SISTEMA DE MESURA D'EMISSIONS CONDUÏDES

Projecte de Fi de Grau

Presentat a

Escola Tècnica d'Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona

Universitat Politècnica de Catalunya

per

Lucas Santisteban Molina

En compliment parcial dels requisits pel grau en

ENGINYERIA *de Sistemes Electrònics*

Tutor: Ferran Silva Martinez

Tutor empresa: Jose Antonio Andrés Martinez

Barcelona, Juny 2016

Abstract

The project is done in the company *CERC Ingeniería*, which had the need of automatize measurements of conducted emissions, satisfying, as much as it could be, normative requirements.

In order to resolve this need, setup and instrumentation provided by the company has been checked and it has been nearly fully validated through the European EMC normative framework. The project provides a software personalized to the needs of the company and partially achieves normative requirements.

This software controls the measuring equipment. In this case, a spectrum analyser. With a simple appearance, of a single window and enough robust for an adequate use, it is able to make automatic measurements of conducted emissions. These measurements have been checked through previous results of test made in a specialized laboratory, with satisfactory results.

Despite not having been able to achieve some of the requirements, the project it is adjusted to the internal needs of the company.

Resum

El projecte es duu a terme a *CERC Ingeniería*, una empresa que tenia la necessitat d'automatitzar les mesures d'emissions conduïdes, aproximant-se el màxim als requeriments normatius d'EMC.

Per cobrir aquesta necessitat, s'ha comprovat el muntatge i la instrumentació aportats per l'empresa i s'ha validat correctament en la seva majoria mitjançant el marc normatiu europeu d'EMC. El projecte aporta a l'empresa un software personalitzat a les seves necessitats i que compleix part dels requisits normatius.

Aquest software controla l'equip de mesura, en aquest cas, un analitzador d'espectres. D'aspecte simple, d'una sola finestra i prou robust per a un ús adequat, és capaç de realitzar mesures automàtiques d'emissions conduïdes. Aquestes mesures han sigut comprovades a partir de resultats anteriors d'assajos en un laboratori especialitzat, obtenint resultats satisfactoris.

A pesar de no haver pogut complir alguns dels requeriments, el projecte s'adequa a les necessitats internes de l'empresa.

Resumen

El proyecto se lleva a cabo en *CERC Ingeniería*, una empresa que tenía la necesidad de automatizar las medidas de emisiones conducidas, aproximándose al máximo a los requerimientos normativos de EMC.

Para solventar esta necesidad, se ha comprobado el montaje y la instrumentación aportados por la empresa y se ha validado correctamente en su mayoría mediante el marco normativo europeo de EMC. El proyecto aporta a la empresa un programa personalizado a sus necesidades y que cumple parte de los requisitos normativos.

Dicho programa controla el equipo de medida, en este caso, un analizador de espectros. De apariencia simple, de una sola ventana y suficientemente robusto para un uso adecuado, es capaz de realizar medidas automáticas de emisiones conducidas. Estas medidas han sido comprobadas a partir de resultados anteriores de ensayos realizados en un laboratorio especializado, obteniendo resultados satisfactorios.

A pesar de no haber podido cumplir algunos de los requerimientos, el proyecto se adecua a las necesidades internas de la empresa.

Històric de revisions i registre d'aprovació

Revisió	Data	Motiu
0	21/06/2016	Creació del document
1	22/06/2016	Correcció del document
2	27/06/2016	Correcció final del document

LLISTA DE DISTRIBUCIÓ DEL DOCUMENT

Nom	email
Lucas Santisteban Molina	santisteban.lucas@gmail.com
Ferran Silva Martinez	ferran.silva@upc.edu

Escrit per:		Revisat i aprovat per:	
Data	22/06/2016	Data	27/06/2016
Nom	Lucas Santisteban Molina	Nom	Ferran Silva Martinez
Posició	Autor del projecte	Posició	Supervisor del projecte

Taula de continguts

Abstract 2
Resum 3
Resumen 4
Històric de revisions i registre d'aprovació 5
Taula de continguts 6
Llista de figures 8
Llista de taules 9
1. Introducció 10
1.1. Context 10
1.2. Propòsit i objectius 10
1.3. Requeriments 11
1.4. Especificacions 12
1.5. Pla de treball 13
1.5.1. Estructura de descomposició del treball (WBS) 13
1.5.2. Paquets de Treball, Tasques i Fites 14
1.5.3. Diagrama de Gantt 23
1.5.4. Incidències 24
1.5.5. Modificacions del Pla de Treball 24
2. Estat de l'Art de la tecnologia usada o aplicada en aquesta tesis 25
2.1. *R&S EMC32* 25
2.2. *Rigol EMI Test System* 26
3. Metodologia / desenvolupament del projecte 28
3.1. Elecció de la plataforma 28
3.2. Primers passos 28
3.2.1. Estudi de les normes 28
3.2.2. *Matlab* i l'analitzador d'espectres 28
3.2.3. Control de l'analitzador d'espectres 29
3.3. Desenvolupament del software 30
3.4. Mètode de verificació de resultats 31
4. Resultats 32
4.1. Software resultant 32
4.2. Muntatge realitzat 35
4.3. Requeriments i especificacions no assolits 35

5. Costos 37
6. Conclusions i desenvolupament futur 38
Bibliografia 39
Annex A. Mètode de realització d'un assaig 40
A.1. Muntatge de l'assaig 40
A.1.1. Equipament necessari 40
A.1.2. Exemple de muntatge 41
A.2. Realització de l'assaig 44
Annex B. Manual d'usuari del programa 45
B.1. Arrancada del programa 45
B.2. Nova mesura i configuració d'aquesta 45
B.3. Definir una norma 50
B.4. Test 51
B.5. Mesures finals 53
B.6. Selecció de la mesura 54
B.7. Eliminar mesures i *reset* 55
B.8. Guardar una mesura 56
B.9. Carregar una mesura 56
B.10. Errors 56
Annex C. Disseny del programa 57
Glossari 60

Llista de figures

Fig. 1-1 - Diagrama de Gantt 23
Fig. 2-1 - Captura de pantalla del software R&S EMC32 26
Fig. 2-2 - Captura de pantalla del software Rigol EMI Test System 27
Fig. 4-1 - Captura de pantalla del software en estat d'inici 32
Fig. 4-2 - Mesura de valor mig d'una font amb el límit de classe B de la norma UNE EN 55022 aplicat, usant el software del projecte 34
Fig. 4-3 – Resultat del GCEM de mesura de valor mig d'una font amb el límit de classe B de la norma UNE EN 55022 aplicat 34
Fig. A-1 - Setup general assaig 41
Fig. A-2 - Setup assaig: *ESE* i càrrega 42
Fig. A-3 - Setup assaig: *ESE*, *LISN* i AE amb limitador de transitoris 43
Fig. A-4 - Setup assaig: portàtil i AE amb limitador de transitoris 44
Fig. B-1 - Inici del programa 45
Fig. B-2 - Configuració de les opcions 46
Fig. B-3 - Configuració de les finestres freqüencials 47
Fig. B-4 - Error de configuració de les finestres 48
Fig. B-5 - Configuració del límit 49
Fig. B-6 - Software preparat per a realitzar una primera mesura 50
Fig. B-7 - Finestra de definició de norma 51
Fig. B-8– Finestra d'informació durada de la mesura 51
Fig. B-9 - Test d'un carregador de mòbil 52
Fig. B-10 - Test no passat amb èxit 53
Fig. B-11 - Realització de mesures finals 54
Fig. B-12 - Llistat de mesures 55
Fig. B-13 - Finestra de guardament de mesures 56
Fig. C-1 – Diagrama d'estats del programa 58

Llista de taules

Taula 1-1 - Estructura de descomposició del treball (WBS) 14
Taula 1-2 - Paquets de Treball 22
Taula 1-3 - Fites 22
Taula 3-1– Comandes *SCPI* usades..... 30
Taula C-1 - Estructura de variables del programa..... 59

1. Introducció

1.1. Context

En un món amb cada cop més aparells electrònics, la compatibilitat electromagnètica (EMC) d'aquests és cada cop més essencial. D'aquesta depèn que tots aquests dispositius puguin conviure entre ells sense interferir-se ni impossibilitar el seu ús.

D'aquesta problemàtica va sorgir la necessitat de regular-ho mitjançant un marc normatiu. En el cas europeu, l'encarregada de regularitzar-ho es la Unió Europea mitjançant la *Directiva Europea de EMC*.

Tot aparell electrònic comercialitzat dins de la Unió Europea ha de ser conforme amb aquesta directiva. D'aquesta directiva sorgeixen el que s'anomenen normes harmonitzades. Aquestes defineixen com es poden complir els requisits definits per la directiva i com han de ser mesurats.

La compatibilitat electromagnètica el que vol controlar són les interferències que emeten els aparells i la immunitat de l'aparell respecte d'altres. Aquest projecte es centra en la mesura automàtica d'emissions conduïdes, és a dir, les emissions injectades des de l'aparell a la xarxa d'alimentació a partir del disseny d'un software que controli l'analitzador d'espectres usat per a les mesures.

La idea del projecte prové de l'empresa *CERC Ingeniería* per solucionar una necessitat. Aquesta té muntat ja el sistema de mesura incloent el *setup* indicat a les normes, que serà validat en aquest treball, i la instrumentació principal (analitzador d'espectres) i auxiliar (*LISN*).

El software, però, s'ha creat de zero, amb indicacions de l'empresa i del supervisor sobre els seus requisits.

1.2. Propòsit i objectius

El projecte es duu a terme a *CERC Ingeniería*, una empresa situada a Viladecans que es dedica al disseny de productes electrònics i que reben un servei de suport a assajos de compatibilitat electromagnètica pel Grup de Compatibilitat Electromagnètica del Campus Nord de la UPC.

El propòsit d'aquest projecte és el disseny d'un sistema de mesura d'emissions conduïdes a partir d'un analitzador d'espectres (*Rigol DSA815-TG*) per a un ús intern, com a mètode per a validar els seus propis dissenys. El software ofert per la marca Rigol és insuficient per a l'empresa.

Es demana, per tant, implementar un software que permeti controlar la instrumentació, adquirir-ne les mesures i tractar-les de manera que ofereixi informació sobre el compliment de les normatives europees d'emissions conduïdes indicades per a l'aparell sota assaig.

A més, es requerirà un estudi de les diverses normes europees de compatibilitat electromagnètica relatives les emissions d'aparells TIC (UNE-EN 55022), d'indústria (UNE-EN 55011), d'il·luminació (UNE-EN 55015) i d'electrodomèstics (UNE-EN 55014). Addicionalment, seran necessàries altres normes relatives al *setup* i al control d'adquisició de l'analitzador d'espectres (CISPR 16-2-1) i a la instrumentació usada (CISPR 16-1-1 i CISPR 16-1-2).

L'empresa ja disposa d'un muntatge per realitzar les mesures. Aquest serà avaluat i validat segons les normes pertinents.

Els objectius principals del projecte son:

1. Estudi de les diverses normes implicades anteriorment esmentades i avaluació del muntatge per realitzar les mesures.
2. Implementació d'un programa que controli l'analitzador d'espectres, que n'adquireixi les mesures i les tracti de manera que ofereixi informació gràfica sobre el compliment de les normatives europees d'emissions conduïdes indicades per a l'aparell testejat.
3. Verificació del comportament de l'equipament auxiliar empleat.
4. Implementació dels mètodes de mesura per a les diverses normes, podent especificar amb quina es vol treballar.

1.3. Requeriments

Els requeriments del projecte son els següents:

- Control de l'analitzador d'espectres, adquisició de les mesures i tractament d'aquestes de manera que ofereixi informació gràfica sobre el compliment de les normatives europees d'emissions conduïdes indicades per a l'aparell testejat.
- Verificació del comportament de l'equipament auxiliar empleat (cables i *LISN*).
- Implementació dels mètodes de mesura per a les diverses normes. Aquestes serien:
    - UNE EN 55022 (emissions d'aparells TIC),
    - UNE EN 55011 (emissions d'aparells d'indústria),
    - UNE EN 55015 (emissions d'aparells d'il·luminació),
    - UNE EN 55014 (emissions d'aparells electrodomèstics),
    - CISPR 16-1-1 (Instrumentació usada per a la mesura –analitzador d'espectres–),
    - CISPR 16-1-2 (equipament auxiliar usat per a la mesura) i
    - CISPR 16-2-1 (*setup* i control d'adquisició de l'analitzador espectral).
- Representació gràfica dels resultats de les mesures, solapant els rangs definits per la norma indicada.
- Poder guardar mesures en disc per carregar-les més tard per comparar-les amb mesures anteriors podent solapant-les amb la actual.
- Possibilitat de fragmentar l'anàlisi en finestres.
- Solapament de dos resultats i els seus marges normatius per a detectors diferents.

1.4. Especificacions

Les especificacions del projecte estan definides per les normes. Aquestes, sense poder entrar molt en detall degut a que l'accés d'aquestes normes és privat, defineixen com han de ser l'AE, la *LISN* el muntatge i les mesures:

Respecte l'analitzador d'espectres:

- Les especificacions per a receptors de mesura pel detector de quasi-pic estan definides en l'apartat 4 de la norma CISPR 16-1-1
- Les especificacions per a receptors de mesura pel detector de pic estan definides en l'apartat 5 de la norma CISPR 16-1-1
- Les especificacions per a receptors de mesura pel detector de valor mig estan definides en l'apartat 6 de la norma CISPR 16-1-1

Respecte la *LISN*:

- La impedància ha de ser segons l'especificada als apartats 4.2, 4.3 i 4.4 de la norma CISPR 16-1-2
- L'aïllament ha de complir l'especificat a l'apartat 4.8 de la norma CISPR 16-1-2
- La capacitat de corrent màxim i la caiguda de tensió sèrie ha de ser complir l'especificat al apartat 4.9 de la norma CISPR 16-1-2
- El factor de divisió de tensió de la *LISN* ha de ser mesurat segons l'annex A.8 de la norma CISPR 16-1-2 i corregit posteriorment en les mesures de l'assaig
- La inductància de la *LISN* ha de complir l'especificat a l'annex A.7 de la norma CISPR 16-1-2
- Altres especificacions a l'annex A.1 de la norma CISPR 16-1-2

Respecte el muntatge:

- La connexió del equip auxiliar ha de ser apantallada
- El cable de la connexió del equip auxiliar ha de tenir una impedància adaptada a l'entrada del receptor de mesura (AE)
- Hi ha d'haver almenys una atenuació de 10 dB entre la sortida de la xarxa artificial (*LISN*) i l'entrada del receptor (AE)
- Es recomana l'ús d'un limitador de transitoris
- La *LISN* ha de tenir una connexió a terra de baixa impedància d'RF
- S'han d'evitar bucles de terra
- La connexió entre l'equip sotmès a assaig (*ESE*) i la xarxa artificial de potència (*LISN*) està especificada a l'Annex A de la norma CISPR 16-2-1
- La disposició del *ESE* i les condicions de mesura estan especificats a l'apartat 6.4 de la norma CISPR 16-2-1
- El muntatge del *setup* per realitzar la mesura està especificat en els apartats 7.4, 7.5 i 7.6 de la norma CISPR 16-2-1

Respecte les mesures:

- S'especifica quina és la incertesa permesa a la norma CISPR 16-4-2
- Depenent del tipus de pertorbació a mesurar, l'estratègia de mesura ha de ser diferent [1]
- S'ha d'efectuar una mesura de la duració de les pertorbacions mitjançant la funció d'"interval cero" de l'AE i monotoritzar-la [2]
- Per a mesures automàtiques (el cas del projecte), el temps de mesura mínim està definit per ample de banda de resolució, la finestra de freqüència , ample de banda del filtre de vídeo i una constant de proporcionalitat segons una fórmula definida a l'apartat 6.6.3 de la norma CISPR 16-2-1.

1.5. Pla de treball

1.5.1. Estructura de descomposició del treball (WBS)

Conducted EMI measurement System	**Estudi de les normes**	Norma instrumentació
		Norma equipament auxiliar
		Norma setup i control d'adquisició
		Norma TiC
		Norma Indústria
		Norma Il·luminació
		Norma Electrodomèstics
	Control de l'AE en *Matlab*	Connexió amb l'AE
		Configuració bàsica AE
		Adquisició de dades
	Software en *Matlab*	Configuració AE segons una norma
		Representació gràfica resultats
		Fragmentació de la mesura
		Comparació amb resultats anteriors
		Solapament per a detectors diferents
		Calibratge comportament equipament
		Afegiment de les normes restants

		Re-mesura amb quasi-pic
		Desenvolupament interfície

Taula 1-1 - Estructura de descomposició del treball (WBS)

1.5.2. Paquets de Treball, Tasques i Fites

Projecte Proposta de Projecte i Pla de Treball	**Ref** *1*	
Component principal *Documentació*		
Curta descripció Creació i revisió del document de Proposta de Projecte i Pla de Treball	**Esdeveniment d'inici** Inici del document.	**Data planificada inici** 16/02/16
	Esdeveniment final Lliurament del document.	**Data planificada final** 29/02/16
Tasca interna T1: creació document Tasca interna T2: revisió document	**Entregables** Proposta de Projecte i Pla de Treball	**Data** 01/03/16
Projecte Norma instrumentació	**Ref** *2*	
Component principal *Recerca*		
Curta descripció Estudi de la norma relativa a la instrumentació usada per fer les mesures (analitzador d'espectres). La norma aplicada és la CISPR 16-1-1.	**Esdeveniment d'inici** Lliurament del primer document.	**Data planificada inici** 01/03/16
	Esdeveniment final Entesa de la norma i recull de les informacions importants.	**Data planificada final** 18/03/16
Tasca interna T1: Estudi de la norma Tasca interna T2: Recull de les informacions importants.	**Entregables**	**Data**
Projecte	**Ref**	

Norma equipament auxiliar	*3*	
Recerca		**Component principal**
Curta descripció Estudi de la norma relativa a l'equipament auxiliar usat per fer les mesures (*LISN*). La norma aplicada és la CISPR 16-1-2.	**Esdeveniment d'inici** Lliurament del primer document.	**Data planificada inici** 01/03/16
	Esdeveniment final Entesa de la norma i recull de les informacions importants.	**Data planificada final** 18/03/16
Tasca interna T1: Estudi de la norma Tasca interna T2: Recull de les informacions importants.	**Entregables**	**Data**
Projecte Norma setup i control d'adquisició	*4*	**Ref**
Recerca		**Component principal**
Curta descripció Estudi de la norma relativa al muntatge disposat per fer les mesures i al control d'adquisició (de l'analitzador d'espectres). La norma aplicada és la CISPR 16-2-1.	**Esdeveniment d'inici** Lliurament del primer document.	**Data planificada inici** 01/03/16
	Esdeveniment final Entesa de la norma i recull de les informacions importants i validació setup.	**Data planificada final** 18/03/16
Tasca interna T1: Estudi de la norma Tasca interna T2: Recull de les informacions importants i validació *setup*.	**Entregables**	**Data**
Projecte		**Ref**

Norma TiC	*5*	
Recerca		**Component principal**
Curta descripció Estudi de la norma relativa als equips de tecnologia de la informació. La norma aplicada és la UNE EN 55022.	**Esdeveniment d'inici** Normes de mesura estudiades.	**Data planificada inici** 21/03/16
	Esdeveniment final Entesa de la norma i recull de les informacions importants.	**Data planificada final** 07/04/16
Tasca interna T1: Estudi de la norma Tasca interna T2: Recull de les informacions importants i validació *setup*.	**Entregables**	**Data**
Projecte Norma Indústria	*6*	**Ref**
Recerca		**Component principal**
Curta descripció Estudi de la norma relativa als equips de la indústria. La norma aplicada és la UNE EN 55011.	**Esdeveniment d'inici** Normes de mesura estudiades.	**Data planificada inici** 16/05/16
	Esdeveniment final Entesa de la norma i recull de les informacions importants.	**Data planificada final** 02/06/16
Tasca interna T1: Estudi de la norma Tasca interna T2: Recull de les informacions importants i validació *setup*.	**Entregables**	**Data**
Projecte		**Ref**

Norma Il·luminació	*7*	
Recerca		**Component principal**
Curta descripció Estudi de la norma relativa als equips d'il·luminació. La norma aplicada és la UNE EN 55015.	**Esdeveniment d'inici** Normes de mesura estudiades.	**Data planificada inici** 16/05/16
	Esdeveniment final Entesa de la norma i recull de les informacions importants.	**Data planificada final** 02/06/16
Tasca interna T1: Estudi de la norma Tasca interna T2: Recull de les informacions importants i validació *setup*.	**Entregables**	**Data**
Projecte Norma Electrodomèstics	*8*	**Ref**
Recerca		**Component principal**
Curta descripció Estudi de la norma relativa als equips electrodomèstics. La norma aplicada és la UNE EN 55014.	**Esdeveniment d'inici** Normes de mesura estudiades.	**Data planificada inici** 16/05/16
	Esdeveniment final Entesa de la norma i recull de les informacions importants.	**Data planificada final** 02/06/16
Tasca interna T1: Estudi de la norma Tasca interna T2: Recull de les informacions importants i validació *setup*.	**Entregables**	**Data**
Projecte		**Ref**

Connexió amb l'AE	*9*	
Control		**Component principal**
Curta descripció Primera connexió amb l'analitzador d'espectres a través del programa *Matlab*.	**Esdeveniment d'inici** Inici al lloc de treball amb el software instal·lat.	**Data planificada inici** 29/03/16
	Esdeveniment final Comunicació amb l'AE validada.	**Data planificada final** 29/03/16
Tasca interna T1: Validació del correcte funcionament del software. Tasca interna T2: Recerca sobre la comunicació amb l'AE amb que es treballarà. Tasca interna T3: Comunicació amb l'AE.	**Entregables**	**Data**
Projecte Configuració bàsica AE	*10*	**Ref**
Control		**Component principal**
Curta descripció Configuració de l'analitzador espectral a través de *Matlab*.	**Esdeveniment d'inici** Comunicació amb l'AE validada.	**Data planificada inici** 29/03/16
	Esdeveniment final S'ha pogut configurar l'AE.	**Data planificada final** 29/04/16
Projecte Adquisició de dades	*11*	**Ref**
Control		**Component principal**

Curta descripció Adquisició de les dades amb l'analitzador espectral.	**Esdeveniment d'inici** Comunicació amb l'AE validada.	**Data planificada inici** 31/03/16
	Esdeveniment final S'han adquirit dades.	**Data planificada final** 06/04/16
Projecte Configuració AE segons una norma	**Ref** *12*	
Component principal *Software en Matlab*		
Curta descripció Configuració de l'analitzador espectral segons una norma d'equip concret.	**Esdeveniment d'inici** Comunicació amb l'AE validada i tasques 2-4 realitzades correctament.	**Data planificada inici** 07/04/16
	Esdeveniment final AE configurat segons una norma.	**Data planificada final** 08/04/16
Projecte Millora software i funcionalitats bàsiques	**Ref** *13*	
Component principal *Software en Matlab*		
Curta descripció Representació gràfica de les dades obtingudes de manera clara, afegint a les gràfiques els rangs especificats a les diferents normes per poder identificar si els resultats són correctes.	**Esdeveniment d'inici** AE configurat segons una norma.	**Data planificada inici** 11/04/16
	Esdeveniment final Gràfics amb mesures obtinguts.	**Data planificada final** 14/04/16
Tasca interna T1: Representació bàsica. Tasca interna T2: Representació amb	**Entregables**	**Data**

rangs norma.		
Projecte Comparació amb resultats anteriors	**Ref** *14*	
Component principal *Software en Matlab*		
Curta descripció Afegir la possibilitat de poder solapar mesures anteriors per poder comparar-les amb les actuals.	**Esdeveniment d'inici** Anàlisi bàsic de les mesures fet.	**Data planificada inici** 03/06/16
	Esdeveniment final Característica afegida.	**Data planificada final** 07/06/16
Projecte Solapament per a detectors diferents	**Ref** *15*	
Component principal *Software en Matlab*		
Curta descripció Afegir la possibilitat de poder solapar dos límits per a detectors diferents (quasi pic i *average*).	**Esdeveniment d'inici** Anàlisi bàsic de les mesures fet.	**Data planificada inici** 15/04/16
	Esdeveniment final Característica afegida.	**Data planificada final** 21/04/16
Projecte Re-mesura amb quasi-pic	**Ref** *16*	
Component principal *Software en Matlab*		
Curta descripció Afegir funcionalitat de re-mesura amb el detector de quasi-pic en els punts crítics seleccionats.	**Esdeveniment d'inici** Anàlisi bàsic de les mesures fet.	**Data planificada inici** 27/05/16
	Esdeveniment final Característica afegida.	**Data planificada final** 02/06/16

Projecte Calibratge comportament equipament	**Ref** *17*	
Component principal *Software en Matlab*		
Curta descripció Caracteritzar el comportament de l'equipament usat per realitzar les mesures (cables + *LISN*) i afegir la possibilitat de fer una calibratge d'aquest comportament podent inserir el seu arxiu de caracterització.	**Esdeveniment d'inici** Comparació amb resultats anteriors fet.	**Data planificada inici** 18/05/16
	Esdeveniment final Característica afegida.	**Data planificada final** 21/06/16
Tasca interna T1: Caracterització comportament equipament Tasca interna T2: Afegir característica al programa	**Entregables**	**Data**
Projecte Desenvolupament interfície	**Ref** *18*	
Component principal *Software en Matlab*		
Curta descripció Incloent-ho de manera clara totes les característiques desenvolupades de manera clara i *user-friendly* a la interfície gràfica del programa.	**Esdeveniment d'inici** Software bàsic funcionant.	**Data planificada inici** 07/04/16
	Esdeveniment final Interfície acabada.	**Data planificada final** 10/06/16
Projecte Memòria	**Ref** *19*	
Component principal *Documentació*		
Curta descripció Creació, actualització i revisió del document de Memòria del projecte.	**Esdeveniment d'inici** Normes estudiades i idea sòlida del	**Data planificada inici** 08/05/16

	projecte.	
	Esdeveniment final Document de memòria finalitzat i revisat.	**Data planificada final** 24/06/16
Tasca interna T1: Creació del document. Tasca interna T2: Actualització del document. Tasca interna T3: Revisió i lliurament del document.	**Entregables** Memòria	**Data** 27/06/16

Taula 1-2 - Paquets de Treball

Fites

WP#	Tasca#	Breu títol	Fita / entregable	Data
1	1	Proposta de Projecte i Pla de Treball	Document	01/03/16
9	3	Comunicació amb l'AE per *Matlab*	Establir comunicació	29/03/16
13	-	Representació gràfica	Gràfica amb rangs norma	22/04/16
19	-	Desenvolupament interfície/software	Interfície/ software acabat	21/06/16
20	-	Memòria	Document	24/06/16

Taula 1-3 - Fites

1.5.3. Diagrama de Gantt

	Tasca	Duració
1	Proposta de Treball i Pla de Treball	10 días
2	Norma instrumentació	14 días
3	Norma equipament auxiliar	14 días
4	Norma control d'adquisició	14 días
5	Norma TiC	14 días
9	Connexió amb l'AE	1 día
10	Configuració bàsica AE	1 día
11	Adquisició de dades	5 días
12	Configuració AE segons una norma	2 días
18	Desenvolupament interfície	47 días
13	Millora software i funcionalitats bàsiques	4 días
15	Solapament per a detectors diferents	5 días
19	Memòria	24 días
14	Comparació amb resultats anteriors	3 días
6	Norma Indústria	14 días
7	Norma Il·luminació	14 días
8	Norma Electrodomèstics	14 días
17	Calibració comportament equipament	25 días
16	Re-mesura amb quasi-pic	5 días

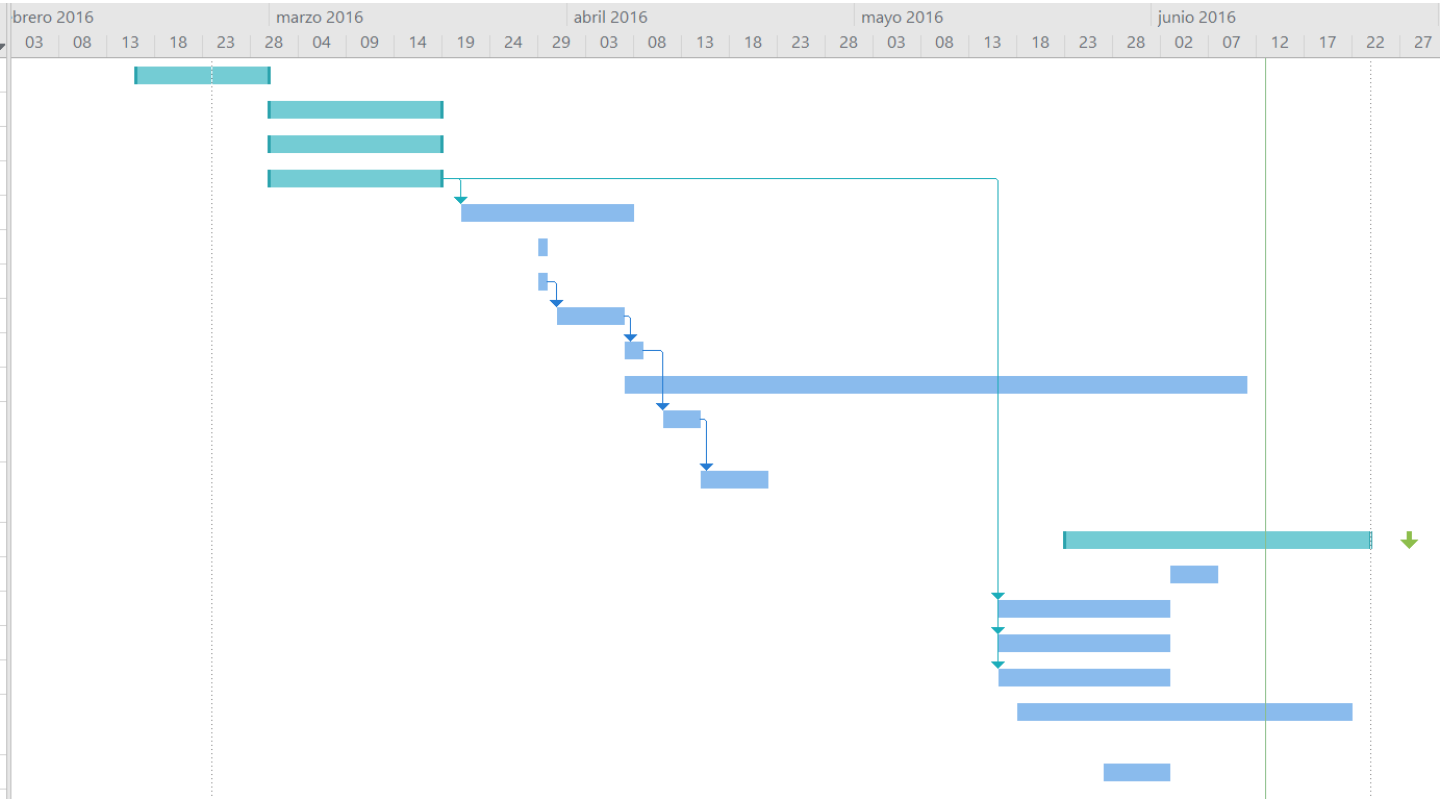

Fig. 1-1 - Diagrama de Gantt

1.5.4. Incidències

Per problemes administratius, no vaig poder començar a l'empresa fins el dia 29 de març. Tot i així, el pla de treball no va ser alterat per aquest motiu.

Les primeres setmanes a la feina van sorgir complicacions a l'hora de poder fer una correcta configuració i adquisició de l'analitzador d'espectres, havent de contactar tant amb el fabricant com amb el distribuïdor de l'equip per la falta de documentació al respecte. Finalment, després de diversos emails i trucades i, sobretot, proves pel meu compte, vaig aconseguir-ho. Això va afectar de manera notòria la planificació.

Per altra banda, també he hagut d'invertir més temps de l'esperat en dissenyar un bon programa, tenint en compte el que més tard voldria afegir i el correcte disseny del comportament d'aquest.

S'ha vist que l'empresa no pot proporcionar totes les normes que en un inici s'havien planejat per incloure-hi suport. Per tant, només s'inclou només per a les que tenen, que, per altra banda, son les que usen.

Un altra problemàtica de l'analitzador d'espectres amb la qual em vaig trobar va ser un comportament estrany d'aquest a baixes freqüències. Això va suposar una desconfiança en totes les mesures obtingudes anteriorment i haver de posar-me en contacte amb el fabricant, a pesar de no tenir-ne resposta. Més endavant, explicaré més detingudament aquest fenomen.

Per últim, una de les funcionalitats que volia incloure en el software va resultar ser inservible. Aquesta era la caracterització i, seguidament, correcció del comportament freqüencial del *setup* de les mesures. Finalment, només es va poder fer pel filtre de transitoris, ja que no es va poder implementar un sistema per a la *LISN*. Però, després d'implementar-lo, em vaig adonar que la correcció que oferia respecte el seu valor màxim d'atenuació era menyspreable comparant-lo amb la incertesa de la mesura, que a més es multiplicava per tres al fer aquesta correcció. Més endavant tractaré amb més profunditat aquest aspecte.

Ja acabant el projecte, es va insistir en que era essencial pel projecte que s'hi inclogués una correcció de la resposta de la *LISN* en el programa. Es va realitzar una recerca sobre com fer la mesura.

1.5.5. Modificacions del Pla de Treball

En el plantejament inicial del projecte, tenia planificat fer un estudi complet de les normatives relatives al projecte. Finalment, vaig repartir aquest treball entre l'inici i el final del projecte.

Degut a la falta de normes proporcionades, finalment només s'estudiaran i se'ls hi donarà suport al programa les normes que han pogut ser facilitades.

A pesar d'un inici ràpid dels primers passos del Pla de Treball, després de sobrepassar els problemes amb la comunicació *Matlab* – instrument, els paquets de treball s'han dilatat més de l'esperat, havent de treballar més en la programació del software per aconseguir-ne un suficientment robust. A més, alguns d'aquests paquets finalment van ser organitzats de manera diferent.

2. Estat de l'Art de la tecnologia usada o aplicada en aquesta tesis

Actualment no hi ha molta oferta de software dedicat a mesures de EMC. Però, n'hi ha un parell a comentar.

2.1. *R&S EMC32*

L'empresa alemanya Rohde&Schwarz proporciona un software per a mesures d'emissions radiades i conduïdes (EMC), a més de susceptibilitat (EMS): R&SEMC32 [3]. Aquest és un software molt complet que és compatible, a més de amb equips propis, amb equips de tercers. Inclou:

- *templates,*
- calibratge i taules de correcció,
- càrrega i emmagatzematge de mesures,
- selecció de paràmetres,
- mesura automàtica i interactiva (manual), permetent parar la mesura,
- comparació en temps real entre detectors,
- mesures automàtiques i manuals de finals (amb detector de quasi-pic) en punts crítics,
- control d'antena,
- visualització de les mesures de radiades en 3D,
- creació d'informes.

Però, encara que promet suport per a equips de tercers, aquest no deu ser fiable. A més, els preus dels equips de *Rohde&Schwarz*i de les llicències de software són alts. En definitiva, el programa ofereix molt més del que és necessari per un preu que no es pot assumir i la seva complexitat podria complicar les necessitats més bàsiques de l'empresa.

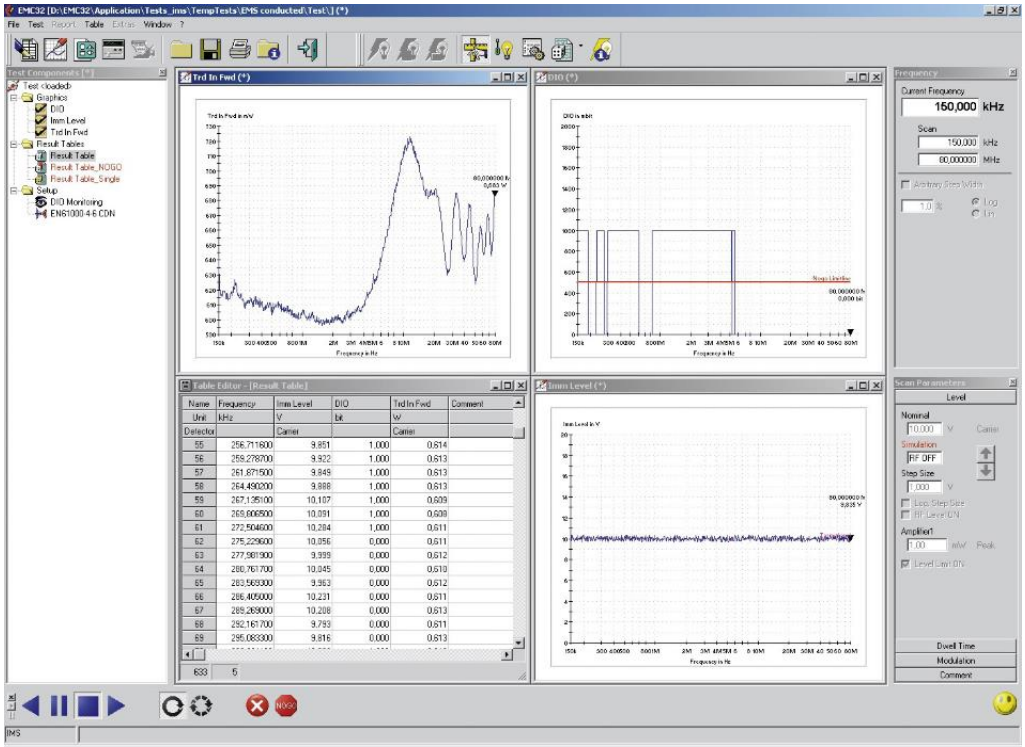

Fig. 2-1 - Captura de pantalla del software R&S EMC32

2.2. ***Rigol EMI Test System***

Per altra banda, l'empresa fabricant de l'analitzador d'espectres usat en aquest projecte, ofereix un software dedicat als tests de conduïdes i de radiades. És un software molt més simple que l'anterior, oferint una interfície simple i no carregada. Aquest inclou:

- Límits predefinits de les normes i definits per l'usuari (es poden carregar i guardar en format *csv*,
- taules de correccions,
- càrrega i emmagatzematge de mesures (en format *csv*),
- configuració de paràmetres de la mesura,
- configuració de finestres en freqüència per fer les mesures,
- creació d'informes.

Fig. 2-2 - Captura de pantalla del software Rigol EMI Test System

Però, aquest tenia unes limitacions que el feien incompatible amb les necessitats de l'empresa. Les impossibilitats de poder visualitzar dues o més mesures simultàniament i de poder aplicar una atenuació i que alguns dels paràmetres no acabessin de ser consistents feien necessari la obtenció d'un nou software.

3. Metodologia / desenvolupament del projecte

3.1. Elecció de la plataforma

Primer de tot, calia decidir sobre quina plataforma seria més idoni programar el software. A sobre de la taula hi havia *LabView* i *Matlab*. La primera ofereix un gran suport envers el control i adquisició d'instrumentació, ja que és un software dedicat íntegrament a aquest objectiu i està enfocat a la programació gràfica i a un disseny de la interfície dinàmic. A més, posa a disposició *drivers* per a pràcticament tot instrument.

Però, la programació gràfica pot arribar a ser molesta i ineficient a l'hora de crear software de gran dimensions, fent difícil el seguiment del flux del programa i tenir-lo organitzat correctament. A més, s'han tingut experiències de pèrdua sobtada de compatibilitat en alguns *drivers*, cosa que suposaria la impossibilitat d'ús del software.

Per altra banda, *Matlab* és una plataforma molt potent de manipulació de matrius que incorpora una gran diversitat d'eines i funcions per a molts diversos camps. Una d'elles és la *Instrument Control Toolbox*. Aquesta incorpora *drivers* per a diversos instruments, entre d'ells, l'usat en aquest cas. Ofereix, per tant, funcions d'alt nivell per a la comunicació amb l'instrument, a més d'una eina per al desenvolupament i test del control de l'instrument (*Test & Measurement Tool*). Amb aquesta pots visualitzar i configurar el hardware disponible pel control, a més de comunicar-se amb aquest i provar les comandes. Per a la interfície, incorpora una eina anomenada *GUIDE*, que dóna suport gràfic al disseny i a la programació de la interfície.

Matlab també s'actualitza bianualment, però de manera estable. A més, darrera hi ha una gran comunitat molt activa que ajuda a resoldre dubtes i ofereix gran quantitat de treball ja fet i, normalment, de qualitat.

A pesar l'alt cos de l'eina *Instrument Control Toolbox*, es va decidir, junt amb l'empresa, que el més adequat per aquest cas era *Matlab*, del qual ja disposaven d'una llicència.

3.2. Primers passos

3.2.1. Estudi de les normes

Les primeres setmanes les vaig dedicar a l'estudi de les normes dedicades a com realitzar els tests d'emissions conduïdes. Aquestes inclouen el mètode i *setup* de mesura (*CISPR 16-2-1*) i els requeriments per a l'equip de mesura (*CISPR 16-1-1*) i l'auxiliar (*CISPR 16-1-2*).

D'aquestes vaig treure punts importants per a tenir en compte a l'hora de dissenyar el software. A més, es va fer una comprovació que tant el *setup* com l'equipament fos el requerit per les normes.

3.2.2. *Matlab* i l'analitzador d'espectres

Per poder aconseguir una correcta configuració i adquisició de l'analitzador d'espectres, va ser necessari contactar tant amb el fabricant com amb el distribuïdor de l'equip per la falta de documentació al respecte. Finalment, després de diversos emails i trucades i, sobretot, proves pel meu compte, va ser

possible realitzar-ho. Però, els temps d'espera necessaris després de cada una de les configuracions dels paràmetres i del *reset* van ser escollides a prova i error.

Els primers contactes entre *Matlab* i l'analitzador es van realitzar mitjançant l'eina *Test & Measurement Tool* de *Matlab*. Aquesta permet escriure i llegir del instrument mitjançant comandes *SCPI* (*Standard Commands for Programmable Instruments*).

Per a la comunicació amb el instrument, s'usa una *API* de comunicació amb instrumentació àmpliament utilitzada : *VISA* (*Virtual Instrument Software Architecture*) [4]. Aquest estàndard suporta diversos tipus d'interfície. Entre ells, el necessari en aquest cas, l'USB.

Per altra banda, *Matlab* ofereix suport per a *drivers IVI* [5] [6]. Aquests són uns *drivers* d'arquitectura oberta compatibles amb una gran varietat d'instruments. Entre ells, l'usat en aquest projecte.

Per tant, *Matlab* es comunica amb l'analitzador d'espectres mitjançant el *driver IVI* a través de la interfície USB de *VISA*. Per iniciar aquesta comunicació s'ha de crear l'objecte *VISA* i connectar-s'hi.

3.2.3. Control de l'analitzador d'espectres

Un cop s'ha establert la comunicació amb l'instrument, aquest es controla mitjançant comandes *SCPI* (*Standard Commands for Programmable Instruments*) [7] [8]. Aquest és un estàndard que defineix una sintaxi i unes comandes pel control d'instrumentació. El fabricant de l'analitzador facilita un document que especifica, encara que de manera no suficient, quines comandes són utilitzades.

En aquest cas, les utilitzades són:

Comanda	Funció
:ABORT	Suspèn la operació actual i reinicia l'escombrat.
:INIT:CONT OFF	Configura l'escombrat únic.
:SENSe:POWer:RF:ATTenuation x	Configura l'atenuació en dB de l'atenuador d'RF.
:UNIT:POWer DBUV	Configura les unitats de l'eix Y en dBuV.
:DISPlay:WINdow:TRACe:X:SPACing LOG	Configura l'eix X en logarítmic.
:SENSe:SWEep:TIME:AUTO ON	Configura en automàtic el temps d'escombrat.
:SENSe:BANDwidth:EMIFilter:STATe ON	Activa el filtre EMI.
:SENSe:BANDwidth:RESolution x	Configura l'ample de banda de resolució en x Hz.
:SENSe:FREQuency:START x	Configura la freqüència d'inici de l'escombrat en x Hz.

:SENSe:FREQuency:STOP x	Configura la freqüència final de l'escombrat en x Hz.
:CALCulate:MARKer1:CPEak:STATe ON	Activa la funció de marcatge dels pics.
:SENSe:DETector:FUNCtion POSitive	Configura el detector com a detector de pic positiu.
:SENSe:DETector:FUNCtion QPEak	Configura el detector com a detector de quasi-pic.
:SENSe:DETector:FUNCtion RMS	Configura el detector com a detector de valor mig.
:OUTPut ON	Activa la sortida del generador de *tracking*.
:OUTPut OFF	Desactiva la sortida del generador de *tracking*.
*RST; *CLS	Reseteja la configuració de l'AE i neteja els registres d'esdeveniments i la cua d'errors.
:INITIATE:IMMEDIATE	Inicia un escombrat.
:TRACe:DATA? TRACe1	Llegeix les dades d'un escombrat.
:OUTPut?	Consulta l'estat de la sortida del generador de *tracking*.
*IDN?	Consulta la identitat de l'instrument.
:SWEep:TIME?	Consulta el temps d'escombrat de l'AE.
:STATus:OPERation:CONDition?	Consulta el registre d'estat de l'AE. Retorna 0 quan no està fent una mesura.

Taula 3-1– Comandes *SCPI* usades

En l'activació de la sortida del generador de *tracking* i en el *reset* de l'aparell s'espera 1 segon per a l'estabilització de l'equip. Aquest temps no s'indica per part del fabricant, així que s'ha trobat a partir de prova i error.

3.3. Desenvolupament del software

El software s'ha dissenyat en dues parts independents: funcionalitat i interfície. La part de funcionalitat ha estat dissenyada de la manera més modular i robust possible. A més, s'ha intentat que es pugui mantenir fàcilment.

Durant el disseny, s'ha anat treballant amb diagrames de blocs per situar cada una de les funcions i subfuncions i les variables amb les que s'interconnectaven.

Per altra banda, la interfície ha estat dissenyada de manera simple, d'una sola finestra on configurar tots els paràmetres i on obtenir els resultats.

El software ha estat desenvolupat mitjançant la documentació oficial de *Matlab* a més de a través de la recerca i consultes d'informació al fabricant de l'analitzador d'espectres i en els fòrums de *Mathworks*.
S'ha mantingut un historial de revisions del software, tenint una versió per dia i una col·lecció de captures de pantalla dels resultats per poder tenir control de les millores.

3.4. Mètode de verificació de resultats

Durant tot el projecte s'ha anat realitzant tests amb diferents equips. Les mesures es comparaven amb les obtingudes manualment amb l'AE. A més algun dels tests s'han pogut comparar amb resultats del laboratori del Grup de Compatibilitat Electromagnètica de la UPC (GCEM), laboratori que dóna suport d'assajos d'EMC.

4. Resultats

4.1. Software resultant

Finalment s'ha creat un software que compleix la majoria de requisits i especificacions establerts. El resultat és un software d'aspecte simple, d'una sola finestra i prou robust per a un ús adequat.

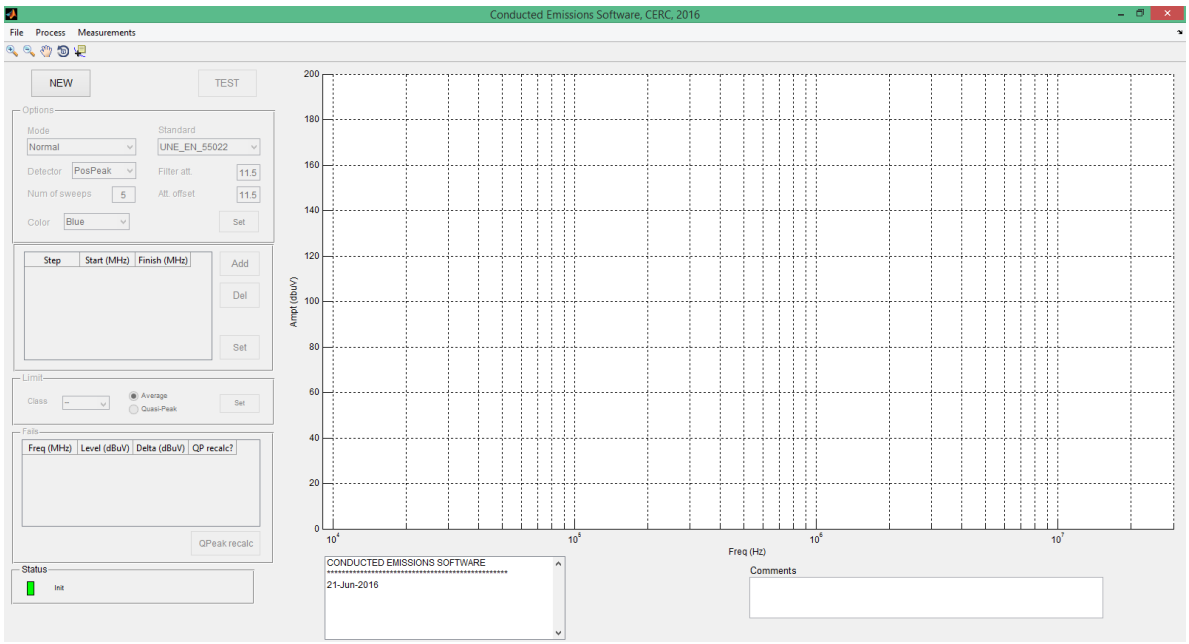

Fig. 4-1 - Captura de pantalla del software en estat d'inici

Aquest configura els paràmetres de l'analitzador d'espectres, adquireix les mesures i les tracta de manera que ofereix informació gràfica sobre el compliment de les normatives europees d'emissions conduïdes indicades per a l'aparell testejat.

Està implementat per les normes següents:

- UNE-EN 55022 (emissions d'aparells TIC),
- UNE-EN 55011 (emissions d'aparells d'indústria),
- UNE-EN 55015 (emissions d'aparells d'il·luminació),

a falta de la UNE-EN 55014 (emissions d'aparells electrodomèstics), ja que l'empresa no disposa d'aquesta i tampoc tenen previst assajar aquest tipus d'equips.

El programa dibuixa en una gràfica els resultats de les mesures, solapant els límits de nivell definits per la norma de producte escollida, mostrant tant el límit de quasi-pic com el de valor mig. Els punts que sobrepassin el límit escollit són marcats amb punts vermells. Els punts que es quedin per sota d'aquest amb un marge inferior a la incertesa de la mesura són marcats en taronja. A més, es poden realitzar múltiples escombrats, mantenint finalment els valors màxims.

La incertesa de la mesura va ser calculada, obtenint-se de 2,46 dB amb un nivell de confiança del 99%.

Es permet fer una fragmentació de la mesura en diverses finestres, fent que la mesura es vagi visualitzant de manera progressiva. A més, es poden mostrar al gràfic diverses mesures simultàniament, podent escollir el color per a cada una d'elles i podent anar escollint quina és la mesura actual per a poder modificar-li certs paràmetres i recalcular si el test és satisfactori per a diferents tipus de límit.

El software també permet guardar en disc les mesures actual que es seleccionin. Es guarden en format propietari de *Matlab* (*.mat*). A més, es pot guardar una captura del programa per poder visualitzar la gràfica junt amb els paràmetres configurats i comentaris sobre les mesures. Les mesures guardades poden ser més tard carregades, afegint-se a les actuals. Veure B.8 i B.9 per a més informació.

Addicionalment, s'ha afegit una sèrie de funcionalitats que no constaven inicialment als requeriments:

- Es pot definir una norma indicant freqüència d'inici, freqüència final, ample de banda de resolució i límit aplicat. Aquesta quedarà guardada durant l'execució del programa.
- Un mode de caracterització, que a partir del propi generador de *tracking* de l'AE, mesura i dibuixa la característica freqüencial d'un muntatge.
- Possibilitat de realització de mesures finals en punts crítics seleccionats amb detector de quasi-pic, per així no haver de fer tota la mesura amb aquest detector, evitant un gran temps de mesura.
- Eliminar les mesures que siguin seleccionades, tant l'actual, l'última o totes alhora. A més, incorpora un *reset* per restablir el programa al seu estat inicial.

A l'Annex B s'inclou un manual d'usuari del programa, incloent una més àmplia informació sobre totes les funcionalitats acompanyada de captures de pantalla.

A continuació, es mostra una comparació d'un assaig d'un mateix equip amb aquest software i el realitzat al GCEM.

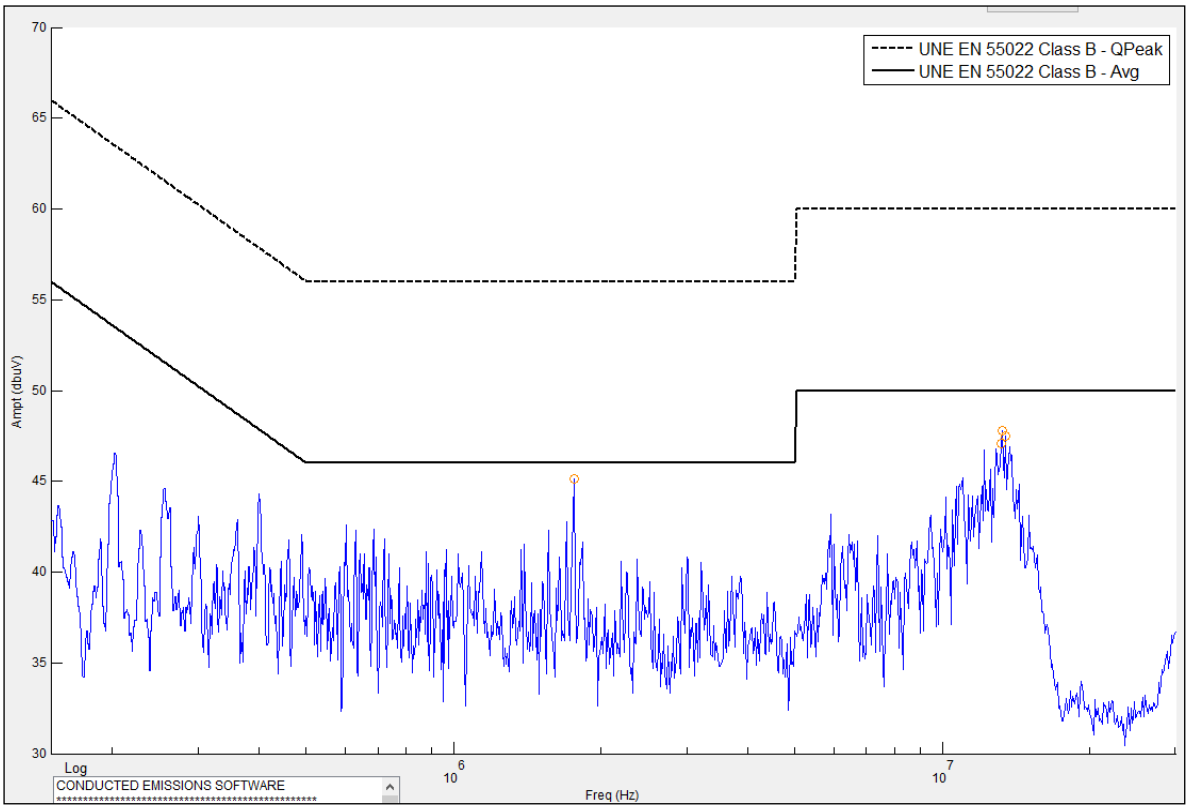

Fig. 4-2 - Mesura de valor mig d'una font amb el límit de classe B de la norma UNE EN 55022 aplicat, usant el software del projecte

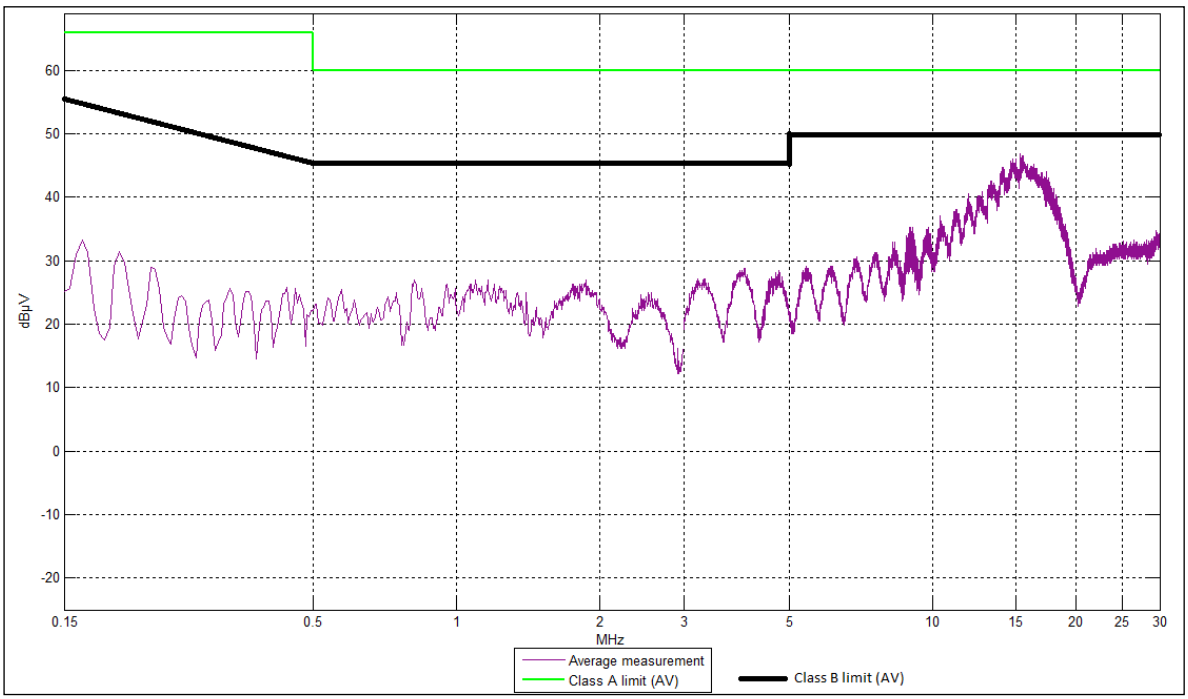

Fig. 4-3 – Resultat del GCEM de mesura de valor mig d'una font amb el límit de classe B de la norma UNE EN 55022 aplicat

Com es pot observar, les gràfiques no són exactament iguals. S'hi troben 3 diferències: la línea de dibuix de la segona és més suau, el punt crític que apareix entre 1 i 2 MHz i el nivell mínim al que s'arriba al voltant dels 20 MHz.

Totes aquestes diferències tenen dues possibles raons. En el cas de la primera mesura, es van realitzar diferents escombrats, mantenint el nivell més alt en cada punt. Llavors s'arriba a la conclusió que o al GCEM només realitzen un escombrat o que apliquen una mitjana a les mesures de diferents escombrats. Per tant, el punt crític a 1-2 MHz podria ser un pic espuri.

4.2. Muntatge realitzat

Per a la realització dels assajos d'emissions conduïdes s'ha treballat amb un muntatge ja preparat amb anterioritat per l'empresa. Aquest ha sigut verificat i aprovat segons els requeriments de les normes.

A l'annex A.1 s'inclou informació al respecte del muntatge que s'ha realitzat, incloent imatges d'aquest.

4.3. Requeriments i especificacions no assolits

L'analitzador d'espectres té algunes mancances respecte la norma:

- L'analitzador usat no compleix el requeriment de ROE, que amb una configuració de 10 dB d'atenuació és de 1,5, quan hauria de ser de 1.2.Això està directament relacionat amb l'error de la mesura degut a desadaptació.
- No ha sigut testejat si l'equip és immune a un camp de 3 V/m. Segons la norma (CISPR 16-1-1), en les freqüències que no ho compleixi, s'ha d'especificar l'error introduït. Però, no s'ha pogut realitzat el test.
- No inclou filtres de preselecció. Podria suposar problemes amb la detecció de quasi-pic de senyals impulsives de baixa freqüència de repetició de pols (*PRF*).
- No s'ha comprovat des de 2013 si el nivell de soroll de fons de l'equip és suficientment baix com per a mesurar senyals de baix *PRF*.
- El rendiment del detector s'ha dissenyat per satisfer els requeriments de la norma, però no ha sigut testejat. Aquesta podria suposar la mancança més important.

Respecte la caracterització i, seguidament, correcció del comportament freqüencial del *setup* de les mesures, pel cas del filtre limitador de transitoris, després d'implementar-lo em vaig adonar que la correcció que oferia respecte el seu valor màxim d'atenuació era menyspreable comparant-lo amb la incertesa de la mesura, que a més es multiplicava per tres al fer aquesta correcció. Per tant, es va descartar afegir aquesta funcionalitat i transforma-la com a una simple funció per a tenir una idea de la resposta d'un filtre o muntatge.

Pel cas de la *LISN*, no s'ha pogut realitzar una comprovació de les especificacions requerides a la norma CISPR 16-1-2, ja que aquesta s'hauria de realitzar en un laboratori de calibratge. Però, tampoc ha pogut afegir-se la correcció requerida de la resposta de la *LISN*, anomenada a la norma com a factor de divisió de tensió, ja que no va ser possible realitzar el mètode de mesura d'aquest definit a la norma per falta d'informació.

Segons l'annex A.8 de la norma CISPR 16-1-2, aquesta mesura del factor de divisió de tensió ha de realitzar-se amb la *LISN* no alimentada. Però, en el nostre cas, al no alimentar-la, no obteníem cap senyal a la sortida RF d'aquesta. A més, el fabricant es va

negar a resoldre els dubtes en relació a aquest tema sense encarregar-se ells mateixos de realitzar-ho a través d'una contractació del servei.

5. Costos

Al tractar-se d'un projecte que no inclou un prototip, no s'inclou una llista de components. Però, sí que s'han fet ús d'uns seguit d'eines, tant de hardware com de software. Aquestes són:

- *MATLAB - Individual License*: **2.420 €**
  - Software base usat per la programació i de la funcionalitat i de la interfície.
- *Instrument Control Toolbox - Individual License*: **1.210 €**
  - *Toolbox* de *MATLAB* usada per a la comunicació amb la instrumentació.
- Rigol DSA 815-TG: **1.800 €**
  - Analitzador d'espectres amb el qual s'ha treballat.
- R&S Hameg HM 6050-2: **1.000 €**
  - *LISN* utilitzada en el *setup* de les mesures.
- R&S Hameg HZ 560: **180 €**
  - Filtre limitador de transitoris usat en el *setup* de les mesures.
- Toshiba Satellite: **600 €**
  - Portàtil usat per a la programació del software i en el qual es farà servir aquest.
- Material electrònic auxiliar: **25 €**
  - Cables i connectors.
- • Muntatge per al *setup*: **1.000 €**
  - Taula de fusta (300 €), planxes conductores (2x 200 €), diferencial programable WRU10 (300 €).
- Normes usades: **455,6€**
  - CISPR 16-1-1: 84,53 €
  - CISPR 16-1-2: 71,35 €
  - CISPR 16-2-1: 100 €
  - UNE-EN 55011: 66,47 €
  - UNE-EN 55015: 48,72 €
  - UNE-EN 55022: 84,53 €
- Cost de dedicació: **4.800 €**
  - Cost/hora: 8 €/h
  - Hores de dedicació: 500 h

COST TOTAL: 11.070,60 €

Degut a que el software no suposa un producte a la venta, ja que serà usat només per l'empresa per a ús intern, no s'inclou cap estudi econòmic o financer.

6. Conclusions i desenvolupament futur

Com a resultat del projecte dut a terme, s'ha obtingut un software capaç de realitzar mesures automàtiques d'emissions conduïdes. A pesar de no haver pogut complir alguns dels requeriments i de les especificacions (veure 4.3), el software s'adequa a les necessitats internes de l'empresa.

Algunes de les especificacions, les referides a l'AE, no depenien del projecte en sí, ja que es tracta d'instrumentació ja adquirida per l'empresa i que no era substituïble.

Per tant, amb els requeriments i especificacions majorment complerts, l'objectiu del projecte ha sigut assolit.

Per altra banda, com a treball futur, s'haurien de poder assolir tots els requeriments i especificacions. Per tant, s'hauria de realitzar un calibratge de la *LISN* en un laboratori especialitzat i afegir la correcció de la resposta d'aquesta al programa. Aquesta funcionalitat es podria incorporar com a opció, podent afegir una taula de correcció manualment.

A més, es podria fer una comprovació dels requeriments de l'AE que no han pogut ser realitzats. En aquest cas podria ser necessari també recórrer a un laboratori especialitzat. Però, al conèixer ja que alguns dels requeriments no es compleixen, podria ser interessant buscar un altre equip de mesura que realment sigui complidor dels requeriments de la norma.

Finalment, com a conclusions personals, em vaig plantejar aquest treball com un repte, no només per introduir-me en el món de l'EMC, sinó també per enfrontar-me a un entorn laboral, ja que el software l'he hagut de defensar tant amb l'empresa com amb clients d'aquesta que veien com era utilitzat per a fer assajos als seus equips.

Doncs, personalment el projecte també ha sigut satisfactori. Aquest m'ha aportat una introducció al món laboral i a poder conèixer més sobre l'EMC i com es treballa en l'etapa de disseny i desenvolupament per complir els requeriments normatius.

Bibliografia

[1] Norma europea, *Especificación para métodos y aparatos de medida de las perturbaciones radieléctricas y de la inmunidad a las perturbaciones radioeléctricas. Parte 2-1: Métodos de medida de las perturbaciones radioeléctricas. Medidas de las perturbaciones conducidas*, cap. 6.5. AENOR, UNE-EN 55016-2-1, Març, 2015.

[2] Norma europea, *Especificación para métodos y aparatos de medida de las perturbaciones radieléctricas y de la inmunidad a las perturbaciones radioeléctricas. Parte 2-1: Métodos de medida de las perturbaciones radioeléctricas. Medidas de las perturbaciones conducidas*, cap. 6.5.3 i 8.3. AENOR, UNE-EN 55016-2-1, Març, 2015.

[3] "Integrated Measurement System R&S ® IMS". Rohde & Schwarz. [Online] Available: http://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_news_from_rs/185/n185_ims.pdf.

[4] "VISA Overview". Mathworks, 2016. [Online] Available: http://es.mathworks.com/help/instrument/visa-overview.html

[5] "IVI Instrument Drivers and MATLAB". Mathworks. [Online] Available: https://es.mathworks.com/products/instrument/supported/ivi.html

[6] "Welcome to the Interchangeable Virtual Instruments Foundation". IVI Foundation. [Online] Available: http://www.ivifoundation.org

[7] "DSA815 Programming Guide ". Rigol. [Online] Available: http://beyondmeasure.rigoltech.com/acton/attachment/1579/f-00a8/0/-/-/-/-/file.zip

[8] "Using SCPI Commands". Rigol. [Online] Available: http://es.mathworks.com/help/instrument/using-scpi-commands.html

[9] Norma europea, *Especificación para métodos y aparatos de medida de las perturbaciones radieléctricas y de la inmunidad a las perturbaciones radioeléctricas. Parte 2-1: Métodos de medida de las perturbaciones radioeléctricas. Medidas de las perturbaciones conducidas*, cap. 7.3.2. AENOR, UNE-EN 55016-2-1, Març, 2015.

[10] "Write Callbacks in GUIDE". Mathworks, 2016. [Online] Available: http://es.mathworks.com/help/matlab/creating_guis/write-callbacks-using-the-guide-workflow.html

[11]

Annex A. Mètode de realització d'un assaig

En el següent annex, s'explica el correcte mètode que s'ha de seguir per a realitzar una assaig a un equip.

A.1. Muntatge de l'assaig

En aquest apartat s'indica quin equipament és usat en aquest cas i s'exposa un exemple de muntatge per a un assaig d'una font d'alimentació. Aquesta està alimentant una càrrega simulada amb un aparell de càrrega electrònica. A l'entrada de l'AE s'afegeix un filtre limitador de transitoris.

Per a més informació sobre com ha de ser aquest depenent de cada tipus de producte, consultar els apartats 7.4, 7.5 i 7.6 de la norma CISPR 16-2-1.

A.1.1. Equipament necessari

L'equipament usat en aquest projecte és el següent:

- ***LISN*** [9]: es tracta d'una xarxa artificial de potència en V 50 Ω/50 μH + 5 Ω (*V-AMN*), coneguda també com a xarxa d'estabilització d'impedàncies. Aquesta és necessària per proporcionar una impedància de línea coneguda, simulant xarxes extenses. A més, ofereix un aïllament de possibles senyals RF provinents de la xarxa. La utilitzada en aquest cas es una R&S Hameg HM6050-2.
- **Filtre limitador de transitoris** [9]: es recomana l'ús d'aquest filtre per protegir l'equip de mesura (AE). En aquest cas s'usa un R&S Hameg HZ560.
- **Analitzador d'espectres**: equip de mesura en el domini freqüencial. La norma que especifica quins requeriments són necessaris en ell es la CISPR 16-1-1. En aquest cas s'usa un Rigol DSA 815-TG, que permet un control per USB.
- ***ESE***: equip que és sotmès a l'assaig.
- ***Càrrega***: càrrega electrònica per simular càrrega real de l'*ESE*.
- **Portàtil** amb el software del projecte i *Matlab* instal·lat.

A.1.2. Exemple de muntatge

Fig. A-1 - Setup general assaig

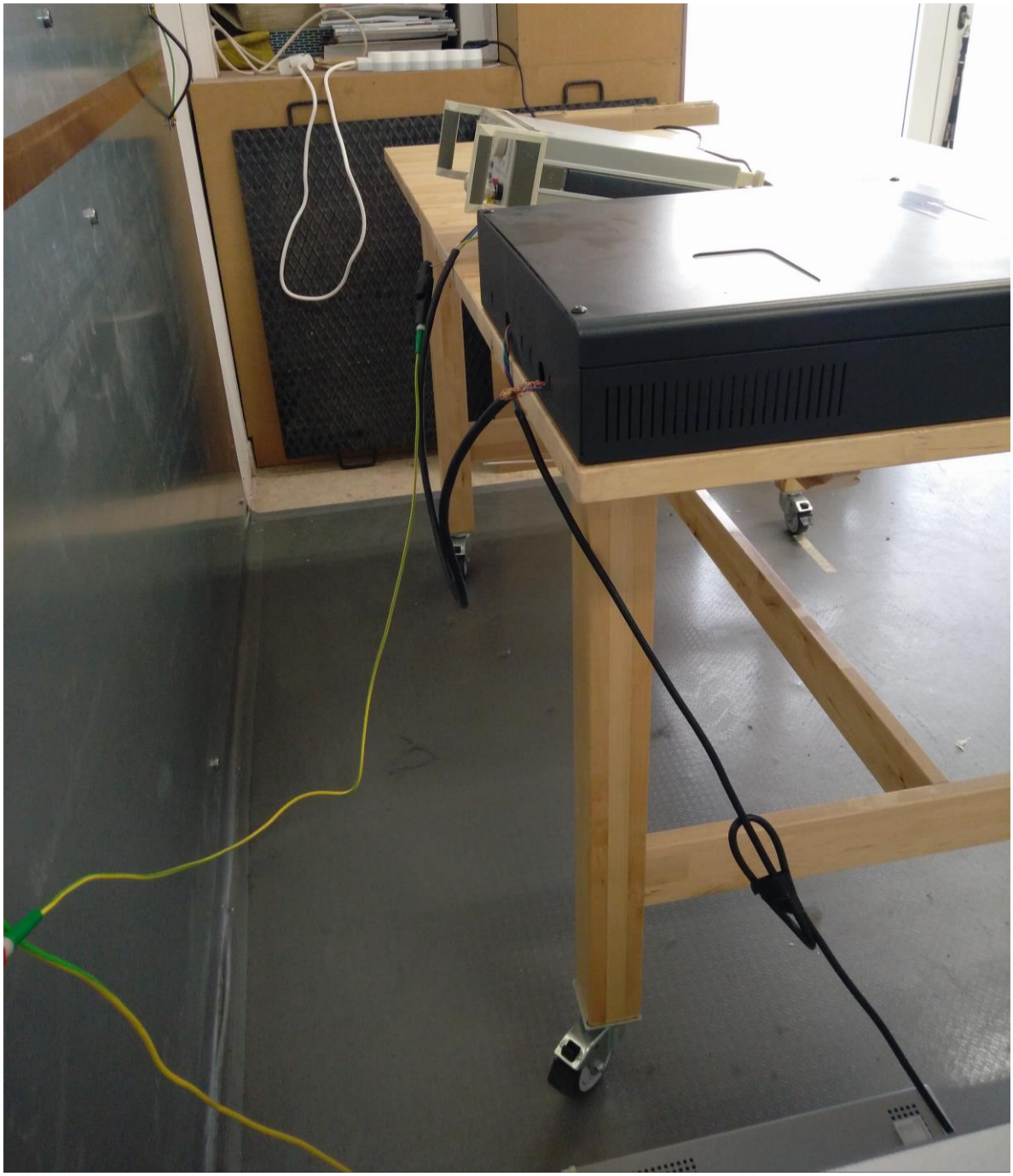

Fig. A-2 - Setup assaig: *ESE* i càrrega

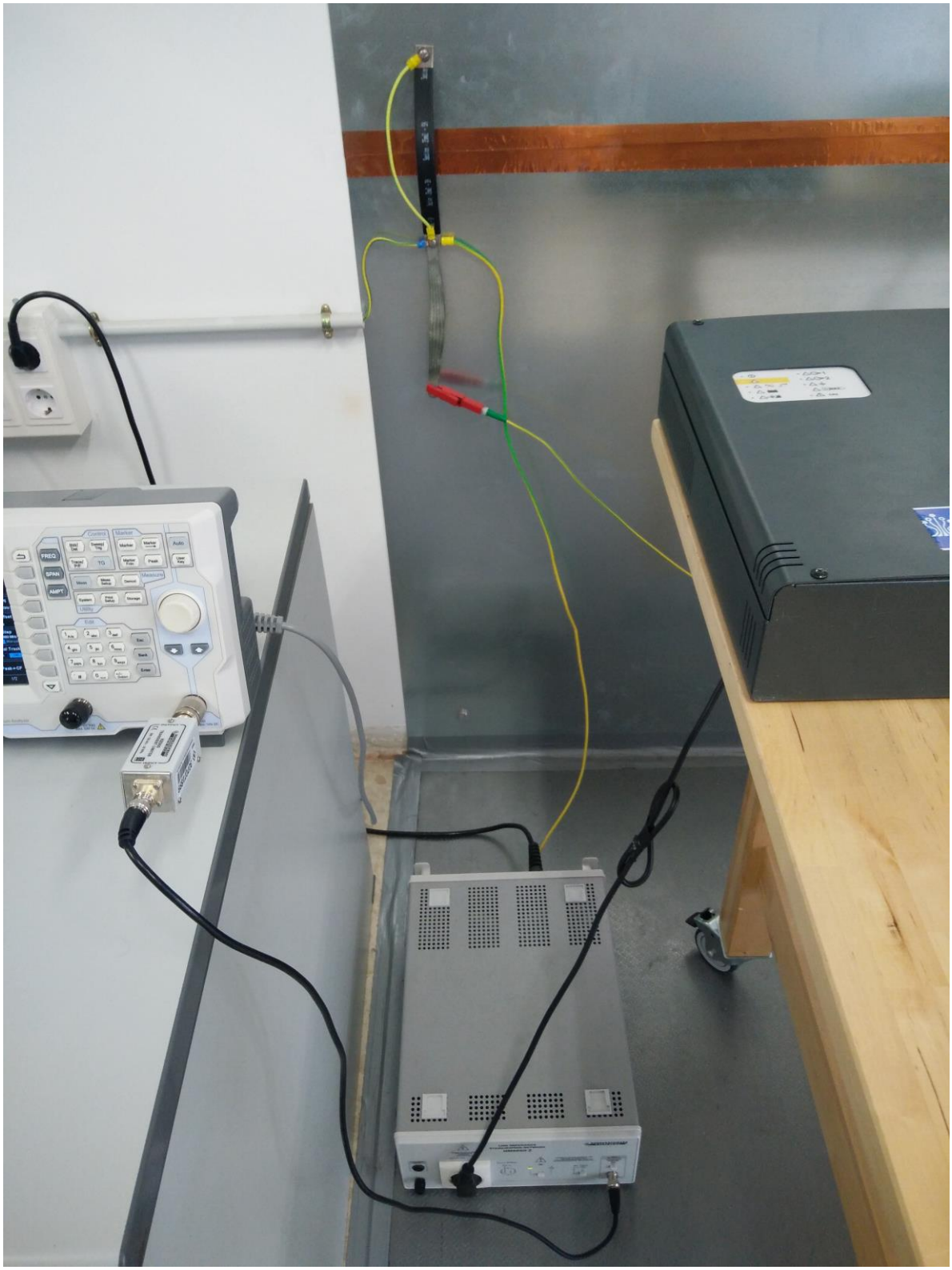

Fig. A-3 - Setup assaig: *ESE*, *LISN* i AE amb limitador de transitoris

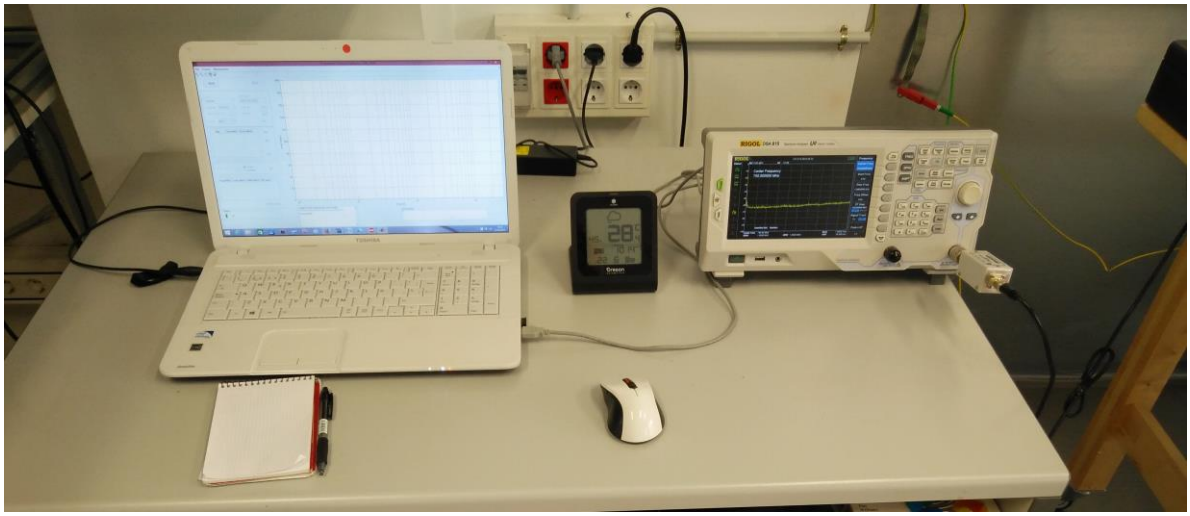

Fig. A-4 - Setup assaig: portàtil i AE amb limitador de transitoris

A.2. Realització de l'assaig

Un cop realitzat el muntatge especificat, s'ha d'encendre l'aparell de mesura, en aquest cas l'AE, i esperar el temps requerit per aquest.

Alimentar l'*ESE* a través de la *LISN*. S'ha de fer treballar l'equip en les mesures normals en què ha estat dissenyat. Per exemple, una font d'alimentació ha de ser connectada a una càrrega real o simulada que demani la mateixa potència especificada.

Amb el programa ja iniciat, configurar l'assaig com correspongui i iniciar-lo (veure Annex B).

L'estratègia més recomanada per a realitzar l'assaig es fer primerament una mesura amb el detector de pic (*PosPeak*). Si la mesura passa no té cap punt crític amb el límit de valor mig (*average*), l'assaig passa a ser satisfactori directament.

Sinó, s'hauria de fer una segona mesura amb detector de valor mig (*Avg*). Si aquest supera amb èxit l'assaig amb el límit de valor mig, s'hauria de realitzar una tercera mesura amb detector de quasi-pic. Aquesta mesura pot durar diversos minuts, ja que és un detector bastant més lent. Una estratègia seria fer la mesura només en els voltants de la mesura en valor mig que més a prop estiguin del límit. Si no se supera amb el límit de quasi-pic, l'assaig serà negatiu.

Si la mesura amb detector de valor mig no superés l'assaig però només es tractés d'uns pocs punts crítics, al voltant de 10, es podria realitzar una re-mesura amb detector de quasi-pic en els punts crítics desitjats amb la funcionalitat de mesures finals del programa.

En el cas que aquesta re-mesura presenti punts més elevats del límit de quasi-pic, el resultat de l'assaig serà negatiu.

Aquest assaig s'haurà de fer per a cada una de les línies de l'alimentació de l'*ESE*.

Es recomana usar la funció de guardar i carregar mesures del programa per a poder comparar posteriorment les actuals mesures amb de noves.

Annex B. Manual d'usuari del programa

En el següent annex, s'explica el correcte ús del programa, indicant quin són els passos a realitzar en tot moment. Però, el software ja guia de manera visual quin és el seu flux de funcionament.

B.1. Arrancada del programa

Per obrir el programa, obrir l'arxiu *CES_INIT.bat*. Aquest iniciarà el software mantenint la finestra de *Matlab* oculta. El programa requereix, però, tenir *Matlab* instal·lat.

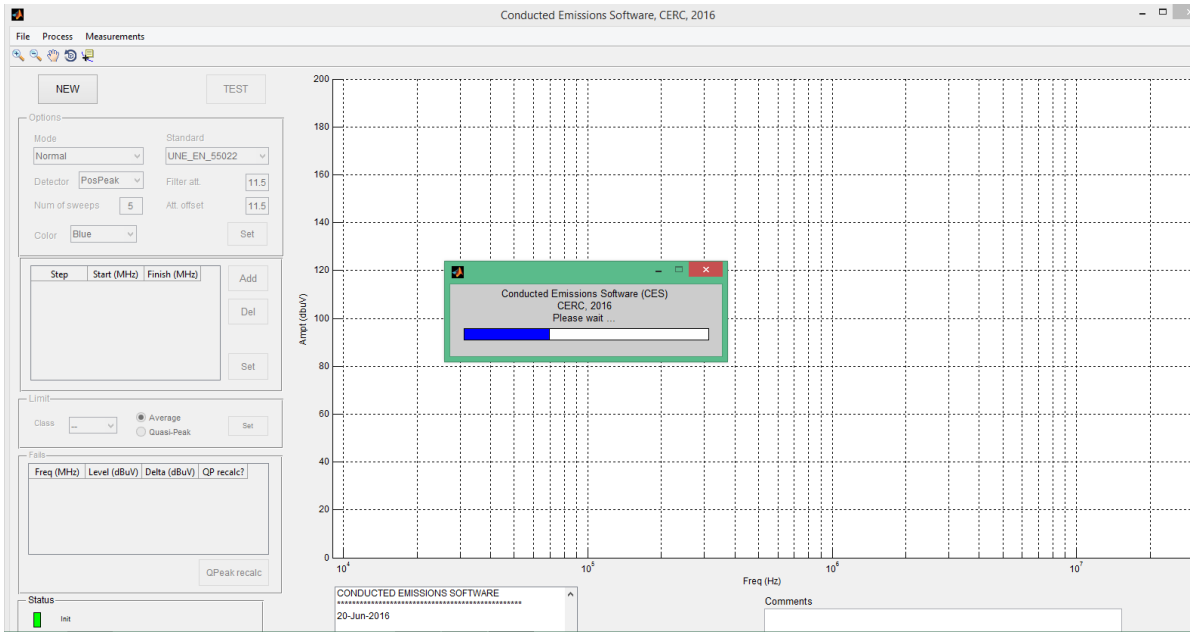

Fig. B-1 - Inici del programa

Un cop acabi d'arrencar, ja es podrà iniciar la configuració d'una nova mesura.

B.2. Nova mesura i configuració d'aquesta

Per realitzar una nova mesura, cal polsar el botó *NEW*. Llavors s'activarà el panell d'opcions:

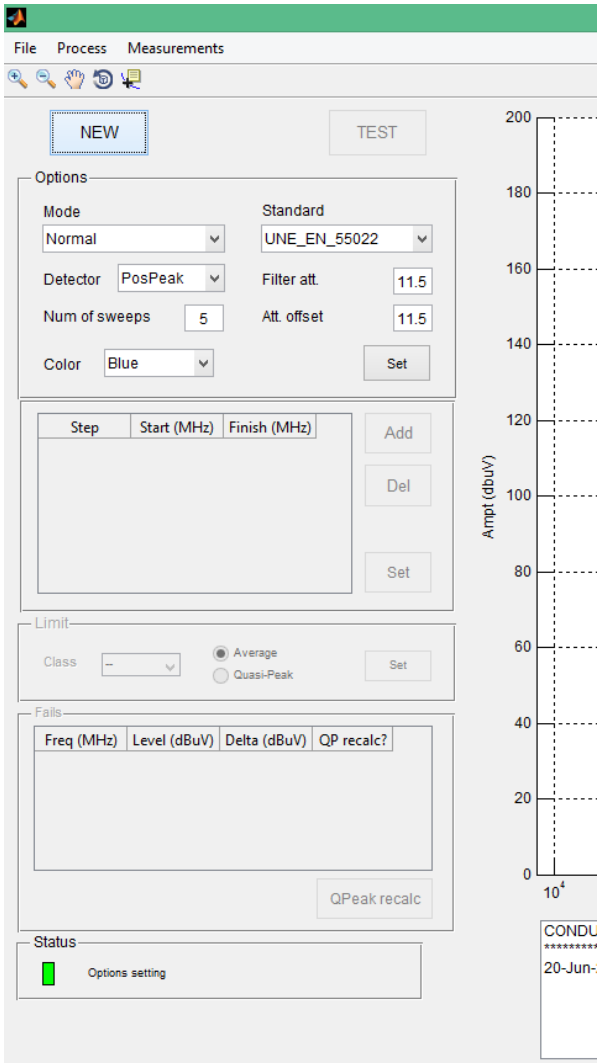

Fig. B-2 - Configuració de les opcions

- *Mode*: '*Normal'* per a realitzar una mesura; '*Characterization'* per caracteritzar un circuit.
- *Standard*: selecciona la norma amb què es vol realitzar el test. *'User defined'* dóna la opció de poder definir una nova norma (veure B.3).
- *Detector*: selecciona el detector amb què l'AE realitzarà la mesura.
- *Num of sweeps*: número d'escombrats que realitzarà l'AE.
- *Color*: color en què es dibuixarà la mesura a la gràfica.
- *Filter att.*: atenuació en dB produïda pel filtre limitador de transitoris. Aquest valor serà sumat a la mesura.
- *Att. offset*: atenuació en dB no produïda pel filtre limitador de transitoris (produïda per la *LISN* i altres components). Aquest valor serà sumat a la mesura.

A l'inici del programa i després de cada *reset*, aquestes opcions tornaran als valors per defecte.

Per acceptar les opcions i avançar al següent pas, cal donar-li a *Set*.

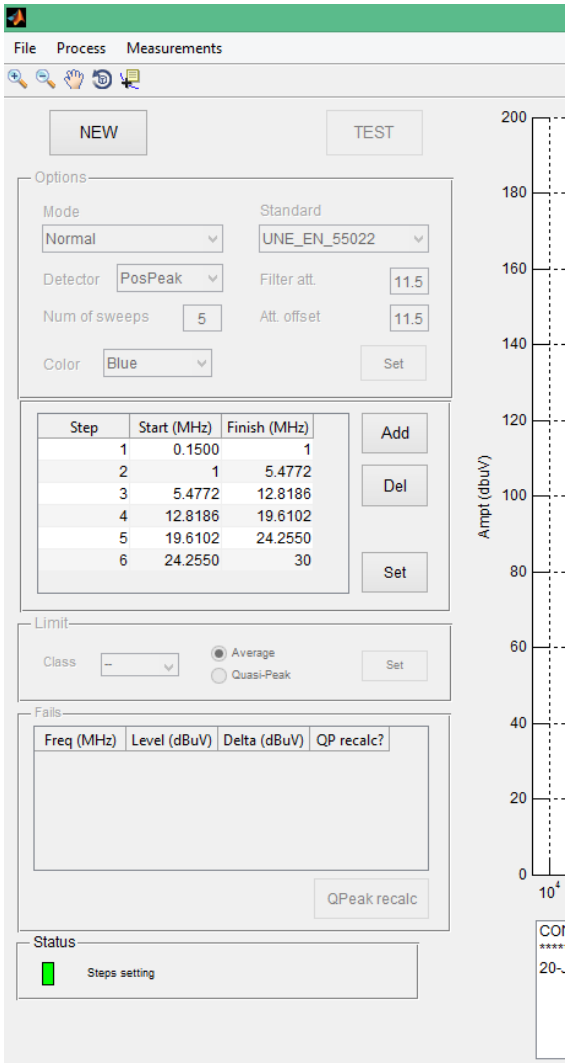

Fig. B-3 - Configuració de les finestres freqüencials

En aquest panell es podran seleccionar les finestres en què es realitzarà la mesura. Per defecte, apareixerà la configuració recomanada per tenir suficients punts en tot el rang de freqüència i per a què la duració de la mesura de cada una d'elles sigui similar.

Per afegir una nova finestra, cal donar-li a *Add*. Així, s'afegirà una nova finestra entra la penúltima i la última. Però, totes es poden modificar.

Per eliminar una finestra, cal donar-li a *Del*. El número de finestres s'anirà escorçant.

Per acceptar la configuració de les finestres i avançar al següent pas, cal donar-li a *Set*. Si es detecta alguna incorrecció en aquestes, s'avisarà mitjançant una notificació.

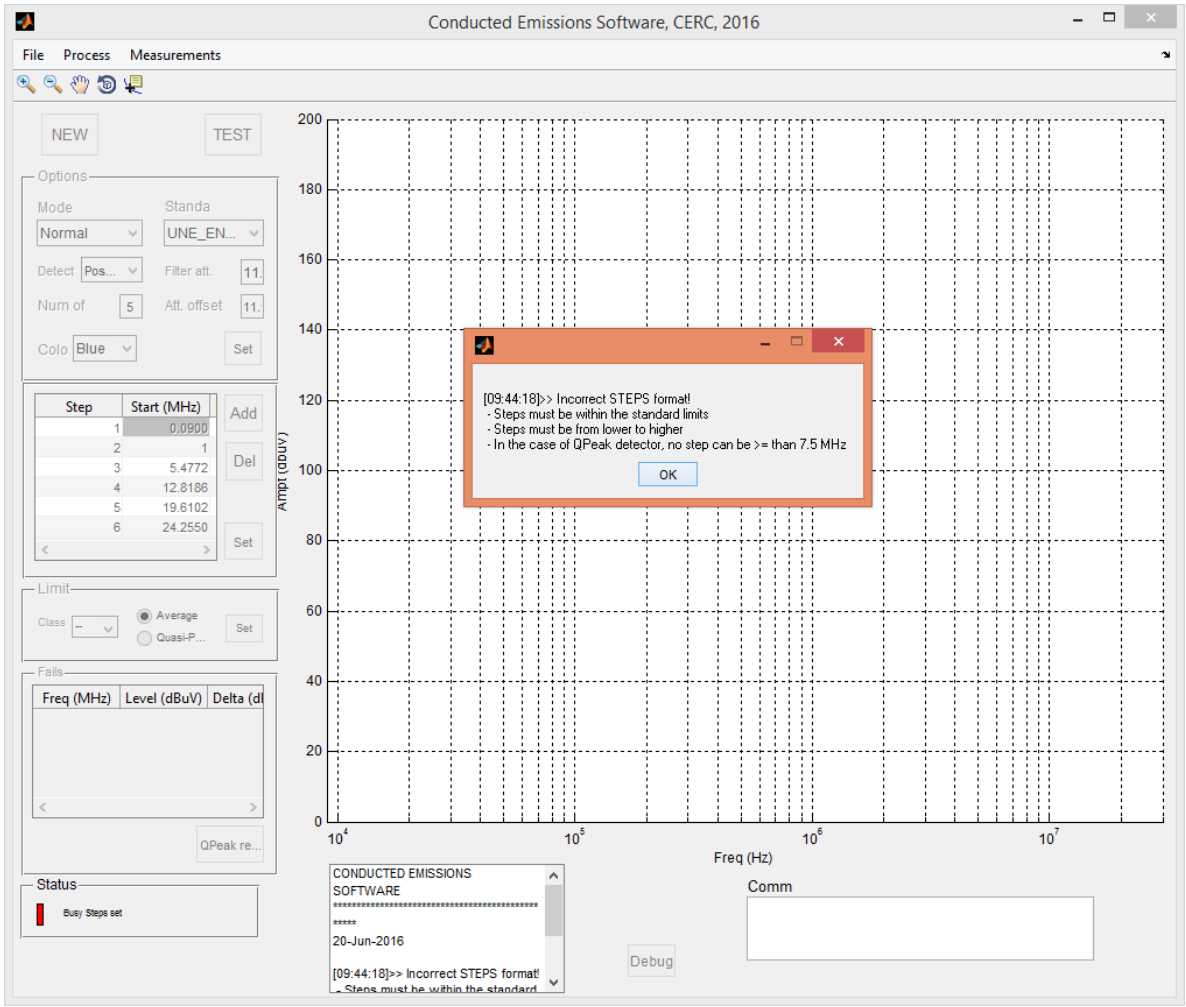

Fig. B-4 - Error de configuració de les finestres

Si s'han definit correctament, es passarà a configurar quins límits s'apliquen al test.

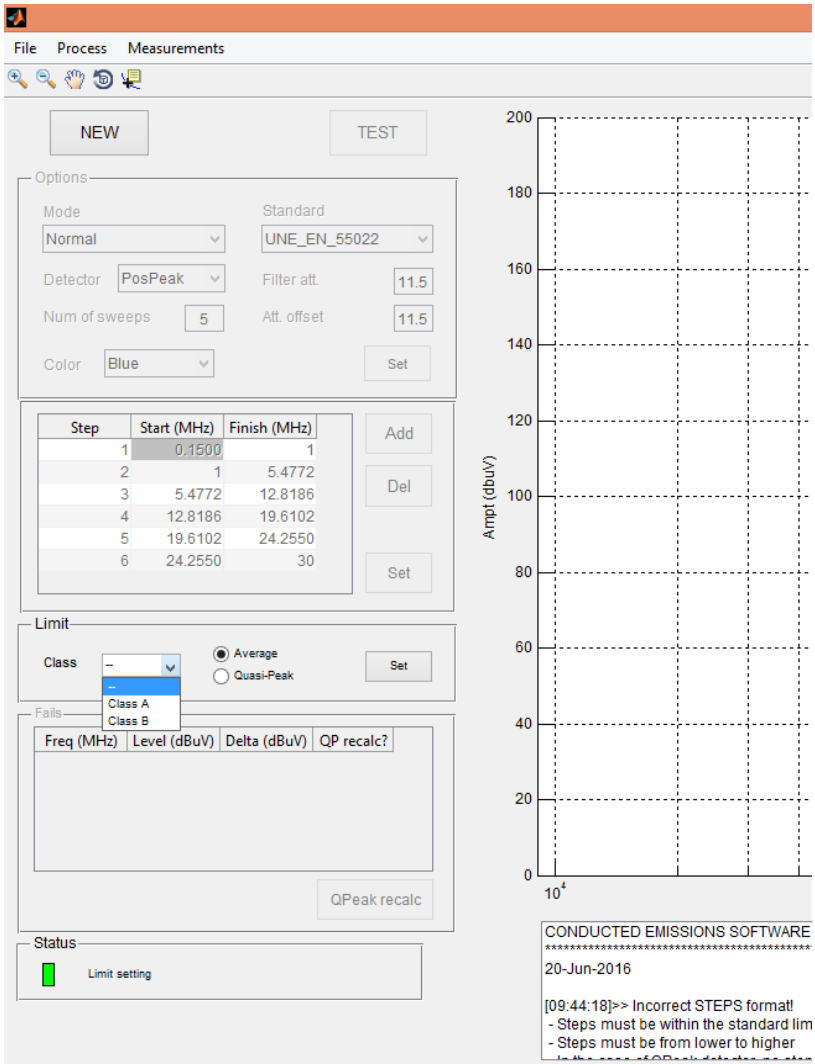

Fig. B-5 - Configuració del límit

Segons quina norma, es té més d'una classe (A i B). Per defecte, serà l'escollida serà la primera. Per altra banda, cal escollir si s'aplica el límit d'*average* o el quasi-pic.

Per aplicar la configuració i avançar al següent pas, al donar-li a *Set*.

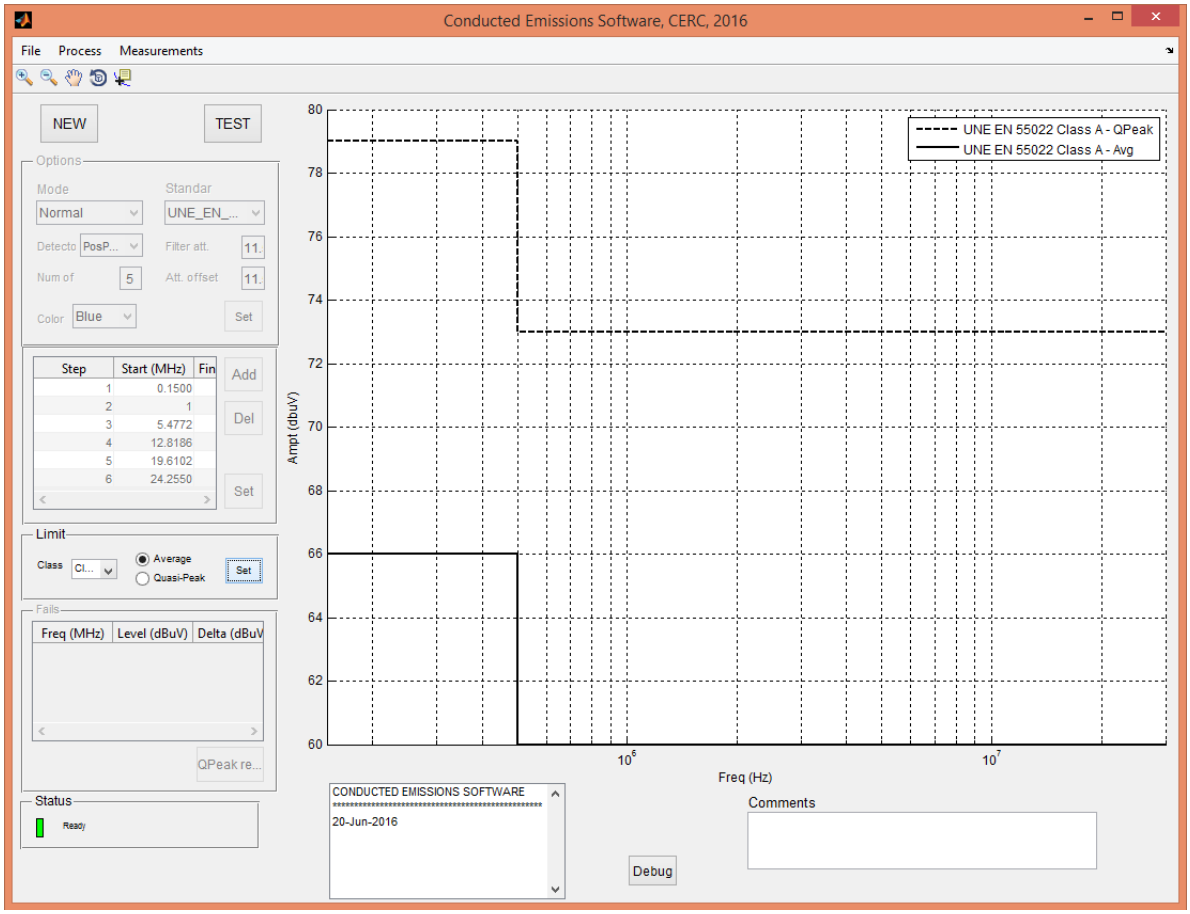

Fig. B-6 - Software preparat per a realitzar una primera mesura

Ara ja es podrà iniciar la mesura.

Si en qualsevol moment es volgués descartar la configuració i començar-la de nou, només caldrà prémer de nou el botó *NEW*.

B.3. Definir una norma

Si a les opcions s'ha seleccionat '*User defined*' com a *Standard*, s'obrirà una nova finestra per a definir-lo.

Fig. B-7 - Finestra de definició de norma

- *Name*: Serà el nom que se li donarà a la norma i que apareixerà en la llista.
- *Stat Freq (Hz)*: freqüència d'inici que defineix la norma.
- *Stop Freq (Hz)*: freqüència final que defineix la norma.
- *Res.Band (kHz)*: ample de banda de resolució amb que es realitzaran les mesures.
- *Limits*: definició dels límits que s'aplicaran. Es mostra la sintaxi adequada i un exemple.

Per acceptar les opcions, cal donar-li a *Set standard*. Així, es guardarà la norma a la llista de normes definides al programa. Aquesta estarà disponible durant l'execució del programa fins que es realitzi un *reset*.

Si algun dels paràmetres no fos correctament definit, s'informaria i es descartaria la nova definició de norma.

B.4. Test

Per iniciar la mesura, després d'haver realitzat la configuració de tots els paràmetres, cal donar-li al botó *TEST*.

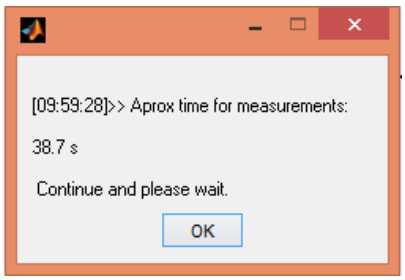

Fig. B-8– Finestra d'informació durada de la mesura

Al donar-li, s'informarà del temps aproximat que serà necessari per a la mesura. Un cop es premi l'*OK*, s'iniciarà la mesura. Es realitzaran tants escombrats com els configurats i s'aniran dibuixant al gràfic. Un cop s'acabin, al gràfic quedarà dibuixat el nivell màxim mesurat.

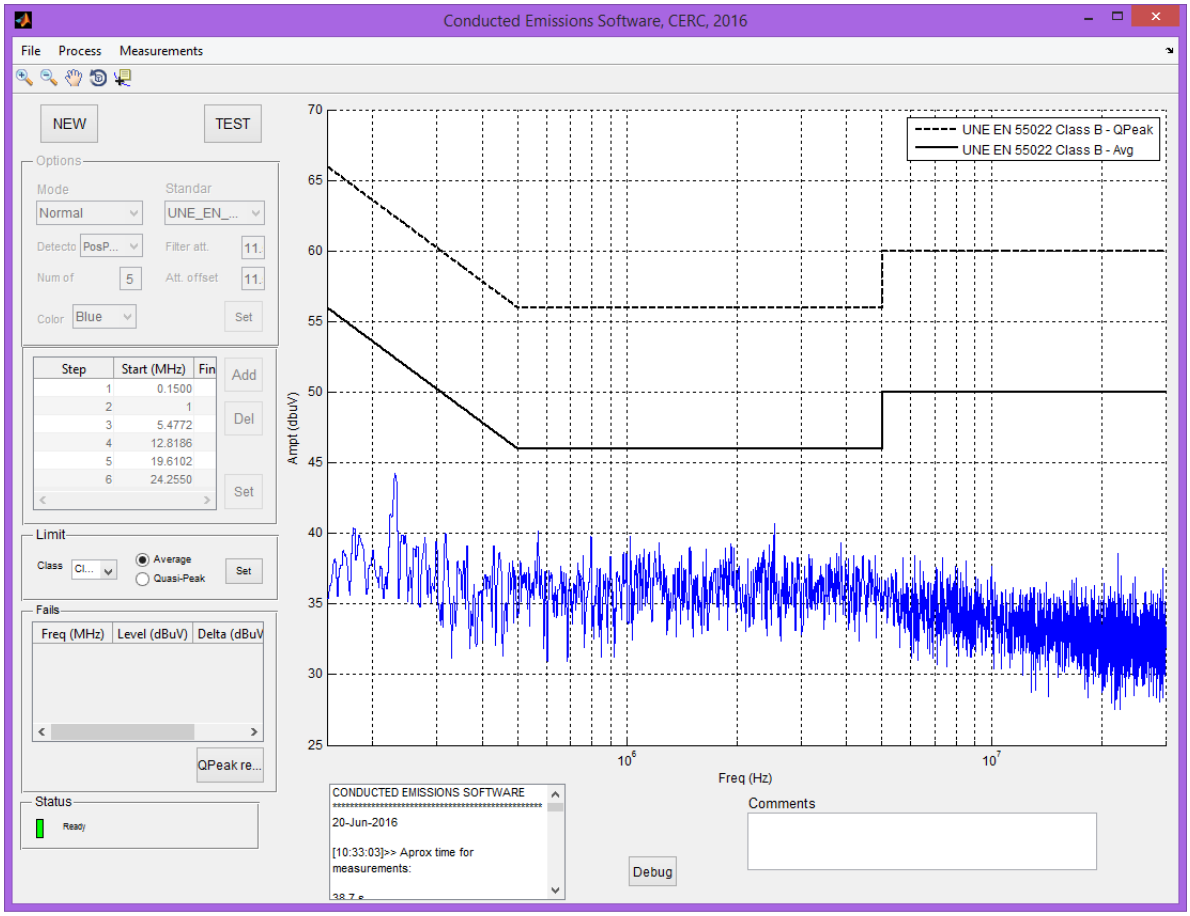

Fig. B-9 - Test d'un carregador de mòbil

En aquest cas, el test ha passat amb èxit, ja que no hi ha punts vermells o taronges.

En aquest punt, es podria modificar el límit i es recalcularia si s'ha passat el test. A més, es podria canviar també el color de la gràfica i el paràmetre *Att. offset*. Si no fos així, caldria seleccionar la mesura a la llista de mesures (explicat en B.6).

En el següent cas, el test no ha passat amb èxit:

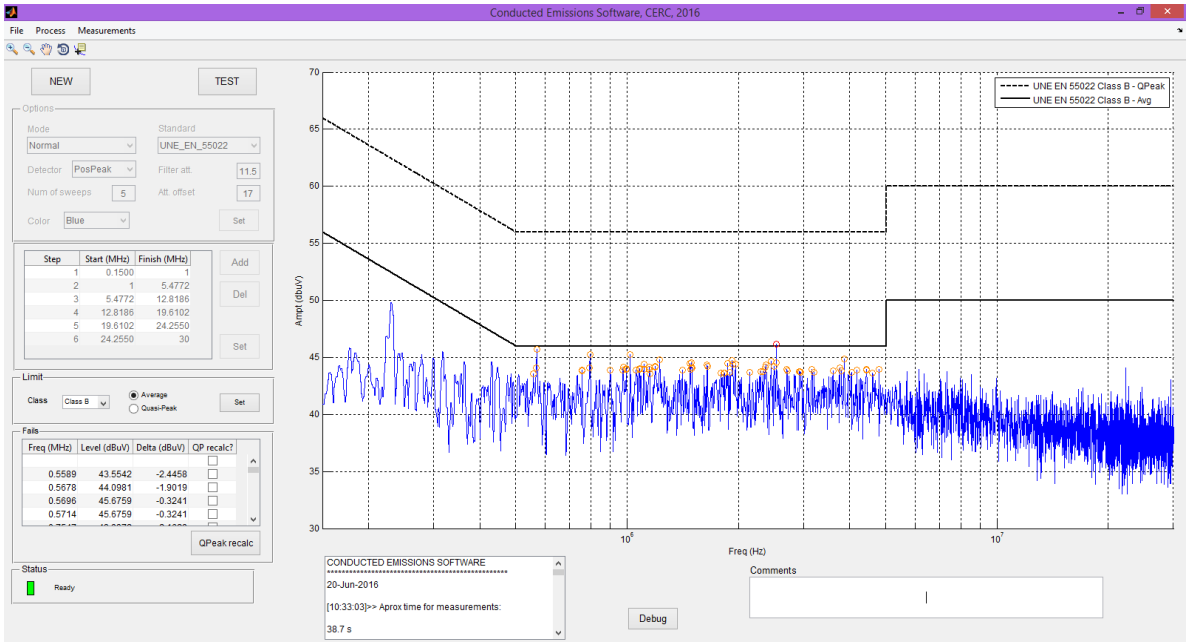

Fig. B-10 - Test no passat amb èxit

Els punts vermells representes aquells punts en què se sobrepassa el límit establert; els taronges, els que sobrepassarien el límit tenint en compte la incertesa de la mesura.

En la taula del panell *Fails* apareix un llistat de tots aquests punts. Si no apareix o no està actualitzada, cal donar-li de nou al *Set* del panell de *Limit*.

B.5. Mesures finals

Un cop realitzat el test, si només hi hagués uns pocs punts crítics (vermells i taronges), seria útil fer una re-mesura d'aquests amb el detector de quasi-pic. Per fer-ho, cal seleccionar els punts en què es vol realitzar a la taula de *Fails* i donar-li al botó *QPeak recalc*. Per seleccionar tots els punts de la taula, cal donar-li al primer requadre. La mesura de cada punt es realitzarà amb una finestra de freqüència igual al doble de la incertesa de la mesura en freqüència i es mantindrà el valor més alt.

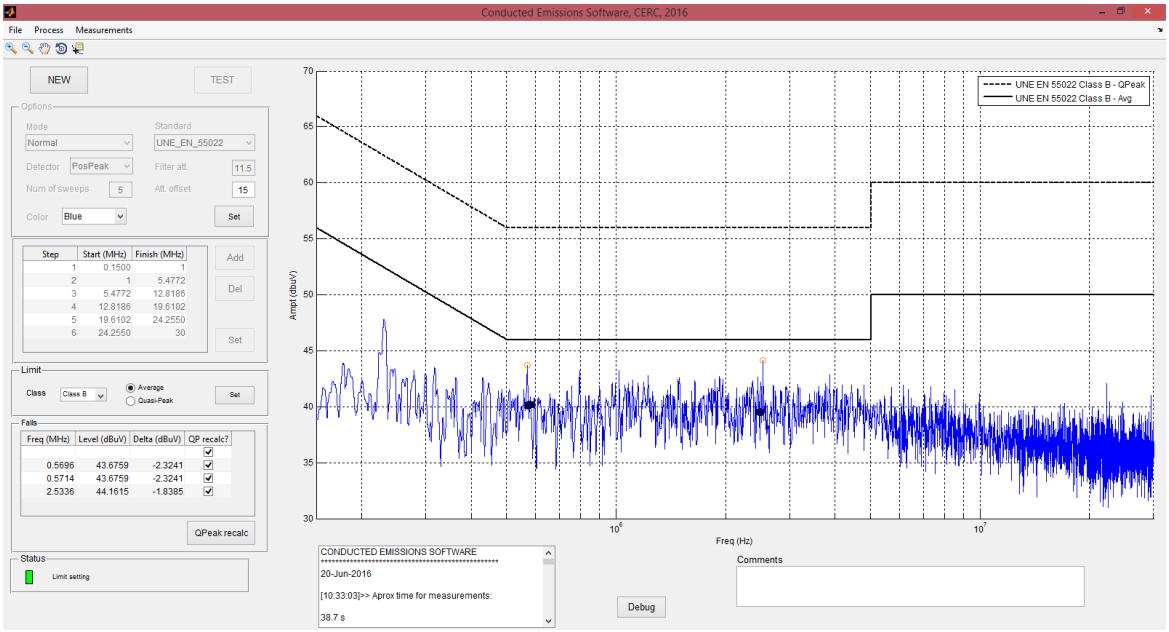

Fig. B-11 - Realització de mesures finals

Les mesures finals amb el detector de quasi-pic apareixeran al gràfic solapades a la mesura anterior amb un punt més fosc.

B.6. Selecció de la mesura

En qualsevol estat del programa (excepte mentre estigui ocupat) es podrà seleccionar la mesura actual. Cada nova mesura quedarà guardada en el programa i es llistarà al menú *Measurements*.

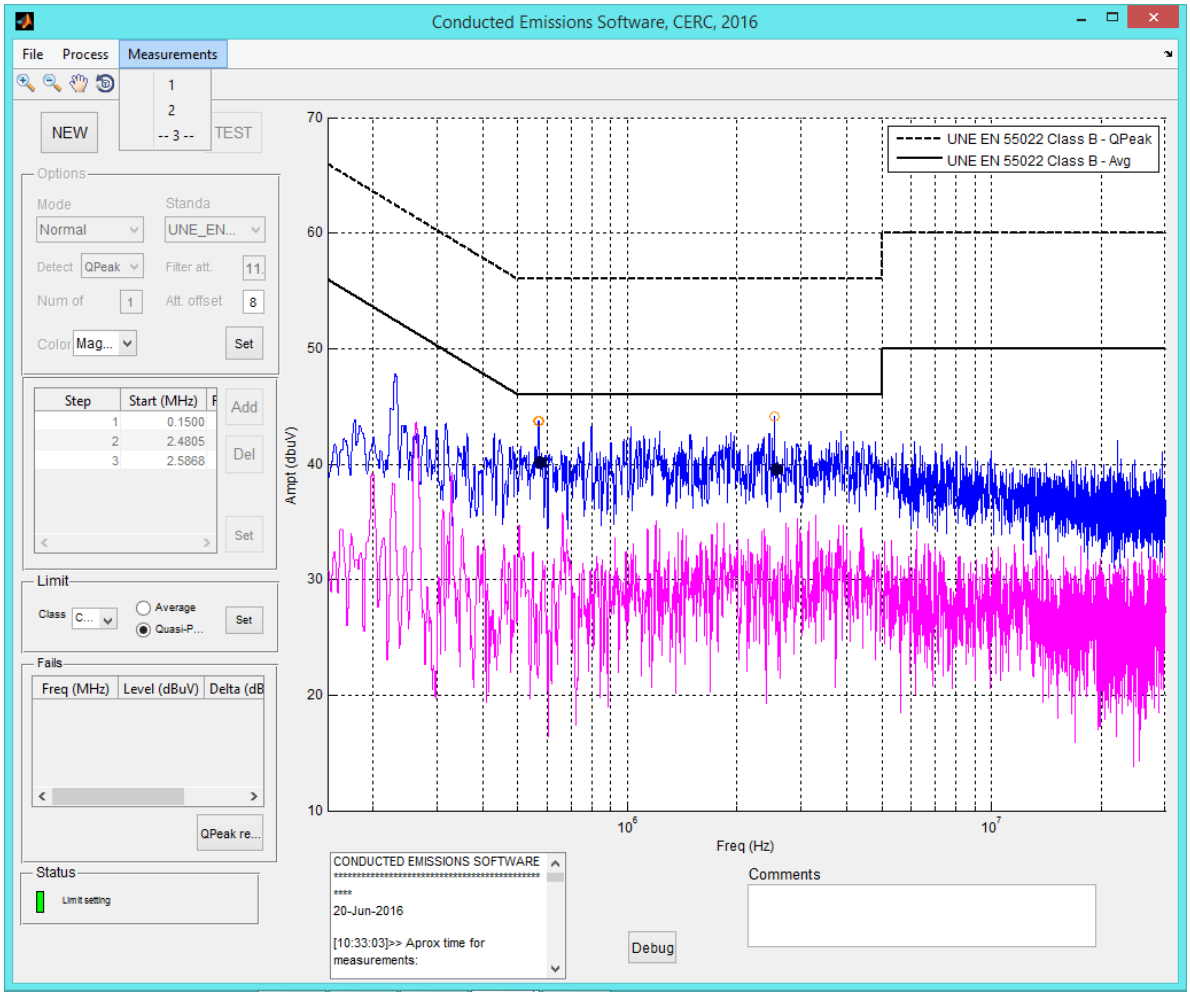

Fig. B-12 - Llistat de mesures

Com es pot veure, les mesures finals (re-mesures en quasi-pic) apareixen com una mesura més. S'haurà de tenir en compte quan es vulgui realitzar alguna funció amb elles (eliminar, guardar o modificar).

Quan es seleccioni una mesura, aquesta parpellejarà. Llavors, es podrà modificar el color i el paràmetre *Att. offset*, a més de modificar els paràmetres del límit.

Si al seleccionar una mesura, l'actual no s'havia realitzat (mesurat), aquesta es descartarà.

B.7. Eliminar mesures i *reset*

En el menú *Process* apareixen les opcions dedicades a la neteja de mesures:

- *Reset*: reinicia el programa al seu estat inicial. Serà útil per eliminar totes les mesures, posar els valors de les opcions a les de defecte, per netejar la gràfica i per resoldre qualsevol error i estat inesperat del programa.
- *Clear* › *All*: elimina totes les mesures guardades.
- *Clear* › *Last*: elimina l'última mesura realitzada.
- *Clear* › *Selected*: elimina la mesura actual.

B.8. Guardar una mesura

En el menú *File* › *Save* apareixen les opcions per guardar una mesura. Això es podrà fer sempre que hi hagi una mesura realitzada.

Save graph guarda una captura el programa. S'obrirà una finestra per guardar la imatge.

Save measurement(s) obre una finestra per a les opcions de guardament.

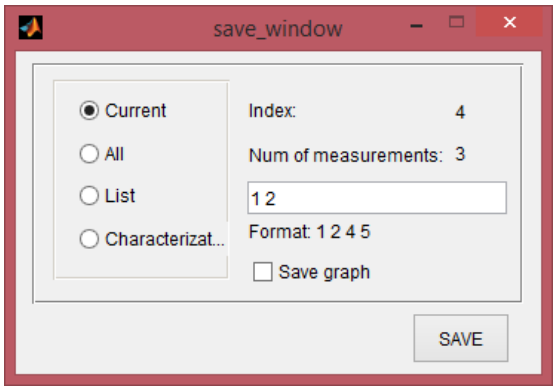

Fig. B-13 - Finestra de guardament de mesures

- *Current*: la mesura actual serà el que es guardarà.
- *All*: es guardaran totes les mesures.
- *List*: es guardaran les mesures seleccionades a la llista adjacent.
- *Characterization*: es guardarà la mesura del mode *Characterization*.

A més, si es vol guardar també una captura del programa, s'haurà de seleccionar *Save graph*.

Per fer efectiu el guardament, prémer *SAVE*. S'obrirà llavors la finestra per guardar l'arxiu *.mat* on s'inclouran tots els paràmetres de les mesures seleccionades i, seguidament, es demanarà guardar la imatge.

B.9. Carregar una mesura

En el menú *File* apareix la opció *Load*, que obrirà una finestra per escollir l'arxiu a carregar. Aquest ha de ser de format *.mat* i només dels guardats amb aquest mateix software.

Al seleccionar-lo i carregar-lo, s'afegiran totes les mesures guardades en ell a la llista de les actuals.

B.10. Errors

Sempre que *Matlab* no es tanqui, es podrà realitzar un *reset* del programa per restablir-lo d'algun error inesperat.

Annex C. Disseny del programa

En el següent annex s'inclou una breu descripció del disseny del programa realitzat. S'hi inclou un diagrama de d'estats del programa i una taula amb l'estructura de variables amb què s'ha treballat.

El programa ha sigut dissenyat com una màquina d'estats. Amb *Matlab*, les interfícies gràfiques funcionen a partir de *callbacks* [10]. Aquestes són funcions que són cridades al realitzar alguna acció en la interfície, permetent un control de l'estat del programa.

Així doncs, el programa és controlat per un controlador que, a partir de certes senyals, tant provinents de l'usuari com del propi programa, especifica el comportament d'aquest.

La figura Fig. C-1 és un diagrama d'estats del programa. Cada requadre correspon a un estat i les fletxes, una senyal. Les senyals *Finished* i *Error* corresponen a senyals pròpies del programa per indicar la finalització correcta o incorrecta d'un procés. Les senyals restants corresponen a accions de l'usuari.

A més, a la Taula C-1 s'inclou l'estructura de dades amb què s'ha treballat. Quan en *Matlab* es treballa amb interfícies, les variables es guarden en una estructura anomenada *handles* que correspon a la pròpia interfície. Dins d'aquesta estructura, s'ha definit una sub-estructura. Aquesta inclou les constants definides al programa, les variables de control d'estat i les normes que estan definides. A més, inclou les dades de les mesures. Entre parèntesis s'indica quin de quin tipus és cadascuna.

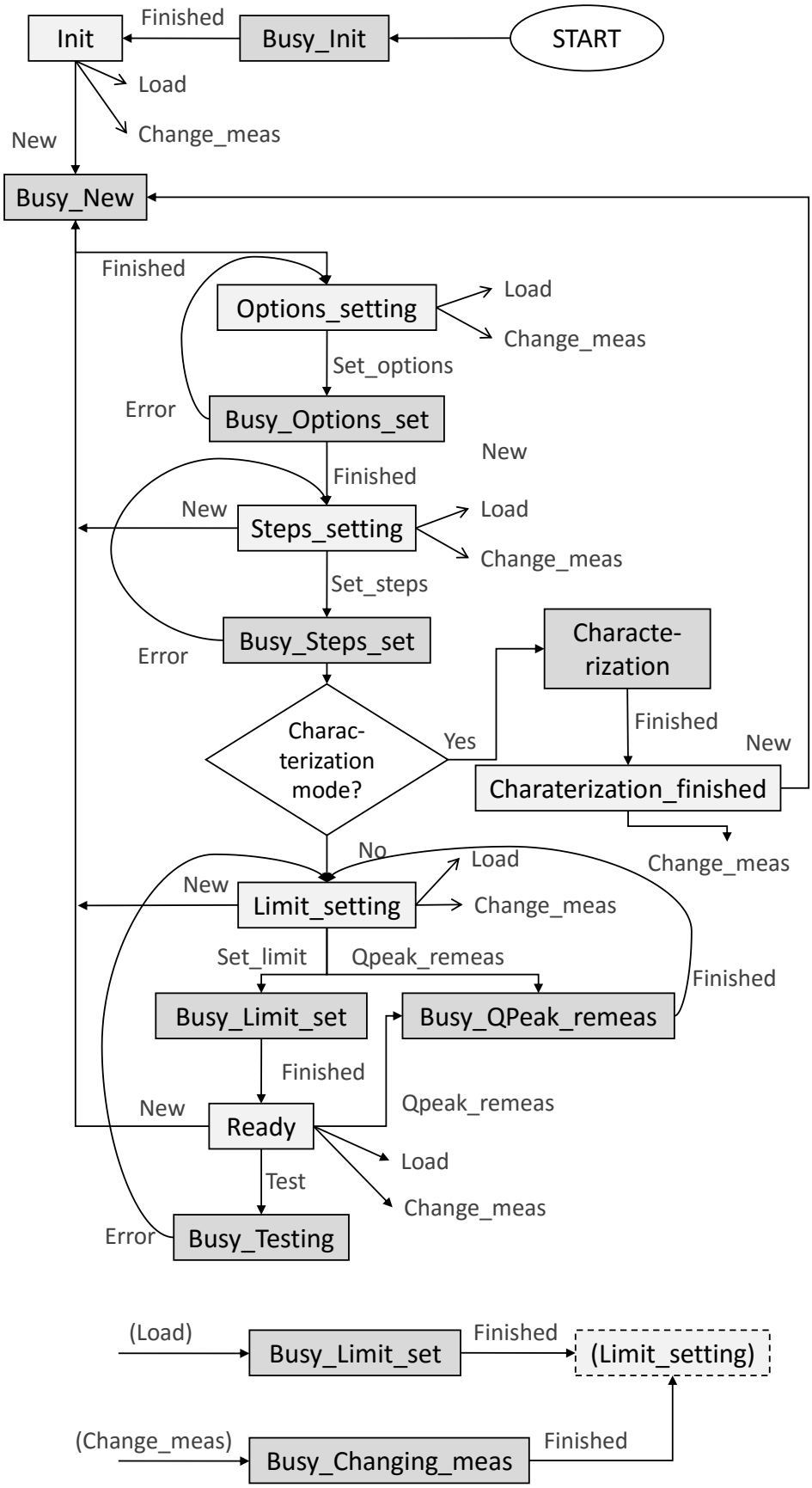

Fig. C-1 – Diagrama d'estats del programa

variables	fixed_parameters	data_trace_legth		(cnst)
		acq_packet_size		(cnst)
		max_num_of_stored__measurements		(cnst)
		max_qpeak_span		(cnst)
		level_uncertainty		(cnst)
		freq_ref_accuracy		(cnst)
		k_sweep_time_pp_avg		(cnst)
		k_sweep_time_qp		(cnst)
	measurements []	params	resBandwidth	(d)
			mode	(classMode)
			detector	(classDetector)
			num_of_sweeps	(d)
			filter_attenuation	(d)
			attenuation_offset	(d)
			color	(Color)
			startFrequency	(d)
			stopFrequency	(d)
			steps	([d])
		limit	standard_name	(str)
			class	(str)
			detector	(classDetectorLimit)
			startFrequency	(d)
			stopFrequency	(d)
		spectrum		[(d)]
		freqs		[(d)]
		test_passed		(d)
		critical_points		[(d)]
		critical_values		[(d)]
		critical_deltas		[(d)]
	meas_index			[(d)]
	num_of_meas			[(d)]
	state			(classState)
	standards			[(classStandard)]

Taula C-1 - Estructura de variables del programa

Glossari

A continuació es presenten les abreviatures usades en aquest document.

AE	Analitzador d'espectres
ESE	Equip sotmès a assaig (*Equipo Sometido a Ensayo*)
EMC	Compatibilitat electromagnètica (*Electromagnetic Compatibility*)
EMS	Susceptibilitat electromagnètica (*Electromagnetic Susceptibility*)
GCEM	Grup de Compatibilitat Electromagnètica de la UPC
LISN	Xarxa d'estabilització d'impedàncies(*LineImpedance Stabilization Network*)
EMI	Interferència electromagnètica (*Electromagnetic Interference*)
ROE	Relació d'ones estacionàries
PRF	Freqüència de repetició de pols (*Pulse Repetition Frecuency*)
VISA	*Virtual Instrument Software Architecture*
API	Interfície de programació d'aplicacions (*Application Programming Interface*)
SCPI	Comandes estàndard per a instruments programables (*Standard Commands for Programmable Instruments*)
RF	Radiofreqüència