió sonora (SEN0232 Gravity).

Les especificacions tècniques del dispositiu són les següents:

- Rang de mesurament: 30dBA ~ 130dBA.
- Error de mesura: ± 1.5 dB.
- Resposta en freqüència: 31.5Hz ~ 8.5kHz.
- Tensió d'entrada: 3.3 ~ 5.0V.
- Corrent d'entrada: 22mA - 3.3V , 14mA - 5.0V.
- Voltatge d'eixida: 0.6 ~ 2.6V.
- Tamany del mòdul: 60mm x 43mm.

S'observa que el rang de mesurament no suposava un problema, ja que en qualsevol situació real urbana es superen de sobra aquestos 30 dB. La resposta en freqüència també era més que suficient, ja que tant la majoria del soroll produït per les diferents activitats urbanes com el soroll produït pels vehicles tal i com mostrava la Figura 13, s'engloba dins d'aquest rang. La mida del mòdul resultava tremendament còmoda i útil per a utilitzar-lo en activitats portàtils i l'error de mesurament era més que acceptable per a un assaig a nivell de laboratori com el d'aquest projecte. A més, el seu cost era molt econòmic.

La manera de funcionament d'aquest dispositiu resultava també molt senzilla. De fet, a continuació es mostra un esquemàtic en el qual es detallen les entrades i eixides d'aquest.

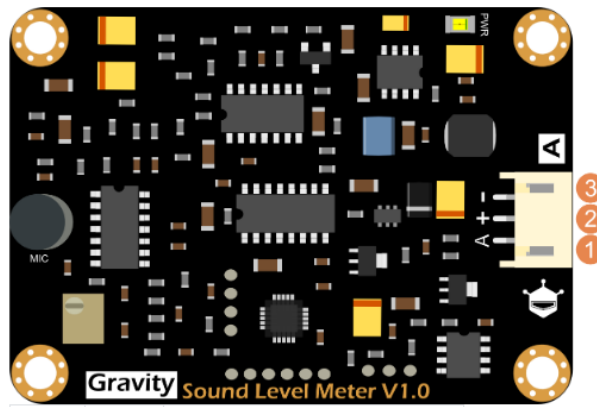


Figura 17. Esquemàtic del sensor SENO232 Gravity.

Taula 3. Descripció d'entrades i eixides del dispositiu.

Entrades	Símbol	Descripció
1	A	Senyal analògica d'eixida (0.6 ~ 2.6V)
2	+	Alimentació (3.3 ~ 5V)
3	-	Terra (0V)

Les connexions que s'havien de realitzar amb la placa d'Arduino per a realitzar les tasques de monitorització de senyal eren molt simples. La Figura 18 mostra un exemple gràfic.

- L'alimentació a 5V.
- La terra a GND.
- L'eixida analògica a l'entrada A5.

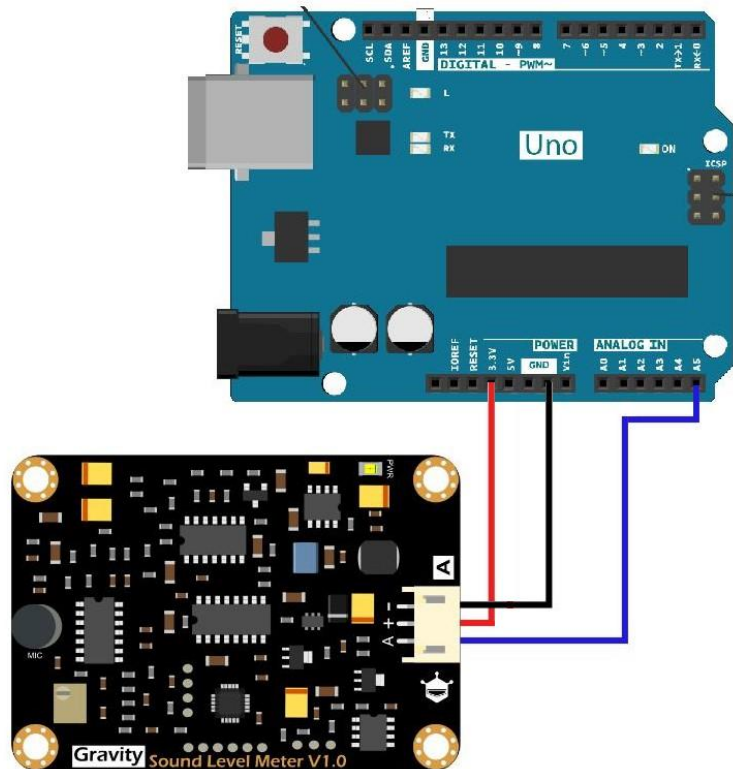


Figura 18. Connexió del sensor SEN0232 Gravity amb Arduino.

En aquest sensor la circuiteria està dissenyada de tal manera per a que el valor de decibels siga lineal amb el voltatge d'eixida, és a dir: quan el voltatge d'eixida siga de 0,6 V, el nivell de pressió sonora serà de 30dBA, mentre que quan el voltatge d'eixida siga de 2,6 V, aquest valor serà de 130dBA. El calibratge d'aquesta relació es realitza en fàbrica una volta prototipat, la qual cosa va ser un motiu extra per decantar-nos per aquest producte, ja que nosaltres podríem haver optat pel disseny d'un sonòmetre propi, però el calibratge haguera suposat un gran inconvenient. Per tant, mitjançant aquest captador de senyal, obtenim la següent relació:

$$\text{Valor en decibels (dBA)} = \text{Voltatge d'eixida (V)} \times 50$$

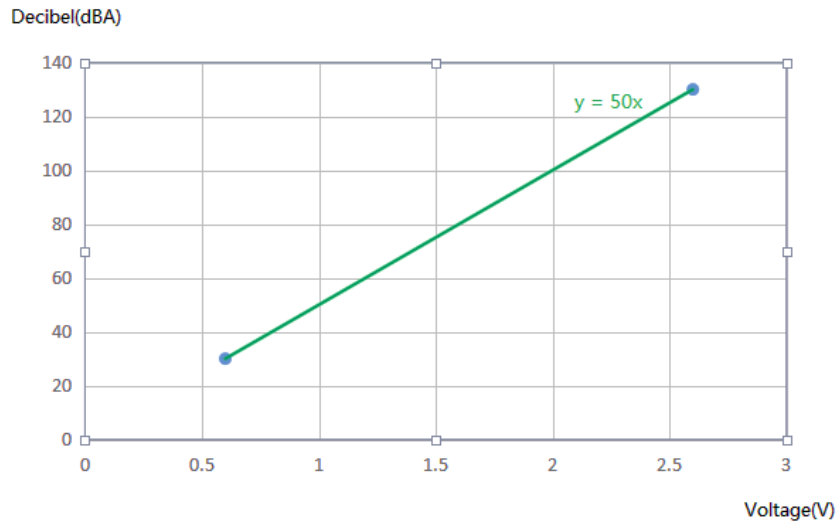


Figura 19. Relació entre decibels i voltatge per al SENO232.

Això ens permetia de manera molt elemental obtenir el nivell de pressió sonora amb l'Arduino utilitzant el següent codi:

```
#define SoundSensorPin A5 // Aquest pin serà l'encarregat de llegir el voltatge analògic
#define VREF 5.0

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
}

void loop()
{
  float voltageValue,dbValue;
  voltageValue = analogRead(SoundSensorPin) / 1024.0 * VREF;
  // Manera d'obtenir el valor de voltatge
  dbValue = voltageValue * 50.0;
  // Convertim voltatge en decibels segons indicacions de fabricant
  Serial.print(dbValue,1);
  Serial.println(" dBA");
  delay(125);
}
```

Mitjançant el qual, obteníem com a resultat a través del port sèrie d'Arduino valors com els mostrats a la Figura 20.

50.5 dBA
48.8 dBA
55.7 dBA
52.5 dBA
56.9 dBA
54.7 dBA

Figura 20. Eixida del port sèrie d'Arduino.

A més, el software també permet visualitzar i monitoritzar gràficament els valors obtinguts en funció del temps, la qual cosa es va utilitzar per al contrast i verificació del correcte funcionament del mateix.

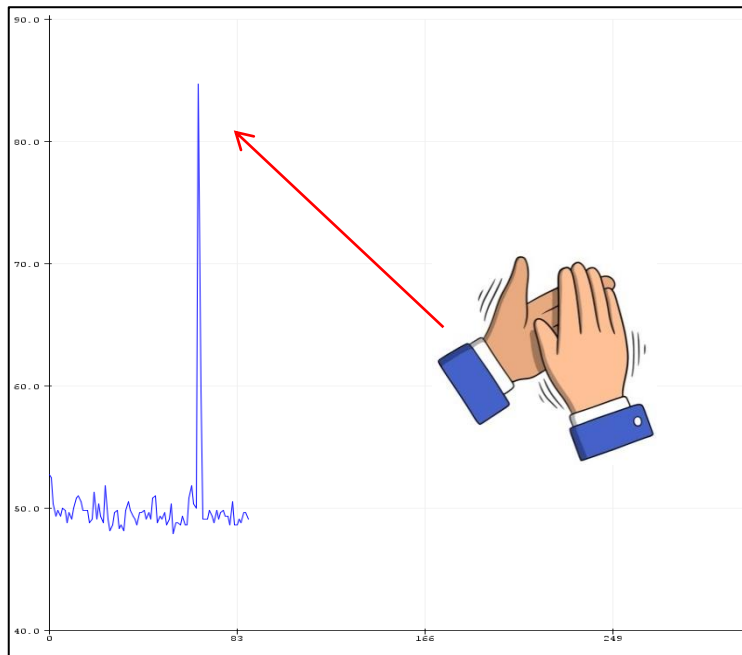


Figura 21. Eixida gràfica d'Arduino.

4.3 Emissió

El so es produïx pel desplaçament d'ones sonores, les quals són un mecanisme de transmissió d'energia que es produeix per les variacions de pressió generades en el medi físic pel qual es transmeten. Aquestes ones sonores es generen principalment pel moviment mecànic o la vibració d'algun objecte, que és el que produïx les alteracions en el fluid en el qual es desplacen (generalment l'aire). Per exemple, quan es colpeja un tambor, és el desplaçament de la seua membrana el que produïx la compressió i la posterior descompressió de l'aire, la qual, finalment, arriba a les nostres oïdes i el cervell finalment identifica com a so.

En els sistemes d'àudio aquesta tasca es fa per mitjà dels altaveus, la membrana dels quals és habitualment desplaçada mitjançant una força electromagnètica o bé a través de sensors piezoelèctrics. Les característiques més representatives amb les que es defineix comunament un altaveu són les següents [28]:

- Potència: és la quantitat d'energia que l'altaveu és capaç de transmetre. Per a mesurar-la s'utilitza el watt. Es distingeixen dos tipus de potència:
 - ✓ Eficax. També denominada RMS, és la potència màxima que l'altaveu pot suportar indefinidament sense patir deterioraments a mig termini i amb uns nivells de distorsió acceptables. Aquesta és la raó per la que es pren habitualment com a referència.
 - ✓ Pico. Fa referència a la potència màxima que suporta l'altaveu durant un curt període de temps. Segons l'estàndard de mesurament d'AES, s'utilitza una senyal amb un factor de cresta de 6dB, és a dir, amb una tensió de pic igual al doble de la tensió RMS i, per tant, una potència de pic de 4 vegades la potència RMS.
- Sensibilitat: és la capacitat que té un altaveu per a generar una senyal acústica en relació amb la potència aplicada. Es quantifica en decibels i indica la pressió sonora exercida a un metre de distància quan s'aplica una potència d'1 W.
- Impedància: representa la resistència al pas del corrent. No obstant, com es treballarà amb corrent alterna, aquesta presentarà característiques particulars i el seu valor dependrà de la freqüència. Els valors més usuals són 4 i 8 Ω .
- Rang de freqüència: indica la gamma de valors de freqüència, generalment també de manera gràfica, entre els quals l'altaveu reproduïx el so pràcticament sense distorsions. Mitjançant aquesta dada es determina si és de greus, aguts o mitjans.
- Directivitat: detalla com es radia l'energia acústica d'un altaveu en funció de la direcció en què es troba el receptor respecte de l'emissor.
- Factor de qualitat: es defineix com la relació entre l'energia reactiva (energia emmagatzemada) i l'energia activa (energia dissipada) d'un sistema ressonant. En els fulls de catàleg apareixen el factor de qualitat elèctric (Q_{es}), el factor de qualitat mecànic (Q_{ms}) i el factor de qualitat total (Q_{ts}).

Com avancem en l'inici de la memòria, a més d'obtenir el nivell de pressió sonora òptim, en la nostra investigació utilitzarem diferents senyals d'alerta per a comprovar quina d'elles és més efectiva i tindre aixina una primera impressió de les preferències dels usuaris. Això ens portarà a reproduir tres tipus de senyals diferents, les quals tindran durades i característiques dispers, però sobretot, un contingut espectral diferent. Per aquesta raó i en vista de la utilitat i l'escenari en el qual s'utilitzarà el nostre sistema, necessitarem un altaveu que:

- Siga capaç d'emetre mitjanament en tot el rang de freqüències.
- Siga capaç d'emetre a gran potència.
- Siga de tamany menut.
- Siga omnidireccional.
- Siga econòmic.

Amb les premisses anteriors, finalment es va optar per la següent solució:

- Altaveu GA0776 del fabricant CUI Global.



Figura 22. Aspecte de l'altaveu GA0776.

Les seues especificacions més importants es detallen a continuació:

Taula 4. Característiques de l'altaveu escollit.

Paràmetre	Proba	Mínim	Valor	Màxim	Unitats
Tamany	-	-	77	-	mm
Impedància	800Hz – 1V	6,8	8	9,2	Ω
Freqüència de ressonància	1V	192	240	288	Hz
SPL	1V – 0,5 m	87	90	93	dB
Rang de freqüència	-	-	192-7000	-	Hz
Potència nominal	-	-	1	2	W
Cost	-	-	5,16	-	€

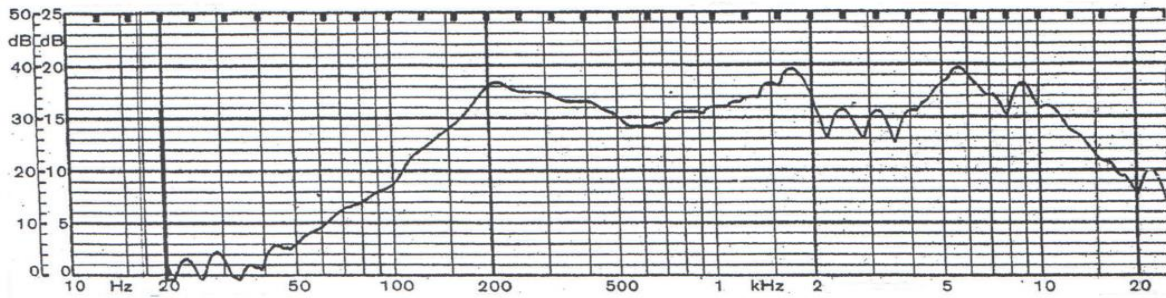


Figura 23. Resposta en freqüència de l'altaveu.

Els seus paràmetres Thiele-Small, els quals descriuen el funcionament d'un altaveu a baix nivell i són essencials per al disseny dels mateixos es van mesurar al laboratori i van resultar ser els següents:

Taula 5. Paràmetres Thiele-Small de l'altaveu.

Paràmetre	Valor	Paràmetre	Valor
f_s	221 Hz	Q_{ms}	2.41
R_E	9.7 Ω	V_{AS}	0.203 l
Q_{ts}	0.69	$dB SPL_{1W}$	85,4 dB
Q_{es}	0.99	η_o	0.215 %

4.4 Emmagatzematge i reproducció

Fins al moment s'ha detallat quin equipament s'encarregarà de la captació del soroll de fons i quin altaveu s'utilitzarà per a emetre els sons d'alerta. En canvi, si reprenim la Figura 14 observem que encara hi ha un problema afegit.

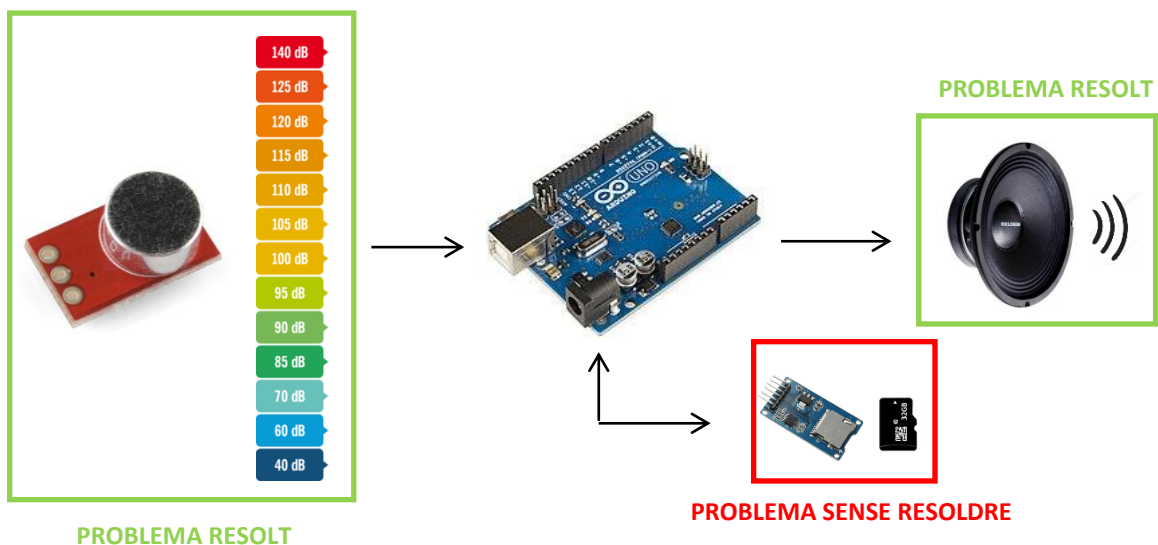


Figura 24. Problemes del nostre sistema encara sense resoldre.

I és que per a poder reproduir qualsevol tipus de so MP3 o WAV mitjançant Arduino, es requereix d'un mòdul extern amb una targeta SD que es connecte a aquest. A més, per tal de donar-li major flexibilitat, ja que es pensen realitzar assajos en entorns reals urbans, es va a dotar el sistema d'uns interruptors que realitzen certes funcions que més endavant detallarem.

El mòdul extern escollit ha sigut el DFPlayer Mini de la companyia DFRobot (la mateixa que la del sonòmetre), el qual té el següent aspecte:

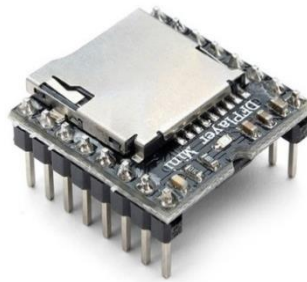


Figura 25. Aspecte del DFPlayer Mini.

Aquest equip és un menut mòdul reproductor d'àudio que consta d'una ranura per a targetes micro SD i que pot ser controlat mitjançant un microcontrolador, en aquest cas, Arduino. Algunes de les característiques més destacades d'aquest són:

- Té un amplificador incorporat que pot arribar a gestionar altaveus de fins a 3 W en estereo o mono, el qual permet aconseguir un nivell de pressió sonora màxim de 90dB SPL per a l'altaveu seleccionat, més que suficients per a la nostra aplicació.
- Té un convertidor digital a analògic de 24 bits.
- Suporta la descodificació MP3 y WAV.
- Suporta arxius amb diferents freqüències de mostreig.
- Suporta targetes micro SD de fins a 32GB.
- Té 6 nivells diferents d'equalitzador i 30 nivells de control d'ajust de volum.
- Pot funcionar amb 3.2V - 5V.
- Té un cost aproximat d'1 €.

La configuració dels pins del DFPlayer es pot extreure de les especificacions del catàleg. Aquests es configuren de la següent manera:

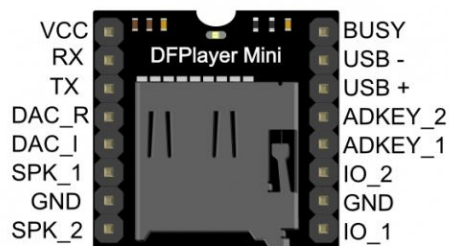


Figura 26. Pins del DFPlayer Mini.

La Taula 6 mostra la descripció dels pins anteriors, mitjançant la qual, s'ha especificat en color taronja aquells que més tard utilitzarem per al nostre disseny.

Taula 6. Significat dels pins del DFPlayer Mini.

Pin	Nom	Descripció
1	VCC	Voltatge d'entrada: DC 3.2-5.0V
2	RX	Entrada sèrie UART
3	TX	Eixida sèrie UART
4	DAC_R	Eixida d'àudio del canal dret.
5	DAC_L	Eixida d'àudio del canal esquerre.
6	SPK_1	Altaveu
7	GND	Terra
8	SPK_2	Altaveu
9	BUSY	Estat
10	USB-	Port USB
11	USB+	Port USB
12	ADKEY_2	-
13	ADKEY_1	-
14	IO_2	-
15	GND	Terra
16	IO_1	-

En conseqüència, a continuació anem a mostrar la connexió i la programació necessària per a implementar el sistema que llegirà els fitxers d'àudio de la targeta micro SD i els enviarà a l'altaveu mitjançant Arduino. A més, pel seu caràcter portàtil (en entorns reals no podem canviar la programació d'Arduino al nostre disseny), en el disseny s'han afegit uns polsadors per tal de controlar i gestionar les emissions de l'altaveu de manera eficaç. Aquests permetran així en temps real pausar la reproducció, seleccionar el so desitjat i ajustar el volum d'emissió.

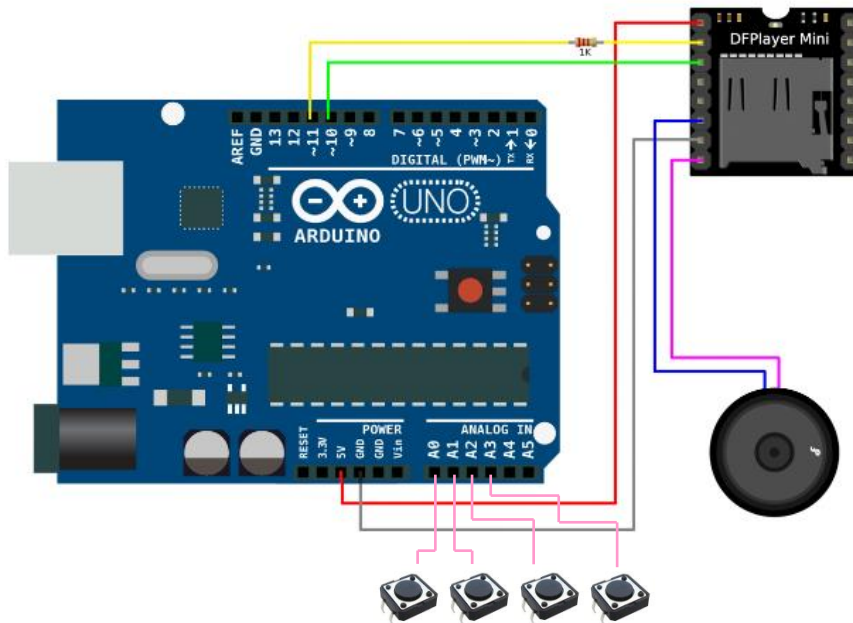


Figura 27. Connexionat del sistema d'emmagatzematge i reproducció.

Per tant, amb les connexions anteriors i el següent codi, aconseguirem reproduir per l'altaveu diferents senyals i variar les seues característiques d'emissió satisfactòriament.

```
#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial mySerial(10, 11);

# define Start_Byte 0x7E
# define Version_Byte 0xFF
# define Command_Length 0x06
# define End_Byte 0xEF
# define Acknowledge 0x00

const int btnNext = A0; // El polsador connectat a A0 passarà la següent cançó
const int btnPause = A1; // El polsador connectat a A1 pausarà la reproducció
const int volumeUP = A2; // El polsador connectat a A2 pujarà el volum
const int volumeDOWN = A3; // El polsador connectat a A3 baixarà el volum

int volume = 15; // Iniciem el volum a la meitat
boolean Playing = false;

void setup ()
{
  pinMode(btnPause, INPUT);
  pinMode(btnNext, INPUT);
  pinMode(volumeUP, INPUT);
  pinMode(volumeDOWN, INPUT);
  digitalWrite(btnPause, HIGH);
  digitalWrite(btnNext, HIGH);
  digitalWrite(volumeUP, HIGH);
  digitalWrite(volumeDOWN, HIGH);
  mySerial.begin(9600);
  delay(1000);
  playFirst();
  Playing = true;
}
```

```

void loop () {

if (digitalRead(btnPause) == LOW) {           // Pausar
if(Playing) {
pause();
Playing = false; }
else {
Playing = true;
play(); }
}

if (digitalRead(btnNext) == LOW) {           // Següent cançó
if(Playing) {
next(); }
}

if(digitalRead(volumeUP) == LOW){           // Més volum
volumeINC(); }

if(digitalRead(volumeDOWN) == LOW) {       // Menys volum
volumeDEC();}
}

void playFirst() {
exe_cmd(0x3F, 0, 0);
delay(500);
exe_cmd(0x06, 0, volume);
delay(500);
exe_cmd(0x11,0,1);
delay(500);}

void pause(){                               // Pausar
exe_cmd(0x0E,0,0);
delay(500);}

void play(){                                 // Play
exe_cmd(0x0D,0,1);
delay(500);}

void next(){                                // Següent cançó
exe_cmd(0x01,0,1);
delay(500);}

void volumeINC(){                           // Més volum
volume = volume+1;
if(volume==31){
volume=30;
}
exe_cmd(0x06, 0, volume);
delay(500);}





void volumeDEC(){                           // Menys volum
volume = volume-1;
if(volume==-1){
volume=0;}
exe_cmd(0x06, 0, volume);
delay(500);}

void exe_cmd(byte CMD, byte Par1, byte Par2){
word checksum = -(Version_Byte + Command_Length + CMD + Acknowledge + Par1 + Par2);
byte Command_line[10] = { Start_Byte, Version_Byte, Command_Length, CMD, Acknowledge, Par1,
Par2, highByte(checksum), lowByte(checksum), End_Byte};
for (byte x=0; x<10; x++)
{
mySerial.write(Command_line[x]);}
}

```

D'aquesta manera, a més de desenvolupar un sistema capaç d'emetre diferents senyals emmagatzemades en una targeta SD mitjançant Arduino, hem dissenyat també una circuiteria bàsica per a poder controlar les característiques d'emissió mitjançant 4 polsadors. Les seues funcionalitats es detallen en la Taula 7.

Taula 7. Funció dels polsadors del DFPlayer Mini.

Polsador		Funció
1		Següent cançò
2		Pausar reproducció
3		Pujar el volum
4		Baixar el volum

4.5 Caracterització dels nivells d'emissió

Una de les propietats bàsiques de la suma de senyals, tant elèctriques com acústiques, és que el resultat final depèn de la semblança entre aquestes (nivell, freqüència, fase ...). Si es parla de senyals coherents, vol dir que hi ha correlació entre les fonts. Suposem dos altaveus iguals que es troben tan prop com siga possible. En aquest escenari, si els dos estigueren reproduint la mateixa senyal amb el mateix nivell d'intensitat, l'increment de SPL que s'observaria seria de 6 dB respecte al d'una sola font. D'aquesta manera, si aquests generaren 94 dB per separat, amb els dos altaveus encesos aconseguiríem 100 dB.

No obstant, què passaria si la senyal fora la mateixa però no estigueren en fase? La resposta és que depenent de la diferència de fase, la suma podria anar des dels 6 dB màxims de suma, fins a la cancel·lació total (0 dB).

I què passaria quan el nivell dels senyals fora diferent? En aquest cas, atès que els decibels es presenten en escala logarítmica, per a poder sumar senyals haurem de fer-ho en escala lineal i després tornar a calcular el logaritme. En la següent expressió es sumen, en pressió, les fonts A i B, però en cas de tindre més fonts, simplement es seguirien afegint termes.

$$SPL_{TOTAL} = SPL_A + SPL_B = 20 \log \left(10^{\frac{SPL_A}{20}} + 10^{\frac{SPL_B}{20}} \right) = 20 \log \left(\sum_i^N 10^{\frac{SPL_i}{20}} \right)$$

En canvi, en la majoria dels casos és necessari conèixer el resultat de la suma de fonts incoherents, és a dir, de senyals sense correlació. Per exemple de dos instruments diferents o de dos altaveus reproduint diferents senyals. Aquesta incoherència vol dir que la diferència de fase és aleatòria i que per tant, en certs instants aquesta pot ocasionar interferències constructives i en altres, interferències destructives. La suma de dos fonts del mateix nivell no correlacionades llança un increment de 3 dB, la qual cosa vol dir que un piano a 90 dB i una guitarra a 90 dB generarien 93 dB.

I de manera anàloga al cas anterior, per a fonts o senyals de diferent nivell, es calcularia el nivell SPL total mitjançant la següent equació:

$$SPL_{TOTAL} = SPL_A + SPL_B = 10 \log \left(10^{\frac{SPL_A}{10}} + 10^{\frac{SPL_B}{10}} \right) = 10 \log \left(\sum_i^N 10^{\frac{SPL_i}{10}} \right)$$

En conseqüència, el següent pas de la investigació era programar una funció mitjançant Arduino que fora capaç de monitoritzar el soroll de fons, emetre senyals mitjançant l'altaveu, obtenir la diferència de nivells i mostrar-ho per un display. Per a això, la metodologia i els passos a seguir foren els mostrats a la Figura 28.

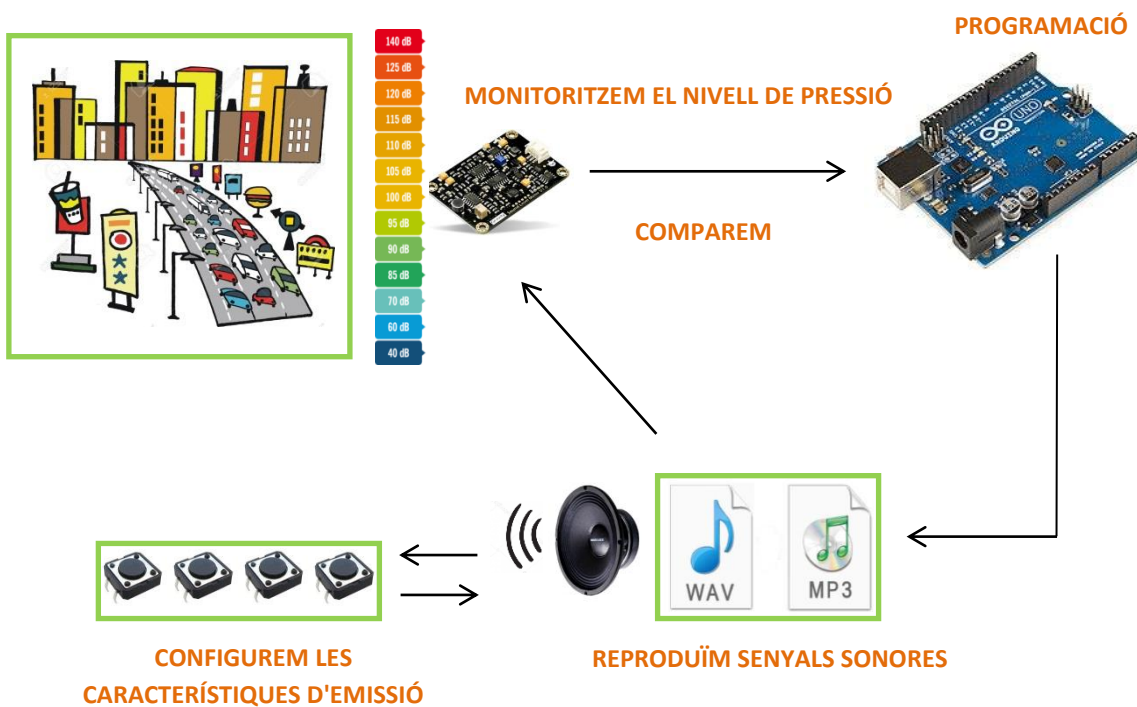


Figura 28. Esquema a seguir per realitzar el programa.

De manera esquemàtica, el funcionament del sistema es basarà en el següent:

- Arduino monitoritzarà el nivell de soroll de fons prenent 5000 mesures i realitzant una mitjana d'elles. Aquest valor és prendrà com SPL_{FONS} .
- A continuació, Arduino enviarà l'ordre de reproduir sons per l'altaveu mitjançant el mòdul extern SD. Aquests sons podran ser modificats mitjançant els polsadors anteriorment descrits. Aquestes senyals són de volum constant per a proporcionar un nivell de pressió continu.
- La diferència de nivells es calcularà comparant el nivell de referència SPL_{FONS} amb el nivell que mesure el sonòmetre mentre l'altaveu estiga emetent. Aquest nivell, per tant, estarà compost per la contribució de l'altaveu ($SPL_{ALTAVEU}$) i la contribució del soroll de fons (SPL_{FONS}). Per obtenir aquest valor, Arduino prendrà altres 5000 mesures mentre l'altaveu es trobe operatiu i realitzarà la mitjana de totes elles, el que donarà com a resultat (SPL_{TOTAL}).

$$SPL_{TOTAL} = SPL_{FONS} + SPL_{ALTAVEU} = 10 \log \left(10^{\frac{SPL_{FONS}}{10}} + 10^{\frac{SPL_{ALTAVEU}}{10}} \right)$$

- A continuació, Arduino realitzarà la següent operació matemàtica per a obtenir el nivell SPL al qual emet l'altaveu i el nivell de pressió sonora per damunt del soroll de fons que això provoca. Aquest últim valor és el que s'envia i visualitza pel display.

$$SPL_{ALTAVEU} = SPL_{TOTAL} - SPL_{FONS} = 10 \log \left(10^{\frac{SPL_{TOTAL}}{10}} - 10^{\frac{SPL_{FONS}}{10}} \right)$$

- Cada mesurament, Arduino tornarà a començar el procés, tornant aixina a monitoritzar el nivell, calculant la diferència i enviant-la al display.

4.6 Implementació del sistema complet

Una volta coneguda quin serà la manera de funcionament del nostre sistema i els components que formaran part d'ell, el següent pas era fer la interconnexió entre tots els elements i elaborar un codi perquè Arduino executara totes les tasques anteriorment descrites amb èxit.

La Figura 29 mostra un esquemàtic de com es van configurar els diferents elements. Ara ja entraven en joc tots.

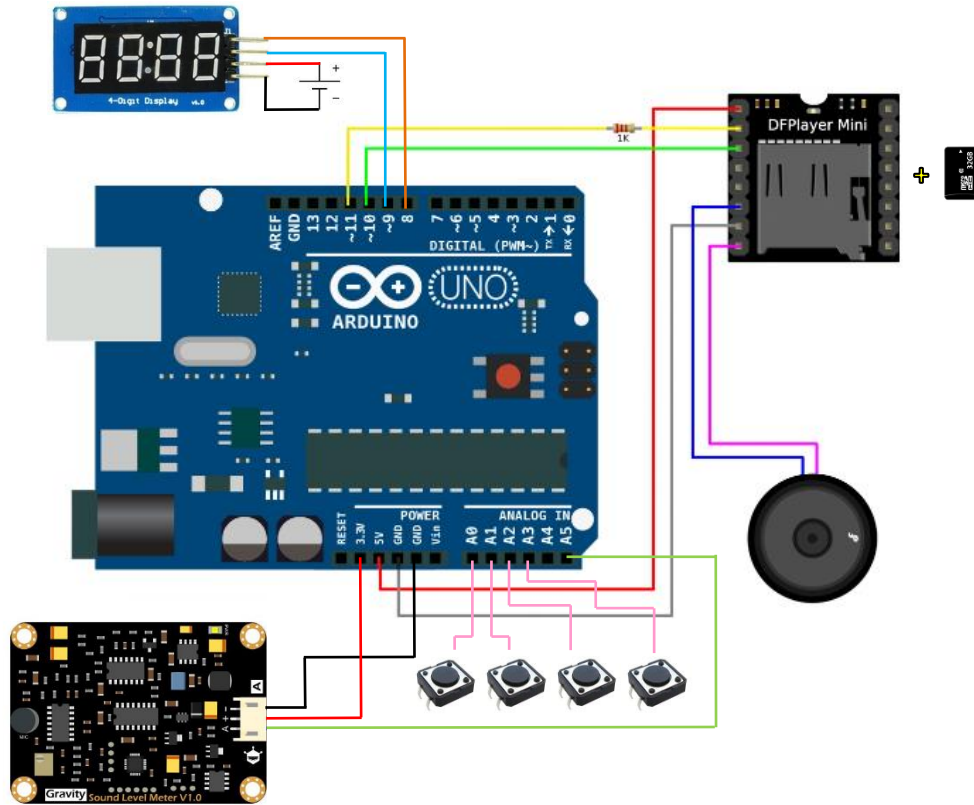


Figura 29. Connexionat del sistema complet.

D'aquesta manera i mitjançant el següent codi, el sistema implementat era capaç de monitoritzar el soroll de fons, emetre diferents senyals emmagatzemades a la targeta SD per l'altaveu, obtenir la diferència de pressió sonora per damunt del soroll de fons que s'obtenia quan l'altaveu emetia i visualitzar aquest valor per un display 7 segments.

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <TM1637.h>

SoftwareSerial mySerial(10, 11);

# define Start_Byte 0x7E
# define Version_Byte 0xFF
# define Command_Length 0x06
# define End_Byte 0xEF
# define Acknowledge 0x00
#define SoundSensorPin A5 // Aquest pin serà l'encarregat de llegir el voltatge
#define VREF 5.0
#define CLK 3 // Para el 7 segmentos
#define DIO 2 // Para el 7 segmentos

const int btnNext = A0; // El pulsador conectado a A0 pasará a la siguiente canción
const int btnPause = A1; // El pulsador conectado a A1 pausará la reproducción
const int volumeUP = A2; // El pulsador conectado a A2 subirá el volumen
const int volumeDOWN = A3; // El pulsador conectado a A3 bajará el volume
```

```

int volume = 1;           // Comença amb el volum al mínim
boolean Playing = false;

float Noise;             // Variables per a determinar el soroll
float NoiseFixed;
float dbValue;

TM1637 display1(CLK,DIO);

void setup ()
{
  pinMode(btnPause, INPUT);
  pinMode(btnNext, INPUT);
  pinMode(volumeUP, INPUT);
  pinMode(volumeDOWN, INPUT);
  digitalWrite(btnPause, HIGH);
  digitalWrite(btnNext, HIGH);
  digitalWrite(volumeUP, HIGH);
  digitalWrite(volumeDOWN, HIGH);
  Serial.begin(9600);
  mySerial.begin(9600);
  delay(2000);

  display1.set();        // Iniciación 7 segmentos
  display1.init() ;

  delay(2000);

  float voltageValue, dbValue;

  for(int i=0; i<5000; i++){
    //Fem 5000 mesures

    voltageValue = analogRead(SoundSensorPin) / 1024.0 * VREF;

    //Obtenim el voltatge

    dbValue = voltageValue * 50.0;

    //Convertim el voltatge a decibels segons les indicacions del fabricant

    Noise=Noise+dbValue;}

    NoiseFixed=Noise/(5000);

  int Unidades, Decenas, Centenas;    //Mostrem el valor pel display

  Unidades = floor((NoiseFixed)/10);
  Decenas = floor(NoiseFixed-floor((NoiseFixed)/10)*10);
  Centenas = (NoiseFixed-floor((NoiseFixed)/10)*10-floor(NoiseFixed-
  floor((NoiseFixed)/10)*10))*10;

  delay(1000);

  int8_t digitos[] = {Unidades,Decenas,Centenas,0} ;
  delay(1000);
  display1.display(digitos);
  delay(4000);

  playFirst();
  Playing = true;
}

```



```

void loop () {

float voltageValue, dbValue;
float Noise=0;
float MeasureFixed;
int Final;
float Measure=0;

//Voy monitorizando las mediciones

int Condition;

    for(int i=0; i<5000; i++){
//5000 mediciones

        voltageValue = analogRead(SoundSensorPin) / 1024.0 * VREF;

//Obtenim el voltatge

        dbValue = voltageValue * 50.0;

            //Conversió segons fabricant

            Measure=Measure+dbValue;
        }

        MeasureFixed=Measure/(5000);
        Final=MeasureFixed-NoiseFixed;

        delay(500);

if(MeasureFixed>=NoiseFixed){          // Si el soroll es major que el de fons

        int Digit0 = Final %10 ;
        int Digit1 = (Final % 100) / 10 ;
        int Digit2 = 0 ;                      //En el nostre cas sempre serà 0
        int Digit3 = 0 ;                      // En el nostre cas sempre serà 0

int8_t digitos1[] = {0,0,Digit1,Digit0} ;

        delay(500);

        display1.display(digitos1);

        delay(500);
    }

    else {

int8_t digitos[] = {0,0,0,0} ;
delay(1000);
display1.display(digitos);}

//Pulsadors

if (digitalRead(btnPause) == LOW) {          // Pausar
if(Playing) {
pause();
Playing = false; }
else { Playing = true;
play(); }
}

if (digitalRead(btnNext) == LOW) {          // Següent cançò
if(Playing) {
next(); }
}

```

```

}

if(digitalRead(volumeUP) == LOW){           // Més volum
volumeINC(); }

if(digitalRead(volumeDOWN) == LOW) {       // Menys volum
volumeDEC();}
}

void playFirst() {
exe_cmd(0x3F, 0, 0);
delay(500);
exe_cmd(0x06, 0, volume);
delay(500);
exe_cmd(0x11,0,1);
delay(500);}

void pause(){
exe_cmd(0x0E,0,0);
delay(500);}

void play(){
exe_cmd(0x0D,0,1);
delay(500);}

void next(){
exe_cmd(0x01,0,1);
delay(500);}

void volumeINC(){
volume = volume+1;
if(volume==31){
volume=30;
}
exe_cmd(0x06, 0, volume);
delay(500);}

void volumeDEC(){
volume = volume-1;
if(volume==-1){
volume=0;}
exe_cmd(0x06, 0, volume);
delay(500);}

void exe_cmd(byte CMD, byte Par1, byte Par2){
word checksum = -(Version_Byte + Command_Length + CMD + Acknowledge + Par1 + Par2);
byte Command_line[10] = { Start_Byte, Version_Byte, Command_Length, CMD, Acknowledge, Par1,
Par2, highByte(checksum), lowByte(checksum), End_Byte};
for (byte x=0; x<10; x++)
{
mySerial.write(Command_line[x]);}
}

```

No obstant, encara que el sistema funcionava correctament, quedava un problema afegit per resoldre abans de poder donar-lo per finalitzat:

- El problema d'un altaveu funcionant en espai lliure és que l'ona trasera interacciona amb l'ona davantera, de manera que es cancel·len les baixes i mitjanes freqüències, segons el tamany de l'altaveu. En canvi, com el nostre altaveu és d'una grandària reduïda, aquestes es cancel·larien fins i tot a més altes freqüències. Aquesta és la raó per la que normalment es col·loquen en caixes.

Per tant, havíem d'apantallar prou l'ona trasera, en el nostre cas, amb una caixa de fusta/cartó. En els cotxes, aquest fet no suposaria cap problema afegit, ja que el mateix el xassís del vehicle podria fins i tot fer de pantalla.

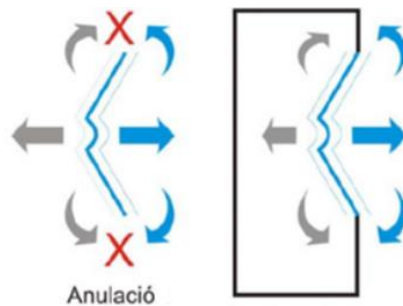
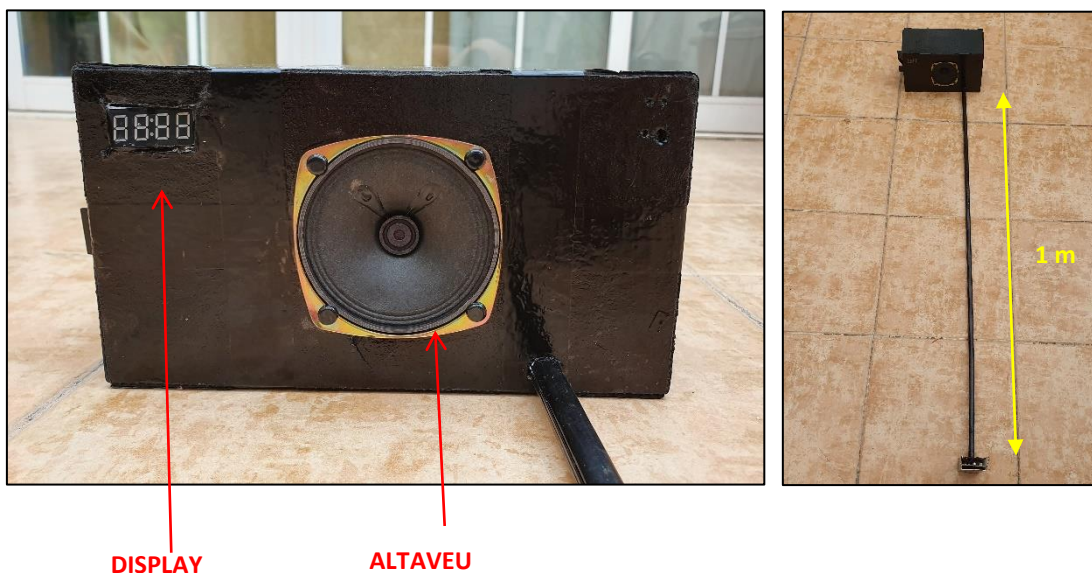


Figura 30. Necessitat de col·locar l'altaveu en una caixa.

Conseqüentment, col·locarem l'altaveu en una caixa de dimensions 22x12x9 mm, de manera que:

- Aprofitarem aquest espai per a posar dins la resta de components de manera fixa i ordenada.
- Debut al seu caràcter portàtil, es va substituir la font d'alimentació USB d'Arduino per una pila de 9V. Aixina, aquest ja podia ser utilitzat en qualsevol entorn i situació sense necessitat d'estar connectat a la corrent ni a cap ordinador.
- L'altaveu encarregat de monitoritzar el soroll de fons, es va col·locar mitjançant la utilització de diferents elements a 1 metre de distància en línia recta respecte al con de l'altaveu.
- La pantalla 7 segments es va incorporar a la carcassa de la caixa.



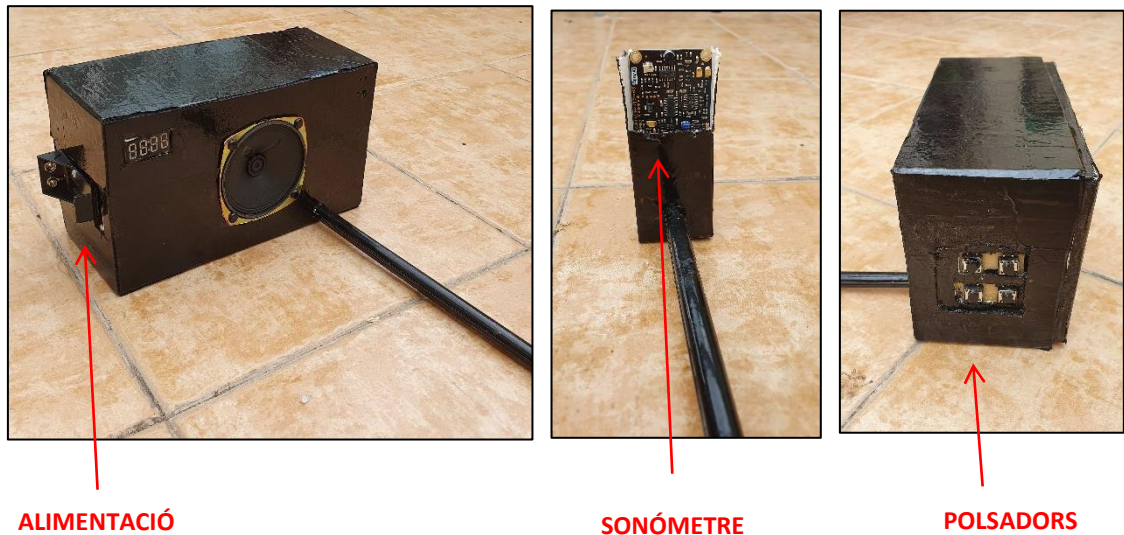


Figura 31. Disseny final del sistema implementat.

Simplement destacar que la caixa escollida era d'un volum prou superior a V_{AS} , i que per tant, aquesta no modificava sensiblement el rang de freqüències a les que l'altaveu podia treballar, podent aixina emetre sons a partir d'uns 200Hz aproximadament. No obstant, com el nostre estudi es centrava en emetre senyals d'alerta compostes en la seua majoria per soroll i no a reproduir so de qualitat, això no va suposar un impediment, ja que no és com el cas d'uns altaveus de qualitat per a escoltar música.

Capítol 5

Senyals per als sistemes d'alerta

5.1 Introducció

És una obvietat que els sons formen part de la nostra vida diària: el so del despertador que ens alça cada matí, el so que produïx l'aire en els arbres, el so d'un tro o la música que escoltem en un concert. Hi ha sons que ens desagraden, sons que ens divertixen, sons que ens emocionen, sons que ens estressen ... fins i tot el silenci també ens produeix estímuls. Però, som realment conscients de com tots aquests sons influïxen en nosaltres en el transcurs del dia?

La realitat és que són molts els mecanismes neuronals que entren en funcionament quan el nostre sentit de l'oïda detecta un so, però al final és el nostre cervell el que, en funció de les vibracions de cada un, fa que la nostra resposta siga una o altra. De fet, posem un exemple elemental de tres situacions que estic segur que tots hem experimentat alguna vegada en la nostra vida:

- Música: qualsevol persona s'haurà vist seduïda pel poder de la música, ja que amb ella s'allibera dopamina, una sensació equiparable a la que experimentem amb el menjar, el sexe o les drogues. La música té el poder de canviar les emocions i els estats d'ànim, i en alguns casos límits, inclús els pensaments i les opinions de les persones. A qui mai se li han posat els pèls de punta amb alguna cançó?
- Soroll: qualsevol persona s'haurà vist afectada pel desagradable i molest efecte d'estar sotmès a una font de soroll de manera prolongada. Després de multitud d'investigacions científiques [29], s'ha demostrat que els sons que provoquen una resposta cerebral negativa, desencadenen trastorns emocionals i malalties a la llarga. Qui no ha experimentat algun tipus de molèstia després d'haver estat exposat a una elevada quantitat de soroll durant moltes hores?

- Alerta: qualsevol persona s'haurà vist alarmada pel plor d'un bebé o la sirena d'una ambulància. Per què? La veritat és que el plor d'un xiquet i molts altres sons concrets, provoquen una resposta molt més ràpida i forta en les parts orientades cap a la reacció del cervell i l'activació de l'estat d'alerta que altres sons igual de forts o semblants, com per exemple un gos lladrant. Qui no s'ha alçat del llit immediatament després d'escoltar plorar a un recent nascut?

Aleshores, observem que tot i que el principi físic siga el mateix (variacions de pressió sonora que es transmeten en forma d'ones acústiques), les reaccions i sensacions que aquestes produeixen poden ser molt variades. En conseqüència, la nostra investigació, a més d'obtindre el nivell de pressió sonora òptim d'emissió en funció de les condicions de l'entorn, tractarà també de descobrir quin tipus de so seria més adequat per a tal fi. Aquest últim detall ve motivat per la recent normativa europea sobre els sistemes d'alerta en vehicles elèctrics, la qual exigirà que aquests produïxquen obligatòriament soroll per a avisar de la seua presència. No obstant, tal com s'ha detallat durant la memòria, aquesta tan sols ha especificat els nivells màxims i mínims d'emissió i les condicions baix les quals els vehicles hauran d'emetre sons d'alerta. Les característiques de com han de ser aquests sons, les ha deixat a llibertat creativa dels fabricants automobilístics.

Per aquesta raó, amb aquest capítol tractarem de fer una prova psicoacústica per a explorar quin tipus de sons resulten més agradables, i per tant, més adequats per a aquest propòsit. Per a això, s'utilitzaran tres sons i es realitzaran una sèrie de tests subjectius mitjançant el sistema implementat. A més, aquests sons intentaran precisament reproduir les tres sensacions explicades anteriorment: plaer (música), malestar (soroll) i atenció (senyal d'alerta).

5.2 Caracterització de senyals

A partir l'1 de juliol de 2019, va entrar en vigor la nova normativa fixada per la Unió Europea sobre el sistema AVAS, la qual pretén reduir els accidents que són conseqüència de la baixa sonoritat dels vehicles elèctrics. Això els converteix en un perill potencial per a vianants o ciclistes, ja que aquests últims troben dificultats a l'hora d'identificar la seua presència, raó per la qual, aquests es veuran obligats a emetre certs sons d'alerta. Però, quin tipus de sons?

La recomanació de la normativa europea és que el so emès hauria de ser similar al d'un cotxe de combustió 'clàssic', però aquesta no ha especificat cap requisit de senyal més enllà dels límits d'emissió, deixant per tant llibertat creativa per al seu disseny, el qual està provocant que cada fabricant estiga desenvolupant la seua pròpia sonoritat.

Aleshores, per tal de realitzar una investigació el més completa possible, en el nostre projecte també realitzarem un xicotet estudi i disseny de possibles solucions sonores al problema plantejat. Per a això, treballarem amb tres tipus de senyals:

- To intermitent: s'ha pres com a referència el so que produïxen els semàfors d'invidents en les interseccions.
- Soroll de motor de combustió: s'ha pres com a referència el so que produïxen els motors dels vehicles de combustió típics.
- Soroll de motor sintetitzat: s'ha pres com a referència el so del sistema d'alerta 'Cant' que ja tenien alguns models de vehicle Nissan implementat.

Perquè aquests tres sons produïren nivells de pressió sonora constant mitjançant el sistema dissenyat, es van modificar els senyals per a que foren de nivell constant. A més, per tal de comprovar que l'altaveu era capaç de reproduir aquestes senyals correctament, es van analitzar les components freqüencials de les mateixes. Les Figures 32, 33 i 34 mostren la variació d'aquestes senyals en funció del temps i de la freqüència.

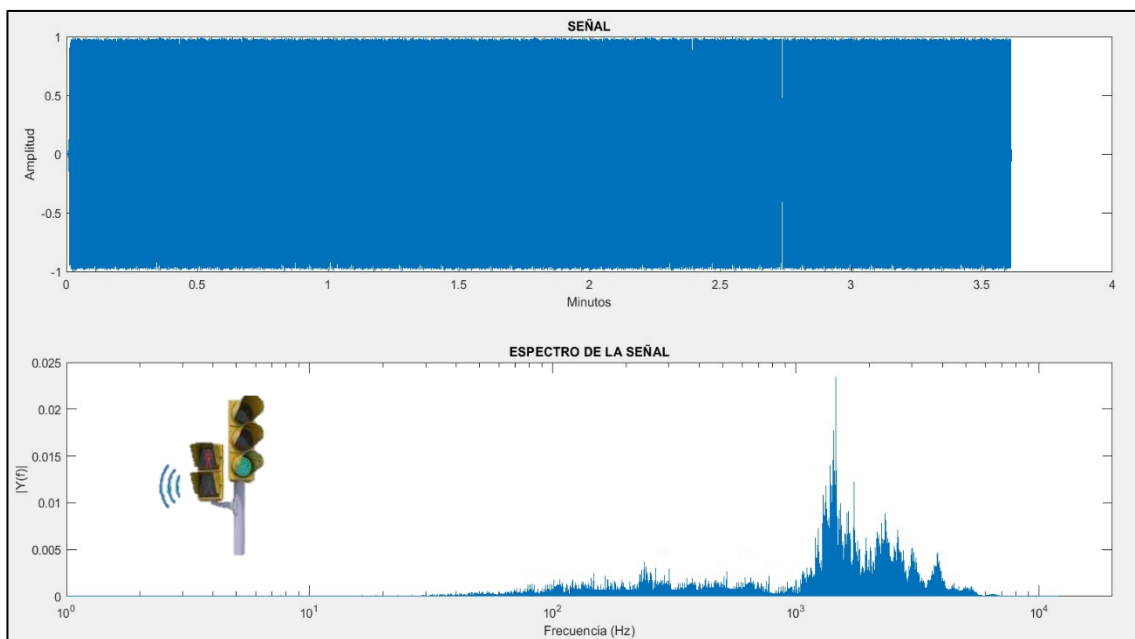


Figura 32. To intermitent en funció del temps i la freqüència.

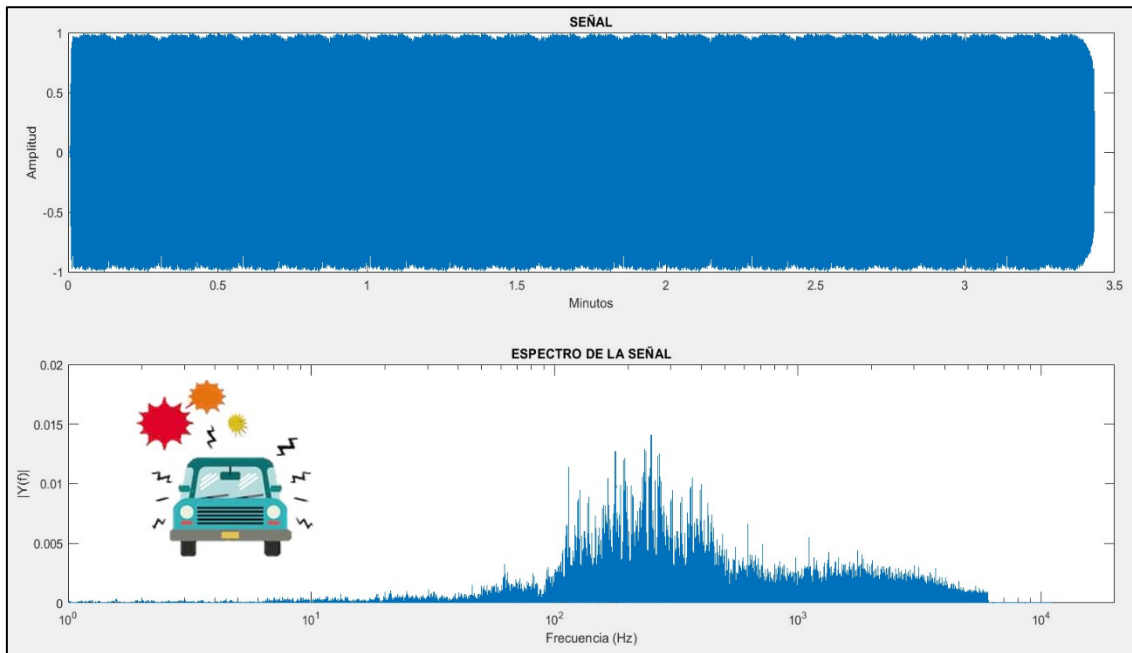


Figura 33. Soroll de motor de combustió en funció del temps i la freqüència.

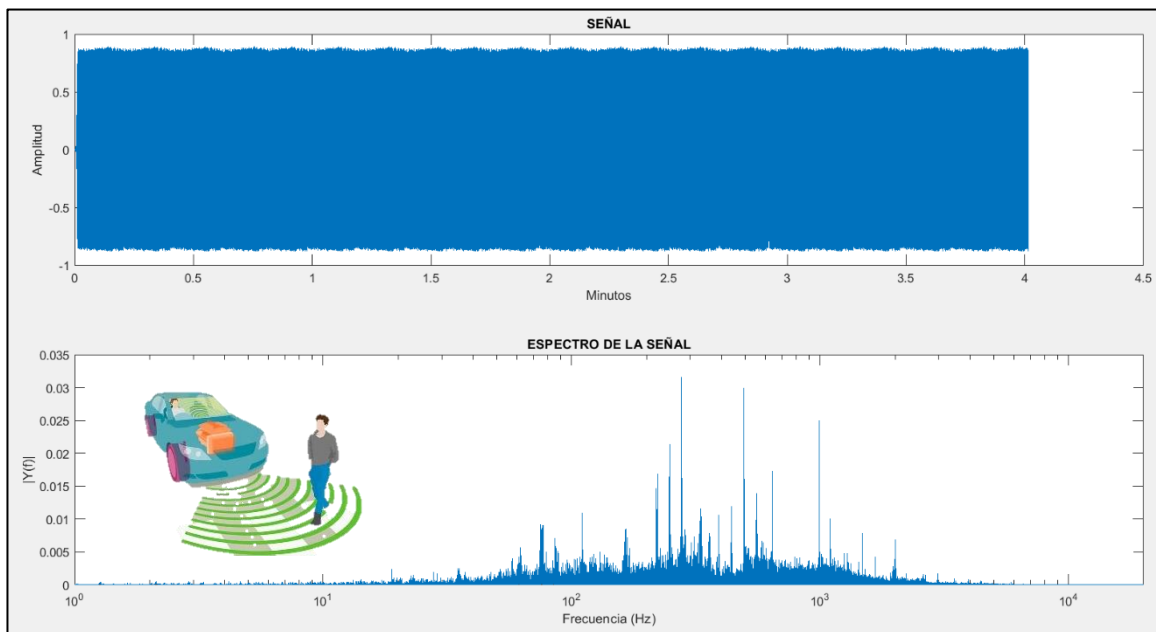


Figura 34. Soroll de motor sintetitzat en funció del temps i la freqüència.

De les gràfiques anteriors es desprenen les següents conclusions:

- L'altaveu GA0776 pot reproduir correctament totes les senyals.
- El so del motor d'un cotxe de combustió és el que més components freqüencials té, ja que aquest és bàsicament soroll.
- El so del motor sintetitzat i el to intermitent són molt més tonals, sent aquest últim el que més per la seua pròpia naturalesa.







5.3 Probes i resultats

Amb l'objectiu de descobrir quin tipus de senyals resultarien òptimes per als sistemes d'alerta dels vehicles elèctrics, hem inclòs en el nostre treball d'investigació tres xicotetes proves mitjançant el sistema implementat i les senyals anteriors. Aquests tests pretenien bàsicament obtenir:

- El nivell de satisfacció de cada so.
- La preferència cap a ells.
- El grau de detectabilitat d'aquests.

Conseqüentment, es van elaborar tres breus proves amb models de resposta molt senzills. La primera prova consistia en qualificar el nivell de satisfacció de cada so en una escala de 0 a 5, en la qual:







Taula 8. Possibles respostes per a la primera prova.

Nivell de satisfacció	Significat	Valoració
0	Irritant (Tremendament desagradable)	
1	Molest (Molt desagradable)	
2	Desagradable	
3	Agradable	
4	Grat (Molt agradable)	
5	Plaent (Tremendament agradable)	

La segona prova, encara més senzilla que l'anterior, consistia en anotar la preferència cap al so que més els havia agradat. A la plantilla de preguntes i respostes, es formulava la següent pregunta: Si un d'aquests tres sons fora el que finalment s'implementara en els vehicles de tracció elèctrica, quin preferiries escoltar diàriament a la teua ciutat?

Finalment, la tercera prova consistia en determinar el grau de detectabilitat en una escala de 0 a 5, sent:

Taula 9. Possibles respostes per a la tercera prova.

Detectabilitat	Significat	Valoració
0	Pràcticament impossible de detectar	
1	Molt difícil de detectar	
2	Difícil de detectar	
3	Mitjanament detectable	
4	Detectable	
5	Totalment detectable	

Els assajos es van realitzar a una mostra de 50 persones a l'Avinguda dels Tarongers, un carrer pròxim als voltants de la Universitat Politècnica de València. Es va escollir aquest emplaçament i no es va optar per realitzar les proves a nivell de laboratori ja que es pretenia que l'escenari fora el més similar possible al panorama que trobarem en un parell d'anys a les nostres carreteres.

Les proves es van dur a terme durant el mes estival d'Agost, en les quals van participar familiars, amics, companys de treball i inclús desconeguts. La metodologia seguida era molt senzilla:

- S'explicava el procediment a seguir i el contingut de les proves a cada un dels enquestats. A continuació, se'ls proporcionava el full de respostes.
- Aquests es col·locaven a una distància de 8 metres en línia recta del pistó de l'altaveu. (Més tard vorem perquè aquesta distància).

- S'emetia la senyal del to intermitent durant 45 segons, variant en aquests la seua intensitat de menys a més. A continuació, es demanava a l'enquestat que indicara el nivell de satisfacció i el grau de detectabilitat que havia experimentat amb aquest so.
- S'emetia la senyal del soroll del motor de combustió durant 45 segons, variant en aquests la seua intensitat de menys a més. A continuació, es demanava a l'enquestat que indicara el nivell de satisfacció i el grau de detectabilitat que havia experimentat amb aquest so.
- S'emetia la senyal del soroll de motor sintetitzat durant 45 segons, variant en aquests la seua intensitat de menys a més. A continuació, es demanava a l'enquestat que indicara el nivell de satisfacció i el grau de detectabilitat que havia experimentat amb aquest so.
- Finalment es demanava a l'enquestat que determinara quin era el so que més agradable li havia resultat.



Figura 35. Realització de les proves.

La plantilla utilitzada per realitzar aquestes proves s'adjunta a continuació:


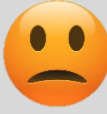




Sistemes d'alerta

En tots els casos, assenyalet amb una X a la taula corresponent.

Nivell de satisfacció

Determineu el nivell de satisfacció dels següents sons tenint en compte la correspondència de la taula adjunta.

Nivell de satisfacció	To intermitent	Soroll de motor de combustió	Soroll de motor sintetitzat
0			
1			
2			
3			
4			
5			

Nivell de satisfacció	0	1	2	3	4	5
						
	IRRITANT	MOLEST	DESAGRADABLE	AGRADABLE	GRAT	PLAENT

Preferència












Si un d'aquests tres sons fora el que finalment s'implementara en els vehicles de tracció elèctrica, quin preferiries escoltar diàriament a la teua ciutat?

Preferència	To intermitent	Soroll de motor de combustió	Soroll de motor sintetitzat

Grau de detectabilitat

Determineu el grau de detectabilitat dels següents sons tenint en compte la correspondència de la taula adjunta.

Grau de detectabilitat	To intermitent	Soroll de motor de combustió	Soroll de motor sintetitzat
0			
1			
2			
3			
4			
5			

	0	1	2	3	4	5
Facilitat						
						
	INDETECTABLE	MOLT DIFÍCIL DE DETECTAR	DIFÍCIL DE DETECTAR	MITJANAMENT DETECTABLE	DETECTABLE	TOTALMENT DETECTABLE

Sugerències

Una vegada finalitzats els assajos, es van recopilar els diferents resultats i es va realitzar un xicotet anàlisi estadístic per a veure les conclusions que llançava el nostre estudi. Els resultats, els qual son definitivament aclaratoris, es mostren a la Taula 10, 11 i 12 i en la Figura 36, 37 i 38.

Taula 10. Resultats del test per al nivell de grat.

Nivell de satisfacció	To intermitent	Soroll de motor de combustió	Soroll de motor sintetitzat
0	27	6	0
1	15	16	0
2	7	21	3
3	0	6	6
4	0	1	25
5	1	0	15

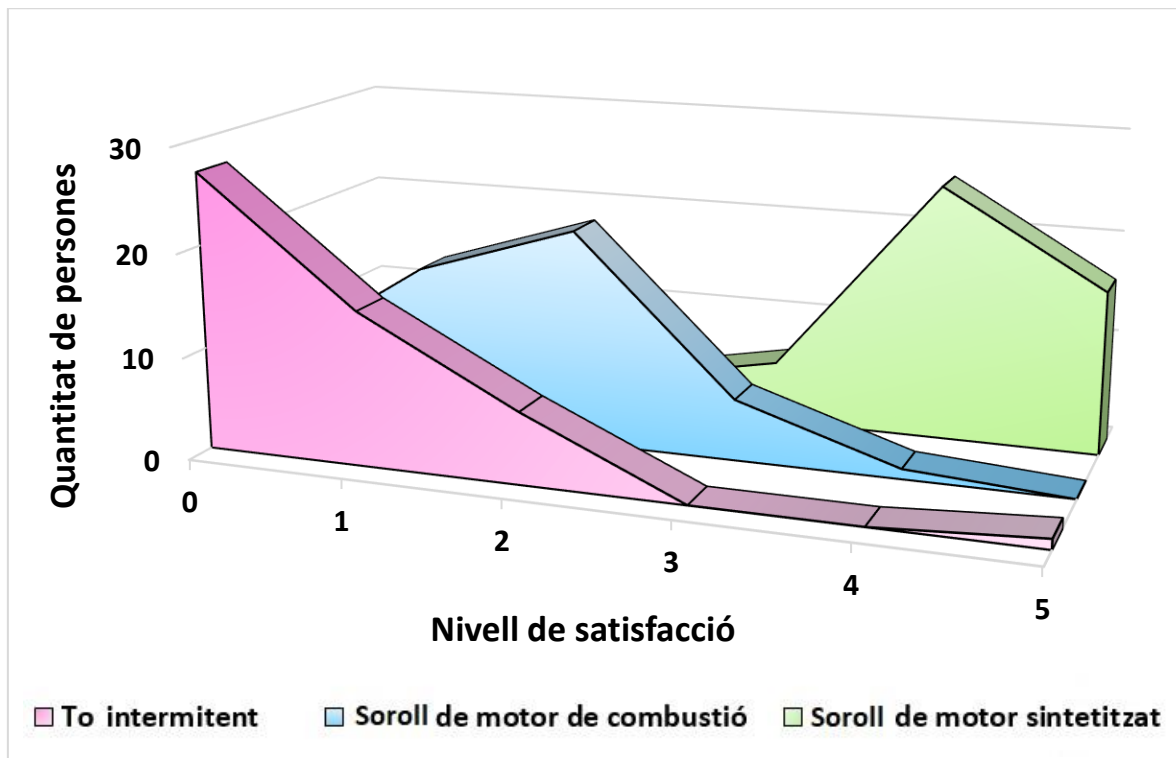


Figura 36. Nivell de satisfacció de els diferents senyals d'alerta .

Taula 11. Preferència de so.

Preferència	To intermitent	Soroll de motor de combustió	Soroll de motor sintetitzat
	1	7	42

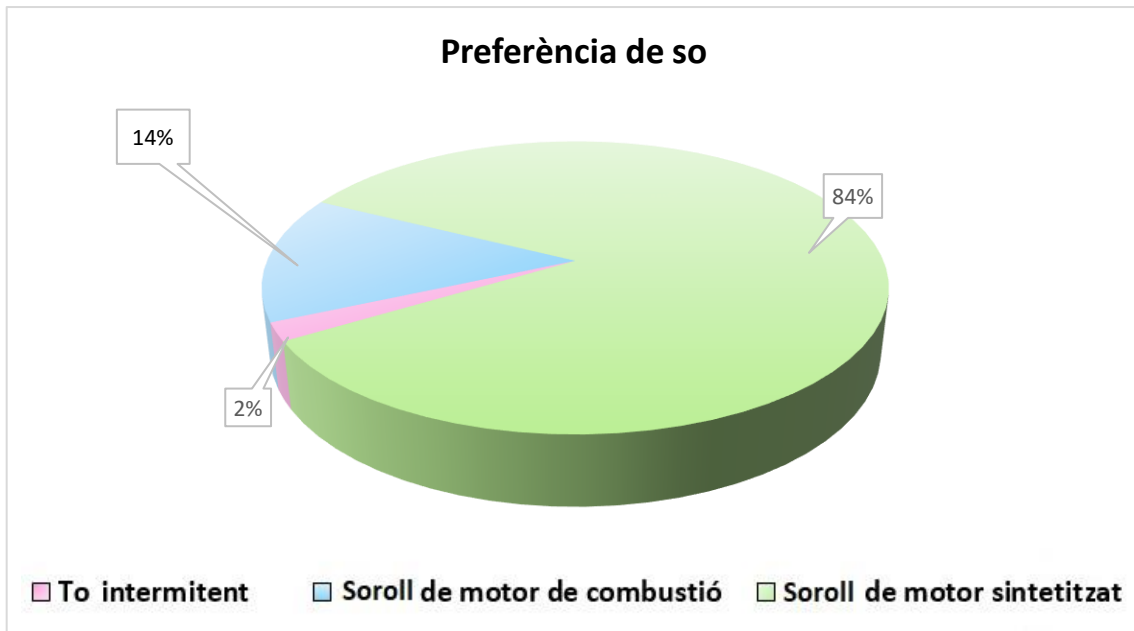


Figura 37. Preferència cap a les diferents senyals d'alerta.

Taula 12. Resultats del test per al grau de detectabilitat.

Detectabilitat	To intermitent	Soroll de motor de combustió	Soroll de motor sintetitzat
0	0	0	0
1	0	0	12
2	0	12	18
3	3	23	13
4	18	11	6
5	29	4	1

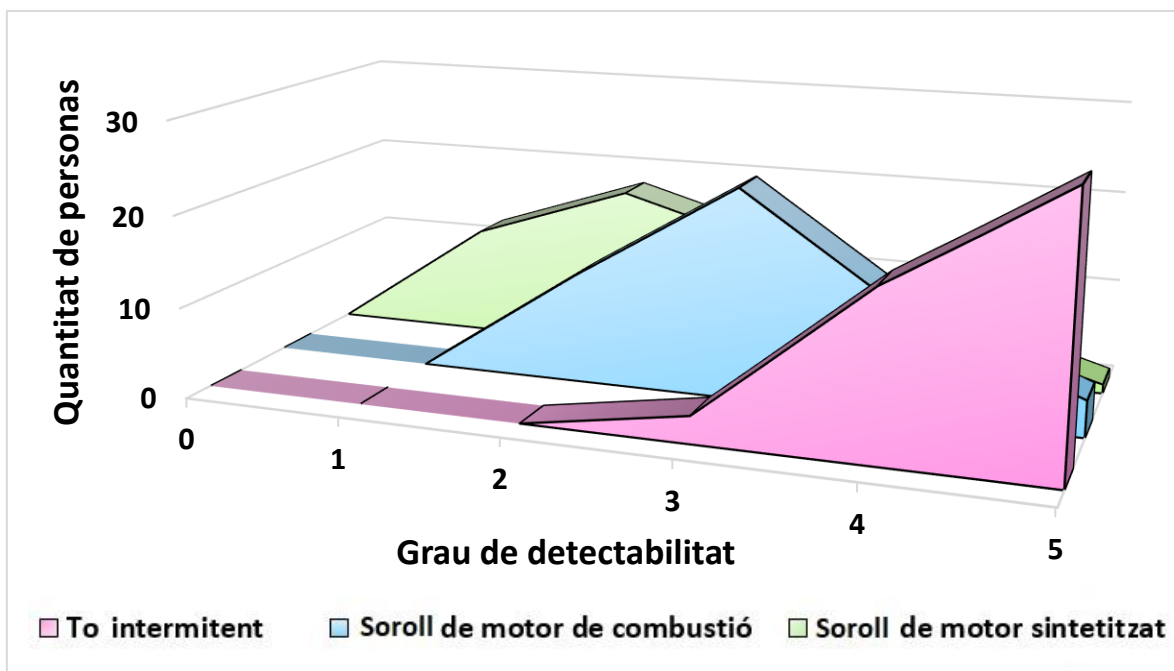


Figura 38. Grau de detectabilitat.

Com s'aprecia, els resultats són extremadament significatius, encara que pel seu disseny, precisament eren resultats més que esperables. Tal com comentàvem a l'inici del capítol, el cervell no respon de la mateixa manera a tots els sons (recordem l'exemple de la música, el soroll molest i el plor d'un bebé). En conseqüència, el nostre estudi pretenia bàsicament simular aquestes tres respostes mitjançant diferents possibles sons d'alerta.

El to intermitent utilitzat en els semàfors per a incidents tenia com a objectiu emular la sensació que produeix el plor d'un xiquet o la sirena d'una ambulància, sons mitjançant els quals, el nostre cervell entra en estat d'alerta. Mitjançant el soroll del motor de combustió, preteníem simular la resposta que produeix el nostre cervell quan aquest s'exposa a una font de soroll coneguda, i mitjançant el soroll del motor sintetitzat, preteníem reproduir la sensació agradable que produeix la música, o en aquest cas, una breu peça 'melòdica' que emula un soroll conegut. De fet, com s'ha comentat anteriorment en la memòria, aquests sons d'alerta estan sent dissenyats actualment fins i tot per compositors de renom, buscant precisament això, el major grau d'acceptació possible.

Aleshores, podríem determinar que les conclusions del nostre estudi serien:

- Que el so més agradable ha resultat ser el del motor sintetitzat i que el so més molest sembla ser el del to intermitent.
- Que curiosament, el to intermitent és el so més fàcil de detectar, mentre que el soroll del motor sintetitzat sembla passar més inadvertit.
- Que el so del motor de combustió, tot i ser una font de soroll, ha obtingut un nivell de satisfacció mitjà, la qual cosa es deu principalment a la quotidianitat amb la qual ens enfrontem a aquest.
- Que les senyals seleccionades s'acosten a les diferents sensacions produïdes pel cervell per a diferents sons. El to intermitent provoca un estat d'alerta (fàcil detectabilitat) però una pèssima simpatia (baix nivell de grat). El so del motor de combustió provoca un estímul neutre (detectabilitat mitjana) i una freda acollida (nivell de satisfacció mitjà). El so del motor sintetitzat requereix més atenció (baixa detectabilitat) però produeix una sensació agradable (alt nivell de satisfacció).

En conseqüència, tenint en compte totes les variables anteriors i la prioritats dels enquestats, tot sembla indicar que el tipus de so que resultaria òptim per a tal fi seria el del motor sintetitzat. No tant per la seua detectabilitat sinó pel seu nivell d'acceptació i poca molèstia.

Aleshores, regint-nos pels resultats anteriors i donant prioritats al nivell de simpatia que aquestos generen, la selecció de sons d'alerta sembla estar encarada a seguir el patró de la Figura 39.

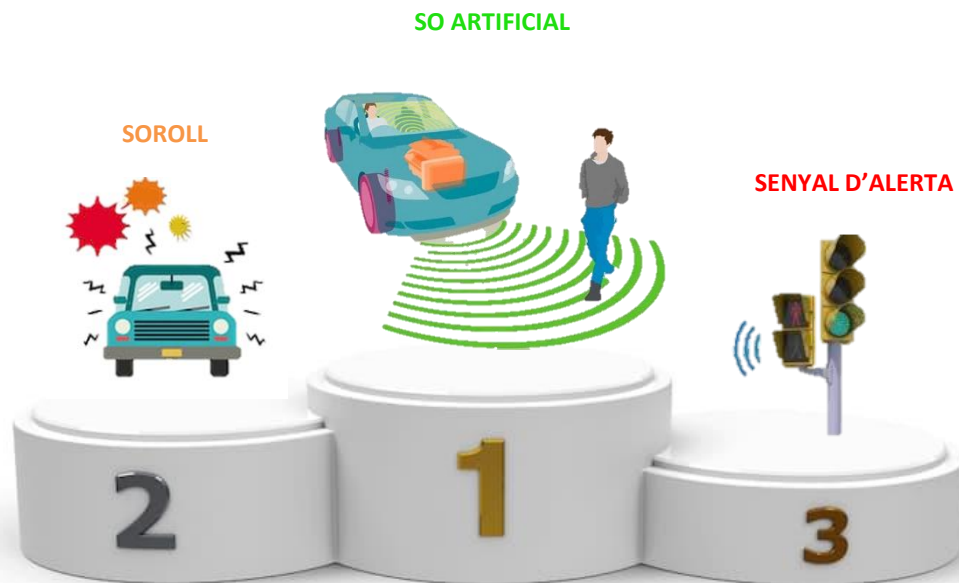


Figura 39. Conclusions de l'estudi psicoacústic.

Capítol 6

Assajos en entorns reals

6.1 Preparatori

En el marc de la problemàtica sobre sistemes d'alerta, havíem proposat un treball d'investigació que avaluara les característiques del so que haurien d'emetre els vehicles elèctrics per a poder ser aixina detectats pels vianants de la manera més agradable possible però sense elevar innecessàriament el nivell de contaminació acústica urbana. Per tant, una volta conegudes les preferències dels usuaris pel que fa al tipus de senyal, havíem de reutilitzar el sistema dissenyat per a avaluar ara les característiques del senyal en quant als nivells de pressió emesos es referix.

La normativa europea ha delimitat els límits d'emissió entre un marge que comprèn des dels 56 dB fins als 75 dB, però és més que evident que aquest sistema, tot i no haver cap paraula al respecte, haurà de ser adaptatiu, és a dir, no hauria d'emetre amb la mateixa intensitat en un escenari silenciós que un escenari altament sorollós. S'ha de tindre en compte que d'un marge a l'altre de la intensitat establida, estem parlant aproximadament de quadruplicar el nivell de senyal. Per aquesta raó, mitjançant una metodologia similar als assaigs anteriors, aquest capítol abordarà l'elaboració, realització i verificació de diferents proves per a obtenir el nivell de pressió sonora òptim que els vehicles haurien d'emetre en funció de les condicions del entorn.

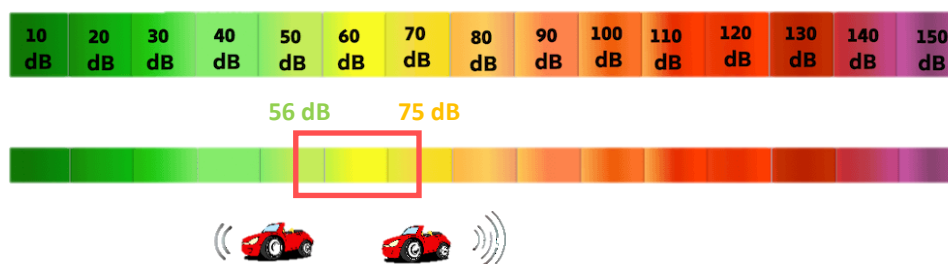


Figura 40. Marges d'emissió segons normativa europea.

6.2 Realització de les proves

El soroll urbà no es limita simplement al soroll produït pel transport, sinó que aquest es constitueix de diferents i diversos components, com per exemple, el soroll generat per l'activitat humana o els sorolls propis de la naturalesa (imaginem a un sorollós grup de pardals). Per tant, ja que la nostra investigació se centrarà en el soroll que produiran els vehicles elèctrics, és a dir, el soroll produït pel transport, creiem convenient reconèixer, caracteritzar i analitzar les característiques d'aquest de manera aïllada. Només aixina podrem avaluar correctament la influència que aquest té en l'escenari acústic d'una ciutat.

Per a obtindre valors òptims d'emissió en funció de les diferents característiques sonores de l'entorn, primer havíem de diferenciar entre possibles escenaris d'acord als seus nivells. Aleshores, tenint en compte els valors típics del soroll urbà a les principals ciutats, hem plantejat una peculiar classificació en la que el soroll ambient es caracteritza de la mateixa manera que la intensitat sonora d'una orquestra simfònica en funció de la dinàmica.

Quan una orquestra clàssica executa una obra, el seu rang de nivells abasta generalment des dels 40 fins als 100 dB, uns valors més que semblants als que podem trobar-nos diàriament a les nostres ciutats (a excepció dels 90-100dB). Aquests valors depenen de la dinàmica, és a dir, dels matisos assenyalats en les partitures utilitzades per interpretar les obres musicals. A la següent taula es mostren les intensitats de so i la seua correspondència amb els decibels que l'orquestra emet aproximadament.

Taula 13. Classificació de les dinàmiques i la seua correspondència amb decibels.

Dinàmica	Intensitat en dB
<i>pp</i>	40 dB
<i>p</i>	50 dB
<i>mp</i>	60 dB
<i>mf</i>	70 dB
<i>f</i>	80 dB
<i>ff</i>	90-100 dB

En conseqüència, tenint en compte la correspondència anterior i els marges d'emissió establits per la normativa, vam creure convenient elaborar la següent classificació d'ambients sonors per a després, realitzar les proves específicament en aquests escenaris. La nostra particular classificació es mostra a la Taula 14.

Taula 14. Classificació dels ambients sonors i la seua correspondència amb decibels.

Ambient	Intensitat en dB	Possible escenari
Silenciós	< 40 dB	Carrers secundaris a la matinada
Tranquil	40 dB - 50 dB	Carrers principals a la matinada
Normal	50 dB - 60 dB	Carrers secundaris fluids al migdia
Sorollós	60 dB - 70 dB	Carrers principals fluids al migdia
Molt sorollós	70 dB - 80 dB	Carrers principals congestionats
Excessivament sorollós	> 80 dB	Situacions especials com ambulàncies o cotxes de policia en entorns congestionats

En el nostre estudi, el soroll de fons (SPL_{FONS}) es definix com qualsevol soroll procedent de la pròpia naturalesa i de les diverses activitats humanes, incloent també el del transport. En conseqüència, el soroll total que percebrà el sonòmetre del nostre sistema (SPL_{TOTAL}) es calcularà com la superposició de dos fonts: el soroll de fons (SPL_{FONS}) i el soroll generat exclusivament pel senyal d'alerta ($SPL_{SENYAL D'ALERTA}$). Això és:

$$SPL_{TOTAL} = SPL_{SENYAL D'ALERTA} + SPL_{FONS} (dBA)$$

Aleshores, tenint en compte la consideració anterior i que el nostre sistema ens mostra per pantalla precisament la diferència de nivell que s'aconsegueix respecte al soroll de fons, es van realitzar una sèrie d'assajos en entorns reals per a aixina poder relacionar-los amb la taula anterior i poder extreure diverses conclusions. Les peculiaritats de l'estudi es detallen a continuació:

- Es van realitzar les mateixes proves en cinc entorns diferents per a contrastar les dades d'ambients silenciosos, tranquils, normals, sorollosos i molt sorollosos d'acord a la Taula 15. Per a això, primer es va monitoritzar el soroll ambient en diferents entorns i amb aquests valors, es van escollir els emplaçaments idonis per a dur a terme els assajos.

- Els cinc escenaris van ser:
 - Carrer del Músic Chapí (46013, Valencia) – 22:30 19/08/2019
(CARRER SECUNDÀRIA A LA MATINADA)
 - Carrer del Gravador Jordán (46013, Valencia) – 23:30 19/08/2019
(CARRER PRINCIPAL A LA MATINADA)
 - Carretera Zorrilla (46013, Valencia) – 16:00 21/08/2019
(CARRER SECUNDÀRIA FLUIDA AL MIGDIA)
 - Avinguda dels Tarongers (46022, Valencia) – 11:00 19/08/2019
(CARRER PRINCIPAL FLUIDA AL MIGDIA)
 - Avinguda d'Ausiàs March (46013, Valencia) – 13:00 21/08/2019
(CARRER PRINCIPAL CONGESTIONAT)

- En els entorns diürns van participar 50 persones, majoritàriament desconeguts. En els entorns nocturns, a causa del escàs trànsit de personal, van participar només 20 persones.

- Cada prova consistia en el següent:
 - 1) Cada persona es col·locava a una distància de 8 metres en línia recta respecte a l'altaveu. Aquesta és la distància que la comissió europea ha calculat com 'segura' perquè el vianant pugua sentir que s'acosta un vehicle elèctric i reaccione en cas de que siga necessari.
 - 2) S'inicializaba el sistema implementat. Conseqüentment, es monitorizaba el soroll de fons i es començava a emetre la senyal d'alerta del motor sintetitzat amb el mínim nivell possible. Pel display es mostrava la diferencia de senyals.
 - 3) Se li preguntava a l'enquestat si era capaç de sentir i distingir el so d'alerta de manera clara entre el soroll de fons. Si la resposta era afirmativa, s'anotava aquest valor i finalitzava la prova. Si la resposta era negativa, s'augmentava el nivell d'emissió i es realitzava de nou l'assaig.



Figura 41. Realització dels assajos.

6.3 Resultats

En camp lliure, al doblregar la distància, l'amplitud de l'ona es redueix aproximadament a la meitat, de manera que el nivell de pressió sonora disminueix 6 dB. Aleshores, tenint en compte que la distància a la qual els sons d'alerta han de ser percebuts és de 8 metres, el nivell de pressió sonora de l'ona emesa disminuirà aproximadament 18 dB per a aquesta distància tal com es mostra a la Figura 42.

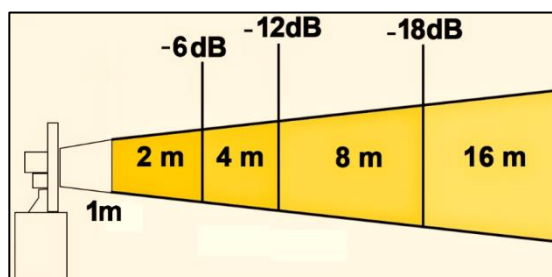


Figura 42. Disminució del nivell de pressió sonora emès en funció de la distància.

Per tant, amb les premisses anteriors i el sistema dissenyat, es van obtenir els següents resultats per als diferents escenaris:

Taula 15. Resultat dels assajos a l'escenari 1.

Carrer del Músic Chapí					
Soroll de fons: 33,8 dB					
Enquestat 1	+8 dB	Enquestat 8	+9 dB	Enquestat 15	+8 dB
Enquestat 2	+9 dB	Enquestat 9	+8 dB	Enquestat 16	+8 dB
Enquestat 3	+9 dB	Enquestat 10	+8 dB	Enquestat 17	+7 dB
Enquestat 4	+6 dB	Enquestat 11	+9 dB	Enquestat 18	+8 dB
Enquestat 5	+7 dB	Enquestat 12	+8 dB	Enquestat 19	+5 dB
Enquestat 6	+8 dB	Enquestat 13	+8 dB	Enquestat 20	+8 dB
Enquestat 7	+6 dB	Enquestat 14	+9 dB	TOTAL	7,8 dB

Taula 16. Resultat dels assajos a l'escenari 2.

Carrer del Gravador Jordán					
Soroll de fons: 42,5 dB					
Enquestat 1	+4 dB	Enquestat 8	+3 dB	Enquestat 15	+5 dB
Enquestat 2	+3 dB	Enquestat 9	+4 dB	Enquestat 16	+4 dB
Enquestat 3	+3 dB	Enquestat 10	+3 dB	Enquestat 17	+3 dB
Enquestat 4	+5 dB	Enquestat 11	+3 dB	Enquestat 18	+3 dB
Enquestat 5	+6 dB	Enquestat 12	+4 dB	Enquestat 19	+5 dB
Enquestat 6	+4 dB	Enquestat 13	+4 dB	Enquestat 20	+4 dB
Enquestat 7	+4 dB	Enquestat 14	+4 dB	TOTAL	3,9 dB

Taula 17. Resultat dels assajos a l'escenari 3.

Carretera Zorrilla					
Soroll de fons: 51,9 dB					
Enquestat 1	+2 dB	Enquestat 18	+2 dB	Enquestat 35	+4 dB
Enquestat 2	+3 dB	Enquestat 19	+3 dB	Enquestat 36	+1 dB
Enquestat 3	+2 dB	Enquestat 20	+2 dB	Enquestat 37	+2 dB
Enquestat 4	+1 dB	Enquestat 21	+1 dB	Enquestat 38	+2 dB
Enquestat 5	+2 dB	Enquestat 22	+2 dB	Enquestat 39	+2 dB
Enquestat 6	+3 dB	Enquestat 23	+2 dB	Enquestat 40	+2 dB
Enquestat 7	+2 dB	Enquestat 24	+3 dB	Enquestat 41	+2 dB
Enquestat 8	+3 dB	Enquestat 25	+4 dB	Enquestat 42	+3 dB
Enquestat 9	+1 dB	Enquestat 26	+3 dB	Enquestat 43	+2 dB
Enquestat 10	+2 dB	Enquestat 27	+2 dB	Enquestat 44	+2 dB
Enquestat 11	+1 dB	Enquestat 28	+3 dB	Enquestat 45	+1 dB
Enquestat 12	+1 dB	Enquestat 29	+1 dB	Enquestat 46	+2 dB
Enquestat 13	+2 dB	Enquestat 30	+2 dB	Enquestat 47	+2 dB
Enquestat 14	+3 dB	Enquestat 31	+2 dB	Enquestat 48	+3 dB
Enquestat 15	+4 dB	Enquestat 32	+1 dB	Enquestat 49	+2 dB
Enquestat 16	+2 dB	Enquestat 33	+2 dB	Enquestat 50	+2 dB
Enquestat 17	+2 dB	Enquestat 34	+2 dB	TOTAL	2,1 dB

Taula 18. Resultat dels assajos a l'escenari 4.

Avinguda dels Tarongers					
Soroll de fons: 63,3 dB					
Enquestat 1	+3 dB	Enquestat 18	+1 dB	Enquestat 35	+2 dB
Enquestat 2	+2 dB	Enquestat 19	+2 dB	Enquestat 36	+1 dB
Enquestat 3	+2 dB	Enquestat 20	+1 dB	Enquestat 37	+1 dB
Enquestat 4	+1 dB	Enquestat 21	+2 dB	Enquestat 38	+2 dB
Enquestat 5	+3 dB	Enquestat 22	+2 dB	Enquestat 39	+1 dB
Enquestat 6	+1 dB	Enquestat 23	+1 dB	Enquestat 40	+2 dB
Enquestat 7	+1 dB	Enquestat 24	+3 dB	Enquestat 41	+1 dB
Enquestat 8	+2 dB	Enquestat 25	+1 dB	Enquestat 42	+2 dB
Enquestat 9	+1 dB	Enquestat 26	+2 dB	Enquestat 43	+2 dB
Enquestat 10	+2 dB	Enquestat 27	+1 dB	Enquestat 44	+1 dB
Enquestat 11	+1 dB	Enquestat 28	+1 dB	Enquestat 45	+1 dB
Enquestat 12	+2 dB	Enquestat 29	+2 dB	Enquestat 46	+2 dB
Enquestat 13	+2 dB	Enquestat 30	+1 dB	Enquestat 47	+1 dB
Enquestat 14	+3 dB	Enquestat 31	+1 dB	Enquestat 48	+2 dB
Enquestat 15	+1 dB	Enquestat 32	+1 dB	Enquestat 49	+1 dB
Enquestat 16	+1 dB	Enquestat 33	+2 dB	Enquestat 50	+2 dB
Enquestat 17	+2 dB	Enquestat 34	+1 dB	TOTAL	1,6 dB

Taula 19. Resultat dels assajos a l'escenari 5.

Avinguda d'Ausiàs March					
Soroll de fons: 71 dB					
Enquestat 1	+1 dB	Enquestat 18	+1 dB	Enquestat 35	+1 dB
Enquestat 2	+2 dB	Enquestat 19	+2 dB	Enquestat 36	+2 dB
Enquestat 3	+1 dB	Enquestat 20	+2 dB	Enquestat 37	+1 dB
Enquestat 4	+2 dB	Enquestat 21	+1 dB	Enquestat 38	+1 dB
Enquestat 5	+2 dB	Enquestat 22	+2 dB	Enquestat 39	+2 dB
Enquestat 6	+1 dB	Enquestat 23	+1 dB	Enquestat 40	+1 dB
Enquestat 7	+2 dB	Enquestat 24	+1 dB	Enquestat 41	+1 dB
Enquestat 8	+1 dB	Enquestat 25	+2 dB	Enquestat 42	+1 dB
Enquestat 9	+2 dB	Enquestat 26	+2 dB	Enquestat 43	+2 dB
Enquestat 10	+1 dB	Enquestat 27	+2 dB	Enquestat 44	+1 dB
Enquestat 11	+1 dB	Enquestat 28	+1 dB	Enquestat 45	+2 dB
Enquestat 12	+1 dB	Enquestat 29	+2 dB	Enquestat 46	+2 dB
Enquestat 13	+2 dB	Enquestat 30	+1 dB	Enquestat 47	+1 dB
Enquestat 14	+1 dB	Enquestat 31	+2 dB	Enquestat 48	+1 dB
Enquestat 15	+1 dB	Enquestat 32	+2 dB	Enquestat 49	+1 dB
Enquestat 16	+1 dB	Enquestat 33	+1 dB	Enquestat 50	+1 dB
Enquestat 17	+1 dB	Enquestat 34	+1 dB	TOTAL	1,4 dB

La qual cosa, de manera ordenada i fent una mitjana de totes les dades, llança uns resultats finals de:

Taula 20. Resultats dels assaigs.

Ambient	dB+ SOROLL DE FONTS	Soroll de fons
Molt silenciós	7,8 dB	< 40 dB
Silenciós	3,9 dB	40 dB - 50 dB
Soroll elevat	2,1 dB	50 dB - 60 dB
Àrea sorollosa	1,58 dB	60 dB - 70 dB
Àrea molt sorollosa	1,40 dB	70 dB - 80 dB

De la Taula 20 destaquem que:

- Quan el soroll de fons és molt baix, una mínima contribució eleva considerablement el còmput global.
- Quan el soroll de fons és elevat, es requereix d'una major intensitat d'emissió per alterar el còmput global.
- En conseqüència, els decibels que s'aconsegueixen per dalt del soroll de fons decreixen ràpidament conforme el soroll de fons augmenta.

Els valors anteriors es mostren també de manera gràfica, on a més, s'ha afegit una línia de regressió potencial per ser la que millor s'ajustava.

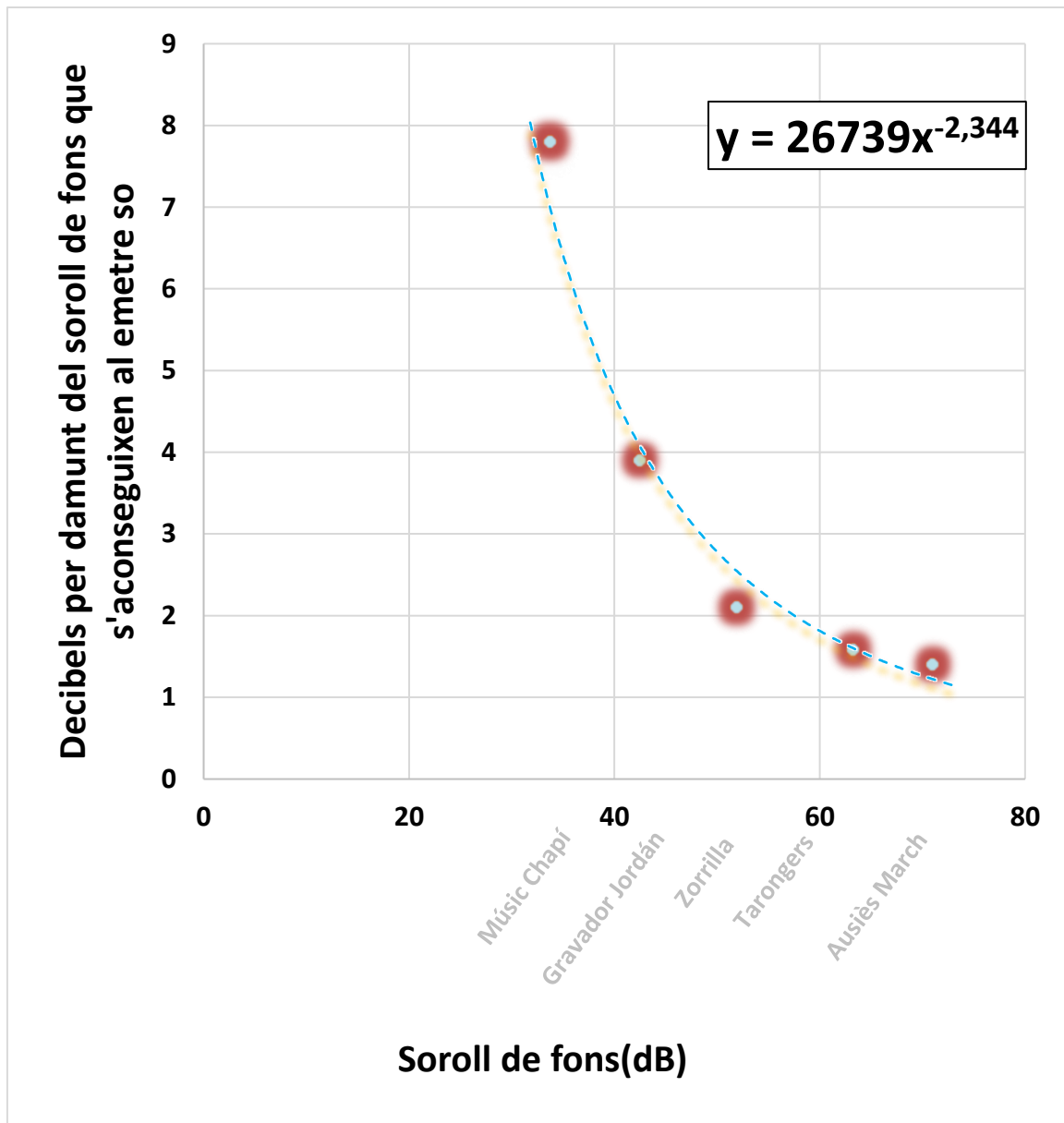


Figura 43. Resultats gràfics de l'assaig amb els senyals d'alerta.

Finalment, s'ha afegit també la Taula 21 i la Figura 44, en les quals, es determina el nivell d'emissió exacte que l'altaveu hauria d'emetre (en funció de les característiques sonores dels nostres assajos) per aconseguir aquests nivells. Per a això, s'ha tingut en compte la següent relació:

$$dB_{+SOROLL DE FONTS} = SPL_{TOTAL} - SPL_{FONS}$$

$$SPL_{ALTAVEU} = 10 \log \left(10^{\frac{SPL_{TOTAL}}{10}} - 10^{\frac{SPL_{FONS}}{10}} \right)$$

$$SPL_{ALTAVEU} = 10 \log \left(10^{\frac{SPL_{FONS} + dB_{+SOROLL DE FONTS}}{10}} - 10^{\frac{SPL_{FONS}}{10}} \right)$$

Taula 21. Resultats dels assaigs.

Ambient	dB+ SOROLL DE FONTS ($SPL_{TOTAL} - SPL_{FONS}$)	Soroll de fons (SPL_{FONS})	Nivell de pressió sonora emès per altaveu ($SPL_{ALTAVEU}$)	Total (SPL_{TOTAL})
Molt silencios	7,8 dB	33,8 dB	40,81 dB	41,59 dB
	El nivell d'emissió és menor que l'exigit per la normativa. Conseqüentment, ens veuríem obligats a emetre a 56 dB.			
Silencios	3,9 dB	42,5 dB	44,12 dB	46,39 dB
	El nivell d'emissió és menor que l'exigit per la normativa. Conseqüentment, ens veuríem obligats a emetre a 56 dB.			
Soroll elevat	2,1 dB	51,9 dB	49,83 dB	53,99 dB
	El nivell d'emissió és menor que l'exigit per la normativa. Conseqüentment, ens veuríem obligats a emetre a 56 dB.			
Àrea sorollosa	1,6 dB	63,3 dB	59,78 dB	64,89 dB
	El nivell d'emissió es troba entre els límits de la normativa.			
Àrea molt sorollosa	1,4 dB	71 dB	66,80	72,39 dB
	El nivell d'emissió es troba entre els límits de la normativa.			

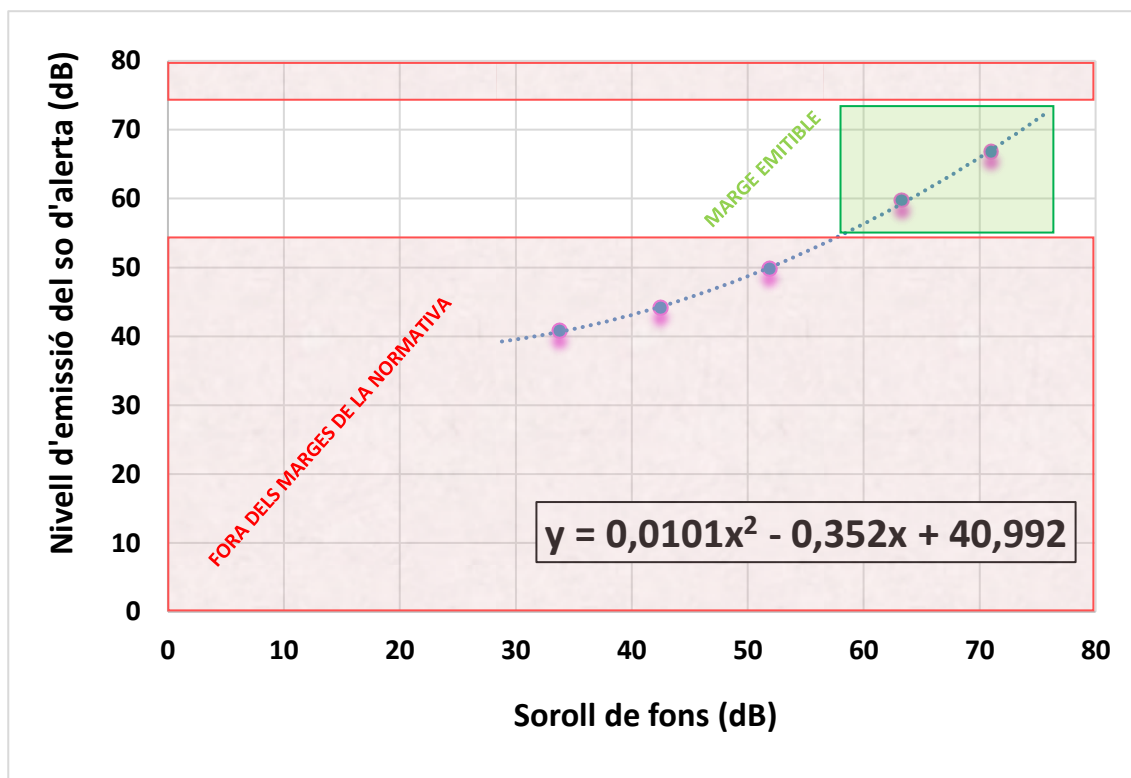


Figura 44. Resultats gràfics de l'assaig amb els senyals d'alerta.

6.4 Programació final a partir dels resultats

Finalment, amb l'objectiu de verificar els resultats i dotar-los d'una funcionalitat pràctica, es va implementar un segon sistema amb tots i cada un dels components anteriorment descrits. En aquest cas, tan sols va fer falta variar la programació d'Arduino. Aquesta vegada, en volta de monitoritzar el soroll de fons, emetre senyals d'alerta i obtenir la diferència de nivells entre elles, ara el sistema s'encarregava de monitoritzar el soroll de fons i emetre les senyals d'alerta en funció d'aquest. Òbviament, amb les dades obtingudes dels nostres assajos. Això vol dir que per exemple, si Arduino detecta que el soroll de fons és de 35 dB, emet la senyal fins a arribar 7,8 dB per damunt del soroll de fons, mentre que si el soroll és de 50 dB, ho farà fins incrementar-lo 2,1 dB. En aquest sistema bàsicament implementarem el que considerem que serà la base dels nous sistemes d'alerta: sistemes adaptatius en funció de les condicions ambientals. La programació realitzada va ser la següent:

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <TM1637.h>

SoftwareSerial mySerial(10, 11);

# define Start_Byte 0x7E
# define Version_Byte 0xFF
# define Command_Length 0x06
# define End_Byte 0xEF
# define Acknowledge 0x00
#define SoundSensorPin A5
#define VREF 5.0
#define CLK 3
#define DIO 2

const int btnNext = A0;
const int btnPause = A1;
const int volumeUP = A2;
const int volumeDOWN = A3;

int volume = 1;
boolean Playing = false;

float Noise;
float NoiseFixed;
float dbValue;

TM1637 display1(CLK,DIO);

void setup ()
{
  pinMode(btnPause, INPUT);
  pinMode(btnNext, INPUT);
  pinMode(volumeUP, INPUT);
  pinMode(volumeDOWN, INPUT);
  digitalWrite(btnPause, HIGH);
  digitalWrite(btnNext, HIGH);
  digitalWrite(volumeUP, HIGH);
  digitalWrite(volumeDOWN, HIGH);
  Serial.begin(9600);
  mySerial.begin(9600);
  delay(2000);
```

```

    display1.set();
    display1.init() ;

delay(2000);

float voltageValue, dbValue;

for(int i=0; i<50; i++){

    voltageValue = analogRead(SoundSensorPin) / 1024.0 * VREF;

    dbValue = voltageValue * 50.0;

    Noise=Noise+dbValue;}

    NoiseFixed=Noise/(50);

int Unidades, Decenas, Centenas;

Unidades = floor((NoiseFixed)/10);
Decenas = floor(NoiseFixed-floor((NoiseFixed)/10)*10);
Centenas = (NoiseFixed-floor((NoiseFixed)/10)*10-floor(NoiseFixed-
floor((NoiseFixed)/10)*10))*10;

delay(1000);

int8_t digitos[] = {Unidades,Decenas,Centenas,0} ;
delay(1000);
display1.display(digitos);
delay(4000);

playFirst();
Playing = true;
}

void loop () {

float voltageValue, dbValue;
float Noise=0;
float MeasureFixed;
int Final;
float Measure=0;

//Voy monitorizando las mediciones

int Condition;

for(int i=0; i<100; i++){

    voltageValue = analogRead(SoundSensorPin) / 1024.0 * VREF;

    dbValue = voltageValue * 50.0;

    Measure=Measure+dbValue;
}

MeasureFixed=Measure/(100);
Final=MeasureFixed-NoiseFixed;

```

```

if (NoiseFixed<40){ //Situacions on hi ha menys de 40 dB de soroll de fons

    if(Final<7.9){
        volumeINC();
    } else {
        volumeDEC();
    }
}

if (NoiseFixed>40 & NoiseFixed<50){ //Situacions on hi ha entre 40 i 50 dB de soroll de fons

    if(Final<3.9){
        volumeINC();
    } else {
        volumeDEC();
    }
}

if (NoiseFixed>50 & NoiseFixed<60){ //Situacions on hi ha entre 50 i 60 dB de soroll de fons

    if(Final<2.1){
        volumeINC();
    } else {
        volumeDEC();
    }
}

if (NoiseFixed>60 & NoiseFixed<70){ //Situacions on hi ha entre 60 i 70 dB de soroll de fons

    if(Final<1.58){
        volumeINC();
    } else {
        volumeDEC();
    }
}

if (NoiseFixed>70 & NoiseFixed<80){ // Situacions on hi ha entre 70 i 80 dB de soroll de fons

    if(Final<1.4){
        volumeINC();
    } else {
        volumeDEC();
    }
}

if (NoiseFixed>80){ //Situacions on hi ha més de 80 dB de soroll de fons

    if(Final<1){
        volumeINC();
    } else {
        volumeDEC();
    }
}

//Pulsador - Reiniciar sistema

if (digitalRead(btnPause) == LOW) {

    pause();
    delay(500);
}

```

```

for(int i=0; i<50; i++){

    voltageValue = analogRead(SoundSensorPin) / 1024.0 * VREF;

    dbValue = voltageValue * 50.0;

    Noise=Noise+dbValue;}

    NoiseFixed=Noise/(50);

int Unidades, Decenas, Centenas;

Unidades = floor((NoiseFixed)/10);
Decenas = floor(NoiseFixed-floor((NoiseFixed)/10)*10);
Centenas = (NoiseFixed-floor((NoiseFixed)/10)*10-floor(NoiseFixed-
floor((NoiseFixed)/10)*10))*10;

delay(500);

int8_t digitos[] = {Unidades,Decenas,Centenas,0} ;
delay(500);
display1.display(digitos);
delay(500);

playFirst();
Playing = true;
}

if (digitalRead(btnNext) == LOW) {
    pause();
    delay(500);
}

for(int i=0; i<50; i++){

    voltageValue = analogRead(SoundSensorPin) / 1024.0 * VREF;

    dbValue = voltageValue * 50.0;

    Noise=Noise+dbValue;}

    NoiseFixed=Noise/(50);

int Unidades, Decenas, Centenas;

Unidades = floor((NoiseFixed)/10);
Decenas = floor(NoiseFixed-floor((NoiseFixed)/10)*10);
Centenas = (NoiseFixed-floor((NoiseFixed)/10)*10-floor(NoiseFixed-
floor((NoiseFixed)/10)*10))*10;

delay(500);

int8_t digitos[] = {Unidades,Decenas,Centenas,0} ;
delay(500);
display1.display(digitos);
delay(500);

playFirst();
Playing = true;
}

if(digitalRead(volumeUP) == LOW){
    pause();
    delay(500);
}

for(int i=0; i<50; i++){

    voltageValue = analogRead(SoundSensorPin) / 1024.0 * VREF;

    dbValue = voltageValue * 50.0;

    Noise=Noise+dbValue;}

```

```

    NoiseFixed=Noise/(50);

    int Unidades, Decenas, Centenas;

    Unidades = floor((NoiseFixed)/10);
    Decenas = floor(NoiseFixed-floor((NoiseFixed)/10)*10);
    Centenas = (NoiseFixed-floor((NoiseFixed)/10)*10-floor(NoiseFixed-
    floor((NoiseFixed)/10)*10))*10;

    delay(500);

    int8_t digitos[] = {Unidades,Decenas,Centenas,0} ;
    delay(500);
    display1.display(digitos);
    delay(500);

    playFirst();
    Playing = true; }

    if(digitalRead(volumeDOWN) == LOW) {
        pause();
        delay(500);

    for(int i=0; i<50; i++){

        voltageValue = analogRead(SoundSensorPin) / 1024.0 * VREF;

        dbValue = voltageValue * 50.0;

        Noise=Noise+dbValue;}

        NoiseFixed=Noise/(50);

    int Unidades, Decenas, Centenas;

    Unidades = floor((NoiseFixed)/10);
    Decenas = floor(NoiseFixed-floor((NoiseFixed)/10)*10);
    Centenas = (NoiseFixed-floor((NoiseFixed)/10)*10-floor(NoiseFixed-
    floor((NoiseFixed)/10)*10))*10;

    delay(500);

    int8_t digitos[] = {Unidades,Decenas,Centenas,0} ;
    delay(500);
    display1.display(digitos);
    delay(500);

    playFirst();
    Playing = true;}
    }

    void playFirst() {
    exe_cmd(0x3F, 0, 0);
    delay(500);
    exe_cmd(0x06, 0, volume);
    delay(500);
    exe_cmd(0x11,0,1);
    delay(500);}

    void pause(){
    exe_cmd(0x0E,0,0);
    delay(500);}

    void play(){
    exe_cmd(0x0D,0,1);
    delay(500);}

    void next(){
    exe_cmd(0x01,0,1);
    delay(500);}

```

```

void volumeINC(){
volume = volume+1;
if(volume==31){
volume=30;
}
exe_cmd(0x06, 0, volume);
delay(500);}

void volumeDEC(){
volume = volume-1;
if(volume==0){
volume=1;}
exe_cmd(0x06, 0, volume);
delay(500);}
void exe_cmd(byte CMD, byte Par1, byte Par2){
word checksum = -(Version_Byte + Command_Length + CMD + Acknowledge + Par1 + Par2);
byte Command_line[10] = { Start_Byte, Version_Byte, Command_Length, CMD, Acknowledge, Par1,
Par2, highByte(checksum), lowByte(checksum), End_Byte};
for (byte x=0; x<10; x++)
{
mySerial.write(Command_line[x]);}
}

```


Capítol 7

Conclusions

7.1 Conclusions

Els vehicles elèctrics i híbrids i els diferents vehicles de mobilitat personal descrits al llarg d'aquest treball, estan cridats a ser el futur del transport en ciutats intel·ligents i la clau per a la reducció total del soroll i la pol·lució en àrees urbanes. No obstant, per a garantir la seguretat viària de tots els usuaris, abans s'han de solucionar diversos problemes associats a aquest tipus de vehicles.

Fins al moment, l'ús d'aquest tipus de vehicles tan sols ha posat de manifest l'increment del risc d'atropellament en entorns urbans a causa de la presència d'un sistema de transport tremendament silenciós, i més, si comparem els seus nivells enfront del seu antecessor, al qual tots estem més que acostumats. Conseqüentment, les diferents administracions, comitès i organitzacions relacionades amb el tràfic estan actualment tractant d'analitzar el problema i buscant solucions factibles, sent la mesura més significativa fins ara l'ús de sistemes acústics d'alerta de vehicles.

Aquesta recent decisió ha estat propiciada perquè aquesta 'insonoritat' planteja seriosos dubtes pel que fa a la seguretat viària de vianants i ciclistes, especialment per a aquells grups més vulnerables com xiquets, persones majors o invidents, ja que aquesta absència de soroll suposa una disminució dràstica de la detectabilitat del vehicle, de manera que impedeix al vianant adonar-se de la seua aproximació a una distància segura. De fet, els problemes, accidents i atropellaments deguts a aquesta causa han augmentat considerablement en els últims anys en les principals metròpolis. Ho hem vist i contrastat durant la memòria.

L'Administració Nacional de Seguretat del Trànsit dels EUA (NHTSA), després de moltes investigacions, ha establert la necessitat d'incorporar un soroll addicional en els vehicles per a velocitats inferiors a 30 km/h. D'aquesta manera, ara els fabricants de vehicles s'estan veient obligats a dissenyar els seus propis sons d'alerta d'acord a certes directrius bàsiques:

- El so havia de ser similar a l'emès per un vehicle de combustió típic.
- Havia d'instal·lar obligatòriament en tots els vehicles.
- No podria ser desactivat pel conductor de forma manual.
- Havia d'activar també amb la marxa enrere.

De manera similar, la Unió Europea, després de diversos anys de treball, acaba d'exposar el seu sistema anomenat AVAS (Acoustic Vehicle Alerting System), el qual va entrar en vigor l'1 de juliol d'aquest mateix any. El seu propòsit principal és alertar els vianants de la presència d'un vehicle a velocitats inferiors a 20 km/h i quan aquest vaja marxa enrere. A més, la comissió europea també ha especificat els marges d'emissió d'aquest sistema, raó per la qual, aquest treball es plantejava l'avaluació dels mateixos i l'adequació i validesa de les possibles senyals acústiques destinades precisament a aquesta finalitat.

D'acord amb les recomanacions del grup informal de treball Quiet Road Transport Vehicles (QRTV) de les Nacions Unides, els sons d'alerta haurien de complir certs requisits des del punt de vista de la seguretat viària i el medi ambient:

- Han de ser fàcilment audibles i localitzables.
- La seua directivitat ha de ser tal per a que es pugui sentir de forma adequada pels vianants independentment de la seua posició.
- Han de ser socialment acceptables.
- No han d'incrementar la contaminació acústica de les ciutats i alterar el paisatge sonor en excés.

Però segons el nostre treball d'investigació, els marges d'emissió que planteja la Comissió Europea (recordem que eren 56-75 dB) no serien els més idonis per a aquest recent sistema. El nostre estudi ha demostrat a través de diversos assajos en entorns reals que marges d'emissió molt menors produïrien el mateix resultat desitjat, i al mateix temps, ajudarien a reduir en gran mesura la contaminació acústica de les ciutats. A més, cal destacar que amb la futura expansió dels vehicles elèctrics, s'espera precisament que els paisatges sonors urbans reduïsquen la seua quantitat de soroll, la qual cosa entraria en conflicte amb el nostre estudi, ja que a aquests nivells tan baixos, ens veuríem obligats a emetre mínimament a 56 dB, una quantitat realment major a la necessària (Figura 44).

No obstant, les nostres proves psicoacústiques sobre el nivell de satisfacció i la detectabilitat dels senyals d'advertència sí que han corroborat les recomanacions de les diferents entitats expertes en la matèria sobre les característiques acústiques que haurien de tindre aquest tipus de senyals d'alerta. En conseqüència, ha quedat de manifest que els senyals òptims

estarien tremendament enfocades a ser meres imitacions de l'arxiconegut soroll del motor d'un cotxe de combustió, però ara, produïdes artificialment per softwares musicals, la qual cosa sembla ser el camí que estan prenent la majoria de companyies automobilístiques. No obstant, que el so més detectable siga el més desagradable és summament interessant, ja que suposa un repte sobre el qual cal treballar. No s'haurien d'utilitzar sons detectables a costa de que resulten desagradables, ja que la contaminació acústica que generarien seria insuportable, especialment a mesura que haguera més vehicles elèctrics.

7.2 Línies futures

La nostra ferramenta dissenyada ha provat tindre un correcte i adequat funcionament sempre que aquesta ha sigut utilitzada de manera aïllada com a sistema d'alerta. Aixina ha quedat demostrat durant el transcurs de la memòria. En canvi, quan es van realitzar les últimes verificacions de funcionament en entorns reals mitjançant el segon sistema implementat, el qual monitorizaba el soroll de fons i emetia la senyal amb més o menys potència en funció d'aquest, ens vam adonar d'un problema potencial, ja no del nostre sistema en particular, sinó del sistema AVAS en general. Tractem d'exemplificar-lo a la Figura 45.

Imaginem una situació en la que tres cotxes elèctrics es troben parats en una intersecció urbana perquè el semàfor es troba en roig. En aquesta situació, els sistemes d'alerta no estarien emetent cap tipus de senyal, ja que aquests detectarien que els vehicles no estan en moviment. No obstant, quan el semàfor es posara en verd, els tres vehicles accelerarien i iniciarien la seua marxa, activant aixina el seu sistema d'alerta fins a arribar als 20km/h. Però és obvi que els tres vehicles no arrancaran de manera simultània, ja que sempre hi ha una diferència menor de temps deguda a causes de la conducció particular de cada usuari.

En aquest cas, imaginem que el conductor 1, és el primer en iniciar el vehicle. Aleshores, el seu sistema d'alerta adaptatiu realitzaria una ràpida monitorització del soroll de fons que correspondria amb la real. Conseqüentment, aquest vehicle començaria a emetre la seua senyal d'alerta al nivell apropiat. Però el vehicle del conductor 2, el qual inicia la seua arrancada un segon després que el primer, quan tracte de monitoritzar el soroll de fons, detectarà el autèntic soroll ambiental més la contribució del sistema d'alerta del primer vehicle, la qual cosa provocarà que el nivell d'emissió del vehicle dos siga més elevat que l'estrictament necessari. I de la mateixa manera, imaginem que el vehicle del conductor 3 inicia la seua

arrancada un segon després que el vehicle 2. En aquest cas, aquest també monitoritzarà el soroll de fons erròniament, ja que la mesura constarà del soroll ambiental, la contribució del sistema d'alerta del vehicle un i la contribució del sistema d'alerta del vehicle dos, la qual cosa provocarà que el nivell d'emissió siga encara superior a l'estrictament necessari.

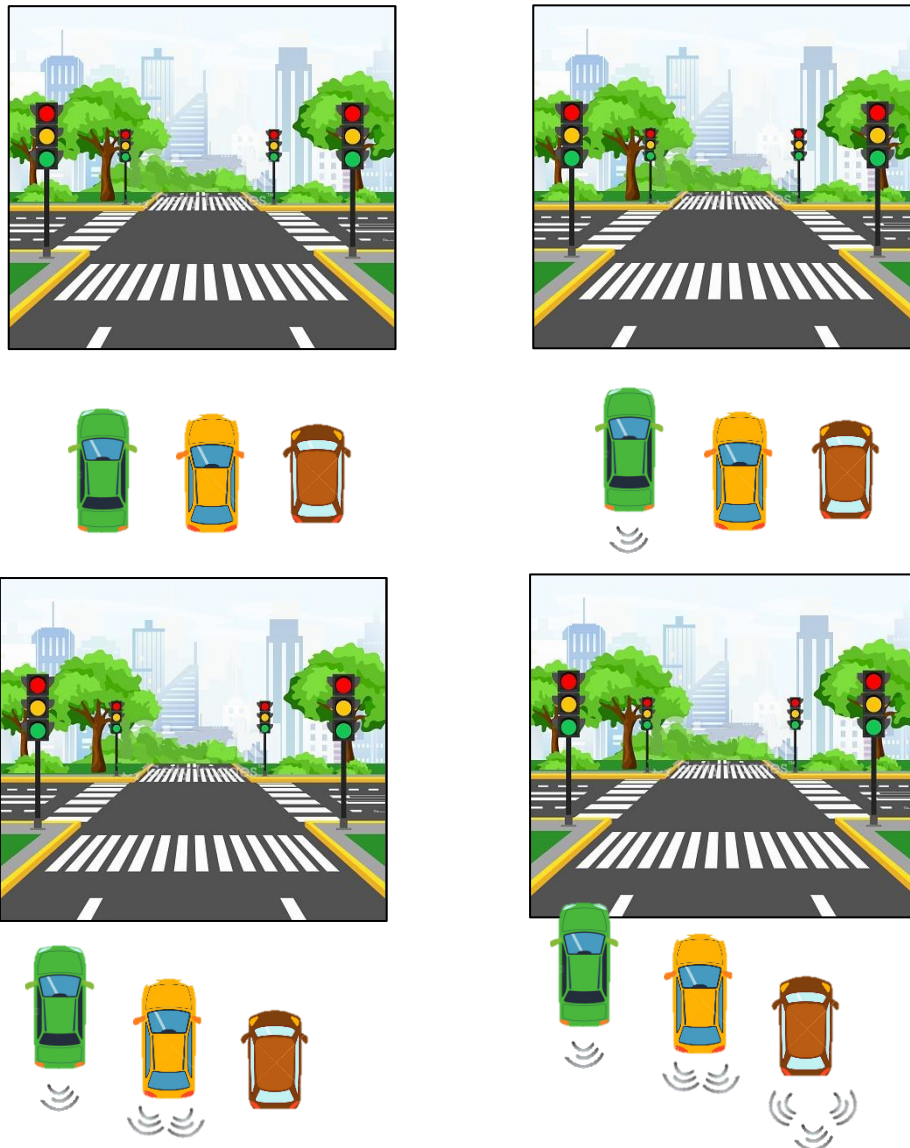


Figura 45. Possible problema dels sistemes d'alerta mitjançant senyals acústics.

Per tant, arribem a la conclusió de que els sistemes d'alerta dels vehicles elèctrics, a més de ser adaptatius, haurien d'incloure tècniques de cancel·lació de senyal per a poder aixina monitoritzar el soroll de fons correctament. Aquesta seria l'única manera d'emetre als nivells apropiats en cada situació.

Amb la tecnologia i els avanços actuals, aquestes tècniques de cancel·lació de senyal no suposarien cap impediment, però a causa de la naturalesa del problema, hi ha una complexitat addicional: no hi ha un únic so d'alerta, sinó tot el contrari, ja que el futur a esperar és que cada companyia automobilística elabore la seua pròpia sonoritat, convertint-se aixina en un element més definitori de la marca.

Per tant, si els propers anys ens oferixen la convivència a les carreteres de desenes de sons d'alerta, creiem que:

- O bé s'hauria de dirigir el futur dels sistemes d'alerta cap a l'existència d'un únic so (i aplicar la corresponent tècnica de cancel·lació).
- O bé aquestes tècniques s'haurien de realitzar una vegada totes les companyies facen públiques les seues senyals, encara que aquesta opció seria la més inviable i complicada.

7.3 Viabilitat econòmica

La nostra ferramenta, des del seu plantejament fins al seu desenvolupament, no ha estat pensada ni dissenyada amb cap finalitat comercial. Aquesta té merament un ús a nivell de laboratori i investigació per a poder extraure resultats i amb ells, diverses conclusions.

No obstant, amb la finalitat de imprimir-li al nostre sistema un caràcter encara més professional, s'ha realitzat un pressupost aproximat del cost que ha comportat la seua implementació. A la Taula 22 es detalla el desglossament de preus.

Taula 22. Pressupost per a l'elaboració del sistema.

Component	Preu
Arduino UNO	8,98 €
Medidor de nivell SEN0232	35,55 €
Altaveu GA0776	5,16 €
DFPlayer Mini	1,02 €
Tarjeta SD	4,99 €
Altres	8€
TOTAL	63,7 €

7.4 Distribució temporal del treball

Per a la realització d'aquest treball es van definir les següents tasques:

- Plantejament inicial.
- Documentació i aprenentatge.
- Anàlisi de la situació actual.
- Selecció i compra de material.
- Testeig i familiarització dels equips.
- Desenvolupament de software.
- Interconnexió dels diferents dispositius.
- Adequació del sistema desenvolupat.
- Realització de proves psicoacústiques.
- Realització d'assajos en entorns reals.
- Tractament i anàlisi de les dades.
- Verificació de resultats.
- Elaboració de la memòria.

Aquestes tasques han sigut desglossades en quan a hores dedicades es refereix per a tindre aixina una visió global de quins han sigut els punts més forts de la nostra investigació i de tots els ítems que aquesta ha requerit.

Com es pot observar, ha sigut un estudi prou complet en el qual s'han seguit les típiques directrius de qualsevol treball d'investigació. El gros de la faena, tal com mostra la Figura 46, ha sigut el testeig d'equipaments, el desenvolupament de software i l'elaboració de les proves. A més, cal destacar que a banda d'aquesta memòria, s'ha elaborat també un article científic, el qual es pretén enviar en breu a revistes d'investigació relacionades amb el tema.

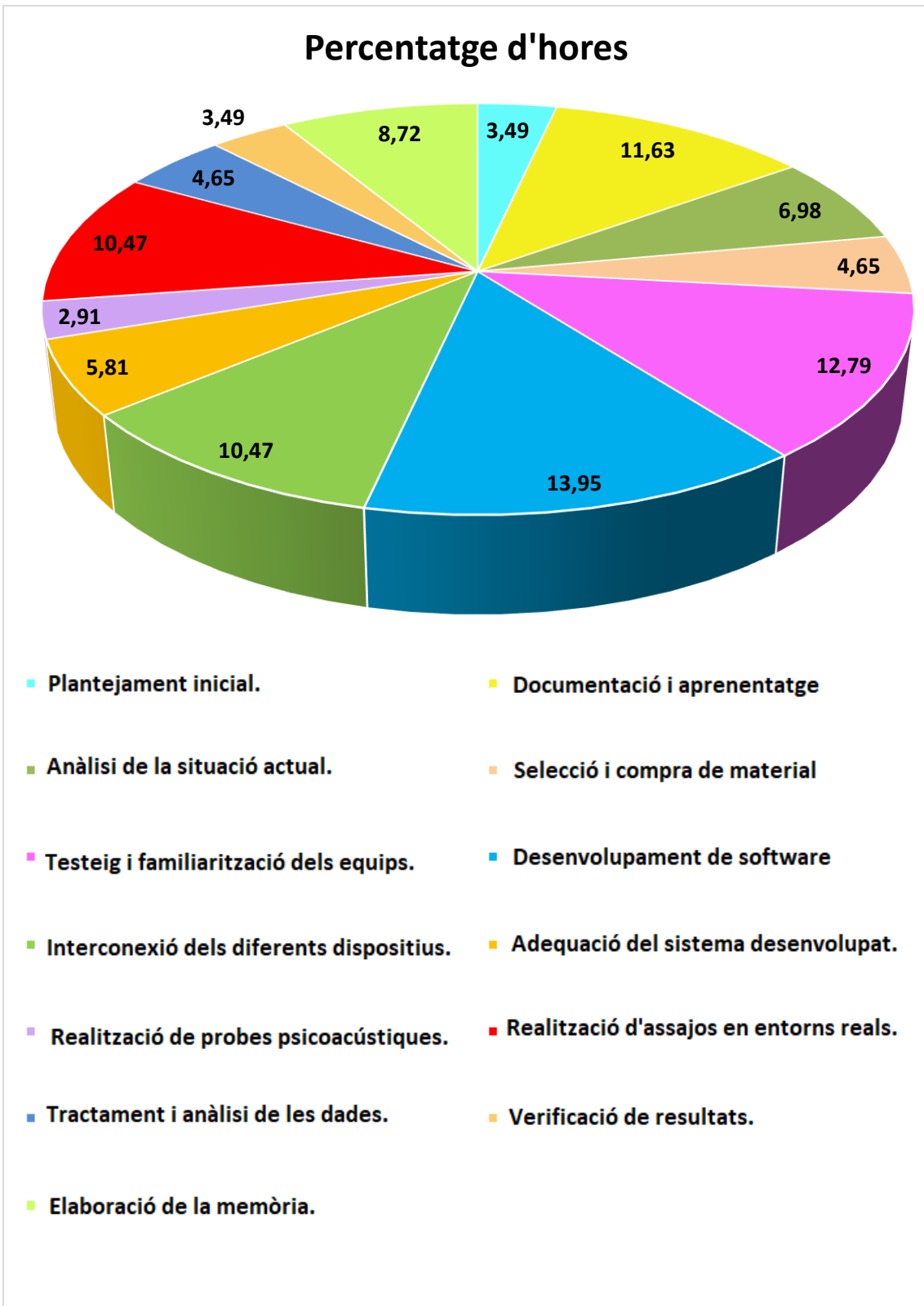


Figura 46. Distribució d'hores dedicades a la feina.

Bibliografía

- [1] A. Gutierrez, "Ciudades envenenadas por el tráfico," Tráfico y Seguridad Vial. Dirección General de Tráfico, n° 239, pp. 34-36, 2017.
- [2] F. Mocholí Belenguer, A. Mocholí Salcedo, A. Guill Ibañez and V. Milián Sánchez, "Advantages offered by the double magnetic loops versus the conventional single ones. PLoS ONE," February 2019.
- [3] J. Kim, A. Sim, "A new approach to online, multivariate network traffic analysis," In Proceedings of the 26th International Conference on Computer Communications and Networks. July 2017.
- [4] R. H. Goudar, H. N. Megha, "Next generation intelligent traffic management system and analysis for smart cities", Proceedings of the 2017 International Conference on Smart Technology for Smart Nation, 2017.
- [5] H. F. Chong, D. W. K. Ng, "Development of iot device for traffic management system", Research and Development (SCOReD) 2016 IEEE Student Conference, pp. 1-6, 2016.
- [6] Dirección General de Tráfico, "Estadísticas e Indicadores," 2016.
- [7] Regulation (EU) No 540/2014 of the European Parliament and of the Council of 16 April 2014 on the sound level of motor vehicles and of replacement silencing systems, and amending Directive 2007/46/EC and repealing Directive 70/157/EEC.
- [8] A. Ehrensperger, "E-crash – electric traffic," AXA Newsroom, August 2019.
- [9] A. Gutierrez, "Ciudades envenenadas por el tráfico," Tráfico y Seguridad Vial. Dirección General de Tráfico, n° 239, pp. 34-36, 2017.
- [10] J. Perdiguero, and J. Luis Jiménez, "Policy options for the promotion of electric vehicles: a review", Institut de Recerca en Economia Aplicada Regional i Pública Document de Treball, 2014.
- [11] Red Eléctrica de España y Federación Española de Municipios y Provincias (FEMP), "Guía de movilidad eléctrica para entidades locales," Congreso de Movilidad Sostenible, Bilbao, 2019.
- [12] Datos de la Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones (ANFAC).
- [13] M. Dugdale, "European countries banning fossil fuel cars and switching to electric," Road Traffic Technology, August 2018.
- [14] Dirección General de Tráfico, "Instrucción 16 / V-124 sobre Vehículos de Movilidad Personal," 2016.
- [15] K. Nordback, D. Piatkowski, B. Janson, W.E. Marshall, K. Krizek and D. Main, "Using inductive loops to count bicycles in mixed traffic," Journal of Transportation of the Institute of Transportation Engineers, pp 39-56, 2011.

- [16] La Vanguardia, "Por qué los coches eléctricos potentes tienen un mayor riesgo de accidente," 2019.
- [17] National Highway Traffic Safety Administration, "Incidence Rates of Pedestrian And Bicyclist Crashes by Hybrid Electric Passenger Vehicles: An Update", U.S Department of Transportation, 2011.
- [18] W. Pérez Gómez, "Los accidentes en patinetes eléctricos se puede triplicar en 2019", Diario Que! (Fuente: Fundación Línea Directa).
- [19] Observatorio de Salud y Medioambiente del Instituto DKV de la Vida Saludable en colaboración con GAES y desarrollado por ECODES, "La otra contaminación: Ruido y salud en Madrid," 2018.
- [20] El País, "Adiós a los coches eléctricos silenciosos: desde 2021 tendrán que hacer un poco de ruido," 2019.
- [21] Fundación Línea Directa, "El número de fallecidos en accidentes con patinetes eléctricos se triplicará en 2019," 2019.
- [22] National Highway Traffic Safety Administration, " Incidence of Pedestrian and Bicyclist Crashes by Hybrid Electric Passenger Vehicles", U.S Department of Transportation, 2011.
- [23] M.S. Qatu, M.K Abdelhamid, J. Pang, and G. Sheng, "Overview of automotive noise and vibration," International Journal of Vehicle Noise and Vibration 5, January 2009.
- [24] BMW Group, " BMW IconicSounds Electric by Hans Zimmer - Cinematic sound experience for vehicle of the future", June 2019.
- [25] THE VERGE, "Nissan wants its electric cars to 'sing' so that you'll hear them coming," October 2017.
- [26] Jaguar, "Sound of Jaguar I-PACE protects road users," October 2018.
- [27] DFRobot: "Gravity: Analog Sound Level Meter".
- [28] F.S Castells Ramón, "Capítulo 1 - Introducción al altavoz dinámico," Universitat Politècnica de València.
- [29] M.D. Holder, F. Bermudez-Rattoni, and J. Garcia, "Taste-Potentiated Noise-Illness Associations," Behavioral Neuroscience, 1988.