

---

# DISSENY D'UN ENTORN DE MESURES ELECTROACÚSTIQUES PER A AUDIÒFONS

---



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

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



**Titulació:** Grau en enginyeria de sistemes audiovisuals

**Alumne:** Aleix Lladonosa Pozo

**Director del TFG:** Ignasi Esquerra Lluçà

**Empresa:** MICROSON SA

**Convocatòria de lliurament del TFG / TFM:** Primavera 2019





# AGRAÏMENTS

Dedicat a la Yasmina, l'Avril i la Gretta, les meves noies i la meva família inclús en els moments en què no hi sóc. Gràcies per l'aguant, la paciència, l'amor i per saber fer sempre el més important.

Agraïments a Microson, per permetre'm realitzar aquest projecte i per l'ajut mostrat:

Martí Baig, el meu tutor, per la bona disposició i coneixements;

Hugo Velilla, pels ajuts a la programació;

Jordi Rigueiro i Eduard Bertran, per l'ajuda en el disseny i muntatge electrònic;

i Lluís Gómez, responsable d'I+D, per la seguretat conferida.

Agraït a l'Ignasi Esquerra, el tutor d'aquest projecte, per la confiança prestada.

# ABSTRACT

La validació i el bon disseny d'un dispositiu mèdic com l'audiòfon és vital per la seva funcionalitat. Aquest projecte es basa en fer un entorn de mesura semiautomàtic per aquests dispositius i substituir-ne un de més antic.

Mitjançant el llenguatge de programació visual basic s'elabora una aplicació, PSA (*Pulse Automation Software*), amb interfície gràfica per a sistematitzar les mesures requerides per les normatives europees. Aquesta aplicació governa el software, *Brüel&Kjaer PULSE Labshop*, que controla l'analitzador de l'entorn, el que li permet executar les mesures i llegir les dades. Un afegit funcional de l'aplicació és la possibilitat d'elegir la configuració dels assaigs i el mètode a seguir.

També es realitza el muntatge i l'especificació de l'entorn hardware que es requereix en tots els àmbits del procediment. Aquest disposa principalment del mòdul generador *Brüel&Kjaer Type 3160*, d'una caixa anecoica, un generador i multímetre i els amplificadors adients per alimentar la font sonora i magnètica de la caixa anecoica.

El resultat ha sigut un entorn amb una correcta actuació amb el que es podem dur a terme les mesures proposades de forma vàlida i complir els requeriments definits, però amb una gran capacitat de millora i la possibilitat d'innovar mesurant més d'un dispositiu alhora.

*For a good working medical device like a hearing aid is vital his validation and good design. This project is based on making a semiautomatic measurement environment for these devices and replacing an older one.*

*With visual basic programming language is made an application, PSA (Pulse Automation Software), with a graphical interface for systematising the measures required for European regulations. This application rules the software, Brüel&Kjaer Type PULSE Labshop, which controls the environment analyser, allowing to execute the measures and read the data. An additional functionality of the application is the possibility to choose the test configuration and the method to follow.*

*The assembly and specification of the hardware environment that is required in the procedure is also made. The environment is mainly formed by the generator module Brüel&Kjaer Type 3160, an anechoic test box, a generator and a multimeter and the appropriate amplifiers for feeding the sound and magnetic sources of the anechoic box.*

*The result has been an environment with a correct action with which we can do the measures proposed in a valid way and fulfil the requirements defined, but with a great capacity for improvement and the possibility of innovating by measuring more than one device at a time .*

# DECLARACIÓ D'HONOR

I declare that,

the work in this Degree Thesis is completely my own work,

no part of this Degree Thesis is taken from other people's work without giving them credit,

all references have been clearly cited,

I'm authorised to make use of the company's related information I'm providing in this document.

I understand that an infringement of this declaration leaves me subject to the foreseen disciplinary actions by *The Universitat Politècnica de Catalunya - BarcelonaTECH*.

Name: Aleix Lladonosa Pozo

Date: June, 2019

Title of the Thesis: Disseny d'un entorn de mesures electroacústiques per a audíofons

# ÍNDEX

<b>AGRAÏMENTS</b> .....	<b>4</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>5</b>
<b>DECLARACIÓ D'HONOR</b> .....	<b>6</b>
<b>1. INTRODUCCIÓ</b> .....	<b>9</b>
1.1. OBJECTE I ABAST .....	9
1.2. REQUERIMENTS I ELEMENTS D'ENTRADA .....	9
1.3. DESCRIPCIÓ DE L'EMPRESA DINTRE DE L'ÀMBIT AUDIOVISUAL .....	12
1.4. PLANIFICACIÓ .....	13
<b>2. ESTAT DE L'ART</b> .....	<b>15</b>
2.1. AUDIÒFON.....	15
2.1.1. BOBINA .....	16
2.1.2. DIRECCIONALITAT .....	17
2.1.3. AGC .....	17
2.1.4. PROGRAMACIÓ .....	17
2.2. DEFINICIONS I NOMENCLATURA .....	18
2.3. ANÀLISI NORMATIVES .....	20
2.3.1. MESURA DE LES CARACTERÍSTIQUES ELECTROACÚSTIQUES I FUNCIONALS .....	20
2.3.2. CONDICIONS GENERALS.....	20
2.3.3. RECINTE I EQUIP D'ASSAIG .....	20
2.3.4. CONDICIONS DE L'ASSAIG .....	21
2.3.5. PROCEDIMENTS D'ASSAIG .....	23
2.3.6. PROCEDIMENTS D'ASSAIG OPCIONALS .....	25
2.3.7. TOLERÀNCIES I INCERTITUDS .....	27
2.3.8. IEC 60118-0:1996.....	28
2.4. LLENGUATGE VB.NET.....	28
<b>3. DISSENY DE L'ENTORN</b> .....	<b>29</b>
3.1. HARDWARE .....	29
3.1.1. MÒDUL GENERADOR .....	29
3.1.2. CAIXA ANECOICA .....	29
3.1.3. ALIMENTACIÓ .....	30
3.2. SOFTWARE .....	37
3.3. JERARQUIA .....	38
<b>4. DESENVOLUPAMENT</b> .....	<b>39</b>
4.1. FUNCIONS I CLASSES PRINCIPALS.....	39
4.2. PROCESSOS DE L'APLICACIÓ .....	40
4.2.1. CALIBRATGE .....	41

4.2.2.	EQUALITZACIÓ .....	42
4.2.3.	RESPOSTES EN FREQÜÈNCIA .....	43
4.2.4.	AJUST A REFERÈNCIA .....	46
4.2.5.	DISTORSIÓ HARMÒNICA TOTAL .....	46
4.2.6.	PROCEDIMENT ENTRADA-SORTIDA .....	47
4.2.7.	AGC .....	48
4.2.8.	CONSUM DE LA PILA .....	48
4.2.9.	SOROLL D'ENTRADA EQUIVALENT .....	49
4.2.10.	BOBINA .....	49
<b>5.</b>	<b>RESULTATS .....</b>	<b>50</b>
5.1.	INTERFÍCIE D'USUARI .....	50
5.1.1.	DIFERENCIACIÓ DE MODES.....	50
5.1.2.	SELECCIÓ D'INFORMES .....	50
5.1.3.	SELECCIÓ DE TEST .....	51
5.1.4.	MENÚ DE CONFIGURACIÓ.....	51
5.1.5.	CALIBRATGE .....	54
5.1.6.	EQUALITZACIÓ .....	55
5.1.7.	PRINCIPAL .....	56
5.2.	CÀLCUL DE LES INCERTESES.....	59
5.2.1.	NIVELL DE PRESSIÓ ACÚSTICA DE SORTIDA PER UNA ENTRADA DE 60 DB .....	60
5.2.2.	NIVELL DE PRESSIÓ DE SORTIDA PER UNA INTENSITAT DEL CAMP MAGNÈTIC D'ENTRADA DE 31'6 MA/M .....	60
5.2.3.	MESURA DE LA THD.....	60
5.3.	VERIFICACIÓ DE LES MESURES .....	61
5.4.	PRESSUPOST .....	63
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONS .....</b>	<b>64</b>
	ACCIONS DE MILLORA I LÍNIES FUTURES DE TREBALL .....	65
	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>66</b>
	<b>TAULA D'IL·LUSTRACIONS .....</b>	<b>67</b>
	<b>LLISTAT DE TAULES .....</b>	<b>68</b>
	<b>ANNEX A – CONJUNT DE FUNCIONS DE MESURA .....</b>	<b>69</b>
	<b>ANNEX B – AUTOINFORME DE QUALITAT .....</b>	<b>91</b>



# 1. INTRODUCCIÓ

## 1.1. Objecte i abast

L'objectiu principal d'aquest projecte és realitzar un entorn per a realitzar tests acústics per a audiòfons, aquests tests al referir-se a un producte mèdic venen marcats per les normatives europees. La validació dels audiòfons mitjançant els test pertany a l'àrea de control de qualitat, tot i així l'entorn ha de ser aprofitable també per al procés de disseny dels audiòfons.

Aquest entorn ha d'agilitzar i abaratir els processos de control de qualitat i producció d'audiòfons. A més de comportar una millora en el procés de disseny al presentar una aplicació funcional per a gestionar l'entorn, enfocada als processos d'interès per aquesta àrea.

Al formar part el projecte d'una proposta de l'empresa, la necessitat que es planteja cobrir ve fonamentada per la pròpia empresa. Degut a l'antiguitat de l'actual sistema de mesura no presenta un sistema fàcil ni ràpid de gestionar i el hardware és torna inestable.

Per tant, aquest nou entorn ha de complir amb els requeriments esmentats a continuació, que en part són les funcions que té l'actual sistema, així que s'espera que substitueixi l'actual amb els avantatges de ser un equipament més nou, amb menys possibilitat de falla i major facilitat de reparació o canvi d'aplicació. A més a més, s'espera que sigui l'opció més òptima i econòmica davant d'altres possibilitats en el mercat, tot i que això provoqui el contrapunt de tenir una implementació més costosa.

Com a possible objectiu es contempla l'opció de multiplexar la mesura per més d'un audiòfon alhora, podent mesurar dos audiòfons en el temps d'un, el que seria una solució innovadora en el sector.

Sense dubte, els punts crítics del disseny seran la realització de l'automatització dels tests i la multiplexació de les funcions.

## 1.2. Requeriments i elements d'entrada

Els requeriments referents a les normatives són exposats més extensament a l'apartat 2.3 d'anàlisi de les normatives. El disseny de l'entorn presenta els següents requeriments:

- I. Compliment de la normativa IEC 60118-7:2005.
  - a. Complir les condicions generals:
    - i. Mètode de mesura.
    - ii. Acoblador segons IEC 60318-5.
    - iii. Informe de dades degudament etiquetat.
  - b. Complir les característiques nominals i toleràncies
  - c. Complir condicions de caixa i equip d'assaig:

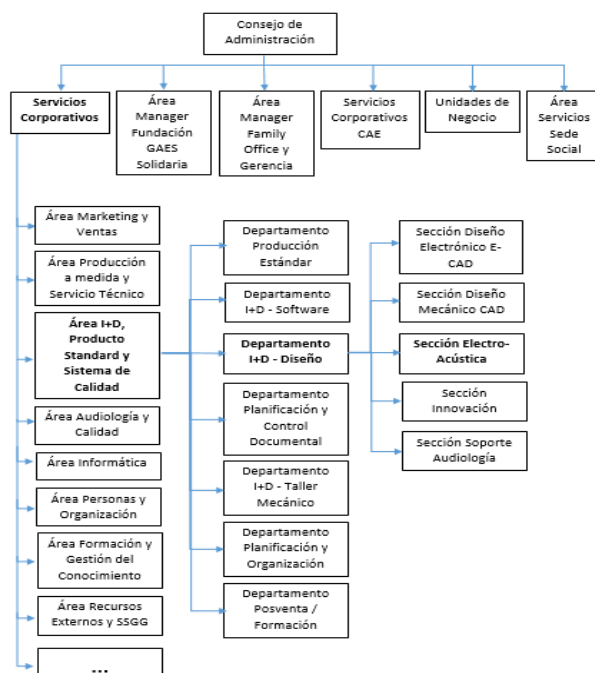
- i. Compliment condicions mediambientals.
    - ii. Estímuls no desitjats en la caixa menors a 0'5 dB.
    - iii. Nivells i toleràncies requerides de la font sonora.
    - iv. Freqüència requerida de la font sonora.
    - v. Distorsió harmònica inferior al 2%.
    - vi. Ús d'un tub rígid per a evitar fuga sonora.
    - vii. Sistema de mesura precís respecte la freqüència de calibratge.
    - viii. Compliment de la tolerància, caiguda de tensió i impedància del sistema de mesura del corrent continu.
  - d. Condicions d'assaig:
    - i. SPL d'entrada constant en el punt de referència mitjançant el mètode de substitució o emmagatzemament de les dades.
    - ii. Ús d'un micròfon de 15mm de diàmetre.
    - iii. Evitar pertorbacions del camp acústic a la proximitat de l'audiòfon i evitar introduir efectes paràsits.
    - iv. Condicions normals de funcionament de la simulació de bateria, l'ajust de controls, les condicions mediambientals, els dispositius de sortida i accessoris.
  - e. Mesura de la resposta en freqüència.
  - f. Procés d'ajust a referència de l'audiòfon.
  - g. Mesura del corrent de bateria.
  - h. Mesura de la distorsió harmònica total (THD).
  - i. Mesura del nivell de soroll d'entrada equivalent (EIN).
  - j. Mesura dels temps d'atac i retorn per a les característiques del AGC en règim dinàmic.
  - k. Mesura de la resposta d'entrada-sortida (input-output) per a les característiques del AGC en règim permanent.
  - l. Mesura de la sensibilitat de la bobina.
  - m. Mesura de la distorsió harmònica total de la bobina.
- II. Efectuar els test de la normativa IEC 60118-0:2015.
- a. Mesura de la resposta en freqüència.
  - b. Procés d'ajust a referència de l'audiòfon.
  - c. Mesura del corrent de bateria.
  - d. Mesura de la distorsió harmònica total (THD).
  - e. Mesura del nivell de soroll d'entrada equivalent (EIN).

- f. Mesura dels temps d'atac i retorn per a les característiques del AGC en règim dinàmic.
  - g. Mesura de la resposta d'entrada-sortida (input-output) per a les característiques del AGC en règim permanent.
  - h. Mesura de la sensibilitat de la bobina.
  - i. Mesura de la distorsió harmònica total de la bobina.
- III. Dur a terme un procés de calibratge i equalització dels transductors.
- a. Poder emmagatzemar i carregar les dades emmagatzemades.
- IV. Ús del hardware de Brüel&Kjaer Type 3160-A-042.
- V. Ús del software de Brüel&Kjaer PULSE Labshop, mitjançant el nou software a dissenyar, per a gestionar el hardware.
- VI. Disposar d'un mode diferenciat per a tècnic de control de qualitat per al procés de control de qualitat.
- a. Realitzar els tests de la normativa IEC 60118-7:2005 en el mode de control de qualitat.
  - b. Incloure les toleràncies de cada model d'audiòfon per al mode de control de qualitat.
  - c. Detectar si les mesures difereixen de les toleràncies definides i donar el control com a erroni, si es el cas.
  - d. Incloure la configuració de cada model d'audiòfon per al mode de control de qualitat.
- VII. Disposar d'un mode diferenciat per a enginyer per al procés de disseny.
- a. Realitzar els tests de la normativa IEC 60118-7:2005 i 60118-0:2015 en el mode de disseny.
  - b. Realitzar mesures aïllades a voluntat de l'usuari.
  - c. Permetre modificar a l'usuari la rutina dels procediments de les normatives.
  - d. Permetre modificar a l'usuari la configuració dels tests de les normatives.
- VIII. Temps estàndard del procediment de la normativa IEC 60118-7:2005 inferior a trenta segons, temps de l'actual test amb l'analitzador UPL de Rohde&Schwarz.
- IX. Mostrar mesures en temps real a la interfície.
- X. Compatibilitat amb el software CODA e-SPM:
- a. Controlar l'execució del software mitjançant CODA e-SPM.
  - b. Programar i modificar la configuració de l'audiòfon.
  - c. Obtenir les toleràncies i la configuració del model de l'audiòfon a mesurar i comunicar-les al software.

### 1.3. Descripció de l'empresa dintre de l'àmbit audiovisual

L'empresa consta d'uns 130 treballadors a la central d'operacions ubicada a Barcelona[1], C\ Pere IV, 160, on s'han realitzat les pràctiques.

La secció on he realitzat el projecte és la d'**electroacústica**, dintre del departament de disseny que alhora es troba a l'àrea d'**I+D**, en aquest departament el meu tutor directe és Martí Baig, i el cap de l'àrea en Lluís Gómez.



Il·lustració 1: Organigrama organitzatiu GAES

La nostra secció guarda especials dependències amb tot el departament de disseny, ja que som els responsables de configurar gairebé tota la part acústica del audiòfon, pel que hem de tenir en compte sempre el disseny electrònic i mecànic d'aquest.

També treballem amb el departament de software, degut a que realitzem els arxius amb els que es programa el firmware de l'audiòfon, i el departament de software l'implementa al software de l'empresa, CODA e-Studio, amb el qual es realitza el procés d'adaptació del producte a l'usuari, a més a més de permetre realitzar simulacions. Amb control documental controlem la correcta realització de l'especificació tècnica o "datasheets" i amb producció estàndard i control de qualitat, per a la realització de prototips, gestió d'incidències o verificació del disseny.

En el grup GAES es troba la **Fundación GAES Solidaria** que té com a objectiu proporcionar oportunitats a les persones amb pèrdua auditiva i sense recursos econòmics. A més de promoure la investigació vinculada amb patologies de l'oïda i l'esport, com a repte i com a acció per un mode de vida saludable[2].

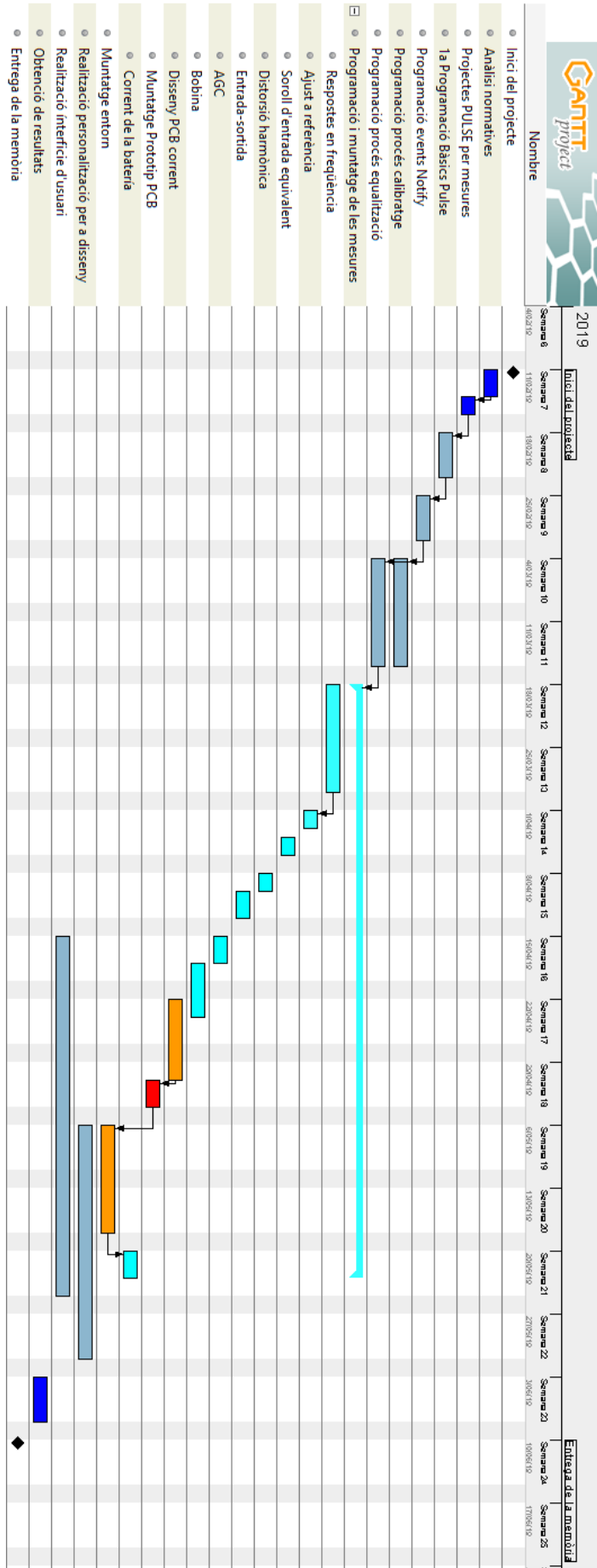
Des de principis de 2019 l'empresa s'ha comprat i integrat dins del grup italià Amplifon, un dels principals comercials internacionals d'audiòfons.

#### 1.4. Planificació

A continuació s'exposen les tasques principals i el diagrama de Gantt que ha servit per planificar les tasques i activitats en aquest període de quatre mesos de treball.

- Anàlisi de les normatives europees IEC.
- Realització dels projectes necessaris de PULSE LabShop per als assaigs.
- Realització de l'automatització mitjançant Visual Basic:
  - Programació de la comunicació amb PULSE.
  - Automatització calibratge.
  - Automatització equalització.
  - Automatització de les mesures i càlculs definits en les normatives. Inclou hardware afegit específic per a certes mesures i possible automatització de la programació d'audiòfons.
  - Automatització de tests acústics personalitzats per a disseny.
  - Automatització de la realització d'informes i salvat de dades mesurades per als test.
  - Realització d'una interfície d'usuari adequada per a l'aplicació.
- Disseny i muntatge de la placa PCB per a l'alimentació.
- Muntatge de tot l'entorn hardware
- Realització de la memòria.

En el diagrama de Gantt les barres amb color taronja representen a l'àmbit de hardware, les blaves clares la programació de les mesures i les blaves fosques les que no són de programació. La barra vermella representa el muntatge de la PCB, que ha sigut realitzat per l'àrea d'electrònica de Microson. L'inici del diagrama concorda amb la data d'inici del projecte i la de finalització amb la de l'entrega de la memòria. A la feina suposen un total de més de 480 hores, o 60 dies.



## 2. ESTAT DE L'ART

Actualment existeixen analitzadors d'àudio automatitzats per a realitzar les rutines per a testejar audiòfons, tot i així, aquest projecte es d'interès degut a la versatilitat que ofereix el fet d'automatitzar el sistema de Brüel&Kjaer a la nostra voluntat.

A l'empresa per a realitzar els anàlisis s'utilitza un hardware de Rohde&Schwarz, l'UPL, que quan es va incorporar es varen automatitzar les rutines. Com que aquest sistema ja es quasi obsolet es necessari reemplaçar-lo. L'alternativa és utilitzar la versió renovada d'aquest, l'UPV, de Rohde&Schwarz també. Els seus avantatges són diversos, ja que presenta totes les rutines i mesures automatitzades, un sistema operatiu incorporat amb una interfície gràfica i la capacitat de llegir el consum dels audiòfons i de generar un camp magnètic, sense amplificador de corrent, a la zona d'assaig.

Alhora alguns d'aquests avantatges suposen punts en contra, ja que el fet que presenti un software totalment automatitzat rebutja qualsevol tipus de modificació de les rutines o del propi funcionament, com ara el temps d'anàlisi. A més a més, el preu d'aquest es molt major que el de Brüel&Kjaer, el que dificulta el poder adquirir-ne més unitats.

Per últim, un avantatge que presenta aquest hardware es la capacitat de multiplexar els anàlisis a més d'un audiòfon alhora, ja que tant els analitzadors com el mòdul ho permeten.

### 2.1. Audiòfon

Un audiòfon es un aparell electrònic que amplifica determinats sons, i que per tant permet que una persona amb pèrdua d'audició pugui escoltar i comunicar-se millor en diversitat d'ambients. Consta essencialment de tres parts: el micròfon, els circuits d'amplificació i l'auricular o receptor.

El so es captat i convertit a una senyal elèctrica digital pel micròfon, aquesta senyal es amplificada i tractada segons les necessitats de l'usuari i les prestacions de l'audiòfon pel circuit intern. Per finalitzar, l'auricular envia la senyal a l'oïda.

Les pèrdues auditives[3] poden ser de tipus conductiva, neurosensorial o mixta. La pèrdua conductiva mostra patologies en l'oïda mitja, com el timpà, mentre que la neurosensorial les mostra a l'oïda interna, com la còclea. La pèrdua mixta és quan es donen patologies en ambdues parts. L'audiòfon es selecciona i s'adapta al pacient depenent del tipus i grau de pèrdua.

Existeixen tres tipus bàsics d'audiòfon segons la forma[4]:



Il·lustració 2: tipus d'audiòfons

- Retroauriculars, BTE (*Behind-The-Ear*) : la caixa de plàstic dur que conté els components electrònics es situa darrere l'orella, mitjançant un tub i un motlle o un tub i un adaptador el so es dirigeix a l'oïda externa. També es troben els mini-BTE que disposen l'auricular dins del canal auditiu, junt amb un adaptador.
- Intrauriculars, ITE (*In-The-Ear*) : es col·loca completament a l'oïda externa, pel que la caixa es fabrica a mida de l'usuari. Comparats amb els BTE, poden subministrar menys potencia, ja que es troben limitats per la mida, per això estan dirigits per a pèrdues lleus fins a severes.
- Audiòfons de canal auditiu, CIC (*Completely-In-Canal*) i ITC (*In-The-Channel*): es col·loquen total o parcialment al canal auditiu, perquè són els audiòfons més petits. Depenen de la mida del canal auditiu de l'usuari, fent que sigui complicat de portar-los per a usuaris amb el canal auditiu estret. Degut a la seva potencia inferior, estan dirigits per a pèrdues lleus fins a moderadament severes.

### 2.1.1. Bobina

La bobina telefònica (*telecoil*) és una petita bobina que indueix una corrent elèctrica quan es troba dins d'un camp magnètic [5]. Aquesta permet a l'usuari obtenir el so de forma més nítida quan es troba en una sala amb bucle magnètic o bucle d'inducció magnètica. El bucle magnètic, format per un cable que cobreix un perímetre, indueix a les bobines que estiguin en la zona delimitada el so recollit per un micròfon, amplificat.



Hi ha audiòfons que incorporen aquesta prestació, útil per museus, sales de conferències i teatres entre d'altres.

#### 2.1.2. Direccionalitat

Segons normativa 60118-7:2005 l'audiòfon direccional es el que el seu guany depèn de la direcció d'incidència del so quan es mesura en condicions de camp lliure. En canvi, el no direccional es independent de la direcció d'incidència del so, també s'anomena omnidireccional.

#### 2.1.3. AGC

El control automàtic de guany (CAG) o *automàtic gain control* (AGC) és un circuit amb el qual es controla automàticament el guany en funció del nivell del senyal de sortida[6].

L'AGC permet limitar la retroalimentació ja que limita el guany quan la senyal emet un pic massa elevat. Com és un sistema de control automàtic l'operació presenta una dinàmica temporal, un temps d'atac i de retorn.

#### 2.1.4. Programació

Els audiòfons digitals programables, a diferència dels analògics, utilitzen un processament del so digital (DSP) per convertir les ones sonores en senyals digitals.

Alguns poden tenir varis programes per diferents entorns sonors, que varien la configuració depenent de les necessitats. A part de poder-se re-programar fàcilment i en un rang ampli si les característiques d'audició del pacient canvien, milloren el processat del so, la distinció entre soroll i parla i la reducció del soroll.

Existeixen nombrosos softwares i controladors per gestionar la programació. També s'usa una consola de programació i un cable i adaptadors específics.

## 2.2. Definicions i nomenclatura

- Camp lliure: condició que es dona quan l'energia sonora que rep el receptor prové directament de la font, camp directe, sense reflexions generades per l'entorn.
- NPA (nivell de pressió acústica) / *SPL (sound pressure level)*[7] : amplitud de les variacions de pressió que exerceix la vibració en el aire al ser excitat per la vibració mecànica d'un cos. Aquest nivell o amplitud determina l'energia que conté un senyal acústic. El dB és la unitat de mesura. Es pot definir:
  - *OSPL90@FOG / NPAS90@GM*: NPA de sortida a l'acoblador acústic amb una entrada de 90 dB, amb el control de guany de l'audiòfon al màxim. També es realitzen per a entrades de 50 i 60 dB (*OSPL50@FOG* i *OSPL60@FOG*).
  - *OSPL90@RTS / NPAS90@AER*: NPA de sortida a l'acoblador acústic amb una entrada de 90 dB, amb el control de guany de l'audiòfon a referència. També es realitzen per a entrades de 50 i 60 dB (*OSPL50@RTS* i *OSPL60@RTS*).
- Acoblador acústic: dispositiu amb una cavitat de forma i volum, 2000 mm<sup>3</sup> o 2 cc (norma IEC 60318-5), predeterminats utilitzat per mesurar la pressió acústica produïda dins de la cavitat. La pressió acústica mesurada en l'acoblador no es la mateixa que en la oïda de una persona, però serveix per obtenir les especificacions i dades físiques de l'audiòfon. En canvi, el simulador d'oïda (norma IEC 60318-4) sí que aproxima la seva impedància acústica a la de l'oïda humana.
- Guany acústic: diferència entre el SPL a la sortida del audiòfon a l'acoblador acústic i el SPL d'entrada. Es pot definir:
  - *FOG50*: guany acústic per una entrada de 50 dB i amb el control de guany de l'audiòfon al màxim.
  - *60*: guany acústic per una entrada de 60 dB i amb el control de guany de l'audiòfon al màxim.
- Control de guany: control manual o electrònic per l'ajust del guany total de l'audiòfon.
- Resposta en freqüència: anàlisi d'un so descompost en freqüències. A l'entorn representa el SPL mesurat a l'acoblador acústic en funció de la freqüència.
- Equalització: ajustar o balancejar els components freqüencials en un senyal. En l'entorn s'equalitza el sistema per a ajustar el senyal de sortida del generador a la resposta acústica del recinte.
- MAF (mitjana d'alta freqüència) / *HFA (High frequency average)*: mitjana de guanys o de SPL a les freqüències de 1000 Hz, 1600 Hz i 2500 Hz. Es mesura en decibels i es pot definir:
  - *MAF-NPAS90 / HFA-OSPL90*: HFA per nivells de SPL a *OSPL90* i amb el control de guany al màxim.
  - *MAF-GM / HFA-FOG*: HFA per nivells de guany per un SPL d'entrada de 50 dB i amb el control de guany al màxim.

- HFA-SPLIV: HFA dels nivells de SPLIV.
- GER / RTG60: guany HFA amb el control de guany a RTS i un SPL d'entrada de 60 dB.
- o AER (Ajust del control de guany pels assaigs de referència) / RTS (*Reference test setting*): ajust del control de guany necessari per produir un guany del HFA dins de  $\pm 1.5$  dB del HFA-SPL90 menys 77 dB, per un SPL d'entrada de 60 dB. Aquest ajust garanteix que la resposta de l'audiòfon es troba actuant linealment i els pics no saturen, és a dir, no excedeixen el OSPL90.
- o Ample de banda: és la longitud, en Hz, del rang de freqüències en el que es concentra el senyal.
- o Distorsió harmònica total: mesura de la distorsió harmònica present en un senyal, que és la relació entre la suma de les potències dels components harmònics i la potència de la freqüència fonamental. És a dir, és la quantitat d'harmònics que introdueix un sistema introduint un to pur. Segons la normativa IEC 60118-0:1996 aquest valor es donat segons la fórmula, on  $p_1$  és la pressió acústica del fonamental i  $p_{2,3,4,..}$  les pressions acústiques dels harmònics:

$$THD[\%] = \sqrt{\frac{p_2^2 + p_3^2 + p_4^2 + \dots}{p_1^2 + p_2^2 + p_3^2 + p_4^2 + \dots}}$$

- o Punt d'assaig: posició al recinte d'assaig on es col·loca l'audiòfon durant l'assaig
- o Punt de referència: punt sobre l'audiòfon que serveix per definir la seva posició per a l'assaig.
- o Referència vertical: segons la norma IEC 60118-8:2005 és la línia a través o sobre d'un audiòfon que és vertical quan es porta en un simulador de torç i cap.
- o NPAIV (NPA en un camp magnètic vertical) / SPLIV (*SPL In a Vertical magnetic field*): NPA produït en l'acoblador acústic a RTS amb l'audiòfon en mode bobina sotmès a un camp magnètic altern sinusoidal de 31,6 mA/m paral·lel a la referència vertical.
- o Sensibilitat magneto-acústica: divisió de la pressió acústica produïda per l'audiòfon a l'acoblador acústic [Pa] entre la intensitat del camp magnètic [mA/m] en el punt d'assaig, a una freqüència específica i en condicions lineals.
- o Nivell de sensibilitat magneto-acústica / MASL (*Magneto-acoustical sensitivity level*): vint cops el algoritme en base 10 de la raó de la sensibilitat magneto-acústica a la sensibilitat de referència:

$$MASL [dB] = 20 * \log_{10} \frac{MAS \left[ \frac{Pa}{mA/m} \right]}{20 \frac{Pa}{mA/m}}$$

- o SEBA (Sensibilitat equivalent del bucle d'assaig) / ETLs (*Equivalent Test Loop Sensitivity*): diferència obtinguda al sostreure el RTG+60 dB del HFA-SPLIV:

$$ETLS [dB] = HFA_{SPLIV} [dB] - RTG [dB] + 60 dB$$

- Analitzador FFT (*Fast Fourier Transform*): l'analitzador FFT, al software PULSE Labshop, permet la transformada ràpida de Fourier, que transforma de manera eficient una funció del domini temporal al domini freqüencial.
- Analitzador SSR (*Steady State Response*): l'analitzador SSR, al software PULSE Labshop, mesura la resposta en freqüència del dispositiu excitat per un senyal sinusoidal escalonat. La resposta pot ser mesurada en funció de la freqüència excitada (amb un nivell fix) o del nivell (amb una freqüència fixa).

### 2.3. Anàlisi normatives

Per similitud i importància es disposarà a exposar més àmpliament la normativa IEC 60118-0:2015, i s'esmentaran les diferències a la normativa IEC 60118-7:2005 (amb aquest color), que és la que s'aplica a control de qualitat.

S'esmenta la nomenclatura en català i anglès, encara que a les següents explicacions s'utilitzarà la nomenclatura en anglès ja que es l'emprada freqüentment en l'argot del sector.

#### 2.3.1. Mesura de les característiques electroacústiques i funcionals

La normativa 60118-0:2015[8] defineix les mesures i avaluacions de les característiques electroacústiques dels audiòfons basades en una tècnica de camp lliure i la IEC 60118-7:2005[9] les característiques més funcionals.

#### 2.3.2. Condicions generals

- Per simular les condicions de camp lliure es recrea en un recinte o caixa acústica un nivell de pressió acústica constant en el punt de referència del audiòfon mitjançant un micròfon calibrat. Aquest és el mètode de pressió. Alternativament, utilitzem el mètode de substitució, definit com la utilització d'una corba de correcció, o equalització, de la resposta en freqüència del recinte d'assaig, el que requereix emmagatzemar les dades.
- Les mesures s'han de dur a terme amb un acoblador acústic de  $2\text{cm}^3$  segons la norma IEC 60318-5:2007.
- Totes les dades presentades deuen etiquetar-se amb "segons la Norma Internacional IEC 60118-0:2015/60118-7:2005.
- L'ample de banda de les mesures ha de ser de 200Hz, a 1/12 d'octava, seguint les freqüències de la ISO R40. Per a la 60118-7:2005 es determina l'ample de banda de 200 Hz a 5000 Hz.

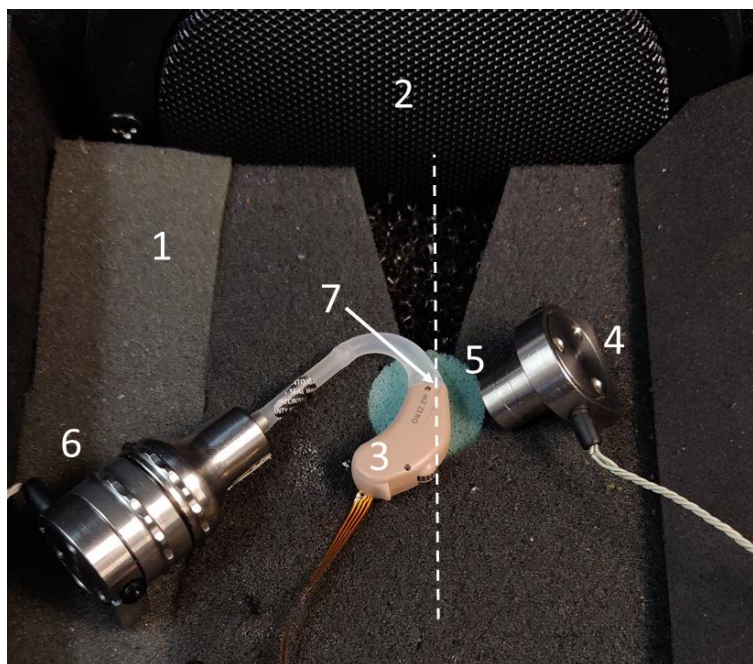
#### 2.3.3. Recinte i equip d'assaig

- Els estímuls no desitjats al recinte d'assaig no deuen afectar als resultats més de 0'5 dB. Això es verifica si el OSPL cau almenys 10 dB quan la font roman parada.
- La font de so ha de ser capaç de donar un SPL entre 50 dB i 90 dB, amb un pas mínim de 5 dB. També es defineixen les toleràncies dels nivells, de les freqüències i de la distorsió harmònica total:

- El nivell de la font de so ha d'estar dins de  $\pm 1,5$  dB del valor indicat per 200 Hz a 3000 Hz i  $\pm 2,5$  dB del valor indicat per 3000 Hz a 8000 Hz. De 200 a 2000 Hz i de 2000 a 5000 Hz.
- Les freqüències han d'estar dins del  $\pm 2\%$  del valor indicat.
- La distorsió harmònica total, per mesures de resposta en freqüència i guany total no deu excedir el 1% per nivells de pressió acústica de fins 70 dB i 2% per nivells majors de 70 dB fins 90 dB. 2% per a tots els nivells.
- La distorsió harmònica total, per mesures de distorsió harmònica a les freqüències mesurades per la THD no deu excedir el 0,5% per nivells de pressió acústica de fins 70 dB i 1% per nivells majors de 70 dB fins 90 dB. Només fins a 70 dB.
- El **sistema de mesura del SPL i de la distorsió harmònica** ha de trobar-se dins de  $\pm 0,5$  dB a la freqüència de calibratge, i dins de  $\pm 1$  de 200 Hz a 5000 Hz i de  $\pm 2$  de 5000 Hz a 8000 Hz. Distorsió harmònica total del equip de mesura menor que el  $\pm 1\%$  per SPL fins 130 dB i menor al  $\pm 2\%$  per SPL major fins 145 dB.  $\pm 1$  dB a la freqüència de calibratge i de 200 Hz a 5000 Hz.
- El **sistema de mesura de corrent continua** ha de presentar una tolerància de  $\pm 5\%$  en el valor de corrent mesurat, una caiguda de voltatge inferior a 50mV i una impedància que no superi  $1 \Omega$  de 200 Hz a 8000 Hz. Només de 200 Hz a 5000 Hz.
- La intensitat del camp magnètic produïda per la **font de camp magnètic** es calcula a partir de la geometria del bucle i influeixen el material i la construcció. L'entorn d'assaig no ha de patir cap pertorbació externa, pel que ha d'allunyar-se de qualsevol element que pugui modificar els resultats. No s'inclou a la IEC 60118-7:2005.
- La font ha de tenir un calibratge que expressi la relació entre la corrent d'entrada i la intensitat del camp magnètic. També ha de tenir una forma i dimensions que dins d'una esfera de 10 cm de diàmetre la desviació dels valors de magnitud i direcció sigui menor que  $\pm 5\%$  i  $\pm 10\%$  respectivament. La THD no ha de superar  $\pm 1\%$  i la intensitat del camp magnètic al punt d'assaig s'ha de mantenir dins d'un  $\pm 20\%$  de 200 Hz a 8000Hz. No s'inclou a la IEC 60118-7:2005.

#### 2.3.4. Condicions de l'assaig

- La col·locació del audiòfon per l'assaig és la que es mostra a les il·lustracions següents, amb el mètode de substitució, el mètode que utilitzarem en els nostres assaigs per mantenir la pressió constant en el punt de referència. El micròfon de control es col·loca  $5 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$  al punt de referència com es mostra a la Il·lustració 3.



- Llegenda
- 1 Espai d'assaig
  - 2 Font de so
  - 3 Audiòfon
  - 4 Micròfon de control o referència
  - 5 Diafragma
  - 6 Acoblador acústic + adaptador
  - 7 Punt de referència

*Il·lustració 3: disposició de l'assaig per un audiòfon BTE*

- Per a audiòfons direccionals el punt de referència es troba al punt mig entre els micròfons de l'audiòfon. No s'inclou a la IEC 60118-7:2005.
- El diàmetre del micròfon es recomana que sigui de 15mm o inferior.
- L'acoblador acústic o el suport mecànic de l'audiòfon no han de pertorbar el camp acústic en la proximitat de l'audiòfon en el ample de banda dels assaigs. Tampoc es deuen introduir efectes paràsits com ressonàncies o vibracions mecàniques, ni deuen afectar qualsevol propietat mecànica o acústica del audiòfon.
- El voltatge subministrat a l'audiòfon ha de simular el de les piles reals, per això segons el tipus de pila s'ha de seleccionar un determinat valor per la resistència interna (segons Taula 1) de la **font d'alimentació**. El voltatge en circuit obert serà sempre 1'3 V. Alternativament es pot utilitzar una pila directament.

*Taula 1: resistències i voltatges per a simuladors de pila Normativa 60118-0:2015*

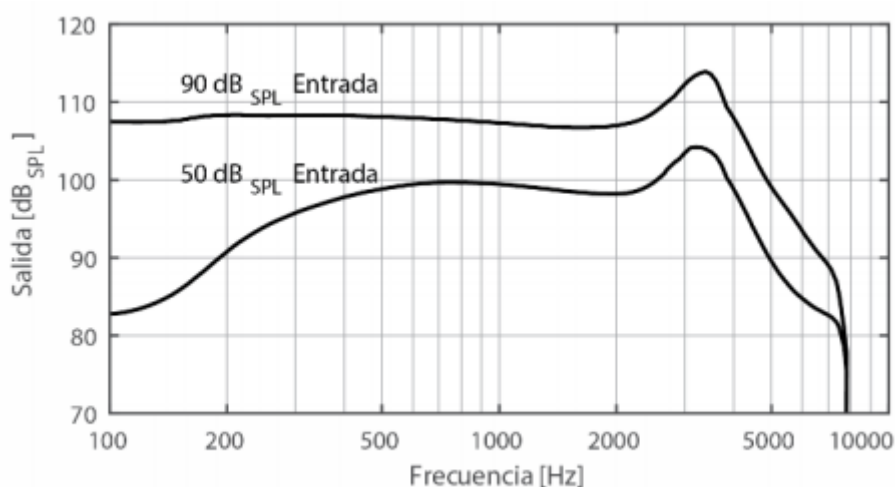
Tipus de bateria (designació ANSI)	Resistència en sèrie [Ohms]
10A	6,2
312	6,2
13	6,2
675	3,3

- Els ajustos de l'audiòfon durant el mesurament de FOG i RTS s'han d'especificar, a més, cal ajustar-lo per obtenir el rang de resposta en freqüència més ampli possible, el HFA-OSPL90 i, a ser possible, el HFA-FOG major. S'han d'inhabilitar els aspectes adaptatius que puguin afectar a senyal de to pur, i minimitzar l'efecte del AGC.

- Les condicions mediambientals en el recinte d'assaig en el moment de l'assaig es deuen trobar dins dels rangs: temperatura igual a  $23 \pm 5$  °C, humitat relativa entre 20% i 80% i pressió atmosfèrica igual a  $101,3^{+5}_{-20}$  kPa.
- Qualsevol accessori o dispositiu de sortida utilitzat junt amb l'audiòfon ha de ser especificat.

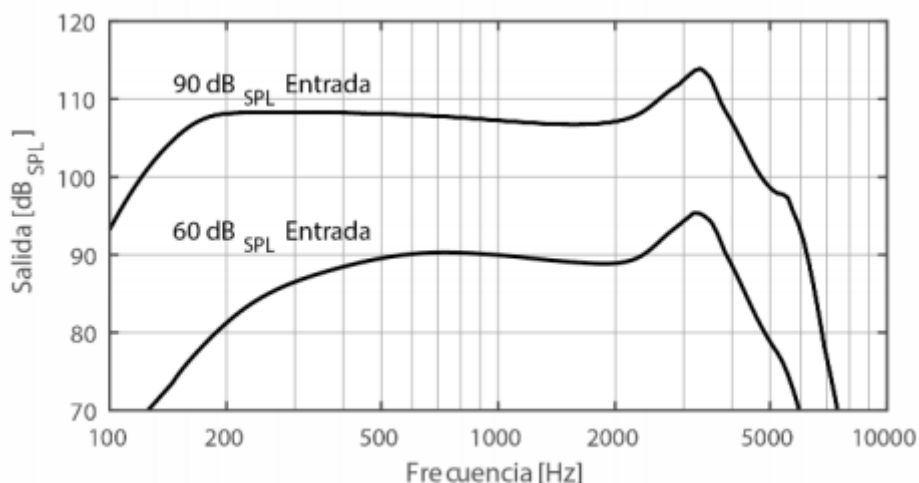
### 2.3.5. Procediments d'assaig

Per l'assaig per la corba de resposta en freqüència del **OSPL90** s'ajusta l'audiòfon a guany màxim i, mantenint el nivell de pressió a 90 dB, es varia la freqüència de la font de 200 Hz a 8000 Hz de 200 Hz a 5000 Hz. Es mesura i a partir de les dades obtingudes es calcula el màxim OSPL90 i el HFA-OSPL90. Per la corba de resposta de **FOG50**, es manté el nivell de pressió de la font a 50 dB i es mesura. Un cop mesurada, es resta 50 dB per obtenir el guany total, amb el qual es calcula el FOG50 i el HFA-FOG.



Il·lustració 4: exemple de resposta en freqüència OSPL90 i OSPL50 a FOG (model: m2 mRIC ZERO M) [10]

En el procediment per a la **corba de resposta en freqüència bàsica**, s'ajusta el control de guany al RTS, mantenint el nivell a 60 dB i es mesura. Amb les dades obtingudes es calcula el HFA-OSPL60, el guany RTG i el rang de freqüències,  $f_1$  i  $f_2$ , que són les freqüències en les que la corba té el valor del HFA-OSPL60 menys 20 dB. El guany RTG s'indica a mode informatiu



Il·lustració 5: exemple de resposta en freqüència bàsica OSPL90 i OSPL50 a RTS (model: m2 mRIC ZERO M) [10]

Per mesurar la **distorsió harmònica total** s’ajusta el control a RTS, es mesura i s’indica la distorsió en tant per cent a les freqüències i nivells de la taula. Els càlcul per al procediment s’expliquen a la IEC 60118-0:1996.

Taula 2: Freqüències d’assaig de distorsió i nivells de pressió acústica d’entrada per a IEC 60118-0:2015

Freqüència d’assaig de distorsió [Hz]	SPL d’entrada [dB]
500	70
800	70
1600	65
3200 (no inclosa a 60118-7)	60

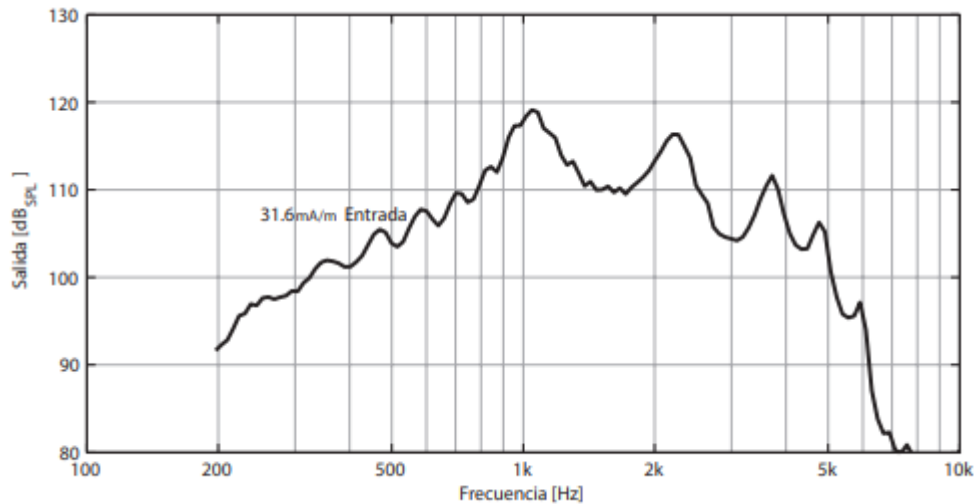
El **soroll de entrada equivalent** (EIN) és el resultat del SPL del soroll de sortida total menys el guany de sortida HFA per un SPL de 50 dB. El soroll de sortida total es mesura amb la font de so apagada i amb un temps de mitjana de almenys 0,5s, si aquesta mesura es 10 dB inferior que quan s’apaga l’audiòfon aleshores el soroll d’assaig es pot determinar si el soroll de l’equip és adequadament baix.

El **corrent de la pila** és mesura ajustant el control de guany a RTS i amb un NPA d’entrada de 65 dB a 1000 Hz.

Pels audiòfons que tenen **bobina de captació d’inducció** es mesura l’ETLS i l’HFA-MASL. En el cas de l’ETLS s’ajusta a referència i a mode bobina i es crea un camp magnètic vertical de 31,6 mA/m, paral·lel a la referència vertical. Es mesura i calcula el HFA-SPLIV, i l’ETLS com:

$$ETLS [dB] = HFA_{SPLIV} [dB] - RTG [dB] + 60 dB$$





Il·lustració 6: exemple de corba de sensibilitat de la bobina telefònica a RTS a 31,6 mA/m (model: m4 BTE) [11]

Per al HFA-MASL s'ajusta a guany màxim i a mode bobina i la intensitat a -40 dB re 1 A/m, que equivalen a 10 mA/m. A partir de la mesura, es determina el SPL de sortida HFA, i es calcula el HFA-MASL com:

$$HFA_{MASL} [dB] = HFA [dB] - 20 \log \left[ \frac{H [mA/m]}{1 mA/m} \right]$$

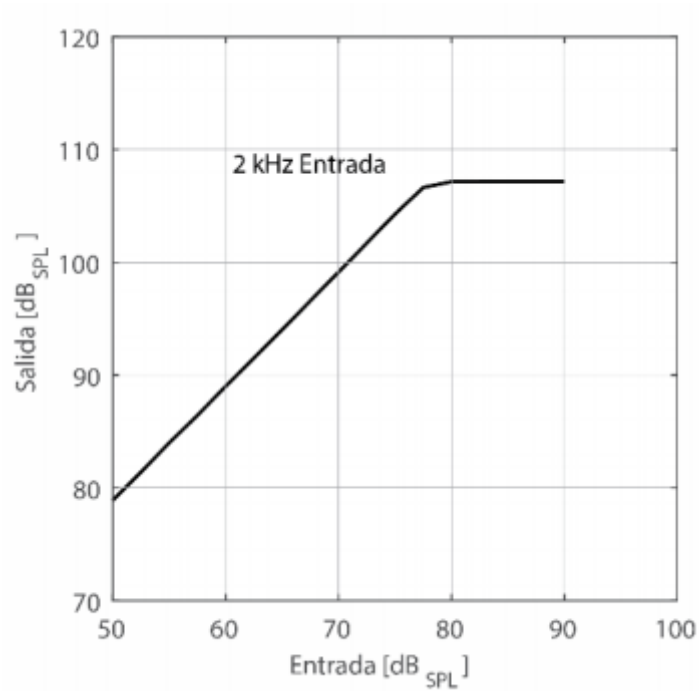
On H es la intensitat del camp magnètic en el punt d'assaig.

### 2.3.6. Procediments d'assaig opcionals

S'especifiquen els procediments opcionals com l'efecte del control de to i de control de guany, distorsió d'intermodulació, efecte de la variació del voltatge de la pila o del subministrament i de la resistència interna, soroll d'entrada equivalent en bandes de terç d'octava, mesures addicionals per bobines de captació d'inducció i per a audiòfons AGC. Només es passa a comentar els assaigs que es volen afegir a l'entorn.

Per a audiòfons amb **AGC** es mesura la corba d'entrada-sortida en règim permanent i els temps d'atac (*attack*) i alliberament (*release*) per al règim dinàmic. Es realitzen ambdues mesures a 2000 Hz i amb l'ajust a RTS.

A la corba d'entrada-sortida es mesura i representa el SPL de sortida pel SPL d'entrada, modificant aquest de 50 dB (o menor) a 90 dB, en passos de com a màxim 5 dB. La representació ha d'utilitzar a ambdós axis escala lineal de decibels i la mateixa mida de divisió.



*Il·lustració 7: exemple de corba Input-Output a RTS a 2kHz (model: m2 mRIC ZERO M) [10]*

Per a determinar els temps d'atac i d'alliberament, es mesura l'envoltant del SPL de sortida (amplitud en el temps), primerament alternant l'entrada de 55 dB a 90 dB, amb el que es calcula el temps d'atac com el temps des del canvi de nivell de 55 a 90 fins a que el nivell s'hagi estabilitzat dins de 3 dB. A continuació, s'alterna de 90 dB a 55 dB i es calcula el temps d'alliberament com el temps des de la caiguda fins que el nivell s'hagi estabilitzat dins de 4 dB.

## 2.3.7. Toleràncies i incertituds

A les següents taules es mostren les toleràncies superiors i inferiors de les mesures (Taula 3) i les incertituds de mesura (Taula 4) mencionades a la IEC 60118-7:2005.

*Taula 3: toleràncies de les mesures de la normativa IEC 60118-7:2005*

Mesura		Tolerància superior	Tolerància inferior
OSPL 90		+ 3 dB	- 4 dB
HFA-OPL90		+ 4 dB	- 4 dB
FOG		+ 3 dB	- 4 dB
HFA-FOG50		+ 5 dB	- 5 dB
Corba resposta en freqüència	De 200 a 2000 Hz	+ 4 dB	- 4 dB
	De 2000 a 4000 Hz	+ 6 dB	- 6 dB
Corrent de bateria		+ 20 %	- 20 %
THD		+ 3 %	
EIN		+ 3 dB	
ETLS		+ 4 dB	- 4 dB
HFA-MASL		+ 6 dB	- 6 dB
Corba Input-Output		+ 5 dB	- 5 dB
<i>Attack i Release time</i>		+ 5 ms ó + 50 %	- 5 ms ó - 50 %
Tensió en circuit obert		+ 0'05 V	- 0'05 V
Resistència en sèrie		+ 5 %	- 5 %

Taula 4: valors d' $U_{m\grave{a}x}$  (incertitud) per mesures bàsiques de la normativa IEC 60118-7:2005

Magnitud mesurada	$U_{m\grave{a}x}$
SPL de 200 Hz a 4000 Hz	1'0 dB
SPL major a 4000 Hz	1'5 dB
H (intensitat del camp magnètic)	1'0 dB
Freqüència	0'5 %
THD	0'5 %
Temperatura	0'5 °C
Humitat relativa	5 %
Pressió ambient	0'1 kPa

### 2.3.8. IEC 60118-0:1996

L'actualització de la norma 60118-0:2015, com s'ha comentat anteriorment, va dur a terme un canvi d'acoblador, utilitzant l'acoblador acústic en comptes d'utilitzar el simulador d'oïda oclòs de la norma IEC 60318-4. Aquest acoblador encara és interessant el seu ús, per això es comenten les diferències.

Tret alguna mesura addicional opcional, els procediments són iguals als de la IEC 60118-7:2005. A part de l'ús del simulador d'oïda, que provoca diferències en la resposta mesurada, la freqüència de referència és 1600 Hz, en comptes de 2000 Hz.

## 2.4. Llenguatge VB.NET

Visual Basic .NET és un llenguatge de programació multi paradigma i orientat a objectes implementat al .NET *framework*, o entorn de treball, de Microsoft que possibilita desenvolupar fàcilment aplicacions, força orientades a entorns web. Un dels grups en què es divideix la Biblioteca de Classes Base es Windows Forms.

Windows Forms és una interfície gràfica d'usuari (GUI) que ens permet crear la classe bàsica *form*, que representa una finestra o quadre de diàleg. En un *form* podem tota mena de controls per a donar funcionalitat a l'aplicació. Es poden associar funcions que manegen (*handle*) aquests controls.

A més, es compta amb la biblioteca DevExpress 18.1 que afegeix components de la interfície predeterminats i permet utilitzar plantilles per a la interfície gràfica. Un dels avantatges en l'aplicació és l'ús dels gràfics (*Chart*) i els controladors (*chartControl*) per a dibuixar i gestionar les corbes.

## 3. DISSENY DE L'ENTORN

### 3.1. Hardware

#### 3.1.1. Mòdul generador

El mòdul generador Brüel&Kjaer Type 3160-A-042 [12] disposa de quatre canals d'entrada i dos canals de sortida per a generador, amb un rang de freqüència fins a 51,2 kHz. Tots els connectors són de tipus BNC i la seva connexió per LAN permet la gestió amb el propi software de Brüel&Kjaer, PULSE LabShop, a més funciona d'alimentació amb la tecnologia PoE (*Power over Ethernet*). La sortida de preamplificador dóna  $\pm 14$  V, el que facilita l'ús dels micròfons electrets actuals.



Il·lustració 8: Brüel&Kjaer Type 3160-A-042 [12]

#### 3.1.2. Caixa anecoica

Per a realitzar les mesures s'usa una caixa anecoica Brüel&Kjaer Type 4232, que permet complir les condicions de camp lliure de la normativa i evitar agents exteriors. A l'interior de la caixa, com s'esmenta a la col·locació dels audíofons per la mesura, es troben les micròfons, l'acoblador i l'adaptador del acoblador. Tots aquests estris segueixen els volums i mides esmentat per la IEC 60118-7:2005.

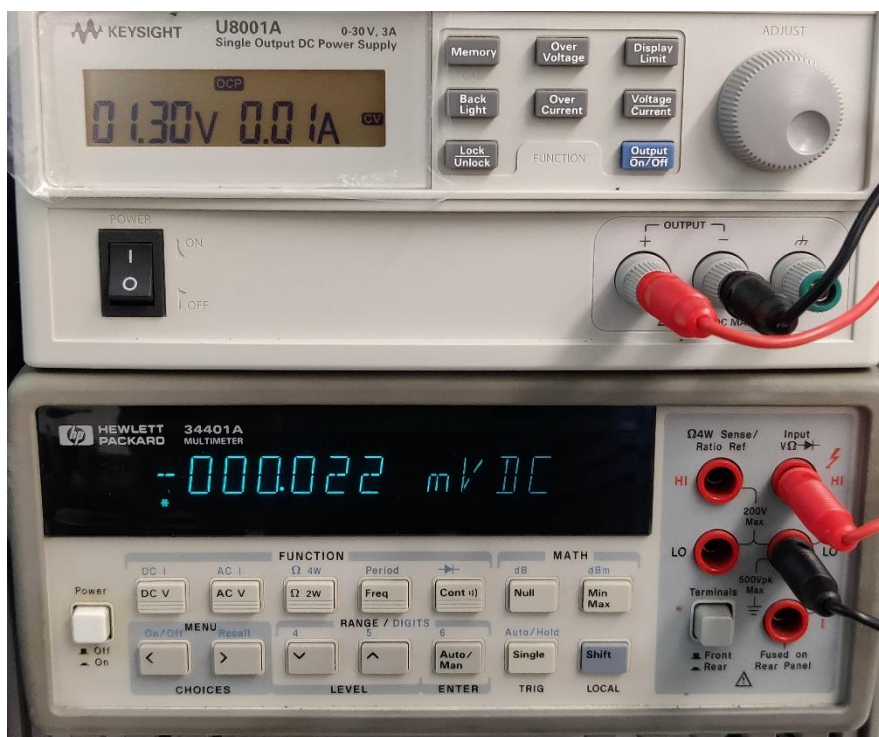
També conté un altaveu que genera el senyal i un bucle inductiu a les parets del voltant per quan sigui necessari generar un camp magnètic.



Il·lustració 9: caixa anecoica

### 3.1.3. Alimentació

Com que es vol mesurar el corrent que consumeix l'audiòfon alhora que s'alimenta es necessari el voltímetre, un Keysight 34401A, i el generador, un Agilent U8001A[13].



*Il·lustració 10: Keysight 34401A (a dalt) i Agilent U8001A (a baix)*

El generador Agilent té una sortida, amb dos pols, positiu i negatiu, en forma de banana. Pot generar voltatge constant fins a +30V, pel que serà suficient pels 1'3 V necessaris.

El voltímetre Keysight té vaires entrades també en forma de banana, tenint pol positiu i negatiu. Admet un màxim de 1000 V de màxima i mesura DC també, pel que ens és adient. Com es requereix l'automatització de la mesura, el voltímetre ha de tenir un bus per a comunicar-se amb l'ordinador, que llegirà el valor del consum per a incloure'l a l'informe, però ara mateix no és el cas.

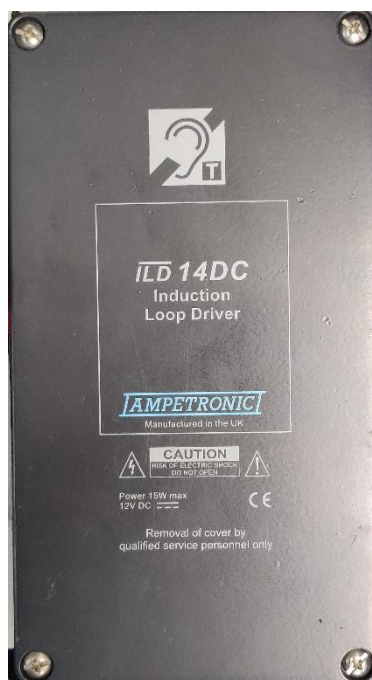
Tot i que tant el generador com el multímetre formen una solució massa avançada per a només realitzar la mesura del consum, és el hardware disponible a l'empresa, i per tant el que s'aprofita.

Per l'alimentació de l'altaveu de la caixa anecoica s'usa una etapa de potència Brüel&Kjaer Type 2706, que rebrà a l'entrada el senyal que envia el mòdul generador per la sortida *Output1*, l'amplifica i l'envia per la sortida a la caixa. Es connecta a l'entrada mitjançant un BNC a banana i a la sortida amb un banana directe a l'entrada *Speaker* de la caixa.



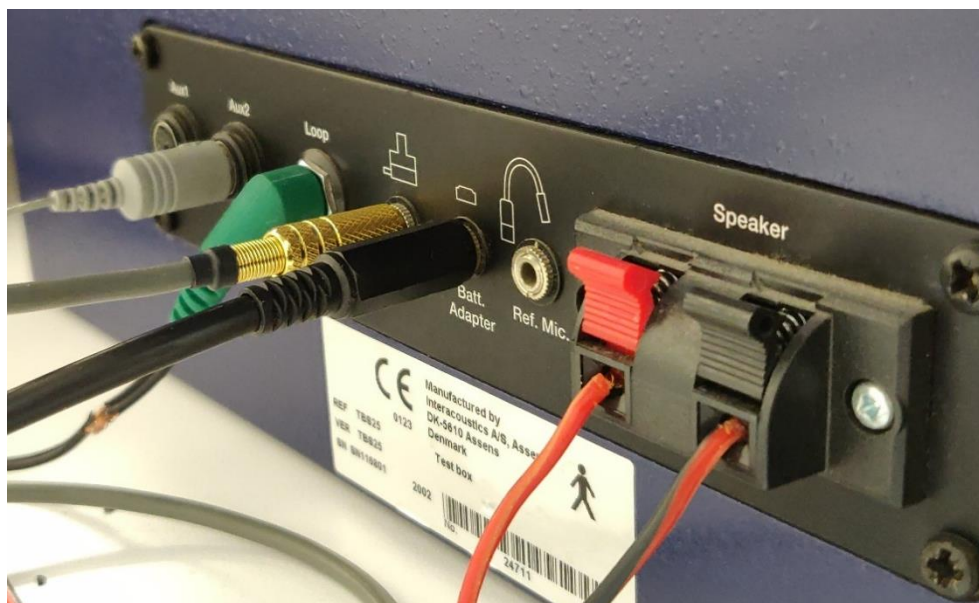
Il·lustració 11: amplificador de potència per alimentar l'altaveu

Per alimentar el bucle d'inducció magnètica s'usa un amplificador de corrent Ampetronic ILD 14D, que rebra a l'entrada el senyal que envia el mòdul generador per la sortida *Output2*, l'amplifica i l'envia per la sortida a la caixa. Es connecta a l'entrada mitjançant un BNC i a la sortida amb un jack 6mm a l'entrada *Loop* de la caixa. A l'interior mitjançant uns *trimmers* es permet ajustar el guany i aplicar filtres, tot i que ja ha sigut ajustat correctament.



Il·lustració 12: amplificador de corrent Ampetronic ILD 14DC

A continuació es comenta l'esquema electrònic i de les connexions per dur a terme la mesura del corrent de pila i la programació de l'audiòfon.



*Il·lustració 13: entrades de la caixa anecoica*

Per a les connexions, s'ha de tenir en compte els tipus d'entrada de la caixa anecoica, que té tres mini-jack 3.5mm, una per a l'adaptador de bateria i dues per a l'alimentació dels micròfons. A més de dues entrades auxiliars de tipus mini din-6, una entrada miniJack 3.5mm per al bucle (*loop*) i una entrada L/R per l'altaveu. Les entrades d'alimentació de micròfon, d'adaptador de bateria i auxiliar tenen sortida al interior de la caixa.



*Il·lustració 14: connectors miniDIN6, BNC, miniJack 3.5mm per ordre [15]*

La interfície de programació d'audiòfons HIPRO2[14] es connecta amb el PC amb USB2.0, des d'on rep les ordres per a la programació de l'audiòfon i l'alimentació. La sortida, un miniDIN6, es connecta a l'audiòfon, depenent del model de l'audiòfon s'utilitza una connexió o un altre.

Hi han audiòfons que la programació es duu a terme mitjançant el cable CS44, ja sigui connectat directament o mitjançant un *flex strip* i a part s'alimenten amb l'adaptador de pila. Altres es programen amb el cable CS44 o un adaptador de pila (per pila 13 o 312), el que també funciona com alimentació. Per tant, s'hauran de realitzar dos tipus de connexions:



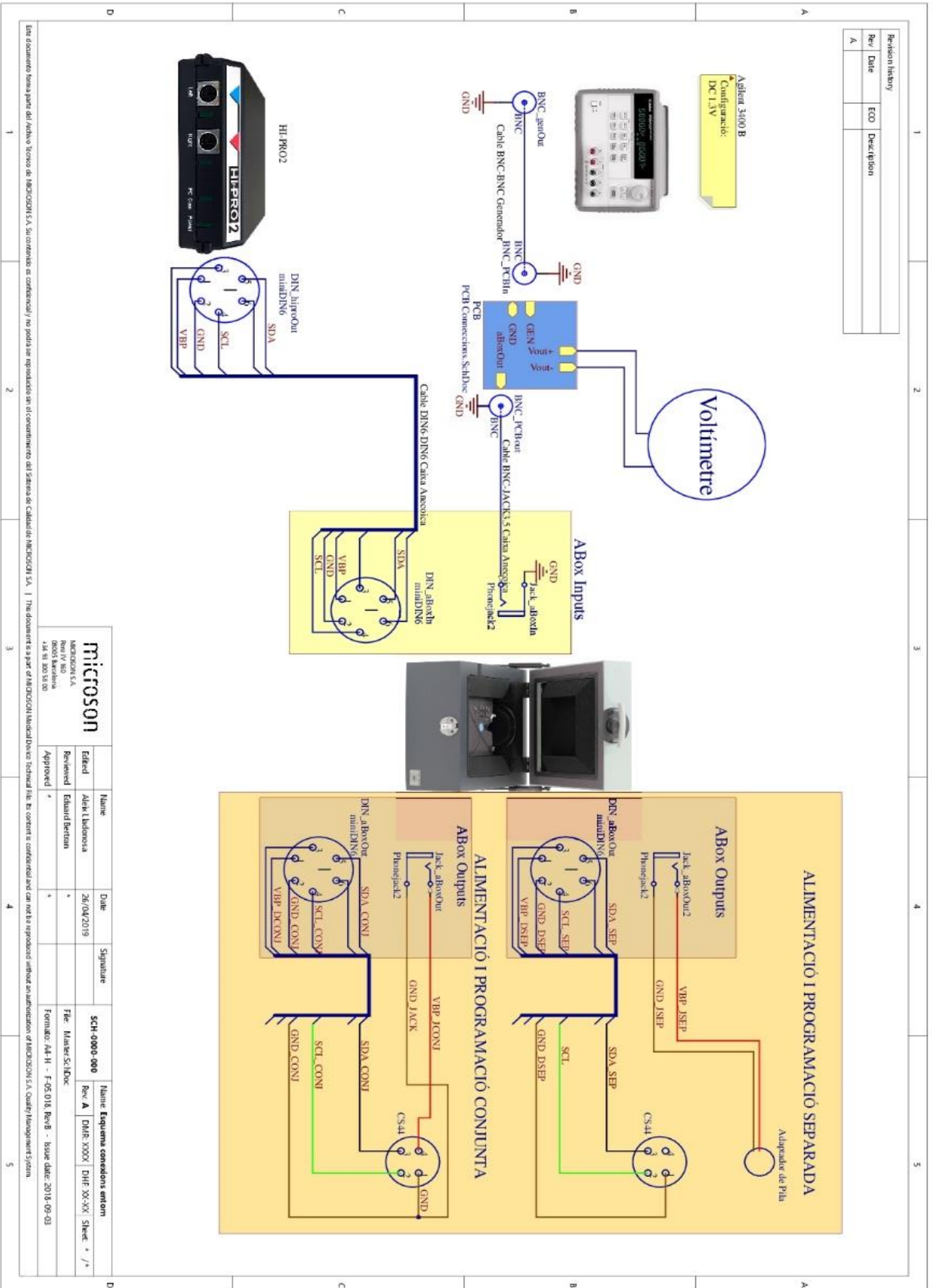
- Audiòfons amb programació i alimentació conjunta: s'unifiquen la programació, que entra per l'auxiliar, i l'alimentació, que prové del generador des de l'adaptador de bateria (jack 3.5mm). Així es connecten, al CS44, els dos GND (GND\_JACK i GND\_CONJ), l'alimentació que prové del generador (VPB\_JCONJ) i els dos senyals de programació que pertanyen a les dades i rellotge (SDA\_CONJ i SCL\_CONJ). A l'audiòfon es connecta directament el CS44 o el conjunt de CS44 més un adaptador de pila.
- Audiòfons amb programació i alimentació separada: del cable de programació s'utilitzen les dues senyals de programació (SDA\_SEP i SCL\_SEP) i la de GND (GND\_DSEP), la d'alimentació no s'utilitza. Això es connectarà mitjançant el CS44 al port de programació del audiòfon o bé amb el conjunt de CS44 més CS54 a través del portapiles. Per a l'alimentació s'utilitza el positiu i el GND (VBP\_JSEP i GND\_JSEP) connectat mitjançant un adaptador de pila cap al portapiles.



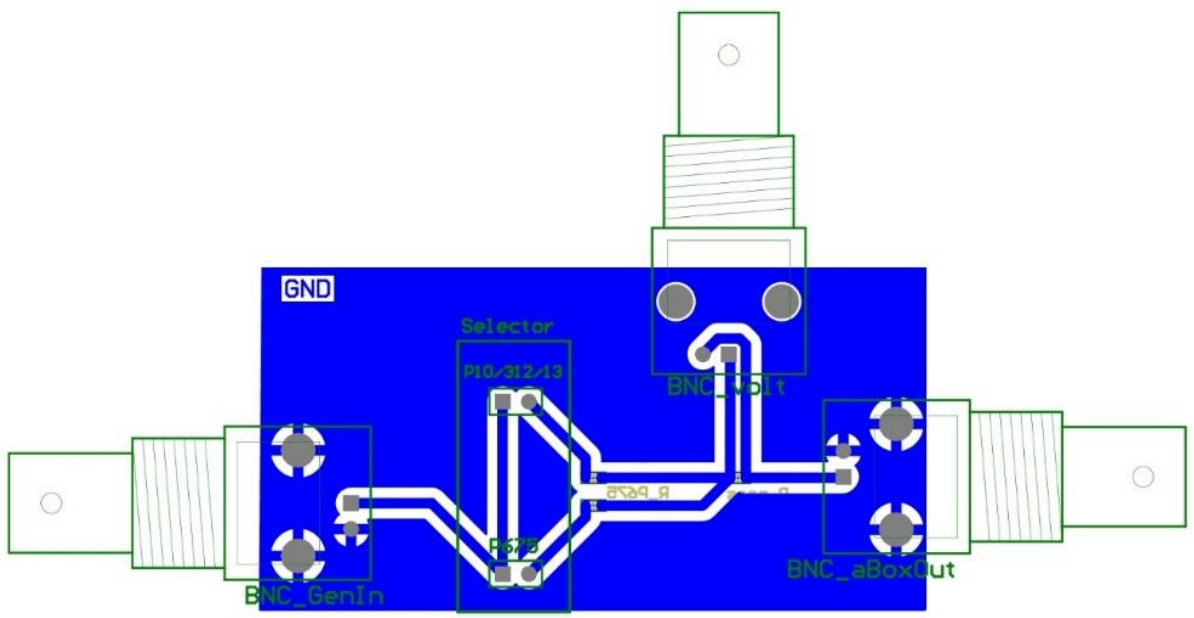
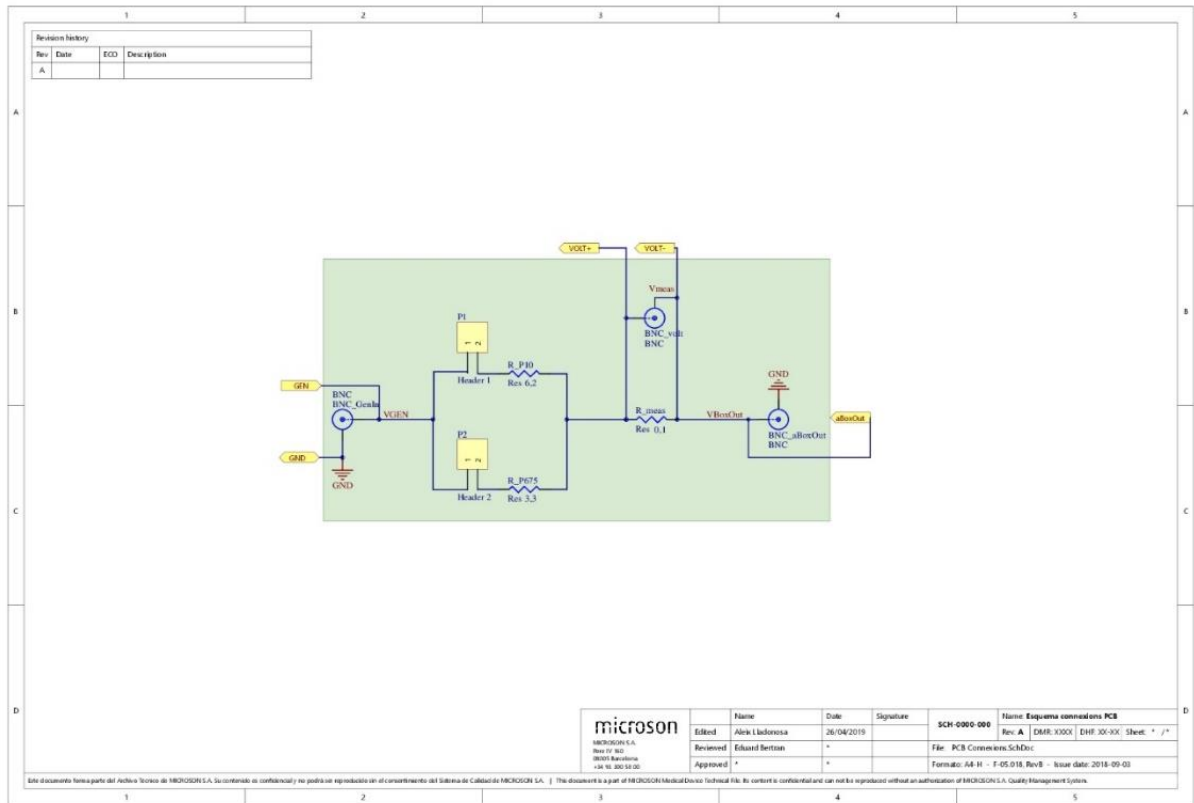
*Il·lustració 15: connector CS44 (esquerra) i flex strip CS54 (dreta) [6]*

La lectura del corrent es realitza amb el voltímetre que fa la mesura a una resistència  $R_{meas}$  de 0'1 Ohms, un valor prou petit per a no modificar la resistència de la pila. La normativa defineix els valors de la resistència de la pila segons el tipus de pila i el voltatge del generador, com es mostra a la Taula 1 descrita anteriorment.

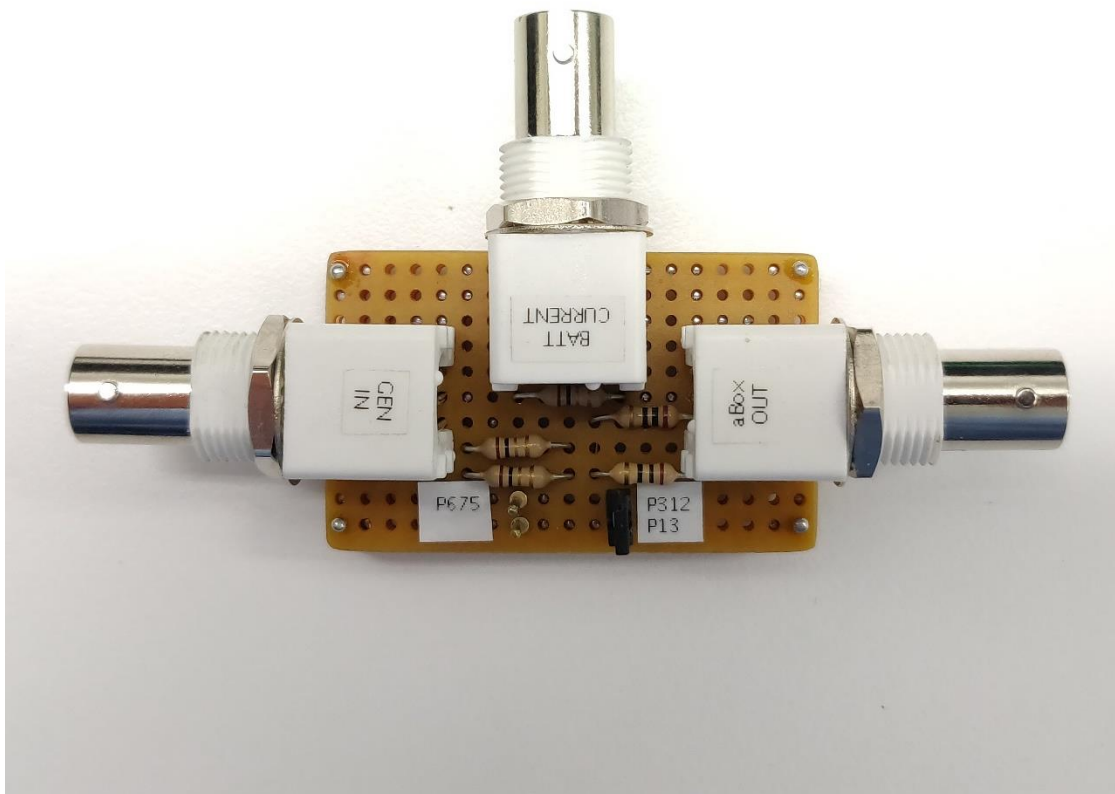
Per a poder realitzar la mesura, a part del hardware esmentat, es necessari dissenyar el circuit per a la simulació de la pila. Amb el suport de l'àrea d'electrònica, s'ha dissenyat i muntat el cablejat i la PCB que es mostren a la Il·lustració 16 i la Il·lustració 17.



Il·lustració 16: esquema connexions per alimentació i programació



Il·lustració 17: circuit i esquema de la PCB



Il·lustració 18: muntatge de la PCB

Com es mostra a la Il·lustració 16, la PCB realitza la connexió entre el generador (*GEN IN*), la caixa anecoica (*aBox OUT*) i el voltímetre de mesura (*BATT CURRENT*) mitjançant BNCs. Per a seleccionar la pila a simular es disposa d'uns *headers*, que a mode de selector ens permeten triar la resistència utilitzada segons la pila.

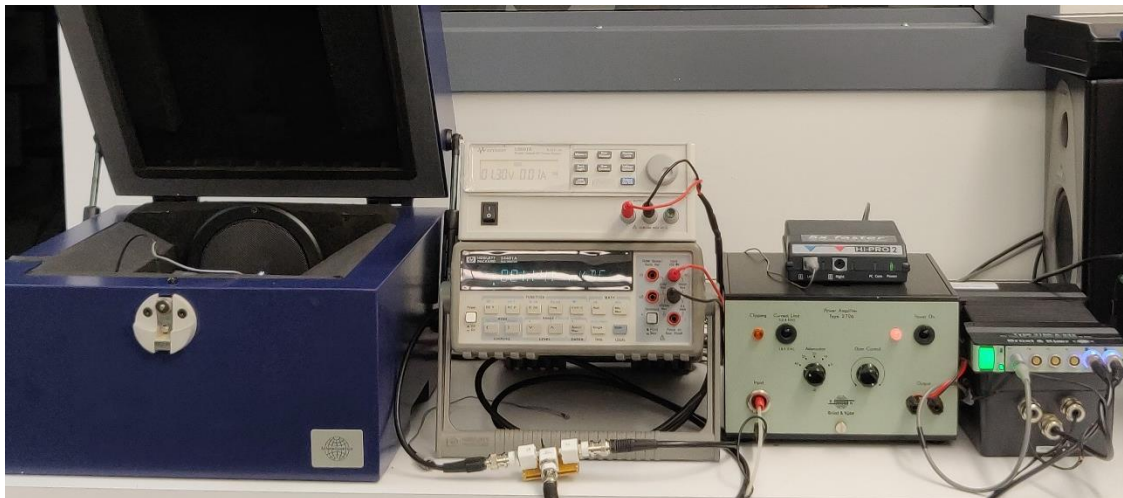
Els micròfons a l'interior de la caixa anecoica requereixen d'alimentació, ja que són electret, pel que s'usarà un cablejat format per la senyal captada, en voltatge, i el positiu i negatiu per a l'alimentació. Com que l'entrada de la caixa anecoica és de tipus miniJack de 3'5<sub>mm</sub>, el cable del mòdul a la caixa ha de ser de LEMO 7-pin a miniJack, aquest cable ha sigut muntat per l'àrea d'electrònica.

A continuació, es mostra un llistat resum del cablejat necessari (Taula 5).

Taula 5: llistat del cablejat de l'entorn

Cable	Quantitat	Descripció
miniDin-6 mascle --> miniDin6 mascle	x1	HI-PRO --> ABOX
BNC mascle --> miniJack 3,5mm	x1	PCB --> ABOX
Banana mascle --> BNC mascle	x1	Generador --> PCB
BNC mascle --> Banana mascle	X2	PCB --> VOLT BK Mòdul --> Amplificador de potència
Banana mascle --> Directe	X1	Amplificador de potència --> ABOX
miniDin-6 mascle + miniJack --> CS44	x1	Programació + Alimentació
miniDin-6 mascle + miniJack --> CS44 + Adaptador de pila	x1	Programació / Alimentació
7 pin LEMO --> miniJack	x1/x2	Alimentació micròfons: BK Mòdul --> ABOX

Finalment aquest és el muntatge complet.



Il·lustració 19: muntatge del hardware complet de l'entorn

### 3.2. Software

El software PULSE LabShop v22.2.0.303 permet realitzar les funcions necessàries per a fer els anàlisis acústics. Mitjançant diferents organitzadors es pot realitzar manualment la configuració del projecte. Amb l'organitzador de configuració (*Configuration Organiser*) es detecta el hardware connectat, si prèviament s'ha fet el *setup* i la configuració de la IP, i permet inserir als canals els transductors (micròfons i generadors) que es fan servir.

A l'organitzador de mesura (*Measurement Organiser*) es gestionen els grups de micròfons que es volen mesurar i els generadors, a part s'insereixen i configuren els analitzadors, funcions, buffers i *triggers*. Un *trigger* permet definir esdeveniments que autoritzen actuar als analitzadors, buffers o generadors. Per exemple, començar una mesura un cop el generador s'hagi activat.

Els analitzadors disponibles són SSR, FFT (*Fast Fourier Transform*), CPB (*Constant Percentage Bandwidth*), OverAll, TimeCapture i Order. L'SSR és especialment utilitzat per a fer escombrats en freqüència generant i analitzant en banda estreta. L'FFT s'utilitza per al anàlisis en banda ampla en freqüència o en temps, possibilitant generar un to pur o bé soroll de banda ampla, i el CPB permet el mateix per bandes octaves. Amb l'OverAll es realitza directament la funció seleccionada, extraient un valor de la mesura com pot ser el màxim o el mínim o la suma logarítmica de la resposta en freqüència.

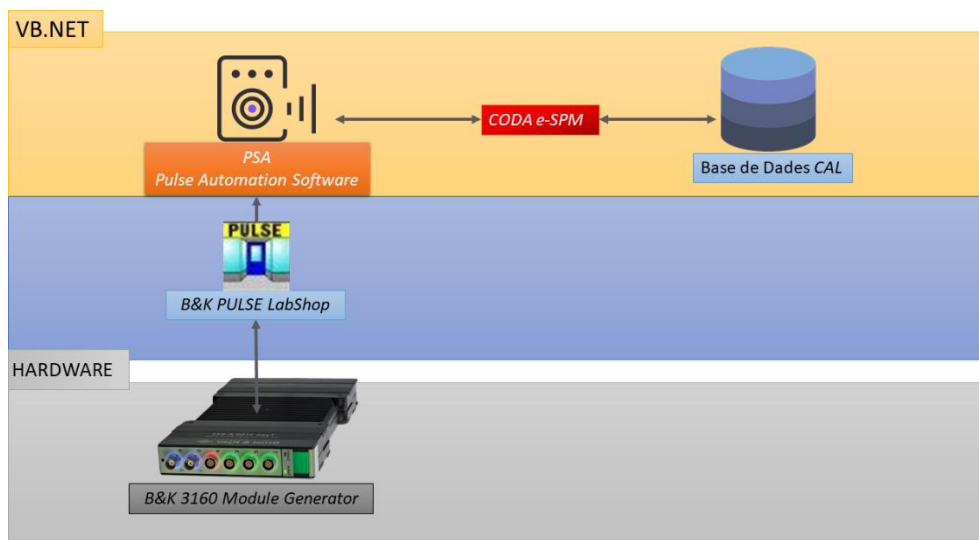
Tant l'organitzador de funcions (*Function Organiser*) com l'organitzador de gràfiques (*Display Organiser*) proporcionen accés a les dades de les mesures realitzades pels analitzadors actius.

### 3.3. Jerarquia

Com s'ha esmentat, el mòdul generador es governat pel propi software PULSE LabShop i ahora l'aplicació desenvolupada PSA (*Pulse Automation Software*) li envia les instruccions i les rutines a executar, tal com es passa a declarar al següent apartat.

El software CODA e-SPM, creat per l'àrea de Software de Microson, dirigeix l'execució del PAS quan es utilitza per a control de qualitat. El CODA obté, a través del número de model imputat pel tècnic, les toleràncies per a les mesures i la configuració del model de la base de dades CAL i les transmet al PSA. La configuració del model és important per al procediment realitzat pel PSA, ja que així es coneix si s'han de dur a terme les mesures per a bobina i a més s'efectua *in situ* tant la programació inicial com l'ajust a referència i a bobina de l'audiòfon, si és precís.

L'ús del CODA possibilita, a part de programar l'audiòfon, fer el calibratge de l'audiòfon, és a dir, ajustar automàticament un per un els audiòfons a referència. El disseny actual es basa en determinar un nivell de referència per a tots els audiòfons d'un mateix model, el que presenta desviacions, ja que no es tenen en compte les desviacions pròpies de cada audiòfon.



Il·lustració 20: jerarquia i esquema de comunicacions

## 4. DESENVOLUPAMENT

Les funcions mencionades més destacables es troben a l'Annex A, a continuació es mostra un llistat amb la referència al número de pàgina per la consulta.

➤	FUNCIÓ 1: LOADPROJECT .....	69
➤	FUNCIÓ 2: CALIBRATIONPROCESSPAG .....	69
➤	FUNCIÓ 3: BROADBFFTGENEQUALIZATION .....	70
➤	FUNCIÓ 4: SETFFTMEASURE A TEST.VB.....	72
➤	FUNCIÓ 5: SETEINSETTINGS A TEST.VB.....	72
➤	FUNCIÓ 6: SETAGCSETTINGS A TEST.VB .....	72
➤	FUNCIÓ 7: SETREFERENCESETTINGS A TEST.VB .....	73
➤	FUNCIÓ 8: SETTHDSETTINGS A TEST.VB .....	73
➤	FUNCIÓ 9: SETBATTERYCURRENTSETTINGS A TEST.VB .....	74
➤	FUNCIÓ 10: SETTCSETTINGS A TEST.VB .....	74
➤	FUNCIÓ 11: SETIOFFTSETTINGS A TEST.VB .....	75
➤	FUNCIÓ 12: FFTMEASURE A FUNCMODULE.VB .....	75
➤	FUNCIÓ 13: SETFFTDATA A FUNCMODULE.VB.....	75
➤	FUNCIÓ 14: READFFTDATA A FUNCMODULE.VB .....	76
➤	FUNCIÓ 15: READHFAFORRTS A FUNCMODULE.VB.....	76
➤	FUNCIÓ 16: READFFT2KHZ A FUNCMODULE.VB .....	77
➤	FUNCIÓ 17: READOVDATA A FUNCMODULE.VB.....	77
➤	FUNCIÓ 18: THDANALYSIS A FUNCMODULE.VB.....	77
➤	FUNCIÓ 19: ANALYSIS A TEST.VB .....	78
➤	FUNCIÓ 20: MEASURESPFFFT A TEST.VB .....	79
➤	FUNCIÓ 21: SETFFTREFERENCE A TEST.VB .....	79
➤	FUNCIÓ 22: MEASURETHD A TEST.VB.....	80
➤	FUNCIÓ 23: MEASUREEIN A TEST.VB .....	80
➤	FUNCIÓ 24: MEASUREAGC A TEST.VB.....	81
➤	FUNCIÓ 25: MEASUREBATTERYCURRENT A TEST.VB.....	82
➤	FUNCIÓ 26: MEASUREINPUTOUTPUTFFT A TEST.VB .....	83
➤	FUNCIÓ 27: MEASURETELECOIL A TEST.VB .....	84
➤	FUNCIÓ 28: VARSMODULE.VB .....	84

### 4.1. Funcions i classes principals

L'aplicació PSA conté un *form frmMain* que és la finestra principal que es mostra al iniciar l'aplicació i que crida a tots els processos i finestres existents. Des de *frmMain* es crida a totes les funcions *measure* que realitzen les mesures.

Totes les variables globals, com els objectes de configuració i mesura del PULSE, les constants, com direccions a fitxers o carpetes i constants per a càlculs, i les variables i màscares que usen les notificacions es troben a la classe **VarsModule** (Funció 28).

Les funcions i mètodes que realitzen els ajusts de configuració (*set*), els procediments (*measure*) i els càlculs (*calc*) per a les mesures, així com les variables i vectors que s'extreuen i els paràmetres que es tenen en compte es troben dins de la classe **Test**. Com a paràmetres s'entén les variables d'entrada per a les diferents mesures que són modificables, com per exemple el nivell d'entrada d'una resposta en freqüència.

La gran majoria de funcions per a les mesures, excepte les mencionades anteriorment, es troben a la classe *FuncModule*.

*CSVManager* és una classe que gestiona la lectura i escriptura d'arxius csv que serà el principal format en el que s'emmagatzemin les dades d'interès. Aquest format separa les columnes per punt i coma i les línies per salts de línia. Tot i que la lectura i escriptura es realitza en línies, es interessant per comoditat guardar els vectors en columnes identificades per una capçalera, per tant la pròpia classe permet l'entrada de les dades en columnes, amb la classe interna *ColumnCSV*.

*Notify* és l'esdeveniment que envia Pulse quan s'esdevé alguna acció en el software, junt amb aquest esdeveniment s'envia un notificació. A la classe *CNotifyClass* i mitjançant màscare, definides per la documentació del Pulse, s'extreu un missatge i un paràmetre que ens ajuden a definir les esdeveniments, com per exemple quan comença una mesura. Al llarg de tot el codi, s'usen les notificacions per a poder tenir una referència de l'estat d'execució del Pulse.

## 4.2. Processos de l'aplicació

Després del calibratge i l'equalització es presenten els processos en l'ordre òptim establert a l'aplicació. El procediment queda marcat per dos canvis, l'ajust a referència i l'ajust a bobina de l'audiòfon, degut a que són accions costoses, pel temps emprat, s'intenten fer només un cop.

Així doncs, es comença per la mesura del SPL a 50, 60 i 90 dB amb l'ajust de guany màxim i s'ajusta a referència. Ara s'aprofita per a realitzar els tests que necessitin que l'ajust es trobi a referència, com el SPL a 50, 60 i 90, la distorsió harmònica total, la corba d'entrada-sortida, la mesura del controlador automàtic de guany, el corrent de bateria i el soroll equivalent d'entrada. Després es mesura la bobina telefònica.

L'ordre d'aquests tests prioritza el fer els mínims canvis entre ells, i per tant, estalviar el màxim temps. Per això es fan consecutivament les mesures de SPL, THD, Input-Output i AGC que utilitzen totes l'analitzador FFT, després pel soroll equivalent d'entrada s'usa el OverAll i finalment per la bobina es torna a fer servir l'analitzador FFT.

Cal destacar també que davant de la multitud de diferents opcions per a realitzar les mesures s'ha prioritzat el mètode que dins d'una certa fiabilitat, sigui més ràpid i es pugui equalitzar correctament, perquè sense una equalització del sistema les mesures no serien fiables, i per tant no serien vàlides.

Per tota l'execució de l'aplicació PSA, s'opta per utilitzar un sol projecte de Pulse, anomenat *PROJECT.pls* que s'anirà modificant segons la mesura duta a terme, ja que, com s'esmenta a continuació, és un procés més ràpid i flexible que carregar un projecte per cada mesura. La càrrega del projecte es fa mitjançant la funció *loadProject* (Funció 1).

A continuació, es passa a descriure el codi intern dels processos i a l'apartat 5.1 es descriu més profundament la interfície gràfica.



#### 4.2.1. Calibratge

Un cop iniciat el procediment i introduït el nombre de micròfons. Els valors de l'ajust del guany són guardats en format csv a la carpeta */test/Calibrations* amb la data i l'hora actuals per a portar el registre i poder carregar el calibratge més actual durant les apertures de projectes.

Durant l'apertura del menú, es carreguen i mostren els valors més actuals calibrats per ambdós micròfons. Després del calibratge es mostren els nous valors per a poder tenir una referència i poder validar els nous valors.

Per a poder realitzar el procés correctament es necessari realitzar l'espera de les notifikacions, mitjançant la classe *Notify* i la funció *waitNotify*, de que s'està duent a terme la cerca d'un micròfon amb el pistòfon connectat (*"SEARCHING"*), que s'està calibrant un micròfon (*"MEASURING"*), que s'ha calibrat amb èxit (*"CALIBRATED"*) o que hi ha hagut un error durant el calibratge (*"ERROR"*). Aquest procés es troba a la funció *calibrationProcessPag* (Funció 2) dins de la classe *CalibrationMenu*.



Il·lustració 21: micròfon connectat al pistòfon per al calibratge

Un cop finalitzat el calibratge d'un micròfon i rebut el estat de *Calibrated* s'iniciarà el calibratge del següent micròfon, si n'hi ha, o finalitzarà el procés. El calibratge es fa de forma automàtica des del PULSE, pel que només cal seguir el procediment i esperar els esdeveniments.

Per modificar el valor del guany dels micròfons, cal accedir a la propietat del ajust del guany d'entrada de les propietats del canal del senyal del micròfon (*ChannelProperties.InputGainAdjust*).

#### 4.2.2. Equalització

Quan es comença l'equalització, s'inicia una primera mesura en *Broadband* amb un àudio d'input que genera un escombrat de 200 a 8000 Hz, amb el generador funcionant en mode *User defined* que permet entrar un fitxer d'àudio. Aquesta mesura s'utilitzarà per a calibrar el generador a 80 dB<sub>SPL</sub> a 2000 Hz. Així s'extreu el nivell de sortida a 2000 Hz, es calcula el guany entre la sortida i l'entrada, idealment de 80 dB<sub>SPL</sub>, realitzant una divisió en pressió i se li assigna al guany del generador. L'entrada, en voltatge, es divideix entre el guany per a obtenir, en voltatge, el valor real de sortida del generador per a generar els 80 dB<sub>SPL</sub> a 2000 Hz.

Un cop calibrat el guany del generador respecte 2kHz, es fa una altra mesura igual a 80 dB<sub>SPL</sub> per a comprovar el correcte calibratge i per realitzar l'equalització de tot l'espectre amb el guany determinat abans. La desviació és la resta entre el valor mesurat a 2kHz i l'ideal, en aquest cas 80 dB.

Per realitzar l'equalització de tot l'espectre, a cada freqüència del vector d'aquesta mateixa resposta se li resta el valor SPL a 2kHz, obtenint així un vector "normalitzat" a 2kHz. Aquest vector junt amb les corresponent freqüències s'emmagatzema en un *string* amb valors separats per coma i parelles separades per salts de línia (caràcter *vbCrLf* en visual basic):

$$Freq1, SPL1 + vbCrLf + Freq2, SPL2 + vbCrLf + \dots$$

Aquest vector tractat, junt amb altres paràmetres, se li passa al transductor del generador a equalitzar mitjançant la funció *AddTransducerCurveToDatabase*. El propi Pulse s'han carrega de calcular i aplicar el filtre a la sortida del generador per a obtenir una resposta plana respecte el nivell a 2kHz. La resposta i el filtre es queden registrats a la base de dades de transductors (*Database Transducer*). Per aplicar la correcció també cal activar l'opció *ResponseEqualisation* a les propietats del transductor.

S'ha de tenir en compte que segons normativa (ISO 60118-7:2005) la desviació màxima entre 200 Hz i 2000 Hz és de  $\pm 1,5$  dB i de  $\pm 2,5$  dB entre 2000 Hz i 5000Hz. Si es presenta una desviació superior, l'aplicació demana si es vol repetir la mesura. Si s'accepta, es passa a repetir el procediment, per tant l'equalització es trobarà en bucle fins que la desviació sigui correcta o bé fins que s'accepti la desviació errònia.

Els valors de sortida i guany es guarden en format *csv* directament a la carpeta */test/Equalizations/Generator@2kHz* amb la data i l'hora actuals per a portar el registre, i fer-la servir per a calibrar tots els projectes oberts.

La comprovació es realitza ara per a l'equalització de l'espectre realitzant una última mesura i obtenint el vector resta entre els valors mesurats a cada freqüència i el valor ideal a l'entrada, de 80 dB<sub>SPL</sub>. Aquesta equalització es guarda també en *csv* a */test/Equalizations/Generator@BroadBand* per al posterior accés.

Aquest tipus d'equalització només s'aplica quan el generador realitza un escombrat amb l'analitzador SSR o en mode *User defined*, que és quan es carrega i es reproduïx un arxiu *wav*. Com que hi ha mesures que necessiten generar una freqüència aïllada, s'opta per equalitzar també la resposta quan el generador actua amb el mode *Sine* o *Swept*, generar una freqüència o un escombrat. La problemàtica d'efectuar sempre aquest tipus de mesura s'explicarà a l'apartat següent de respostes en freqüència.

Per a equalitzar el generador en mode *Swept*, al igual que abans es realitza una mesura en aquest mode i es mesura el vector *eqGenArray* que és la relació entre la sortida ideal, 200 mPa (= 80 dB<sub>SPL</sub>), entre la sortida mesurada per a cada freqüència, en pascals. Aquesta relació s'aplicarà a les mesures de l'espectre en freqüència, multiplicant la relació pel valor de sortida ideal, generant així la sortida ideal.

Tot aquest procés es troba a la funció ***broadBFFTGenEqualization*** (Funció 3) dins de la classe *EqualizationMenu*.



Il·lustració 22: mesurador de bucle inductiu CMR3 posicionat per l'equalització

Pel generador de bucle inductiu es realitza la mateixa equalització a 2kHz del generador, i a continuació per a tot l'espectre, encara que tingui una resposta gairebé plana no és així per a altes freqüències. Per a mesurar la resposta del bucle inductiu s'utilitza un mesurador de bucle inductiu CMR3 que per 400 mA/m genera 0 dBu o 775mV. A partir d'aquesta relació es busca el valor en mV real que permet generar aquests 775mV a la sortida del CMR3. Els valors de sortida i guany es guarden en format csv directament a la carpeta */test/Equalizations/Loop@2kHz* també amb la data i l'hora actuals. Aquest procediment el duu a terme la funció *broadBFFTLoopEqualization*.

Així, cada cop que es carrega el projecte es criden es carreguen el calibratge (*loadCalib*), el nivell a 2kHz del generador (*loadGenEq*), l'equalització del generador (*loadFFTEq*) i el nivell a 2kHz del bucle inductiu (*loadLoopEq*).

#### 4.2.3. Respostes en freqüència

Per a tots els assajos que sigui necessari mesurar les respostes en freqüència es fa mitjançant un escombrat en freqüència, generat per la reproducció d'un senyal d'àudio de 200 Hz a 8kHz, amb l'analitzador *FFTAnalyzer* en mode *peak*, que agafa a cada freqüència de tot l'espectre seleccionat sempre l'amplitud màxima mesurada, això és important ja que el modes *Linear* o *Exponential*, fiquen èmfasis a tot l'espectre o a l'últim, és a dir, que segueixen fent la mitjana del senyal a mesura que l'escombrat avança. Això faria que es modifiqués l'espectre mesurat.

El senyal de sortida del generador ha d'estar equalitzat per a tot l'espectre, i l'únic mode de realitzar-ho amb l'analitzador FFT és, a part del segon mètode alternatiu, utilitzant el filtre corrector de les propietats del transductor del generador, com s'ha comentat a l'apartat d'Equalització. Cal destacar que el fitxer d'àudio realitzat amb l'*Adobe Audition* es troba a -10 dB respecte fons d'escala, nivell que es mantindrà per a tots els arxius utilitzats per guardar el nivell d'equalització uniforme.

La funció *fftMeasure* (Funció 12), a través de la crida a *measureSPLFFT* (Funció 20), es usada per la mesura esmentada de la resposta en freqüència en banda ampla. Aquesta funció primerament crida a la funció *setFFTData* (Funció 13), després començarà la mesura, entrant en un bucle dins del qual es realitza la lectura de dades, amb la continua crida a la funció *readFFTData* (Funció 14), i la representació a temps real, amb la funció *AddArray*. La mesura finalitzarà quan es rebí la notificació *measStopped*, que es rep quan la mesura s'ha acabat.

Per la crida de la funció *fftMeasure*, i alhora la de les funcions incloses, es demana el gràfic on es vol representar, el nom de la corba. El nivell en dBs del senyal de sortida del generador, que es converteix en Pascals i se li aplica la sensibilitat del generador, calculada a l'equalització, amb la funció *calcGenLevelPa*. A més del mode de la mesura, que especificarà la funció a seleccionar per obtenir els valors de l'anàlisi i el tractament que se'ls dona.

La funció *setFFTData* defineix depenent del mode la funció d'on s'extreuen les dades, mitjançant l'objecte *BKDataset*. A més, es llegeixen el número d'entrades de l'eix X i les pròpies entrades, és a dir, les freqüències de la mesura. Els modes són:

- Mode "FFTOSPL": per a mesures de resposta en freqüència per a l'analitzador FFT i el micròfon de sortida (*OSPL*).
- Mode "FFTREF": per a mesures d'equalització per a l'analitzador FFT i el micròfon de referència (*Ref*).
- Mode "LOOP": per a mesures d'equalització per a l'analitzador FFT i el mesurador de bucle d'inducció CMR3.

La funció *readFFTData* accedeix a les dades de la funció de l'analitzador i llegeix el vector d'amplituds de tot l'espectre. A *readFFTData* se li comunica el número d'entrades *entries* i la funció a accedir amb la trucada de *setFFTData*. També es converteixen els valors llegits a dB, ja que es llegeixen en Pa<sup>2</sup> i s'escapça el vector de valors al rang de 200 a 8000 Hz.

De les respostes en freqüència a FOG i a RTS, s'obtenen les següents variables *sspl90Arr* (vector *SPL90* a FOG), *HFA\_SSPL90*, *sspl50Arr* (vector *SPL50* a FOG), *FOG50*, *HFA\_FOG50*, *ospl60Arr* (vector *SPL60* a RTS), *RTS60* (guany a 60 dB in a RTS) i *RTG60*, contant que només es realitzen les corbes de 90 i 50 a FOG i de 60 a RTS.

Aquest mètode representa una solució més òptima que les dues realitzades en primer lloc, explicades a continuació. És una mesura molt més ràpida que l'SSR i inclús que l'escombrat manual del segon mètode, no cal que s'equalitzi l'analitzador, sinó que s'equalitza el generador i a més no es corre el perill de saltar o deixar de mesurar alguna freqüència com és el cas de l'escombrat manual, ja que el canvi de freqüència i nivell requeria d'un cert temps d'espera.

## Mètodes alternatius

La primera solució plantejada constava de l'ús de la funció *selectiveBMeasure*, que utilitza l'analitzador SSR per a fer un escombrat en freqüència en banda estreta (*Selective o Narrow*). *selectiveBMeasure* duu a terme un bucle, que comença quan Pulse comunica amb l'avís *measStarted* quan la mesura s'ha posat en marxa i que finalitza amb l'avís *measStopped*, quan la mesura s'ha acabat. Al igual que la funció *broadBMeasure* també s'utilitza la funció *setData* i *readDataOld*, en aquest cas, en mode "SSR".

A continuació s'esmenten els modes de la funció *setData* necessaris només si s'utilitzen els mètodes alternatius:

- Mode "SSR": per a mesures de resposta en freqüència es requereix la resposta del micròfon de sortida (*OSPL*) amb l'analitzador SSR.
- Mode "EQ": per a equalització es requereix la resposta del micròfon de referència (*Ref*) amb l'analitzador SSR.
- Mode "IO": per la mesura de l'input-output amb l'analitzador SSR es requereix la corba de nivell de sortida del micròfon de sortida.
- Mode "THD": per la mesura de la corba de THD amb l'analitzador SSR es requereix la corba del multi buffer que calcula la distorsió harmònica.
- Mode "EQ": per a equalització es requereix la resposta del micròfon de referència (*Ref*) amb l'analitzador SSR.

De l'SSR sempre s'obtenen valors complexos, pel que es llegeix el vector de valors reals i imaginaris (*RealArr*, *ImArr*) i es calcula el mòdul per obtenir la resposta en pascals, a més, per a obtenir  $dB_{SPL}$  es transformen mitjançant la fórmula:

$$L_p(dB_{spl}) = 20 * \log_{10} \frac{p [Pa]}{p_0 [Pa]}$$

$$p_0 = 0'00002 Pa$$

S'ha de tenir en compte que les funcions per a la lectura dels valors obtenen tot el vector, encara que no s'hagi mesurat, és a dir, que inicialment tots els valors són 0 i conforme es mesuren es van modificant. Això ens fa realitzar tres accions:

- Obtenir alhora els valors reals i imaginaris, ja que si no el càlcul del mòdul pot arribar a ser erroni. Com això no es possible, s'especifica la condició que si un valor, real o imaginari, es diferent a zero, el valor corresponent, real o imaginari, ha de ser diferent a zero.
- No realitzar cap mesura abans que l'anàlisi no hagi començat, ja que aleshores el retorn de la lectura dels valors es erroni.
- Mostrar a la gràfica només els valors que s'hagin llegit. Aquesta acció es pot dur a terme eficientment emmagatzemant l'índex de l'últim valor mostrat, és a dir, l'últim valor llegit satisfactòriament.

La segona opció era utilitzar l'analitzador OverAll que realitza el càlcul del nivell total en banda ampla (*broadband*) de l'espectre, es defineix la funció *broadBMeasure*. *broadBMeasure* duu a terme un bucle que recorre el vector de freqüències determinat, en aquest cas *R40freqVector*, modificant la freqüència del generador.

- Mode "OveAll": mesura d'una sola entrada per a l'analitzador *OverAll* i el micròfon de sortida (*OSPL*).
- Mode "BBEQ": per a l'equalització per a l'analitzador *OverAll* i el micròfon de referència (*Ref*).

Respecte al mètode anterior aquesta solució permet obtenir el valor total de l'espectre directament, el que és més representatiu ja que indica l'energia total del so a la sortida de l'acoblador. També presenta un mètode més senzill i per tant més ràpid, amb la capacitat de gestionar el temps entre mesures.

#### 4.2.4. Ajust a referència

Es defineix la funció **setFFTReference** (Funció 21) que carrega un fitxer *wav* que conté 3 tons purs a les freqüències d'HFA, 1000, 1600 i 2500 Hz, generats alhora. La generació dels 3 tons purs, al igual que la mesura amb l'analitzador FFT a mode *peak* i el càlcul del HFA es va repetint fins l'ordre de l'usuari.

En una gràfica de nivell *levelMeter* es va mostrant el nivell que assoleix el HFA respecte el càlcul mencionat a la normativa per l'ajust a referència.

El fet de generar els 3 tons alhora és el millor mètode, ja que si es fa el canvi de freqüències i nivells del generador manualment entre 1000, 1600 i 2500 Hz s'ha d'atorgar el temps de canvi, i això alenteix el càlcul d'HFA.

#### 4.2.5. Distorsió harmònica total

S'usa la funció **measureTHD** (Funció 22) que, tenint les freqüències i nivells que marca la normativa, duu a terme la mesura, amb la funció **THDAnalysis** (Funció 18), de cada freqüència a calcular generant un sinus i mesurant en banda ampla amb l'analitzador FFT en mode *peak*. Un cop mesurada la resposta calcula la distorsió agafant l'amplitud dels harmònics, en aquest cas fins al segon harmònic ja que es defineix l'ordre dos.

De la mesura de la distorsió harmònica s'obté la variable *THD*, vector que conté la distorsió per cada una de les tres freqüències demanades en tant per cent.

Aquest és el mètode més òptim per a mesurar la THD, a continuació, però, es comenta la forma de fer el càlcul directament al Pulse de la corba completa, la principal diferència és la rapidesa i el canvi d'analitzador.

#### Mètode alternatiu

Per al càlcul de la distorsió harmònica es fa ús de la pròpia funció de l'analitzador SSR que permet fer el càlcul. Primerament, es configura els aspectes de l'analitzador com l'ample de banda, de 200 Hz a 8k Hz, i el tipus de mitjana, *Complex Adaptive*. A continuació, s'afegeix el número de ordres que es vol incloure en l'anàlisi, en aquest cas 2, el tipus de distorsió a mesurar, harmònica, i s'activa el *multibuffer*, ja que el càlcul disposa de tres dimensions: distorsió [%] a l'eix Y, ordre a l'eix X i *step frequencies* [Hz] a l'eix Z.

El *multibuffer* ha de ser degudament configurat per a que segueixi la seqüència de l'analitzador, això es gestiona amb els paràmetres *Start / Update / Stop Condition*, on es poden triar les opcions relacionades amb els esdeveniments de l'analitzador, *SSR Step Generator Ready / SSR Analyzer Finished / Stop at End*. A més, per a poder obtenir les dades de l'espectre, s'ha de modificar el tipus de funció del *multibuffer* de *Harm Distortion* a *THD Spectrum*.

La configuració per l'assaig de la distorsió des del codi suposa una opció més ràpida i estable respecte el haver de tancar el projecte i obrir-n'hi un de nou prèviament configurat per a fer l'assaig.

#### 4.2.6. Procediment Entrada-Sortida

La funció *measureInputOutputFFT* (Funció 26) genera un sinus a la freqüència escollida, 2000 Hz segons normativa, i mesura també amb l'analitzador FFT en mode *peak*. L'única diferència es que com es una mesura que necessita generar múltiples nivells en una mateixa freqüència, i no múltiples freqüències amb un mateix nivell com a les respostes freqüències, s'ha d'executar manualment el canvi de nivells. Segons normativa, els salts han d'anar de 5 dB en 5 dB (com a mínim), de 50 dB fins a 90 dB d'entrada.

Deixant un temps de mesura prou gran, es deixa uns 400 ms per cada salt de nivell, permetent modificar el valor del nivell al generador i llegir la nova mesura. El valor ha de ser prou gran per assegurar que l'analitzador mesura tots els nivells.

Tot i que, en aquest cas el mètode alternatiu empra menys temps en realitzar la mesura, resulta una solució pitjor, ja que l'equalització usada per a totes les mesures no es compatible amb el mode *OutputLevel* de l'analitzador SSR, el que suposa fer una equalització només per aquesta mesura.

D'aquest procediment s'extreuen els vector de nivells d'entrada *inArr* i el de nivells de sortida *inOutArr*.

#### **Mètode alternatiu**

Per a mesurar la corba d'entrada-sortida es configura l'analitzador SSR per al tipus de mesura *OutputLevel*, habilitant també els salts de nivell, *StepLevel*. Si s'ajusta segons normativa, els salts, *StepSize*, han d'anar de 5 dB en 5 dB (com a mínim), de 50 dB fins a 90 dB d'entrada, *output level* i *StepRange*, a una freqüència de 2 kHz.

Aquesta configuració permet mesurar la corba d'input-output directament, mesurant els nivells de sortida davant els salts d'entrada esmentats. Això presenta una gran optimització enfront a l'alternativa de realitzar una mesura SSR per als diferents salts a 2 kHz, ja que suposa realitzar una mesura, parar, llegir, configurar el següent salt i realitzar la següent mesura, el que demora molt l'assaig.

#### 4.2.7. AGC

El control de guany automàtic (AGC) es mesura amb l'analitzador FFT que permet fer mesures temporals, mitjançant la funció **measureAGC** (Funció 24). S'ha d'ajustar el temps de mesura i l'ample de banda a la duració de l'emissió del generador que, en aquest cas, es defineix a partir d'una senyal d'àudio en format *wav* i format per tres tons consecutius segons normativa de 55 dB, 90 dB i 55 dB, a 2000 Hz i d'un segon de durada.

Per a poder definir millor la mesura, i en el cas de tenir dos micròfons analitzant durant la mesura, es pot utilitzar un *trigger* d'inici per a l'analitzador, marcant que comenci la mesura quan s'assoleixi el nivell desitjat a referència, 55 dB.

Del AGC s'extreuen els propis vectors de temps, *agcTimeArr*, i de nivell, *agcArr*, i a més a més el temps d'atac, *attackTime*, i de retorn, *releaseTime*.

Per al càlcul del *attackTime* primerament s'agafa el valor del OSPL90 a 2kHz, per saber quin valor ha d'assolir. A continuació, es cerca el màxim nivell de tot el vector *agcArr*, ja que serà el temps on comença l'atac. Després es troba l'instant de temps en que s'ha estabilitzat al nivell màxim, OSPL90, que en aquest cas es defineix com l'instant de temps que compleix que les vint següents mostres estiguin entre  $\pm 3$  dB del OSPL90.

El valor que ha d'assolir després del *releaseTime*, OSPL55, és el mateix que assolix als primers instants de temps. D'igual manera es busca el mínim nivell, que serà el temps on comença el retorn, i marca l'instant de temps en que les següents vint mostres estiguin entre  $\pm 4$  dB del OSPL55.

#### Mètode alternatiu

Un dels mètodes alternatius per a realitzar l'input-output és fer els canvis de nivell del generador manualment passat un temps i anar mesurant amb l'analitzador OverAll, però el canvi no és instantani pel que no és un mètode vàlid.

#### 4.2.8. Consum de la pila

Per a mesurar el consum de la pila es requereix del hardware específic esmentat a l'apartat 3.1.3.

Actualment no s'ha adquirit un voltímetre per a poder automatitzar les lectures, pel que primerament, sense emetre cap nivell al generador es mostra un *InputBox* on es demana a l'usuari que faci la lectura del consum i l'escrigui a la caixa de text, aquesta variable s'anomena com *batteryCurrentIdle*.

A continuació, es genera un sinus de 60 dB com esmenta la normativa 60118-7:2005 i es torna a demanar el corrent, aquest cop serà el *batteryCurrent*. Aquest procediment es programa a la funció **measureBatteryCurrent** (Funció 25).



#### 4.2.9. Soroll d'entrada equivalent

En el cas del EIN s'ha de mesurar el nivell total del soroll ambient, pel que no cal activar cap generador. La manera més ràpida per mesurar el nivell total de l'espectre és mitjançant l'analitzador OverAll, que dóna directament el valor. Com marca la normativa, s'ha de fer una mitjana de mínim mig segon, per això s'ajusta l'analitzador i es crida a la funció **Analysis** (Funció 19) des de la funció **measureEIN** (Funció 23).

La funció *Analysis* no incorpora la lectura ni la representació de les dades, això és útil per a assaigs que no cal fer una lectura i representació a temps real, o bé que directament no cal representar.

Del càlcul abans mencionat, s'obté la variable *EIN* en dB.

#### 4.2.10. Bobina

Per mesurar la sensibilitat de la bobina a 31'6 mA/m és el mateix procés d'escombrat que amb una resposta en freqüència però modificant el generador *Loop* o bucle inductiu. Així s'obté el vector *splivArr*, *HFA\_SPLIV* i la sensibilitat equivalent, *ETLS*, mitjançant la funció **measureTeleCoil** (Funció 27).

La mesura de la distorsió per la bobina d'igual manera es realitza com la distorsió per micròfon, però modificant el generador per *Loop* i els nivells per 100 mA/m.

## 5. RESULTATS

Els resultats d'aquest projecte es basen en la demostració del compliment dels requisits descrits inicialment.

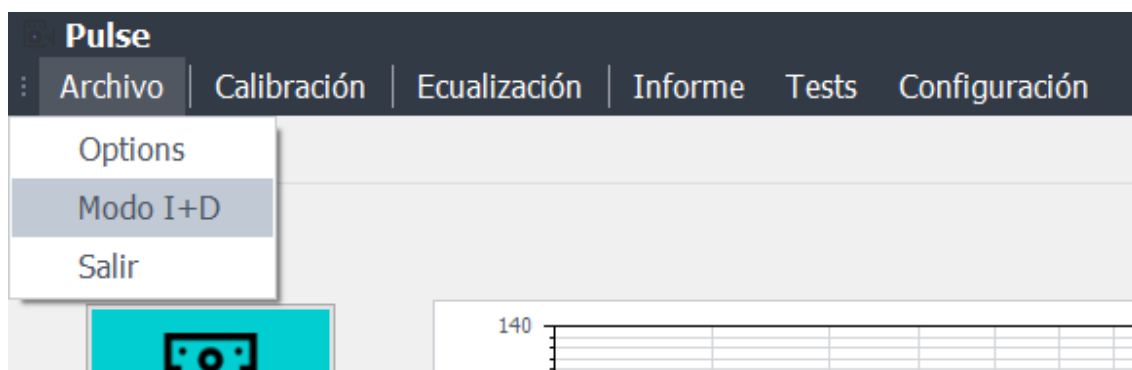
Com ja s'ha mencionat, s'utilitza el software de Brüel&Kjaer PULSE LabShop i el mòdul generador Brüel&Kjaer Type 3160-A-042, per tant són requisits que es compleixen.

### 5.1. Interfície d'usuari

A continuació, es comenten els controls de la interfície d'usuari que permeten dur a terme la configuració, selecció, gestió i realització dels assaigs.

#### 5.1.1. Diferenciació de modes

Selecció de l'opció *Modo I+D* al menú *Archivo* i introduint correctament el codi d'accés s'accedeix al mode per a disseny. Aquest mode desbloqueja 3 menús més, el d'informes, el de tests i el de configuració. Això permet que durant el mode de control de qualitat, es pugui modificar algun paràmetre que faci obtenir una mesura errònia.



Il·lustració 23: menú Archivo PSA

#### 5.1.2. Selecció d'informes

Al menú *Informes* es troben dos opcions, *Informe de valores* i *Informe en texto* que s'activen o desactiven mitjançant un *Check*.

L'*Informe de valores* realitza al finalitzar el test un arxiu .csv amb els vectors i valors resultants dels tests en columnes, identificant-ne cada assaig amb el nom a la capçalera. La responsable d'omplir l'arxiu és la classe *CSVManager*, programada per a poder emmagatzemar els valors en columnes.

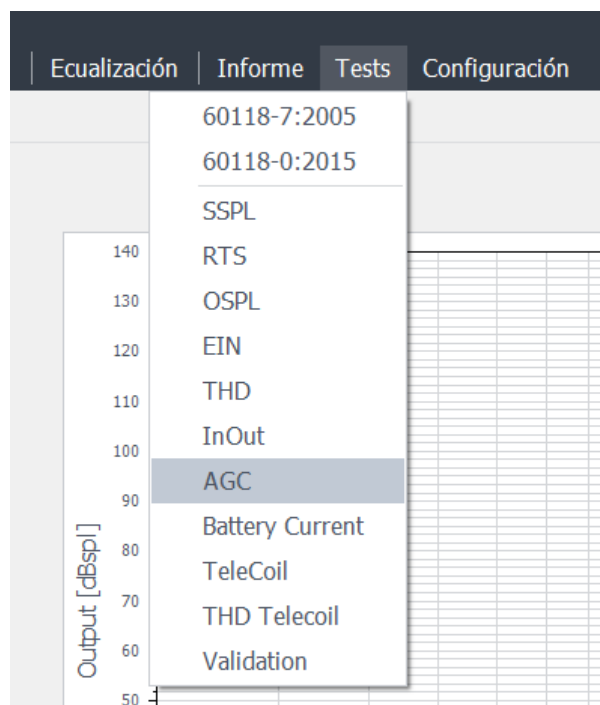
L'*Informe en texto* en aquest cas omple un arxiu *Word* amb els valors resultants més rellevants per al control, que són els que es marquen a la norma 60118-7:2005 i que es limiten amb les toleràncies. A més s'inclouen les toleràncies especificades segons el model de l'audiòfon, a mode informatiu per a la validació del resultat, així com una marca als valors que sobrepassen alguna d'aquestes toleràncies.

A continuació s'afegeixen gràfiques de la resposta en freqüència a guany màxim, la resposta en freqüència bàsica, la corba d'entrada-sortida i la resposta dinàmica AGC, extrems de les gràfiques que es mostren durant l'execució a la interfície.

Els resultats que s'han d'arxivar es coneixen gràcies als test seleccionats al menú *Tests*.

### 5.1.3. Selecció de test

Al menú *Tests* es troben primerament botons que seleccionen el conjunt de tests per omisió seguint els procediments de les diferents normatives.



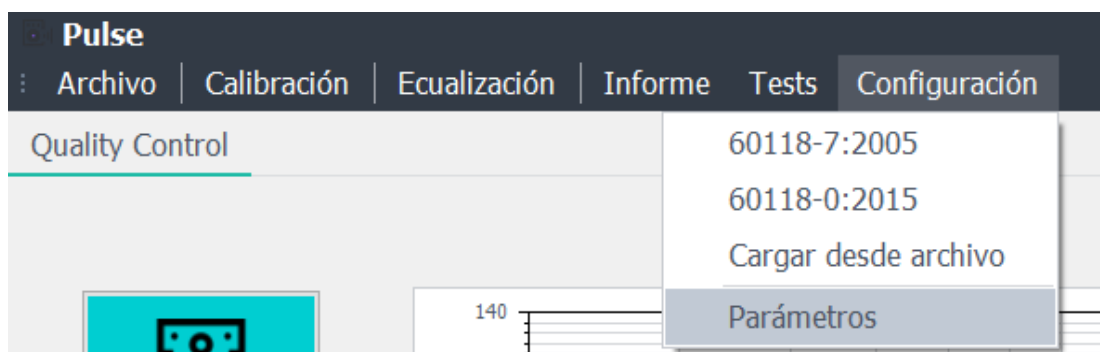
Il·lustració 24: menú *Tests* per a la selecció de tests PSA

A continuació hi ha un llistat de *Checks* que activen o desactiven les mesures a realitzar. En aquests llistat es mostren totes les mesures que es defineixen a l'aplicació per a que l'usuari en mode disseny esculli el procediment, o mesura aïllada, que vulgui duu a terme.

Així un cop es comenci a fer les mesures, es llegiran d'aquest llistat els tests i es modificarà la rutina habitual.

### 5.1.4. Menú de configuració

De manera semblant, el menú *Configuració* conté botons que declaren els paràmetres de les diferents mesures per omisió segons les normatives.



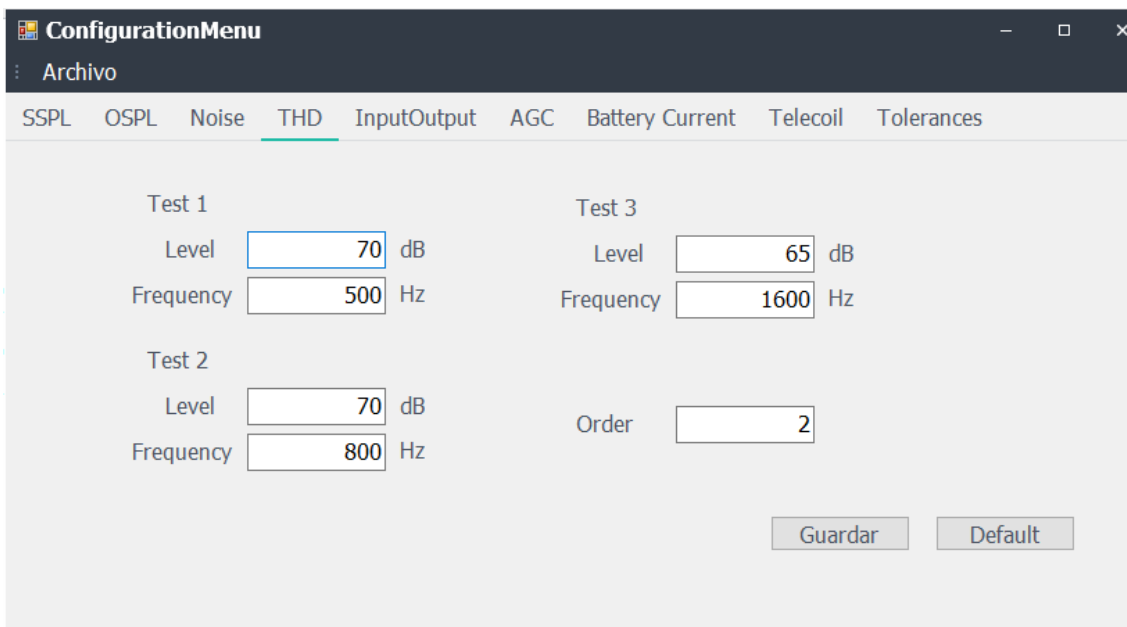
Il·lustració 25: menú Configuración per a configuració dels paràmetres PSA

Aquesta configuració possibilita canviar entre les configuracions de les normatives incloses o bé restaurar els paràmetres que s’hagin pogut modificar.

El botó *Cargar desde archivo* realitza la lectura d’un arxiu .csv que conté paràmetres definits, i els càrrega a la configuració. Aquests arxius es poden realitzar al menú *ConfigurationMenu*.

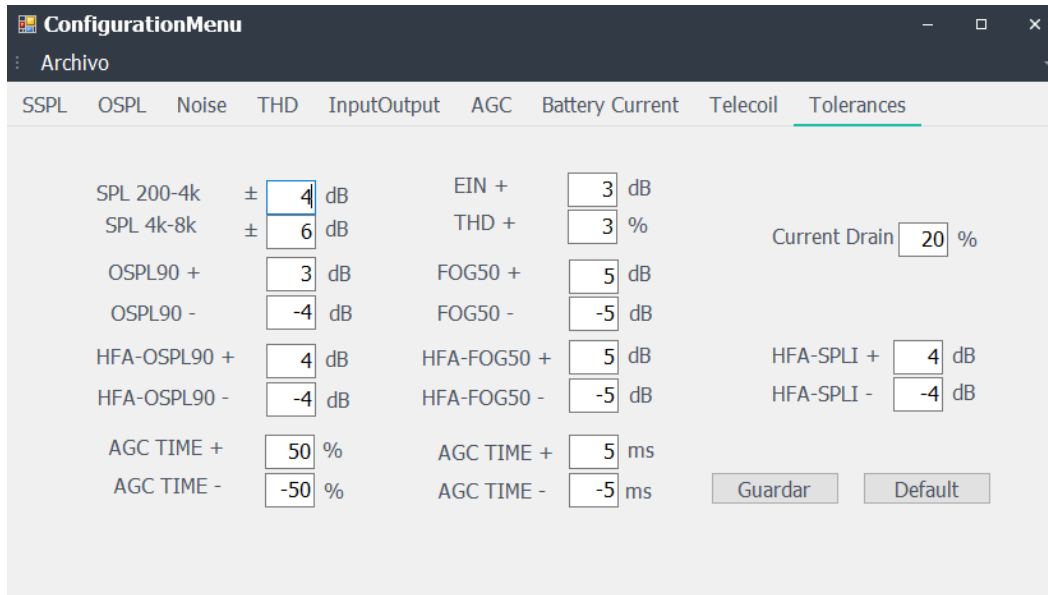
Amb el botó *Parámetros* s’obre el *form ConfigurationMenu* que permet gestionar els paràmetres individualment. Dins d’aquest menú hi ha pestanyes, on cada pestanya pertany als paràmetres modificables de cada mesura. Es mostren només les pestanyes de les mesures actives, és a dir, de les seleccionades al menú de *Test*.

Mitjançant *Checks* i caixes de text, prèviament carregades amb els actuals paràmetres, es modifiquen a voluntat els paràmetres. Per exemple, per al test de distorsió harmònica total THD, es permet modificar la freqüència i el nivell a la que es realitza cada un de les tres mesures de distorsió, així com l’ordre, o nombre d’harmònics, dels tests.



Il·lustració 26: pestanya de paràmetres del THD dins de ConfigurationMenu

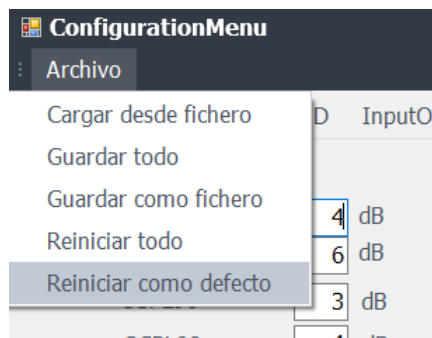
A més s’inclou una pestanya que permet modificar les toleràncies que s’apliquen a les especificacions. A diferència de les altres, aquesta sempre es mostra ja que les toleràncies són comunes per a totes les mesures de control. Això facilita assignar toleràncies diferents a les definides a la norma IEC 60118-7:2005.



Il·lustració 27: pestanya de toleràncies dins de ConfigurationMenu

El menú *Archivo* dins d'aquest *form* desplega diferents botons:

- *Cargar desde fichero*, aquest botó llança un diàleg d'apertura d'arxius per a seleccionar un arxiu de tipus .csv que contingui paràmetres, al igual que el botó que es troba al menú de configuració. Amb aquesta opció s'actualitzen els quadres de text del *ConfigurationMenu* i les variables dels paràmetres dels tests. La gestió dels fitxers de configuració també es realitza amb la classe *CSVManager* i llegint les capçaleres de les columnes del fitxer identifica les mesures que ha d'actualitzar.
- *Guardar todo*, desa en les variables dels tests les modificacions realitzades a la interfície del *ConfigurationMenu*.
- *Guardar como fichero*, llança un diàleg per desar arxius i així seleccionar la direcció on es desarà l'arxiu .csv. Així alhora que es desen les modificacions realitzades a les variables, també es genera l'arxiu que conté els paràmetres de les mesures actives per a la posterior càrrega.
- *Reiniciar todo* i *Reiniciar como defecto*, retornen, sense desar, als valors anteriors (*Reiniciar todo*) o als valors definits per defecte (*Reiniciar como defecto*).

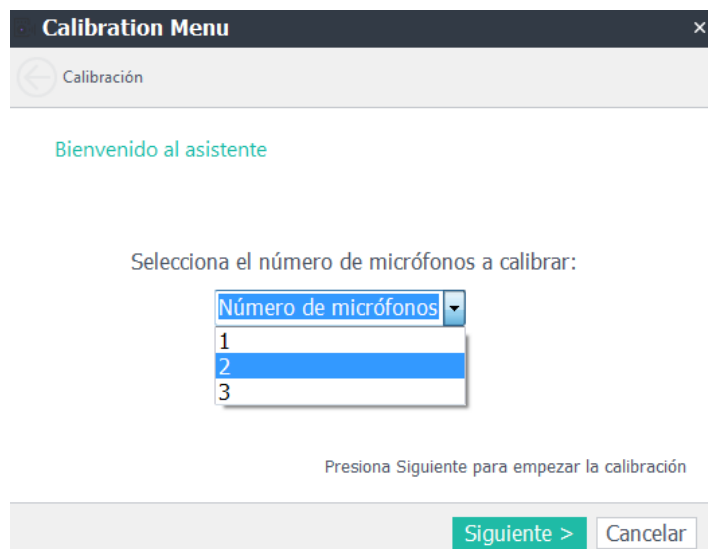


Il·lustració 28: menú *Archivo* desplegable dins de ConfigurationMenu

A cada pestanya s'ubica un botó per a restaurar per defecte, *Default*, o desar, *Guardar*, els paràmetres solament d'aquella pestanya.

### 5.1.5. Calibratge

Aquesta opció, llançada pel botó superior *Calibración*, crida al *form CalibrationWizard*, que mostra el disseny d'un assistent. La primera pàgina mostra un llistat per a que l'usuari seleccioni el nombre de micròfons per calibrar, pels casos que hi hagi també un micròfon de referència.



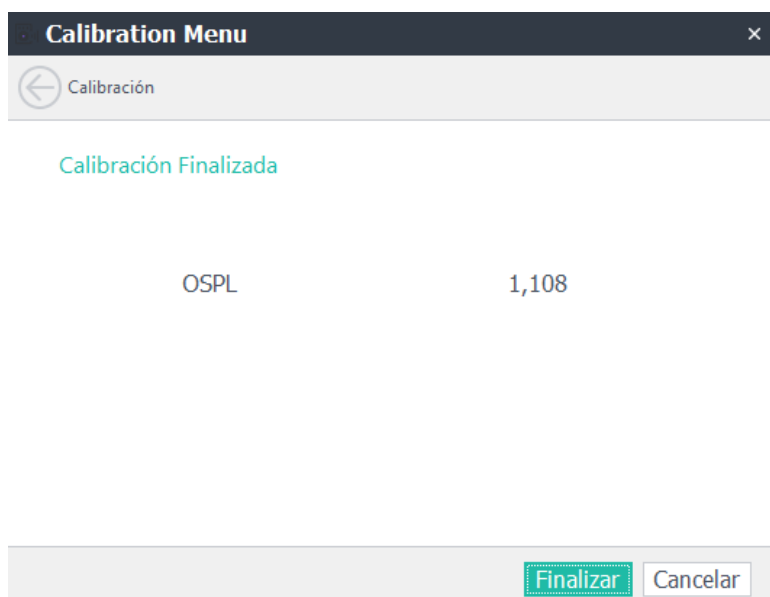
Il·lustració 29: pàgina inicial de l'assistent de calibratge *CalibrationWizard*

Per cada micròfon hi ha una pàgina que mostra el valor de l'últim calibratge fet i el del nou, l'assistent va demanant a l'usuari que efectui els passos necessaris per a seguir amb el procediment de calibratge: col·locar el pistófon al micròfon mencionat i treure'l. A cada pàgina fins que l'usuari no hagi acabat el procediment no es permetrà continuar a la següent amb el botó *Siguiente* o tornar enrere.



Il·lustració 30: pàgina pel procediment de calibratge d'un micròfon de *CalibrationWizard*

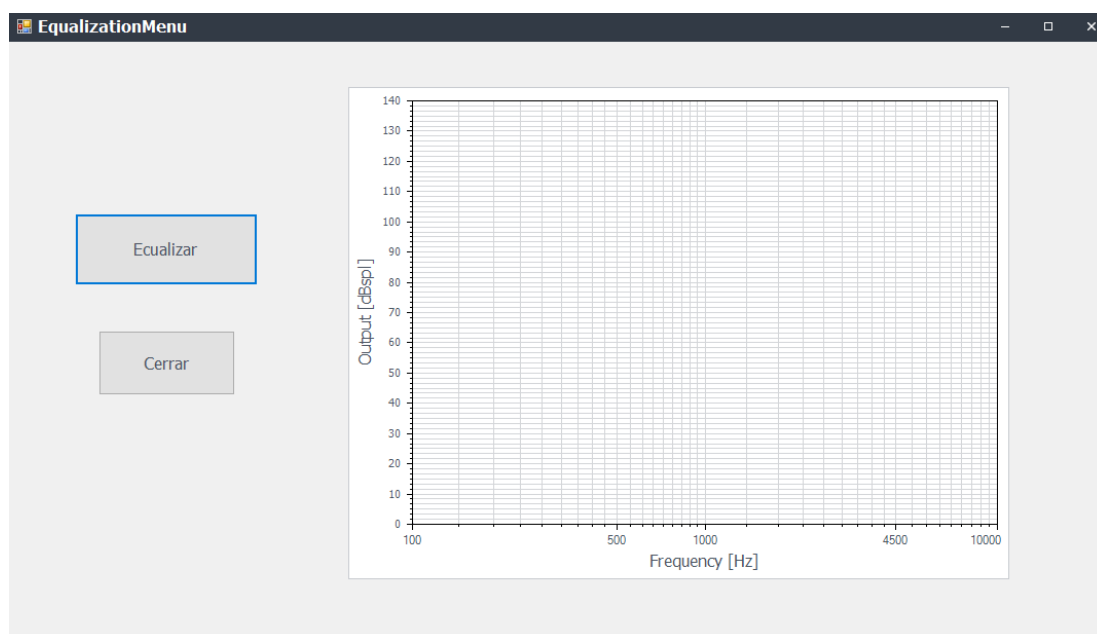
Així finalment es calibren els micròfons i es mostra a l'última pàgina el nou valor del guany que s'aplica. Amb el botó *Finalizar* es tancarà el assistent i es guardarà el calibratge. En qualsevol moment es permet pitjar el botó de *Cancelar* per tancar l'assistent.



Il·lustració 31: pàgina de finalització de l'assistent de calibratge CalibrationWizard

### 5.1.6. Equalització

Al menú *Equalization* es troben dos botons, *Generador* i *Bucle*. Ambdós criden al form *EqualizationMenu*, que conté dos botons i una gràfica, però inicialitzen procediments diferents, en un s'equalitzarà el generador i en l'altre el bucle inductiu.



Il·lustració 32: controls per a l'equalització dins del EqualizationMenu

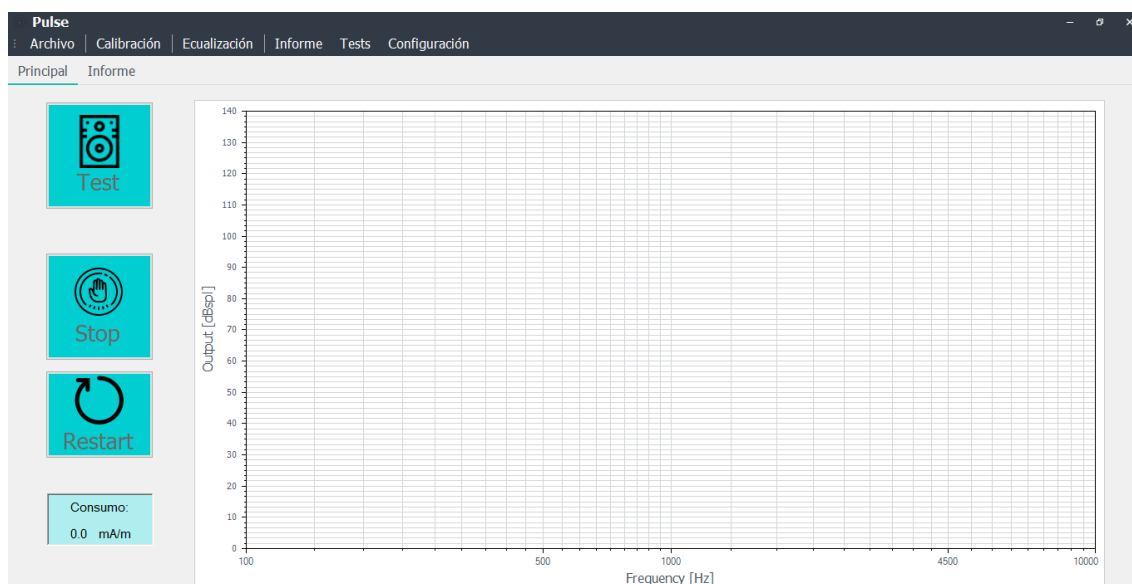
El botó *Ecuatizar* inicialitza l'equalització i el *Cerrar* permet tancar el menú. La gràfica mostrarà en temps real les respostes en freqüència equalitzades i sense equalitzar.

En el cas de l'equalització del bucle, es demana que s'introdueixi el mesurador de bucle d'inducció per al calibratge, i en el cas de l'equalització del generador es demana el nombre de micròfons, per si s'usen un o dos micròfons per a fer el mètode de substitució.

### 5.1.7. Principal

A la finestra principal s'ubica:

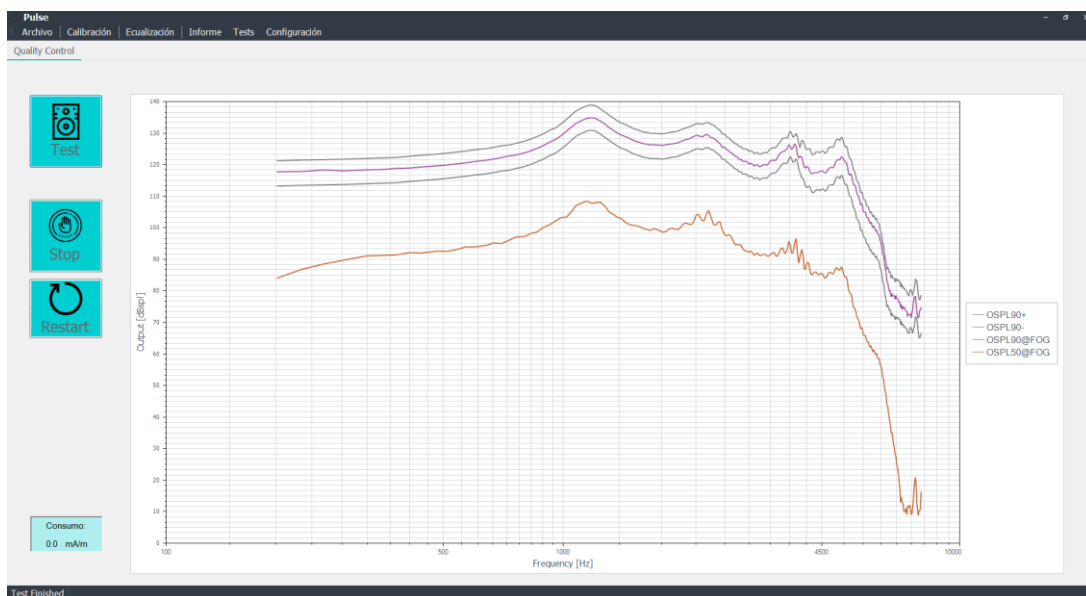
- Botó *Test*, serveix per començar el procediment de mesures marcades en la selecció de test, en el cas del mode de control de qualitat començarà les mesures de la IEC 60118-7:2005. Durant l'ajust a referència, aquest botó es converteix en un botó de *Aceptar* per enviar l'avís de que s'ha realitzar l'ajust.
- Botó *Stop*, per finalitzar el test directament.
- Botó *Restart*, torna a obrir el PULSE LabShop i el projecte, així com els paràmetres i les equalitzacions. Això es necessari per si el software PULSE Labshop dóna algun error i es para l'execució.
- Finestra de consum, requadre que, en el cas de disposar d'un multímetre que es comuniqui amb l'ordinador, mostra el consum a temps real.



*Il·lustració 33: finestra principal PSA*

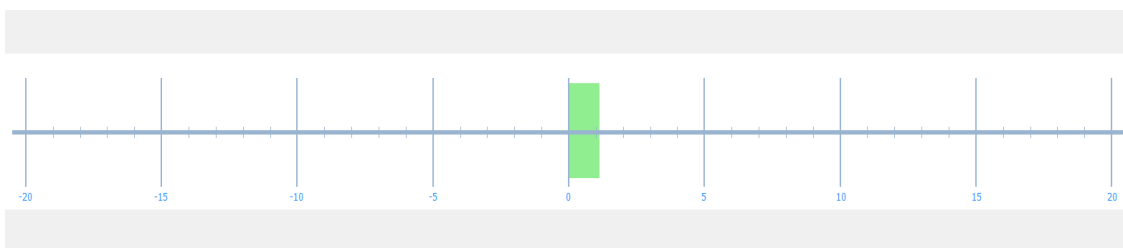
Un cop iniciat el test, amb el procediment regular, es realitzen les respostes en freqüència. A part de mostrar-se la corba que es mesura, es mostren les corbes de toleràncies.





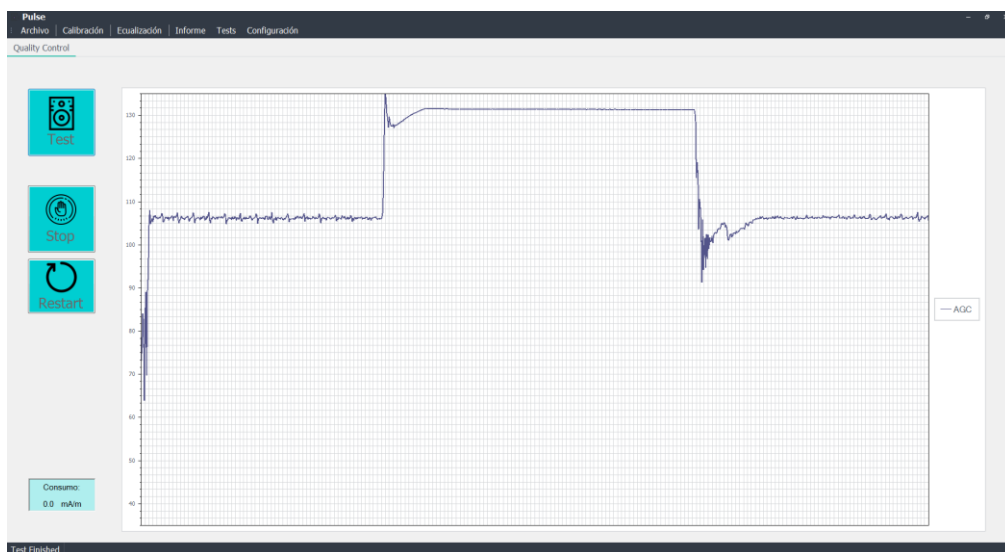
Il·lustració 34: mesura de resposta en freqüència en PSA

Per a l'ajust a referència es mostra la següent gràfica que mostra el nivell del HFA. Per un correcte ajust el nivell ha de ser 0, ja que la gràfica mostra el valor de la diferència entre el nivell a ajustar i el mesurat.



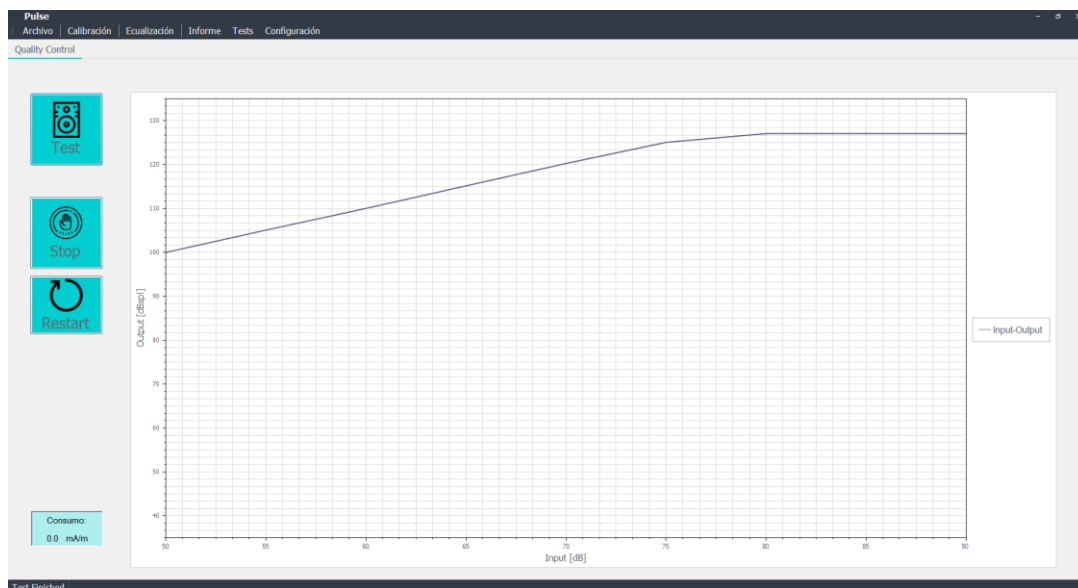
Il·lustració 35: gràfica de nivell per ajust a referència en PSA

Per la resposta del AGC es mostra la gràfica del SPL en funció del temps, en aquest model en concret l'hibrid mostra problemes en els canvis de nivells, per això té com un efecte *rebot* al canviar el nivell.



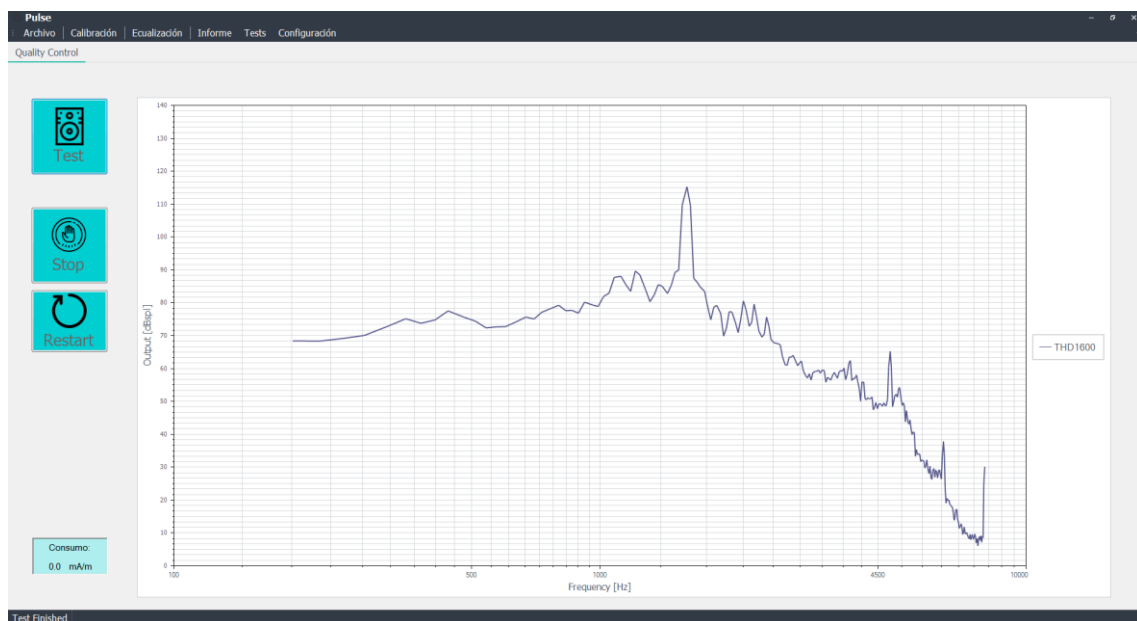
Il·lustració 36: mesura de la corba dinàmica AGC en PSA

Per a la mesura de la corba d'entrada i sortida es mostra la sortida en  $dB_{SPL}$  respecte l'entrada en  $dB_{SPL}$  que va de 50 dB a 90 dB.



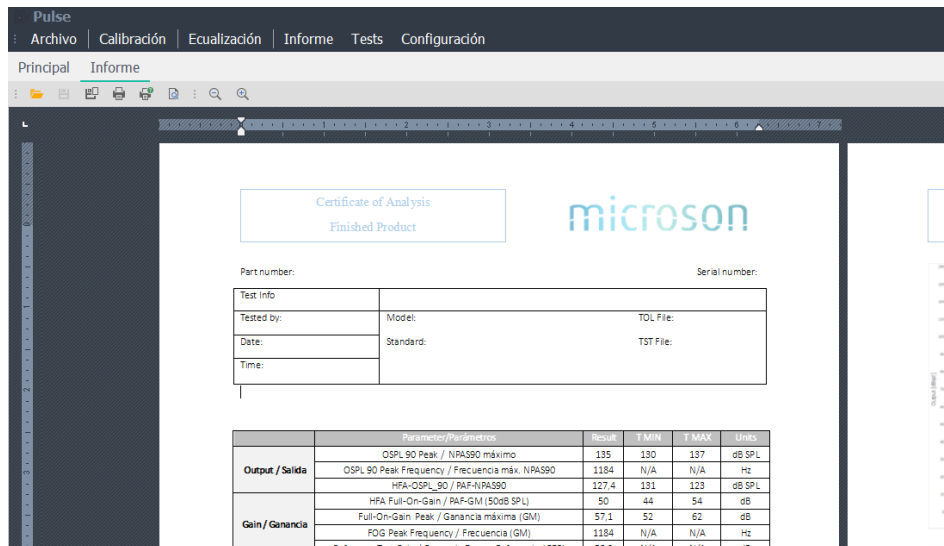
Il·lustració 37: mesura de la corba entrada-sortida en PSA

La mesura del THD normalment no es mostra. Però a l'il·lustració es pot comprobar que mesura la corba sencera emetent només un sinus a una freqüència donada, en aquest cas 1600 Hz, i es miren els nivell dels harmònics.



Il·lustració 38: corba per la mesura del THD a 1600Hz en PSA

Quan es finalitza un test i es genera l'informe, apareix una nova pàgina anomenada *Informe* a la finestra principal. Aquesta pàgina mostra l'informe generat i permet modificar-lo, desar-lo amb el nom imputat, obrir un altre fitxer i imprimir-lo.



Il·lustració 39: pàgina "Informe" de la finestra principal

## 5.2. Càlcul de les incerteses

Una de les coses a verificar és determinar les incerteses de mesura del sistema i comprovar que estiguin dins del permès per la IEC60118-7:2005. Com s'esmentava el calibratge i equalització del SPL en camp lliure ha de complir  $\pm 1$  dB dins del rang de freqüències de 200 Hz a 4 kHz i  $\pm 1.5$  dB de 5 kHz a 8 kHz. I el nivell d'intensitat del camp magnètic ha de complir  $\pm 1$  dB dins del rang de freqüències de 200 Hz a 8000 Hz i la distorsió harmònica total un 0.5%.

Per trobar la incertesa de repetibilitat o tipus A ( $u_A$ ) es realitzen 10 mesures, escombrats amb freqüència amb banda ampla (definita a l'apartat anterior), col·locant el micròfon / mesurador de camp magnètic al centre de la caixa i es calcula la desviació estàndard. A cada mesura es varia lleugerament la posició.

Com incertesa de tipus B es considera la incertesa del certificat de calibratge del calibrador acústic o pistòfon, per SPL, i del mediador de camp magnètic, per camp magnètic. Els certificats de calibratge són duts a terme per laboratoris externs i l'empresa disposa de la seva acreditació.

- Incertesa calibrador nivell sonor Brüel & Kjaer Tipus 4231:

$$U = 0.10 \text{ dB, amb } k=2 \rightarrow u = 0.05 \text{ dB}$$

- Incertesa mesurador camp magnètic Ampetronic CMR3:

$$U = 0.25 \text{ dB, amb } k=2 \rightarrow u = 0.13 \text{ dB}$$

La incertesa combinada,  $u_c$ , es calcula a partir de la suma quadràtica de les incerteses de tipus A i B. La incertesa expandida  $U$ , és la incertesa combinada pel factor de cobertura  $k$ , que segons marca la normativa és dos, per obtenir un nivell de confiança del 95.45%. És la que es compararà amb el valor màxim permès.

Per a la mesura de THD es considera com a component addicional per a al càlcul de la incertesa expandida, l'error obtingut respecte 0, el valor ideal.

La incertesa de la freqüència no és mesurable, ja que no es disposa d'un dispositiu per a calibrar la freqüència del sistema.

#### 5.2.1. Nivell de pressió acústica de sortida per una entrada de 60 dB

Magnitud mesurada	$u_A$	$u_{\text{calibrador}}$	$u_c$ $\sqrt{(u_A^2 + u_{\text{calibrador}}^2)}$	$U = k \cdot u_c$	$U_{\text{màx.}}^{\text{permesa}}$
Nivell de pressió acústica de 200 Hz a 4 000 Hz	0'21	0'05	0'21	0'42	1'0 dB
Nivell de pressió acústica major de 4 000 Hz (fins 10 kHz)	0'48	0'05	0'49	0,97	1'5 dB

#### 5.2.2. Nivell de pressió de sortida per una intensitat del camp magnètic d'entrada de 31'6 mA/m

Magnitud mesurada	$u_A$	$u_{\text{calibrador}}$	$u_c$ $\sqrt{(u_A^2 + u_{\text{med.CampMagnètic}}^2)}$	$U = k \cdot u_c$	$U_{\text{màx.}}^{\text{permesa}}$
Nivell de intensitat del campo magnètic (entre 200 i 8k Hz)	0'10	0'13	0'16	0'33	1'0 dB

#### 5.2.3. Mesura de la THD

Magnitud mesurada	$u_A$	Mitjana (error respecte a 0 ideal)	$U = k \cdot u_A + \text{error}$	$U_{\text{màx.}}^{\text{permesa}}$
Distorsió harmònica total	0'05	0'35	0'45	0'5 %

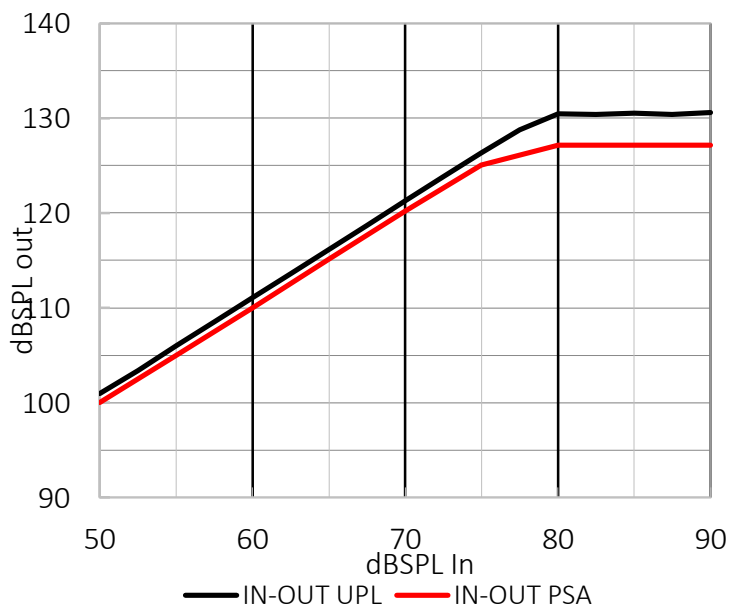
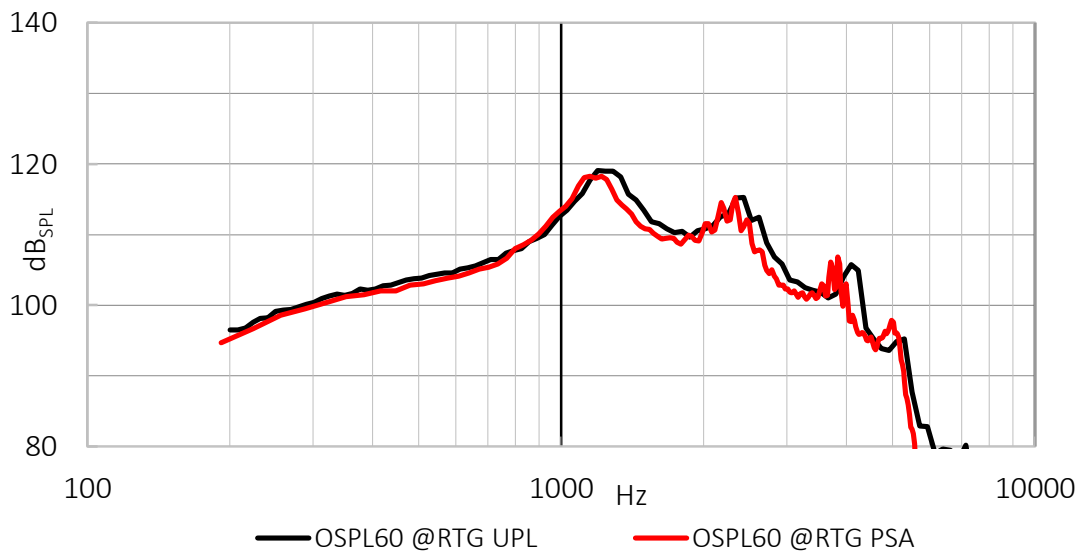
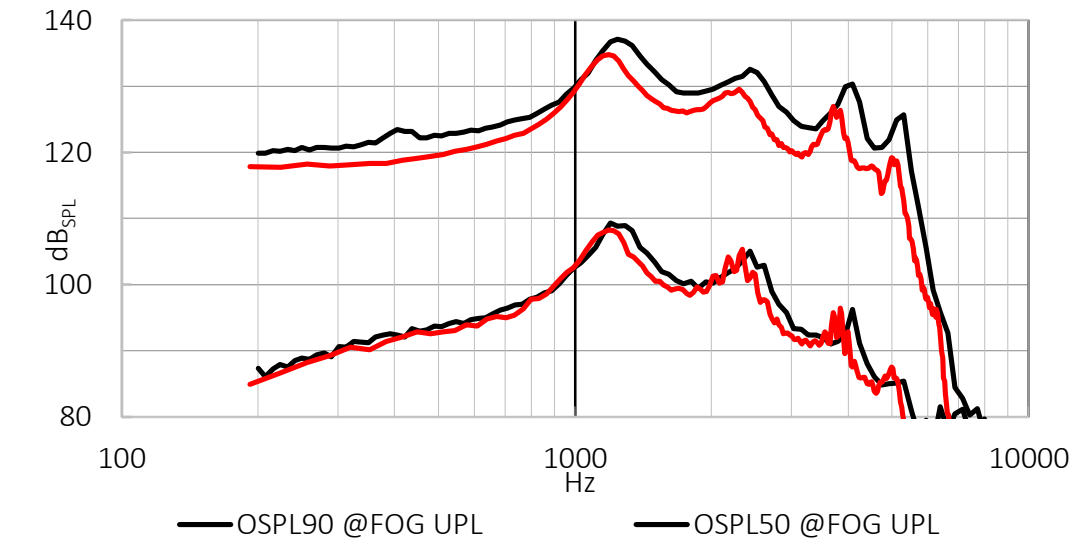
Al complir amb les incerteses i tenint en compte tota la configuració de l'entorn d'assaig, es compleixen els requisits i les condicions de la IEC 60118-7:2005 en quan a la caixa i l'equip d'assaig.

### 5.3. Verificació de les mesures

A continuació es mostren els resultats d'una rutina de test segons, IEC 60118-7:2005, per a l'audiòfon Microson m2 BTE ZERO amb número de sèrie 1836612, per a validar les mesures es comparen amb la mesura del mateix audiòfon en l'actual analitzador UPL.

*Taula 6: comparativa de mesures entre UPL i PSA per al model m2 BTE ZERO*

Mesura [unitats]	PSA	UPL
OSPL 90 Peak / NPAS90 màxim [dB <sub>SPL</sub> ]	134'8	137'3
OSPL 90 Peak Frequency / Freqüència màx. NPAS90 [Hz]	1184	1242
HFA-OSPL_90 / PAF-NPAS90 [dB <sub>SPL</sub> ]	127'4	130'4
HFA Full-On-Gain / PAF-GM (50dB SPL) [dB]	51'2	51'0
Full-On-Gain Peak / Guany màxim (GM) [dB]	58'4	59'1
FOG Peak Frequency / Freqüència (GM) [Hz]	1152	1196
Reference Test Gain / Ganancia Ensayo Referencia (GER) [dB]	51'4	51'3
Equivalent Input Noise / <b>Soroll</b> d'entrada equivalent [dB <sub>SPL</sub> ]	23'9	22'7
Attack Time / <b>Temps</b> de resposta [ms]	1	1
Release Time / <b>Temps</b> de caiguda [ms]	49'4	50'0
HFA-SPLI / PAF-NPAI @ 31.6 mA/m [dB <sub>SPL</sub> ]	110'0	110'1
THD bobina 500 Hz @ 100mA/m [%]	0'8	6'4
THD bobina 800 Hz @ 100mA/m [%]	0'8	2'6
THD bobina 1600 Hz @ 100mA/m [%]	0'7	0'7
THD 500 Hz @ 70 dB SPL [%]	0'7	1'3
THD 800 Hz @ 70 dB SPL [%]	0'7	0'9
THD 1600 Hz @ 65 dB SPL [%]	0'6	0'6
Current Drain / <b>Corrent</b> de bateria [mA]	1'52	1'51



Il·lustració 40: comparació corbes mesures UPL vs PSA

Les principals desviacions que es contemplen a la Il·lustració 40 i a la Taula 6 són en els nivells màxims de pressió, on s'identifica una diferència al voltant de 3 dB, també es troba un petit desplaçament en freqüència. Aquestes desviacions poden ser produïdes per l'ús d'un micròfon de mesura i un acoblador diferents, o incús pel tipus d'analitzador, banda estreta o banda ampla.

Tot i així es pot contemplar una dinàmica de les corbes concordant i uns valors quasi al mateix nivell per ambdós casos.

Els nivells de distorsió concorden excepte per les primeres freqüències en bobina.

El temps que triga el test actualment, al voltant d'un minut, és superior al actual procediment, que triga uns 30 segons.

### 5.4. Pressupost

El cost del projecte per a l'empresa només ha suposat el total de despeses variables corresponents al salari, el pressupost de tot el material és una aproximació del cost de realitzar aquest mateix entorn per una entitat que no disposi d'aquest equipament, ja que l'empresa ja el posseïa.

Hi ha aparells que ja no es comercialitzen, i d'altres que les empreses es reserven la informació per possibles compradors. Tot i així, molts dels preus són extrets de comercials de la pròpia marca del equipament.

<b>Despeses fixes</b>		<b>Cantitat [unt]</b>	<b>Total</b>
Material Entorn	B&K Module Generator Type 3160-A-042	22.000,00 €	1   22.000,00 €
	B&K Power Amplifier Type 2706	950,00 €	1   950,00 €
	HiPRO 2		1   0,00 €
	Ampetronic ILD 100 (ILD1 14DC) Loop Driver	248,00 €	1   248,00 €
	B&K Anechoic Test Box Type 4232	2.600,00 €	1   2.600,00 €
	Generador Agilent U8001A	400,00 €	1   400,00 €
	Multímetre Keysight 34401A	1.252,00 €	1   1.252,00 €
	Micròfons electret Affinity	100,00 €	2   200,00 €
	Mesurador de camp magnètic Ampetronix CMR3	100,00 €	1   100,00 €
	Calibrador acústic B&K Type 4231	250,00 €	1   250,00 €
<b>Despeses variables</b>		<b>Cantitat [dies]</b>	<b>Total</b>
Personal	Salari becari enginyer tècnic de telecomunicacions	64,00 €	60   3.840,00 €
		<b>Despeses fixes</b>	<b>28.000,00 €</b>
		<b>Despeses variables</b>	<b>3.840,00 €</b>
		<b>TOTAL</b>	<b>31.840,00 €</b>

## 6. CONCLUSIONS

Com s'ha demostrat, el projecte ha assolit l'objectiu de crear un entorn funcional per a realitzar mesures. Primerament, seguint amb la normativa 60118-7:2005, es compleixen amb les condicions de generals i es duu a terme una correcta alimentació i ajust del audiòfon pel que es compleixen les condicions d'assaig. També es validen les condicions de la caixa i l'equip d'assaig, ja que les incerteses de l'equip mesurades no superen el límit establert. La següent taula recull la incertesa expandida  $U$  de cada paràmetre analitzat (amb  $k = 2$ ).

Magnitud mesurada	$U_{m\grave{a}x. \text{ permesa}}$	$U = k \cdot \sigma$
Nivell de pressió acústica de 200 Hz a 4 000 Hz	1'0 dB	0'42 dB
Nivell de pressió acústica major a 4 000 Hz	1'5 dB	0,97 dB
Nivell de intensitat del camp magnètic	1'0 dB	0'33 dB
Distorsió harmònica total	0'5 %	0'45 %

A més a més, l'aplicació creada PSA automatitza les mesures descrites a les normatives IEC 60118-7 i IEC 60118-0 com la resposta en freqüència, l'ajust a referència, el corrent de bateria, la distorsió harmònica total (THD), el nivell de soroll d'entrada equivalent (EIN), la corba de resposta AGC, la corba d'entrada-sortida i les mesures de bobina. I possibilita mostrar gràfiques en temps real.

Els processos de calibratge i equalització de l'espectre freqüencial han permès complir amb les incertituds i validar aquestes mesures i disposar d'un mètode per emmagatzemar i carregar les dades.

S'ha aplicat un sistema per a imputar toleràncies per a cada model i detectar si la mesura difereix d'aquestes toleràncies. I s'ha efectuat un ús o mode diferenciat per a personal de control de qualitat i d'I+D, proporcionant a aquest últims la capacitat de modificar els paràmetres de cada mesura i les toleràncies a aplicar-hi, executar diferents rutines i seleccionar les mesures, inclús de manera aïllada.

El pressupost es merament informatiu degut a que en aquest projecte no es buscava la viabilitat econòmica, ja que el hardware a utilitzar era un requeriment, pel que l'única conclusió que es pot extreure és que es pot obtenir material més adient, amb les funcionalitats bàsiques per a realitzar les mesures, per a l'entorn i molt més econòmic.



**Accions de millora i línies futures de treball**

Per a que l'entorn tingui una aplicació final i compleixi amb el requisit de substituir l'actual analitzador cal dur a terme més comprovacions i optimitzacions en els processos de l'aplicació per validar la seva fiabilitat.

Un dels aspectes a millorar és el del temps estàndard del procediment per poder obtenir un temps menor a l'actual.

El següent pas a partir de l'estat actual és enllaçar i comunicar el software CODA e-STUDIO per automatitzar el control de qualitat sencer i així poder implementar-ho en l'àrea de treball.

Una línia futura per assolir seria poder multiplexar l'entorn per a poder realitzar les mesures per a diversos audiòfons alhora.

En conclusió, la solució assolida compleix amb la gran part de requeriments del projecte, tot i que no s'hagin pogut complir tots, l'entorn pot ser fàcilment millorat i dur a terme les seves aplicacions.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Microson, “Sobre Nosotros: Nuestra Compañía 2011,” 2011. [Online]. Available: <http://www.microson.es/Profesionales/SobreNosotros/NuestraCompañía.aspx>. [Accessed: 14-Jun-2018].
- [2] Gaes, “Fundación GAES Solidaria,” 2018. [Online]. Available: <https://www.gaes.es/fundacion-gaes-solidaria>. [Accessed: 15-Jun-2018].
- [3] S.-C. FDA; Peng, “Hearing Aids: The Basic Information You Need to Know,” *FDA BASICS WEBINAR*, 2012. [Online]. Available: [www.fda.gov](http://www.fda.gov). [Accessed: 29-Apr-2019].
- [4] NIDCD, “Hearing Aids,” 2017. [Online]. Available: <https://www.nidcd.nih.gov/health/hearing-aids>. [Accessed: 15-Apr-2019].
- [5] Gaes, “Inducción magnética y Bobina telefónica.” [Online]. Available: <https://www.gaes.es/viviendoelsonido/foros/post/1662/induccion-magnetica-y-bobina-telefonica>. [Accessed: 03-Jun-2019].
- [6] R. Keim, “Understanding Automatic Gain Control,” *All About Circuits*, 2016. .
- [7] M. Abad, Marta; Laboria, Rosa; Tomàs, *Riscos Físics Ambientals*. 2008.
- [8] AENOR, “IEC 60118-0:2015: Medición de las características de funcionamiento de los audífonos,” *Norma Int.*, 2015.
- [9] AENOR, “IEC 60118-7:2005: Medida de las características funcionales de los audífonos para garantizar la calidad en producción, el suministro i la entrega,” *Norma Int.*, 2005.
- [10] Microson, “m2 mRIC ZERO,” *Datasheet*, 2018. [Online]. Available: <https://microsoncs.gaes.es/WebMicrosonDownloads/Files/DS-0021-002-ES-RevA.pdf>. [Accessed: 21-May-2019].
- [11] Microson, “m4 BTE Rev C,” *Datasheet*, 2015. [Online]. Available: <https://microsoncs.gaes.es/WebMicrosonDownloads/Files/DS-0043-001-ES-RevE.pdf>. [Accessed: 21-May-2019].
- [12] Brüel & Kjaer, “LAN-XI Data Acquisition Hardware,” *Product Data*, 2018. [Online]. Available: <https://www.bksv.com/-/media/literature/Product-Data/bp2215.ashx>. [Accessed: 14-May-2019].
- [13] Agilent, “Agilent U8001A/U8002A Single Output DC Power Supplies.” Agilent Technologies, Malaysia, p. 48, 2013.
- [14] GN Otometrics, “Hi-Pro 2,” *Natus*, 2019. [Online]. Available: <https://otometrics.natus.com/products-services/hi-pro-2>. [Accessed: 30-Apr-2019].
- [15] Electrónica Majadahonda, “Electrónica y más,” *Conectores*. [Online]. Available: <https://electronicaymas.com/>. [Accessed: 29-Apr-2019].

# TAULA D'IL·LUSTRACIONS

- IL·LUSTRACIÓ 1: ORGANIGRAMA ORGANITZATIU GAES
- IL·LUSTRACIÓ 2: TIPUS D'AUDIÒFONS
- IL·LUSTRACIÓ 3: DISPOSICIÓ DE L'ASSAIG PER UN AUDIÒFON BTE
- IL·LUSTRACIÓ 4: EXEMPLE DE RESPOSTA EN FREQUÈNCIA OSPL90 I OSPL50 A FOG (MODEL: M2 MRIC ZERO M) [10]
- IL·LUSTRACIÓ 5: EXEMPLE DE RESPOSTA EN FREQUÈNCIA BÀSICA OSPL90 I OSPL50 A RTS (MODEL: M2 MRIC ZERO M) [10]
- IL·LUSTRACIÓ 6: EXEMPLE DE CORBA DE SENSIBILITAT DE LA BOBINA TELEFÒNICA A RTS A 31'6 MA/M (MODEL: M4 BTE) [11]
- IL·LUSTRACIÓ 7: EXEMPLE DE CORBA INPUT-OUTPUT A RTS A 2KHZ (MODEL: M2 MRIC ZERO M) [10]
- IL·LUSTRACIÓ 8: BRÜEL&KJAER TYPE 3160-A-042 [12]
- IL·LUSTRACIÓ 9: CAIXA ANECOICA
- IL·LUSTRACIÓ 10: KEYSIGHT 34401A (A DALT) I AGILENT U8001A (A BAIX)
- IL·LUSTRACIÓ 11: AMPLIFICADOR DE POTÈNCIA PER ALIMENTAR L'ALTAVEU
- IL·LUSTRACIÓ 12: AMPLIFICADOR DE CORRENT AMPETRONIC ILD 14DC
- IL·LUSTRACIÓ 13: ENTRADES DE LA CAIXA ANECOICA
- IL·LUSTRACIÓ 14: CONNECTORS MINIDIN6, BNC, MINIJACK 3.5MM PER ORDRE [15]
- IL·LUSTRACIÓ 15: CONNECTOR CS44 (ESQUERRA) I FLEX STRIP CS54 (DRETA) [6]
- IL·LUSTRACIÓ 16: ESQUEMA CONNEXIONS PER ALIMENTACIÓ I PROGRAMACIÓ
- IL·LUSTRACIÓ 17: CIRCUIT I ESQUEMA DE LA PCB
- IL·LUSTRACIÓ 18: MUNTATGE DE LA PCB
- IL·LUSTRACIÓ 19: MUNTATGE DEL HARDWARE COMPLERT DE L'ENTORN
- IL·LUSTRACIÓ 20: JERARQUIA I ESQUEMA DE COMUNICACIONS
- IL·LUSTRACIÓ 21: MICRÒFON CONNECTAT AL PISTÒFON PER AL CALIBRATGE
- IL·LUSTRACIÓ 22: MESURADOR DE BUCLE INDUCTIU CMR3 POSICIONAT PER L'EQUALITZACIÓ
- IL·LUSTRACIÓ 23: MENÚ ARCHIVO PSA
- IL·LUSTRACIÓ 24: MENÚ TESTS PER A LA SELECCIÓ DE TESTS PSA
- IL·LUSTRACIÓ 25: MENÚ CONFIGURACIÓ PER A CONFIGURACIÓ DELS PARÀMETRES PSA
- IL·LUSTRACIÓ 26: PESTANYA DE PARÀMETRES DEL THD DINS DE CONFIGURATIONMENU
- IL·LUSTRACIÓ 27: PESTANYA DE TOLERÀNCIES DINS DE CONFIGURATIONMENU
- IL·LUSTRACIÓ 28: MENÚ ARCHIVO DESPLEGABLE DINS DE CONFIGURATIONMENU
- IL·LUSTRACIÓ 29: PÀGINA INICIAL DE L'ASSISTENT DE CALIBRATGE CALIBRATIONWIZARD
- IL·LUSTRACIÓ 30: PÀGINA PEL PROCEDIMENT DE CALIBRATGE D'UN MICRÒFON DE CALIBRATIONWIZARD
- IL·LUSTRACIÓ 31: PÀGINA DE FINALITZACIÓ DE L'ASSISTENT DE CALIBRATGE CALIBRATIONWIZARD
- IL·LUSTRACIÓ 32: CONTROLS PER A L'EQUALITZACIÓ DINS DEL EQUALIZATIONMENU
- IL·LUSTRACIÓ 33: FINESTRA PRINCIPAL PSA
- IL·LUSTRACIÓ 34: MESURA DE RESPOSTA EN FREQUÈNCIA EN PSA
- IL·LUSTRACIÓ 35: GRÀFICA DE NIVELL PER AJUST A REFERÈNCIA EN PSA
- IL·LUSTRACIÓ 36: MESURA DE LA CORBA DINÀMICA AGC EN PSA
- IL·LUSTRACIÓ 37: MESURA DE LA CORBA ENTRADA-SORTIDA EN PSA
- IL·LUSTRACIÓ 38: CORBA PER LA MESURA DEL THD A 1600HZ EN PSA
- IL·LUSTRACIÓ 39: PÀGINA "INFORME" DE LA FINESTRA PRINCIPAL
- IL·LUSTRACIÓ 40: COMPARACIÓ CORBES MESURES UPL vs PSA

## LLISTAT DE TAULES

TAULA 1: RESISTÈNCIES I VOLTATGES PER A SIMULADORS DE PILA NORMATIVA 60118-0:2015 .....	22
TAULA 2: FREQUÈNCIES D'ASSAIG DE DISTORSIÓ I NIVELLS DE PRESSIÓ ACÚSTICA D'ENTRADA PER A IEC 60118-0:2015 .....	24
TAULA 3: TOLERÀNCIES DE LES MESURES DE LA NORMATIVA IEC 60118-7:2005.....	27
TAULA 4: VALORS D'UMÀX (INCERTITUD) PER MESURES BÀSIQUES DE LA NORMATIVA IEC 60118-7:2005 .....	28
TAULA 5: LLISTAT DEL CABLEJAT DE L'ENTORN .....	36
TAULA 6: COMPARATIVA DE MESURES ENTRE UPL I PSA PER AL MODEL M2 BTE ZERO .....	61

## ANNEX A – CONJUNT DE FUNCIONS DE MESURA

### ➤ *Funció 1: loadProject*

```

Function loadProject(projectName As String) As Boolean
    ' Obrir el projecte i assignar les variables
    Try
        frmMain.write("Opening Project")
        ' Obrir el projecte
        myProject = myPulse.OpenProject(projectName, True, False)
        'False -> no obrir el quadre d'elecció d'arxiu

        WaitNotify(20, projectOpened)
        If Not projectOpened Then
            frmMain.write("Timeout in projectOpened")
        Else
            frmMain.write("Project Loaded")
        End If

        ' Assignació d'objectes
        myMeasurementOrganiser = myProject.MeasurementOrganiser
        myFunctionOrganiser = myProject.FunctionOrganiser
        myTemplate = myMeasurementOrganiser.Templates("Working")
        mySetup = myTemplate.Setup
        myFrontEnd = myTemplate.Frontend
        myConfigurationOrganiser = myProject.ConfigurationOrganiser
        OverallAnalyzer = mySetup.Instruments("Overall Analyzer")
        FFTAnalyzer = mySetup.Instruments("FFT Analyzer")
        myGenerator = mySetup.Instruments("Generator")
        Generator = myGenerator.Signals("Generator")
        loopGenerator = myGenerator.Signals("Loop")
        FunctionGroup = myFunctionOrganiser.FunctionGroups
        Return True
    Catch ex As Exception
        frmMain.write("Error in OpenProject")
        Excepcio.ShowError(ex)
        Return False
    End Try
End Function

```

### ➤ *Funció 2: calibrationProcessPag*

```

Private Sub calibrationProcessPag1()
    Try

        While calibrationState.Equals("SEARCHING") ' Buscant un micròfon
            System.Threading.Thread.Sleep(100)
            System.Windows.Forms.Application.DoEvents()
        End While

        statusLBLpag1.Text = "Calibrando."

        While calibrationState.Equals("MEASURING") ' Mesurant/calibrant el
nou guany
            System.Threading.Thread.Sleep(100)
            System.Windows.Forms.Application.DoEvents()
        End While

        WaitStateNotify(20, calibrationState, "CALIBRATED") ' Procés de
mesura finalitzat = micròfon calibrat

```

```

ChannelProperties = signal.ChannelProperties
' Escritura a la interfície dels nous valors
pag1newGain.Text = Math.Round(ChannelProperties.InputGainAdjust,
3).ToString ' Quan es calibra es modifica el valor InputGainAdjust
statusLBLpag1.Text = "Micrófono calibrado. Quita el pistófono para
seguir adelante."

While Not calibrationState.Equals("SEARCHING")
    System.Threading.Thread.Sleep(100)
System.Windows.Forms.Application.DoEvents()
End While

mainWizardControl.SelectedPage.AllowNext = True

Catch ex As Exception
    Excepcio.ShowError(ex)
End Try

End Sub

```

### ➤ *Funció 3: broadBFFTGenEqualization*

```

Sub broadBFFTGenEqualization(numMicros As Integer, genFreq As Double,
genlevelCalibration As Integer, serieName As String, graph As Graph)
    Try
        While True
            Dim genGain As Double = 1
            Dim genSignalLevel As Double = 0.2
            Dim genTrans As Transducer = Generator.TransducerProperties
            Dim genChannel As Channel = Generator.ChannelProperties
            Dim dif As Double()
            Dim mode As String
            If numMicros = 2 Then
                mode = "FFTREF"
            Else
                mode = "FFTOSPL"
            End If
            genChannel.InputGainAdjust = genGain
            Generator.SignalLevel1 = genSignalLevel
            genEqSignalLevel = 0.2

            ' Disable last equalization
            genTrans.ResponseEqualisation = False

            ' Normal generator equalization
            ' Initialize
            setGraph("Response", graph, True)
            setPulseEqualization()
            ' Measure
            fftMeasure(graph, "Swept", genlevelCalibration, mode, False)
            ReDim eqGenArray(FreqArr.Length - 1)
            For i As Integer = 0 To FreqArr.Length - 1
                eqGenArray(i) = DBtoP(ValueArr(i)) ' luego el vector
                eqGenArray se multiplicará por el valor del generador para obtener para cada
                frecuencia el valor en pascales del nivel del generador para generar un nivel X
                dB estipulado por la medida
            Next

            ' User defined equalization
            ' Initialize
            setGraph("Response", graph, True)

```

```

setFFTMeasure()
' Measure
fftMeasure(graph, serieName + " Level", genlevelCalibration,
mode, False)
For i As Integer = 0 To FreqArr.Length - 1
    If FreqArr(i) = genFreq Then ' ecualizar generador a 2000 Hz
        genEqGain = DBtoP(genlevelCalibration) /
DBtoP(ValueArr(i)) ' ganancia en Pa
        genEqSignalLevel = DBtoP(genlevelCalibration) * genEqGain
' la que tendria que ser la entrada en V
    Exit For
End If
Next

' Equalise signal level at 2kHz
genChannel = Generator.ChannelProperties
genChannel.InputGainAdjust = genEqGain
Generator.SignalLevel1 = genEqSignalLevel

' Check correct generator equalization -> esta medida ya servirá
para calcular el vector ecualización
Dim refArray = fftMeasure(graph, serieName + " Level Check",
genlevelCalibration, mode, False)

ReDim dif(0)
For i As Integer = 0 To FreqArr.Length - 1
    If FreqArr(i) = genFreq Then
        dif(i) = Math.Abs(refArray(i) - genlevelCalibration)
    End If
Next

If dif.Max < 1 Then
    statusTxt.Text = "Correct Level Equalization"
Else
    statusTxt.Text = "Equalization with desviations"
    If MsgBox("Equalization with desviations. Repeat the
measure?", vbCritical + vbYesNo) = vbYes Then
        Continue While
    End If
End If

' Saving the eq
saveGenEq()

' Check correct equalization
Dim genCheckLevel As Double = genlevelCalibration
Generator.SignalLevel1 = calcGenLevelPa(genCheckLevel)
genTrans = Generator.TransducerProperties
equaliseFFT(refArray, genTrans)
Dim refCheckArray = fftMeasure(graph, serieName + " Generator
Check", genCheckLevel, mode, False)
ReDim dif(ValueArr.Length - 1)

For i As Integer = 0 To ValueArr.Length - 1
    dif(i) = Math.Abs(refCheckArray(i) - genCheckLevel)
Next

If dif.Max < 1.5 Then
    statusTxt.Text = "Correct equalization"
' Saving the eq
saveFFTEq(FreqArr, refArray)
Exit While

```

```

Else
    statusTxt.Text = "Equalization with desviations"
    If MsgBox("Maximum deviation: " & dif.Max & " Equalization
with deviations. Repeat the measure?", vbCritical + vbYesNo) = vbYes Then
        Continue While
    Else
        ' Saving the eq
        saveFFTEq(FreqArr, refArray)
        Exit While
    End If
End If
End While
Catch ex As Exception
    Excepcio.ShowError(ex)
End Try
End Sub

```

➤ **Funció 4: setFFTMeasure a Test.vb**

```

Public Sub setFFTMeasure()
    Try
        OverallAnalyzer.Enabled = False
        FFTAnalyzer.Enabled = True
        FFTAnalyzer.Span = 12800
        FFTAnalyzer.TimeAveraging = False
        FFTAnalyzer.AveragingMode = "Peak"
        FFTAnalyzer.Lines = 400
        FFTAnalyzer.FixedAverageParameter = "Time"
        FFTAnalyzer.AverageTime = 4
        FFTAnalyzer.StartTrigger = "GenStart"
        Generator.GeneratorActive = True
        loopGenerator.GeneratorActive = False
        Generator.GeneratorWaveform = "User Defined"
        Generator.FilePath = Sweep200to8000WavPath
    Catch ex As Exception
        Excepcio.ShowError(ex)
    End Try
End Sub

```

➤ **Funció 5: setEINSettings a Test.vb**

```

Private Sub setEINSettings()
    Try
        FFTAnalyzer.Enabled = False
        OverallAnalyzer.Enabled = True
        OverallAnalyzer.LinearAveragingTime = 1
        OverallAnalyzer.MeasureLin("MICs Group", True)
        OverallAnalyzer.MeasureExp("MICs Group", False)
        Generator.SignalLevel1 = 0
    Catch ex As Exception
        Excepcio.ShowError(ex)
    End Try
End Sub

```

➤ **Funció 6: setAGCSettings a Test.vb**

```

Private Sub setAGCSettings(freq As Double, supLeveldB As Double)
    Dim time = 2
    FFTAnalyzer.Enabled = True

```



```

FFTAnalyzer.Envelope = True
OverallAnalyzer.Enabled = False
' offset que se li aplica: -15 dB respecte l'àudio d'escombrat
Generator.SignalLevel1 = calcGenLevelPa(supLeveldB - 13)
Generator.GeneratorWaveform = "User Defined"
Generator.FilePath = AGCWavPath ' sempre obre un wav de 2 segons
If time = 1 Then
    FFTAnalyzer.Lines = 400
    FFTAnalyzer.Span = 400
ElseIf time = 2 Then
    FFTAnalyzer.Lines = 800
    FFTAnalyzer.Span = 400
End If
FFTAnalyzer.AnalysisMode = "Envelope"
FFTAnalyzer.CenterFrequency = freq
FFTAnalyzer.AveragingMode = "Peak"
FFTAnalyzer.Averages = 1
' El trigger està definit al projecte
FFTAnalyzer.StartTrigger = "GenStart"

End Sub

```

➤ *Funció 7: setReferenceSettings a Test.vb*

```

Private Sub setReferenceSettings()
    Try
        FFTAnalyzer.Enabled = True
        FFTAnalyzer.AnalysisMode = "Baseband"
        FFTAnalyzer.AveragingMode = "Exponential"
        FFTAnalyzer.AverageTime = 0.1
        FFTAnalyzer.Span = 12800
        FFTAnalyzer.Lines = 400
        FFTAnalyzer.FixedAverageParameter = "Average"
        FFTAnalyzer.StartTrigger = "GenStart"
        Generator.GeneratorWaveform = "User Defined"
        Generator.FilePath = RTSWavPath
        Generator.RepetitionMode = "Infinite"
        Generator.SignalLevel1 = calcGenLevelPa(60)
    Catch ex As Exception
        Excepcio.ShowError(ex)
    End Try
End Sub

```

➤ *Funció 8: setTHDSettings a Test.vb*

```

Private Sub setTHDSettings(mode As String)
    Try
        FFTAnalyzer.Enabled = True
        OverallAnalyzer.Enabled = False
        FFTAnalyzer.Lines = 400
        FFTAnalyzer.Span = 12800
        FFTAnalyzer.AnalysisMode = "Baseband"
        FFTAnalyzer.AveragingMode = "Peak"
        FFTAnalyzer.FixedAverageParameter = "Time"
        FFTAnalyzer.AverageTime = 0.5
        ' FFTAnalyzer.Averages = 298
    If mode = "TC" Then
        loopGenerator.GeneratorActive = True
        Generator.GeneratorActive = False
    End If
    End Try
End Sub

```

```

        loopGenerator.GeneratorWaveform = "Sine"
        FFTAnalyzer.StartTrigger = "LoopStart"
    Else
        Generator.GeneratorActive = True
        Generator.GeneratorWaveform = "Sine"
    End If

Catch ex As Exception
    Excepcio.ShowError(ex)

End Try

```

➤ **Funció 9: setBatteryCurrentSettings a Test.vb**

```

Public Sub setBatteryCurrentSettings(freqVector As Double(), genFrequency As
Double, genLeveldB As Double)
    Try
        FFTAnalyzer.AveragingMode = "Exponential"
        Generator.GeneratorWaveform = "Sine"
        Generator.Frequency1 = genFrequency
        For i As Integer = 0 To eqGenArray.Length - 1
            If genFrequency > (freqVector(i) - 20) And genFrequency <
(freqVector(i) + 20) Then
                Generator.SignalLevel1 = calcGenLevelPaSine(genLeveldB, i)
            Exit For
        End If
    Next
    Generator.SignalLevel1 = calcGenLevelPa(genLeveldB)
Catch ex As Exception
    Excepcio.ShowError(ex)
End Try

End Sub

```

➤ **Funció 10: setTCSettings a Test.vb**

```

Public Sub setTCSettings()
    Try
        OverallAnalyzer.Enabled = False
        FFTAnalyzer.Enabled = True
        FFTAnalyzer.Span = 12800
        FFTAnalyzer.TimeAveraging = False
        FFTAnalyzer.AveragingMode = "Peak"
        FFTAnalyzer.Lines = 400
        FFTAnalyzer.FixedAverageParameter = "Time"
        FFTAnalyzer.AverageTime = 6
        FFTAnalyzer.StartTrigger = "LoopStart"
        loopGenerator.GeneratorActive = True
        Generator.GeneratorActive = False
        Generator.GeneratorWaveform = "User Defined"
        Generator.FilePath = Sweep200to8000WavPath
        loopGenerator.SignalLevel1 = loopEqSignalLevel
        FFTAnalyzer.SelectGroups("MICs Group")
        myTemplate.ActivateTemplate()
        WaitNotify(20, templateActive)
        Dim pf As PulseFunction = FunctionGroup("Working.Input.Input.FFT
Analyzer.Autospectrum").Functions("Autospectrum(OSPL) - Input")
        pf.RequestData(True)
        ' Important perquè es pugui llegir les dades de la funció
    Catch ex As Exception
        Excepcio.ShowError(ex)
    End Try
End Sub

```

```
End Try
```

```
End Sub
```

➤ *Funció 11: setIOFFTSettings a Test.vb*

```
Sub setIOFFTSettings(freqIO As Double)
    OverallAnalyzer.Enabled = False
    FFTAnalyzer.Enabled = True
    'SSRAnalyzer.Enabled = False
    FFTAnalyzer.Span = 12800
    FFTAnalyzer.TimeAveraging = False
    FFTAnalyzer.AveragingMode = "Peak"
    FFTAnalyzer.Lines = 400
    FFTAnalyzer.FixedAverageParameter = "Time"
    FFTAnalyzer.AverageTime = 10
    FFTAnalyzer.StartTrigger = "GenStart"
    Generator.GeneratorWaveform = "Sine"
    Generator.Frequency1 = freqIO

End Sub
```

➤ *Funció 12: fftMeasure a FuncModule.vb*

```
Function fftMeasure(graph As Graph, serieName As String, genlevel As Double, mode
As String, bLoop As Boolean) As Double()
    Try
        If bLoop Then
            loopGenerator.SignalLevel1 = calcLoopLevelPa(genlevel)
        Else
            Generator.SignalLevel1 = calcGenLevelPa(genlevel)
        End If
        Dim entries
        Dim Series1 As Series = New Series(serieName, ViewType.Line)
        graph.AddSerie(Series1)

        myPulse.Start()
        WaitNotify(20, measStarted)

        entries = setFFTData(mode)
        Threading.Thread.Sleep(1000)
        While Not measStopped
            Threading.Thread.Sleep(20)
            readFFTData(entries)
            Series1.Points.Clear()
            graph.AddArray(serieName, FreqArr, ValueArr)
            ' Per mostrar modificacions en la interfície
            System.Windows.Forms.Application.DoEvents()
        End While
        Return ValueArr
    Catch ex As Exception
        Excepcio.ShowError(ex)
    Return {}
End Try

End Function
```

➤ *Funció 13: setFFTData a FuncModule.vb*

```
Function setFFTData(mode As String) As Double
```

```

Try
    ' Lectura de datos
    Select Case mode
        Case "FFTOSPL"
            ' Para test FFT coger función micro OSPL
            BKDataSet = FunctionGroup("Working.Input.Input.FFT
Analyzer.Autospectrum").Functions("Autospectrum(OSPL) - Input").FunctionData
        Case "FFTREF"
            ' Para eq FFT coger función micro REF
            BKDataSet = FunctionGroup("Working.Input.Input.FFT
Analyzer.Autospectrum").Functions("Autospectrum(Ref) - Input").FunctionData
        Case "LOOP"
            ' Para eq loop FFT coger función bobina CMR3
            BKDataSet = FunctionGroup("Working.Input.Input.FFT
Analyzer.Autospectrum").Functions("Autospectrum(TeleCoil) - Input").FunctionData
        Case Else
            frmMain.write("Error en lectura de datos: Case Select")
            Return False
    End Select

    ' Asignación de variables
    Dim Entries = BKDataSet.NumberOfXAxisEntries
    Dim freqs(Entries - 1) As Double
    BKDataSet.Frequencies(freqs)
    ReDim FreqArr(250 - 6)

    Dim j As Integer = 0
    For i As Integer = 6 To 250
        FreqArr(j) = freqs(i)
        j += 1
    Next

    Return Entries
Catch ex As Exception
    Excepcio.ShowError(ex)
Return 0
End Try

End Function

```

➤ *Funció 14: readFFTDData a FuncModule.vb*

```

Sub readFFTDData(entries As Integer)
    Try
        Dim realValues(entries - 1) As Double
        BKDataSet.RealValues(realValues)
        ReDim ValueArr(250 - 6)
        Dim j As Integer = 0
        For i = 6 To 250
            ' Per passar de presió al quadrat a dB
            ValueArr(j) = PtoDB(Sqrt(realValues(i)))
            j += 1
        Next
    Catch ex As Exception
        Excepcio.ShowError(ex)
    End Try

End Sub

```

➤ *Funció 15: readHFAforRTS a FuncModule.vb*

```

Sub readHFAforRTS(entries As Integer)
    Try

```

```

    Dim realValues(entries - 1) As Double
    BKDataSet.RealValues(realValues)
    ReDim ValueArr(2)
    ' Para pasar de presión al cuadrado a dB
    ValueArr(0) = PtoDB(Sqrt(realValues(31))) ' 31 -> 992kHz
    ValueArr(1) = PtoDB(Sqrt(realValues(50))) ' 50 -> 1.6kHz
    ValueArr(2) = PtoDB(Sqrt(realValues(78))) ' 78 -> 2.5kHz
Catch ex As Exception
    Excepcio.ShowError(ex)
End Try
End Sub

```

➤ **Funció 16: readFFT2kHz a FuncModule.vb**

```

Sub readFFT2kHz(entries As Integer)
    Try
        Dim realValues(entries - 1) As Double
        BKDataSet.RealValues(realValues)
        ReDim ValueArr(0)
        ' Para pasar de presión al cuadrado a dB
        ValueArr(0) = PtoDB(Sqrt(realValues(63))) ' 63 -> 2kHz
    Catch ex As Exception
        Excepcio.ShowError(ex)
    End Try
End Sub

```

➤ **Funció 17: readOVData a FuncModule.vb**

```

Sub readOVData(entries As Double)
    Try
        BKDataSet.RealValues(ValueArr)
        ' Para pasar de presión al cuadrado a dB
        ValueArr(0) = PtoDB(Sqrt(ValueArr(0)))
    Catch ex As Exception
        frmMain.write("Error in ReadData")
        Excepcio.ShowError(ex)
    End Try
End Sub

```

➤ **Funció 18: THDAnalysis a FuncModule.vb**

```

Function THDAnalysis(genlevel As Double, freqs As Double(), mode As String,
freqVector As Double(), serieName As String, graph As Graph) As Double()
    Try
        If mode = "TC" Then
            loopGenerator.Frequency1 = freqs(0)
            loopGenerator.SignalLevel1 = calcLoopLevelPa(genlevel)
        Else
            Generator.Frequency1 = freqs(0)
            For i As Integer = 0 To eqGenArray.Length - 1
                If freqs(0) > (freqVector(i) - 20) And freqs(0) <
(freqVector(i) + 20) Then
                    Generator.SignalLevel1 = calcGenLevelPaSine(genlevel, i)
                Exit For
            End If
        Next
    End If

```

```

' Mesura
Dim THD(freqs.Length - 1) As Double
myPulse.Start()
WaitNotify(20, measStarted)
While Not measStopped
    System.Threading.Thread.Sleep(100)
    System.Windows.Forms.Application.DoEvents()
End While

' Lectura de valors
Dim entries = setFFTData("FFTOSPL")
readFFTData(entries)
setGraph("Response", graph, True)
Dim Series1 As Series = New Series(serieName + freqs(0).ToString,
ViewType.Line)
graph.AddSerie(Series1)
graph.AddArray(serieName + freqs(0).ToString, freqVector, ValueArr)

Dim offset = 0
For i As Integer = 0 To freqs.Length - 1
    For j As Integer = offset To ValueArr.Length - 1
        If freqs(i) > (freqVector(j) - 20) And freqs(i) <
(freqVector(j) + 20) Then
            THD(i) = ValueArr(j)
            offset = j
            Exit For
        End If
    Next
Next

Return THD
Catch ex As Exception
    Excepcio.ShowError(ex)
Return {0}
End Try

End Function

```

➤ *Funció 19: Analysis a Test.vb*

```

Function Analysis(genLevel As Double) As Boolean
    Try
        Dim count As Integer = 0
        Generator.SignalLevel1 = genLevel

        myPulse.Start()
        WaitNotify(10, measStarted)

        frmMain.write("Measuring...")

        While Not measStopped
            System.Threading.Thread.Sleep(100)
            count += 1
            If count > 3 Then
                count = 1
            End If
            frmMain.write("Measuring " & StrDup(CInt(count), "."))
            ' Per mostrar modificacions en la interfície
            System.Windows.Forms.Application.DoEvents()
        End While
        Return True
    Catch ex As Exception
        Excepcio.ShowError(ex)
    End Try
End Function

```

```

        Return False
    End Try
End Function

```

➤ *Funció 20: measureSPLFFT a Test.vb*

```

Public Function measureSPLFFT(genLevel As Double, serieName As String, graph
As Graph, clearGraph As Boolean, drawSpec As Boolean) As Double()
    Try
        setFFTMeasure()
        setGraph("Response", graph, clearGraph)
        If drawSpec Then
            Select Case serieName
                Case "OSPL90@FOG"
                    frmMain.SetnDrawSpecifications("sspl90SpecArray", True,
graph)
                Case "OSPL60@RTS"
                    frmMain.SetnDrawSpecifications("ospl60SpecArray", True,
graph)
            End Select
        End If
        Return fftMeasure(graph, serieName, genLevel, "FFTOSPL", False)
    Catch ex As Exception
        Excepcio.ShowError(ex)
        Return {0}
    End Try
End Function

```

➤ *Funció 21: setFFTReference a Test.vb*

```

Public Function setFFTReference(serieName As String, levelMeter As
LevelMeter, clearGraph As Boolean) As Boolean
    Try
        setReferenceSettings()
        Dim freqs As Double() = {1000, 1600, 2500} ' frequències de HFA
        Dim Vref = HFA_SSPL90 - 17 ' valor al que s'ha d'ajustar
        Dim HFA_RTS As Double = 0

        myPulse.Start()
        WaitNotify(10, measStarted)

        ' levelMeter
        Dim series1 As Series = levelMeter.ChartControl1.Series("RTS")
        Dim entries = setFFTData("FFTOSPL")
        System.Threading.Thread.Sleep(1000)
        ' es converteix en true quan es clica el botó Aceptar
        While Not referenceReady
            ' 1a Condició exacta norma
            If HFA_RTS > (Vref - 1.5) And HFA_RTS <= (Vref + 1.5) Then
                frmMain.write("Ajustat correctament")
                ' es fica en verd el medidor quan s'ajusta correctament
                series1.View.Color = Color.LightGreen
            Else
                series1.View.Color = Color.Turquoise
            End If
            readHFAforRTS(entries)
            HFA_RTS = ValueArr.Sum / ValueArr.Length
            series1.Points.Clear()
            ' afegir punts al levelmeter
            levelMeter.AddPointtoSerie("RTS", 0, HFA_RTS - Vref)
        End While
    End Try
End Function

```

```

        System.Windows.Forms.Application.DoEvents()
        System.Threading.Thread.Sleep(100)
    End While
    myPulse.Stop()
Catch ex As Exception
    Excepcio.ShowError(ex)
End Try
End Function

```

➤ *Funció 22: measureTHD a Test.vb*

```

Public Function measureTHD(genLevels As Double(), freqs As Double(),
    freqVector As Double(), order As Integer, mode As String, serieName As String,
    graph As Graph, clearGraph As Boolean) As Double()
    Dim freqsWH1(order) As Double
    Dim freqsWH2(order) As Double
    Dim freqsWH3(order) As Double
    Dim vTHD(2) As Double
    Dim tempTHD(2) As Double
    Try
        ' Per calcular les freqüències a observar segons l'ordre
        For i As Integer = 0 To order
            freqsWH1(i) = freqs(0) * (i + 1)
            freqsWH2(i) = freqs(1) * (i + 1)
            freqsWH3(i) = freqs(2) * (i + 1)
        Next

        ' mesura de THD de X ordre
        setTHDSettings(mode)
        tempTHD = THDAnalysis(genLevels(0), freqsWH1, mode, freqVector,
            serieName, graph)
        vTHD(0) = Math.Sqrt((tempTHD(1) ^ 2 + tempTHD(2) ^ 2) / (tempTHD(0) ^
            2 + tempTHD(1) ^ 2 + tempTHD(2) ^ 2))

        tempTHD = THDAnalysis(genLevels(1), freqsWH2, mode, freqVector,
            serieName, graph)
        vTHD(1) = Math.Sqrt((tempTHD(1) ^ 2 + tempTHD(2) ^ 2) / (tempTHD(0) ^
            2 + tempTHD(1) ^ 2 + tempTHD(2) ^ 2))

        tempTHD = THDAnalysis(genLevels(2), freqsWH3, mode, freqVector,
            serieName, graph)
        vTHD(2) = Math.Sqrt((tempTHD(1) ^ 2 + tempTHD(2) ^ 2) / (tempTHD(0) ^
            2 + tempTHD(1) ^ 2 + tempTHD(2) ^ 2))
        Return vTHD
    Catch ex As Exception
        Excepcio.ShowError(ex)
    Return {0}
    End Try
End Function

```

➤ *Funció 23: measureEIN a Test.vb*

```

Public Function measureEIN(HFA_RTG50) As Double
    Try
        setEINSettings()
        Analysis(0)
        Dim entries = setData("EIN")
        readOVDData(entries)
        ' llegeix directament l'overall (total)
    
```



```

    Dim TNSPL As Double = ValueArr(0)
    Return TNSPL - HFA_RTG50
Catch ex As Exception
    Excepcio.ShowError(ex)
    Return False
End Try
End Function

```

➤ *Funció 24: measureAGC a Test.vb*

```

Public Function measureAGC(freq As Double, supLeveldB As Double, serieName As
String, graph As Graph, clearGraph As Boolean) As Double()
    Try
        ' Set
        setAGCSettings(freq, supLeveldB)

        ' Measure
        myPulse.Start()
        WaitNotify(10, measStarted)
        frmMain.write("Measuring")
        Dim cont As Integer = 0
        While Not measStopped
            System.Windows.Forms.Application.DoEvents()
            System.Threading.Thread.Sleep(100)
            cont += 1
        End While

        ' Llegir dades
        Dim entries = setData("AGC")
        readData(entries, "AGC")
        setGraph("AGC", graph, clearGraph)
        Dim Series1 As Series = New Series(serieName, ViewType.Line)
        graph.AddSerie(Series1)
        Threading.Thread.Sleep(100)

        graph.AddSerie(Series1)
        For i As Integer = 0 To FreqArr.Length - 1
            FreqArr(i) = FreqArr(i) * 1000
        Next
        agcTimeArr = FreqArr
        agcArr = ValueArr

        graph.AddArray(serieName, agcTimeArr, agcArr)
        Dim max As Double
        Dim min As Double
        Dim startTime As Double
        Dim stopTime As Double
        Dim index As Integer
        Dim sspl90_2000 As Double = 0
        ' número de valors per la estabilització
        Dim maxCont As Double = 20
        cont = 0
        For i As Integer = 0 To sspl90Arr.Length - 1
            If 2000 > (freqVector(i) - 20) And 2000 < (freqVector(i) + 20)
                Then
                    sspl90_2000 = sspl90Arr(i)
                End If
            Next

        'Càlcul attack time
        maxValue(max, startTime, index, agcArr, agcTimeArr)
        For i As Integer = index To agcTimeArr.Length - 1

```

```

3) Then
    If agcArr(i) > (sspl90_2000 - 3) And agcArr(i) < (sspl90_2000 +
        cont += 1
        If maxCont <= cont Then
            stopTime = agcTimeArr(i - maxCont)
            Exit For
        End If
    Else
        cont = 0
    End If
Next
Me.attackTime = stopTime - startTime
Console.WriteLine(attackTime.ToString & " " & stopTime.ToString)

' Càlcul del promig SSPL55
Dim SSPL55array(index - 50) As Double
For i As Integer = 0 To index - 50
    SSPL55array(i) = ValueArr(i)
Next
Dim SSPL55 As Double = SSPL55array.Average
minValue(min, startTime, index, agcArr, agcTimeArr)

'Càlcul release time
cont = 0
stopTime = 0
For i As Integer = index To agcTimeArr.Length - 1
    If agcArr(i) > (SSPL55 - 4) And agcArr(i) < (SSPL55 + 4) Then
        cont += 1
        If maxCont <= cont Then
            stopTime = agcTimeArr(i - maxCont)
            Exit For
        End If
    Else
        cont = 0
    End If
Next
If stopTime = 0 Then
    stopTime = 1000
End If
Me.releaseTime = stopTime - startTime
Console.WriteLine(releaseTime.ToString & " " & stopTime.ToString)

Return agcArr
Catch ex As Exception
    Excepcio.ShowError(ex)
Return {0}
End Try
End Function

```

➤ *Funció 25: measureBatteryCurrent a Test.vb*

```

Public Function measureBatteryCurrent(freqVector As Double(), genFrequency As
Double, genLeveldB As Double) As Double
    Try
        ' mesura consum idle
        batteryCurrentIdle = InputBox("Inserta el consumo: ",
DefaultResponse:="0.00")
        ' mesura consum sound
        setBatteryCurrentSettings(freqVector, genFrequency, genLeveldB)
        myPulse.Start()
    
```

```

        WaitNotify(40, measStarted)
        Threading.Thread.Sleep(200)
        batteryCurrent = InputBox("Inserta el consumo: ",
DefaultResponse:="0.00")
        myPulse.Stop()
        WaitNotify(40, measStopped)
        Return batteryCurrent
    Catch ex As Exception
        Excepcio.ShowError(ex)
        Return 0.0
    End Try
End Function

```

➤ *Funció 26: measureInputOutputFFT a Test.vb*

```

Public Function measureInputOutputFFT(freqIO As Double, minIO As Integer,
maxIO As Integer, stepIO As Integer, serieName As String, graph As Graph,
clearGraph As Boolean) As Double()
    Try
        setIOFFTSettings(freqIO)
        ReDim inArr((maxIO - minIO) / stepIO)
        Dim outArr((maxIO - minIO) / stepIO) As Double
        Dim cont As Integer = 0
        Dim levels((maxIO - minIO) / stepIO) As Double
        For i As Integer = minIO To maxIO Step stepIO
            inArr(cont) = i
            ' 57 -> 2kHz a eqArray
            levels(cont) = calcGenLevelPaSine(i, 57)
            cont += 1
        Next
        Generator.SignalLevel1 = levels(0)
        cont = 0
        ' mesura
        myPulse.Start()
        WaitNotify(20, measStarted)
        Dim entries = setFFTData("FFTO SPL")
        Threading.Thread.Sleep(1000)
        For i As Integer = minIO To maxIO Step stepIO
            ' canviar el nivell
            Generator.SignalLevel1 = levels(cont)
            Threading.Thread.Sleep(400)
            ' lectura
            readFFT2kHz(entries)
            outArr(cont) = ValueArr(0)
            cont += 1
            System.Windows.Forms.Application.DoEvents()
        Next
        myPulse.Stop()
        WaitNotify(20, measStopped)
        setGraph("IO", graph, clearGraph)
        Dim Series1 As Series = New Series(serieName, ViewType.Line)
        graph.AddSerie(Series1)
        graph.AddArray(serieName, inArr, outArr)
        Return outArr
    Catch ex As Exception
        Excepcio.ShowError(ex)
        Return {}
    End Try
End Function

```

➤ *Funció 27: measureTeleCoil a Test.vb*

```

Public Function measureTeleCoil(genLevel As Double, serieName As String,
graph As Graph, clearGraph As Boolean) As Double()
    Try
        setTCSettings()
        setGraph("Response", graph, clearGraph)
        Return fftMeasure(graph, serieName, genLevel, "FFTOSPL", True)
    Catch ex As Exception
        Excepcio.ShowError(ex)
        Return {}
    End Try
End Function

```

➤ *Funció 28: VarsModule.vb*

```
Module VarsModule
```

```

' Object declarations
Public myProject As Project
Public WithEvents myPulse As Application
Public myMeasurementOrganiser As MeasurementOrganiser
Public myFunctionOrganiser As FunctionOrganiser
Public myTemplate As Template
Public mySetup As Setup
Public myFrontEnd As PulseFrontend
Public myGenerator As Generator
Public Generator As GeneratorSignal
Public myConfigurationOrganiser As ConfigurationOrganiser
Public loopGenerator As GeneratorSignal
Public SSRAnalyzer As SSRAnalyzer
Public FFTAnalyzer As FFTAnalyzer
Public OverallAnalyzer As OverallAnalyzer
Public FunctionGroup As PulseCollection
Public BKDataSet As BKDataSet

'Arrays for the measures
Public ValueArr As Double()
Public FreqArr As Double()
Public valueVector As Double()

' Paths
Public appPath As String = System.Windows.Forms.Application.StartupPath
Public binPath = Directory.GetParent(appPath).FullName
Public projectPath = Directory.GetParent(binPath).FullName
Public testPath As String = projectPath + "\test\"
Public calibPath As String = testPath + "Calibrations\"
Public eqPath As String = testPath + "Equalizations\"
Public eqBroadBPath As String = eqPath + "Generator@BroadBand\"
Public genEqPath As String = eqPath + "Generator@2kHz\"
Public loopEqPath As String = eqPath + "Loop@2kHz\"
Public loopBroadBPath As String = eqPath + "Loop@BroadBand\"
Public paramPath As String = testPath + "Parameters\"
Public testProject As String = testPath + "PROJECT.pls"
'"PROJECT_elecMlc.pls"
Public tolerancePath As String = testPath + "Tolerances"
Public logPath As String = testPath + "Log\"

' Wavs
Public AGCWavPath As String = testPath + "AGC_sweep_2s.wav"

```

```

Public Sweep200to8000WavPath As String = testPath +
"Sweep_200to8000_4s_log.wav"
Public RTSWavPath As String = testPath + "RTS_3freqsjuntas_10s_inf10dB.wav"

' Constants
Public p0 As Double = 2 * (10 ^ -5)
Public sensitivity As Double 'sensibilidad dB/V del generador
Public R40FreqVector As Double() = {200, 212, 224, 236, 250, 265, 280, 300,
315, 335, 355, 375, 400, 425, 450, 475, 500, 530, 560, 600, 630, 670, 710, 750,
800, 850, 900, 950, 1000, 1060, 1120, 1180, 1250, 1320, 1400, 1500, 1600, 1700,
1800, 1900, 2000, 2120, 2240, 2360, 2500, 2600, 2800, 3000, 3150, 3350, 3550,
3750, 4000, 4250, 4500, 4750, 5000, 5300, 5600, 6000, 6300, 6700, 7100, 7500,
8000}
Public EPFreqVector As Double() = {200, 208, 215, 224, 232, 241, 250, 260,
269, 280, 290, 301, 313, 325, 337, 350, 363, 377, 391, 406, 421, 437, 454, 471,
489, 508, 527, 547, 568, 589, 612, 635, 659, 684, 710, 737, 765, 794, 824, 855,
888, 922, 957, 993, 1031, 1070, 1110, 1152, 1196, 1242, 1289, 1338, 1388, 1441,
1496, 1553, 1612, 1673, 1736, 1802, 1871, 1942, 2015, 2092, 2171, 2254, 2339,
2428, 2520, 2616, 2715, 2818, 2925, 3036, 3152, 3271, 3395, 3524, 3658, 3797,
3941, 4091, 4246, 4407, 4575, 4748, 4929, 5116, 5310, 5511, 5721, 5938, 6163,
6397, 6640, 6892, 7154, 7426, 7707, 8000}

'Generador
Public eqVector(EPFreqVector.Length - 1) As Double
Public eqGenArray As Double()
Public genEqGain As Double
Public genEqSignalLevel As Double
Public genEqSineLevel As Double

' Bobina
Public eqLoopArray As Double()
Public loopEqGain As Double
Public loopEqSignalLevel As Double
Public CMR3calibrationLevel As Double = 0.775

Public maxGraph As Integer = 140

' Specifications
Public bInTC As Boolean ' si el model inclou bobina
Public freqSpecArray As Double()
Public ssp190SpecArray As Double() ' salida
Public ssp190plus As Double()
Public ssp190minus As Double()
Public ssp190Spec As Double
Public ssp190fSpec As Double
Public ssp190_HFASpec As Double
Public ssp150SpecArray As Double() ' ganancia
Public ssp150plus As Double()
Public ssp150minus As Double()
Public FOG50_HFASpec As Double
Public FOG50Spec As Double
Public FOG50fSpec As Double
Public osp160SpecArray As Double()
Public osp160plus As Double()
Public osp160minus As Double()
Public RTG60Spec As Double
Public einSpec As Double ' noise
Public attackTimeSpec As Double
Public releaseTimeSpec As Double
Public spliHFASpec As Double ' bobina
Public mas1HFASpec As Double
Public TC_THD50Spec As Double ' distorsiones bobina

```

```

Public TC_THD800Spec As Double
Public TC_THD1600Spec As Double
Public THD500Spec As Double ' distorsiones
Public THD800Spec As Double
Public THD1600Spec As Double
Public batteryCurrentSpec As Double

' Tolerances
Public spl4000plusTol As Double = 6
Public spl4000minusTol As Double = 4
Public sspl190TSmin As Double = -4
Public sspl190TSmax As Double = 3
Public sspl190_HFATSmin As Double = -4
Public sspl190_HFATSmax As Double = 4
Public FOG50_HFATSmin As Double = -5
Public FOG50_HFATSmax As Double = 5
Public FOG50TSmin As Double = -5
Public FOG50TSmax As Double = 5
Public RTG60_TSmin As Double = -5
Public RTG60_TSmax As Double = 5
Public EINTSmax As Double = 3
Public spliHFATSmin As Double = -4
Public spliHFATSmax As Double = 4
'Public maslHFATSmin As Double = -6
'Public maslHFATSmax As Double = 6
Public THDTSmax As Double = 3 '%'
Public agcTimeTSmax100 As Double = 50 '%'
Public agcTimeTSmin100 As Double = -50 '%'
Public agcTimeTSmaxms As Double = 5 'ms
Public agcTimeTSminms As Double = -5 'ms
Public currentDrainTSmax As Double = 20 '%'

' Default Tolerances
Public dsp14000plusTol As Double = 6
Public dsp14000minusTol As Double = 4
Public dsspl190TSmin As Double = -4
Public dsspl190TSmax As Double = 3
Public dsspl190_HFATSmin As Double = -4
Public dsspl190_HFATSmax As Double = 4
Public dFOG50_HFATSmin As Double = -5
Public dFOG50_HFATSmax As Double = 5
Public dFOG50TSmin As Double = -5
Public dFOG50TSmax As Double = 5
Public dRTG60_TSmin As Double = -5
Public dRTG60_TSmax As Double = 5
Public dEINTSmax As Double = 3
Public dspliHFATSmin As Double = -4
Public dspliHFATSmax As Double = 4
'Public dmaslHFATSmin As Double = -6
'Public dmaslHFATSmax As Double = 6
Public dTHDTSmax As Double = 3 '%'
Public dagcTimeTSmax100 As Double = 50 '%'
Public dagcTimeTSmin100 As Double = -50 '%'
Public dagcTimeTSmaxms As Double = 5 'ms
Public dagcTimeTSminms As Double = -5 'ms
Public dcurrentDrainTSmax As Double = 20 '%'

' Report variables
Public serialNumber As Integer
Public partNumber As Integer

' EQ Configuration

```

```

    Public EQgenLevelCalibration As Double = 80
    Public EQgenFreqCalibration As Double = 2016 ' frecuencia de calibración del
generador
    Public EQloopFreqCalibration As Double = 1000 ' frecuencia de calibración de
la bobina
    Public EQloopLevelCalibration As Double = 400 'mA/m = '0.775 V
    Public EQserieName As String = "Equalization"
    Public eqFreqArray As Double()

' Test Configuration Defaults
Public dtestFrequencyVector As Double()
Public dssplGeneratorlevel1 As Double = 90
Public dssplGeneratorlevel2 As Double = 60
Public dssplGeneratorlevel3 As Double = 50
Public dosp1Generatorlevel1 As Double = 90
Public dosp1Generatorlevel2 As Double = 60
Public dosp1Generatorlevel3 As Double = 50
Public dbssplCurve90 As Boolean = True
Public dbssplCurve50 As Boolean = True
Public dbssplCurve60 As Boolean = False
Public dbosplCurve90 As Boolean = False
Public dbosplCurve50 As Boolean = False
Public dbosplCurve60 As Boolean = True
'BC
Public dbBCSound As Boolean = True
Public dbBCIdle As Boolean = True
Public dBBCSoundLevel As Double = 65
Public dBBCSoundFrequency As Double = 1000
'IO
Public dIOStartLevel As Double = 50
Public dIOStepLevel As Double = 5
Public dIOStopLevel As Double = 90
Public dIOFrequency As Double = 2000
'AGC
Public dAGCUpLevel As Double = 90
Public dAGCFrequency As Double = 2000
'TC
Public dTCResponseLoopLevel As Double = 31.6
Public dTCTHDLoopLevel As Double() = {100, 100, 100}
Public dTCTHDFreqs As Double() = {500, 800, 1600}
Public dTCTHDOrder As Double = 2
'THD
Public dTHDLevels As Double() = {70, 70, 65}
Public dTHDFreqs As Double() = {500, 800, 1600}
Public dTHDOrder As Double = 2
'EIN
Public dEINuserTG50 As Boolean = False
Public dEINuserTG60 As Boolean = True

' Tests Configuration
Public testFrequencyVector As Double()
Public ssplGeneratorlevel1 As Double
Public ssplGeneratorlevel2 As Double
Public ssplGeneratorlevel3 As Double
Public osp1Generatorlevel1 As Double
Public osp1Generatorlevel2 As Double
Public osp1Generatorlevel3 As Double
Public bssplCurve90 As Boolean
Public bssplCurve50 As Boolean
Public bssplCurve60 As Boolean
Public bosplCurve90 As Boolean
Public bosplCurve50 As Boolean

```

```

Public bosp1Curve60 As Boolean
'BC
Public bBCSound As Boolean
Public bBCIdle As Boolean
Public BCSoundLevel As Double
Public BCSoundFrequency As Double
'IO
Public IOStartLevel As Double
Public IOStepLevel As Double
Public IOStopLevel As Double
Public IOFrequency As Double
'AGC
Public AGCUpLevel As Double
Public AGCFrequency As Double
'TC
Public TCResponseLoopLevel As Double
Public TCTHDLLoopLevel As Double()
Public TCTHDFreqs As Double()
Public TCTHDOrder As Double
' THD
Public THDLevels As Double()
Public THDFreqs As Double()
Public THDOrder As Double
' EIN
Public EINuseRTG50 As Boolean
Public EINuseRTG60 As Boolean

' EQ Boolean
Public bGeneratorEQ As Boolean = False
Public bLoopEQ As Boolean = False

' Reference Test Setting
Public referenceReady As Boolean = False

' Notification constants
Public Const NotifyObjectMask = &HFF000000
Public Const NotifyMessageMask = &HFF0000
Public Const NotifyParameterMask = &HFFFF&

' Application specific constants
Public Const ApplicationObject = &H1000000

' Project visible states
Public Const nApplicationVisible = &H10000
Public Const bApplicationInvisible = 0
Public Const bApplicationVisible = 1

' Project load states
Public Const nApplicationProject = &H20000
Public Const bProjectNewCreated = 0
Public Const bProjectOpened = 1
Public Const bProjectClosed = 2
Public projectClosed As Boolean
Public projectOpened As Boolean
Public projectState = ""

'DSP errors
Public Const nDSPError = &H30000
Public Const nErrorInIniFile = 1
Public Const nMissingBootFile = 2
Public Const nUnknownError = 3

```



```

Public Const nInternalKissError = 4
Public Const nTimeoutError = 5
Public Const nConfigurationError = 6
Public Const nErrorStartingDat = 7
Public Const nOldPromVersion = 8

' Project specific constants
Public Const ProjectObject = &H2000000

' Template specific constants
Public Const TemplateObject = &H4000000
Public Const nTemplateActivated = &H10000
Public Const bTemplateInactive = 0
Public Const bTemplateActive = 1
Public templateActive As Boolean

' Measurement State changes
Public Const nTemplateMeasState = &H20000
Public Const nMeasStopped = 0
Public Const nMeasSuspending = 1
Public Const nMeasResuming = 2
Public Const nMeasStarted = 3
Public Const nFrontEndNotDetected = 4
Public Const nMeasTemplateSetled = 5
Public Const nMeasTemplateAutorangeComplete = 6
Public measStopped As Boolean
Public measStarted As Boolean
Public measState As String = ""

'CalibrationMode state changes
Public Const nCalibrationState = &H50000
Public Const nCalibrationInactive = 0
Public Const nCalibrationActive = 1
Public Const nCalibrationSearching = 2
Public Const nCalibrationMeasuring = 3
Public Const nCalibrationCalibrated = 4
Public Const nCalibrationError = 5
Public calibrationActive As Boolean
Public calibrationState As String = ""

'Analyzer finished
Public Const nAnalyzerFinished = &H70000
'Value nn specifies the analyzer position in the Setup object starting with 1

' Analyzer specific constants
Public Const AnalyzerObject = &H5000000
Public Const nAnalyzerStatus = &H0
Public Const nAnaFinished = 1
Public Const nAnaReady = 2
Public Const nAnaWaiting = 3
Public Const nAnaRunning = 4
Public Const nAnaOverRun = 5
Public Const nAnaPaused = 6
Public Const nAnaNotEnabled = 7
Public Const nAnaError = 8
Public Const nAnalyzerNotConnected = 9

Public Sub myPulse_Notify(NotifierObject As Object, Notification As Long)
Handles myPulse.Notify
    Try
        CNotifyClass.RefreshInfo(NotifierObject, Notification)
        ' MsgBox("&H" + Hex(Notification))
    
```

```
        Catch ex As Exception
            Excepcio.ShowError(ex)
        End Try
    End Sub

    Private Sub myPulse_Notify2(NotifierObject As Object, Message As Integer,
Parameter As Integer) Handles myPulse.Notify2
        Try
            'CNotifyClass.RefreshInfo(NotifierObject, Message, Parameter)
        Catch ex As Exception
            Excepcio.ShowError(ex)
        End Try
    End Sub
End Module
```

