



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

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

TITULACIÓ: Màster en Enginyeria Industrial

TÍTOL:

**ESTUDI DE LA QUALITAT DE L'ENERGIA EN
INSTAL·LACIONS ELÈCTRIQUES D'ESPECTACLES EN VIU**

MEMÒRIA

Autora: Marta Ortiz Gendrau

Director: Ricard Horta Bernús

Convocatòria: Gener 2021

Resum / Abstract

L'augment de la tecnologia ha permès en els últims anys una millora de la qualitat dels espectacles en viu, tal es així el seu creixement, que tots els processos que es feien de manera manual actualment estan automatitzats. El canvi a la tecnologia LED per la il·luminació o la aparició d'equips de producció espectacular que permeten tot tipus d'efectes, són ara indispensables per una bona posta en escena.

Dites millores comporten un repte degut a que les tecnologies implicades requereixen d'un procés més rigorós degut a la seva complexitat, i a més s'afegeix el control de més dispositius al mateix temps. Aquesta situació comporta que els equips generin una sèrie de fenòmens que fins ara bé havien passat desapercebuts o es desconeixien.

Davant d'aquesta problemàtica, el projecte planteja un estudi des del punt de vista elèctric de la qualitat de l'energia d'aquests equips en els espectacles en viu.

The rise of technology has allowed in recent years an improvement in the quality of live shows, such is their growth, that all the processes that were done manually are now automated. The change to LED technology for lighting or the emergence of spectacular production equipment that allows all kinds of effects, are now essential for a good staging.

These improvements pose a challenge because the technologies involved require a more rigorous process due to their complexity, and in addition the control of more devices at the same time. This situation means that the devices generate a series of phenomena that until now had either gone unnoticed or were unknown.

Faced with this problem, the project proposes a study from the electrical point of view of the energy quality of these devices in live shows.

Índex

CAPITOL 1: INTRODUCCIÓ.....	13
1.1 Objecte del TFM	13
1.2 Abast.....	13
1.3 Estat de l'art	13
1.4 Justificació	15
1.4.1 Enquesta d'anàlisi de la qualitat de l'energia en espectacles en viu	15
1.5 Diagrama de GANTT	20
1.6 Diagrama de Flux.....	21
1.7 Requeriments i especificacions	22
1.7.1 Analitzador de xarxa AR6	22
1.7.2 Analitzador de xarxa GSC59	23
1.7.3 Equips a mesurar del laboratori de la UPC.....	24
1.7.4 Equips de mesura del Teatre Alegria.....	31
CAPITOL 2: CONCEPTES TEÒRICS	39
2.1 Què són les pertorbacions i com s'originen	39
2.2 Tipus de propagació de les EMI.....	41
2.3 Vies de propagació de les pertorbacions en equips.....	43
2.4 Efectes en instal·lacions elèctriques	43
2.5 Indicadors de distorsió harmònica.....	46
2.5.1 Factor de potència.....	46
2.5.2 Factor de cresta (k).....	46
2.5.3 Potència de distorsió.....	47
2.5.4 Espectre en freqüència i índex de distorsió harmònica (THD).....	47
2.5.5 Flicker Instantani	48
2.5.6 Flicker PST.....	48
2.5.7 Desequilibri i asimetria.....	48
2.6 Mesura de les pertorbacions.....	49
2.7 Solucions preventives per disminuir les pertorbacions	51
CAPITOL 3: PERTORBACIONS I SOROLLS COMUNS EN ELS ESPECTACLES EN VIU.....	55
3.1 Introducció a les pertorbacions en el món dels espectacles	55
3.2 Pertorbacions en el so.....	56
3.2.1 Els acoblaments.....	56
3.2.2 Tipologia de connexió d'instal·lacions d'àudio	57
3.3 Pertorbacions en la il·luminació.....	60
3.4 Pertorbacions per Radiofreqüència (RF).....	60

3.4.1 Equips utilitzats en sistemes de RF	61
CAPITOL 4: EQUIPS D'IL·LUMINACIÓ I SO UTILITZATS EN ESPECTACLES EN VIU	64
4.1 Àrees de treball	64
4.1.1 Sala de Dimmers.....	64
4.1.2 Sala de control.....	64
4.2 Equips que intervenen en un espectacle	65
4.2.1 Equips d'il·luminació	65
4.2.2 Equips de so.....	67
4.3 Connexió dels equips d'il·luminació i so	69
CAPITOL 5: ANÀLISI DE LES MESURES	71
5.1 Anàlisi de les mesures de la UPC.....	71
5.1.1 Mesures de càrregues de la UPC.....	71
5.1.2 Mesures del focus halògens de la UPC.....	76
5.2 Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria.....	79
5.2.1 Equips mesurats per separat.....	80
5.2.2 Equips mesurats conjuntament	98
5.2.3 Equips mesurats en espectacles en viu	105
CAPITOL 6: Conclusions.....	120
6.1 Propostes de millora	120
6.2 Conclusions Personals	121
Bibliografia	122

Llista d'il·lustracions

Il·lustració 1: . Diagrama de Gantt de la planificació del projecte. Font: Pròpia	20
Il·lustració 2: Diagrama de Flux de les tasques del projecte. Font: Pròpia	21
Il·lustració 3: Analitzador de xarxa AR6 de CIRCUTOR. Font: [8]	22
Il·lustració 4: Analitzador de xarxa GSC59 de HT. Font: Pròpia	24
Il·lustració 5: Motor trifàsic AEG HT. Font: Pròpia-material UPC.....	25
Il·lustració 6: D'esquerra a dreta: Càrregues resistives i focus halògens. Font: Pròpia-material UPC.....	26
Il·lustració 7: Font d'alimentació trifàsica regulable de corrent alterna. Font: Pròpia-material UPC	27
Il·lustració 8: Inductància. Font: Pròpia-material UPC	28
Il·lustració 9: Cablejat monofàsic. Font: Pròpia-material UPC.....	29
Il·lustració 10: D'esquerra a dreta: Connectors banana mascle-mascle i pinces cocodril. Font: [13][14].....	29
Il·lustració 11: Pinça amperimètrica GPC-100. Font: [16].....	29
Il·lustració 12: Transductor de corrent de fugues HT96U. Font:[17]	30
Il·lustració 13: Pinceres amperimètriques flexibles. Font:[19].....	30
Il·lustració 14: Lent Plana-Convexa. Font:[20]	31
Il·lustració 15: Focus ADB C103. Font: Pròpia-material de l'ESTAE.....	31
Il·lustració 16: Focus ADB Fresnel A59 Z. Font: Pròpia-material de l'ESTAE	32
Il·lustració 17: Focus BPP210 LED BEAMZ. Font: Pròpia-material de l'ESTAE, [22]	32
Il·lustració 18: Focus STR 75 R/T PF. Font: Pròpia-material de l'ESTAE, [24]	33
Il·lustració 19: Tub fluorescent Sylvania. Font: Pròpia-material de l'ESTAE	34
Il·lustració 20: ADB SVOBODA HT 2251. Font: Pròpia-material de l'ESTAE [26]	34
Il·lustració 21: Canviador de color DIAFORA CC2500. Font: Pròpia-material de l'ESTAE	35
Il·lustració 22: Dimmer monofàsic MPX-405. Font: Pròpia-material de l'ESTAE [28].....	35
Il·lustració 23: Mesclador d'il·luminació BOTEX SDC-16. Font: Pròpia-material de l'ESTAE, [29]	36
Il·lustració 24: Dimmer trifàsic MIZAR per davant. Font: Pròpia-material de l'ESTAE.....	36
Il·lustració 25: Dimmer trifàsic MIZAR per darrere. Font: Pròpia-material de l'ESTAE.....	37
Il·lustració 26: Connector DMX 3 Pins. Font: [30]	37
Il·lustració 27: Connector DMX 5Pins. Font: [31]	38
Il·lustració 28: Classificació de les pertorbacions en funció de la freqüència. Font: Pròpia	40
Il·lustració 29: Diagrama bàsic de transmissió de les pertorbacions. Font: Pròpia [37]	41
Il·lustració 30: . Classificació de les EMI segons la forma de propagació. Font: Pròpia [37]	42
Il·lustració 31: Conductor del neutre. Font: [33].....	44
Il·lustració 32: Esquema bàsic per mesurar pertorbacions. Font: Pròpia [37].....	49
Il·lustració 33: Esquema del LISIN. Font: [37].....	50
Il·lustració 34: Posició càrregues pertorbadores el més pròxim a la xarxa. Font: [33]	51
Il·lustració 35: Esquemes TNC i TNS respectivament. Font: Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión e ITC.	52
Il·lustració 36: Filtre passiu. Font: [33].....	53
Il·lustració 37: Filtre actiu. Font: [33]	53
Il·lustració 38: Filtre híbrid. Font: [33]	54
Il·lustració 39: Senyal equilibrada. Font: Pròpia [47]	57
Il·lustració 40: Connector ¼" Estéreo. Font: [49]	58
Il·lustració 41: Connector XLR -Connexió equilibrada. Font: [50]	58
Il·lustració 42: Senyal equilibrada electrònicament. Font: Pròpia [47].....	59
Il·lustració 43: Senyal equilibrada amb transformador d'entrada i sortida. Font: Pròpia [47]...	59

Il·lustració 44: Senyal equilibrada amb connexió conjunta del negatiu i la malla. Font: Pròpia [48]	59
Il·lustració 45: Rang de freqüències VHF-UHF. Font: Pròpia [53]	61
Il·lustració 46: Splitter. Font: [53]	62
Il·lustració 47: Combinador-Mesclador d'àudio. Font: [53]	62
Il·lustració 48: Amplificador - Booster. Font: [53]	63
Il·lustració 49: Parts d'un Dimmer. Font: [57]	65
Il·lustració 50: Exemple d'equips connectats al Dimmer. Font: [58]	65
Il·lustració 51: Procés Cadena Electroacústica . Font: Pròpia [57]	67
Il·lustració 52: Esquema del Patch de càrrega Teatre Alegria. Font: [58]	69
Il·lustració 53: Esquema connexió de càrregues al Patch de càrrega del Teatre Alegria. Font: [58]	70
Il·lustració 54: Exemple de disposició de la connexió d'equips d'il·luminació . Font: [57]	70
Il·lustració 55: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Esquema de connexió BOTEX MPX-405	79
Il·lustració 56: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Esquema de connexió MIZAR	80

Llista de gràfics

Gràfic 1: Enquesta: Resultat de la pregunta 1. Font: Pròpia	15
Gràfic 2: Enquesta: Resultat de la pregunta 2. Font: Pròpia	16
Gràfic 3: Enquesta: Resultat de la pregunta 3. Font: Pròpia	17
Gràfic 4: Enquesta: Resultat de la pregunta 3. Font: Pròpia	17
Gràfic 5: Enquesta: Resultat de la pregunta 3. Font: Pròpia	18
Gràfic 6: Procés de superposició d'ones. Font: Pròpia.....	39
Gràfic 7: Resultat de la superposició d'ones. Font: Pròpia	40
Gràfic 8: Mesures de carregues a la UPC: Corrent.....	72
Gràfic 9: Mesures de carregues a la UPC: Índex de distorsió harmònica (THD)	73
Gràfic 10: Mesures de carregues a la UPC: Harmònics de tensió	74
Gràfic 11: Mesures de carregues a la UPC: Focus halògens de la UPC: Corrent.....	76
Gràfic 12: Mesures de carregues a la UPC: Focus halògens de la UPC: Índex de distorsió harmònica (THD)	77
Gràfic 13: Mesures de carregues a la UPC: Focus halògens de la UPC: K, cresta, Desequilibri i Asimetria	77
Gràfic 14: Mesures de carregues a la UPC: Focus halògens de la UPC: harmònics de corrent ..	78
Gràfic 15: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus BPP210 LED amb dimmer monofàsic: Tensió L1.....	81
Gràfic 16: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus BPP210 LED amb dimmer monofàsic: Índex de distorsió harmònica (THD).....	82
Gràfic 17: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus BPP210 LED amb dimmer monofàsic: K, cresta, Desequilibri i Asimetria	83
Gràfic 18: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus BPP210 LED amb dimmer monofàsic: Flicker	83
Gràfic 19: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus BPP210 LED amb dimmer monofàsic: Harmònics de tensió L1.....	84
Gràfic 20: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus BPP210 LED amb dimmer monofàsic: Harmònics de tensió Neutre	85
Gràfic 21: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus BPP210 LED amb dimmer monofàsic: Harmònics de Corrent L1	86
Gràfic 22: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus BPP210 LED amb dimmer trifàsic: Harmònics de tensió L2.....	88
Gràfic 23: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Altaveu professional: Tensió.....	105
Gràfic 24: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Altaveu professional: Corrent.....	106
Gràfic 25: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Altaveu professional: Índex de distorsió harmònica (THD)	106
Gràfic 26: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Altaveu professional: K, cresta, Desequilibri i Asimetria	107
Gràfic 27: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Altaveu professional: Corrent L1 & Factor K L1	108
Gràfic 28: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Altaveu professional: Flicker.....	108
Gràfic 29: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Altaveu professional: harmònics de tensió 1 a 18.....	109
Gràfic 30: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Altaveu professional: harmònics de tensió 19 a 36.....	109
Gràfic 31: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Altaveu professional: harmònics de tensió 37 a 50.....	110
Gràfic 32: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: Tensió	111
Gràfic 33: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: Corrent.....	111

Gràfic 34: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: Corrent (Zoom In)	112
Gràfic 35: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: Índex de distorsió harmònica (THD)	112
Gràfic 36: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: Índex de distorsió harmònica (THD) (Zoom In)	113
Gràfic 37: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: K, cresta, Desequilibri i Asimetria	114
Gràfic 38: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: Flicker	114
Gràfic 39: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: harmònics de tensió L1 1 a 18	115
Gràfic 40: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: harmònics de tensió L1 19 a 36	116
Gràfic 41: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: harmònics de corrent L1 1 a 18	117
Gràfic 42: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: harmònics de corrent L1 1 a 18 (Zoom In)	118
Gràfic 43: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: harmònics de corrent L1 19 a 50	118

Llista de taules

Taula 1: Comparativa entre els diferents tipus d'il·luminació. Font [7].....	19
Taula 2: Paràmetres de la qualitat de l'energia del AR6. Font [9]	23
Taula 3: Paràmetres de la qualitat de l'energia del GSC59. Font [10]	24
Taula 4: Paràmetres de la qualitat de l'energia del GSC59. Font: Pròpia -material UPC.....	25
Taula 5: Connexió del DMX 3-PIN. Font: Pròpia, [30]	37
Taula 6: Connexió del DMX 5-PIN. Font: Pròpia [31]	38
Taula 7: Síntomes en equips i instal·lacions per pertorbacions . Font: Pròpia [39].....	45
Taula 8: Mesures de carregues a la UPC: Harmònic de tensió: L1	74
Taula 9: Mesures de carregues a la UPC: Harmònic de tensió: L2	75
Taula 10: Mesures de carregues a la UPC: Harmònic de tensió: L3	75
Taula 11: Mesures de carregues a la UPC: Harmònic de tensió: Neutre	75
Taula 12: Mesures de carregues a la UPC: Focus halògens de la UPC: harmònics de corrent: L1	79
Taula 13: Mesures de carregues a la UPC: Focus halògens de la UPC: harmònics de corrent: L2	79
Taula 14: Focus BPP210 LED amb dimmer monofàsic: % Il·luminació en funció del valor del mesclador.....	80
Taula 15: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus BPP210 LED amb dimmer monofàsic: Harmònics de tensió.....	84
Taula 16: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus BPP210 LED amb dimmer monofàsic: Harmònics de tensió Neutre	85
Taula 17: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus BPP210 LED amb dimmer monofàsic: Harmònics de Corrent L1	86
Taula 18: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus BPP210 LED amb dimmer trifàsic: Harmònics de tensió L2	88
Taula 19: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus BPP210 LED amb dimmer trifàsic: Harmònics de tensió Dos Canals	89
Taula 20: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus BPP210 LED amb dimmer trifàsic: Harmònics de corrent L1	89
Taula 21: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus BPP210 LED amb dimmer trifàsic: Harmònics de corrent Dos canals.....	89
Taula 22: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus ADB C103: harmònics de tensió L1	91
Taula 23: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus ADB C103: harmònics de corrent L1	91
Taula 24: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus ADB FRESNEL A59-Z: harmònics de tensió L1	93
Taula 25: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus ADB FRESNEL A59-Z: harmònics de corrent L1	93
Taula 26: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus halogen STR 75 R/T PF: harmònics de tensió L1	95
Taula 27: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Tub fluorescent SYLVANIA: harmònics de tensió L1	96
Taula 28: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Tub fluorescent SYLVANIA: harmònics de corrent L1	97
Taula 29: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: ADB SVOBODA HT 2251: harmònics de tensió L1	98

Taula 30: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus ADB SVOBODA HT 2251 y STR 75 R/T PF: harmònics de tensió L1	99
Taula 31: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus ADB SVOBODA HT 2251 y STR 75 R/T PF: harmònics de corrent L1	99
Taula 32: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus ADB C103, A59-Z y Tub halogen: harmònics de tensió (només ADB C103).....	101
Taula 33: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus ADB C103, A59-Z y Tub halogen: harmònics de tensió.....	101
Taula 34: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus ADB C103, A59-Z y Tub halogen: harmònics de corrent.....	102
Taula 35: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus LED y halogen A59-Z: harmònics de tensió.....	103
Taula 36: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus LED y halogen A59-Z: harmònics de corrent (només LED).....	104
Taula 37: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus LED y halogen A59-Z: harmònics de corrent.....	104
Taula 38: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Altaveu professional: harmònics de tensió 1 a 18	109
Taula 39: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Altaveu professional: harmònics de tensió 19 a 36	110
Taula 40: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Altaveu professional: harmònics de tensió 37 a 50	110
Taula 41: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: harmònics de tensió L1 1 a 18	116
Taula 42: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: harmònics de tensió L1 19 a 36	116
Taula 43: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: harmònics de tensió L1 37 a 50	117
Taula 44: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: harmònics de tensió L1 37 a 50	117
Taula 45: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: harmònics de corrent L1	118

Glossari

En aquest capítol es fa un recull d'aquells conceptes dels quals s'ha vist adient fer una definició i/o breu explicació per ampliar la base teòrica del document i facilitar l'enteniment d'aquest.

Corrent de fuga [59]: En qualsevol instal·lació elèctrica, pel conductor de protecció circula cert corrent a terra. Aquest corrent es denomina normalment corrent de fuga.

Factor de potència [60]: La connexió de càrregues inductives en una instal·lació provoca el desfasament entre l'ona d'intensitat i la tensió.

L'angle ϕ mesura aquest desfasament i indica la relació entre la intensitat reactiva (inductiva) d'una instal·lació i la intensitat activa de la mateixa. Aquesta mateixa relació s'estableix entre les potències o energies activa i reactiva. El $\cos \phi$ indicarà per tant la relació entre la potència activa i la potència aparent de la instal·lació (els kVA que es poden consumir com a màxim en la mateixa). Per aquesta raó el $\cos \phi$ indicarà el "rendiment elèctric" d'una instal·lació.

Factor de cresta [61]: El factor de cresta és la relació entre el corrent pic instantani requerit per la càrrega i el corrent RMS (RMS significa Root Mean Square, que és un tipus de mitjana).

Espectre [62]: Un espectre (espectres o espectres plurals) és una condició que no es limita a un conjunt específic de valors sinó que pot variar, sense passos, a través d'un continu. La paraula es va utilitzar per primera vegada científicament en òptica per descriure l'arc de Sant Martí de colors en llum visible després de passar per un prisma.

Valor eficaç [63]: S'anomena valor eficaç a la valor quadràtic mitjà d'una magnitud elèctrica. El concepte de valor eficaç s'utilitza especialment per estudiar les formes d'ona periòdiques, tot i ser aplicable a totes les formes d'ona, constants o no. De vegades es denomina amb el estrangerisme RMS (de l'anglès, root mean square).

Freqüència fonamental [64]: La freqüència fonamental, sovint coneguda simplement com a fonamental, es defineix com la freqüència més baixa d'una forma d'ona periòdica.

Harmònics [64]: Un harmònic és una ona amb una freqüència que és un múltiple enter positiu de la freqüència de l'ona original, coneguda com a freqüència fonamental. Com que tots els harmònics són periòdics a la freqüència fonamental, la suma d'harmònics també és periòdica a aquesta freqüència. L'ordre de l'ona mostra el factor multiplicador de la freqüència de l'ona fonamental (si l'ona fonamental té una freqüència de 50 Hz, l'harmònic d'ordre 3 tindrà una freqüència de 150 Hz). Un onda distorsionada, es el resultat de sumar una component harmònica (conjunt d'harmònics) y la component fonamental (Onda fonamental original)

Taxa de distorsió individual [65]: La distorsió individual és simplement la representació en percentatge que hi ha d'una quantitat d'harmònic, ja sigui en tensió o en corrent, respecte al valor fonamental.

$$d_N(\%) = \frac{I_N}{I_1} \times 100$$

$$d_N(\%) = \frac{U_N}{U_1} \times 100$$

Residu harmònic [66]: Diferència entre una funció periòdica y el terme fonamental del seu desenvolupament de Fourier.

FEM [67]: La força electromotriu, o FEM, es refereix a la diferència de potencial a través de l'espira descarregada (és a dir, quan la resistència en el circuit és alta). A la pràctica és sovint suficient pensar la FEM com un voltatge, ja que tant el voltatge i com la FEM es mesuren amb la mateixa unitat, el volt.

Carga lineal [68]: La major part de les càrregues elèctriques es tipifiquen com càrregues convencionals; aquestes es comporten linealment, el qual significa que al aplicar una tensió, la forma d'ona de la corrent conserva aquesta mateixa forma, tot i que en general estarà desplaçada en el temps un angle (j).

Carga no lineal [68]: Càrrega on la forma d'ona de la corrent d'estat estable no segueix la forma d'ona del voltatge aplicat.

Histèresi [69]. La histèresi és la tendència d'un material a conservar una de les seves propietats, en absència de l'estímul que l'ha generat. Podem trobar diferents manifestacions d'aquest fenomen. Per extensió s'aplica a fenòmens que no depenen només de les circumstàncies actuals, sinó també de com s'ha arribat a aquestes circumstàncies.

Excentricitat de l'eix d'un motor [70]: L'excentricitat es defineix com la no coincidència entre l'eix de rotació i l'eix de simetria. L'excentricitat pot tenir lloc en diferents tipus d'elements mecànics, com són les politges, les rodes dentades i en el posicionament relatiu entre dues peces concèntriques, com en el cas de el rotor i l'estator d'un motor elèctric.

Transformada ràpida de Fourier (FFT) [71]: La transformada ràpida de Fourier (o FFT, de l'anglès Fast Fourier transform), no és més que una forma molt ràpida i eficient de calcular la transformada discreta de Fourier (DFT) d'un senyal discret i la seva inversa, la transformada inversa discreta de Fourier (IDFT).

Règim TN-C I TN-S [72]:

Els sistemes TN son un tipus de posta a terra on hi ha un punt posat a terra sense impedàncies i les masses de la instal·lació elèctrica estan connectades a aquest punt mitjançant conductors de protecció.

Podem diferenciar tres tipus de sistemes TN en funció de l'assignació del conductor neutre i el conductor de protecció:

- TN-S: S'utilitza un conductor de protecció separat en tot el sistema.

- TN-C: Les funcions del conductor neutre i del conductor de protecció estan combinades en un únic conductor en tot el sistema.
- TN-C-S: En una part de el sistema, les funcions del conductor neutre i del conductor de protecció estan combinades en un únic conductor.

Posta a terra [73]: La presa de terra o connexió a terra és la connexió de les superfícies conductores exposades (gabinets metàl·lics) a algun punt no energitzat; comunament és la terra sobre la qual es posa la construcció, d'allí el nom. Al sistema d'un o diversos elèctrodes que proveeixen la connexió a terra se l'anomena «presa de terra». Les preses de terra es fan servir en les instal·lacions elèctriques com una mesura de seguretat. En cas d'una fallada on un conductor energitzat faci contacte amb una superfície conductora exposada o un conductor aliè al sistema fa contacte amb ell, la connexió a terra redueix el perill per a humans i animals que toquin les superfícies conductores dels aparells.

P-E-N [74]: Conductor posat a terra que assegura, al mateix temps, les funcions de conductor de protecció i conductor de neutre.

Espectre radioelèctric [75]: El constitueix les freqüències de l'espectre electromagnètic utilitzades per als serveis de difusió i serveis mòbils, de policia, bombers, radioastronomia, meteorologia i fixos.

L'electroluminescència [76]: Fenomen òptic i elèctric en el qual un material emet llum en resposta a un corrent elèctric que flueix a través d'ell, o per causa de la força d'un camp elèctric. Ha de distingir-se de l'emissió de llum per causa de la temperatura (incandescència), per raó de l'acció de productes químics (quimioluminescència) o d'altres fenòmens que també poden generar llum.

Reverberació [77]: Consisteix en una lleugera prolongació del so una vegada s'ha extingit l'original, a causa de les ones reflectides. Si aquestes ones reflectides arriben a l'oient separades del so directe amb retard superior a 60 mil·lèsimes de segon o d'uns 20 metres, que és el valor de la persistència acústica, aleshores si són prou intenses són percebudes com un eco, en comptes de com a reverberació.

Guany acústic [78]: És el guany que hem d'obtenir amb un equip de so per aconseguir el mateix nivell sonor en un punt determinat que el que tenim en un altre punt, a què considerem punt de referència.

CAPITOL 1: INTRODUCCIÓ

1.1 Objecte del TFM

Aquest Projecte Final de Màster té com a finalitat fer un estudi de la qualitat de l'energia en instal·lacions elèctriques d'espectacles en viu; teatres, concerts i altres espectacles, per tal d'analitzar com és la qualitat de l'energia en aquestes instal·lacions on cada vegada més, s'utilitzen múltiples aparells elèctrics i electrònics, que distorsionen l'ona de la xarxa provocant la disminució del rendiment, de l'eficiència dels equips utilitzats, i fins i tot el mal funcionament dels mateixos.

El resultat obtingut permetrà analitzar els punts més crítics a l'hora de realitzar el muntatge dels equips en les instal·lacions elèctriques d'espectacles en viu, i buscar solucions que permetin disminuir o fins i tot eliminar les pertorbacions generades.

1.2 Abast

L'estudi de la qualitat de l'energia en espectacles en viu està compost per tres grans blocs principals, el primer correspon a la definició de conceptes teòrics per entendre el contingut del projecte, el segon a la realització de les mesures al laboratori del departament d'Enginyeria Elèctrica de la UPC (Universitat Politècnica de Catalunya) com al Teatre Alegria de Terrassa on es realitzarà l'estudi de camp, i el tercer i últim a l'anàlisi d'aquestes mesures.

Per tant, l'abast del projecte serà poder determinar quines són les solucions més òptimes per reduir, limitar o anul·lar les pertorbacions que es troben quan es realitzi l'estudi de camp.

1.3 Estat de l'art

En els últims anys s'han produït molts canvis en la nostra societat a causa dels grans avanços tecnològics. Aquests ens han permet millorar la nostra qualitat de vida a través de l'automatització de tots aquells processos que anteriorment es realitzaven de forma manual o que no eren possibles per la seva dificultat. En el món de les arts escèniques, concretament dels espectacles en viu, aquesta automatització no s'ha quedat enrere, tot el contrari, la tecnologia sempre ha estat present i ha sigut indispensable per resoldre problemes, satisfer necessitats i per fer-nos evolucionar.

La importància de l'avanç de la tecnologia i de les noves aplicacions en el món dels espectacles en viu, ha permès facilitar i millorar tasques en el procés de treball artístic com ara la recopilació i emmagatzematge de gran quantitat d'informació en format digital, la connectivitat i transmissió a gran velocitat a través d'internet, i la creació de milers de possibilitats creatives, qualitatives i expressives en nous efectes escenogràfics. [1]

És per això que l'aplicació de les noves tecnologies afecta a dos grans àmbits de l'espectacle: les noves tecnologies aplicades a l'escena, que inclou des de la concepció del projecte artístic fins a la seva materialització, i les noves tecnologies a l'entorn de la producció escènica, que

inclou des del finançament i comercialització d'una obra, fins a la realització d'estudis de consum de les arts escèniques.

D'aquests dos grups, aquest projecte es centra en l'aplicació de noves tecnologies aplicades a l'escena, ja que a les noves tecnologies aplicades a l'entorn de la producció escènica, es requereix la implantació de software de tractament de dades, i comunicacions, i no tant de l'ús de hardware elèctric/ electrònic. [2]

A continuació s'enumeren diferents àmbits on s'apliquen les noves tecnologies:

- Dispositius d'automatització de sistemes i mecanismes que permeten el desplaçament de plataformes i escenografies corpòries, així com elements de la caixa escènica dels teatres. (Tramoies)
- Digitalització dels equips de so i luminotècnia: taules de control d'il·luminació, i de control digital de so.
- Transmissió i recepció de dades per radiofreqüència i en format digital: poden ser ordinadors i altres dispositius electrònics amb software específic per a la transmissió i recepció de dades. Dispositius com àudio guies, microfonia o plataformes de transmissió en viu via internet.
- Incorporació d'il·luminació LED als equips de luminotècnia.
- Integració de sistemes amb protocols digitals de control. Actualment amb un sol ordinador es poden controlar els diferents equips digitals d'il·luminació i so: amplificadors, altaveus, micròfons..
- Adaptació dels espectacles per a persones amb hipoacúsia amb sistemes de sonorització i amplificació.
- Integració de dispositius per capturar i reproduir imatges en directe, com càmeres HD, reproductors Blue Ray, i projectors analògics o digitals, els quals permeten substituir escenografies corpòries amb projeccions múltiples i tridimensionals.

La disponibilitat de millores tecnològiques, dona una sèrie d'avantatges a nivell de funcionalitat i flexibilitat, que justifiquen la necessitat del canvi tecnològic. Gràcies a les noves aplicacions, s'ha aconseguit una gran capacitat de transmissió, emmagatzematge i connectivitat de dades que anys enrere eren impensables.

Es pot afirmar doncs, que la incorporació d'aquests dispositius i equips han millorat la nostra qualitat de vida, però que per contrapartida, comporta una major contaminació dels sistemes elèctrics. En l'actualitat en una disciplina creativa s'afegeixen, segons les necessitats, diversitat de sistemes i equips que en un primer moment no estaven previstos. Són nous equips que ofereixen possibilitats creatives que han de ser integrades als sistemes fins ara existents.

És per aquest motiu, que en el muntatge d'una instal·lació d'equips per a espectacles en viu es troben infinitat de problemes provocats per perturbacions i sorolls que interfereixen en la realització de l'espectacle, reduint la qualitat del mateix. Es a dir, es generen una quantitat d'interferències que no només embruten la xarxa elèctrica, si no que ocasionen problemes dins del mateix sistema: interferències en els equips i les senyals que es transmeten, aparició de sorolls en equips de so, possible introducció d'errors en els sistemes de control..

Aquest projecte doncs, es centra en fer un estudi que permeti analitzar quines són les circumstàncies, causes, conseqüències i efectes de les perturbacions que es troben en un espectacle en viu, en l'escomesa del edifici on es realitzen o en els propis equips que s'utilitzen, per tal de millorar la qualitat de l'energia elèctrica en aquests espais, i reduir i/o eliminar les perturbacions generades per les diferents aplicacions tecnològiques que s'utilitzen avui en dia en el món de l'espectacle, i que cada vegada, s'utilitzaran més conforme es vagi desenvolupant la necessitat per la tecnologia.

1.4 Justificació

L'estudi a desenvolupar neix de la necessitat d'adaptar l'increment de les noves tecnologies al sector cultural. L'augment de la tecnologia, ha permès la millora de les funcionalitats i prestacions d'equips elèctrics i electrònics, per tal d'esmenar la qualitat dels seus serveis, i oferir produccions innovadores i espectaculars als seus clients.

En la actualitat, manca l'existència d'un estudi que permeti garantir una correcta qualitat de l'energia elèctrica entre els equips utilitzats en aquest sector. Una connexió indeguda, o propera a altres conductors que puguin provocar acoblaments, distorsionarà aquesta qualitat, i provocarà sorolls i un mal funcionament dels equips, que poden afectar a l'espectacle que s'estigui realitzant en el moment.

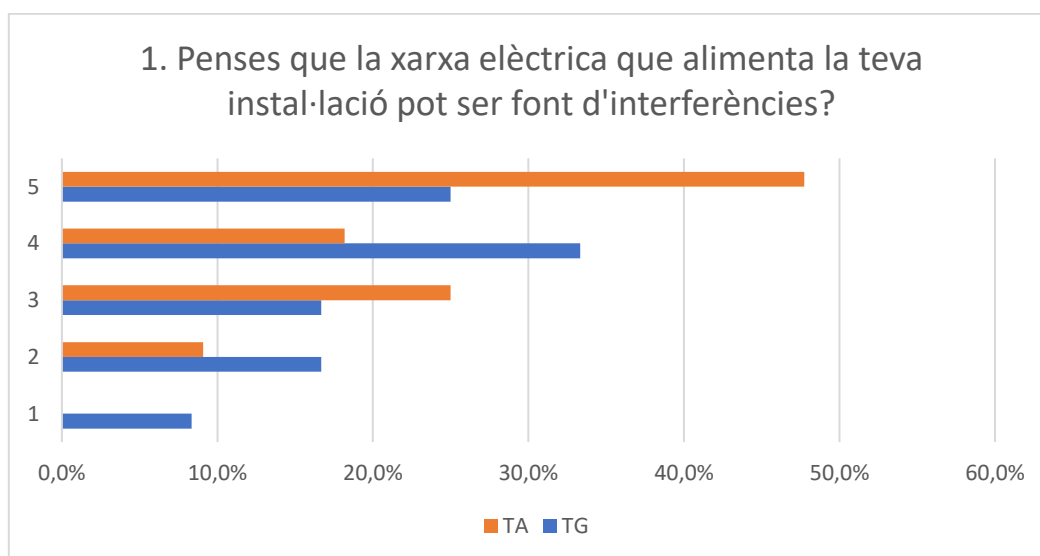
1.4.1 Enquesta d'anàlisi de la qualitat de l'energia en espectacles en viu

Per tal de conèixer amb més profunditat quines són les problemàtiques a les quals s'enfronten els professionals del món dels espectacles, s'ha efectuat una enquesta. El resultat obtingut ha permès analitzar les incidències més freqüents que sorgeixen a l'hora de realitzar el muntatge dels equips i les que poden aparèixer posteriorment en les instal·lacions elèctriques durant els espectacles en viu.

Aquesta enquesta ha volgut considerar les experiències i opinions de dos perfils, als quals se'ls ha formulat les mateixes preguntes. El primer, centrat específicament en els Professionals que han cursat la seva formació en el ESTAE (Escola Superior de Tècniques de les Arts del Espectacle. La població d'aquest perfil consta de 44 participants, i serà referit a les gràfiques com "TA".

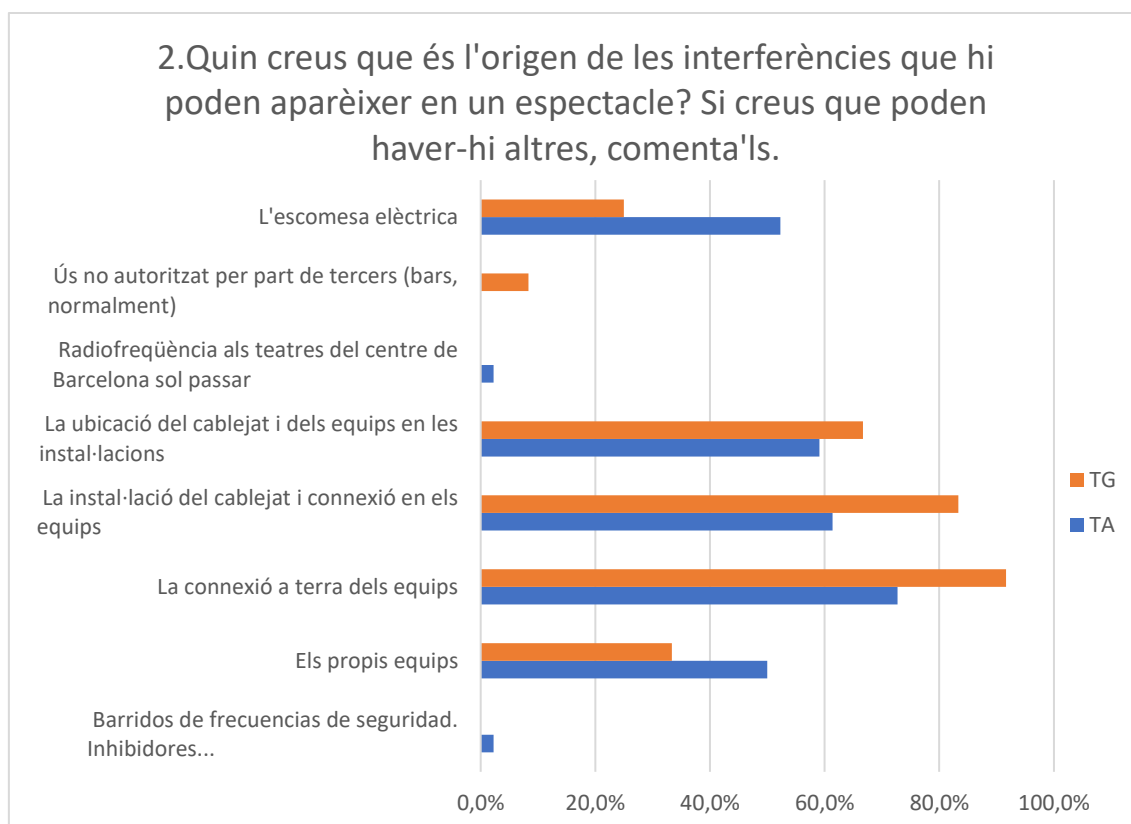
El segon perfil considerat, correspon a Professionals d'altres centres formatius que actualment exerceixen el seu ofici en altres teatres. La població consta de 12 participants, i serà referit a les gràfiques com "TG".

Els resultats obtinguts de ambdós perfils són les següents:



Gràfic 1: Enquesta: Resultat de la pregunta 1. Font: Pròpia

Com es pot observar al Gràfic 1, la valoració del perfil TA coincideix majoritàriament en el fet que la xarxa elèctrica de la instal·lació sigui una font d'interferències. En canvi el perfil TG no considera la xarxa elèctrica com la major font de perturbacions.



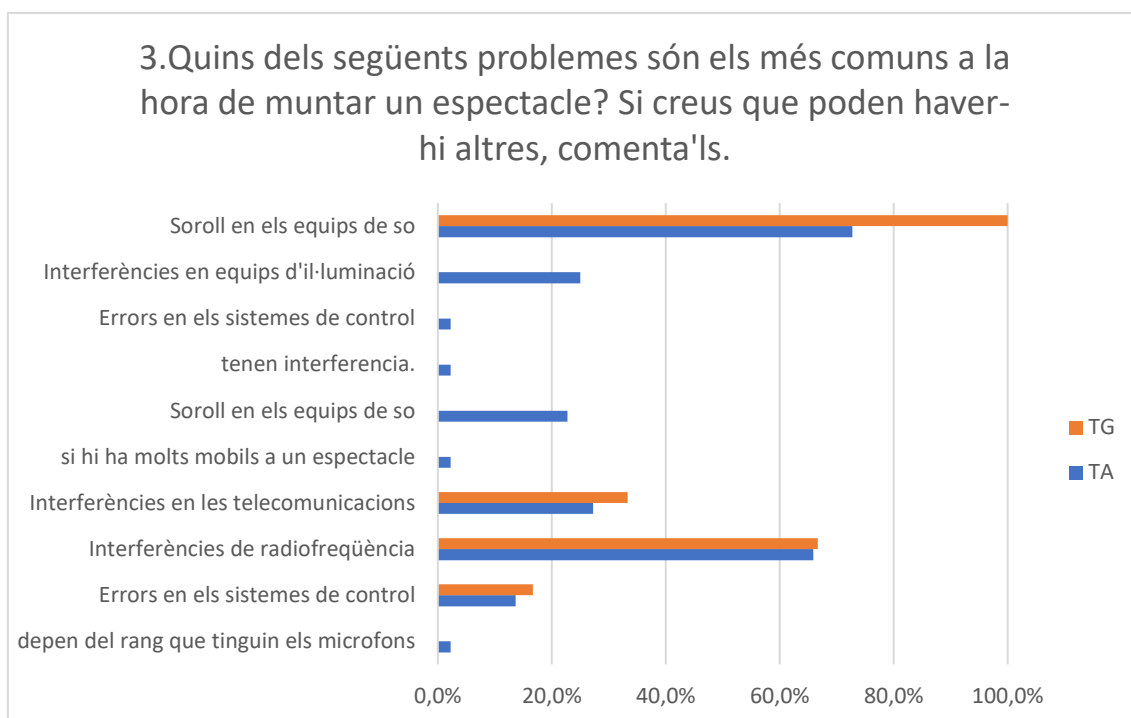
Gràfic 2: Enquesta: Resultat de la pregunta 2. Font: Pròpia

Aquesta pregunta permetia als participants escollir més d'una opció, per això els percentatges de la opció corresponen a la proporció de la població (es distingeix entre ambdós perfils) que ha seleccionat dita opció.

Com es pot veure, a part de les cinc opcions proveïdes, els participants tenien la opció d'afegir alguna altra que creguessin que pogués ser un origen de perturbacions. Es pot intuir que les noves aportacions són aquells amb el percentatge més baix.

En concordança amb la pregunta anterior el perfil TA dona una major importància a l'escomesa elèctrica com a origen de perturbacions. A més, aquest perfil també dona importància als equips emprats en produccions escèniques com a font d'interferències. Les opcions mencionades anteriorment no han tingut la mateixa importància en el cas del perfil TG.

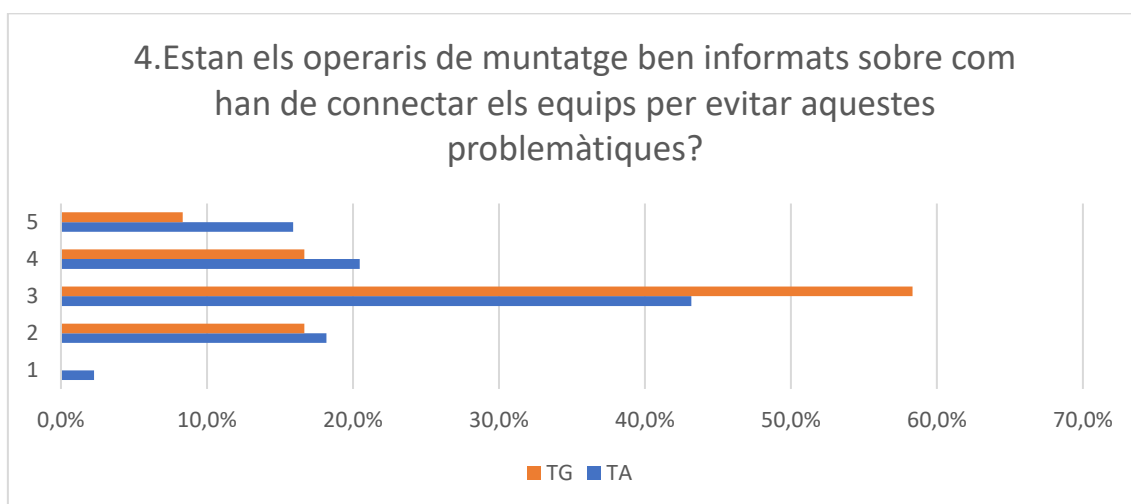
En canvi, per una banda, ambdós perfils coincideixen en que l'origen d'interferències pot estar més relacionat amb la ubicació i instal·lació del cablejat i dels equips en les instal·lacions, i per l'altra banda, en la connexió a terra dels equips.



Gràfic 3: Enquesta: Resultat de la pregunta 3. Font: Pròpia

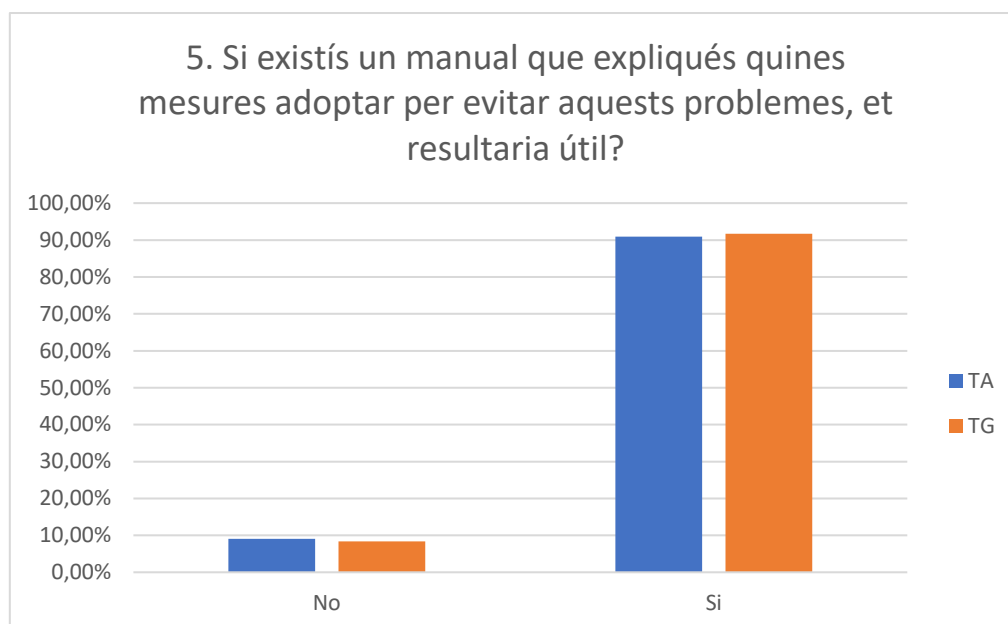
Tal com ocorre en el cas anterior, la pregunta permetia seleccionar més d'una opció i afegir altres opcions si era necessari.

Ambdós perfils donen la mateixa importància a l'aparició de soroll en els equips de so, interferències en les telecomunicacions i radiofreqüència, i en els errors que es produeixen en els sistemes de control deguts a fonts d'interferències. Curiosament, el perfil TA li ha donat importància a les interferències en equips d'il·luminació quan el perfil TG no li ha donat cap.



Gràfic 4: Enquesta: Resultat de la pregunta 3. Font: Pròpia

En aquest cas, la gràfica es podria considerar neutra a l'hora de valorar si els operaris de muntatge tenen la formació adequada, tot i que es pot observar que el perfil TA ho valora més positivament que el perfil TG.



Gràfic 5: Enquesta: Resultat de la pregunta 3. Font: Pròpia

A la pregunta de la existència d'un manual per evitar les problemàtiques mencionades anteriorment i les noves que puguin sorgir, ambdós perfils coincideixen en què aquest seria útil.

A l'enquesta es van formular dos preguntes més de manera opcional consultant en primer lloc quines mesures estan aplicant per evitar les interferències, i en segon lloc si es podria estar obviant alguna altra qüestió que pogués ser d'interès per l'estudi.

Per entendre i conèixer amb més profunditat quins són aquests efectes, s'han consultat diverses fonts d'informació, concretament fòrums de tècnics de so i il·luminació, que plantegen problemàtiques que troben a la hora de fer assajos, o en els propis directes, i que desconeixen com es podrien resoldre. [3] [4] [5]

Un dels grans inconvenients en la producció escènica ha sigut el pas de la il·luminació convencional a la il·luminació LED. Els LED són més eficients i eficaços, generen més quantitat de llum per energia consumida, per la qual cosa, generen més potència però amb un menor consum d'energia que altres lluminàries. A més, poden facilitar l'estalvi energètic fins a un 90%, i tenen un temps de vida útil molt superior a altres alternatives lumíniques. [6]

El gran inconvenient ha tenir en compte, és la generació d'interferències electromagnètiques. Els LED són els emissors de llum que més interferències i sorolls generen degut a la seva configuració interna. És per això que altres equip que es poden veure afectats amb la limitació del seu funcionament, la disminució del rendiment del sistema, i fins i tot, produir una avaria.

En la figura que es troba a continuació, es poden observar les principals diferències entre diversos tipus d'il·luminació:

Taula 1: Comparativa entre els diferents tipus d'il·luminació. Font [7]

LÚMENS	MENYS EFICIENT		MES EFICIENT		Consum d'energia i Cost anual
	INCANDESCENT	HALOGENA	BAIX CONSUM	LED	
450	40W	29W	10W	5W	
	5,34€/ any	3,87€/ any	1,34€/ any	0,67€/ any	
800	60W	43W	13W	10W	
	8,02€/ any	5,74€/ any	1,74€/ any	1,34€/ any	
1100	75W	53W	16W	15W	
	10,02€/ any	7,08€/ any	2,14€/ any	2,00€/ any	
1600	100W	72W	20W	19W	
	13,36€/ any	9,62€/ any	2,67€/ any	2,54€/ any	
Vida mitja	1 any	2 anys	10 anys	15-25 anys	

Es per això, que aquest projecte permet avaluar i mesurar la qualitat de l'energia en espectacles en viu, analitzant la influència que té la connectivitat entre equips, i la connexió dels equips a la xarxa elèctrica en instal·lacions ambulants on és munten i desmunten els equips en funció de les necessitats dels espectacles, i on el temps moltes vegades no permet la realització d'un estudi de les circumstàncies, efectes i conseqüències del que ocorre per a que no es torni a repetir.

A causa de la quantitat d'equips elèctrics i electrònics que s'utilitzen avui en dia com a conseqüència de l'avançament de la tecnologia, el principal objectiu de l'estudi és analitzar diferents situacions en les que es poden donar interferències i sorolls que alterin la qualitat de la energia, i en conseqüència la qualitat d'un espectacle per finalment poder proporcionar una solució que compleixi amb la normativa vigent actual. Així doncs, en funció de les necessitats i/o problemàtiques que es trobin, plantejar nous criteris a tenir en compte per a futures normatives a desenvolupar.

A més a més, per tal de que aquest projecte pugui arribar a totes aquelles persones que treballin en el món dels espectacles fent possible la realització de muntatges i efectes escènics: tècnics de so, d'il·luminació, de vídeo, de tramoies, de suport, etcètera..., i a totes aquelles que per interès o per necessitat requereixin la informació aquí present, s'ha disposat d'un capítol "Glossari" que permet explicar aquells conceptes que poden complicar l'enteniment d'aquest projecte fins al punt de no poder avançar per la no comprensió d'algun terme. Aquest capítol per tant, permetrà aclarir dubtes, ampliar i aprofundir més en coneixements tècnics per tal de tenir una comprensió completa d'aquest projecte.

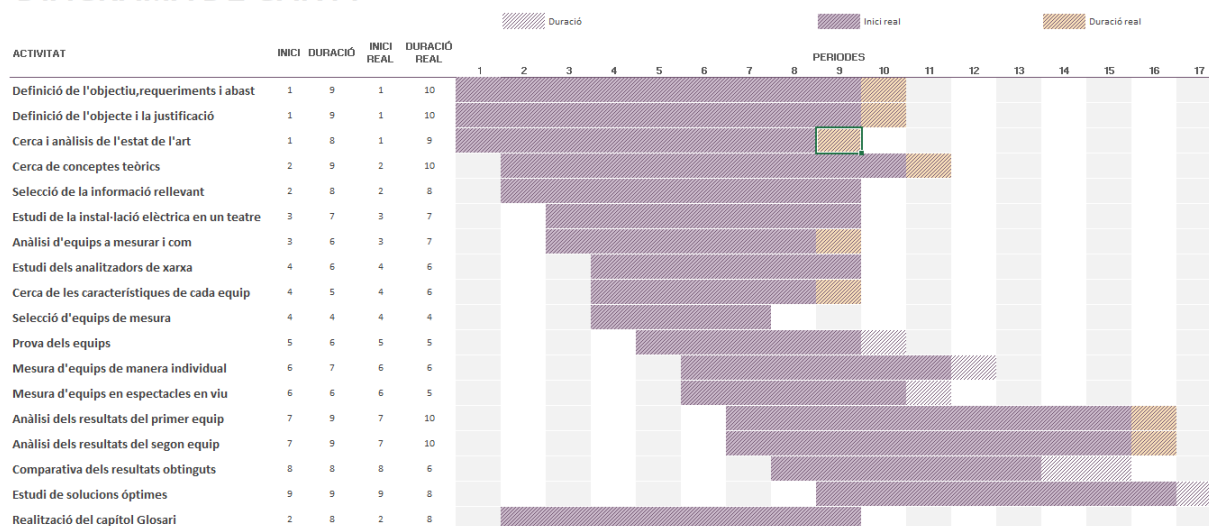
1.5 Diagrama de GANTT

La planificació s'ha elaborat abans de començar a realitzar aquest projecte, la seva duració és d'aproximadament quatre mesos i mig, i inclou totes les tasques necessàries per al seu desenvolupament en diferents períodes. La distribució de les tasques al llarg d'aquest període de temps, s'ha realitzat mitjançant el següent diagrama de Gantt. Com es pot observar, existeixen tres etapes per a distingir el plantejament previ inicial, de com realment s'ha desenvolupat.

En primer lloc, la "Duració" correspon a quant temps inicialment estava previst que ocupessin les tasques. En segon lloc, "l'Inici Real" indica quan es va iniciar realment, i finalment "Duració real" és el temps fins el qual s'ha prolongat la duració de cada tasca. En aquest cas per a la planificació s'ha tingut en compte el calendari universitari, podent així aprofitar al màxim les hores disponibles per a la seva realització.

Cal destacar que malgrat els contratemps que hi ha hagut, s'ha pogut complir amb el termini estimat.

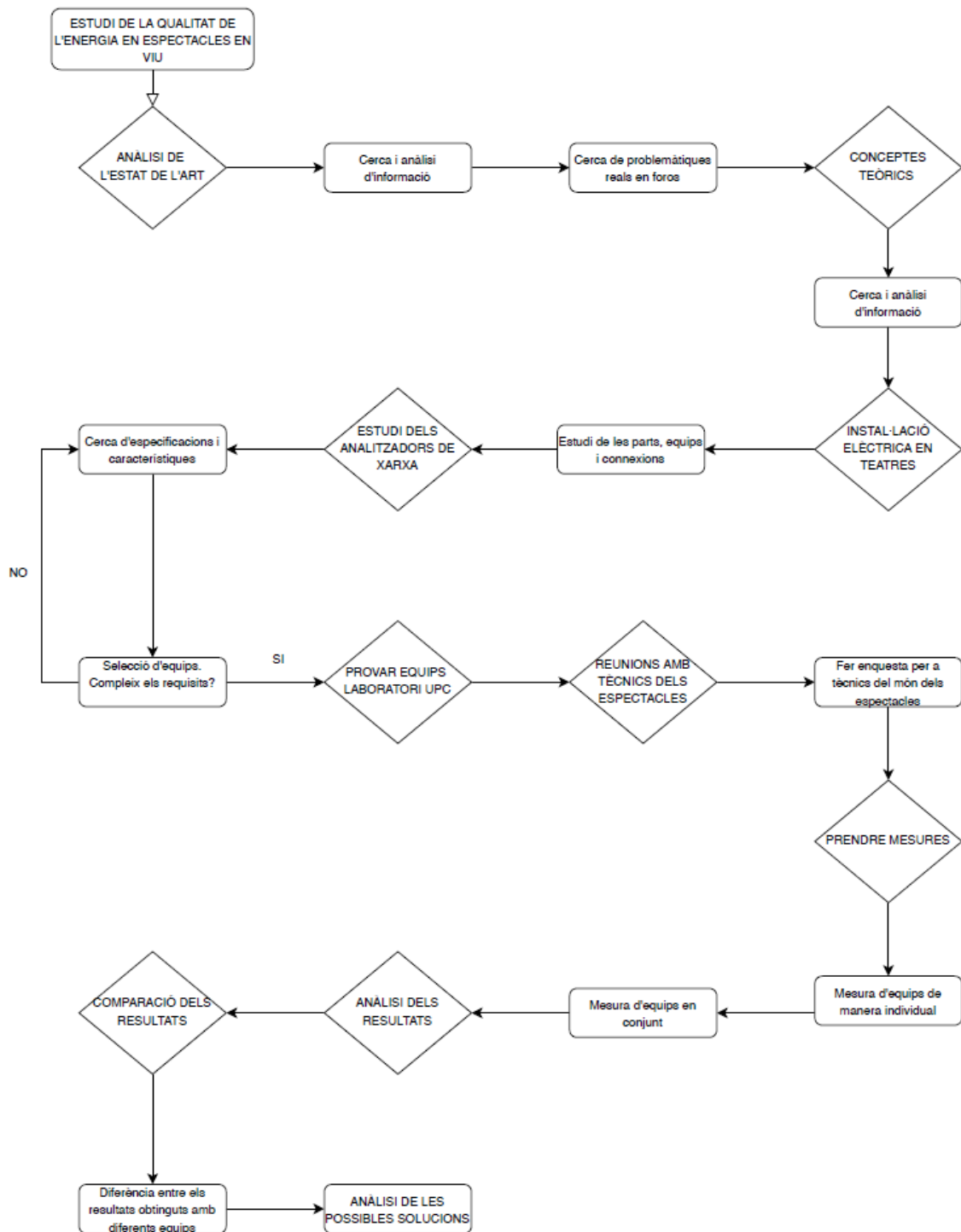
DIAGRAMA DE GANTT



Il·lustració 1: . Diagrama de Gantt de la planificació del projecte. Font: Pròpia

1.6 Diagrama de Flux

A continuació, amb el següent diagrama de flux, es procedeix a definir amb més profunditat les etapes i tasques descrites al Diagrama de Gantt.



Il·lustració 2: Diagrama de Flux de les tasques del projecte. Font: Pròpia

1.7 Requeriments i especificacions

En aquesta secció es descriuen els requeriments necessaris per dur a terme l'estudi de la qualitat de l'energia en espectacles en viu i poder garantir el seu abast. És per aquest motiu, que s'han considerat com a especificacions indispensables els analitzadors de xarxa dels quals s'han disposat per realitzar mesures, les mesures prèvies en el laboratori del departament d'Enginyeria Elèctrica de la UPC per conèixer i assegurar el funcionament dels analitzadors de xarxa, i les mesures en l'àmbit dels espectacles en viu, concretament en el Teatre Alegria de Terrassa.

Es consideren també requisits essencials, conèixer les principals característiques de les instal·lacions elèctriques en espectacles, els equips que normalment s'utilitzen i el material que permet realitzar les interconnexions i alimentació dels equips. Requisits que seran aclarits en els pròxims capítols.

1.7.1 Analitzador de xarxa AR6

L'analitzador portàtil de xarxa AR6, és un instrument de mesura digital que permet mesurar les ones de tensió i corrent de xarxes trifàsiques i monofàsiques, per tal de determinar quin és l'estat de la instal·lació, i d'analitzar problemes que puguin haver en la xarxa elèctrica d'una instal·lació.

Aquest equip ha sigut proporcionat per l'empresa CIRCUTOR. SA, sense la seva col·laboració no hagués estat possible disposar d'ell.



Il·lustració 3: Analitzador de xarxa AR6 de CIRCUTOR. Font: [8]

L'AR6 permet crear diferents perfils que es poden configurar, per tal d'enregistrar aquells paràmetres que siguin d'interès en cada mesura. Les mesures estan condicionades per la tipologia de la instal·lació elèctrica a mesurar: trifàsica amb neutre o sense, o monofàsica. Segons sigui, variarà la connectivitat de l'equip de mesura amb els equips a mesurar, però la manera de mesurar serà sempre la mateixa, es necessiten pinces amperimètriques per mesurar el corrent i connectors banana per realitzar la connexió entre les terres i les tensions de l'equip a mesurar i l'analitzador de xarxa.

Els paràmetres necessaris per aquest projecte han sigut els que corresponen a determinar com és la qualitat de la xarxa que s'ha mesurat, i són els següents:

Taula 2: Paràmetres de la qualitat de l'energia del AR6. Font [9]

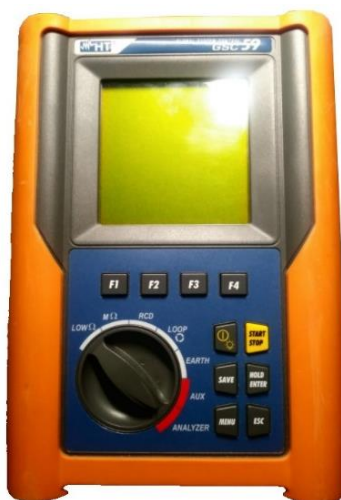
PARÀMETRES QUALITAT DE L'ENERGIA	DEFINICIÓ
Flicker instantani	Fluctuació de tensió en la xarxa elèctrica
Flicker PST	Avaluació del flicker en períodes curts de temps amb intervals d'observació de 10 minuts. Si es superior a 1, afecta negativament a la xarxa de baixa tensió.
Factor de cresta	Diferència entre el valor de pic i el valor RMS de la senyal.
K-Factor	Calcula de forma aproximada, la pèrdua de potència útil d'un transformador, com a conseqüència de l'existència d'harmònics.
THD V, THD V parell, THD V senar	Índex de distorsió harmònica en la tensió
THD I, THD I parell, THD I senar	Índex de distorsió harmònica en el corrent
Desequilibri i Asimetria V,A (Coeficients Kd i Ka)	Coeficients que indiquen el grau de desequilibri en les línies elèctriques

A més dels paràmetres anteriors, entre les seves funcionalitats, es troba la representació gràfica i emmagatzematge del contingut d'harmònics de tensió i de corrent de les tres fases que s'han mesurat, la ona de tensió i la ona de corrent de cada fase mesurada.

Per tant, l'anàlisi dels harmònics juntament amb els paràmetres anteriors, permetran conèixer quina és la situació de la qualitat de la xarxa elèctrica en els punts que es determinen.

1.7.2 Analitzador de xarxa GSC59

L'analitzador de xarxa GSC59 és un instrument de mesura que permet registrar i visualitzar paràmetres de xarxes elèctriques monofàsiques i trifàsiques per fase i totals de tensió, intensitat, potència activa, reactiva i aparent, energia, harmònics tant en tensió com en corrent fins al 49^è i factor de potència. Pel que respecta a la qualitat de l'energia, es capaç de registrar el factor de distorsió harmònica total de la tensió i de la corrent.



Il·lustració 4: Analitzador de xarxa GSC59 de HT. Font: Pròpia

En aquest analitzador de xarxa ocorre el mateix que amb el AR6, es a dir, es necessiten connectors banana, pinces amperimètriques i pinces cocodrill per poder connectar els equips a mesurar, amb l'analitzador de xarxa.

Els següents paràmetres referents a la qualitat de l'energia són els que s'han utilitzat a l'hora de prendre mesures:

Taula 3: Paràmetres de la qualitat de l'energia del GSC59. Font [10]

PARÀMETRES QUALITAT DE L'ENERGIA	DEFINICIÓ
ThdV	Factor de Distorsió Harmònica Total de la tensió
ThdI	Factor de Distorsió Harmònica Total de la corrent
H01÷ h49	Registre de l'harmònic 01 fins el 49 de tensió i corrent

En quant al GSC59 és un equip que mesura menys paràmetres que el AR6, però no obstant això, ens permet disposar de dos equips amb els que avaluar la qualitat de l'energia de dos equips o equip i xarxa, de manera simultània.

1.7.3 Equips a mesurar del laboratori de la UPC

En aquest subapartat s'efectuarà l'estudi dels equips utilitzats per a mesurar al laboratori del departament d'Enginyeria Elèctrica de la UPC, per la qual cosa, es nombraran els requisits bàsics que s'han considerat per seleccionar els equips a mesurar.

Per a la selecció dels equips, s'ha de tenir en compte quins són els equips que es podrien trobar en una representació escènica, i segons els requeriments, establir els equips que faran de prototip abans de poder mesurar en una representació real. Les mesures es realitzaran en els equips que es mostren a continuació: motor trifàsic, cargues resistives, font d'alimentació, inductància, focus halògens i cablejat monofàsic per mesurar.

1.7.3.1 Motor trifàsic

El motor utilitzat és un motor trifàsic connectat en estrella amb una intensitat màxima de 3 Amperers. Els motors que es troben en el món de l'espectacle, són motors utilitzats per a canvis d'il·luminació o en els sistemes de tramoia. La tramoia es l'art de desplaçar elements dins d'un escenari, tant en sentit horitzontal com en sentit vertical i normalment funcionen de manera motoritzada.

El motor és un dispositiu que freqüentment s'utilitza alhora que hi ha lluminàries, equips de radiofreqüència i de so en funcionament, per tant, pot actuar de receptor i estar afectat per interferències generades en aquests equips.



Il·lustració 5: Motor trifàsic AEG HT. Font: Pròpia-material UPC

Taula 4: Paràmetres de la qualitat de l'energia del GSC59. Font: Pròpia -material UPC

ESPECIFICACIONS MOTOR TRIFÀSIC AEG Nº 585590

Potència Nominal [CV]	0,75
Tensió Nominal [V]	220 / 380
Velocitat Nominal [rpm]	920
Intensitat Nominal [A]	3 / 1,7

1.7.3.2 Càrregues resistives

En les càrregues resistives el corrent no queda desfasat respecte de la tensió quan aquesta circula per la resistència, es a dir, la tensió i el corrent coincideixen en fase. En particular, al laboratori s'utilitzarà una càrrega resistiva que va des dels 24,28 Ω fins als 170 Ω, mitjançant un potenciómetre que te 7 posicions, i quatre focus halògens de 350 W cadascun que sumen una potència total de 1400 W.



Il·lustració 6: D'esquerra a dreta: Càrregues resistives i focus halògens. Font: Pròpia-material UPC

En l'àmbit espectacular, una càrrega resistiva sempre anirà acompanyada amb altres mòduls de càrrega, ja sigui resistiva, inductiva o capacitiva. Fa uns anys, la càrrega resistiva més emprada eren els focus d'incandescència estàndard, es a dir, focus de filaments de tungstè. Després van

aparèixer els focus fluorescents i els halògens. Les làmpades halògenes són l'evolució de les làmpades d'incandescència, amb una làmpada més petita amb gas halogen, s'aconsegueix la mateixa potència, una vida útil més llarga i una qualitat de luminescència superior.

En l'actualitat s'està començant a fer el canvi a LED, càrregues que a més de ser resistives també són capacitives, i per tant, generen més perturbacions a la xarxa elèctrica.[11]

1.7.3.3 Font d'alimentació

La font d'alimentació té dos modes d'utilització, pot ser emprada com a font trifàsica regulable de corrent alterna, o font de corrent continua regulable. En totes les mesures que es realitzaran al laboratori, la font d'alimentació operarà com a font trifàsica regulable de corrent alterna. D'aquesta manera, es podrà fer servir per mesurar càrregues monofàsiques i càrregues trifàsiques.

Tal com s'observa a la imatge, la font arriba fins un màxim de 391 V tensió de línia, el que vol dir que internament està connectada en estrella. Per cada fase la tensió serà de 230 V aproximadament, degut a les definicions de tensions de fase i línia:

$$V_{LÍNIA} = \sqrt{3} \cdot V_{FASE} \quad [12]$$



Il·lustració 7: Font d'alimentació trifàsica regulable de corrent alterna. Font: Pròpia-material UPC

1.7.3.4 Inductància

En les càrregues inductives, el consum es produeix principalment en les bobines. El corrent queda endarrerit 90° respecte de la tensió. Aparells com el microones, forns, o equips que utilitzen transformadors, reactàncies, motors o compressors, són càrregues inductives. En aquesta càrrega, la inductància pot adquirir tres valors per cada línia: 362 mH, 254 mH i 127 mH.

A continuació, es calculen els valors d'intensitat que es poden obtenir al utilitzar cadascuna d'elles:

Per una inductància de 127 mH:

$$X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \quad [12]$$

On $f \rightarrow$ freqüència de xarxa, 50 Hz $L \rightarrow$ valor de la inductància

$$X_{L1} = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 127 \cdot 10^{-3} = 39,9 \, \Omega$$

$$I_1 = \frac{V_{FASE}}{X_{L1}} = \frac{391/\sqrt{3}}{39,9} = 5,66 \, A \quad [12]$$

Per una inductància de 254 mH:

$$X_{L2} = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 254 \cdot 10^{-3} = 79,8 \Omega$$

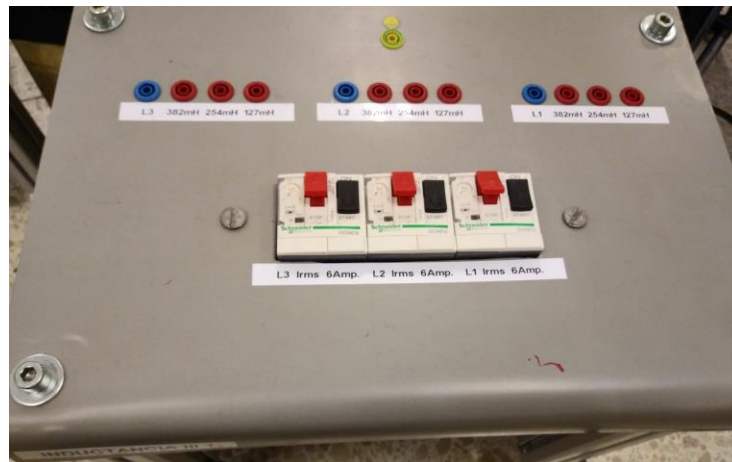
$$I_2 = \frac{V_{FASE}}{X_{L2}} = \frac{391/\sqrt{3}}{79,8} = 2,83 A$$

Per una inductància de 362 mH:

$$X_{L3} = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 362 \cdot 10^{-3} = 113,73 \Omega$$

$$I_3 = \frac{V_{FASE}}{X_{L3}} = \frac{391/\sqrt{3}}{113,73} = 1,98 A$$

En l'àmbit espectacular, les càrregues inductives que es poden localitzar són motors elèctrics, tubs fluorescents, transformadors i equips que continguin bobines.



Il·lustració 8: Inductància. Font: Pròpia-material UPC

1.7.3.5 Material de mesura

- **Cablejat monofàsic per mesurar**

Un altre punt a tenir en compte per aquells aparells monofàsics que van connectats a la xarxa amb un endoll convencional, com les lluminàries dels espectacles o equips de so com altaveus, ha sigut la manera de poder mesurar aquests equips. És per aquest motiu que ha sigut necessari disposar d'un cablejat que per una banda tingui un endoll a un extrem per connectar-lo a la xarxa elèctrica de l'edifici, i per l'altra un connector femella a l'altre extrem per connectar l'endoll dels equips. Així, entre mig d'aquests tipus de connectors, hi haurà un fragment de cable sense la coberta exterior per poder col·locar les pinces amperimètriques, i un altre fragment amb connectors banana mascle per vincular la tensió de l'equip de mesura amb la tensió que hi circula.



Il·lustració 9: Cablejat monofàsic. Font: Pròpia-material UPC

Altres materials utilitzats són els connectors banana mascle-mascler per els equips del laboratori mencionats anteriorment i per connectar l'analitzador de xarxa GSC59 al quadre general de l'edifici del Teatre Alegria. Els connectors banana van juntament amb pinces cocodril per tal d'enclavar-se a les línies 1,2,3 i neutre de l'escomesa general.



Il·lustració 10: D'esquerra a dreta: Connectors banana mascle-mascler i pinces cocodril. Font: [13][14]

- **Pinces amperimètriques**

Una pinça amperimètrica és un instrument que porta un sensor de corrent, existeixen rígides i també flexibles. Les pinces tenen un recobriment de plàstic, i per dins estan fabricades amb ferro de ferrita per detectar, concentrar i mesurar el camp magnètic que genera el corrent quan circula a través d'un conductor. [15]

GPC-100 Per mesurar el corrent en l'analitzador de xarxa AR6 s'han utilitzat tres pinces GPC-100 amb un rang de mesura de 1A a 100A.



Il·lustració 11: Pinça amperimètrica GPC-100. Font: [16]

HT96U En canvi, per mesurar el corrent en l'analitzador de xarxa GSC59 les pinces són diferents degut a que els connectors entre la pinça i l'equip de mesura són diferents entre models. La pinça HT96U té un selector per a mesurar en diferents precisions de corrent: 1A, 100A i 1000A. Donat que el rang de corrent que es mesurarà serà més petit que 100A però més gran que 1A es seleccionarà el rang de precisió de 100A.



Il·lustració 12: Transductor de corrent de fugues HT96U. Font:[17]

De les pinces HT96U només s'ha disposat d'una, per tant, només es podrà utilitzar quan es mesuri en monofàsica. A l'hora de mesurar en trifàsica s'utilitzaran pinces amperimètriques flexibles, també anomenades bobines Rogowski ja que responen al principi de funcionament de bobina Rogowski.

Les pinces amperimètriques flexibles no tenen nucli de ferro sinó d'aire, i utilitzen una bobina amb forma d'hèlix al voltant d'una circumferència. La bobina Rogowski ha de formar un circuit tancat al voltant del conductor pel que circula el corrent que es vol mesurar. El corrent que circula pel conductor genera un camp magnètic, el qual induïx entre els extrems de la bobina, una tensió proporcional a la variació en el temps del corrent mesurat. [18]



Il·lustració 13: Pinces amperimètriques flexibles. Font:[19]

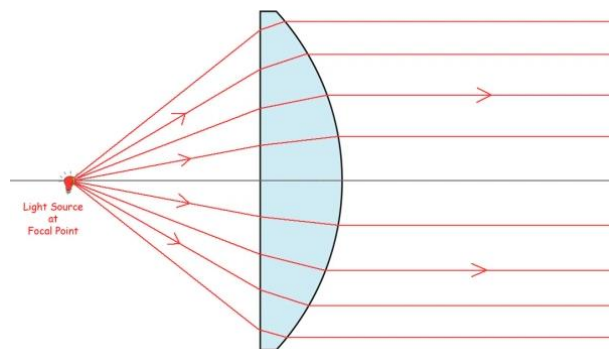
1.7.4 Equips de mesura del Teatre Alegria

En el món dels espectacles existeixen una ampla quantitat de càrregues que es connecten a l'escomesa general de la instal·lació elèctrica. Les mesures s'han efectuat en les diferents càrregues que més problemàtiques poden generar en altres equips, en quant a interferències, es a dir, les lluminàries utilitzades en la il·luminació espectacular.

Els equips utilitzats per realitzar aquestes mesures han sigut els que hi havia disponibles en el moment.

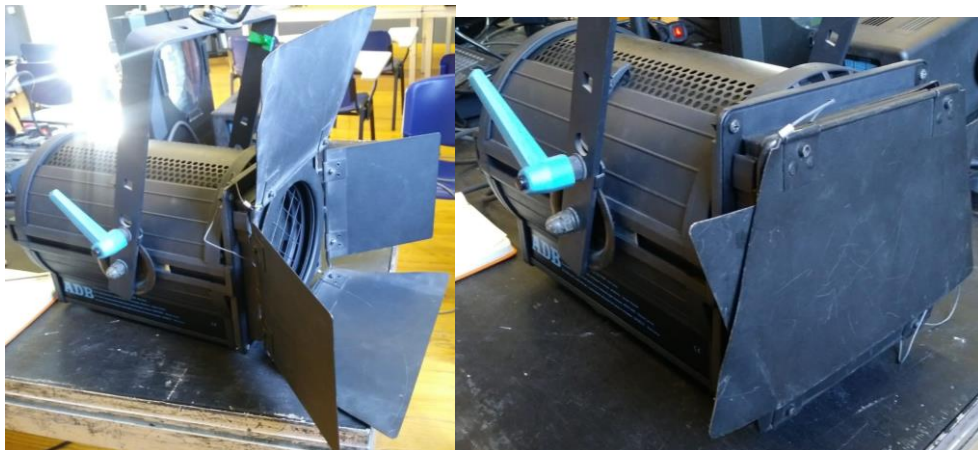
1.7.4.1 Focus ADB C103

El focus ADB C103 disposa de lents dissenyades específicament per a aplicacions d'il·luminació de cines, teatres i televisió. Aquestes lents poden ser lents PC (Plana-convexa) o Fresnel i tenen la peculiaritat de ser lents planes-convexes el que permet que tota la il·luminació estigui concentrada en l'escena que es enfoca i que no vagi cap a punts morts com potser, darrere de l'escenari. La diferència entre les dues, és que les Fresnel a més a més tenen les lents comprimides, pesen i ocupen menys que les PC [20]



Il·lustració 14: Lent Plana-Convexa. Font:[20]

Aquest en particular té una potència màxima de 1200 W i un corrent màxim de 5,5 A.



Il·lustració 15: Focus ADB C103. Font: Pròpia-material de l'ESTAE

1.7.4.2 Focus ADB FRESNEL A59 Z

És un focus reflector el·lipsoidal o focus de perfil potència màxima de 650 W ,amb mirall esfèric i òptica de condensador. Degut al feix de llum ben definit que projecta, és ideal per a espais petits i per a ressaltar detalls en grans escenaris. [21]



Il·lustració 16: Focus ADB Fresnel A59 Z. Font: Pròpia-material de l'ESTAE

1.7.4.3 Focus BPP210 LED BEAMZ

Tal com s'ha explicat en punts anterior, els focus LED generen quantitat d'interferències a la xarxa elèctrica i a altres equips. És per això que s'han fet mesures en el següent focus LED. Un focus que te 4 canals en 1, cada color Red, Green, Blue, White està vinculat a un canal del Dimmer, per la qual cosa es possible projectar qualsevol combinació de color. A més, te diverses funcions que permeten pre-programar efectes lumínics.

La potència de cada LED és de 12 W, com que hi ha 18 LEDs, la potència total del focus LED és de 216 W.



Il·lustració 17: Focus BPP210 LED BEAMZ. Font: Pròpia-material de l'ESTAE, [22]

1.7.4.4 Focus halogen STR 75 R/T PF

Aquest tipus de focus, és un projector de perfil o seguidor, que accepta MR16, format estàndard de làmpades halògenes o LED, de fins a 75 W i 12 V. A més permet la projecció de Gobos. Els Gobos són discos metàl·lics perforats o de vidre resistent a altes temperatures que s'introdueixen entre la làmpada i les lents, que permeten realitzar projeccions a gran escala. [23]



Il·lustració 18: Focus STR 75 R/T PF. Font: Pròpia-material de l'ESTAE, [24]

1.7.4.5 Tubs fluorescents SYLVANIA

Les làmpades fluorescents consisteixen en un tub de vidre que conté internament petites quantitats de vapor de Mercuri i un gas inert que normalment és Argó o Neó a una pressió més baixa que la atmosfèrica. [25]

Els tubs fluorescents encara que no s'utilitzin com a focus espectacular, es poden fer servir en sales o habitacions d'equips de so, o Dimmers, per la qual cosa, al ser una font de perturbacions podrien afectar als equips. És per aquest motiu que s'han inclòs en la mesura. Aquests tubs fluorescents tenen una potència de 36 W.



Il·lustració 19: Tub fluorescent Sylvania. Font: Pròpia-material de l'ESTAE

1.7.4.6 ADB SVOBODA HT 2251

És una lluminària de tipus incandescent o convencional amb filaments de tungstè, formada per 9 làmpades amb reflector episcopi, també anomenat projector d'opacs, de 24 V de baixa tensió, que estan connectades en sèrie. Cada làmpada té una potència màxima de 250 W el que fa que es disposi d'una potència màxima total de 3250 W. Projecta feixos de llum concentrats, produint l'efecte de cortina de llum.



Il·lustració 20: ADB SVOBODA HT 2251. Font: Pròpia-material de l'ESTAE [26]

1.7.4.7 Canviador de color DIAFORA CC2500

El següent dispositiu és un canviador de color per a focus de 2 i 3 KW , amb un motor de 2-2,5 kW.[27]

Disposa de 24 colors i connexió DMX per a que pugui ser regulat mitjançant un Dimmer. És un equip molt antic, però que serveix per simular l'ús d'un motor petit en l'àmbit espectacular.



Il·lustració 21: Canviador de color DIAFORA CC2500. Font: Pròpia-material de l'ESTAE

1.7.4.8 BOTEX MPX-405 DIMMER

És un Dimmer monofàsic amb 4 sortides per endollar els equips a utilitzar. Cada sortida disposa de 4 canals, el que fa un total de 16 canals. La seva connexió amb els equips que permetin regulació, es fa a través de DMX.



Il·lustració 22: Dimmer monofàsic MPX-405. Font: Pròpia-material de l'ESTAE [28]

1.7.4.9 Mesclador d'il·luminació BOTEX SDC-16

És un mesclador d'il·luminació que es connecta als Dimmers a través de DMX per tal de regular la il·luminació dels focus. En el cas del focus LED permet mesclar 4 canals corresponents a cadascun dels colors del LED, per crear il·luminacions de colors diferent.



Il·lustració 23: Mesclador d'il·luminació BOTEX SDC-16. Font: Pròpia-material de l'ESTAE, [29]

1.7.4.10 Dimmer trifàsic MIZAR

Dimmer trifàsic que te 12 entrades d'equips. Al igual que el Dimmer monofàsic, s'ha de connectar al mesclador d'il·luminació i als equips que ho requereixin. S'han realitzat mesures en un Dimmer monofàsic i un altre trifàsic per poder valorar si algun d'ells és més vulnerable a les perturbacions.

Les característiques tècniques no s'han pogut trobar, degut a l'antiguitat de l'equip.



Il·lustració 24: Dimmer trifàsic MIZAR per davant. Font: Pròpia-material de l'ESTAE

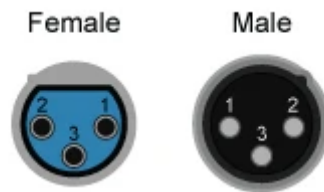


Il·lustració 25: Dimmer trifàsic MIZAR per darrere. Font: Pròpia-material de l'ESTAE

1.7.4.11 Connectors DMX

En quant als connectors DMX emprats, existeixen dues tipologies, un que disposa de 3 pins i un altre que en te 5.

El que disposa de 3 pins és un cable multifilar de 3 fils amb connector XLR de 3 pins que fa servir l'estàndard RSA-485 per transmetre de forma unidireccional l'estat HI i LO, es a dir, 1 i 0. El pin 1 es la senyal de referència (massa), el pin dos el polo negatiu, i el pin 3 el polo positiu de la senyal.



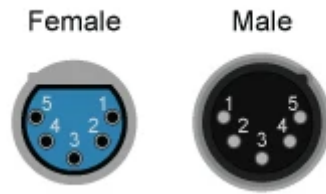
Il·lustració 26: Connector DMX 3 Pins. Font: [30]

Taula 5: Connexió del DMX 3-PIN. Font: Pròpia, [30]

Connector DMX 3-PIN

Massa / Terra	Pin 1
Data -	Pin 2
Data +	Pin 3

El que disposa de 5 pins és un cable multifilar de 5 fils amb connector XLR de 5 pins que fa servir l'estàndard RSA-485 per transmetre de forma bidireccional entre els equips connectats i poder enviar feedback des dels dispositius.



Il·lustració 27: Connector DMX 5Pins. Font: [31]

Taula 6: Connexió del DMX 5-PIN. Font: Pròpia [31]

Connector DMX 5-PIN

Massa / Terra	Pin 1
Data 1 - Enviament principal de la senyal	Pin 2
Data 1 + Enviament principal de la senyal	Pin 3
Data 2 - Enviament secundari i opcional de la senyal	Pin 4
Data 2 + Enviament secundari i opcional de la senyal	Pin 5

CAPITOL 2: CONCEPTES TEÒRICS

El present capítol explica quins són els conceptes teòrics previs que s'han de conèixer per tal de poder aprofundir en l'anàlisi de les mesures obtingudes en l'estudi de camp. Aquests conceptes són de caràcter general, el que significa que s'apliquen majoritàriament en el món de la indústria, però que no obstant, podrien fer-se servir en el món de les arts escèniques.

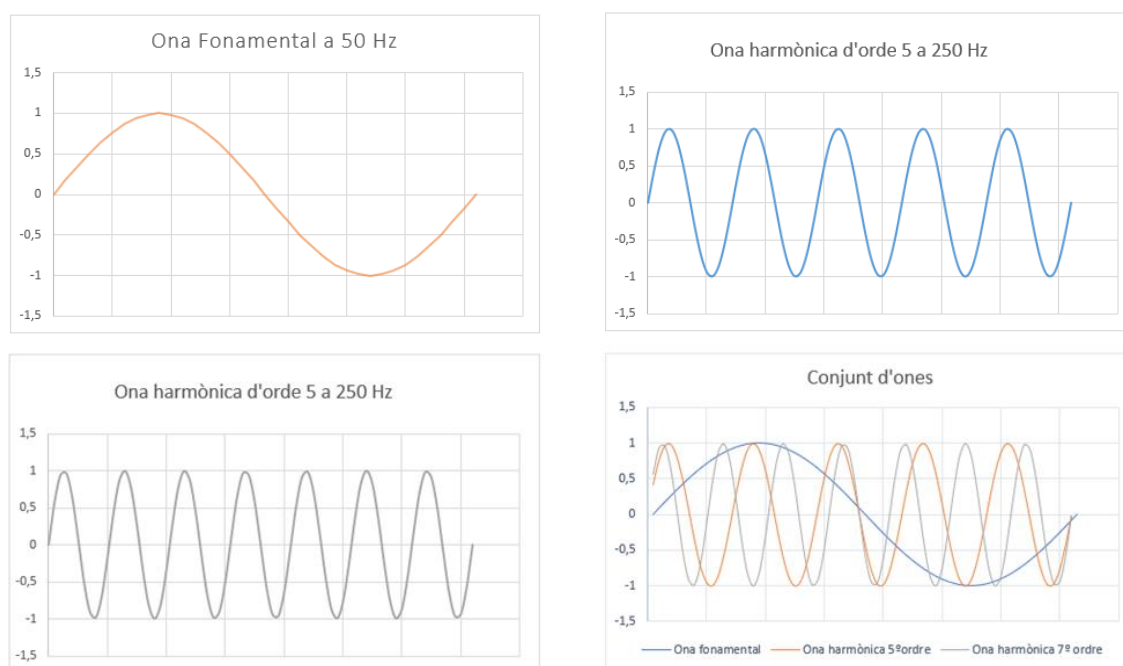
Una vegada s'hagin explicat els conceptes principals per entendre aquest projecte, es profunditzarà en la seva aplicació en el món dels espectacles en viu.

2.1 Què són les pertorbacions i com s'originen

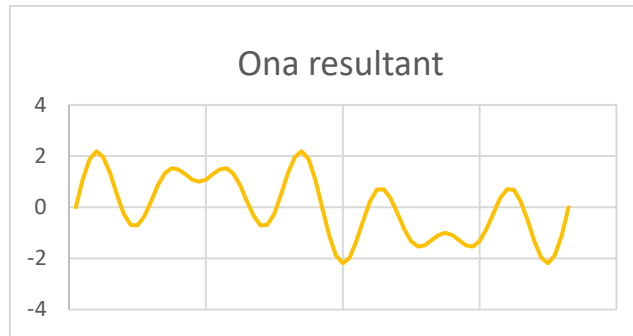
Un dels inconvenients generals que més afecten a la qualitat de l'energia elèctrica d'instal·lacions de baixa tensió, és la distorsió harmònica. Aquesta es produeix a la ona degut a la gran quantitat d'elements no lineals dels equips i a les càrregues dels sistemes de potència que hi ha a la xarxa, els quals generen altres ones de diferents freqüències, els harmònics. Una càrrega es considera no lineal quan la intensitat que circula per ella, no té la mateixa forma sinusoidal que la tensió a la qual està alimentada [33].

Es produeix per tant, el principi de superposició, el qual estableix que quan diverses ones es troben en una mateixa regió de l'espai, el resultat serà una nova ona formada per la suma de les pertorbacions de les diferents ones originals. Independentment de l'origen de les pertorbacions considerades, la pertorbació resultant vindrà donada per la següent equació:

$$f(x, t) = f_1(x, t) + f_2(x, t) + \dots + f_n(x, t) \quad [32]$$



Gràfic 6: Procés de superposició d'ones. Font: Pròpia



Gràfic 7: Resultat de la superposició d'ones. Font: Pròpia

Les càrregues no lineals com: rectificadors, inversors, variadors de velocitat, forns...absorbeixen de la xarxa corrents periòdiques no sinusoidals. Aquests corrents estan formades per una component fonamental a freqüència de 50 Hz, més una sèrie de corrents sobreposades. Aquestes són variacions generades per tensions o corrents sinusoidals amb freqüències que són n vegades la freqüència fonamental. Per tant, els harmònics són el resultat de les variacions acomodades en una freqüència d'emissió, també anomenada freqüència fonamental, que provoquen una deformació del corrent i com a conseqüència de la tensió generant una sèrie d'efectes secundaris associats. Entre les càrregues més comuns es troben els variadors de velocitat/ freqüència, les làmpades de descàrrega (fluorescents, baix consum, de sodi...), rectificadors, convertidors CA-CC i ordinadors [33].

Els harmònics provoquen quantitat de problemes als usuaris i proveïdors d'energia elèctrica, podent limitar el rendiment i les funcionalitats de l'equip, fins al punt de provocar problemes irreversibles que el deixin sense utilitat.

En funció del rang de la freqüència, aquestes deformacions es propaguen per les instal·lacions de manera diferent, tal com s'observa a la següent classificació [34]:

- Pertorbacions de baixa freqüència < 10 KHz: Soroll conduït (Fonts d'alimentació)
En aquest grup de pertorbacions de baixa freqüència hi apareixen els harmònics amb un rang de freqüències que corresponen des dels 150 Hz fins als 2 KHz.
- Pertorbacions en la Banda 10 KHz $< f < 150$ KHz: Soroll conduït i radiat-acoblat (Fonts commutades, relés).
- Pertorbacions en la Banda 150 KHz $< f < 30$ MHz: Soroll radiat i radiat-acoblat.
- Pertorbacions en la Banda 30 MHz $< f < 300$ MHz: Soroll radiat.
- Pertorbacions en la Banda 300 MHz $< f < 18$ GHz: Soroll radiat (Equips de comunicació).

Soroll radiat-acoblat

Soroll conduït

Soroll radiat



Il·lustració 28: Classificació de les pertorbacions en funció de la freqüència. Font: Pròpia

2.2 Tipus de propagació de les EMI

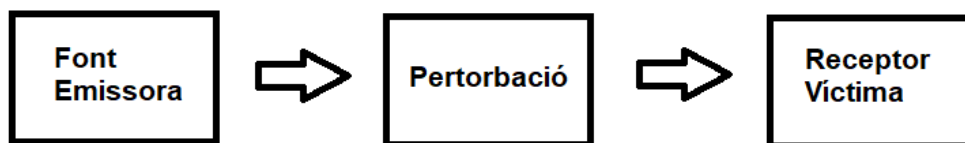
Coneixent doncs les diferents perturbacions generades per l'emissor, s'exposen a continuació els conceptes bàsics de les perturbacions i la seva classificació en funció de la forma de propagació [35][36]:

Les **interferències electromagnètiques** o EMI, Electromagnetic Interferences en anglès, són perturbacions que apareixen en un circuit, sistema o aparell electrònic causades per la presència de voltatges o corrents no desitjats per causes humanes, o per causes naturals. Com a causes humanes es troben entre ells, les EMI que produeixen els sistemes o aparells elèctrics i electrònics, o elements de comunicació, i com a causes naturals es troben les descàrregues atmosfèriques o efectes solars que afecten la ionosfera.

La **compatibilitat electromagnètica** o EMC, Electromagnetic Compatibility en anglès, és l'aptitud que té un dispositiu o sistema per funcionar correctament en un entorn amb EMI, i sense que ell mateix produeixi perturbacions a altres equips o sistemes del seu entorn.

La **susceptibilitat electromagnètica** o EMS, Electromagnetic Susceptibility en anglès, és la falta d'aptitud que té un dispositiu o sistema de funcionar correctament en presència d'una EMI. Per tant, una alta susceptibilitat significarà una alta sensibilitat a les interferències electromagnètiques.

Les perturbacions es poden produir en qualsevol equip elèctric/electrònic però les més freqüents es produeixen en circuits de control de làmpades fluorescents i balastos electrònics, emissors de radiofreqüència, control de velocitat de motors elèctrics tant de corrent continu com corrent altern, i amplificadors o oscil·ladors industrials d'alta potència.



Il·lustració 29: Diagrama bàsic de transmissió de les perturbacions. Font: Pròpia [37]

Hi ha dos tipus principals de d'EMIs segons la forma de propagació de la perturbació: EMI conduïdes i EMI radiades.

Les EMI conduïdes es propaguen mitjançant el cablejat d'alimentació, senyal o terra, es a dir, es propaguen a través de conductors o components. Són possibles si la longitud de les connexions per les quals circulen són suficients per crear un camp electromagnètic. Poden aparèixer en mode diferencial, quan es propaguen només per conductors actius del sistema. També poden aparèixer en mode comú, si es propaguen per conductors actius i la terra del sistema. Principalment, es propaguen per acoblaments capacitius, on hi ha grans variacions de tensió respecte al temps.

En canvi, les EMI radiades es produeixen per la generació d'ones electromagnètiques. Es consideren radiades i no acoblades, quan la longitud de propagació (L_p) entre font de perturbació i receptor (víctima), és superior a la longitud d'ona del senyal que es propaga (λ) dividida entre 2π .

$$L_p > \frac{\lambda}{2\pi} \rightarrow \lambda = \frac{c}{f} \quad [42]$$

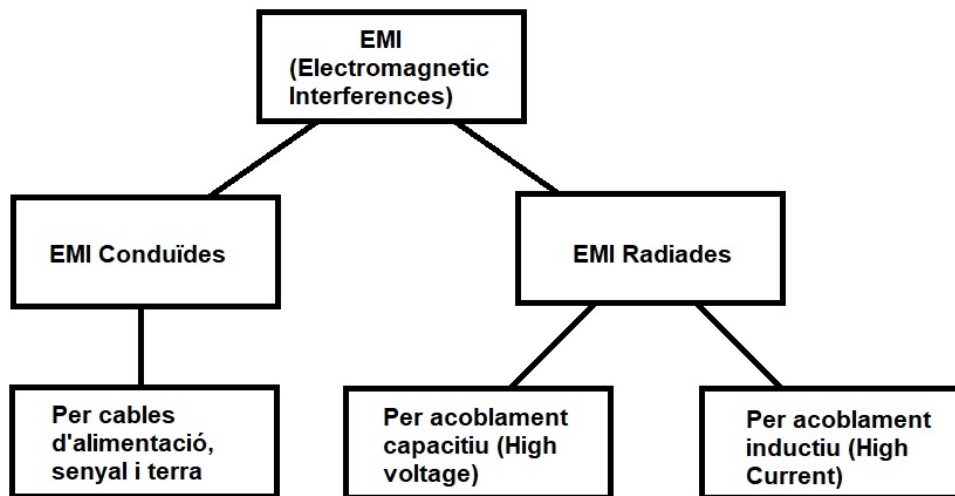
On C és la velocitat de la llum i f la freqüència de l'ona propagada

Quan aquesta distància es menor, es a dir $Lp < \frac{\lambda}{2\pi}$, les pertorbacions són acoblades. Les pertorbacions per acoblament poden ser de dos tipus:

EMI propagades per acoblament capacitiu. Produïdes per l'efecte del camp elèctric, es a dir, quan aquest generat per una tensió aplicada entre dos conductors travessa un altre pròxim, s'indueix en ell un corrent paràsit, la qual també pot provocar una tensió paràsit. La tensió induïda serà més gran quant menor sigui la distancia entre la font de pertorbació i la víctima, quant major sigui la variació respecte al temps de la diferencia de potencial o major sigui la seva freqüència, o quant major sigui la longitud de dels dos circuits enfrontats. Per tal de reduir aquesta EMI, s'utilitzen cables apantallats, ja que el camp elèctric no travessa les pantalles conductores. La principal font dels EMI propagades per acoblament capacitiu, és on hi ha grans variacions de tensió respecte al temps.

EMI propagades per acoblament inductiu. Es produeixen per l'efecte del camp magnètic. Aquest es produeix quan tenim un fil conductor amb corrent, el qual crea el camp magnètic, i una espira (bucle) on es genera la f.e.m pertorbadora. El principi teòric és la llei de Faraday, també coneguda com llei electromagnètica, la qual relaciona el flux magnètic que passa a través d'una espira amb la magnitud de f.e.m induïda en la espira.

Per tant, la classificació quedaria de la següent manera:



Il·lustració 30: . Classificació de les EMI segons la forma de propagació. Font: Pròpia [37]

La f.e.m serà més gran quant més gran sigui el corrent, el àrea de la espira, i la distància entre el cable pertorbador i la espira. La principal font son els bucles d'intensitat que presenten grans derivades respecte del temps. Hi ha diverses maneres de reduir l'acoblament inductiu [38]:

Reduir l'àrea del bucle víctima amb el trenat del cable, anular el camp magnètic creat mitjançant la mínima separació entre el cable amb el corrent pertorbadora i el cable de retorn del corrent, el qual anirà en sentit invers, o bé, si el cable amb el corrent pertorbadora es perpendicular al bucle víctima, no hi haurà camp magnètic i per tant, no es produirà la pertorbació.

2.3 Vies de propagació de les pertorbacions en equips

Hi ha quatre formes per les quals un equip es pot veure afectat per la incompatibilitat electromagnètica [40]:

- **Harmònics de la senyal.** La senyal de qualsevol transmissor té harmònics de la senyal principal. Els límits d'amplitud màxima d'aquests harmònics estan establerts a la normativa, i en conseqüència s'han de regular amb filtres que només deixen passar baixes freqüències i atenuïn les altres freqüències. No obstant, el nivell d'harmònics encara que sigui baix després d'haver sigut filtrat, pot ser suficient per generar interferències.
- **Sobrecàrrega de la etapa d'entrada per la senyal fonamental.** Tots aquells equips que utilitzen circuits d'entrada no sintonitzats són susceptibles de deixar passar suficient nivell d'una senyal de freqüència molt més baixa, fins al punt de sobrecarregar el transistor preamplificador. En aquest cas ningun filtre aplicat a l'emissor serà eficaç per eliminar la senyal.
- **Captació directa pels circuits i connexions externes.** Aquestes captacions són degudes a senyals procedents d'equips de RF en equips d'amplificació de baixa freqüència.
- **Bucles de connexions.** Es produeixen per interconnexions entre diversos equips, o entre diferents parts d'un equip. Aquests actuen com a antena, ressonant espontàniament freqüències alienes a les utilitzades pel propi equip afectat.

2.4 Efectes en instal·lacions elèctriques

S'ha de tenir en compte que segons l'equip o component afectat per pertorbacions, pot tenir efectes diferents. Alguns d'aquests efectes que poden aparèixer de manera general en qualsevol instal·lació, es comenten a continuació [33][39]:

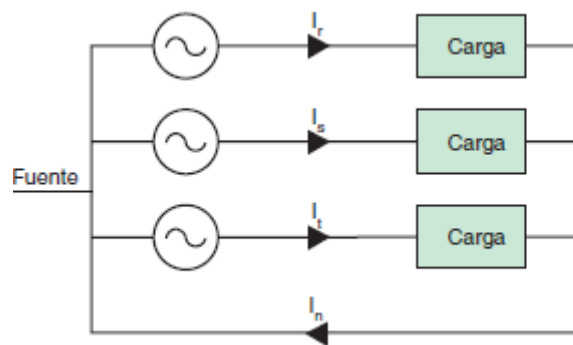
- Pèrdua de capacitat en línies de distribució de l'energia.
- Caigudes de tensió.
- Sobrecàrrega de la xarxa per l'increment de la intensitat eficaç. El valor eficaç en C.A, correspon al valor que hi tindria una C.C que produís la mateixa potència en C.A al aplicar-la sobre una mateixa resistència.
- Sobrecàrrega dels conductors del neutre degut al sumatori dels harmònics de rang 3 generats per càrregues monofàsiques.
- Sobretensions a la instal·lació.
- Sobrecàrrega, vibracions i afavoriment de l'envelliment dels alternadors, transformadors, motors i dels condensadors de compensació de potència reactiva.
- Deformació de la tensió d'alimentació podent pertorbar als receptors.
- Pertorbacions a les xarxes de comunicació (línies telefòniques) on circulen corrents baixes.
- Pèrdues per efecte Joule en línies i màquines.
- Pèrdues magnètiques en màquines elèctriques.
- Efectes en la distorsió de la tensió d'alimentació que pertorben el funcionament d'aparells sensibles: dispositius de regulació, material informàtic, dispositius de control i monitorització...

Per tant es pot observar que en funció de quin sigui l'equip o component afectat per perturbacions, s'observaran un comportament diferent que permetrà identificar i definir quin és l'origen d'aquest efecte.

Una manera d'analitzar les perturbacions a la xarxa, es utilitzar analitzadors de xarxa capaços de mesurar totes les magnituds elèctriques de la instal·lació, per després fer una interpretació dels resultats i seguidament un estudi de què es necessitarà per mitigar-los. Així doncs, en primer lloc, s'haurà d'identificar quins són els símptomes de cada un dels equips que hi ha a la instal·lació i quins efectes produeixen en la instal·lació [33]:

Conductors: Escalfament dels conductors, i dispar de les proteccions, provocant pèrdues en els conductors. La potència activa que es transmet a una càrrega, depèn del corrent fonamental, i quan el corrent absorbida per la càrrega té harmònics, el valor eficaç I_{rms} , es superior a la corrent fonamental. Els corrents harmòniques generen un augment en les pèrdues Joule i del temperatura en tots els conductors i equips pels quals circulen.

Conductor del neutre: Escalfament del conductor del neutre, dispar de les proteccions i degradació del conductor, si es considera un sistema format per una font balancejada trifàsica i tres càrregues idèntiques monofàsiques connectades fase-neutre, tal com s'observa a la figura.



Il·lustració 31: Conductor del neutre. Font: [33]

Amb la presència de perturbacions, el valor del corrent eficaç en el conductor neutre serà més gran que el del corrent en una fase, per la qual cosa s'haurà de dimensionar o redimensionar adequadament el conductor del neutre.

Condensadors: Escalfament dels condensadors, pèrdua de la capacitat pel envelliment prematur dels condensadors, destrucció dels condensadors. Les tensions harmòniques provoquen la circulació de corrents proporcionals a la freqüència dels harmònics, les quals provoquen pèrdues suplementaries. Si es considera una tensi

Transformadors: Sobreescalfament dels debanats, degradació dels mateixos i disminució del rendiment, el que fa que sorgeixi la necessitat del sobredimensionant. Els corrents harmòniques que circulen pels transformadors provoquen un augment de les pèrdues en les bobines per efecte Joule i de les pèrdues del ferro degudes als corrents de Foucault. Les tensions harmòniques generen pèrdues del ferro degudes a la histèresi. L'augment de les pèrdues poden ser del 10 al 15 %.

Motors: Sobreescalfament dels debanats, degradació dels mateixos, disminució del rendiment, vibracions a l'eix, desgast mecànics dels rodaments, excentricitat de l'eix i sobretensions que destrueixen els debanats. En motors asíncrons les tensions harmòniques

generen la circulació de corrents de freqüències superiors a 50HZ en el rotor, podent provocar un augment de les pèrdues del 20%.

Grup electrogen: Dificultat de sincronització i commutació del grup.

Equips de mesura i control: Mesura incorrecta de magnituds, interferències en equips sensibles.

En la següent taula es pot observar un resum de les problemàtiques més comuns en les instal·lacions, i les conseqüències que aquestes provoquen. Les conseqüències són els símptomes que permeten identificar quin tipus de problema hi ha.

Taula 7: Síntomes en equips i instal·lacions per perturbacions . Font: Pròpia [39]

Interferències en equips electrònics	Sobrecàrregues de conductors de fase, transformadors, motors i interruptors automàtics	Línies desequilibrades en oficines, edificis i enllumenat	Sobrecàrrega de neutre en línies d'enllumenat i ordinadors	Quan es connecten condensadors: Sobrecàrregues en condensadors, vibracions en transformadors i problemes en controls electrònics	Dispar d'interruptors diferencials
IDENTIFICACIÓ DELS SÍMPTOMES					
Altes freqüències: radiades i conduïdes	Harmònics de diferents rangs	Càrregues monofàsiques repartides de manera desigual	Circulació del tercer harmònic	Ressonància de la bateria de condensadors amb el transformador	Fugues de corrents d'alta freqüència

Les problemàtiques que generen els efectes mencionats anteriorment són considerats en la seva gran majoria costos tècnics per a la instal·lació elèctrica degut al desgast dels components i en molts casos de tot l'equip. En conseqüència, aquests defectes fan que aquests costos no només siguin tècnics, sinó també econòmics: La pèrdua de rendiment en la instal·lació degut a l'envelliment dels equips comporta la seva substitució abans d'hora, les sobrecàrregues provoquen que s'hagi de contractar més potència, no comptar amb un sobredimensionat de la instal·lació podria fer que apareixen pèrdues complementaries, les perturbacions en intensitat provoquen dispar intempestius, i fins i tot l'atur dels equips de producció..

A continuació es mencionen alguns exemples de les importants conseqüències econòmiques generades pels harmònics en instal·lacions elèctriques dedicades al món industrial:

- Centre de càlcul d'una companyia asseguradora. El centre va calcular que la desconexió no desitjada d'un interruptor, provoca pèrdues estimades en 100.000 € per hora interrompuda.
- En un laboratori farmacèutic els harmònics provoquen el fallo en un grup electrogen i la interrupció d'una fase de test de llarga durada d'un nou medicament. La conseqüència es una pèrdua estimada de 17 milions d'euros.
- En una fàbrica metal·lúrgica els forns provoquen sobrecàrregues i la destrucció de tres transformadors de 1500 i 2500 kVA en un anys, les pèrdues de producció estimades son de 20.000 € per hora.
- Per últim, una fàbrica de mobles de jardí, on un error dels variadors provoca parades de producció de 10.000 € per hora.

Totes aquestes pèrdues econòmiques podien haver sigut evitades si s'hagués realitzat un estudi de les pertorbacions generades pels equips de les instal·lacions, i posteriorment s'haguessin implantat les solucions oportunes. Evitant per tant una gran inversió per l'alt cost de material, pèrdues energètiques i finalment, pèrdues en la productivitat de les instal·lacions que generen pèrdues econòmiques per temps no treballat.

Es pot observar que aquestes situacions poden ser iguals o similars en les instal·lacions elèctriques dels espectacles en viu, i que per conseqüència, en aquest àmbit existirà el mateix interès en la eliminació o reducció de les pertorbacions, a nivell tècnic i a nivell econòmic, que en el àmbit industrial.

2.5 Indicadors de distorsió harmònica

Una manera de poder evitar i combatre aquestes dificultats es mitjançant l'ús d'indicadors de distorsió harmònica. Son indicadors essencials que permeten avaluar les pertorbacions i definir accions correctives [33].

2.5.1 Factor de potència

És la relació entre la potència activa i la potència aparent. A diferència del $\cos\phi$, que correspon a la freqüència fonamental. Per tant, quan hi apareixen harmònics el valor del FP es diferent al valor del $\cos\phi$, sent el FP inferior al $\cos\phi$. El Factor de potència permet avaluar el sobredimensionat que s'ha d'aplicar a la alimentació d'una instal·lació.

2.5.2 Factor de cresta (k)

És la relació entre el valor de cresta d'intensitat o tensió i el valor eficaç. Per a una senyal sinusoidal, $k = \sqrt{2}$, però per a una senyal no sinusoidal $\sqrt{2} < k$ ó $k < \sqrt{2}$. Per a intensitats absorbides per càrregues no lineals $k \gg \sqrt{2}$. Un factor de cresta molt elevat, implica sobreintensitats importants, que detectades per elements de protecció poden provocar desconexions no desitjades en els equips. El factor de cresta s'empra per caracteritzar l'amplitud d'un generador per proporcionar intensitats instantànies de valor elevat.

2.5.3 Potència de distorsió

La potència aparent sense harmònics en monofàsic correspon a $S = U \cdot I^*$

On I^* correspon al conjugat, es a dir, la potència aparent s'aconsegueix quan es canvia el signe de la component imaginària de la corrent.

$$z = a + ib \rightarrow \bar{z} = a - ib \quad [41]$$

Amb la presència d'harmònics l'equació de la potència aparent queda de la següent forma:

$$S^2 = \sum_{h=1}^{\infty} V_h \cdot I_h \cdot \cos\varphi_h \quad [33]$$

En conseqüència, la relació $S^2 = P^2 + Q^2$ ja no compleix, i per tant, es defineix la potència de distorsió D de la següent manera:

$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2 \rightarrow S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad [33]$$

2.5.4 Espectre en freqüència i índex de distorsió harmònica (THD)

Per a l'anàlisi de distorsió harmònica, son essencials els valors de els corrents harmòniques amb les seves respectives amplituds i desfases diferents. La distorsió harmònica individual es defineix com el nivell de distorsió en percentatge, d'ordre h, respecte de la fonamental. La representació gràfica de l'amplitud de cada ordre harmònic representa l'espectre en freqüència. És el que es denomina anàlisi espectral.

L'índex de distorsió harmònica, és la relació entre el valor eficaç del residu harmònic de la tensió i/o intensitat i el valor de la senyal sinusoidal fonamental, i indica la distorsió de tensió i/o intensitat que hi ha en un punt de la xarxa. Reflexa el nivell de distorsió en les ones de la xarxa. Aquesta pot ser superior a 1 i generalment s'expressa en percentatge. En termes pràctics, es detecta quan la senyal de sortida d'un sistema no és la mateixa que va entrar.

THD de tensió

$$THD(U)\% = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_5^2 + \dots}}{U_1} \quad [33]$$

Un valor $THD(U)\% < 5\%$ es considera normal, i indica que no hi existeix risc de que els aparells deixin de funcionar o tinguin un mal funcionament.

Si aquest valor està entre $5\% < THD(U)\% < 8\%$ indica distorsió harmònica significant, la qual podria generar un funcionament no desitjat dels equips.

Per últim si el valor $THD(U)\% > 8\%$ existeix distorsió harmònica important, per la qual cosa s'assegura el mal funcionament dels equips, i es necessari plantejar un anàlisi per a la disminució dels harmònics.

THD de corrent

Per a identificar quin es l'origen de la distorsió, aquesta s'ha de mesurar a la entrada i sortida de cada circuit de la instal·lació.

$$THD(I)\% = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_5^2 + \dots}}{I_1} \quad [33]$$

Un valor $THD(I)\% < 10\%$ es considera normal, i indica que no hi existeix risc de que els aparells deixin de funcionar o tinguin un mal funcionament.

Si aquest està entre els següents valor $10\% < THD(I)\% < 50\%$ indica distorsió harmònica significant, la qual podria generar un augment de la temperatura, i en conseqüència un sobredimensionat del cablejat i de les fonts d'alimentació de la instal·lació.

Per últim si el valor $THD(I)\% > 50\%$ existeix distorsió harmònica important, per la qual cosa s'assegura el mal funcionament dels equips, i es necessari plantejar un anàlisi per a la disminució dels harmònics, tal i com ocorre amb la tensió.

Tots aquests indicadors es poden mesurar de dues maneres, mitjançant la intervenció d'un professional o dispositius d'instal·lació permanent. L'última opció es la més recomanable i la més eficaç, ja que permet prendre mesures en diferents punts de les instal·lacions en períodes de temps llargs proporcionant una visió global del funcionament del sistema i de les carències que puguin existir.

Cal mencionar que si son permanents no farà falta connectar i desconectar tots els equips de mesura cada vegada que s'hagi de mesurar. Detecten qualsevol nova pertorbació produïda per la mateixa instal·lació o per la incorporació d'un nou equip, per nous modes d'operació i per fluctuacions en el sistema. Per tant, permeten examinar fluctuacions de la font d'alimentació, variacions en el funcionament del sistema, i inclús la instal·lació de nous equips. Es a dir, permeten tenir un diagnòstic complet de la instal·lació, el que inclou un registre de qualsevol incidència que pugui ocórrer, un mapa de la instal·lació i indicacions de la solució establerta.

2.5.5 Flicker Instantani

El flicker instantani és una fluctuació de tensió, que s'anomena també, parpelleig. És un dels grans problemes de regulació de tensió en les instal·lacions elèctriques. En la il·luminació espectacular, és la variació de la lluminositat d'una làmpada que es percebuda per l'ull humà. Això es produeix per la variació del valor eficaç o amplitud de la tensió en un rang menor al 10% del valor nominal.

El flicker ocorre normalment en un rang de freqüències de 0,5 a 25 Hz i depèn principalment a més de la freqüència, de l'amplitud i de la durada de les variacions de la tensió que el provoquen.[43] [9]

2.5.6 Flicker PST

És el mateix concepte que el Flicker instantani, però en aquest cas avalua el flicker en períodes curts de temps, amb un interval d'observació de 10 minuts. Si el Flicker PST > 1 , aleshores vol dir que el Flicker està afectant negativament en la instal·lació elèctrica. [43] [9]

2.5.7 Desequilibri i asimetria

Tal com s'havia explicat al capítol 1, l'analitzador de xarxa AR6, determina el desequilibri i l'asimetria de la instal·lació. Aquest càlcul es realitza aplicant el mètode de components simètriques de Fortescue i Stokvis, i permet avaluar com de desequilibrada està la instal·lació, i si la connexió de les fases és correcta. Hi ha quatre valors fonamentals [9]:

- Kd U: Coeficient de desequilibri de la tensió.
- Kd I: Coeficient de desequilibri del corrent.

- Ka U: Coeficient d'asimetria de la tensió.
- Ka I: Coeficient d'asimetria del corrent.

El coeficient de desequilibri (Kd) és la relació entre les amplituds de les components de la seqüència directa e inversa.

$$k_d \% = \frac{|U_i|}{|U_d|} \cdot 100 [9]$$

El coeficient d'asimetria (Ka) és la relació entre les amplituds de les components de la seqüència directa i homopolar.

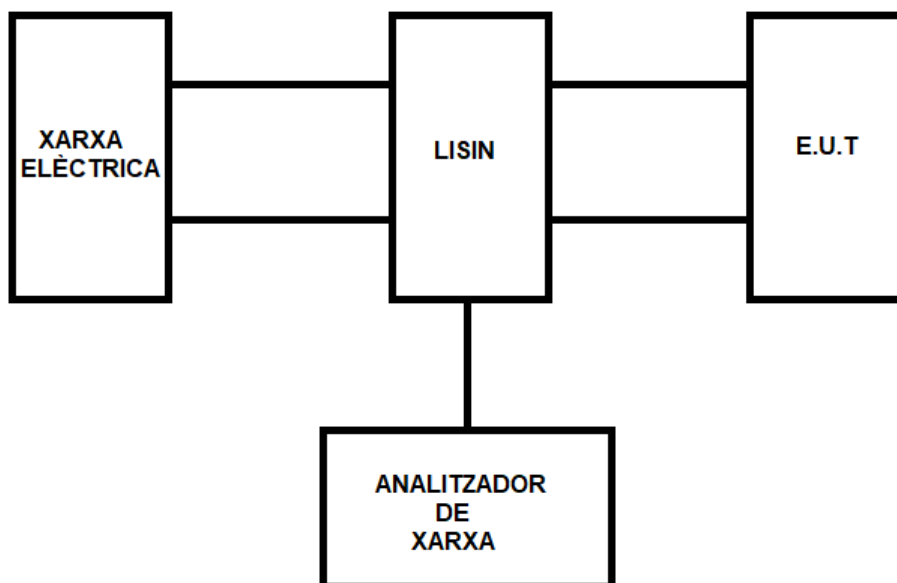
Les components de seqüència homopolar seran 0 quan no hi existeixi neutre.

$$k_a \% = \frac{|U_0|}{|U_d|} \cdot 100 [9]$$

2.6 Mesura de les pertorbacions

Els dispositius i sistemes electrònics han de complir normes que estableixin els límits de les interferències que poden generar i que poden rebre sense deixar de funcionar correctament. La normativa està establerta pel CENELEC (Comitè Europeu de Normalització Electrotècnica) i abasta els quatre problemes bàsics de la compatibilitat electromagnètica: Susceptibilitat radiada, emissions radiades, susceptibilitat conduïda i emissions conduïdes [37].

Per tant, per a complir la normativa i garantir que els equips estan dins d'uns límits, s'ha de mesurar les seves pertorbacions. En la següent imatge s'observa de manera molt simplificada l'esquema bàsic de mesura d'EMI conduïdes.



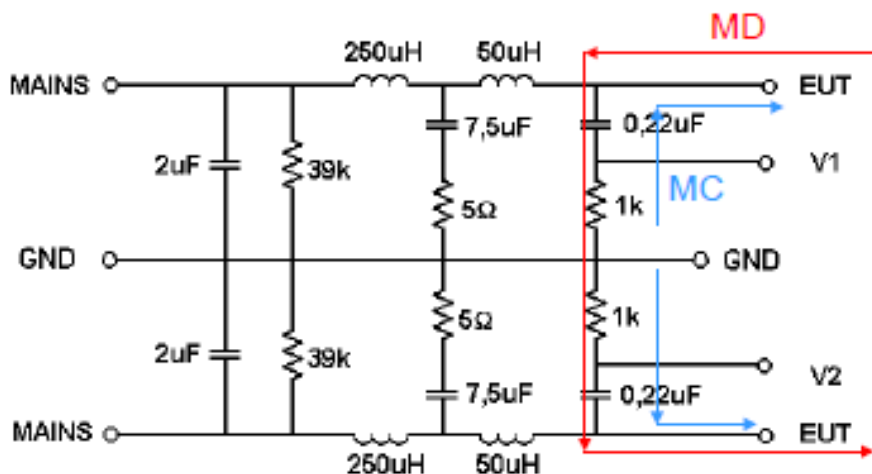
Il·lustració 32: Esquema bàsic per mesurar pertorbacions. Font: Pròpia [37]

Les línies d'interconnexió que hi apareixen corresponen als cables d'alimentació.

E.U.T és l'equip a testejar.

L'analitzador de xarxa o analitzador d'espectres, és l'equip encarregat de mesurar les perturbacions.

LISIN correspon a la xarxa estabilitzadora d'impedància de línia. S'encarrega principalment de proporcionar una impedància definida en radiofreqüència (RF) sobre el punt de mesura, i d'aïllar l'equip de proves d'interferències provinents de la xarxa. L'esquema d'un possible LISIN és el següent i es podria dir que es un filtre que només permet el pas de baixes freqüències en ambdues direccions. Els punts per a mesurar les perturbacions son V1 i V2.



Il·lustració 33: Esquema del LISIN. Font: [37]

Per mesurar les perturbacions s'empren oscil·loscopis, analitzadors d'espectres analògics, i actualment, analitzadors de xarxa digitals. [33][39]

Els oscil·loscopis fins ara, s'han emprat per observar la distorsió d'una senyal en el corrent o en la tensió. Quan la forma d'ona no es sinusoidal, vol dir que hi ha presència d'harmònics. Els pics de tensió i de corrent es visualitzaran en la pantalla, no obstant, l'oscil·loscopi no permet quantificar amb exactitud els harmònics. Els analitzadors d'espectres analògics es componen d'un filtre passabanda i un voltímetre de valor eficaç, però no donen cap informació sobre el desfàs. Aquests dos dispositius avui en dia, no permeten obtenir els resultats necessaris per conèixer amb exactitud quines perturbacions estan interferint amb els equips, en quina mida i com s'haurien de reduir i fins i tot, eliminar. En canvi, els analitzadors digitals disposen d'algoritmes que permeten calcular entre altre, els indicadors harmònics més importants: factor de potència, factor de cresta, potència de distorsió i THD. A més, estan dotats de funcions addicionals que faciliten l'estudi de detecció i correcció de les perturbacions, i inclús permeten fer un anàlisi espectral de les tensions i corrents pràcticament en temps reals. El principi d'operació dels analitzadors digitals es basa en un algoritme que implementa la transformada ràpida de Fourier (FFT) que calcula la amplitud i les fases dels harmònics d'un gran nombre d'observacions temporals. Fins i tot, poden mesurar harmònics d'ordre 20-25 per al càlcul de la THD.

Els valors requerits per poder fer un anàlisi correcte son: l'amplitud dels harmònics, la distorsió individual harmònica de cada ordre, la distorsió total harmònica i quan sigui necessari, el desfàs entre els harmònics del mateix ordre i la fase dels harmònics respecte a una referència

comú, que pot ser la tensió fonamental. Tots aquests valors s'han de mesurar tant per la tensió com per el corrent.

Finalment, Les dades obtingudes poden ser analitzades mitjançant el propi equip o per un software extern. Les mesures de tensió i corrent seran preses en la font d'alimentació, en les barres del quadre de distribució principal i en cadascuna de les sortides del quadre de distribució principal. Les mesures obtingudes serviran per fer una valoració global de la extensió del problema, per determinar quin és l'origen de la pertorbació i per controlar que les solucions establertes compleixen i produeixen l'efecte esperat.

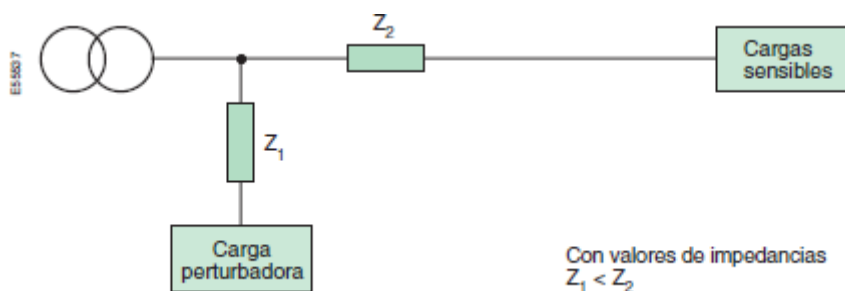
Així doncs, el resultat d'aquest anàlisi ens permetrà quantificar quines mesures s'han d'adoptar per compensar i/o reduir les pertorbacions.

2.7 Solucions preventives per disminuir les pertorbacions

Una forma d'evitar la propagació de senyals pertorbadores conduïdes per la xarxa, és la que estableix la normativa de compatibilitat electromagnètica "IEC 61000-5 Norma de compatibilitat electromagnètica de regles generals EMC pel que fa a sistemes de cablejats" que obliga als fabricants d'equips a instal·lar filtres per tal de que les senyals paràsites de la xarxa no circulin pel cablejat.

Algunes de les següents solucions s'utilitzen per limitar la propagació de les pertorbacions per la xarxa en instal·lacions industrials. Han de ser mesures que s'estableixin en totes les instal·lacions, especialment si son de nova construcció.[33]

Posicionar les càrregues pertorbadores el més pròxim a la xarxa. La pertorbació harmònica global augmenta a mida que la potència de curtcircuit disminueix. Es per això, que es preferible connectar les càrregues pertorbadores (càrregues no lineals)el més pròxim a la xarxa.



Il·lustració 34: Posició càrregues pertorbadores el més pròxim a la xarxa. Font: [33]

Reagrupar les càrregues pertorbadores. A l'hora de fer un diagrama unifilar, s'ha d'intentar separar els equips pertorbadors de la resta. Idealment s'haurien d'alimentar les càrregues pertorbadores i les no pertorbadores de manera diferent. Amb la reagrupació de les càrregues pertorbadores, augmenta la possibilitat de recomposició angular.

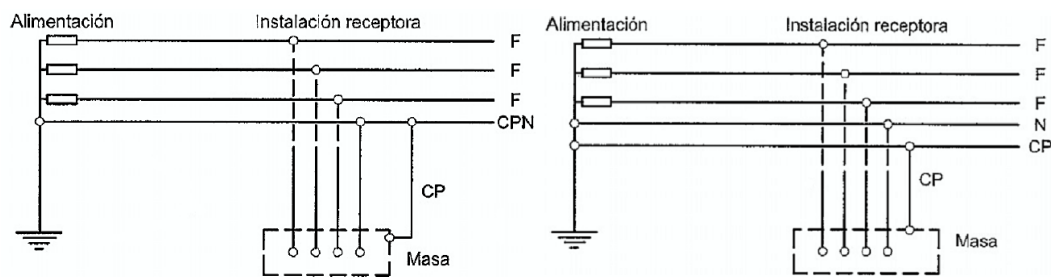
Separació de les fonts. Si s'alimenten les càrregues pertorbadores i les no pertorbadores amb transformadors diferents, disminueixen els harmònics. El gran inconvenient d'aquesta solució, és l'augment del cost de la instal·lació.

Utilització de transformadors en connexions particulars. Per a la eliminació de certs ordres d'harmònics, s'empren connexions especials en els transformadors.

- La connexió triangle-estrella-triangle elimina harmònics d'ordre 5 i 7.
- La connexió triangle-estrella elimina harmònics d'ordre 3. Els harmònics circulen per cada una de les fases i retornen per el neutre del transformador.
- La connexió triangle-zigzag elimina els harmònics d'ordre 5.

Instal·lació d'inductàncies. Si s'utilitzen variadors de velocitat, es poden emprar inductàncies en línies. Al augmentar la impedància del circuit d'alimentació, es limita el corrent harmònic. L'ús d'inductàncies anti-harmònics en les bateries de condensadors, permeten augmentar la impedància del conjunt bobina i condensador per als harmònics de freqüències elevades.

Elecció d'un esquema d'enllaç adaptat a terra. Règim de neutre TNC. Un únic conductor (PEN) assegura la protecció en el cas de defecte (terra) i assegura el trànsit de els corrents de desequilibri. En règim permanent, els corrents harmònics circulen a través del PEN. El gran inconvenient és que una certa impedància del PEN, implica petites diferències de potencial entre els equips, i pot portar a un mal funcionament dels equips electrònics. Aquest règim doncs, ha de ser utilitzat únicament per a la alimentació de circuits de potència, en capçalera de la instal·lació, i mai per a la alimentació de carregues sensibles.

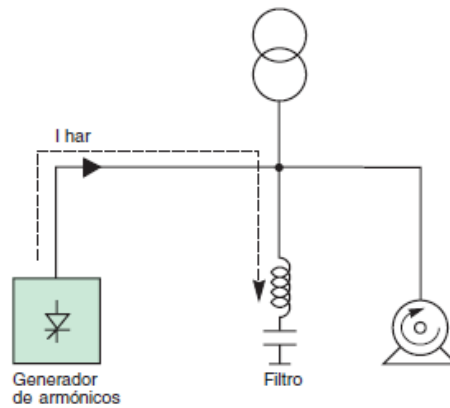


Il·lustració 35: Esquemes TNC i TNS respectivament. Font: Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión e ITC.

Règim TNS. Es el sistema més recomanat en el cas de presència d'harmònics, degut a que el conductor del neutre i el conductor de protecció PE estan completament separats assegurant una tensió en el sistema, molt més estable.

En el cas de que les solucions preventives plantejades anteriorment no siguin suficients, s'haurà d'equipar la instal·lació amb filtres. Hi ha tres tipus de filtres:

Filtre passiu. El principi de funcionament és un circuit LC en sintonia amb cada una de les freqüències d'harmònics a filtrar, en paral·lel amb el dispositiu generador d'harmònics. Aquest circuit de derivació, absorbeix els harmònics i evita que circulin per l'alimentació. Generalment, es sintonitza a un ordre d'harmònic pròxim al que es vol eliminar. Si la reducció ha de ser important en la taxa de distorsió, es poden utilitzar més filtres connectats en paral·lel.

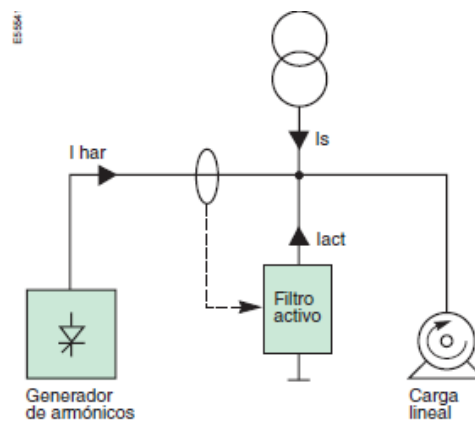


Il·lustració 36: Filtre passiu. Font: [33]

Aquests filtres s'utilitzen en instal·lacions industrials amb un conjunt de generadors d'harmònics de potència total superior a 200kVA (variadors de velocitat, SAIs, rectificadors...). En instal·lacions on calgui una correcció del factor de potència, situacions en les que es requereix reduir la taxa de distorsió de tensió per evitar la pertorbació de receptors sensibles i situacions on s'hagi de reduir la taxa de distorsió de corrent per evitar sobrecàrregues. Aquestes instal·lacions han de ser suficientment estables, es a dir, amb un nivell baix de fluctuacions de càrrega.

El filtre passiu permet la compensació d'energia reactiva, amb la correcció del factor de potència, i una gran capacitat de filtratge en corrent. Si la potència reactiva alimentada és important, es recomanarà desconnectar la tensió del filtre passiu quan els nivells de càrrega siguin baixos.

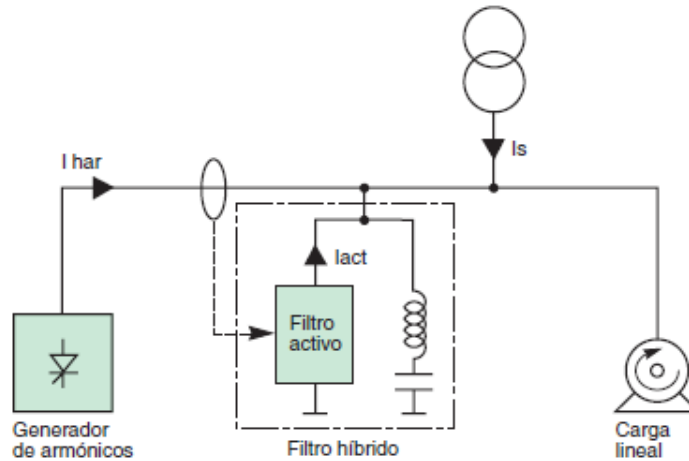
Filtre actiu. El filtre actiu injecta en fase oposada els harmònics que circulen per la càrrega de forma que el corrent de la línia I_s continuï sent sinusoidal. Aquests filtres s'utilitzen en instal·lacions comercials amb un conjunt de generadors d'harmònics de potència total inferior a 200 kVA, i en situacions en les que es necessari reduir la taxa de distorsió de corrent per evitar sobrecàrregues.



Il·lustració 37: Filtre actiu. Font: [33]

El filtre actiu permet el filtratge d'harmònics en un ampli rang de freqüències. Es poden adaptar a qualsevol càrrega, però la seva potència harmònica és limitada.

Filtre híbrid. El principi de funcionament és un circuit que sorgeix de la combinació del filtre passiu i del filtre actiu. Aquest filtre combina els avantatges de les solucions existents: filtres passiu i filtre actiu, i proporciona un bon comportament cobrint un ampli rang de potència.



Il·lustració 38: Filtre híbrid. Font: [33]

Aquests filtres s'utilitzen en instal·lacions industrials amb generadors harmònics de potència total superior als 200 kVA, instal·lacions on es necessita corregir el factor de potència, situacions en les que es requereix reduir la taxa de distorsió de tensió per evitar la pertorbació de receptors sensibles, situacions on s'hagi de reduir la taxa de distorsió de corrent per evitar sobrecàrregues, i situacions en les que es requereixi conformitat amb els límits d'emissions harmòniques.

CAPITOL 3: PERTORBACIONS I SOROLLS COMUNS EN ELS ESPECTACLES EN VIU

Ara que ja es coneixen els conceptes teòrics sobre què són les pertorbacions, com es produeixen, com es mesuren i com es poden evitar, cal explicar quins són els casos més comuns de pertorbacions i sorolls que poden aparèixer en espectacles en viu.

3.1 Introducció a les pertorbacions en el món dels espectacles

Un dels grans problemes que es plantegen quan es realitza una funció escènica són les interferències entre equips que generalment utilitzen o generen energia de radiofreqüència (RF). Com ja s'ha esmenat en el capítol anterior, poden haver-hi dos casuístiques d'incompatibilitat electromagnètica: incompatibilitat entre un equip que normalment no genera RF i un receptor, i incompatibilitat entre un transmissor de RF i qualsevol equip electrònic.

A més, es distingeixen dues tipologies de pertorbació: les interferències i el soroll elèctric. Les primeres són aquelles on l'energia es manifesta en intervals definits on pot ser localitzada en una o més freqüències en un receptor, i el soroll elèctric, és aquell que es produeix de manera aleatòria, i per tant no es poden assignar a una freqüència característica. Aquest apartat es centra en el soroll elèctric, ja que de les pertorbacions s'ha parlat en el capítol anterior i a més, és més difícil de detectar i eliminar degut a la seva curta durada en el temps. Les fonts d'interferències més comuns es produeixen en els ordinadors, generadors industrials, emissores pròximes i telèfons sense fils.

Les fonts de soroll elèctric més comuns són generades en [40]:

- Pantalles de TV i ordinadors, on les senyals i els harmònics d'aquestes, es propaguen majoritàriament per conducció a les línies de subministrament de l'energia, i per inducció en el cablejat que connecta la pantalla amb l'ordinador.
- Fonts commutades, que es troben a ordinadors, televisors...Aquestes utilitzen senyals rectangulars i triangulars amb alts continguts d'harmònics de freqüència inestable que poden ser propagats a la xarxa.
- Senyals de vídeo. La senyal de vídeo que s'aplica al tub d'imatge que va a una pantalla, conté altes freqüències riques en harmònics, podent canviar el contingut de la imatge.
- Elements de control de dispositius de corrent alterna. La majoria d'aquests elements regulen la seva potència amb circuits de control que s'encarreguen de retallar l'ona sinusoidal de la xarxa, provocant que la energia només s'apliqui en una part del cicle. Aquest tall, provoca harmònics fins a freqüències molt elevades. A més els conductors que s'encarreguen de la commutació també generen oscil·lacions parasitàries durant un curt període de temps. Si no es filtren, poden circular per el cablejat de la xarxa i actuar d'antena.

- Làmpades de descàrrega gasosa. El seu funcionament es basa en l'excitació per radiació ultraviolada (UV) d'una capa de material fluorescent en una atmosfera de gas a baixa pressió. Quan envelleix, es fa inestable i part de l'energia (RF) que rep es transforma en freqüències baixes. Aquestes junt amb l'entorn gasós provoquen que la RF no tingui una freqüència definida, i que a més, s'estengui en l'espectre radioelèctric.
- Línies de dades d'alta velocitat DSL (Digital Subscriber Line). Són una possible font de soroll elèctric, mitjançant senyal radiada.
- L'ús de telèfons i xarxes de telecomunicacions. Aquests aparells electrònics han incrementat la seva pròpia susceptibilitat electromagnètica als camps de RF.

3.2 Pertorbacions en el so

En les pertorbacions produïdes en equips d'àudio destaquen els acoblaments i la tipologia de connexió de les instal·lacions dedicades exclusivament a l'àudio.

3.2.1 Els acoblaments

El principal problema que es troba en les instal·lacions de so, són els acoblaments. Els acoblaments, "*howling*" en anglès, es produeixen per l'efecte de realimentació acústica o feedback. Aquest efecte apareix quan un micròfon rep el so emès per un altaveu, produint una reamplificació de la senyal, originant sons no desitjats. Això succeeix perquè l'altaveu, excitat per la senyal elèctrica enviada des del micròfon, emet una ona sonora, la qual fa vibrar el micròfon, provocant que l'efecte es repeteixi entre els dos elements en un bucle indefinit [44] [45][46].

Els acoblaments depenen dels següents aspectes [46]:

- Nivell de guany acústic. Quant més nivell, més probabilitats d'acoblament.
- Nivell de la font que genera el so. Potser des d'un instrument, fins a una persona. Quant més alt sigui el volum de la font generadora, menor serà el guany, i menys possibilitats hi haurà d'acoblament.
- Reverberació. Quant més gran sigui aquest valor, més gran serà la probabilitat d'acoblament.
- Distància entre els micròfons i les caixes acústiques. Quant més lluny, menys probabilitat.
- Distància de les fonts que generen el so als micròfons. Quant més a prop estiguin, major serà el nivell enregistrat i menor el guany i la possibilitat d'acoblament.
- Directivitat i angulació dels micròfons i de les caixes acústiques. Quant més directius siguin, menys probabilitat hi haurà. L'angulació quant menys enfocats a les caixes acústiques o als micròfons, menor serà la possibilitat d'acoblament.
- Nombre de micròfons oberts. Quant més micròfons oberts hi hagi, menor serà la probabilitat de que es produeixi la realimentació.
- Posició i agrupament. Depenent de la posició en la que es trobin, els modes acústics d'una sala o les interferències entre altaveus, poden provoca acoblaments.

3.2.2 Tipologia de connexió d'instal·lacions d'àudio

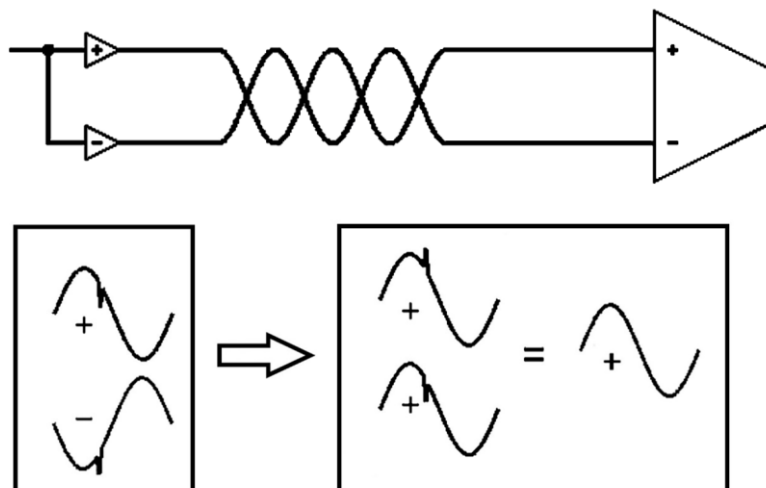
A més dels acoblaments, una altra característica a tenir en compte per identificar d'on poden venir les interferències electromagnètiques són les connexions d'àudio, es a dir, com portem la senyal elèctrica d'àudio: si són connexions equilibrades o no equilibrades [47].

Les connexions no equilibrades son aquelles en les que la senyal viatja a través d'un cable de dos conductors. Aquestes connexions són molt simples, i s'utilitzen habitualment en equips domèstics, instruments musicals, i d'àudio semi-professional. És per això que habitualment els connectors són de dos pins com els RCA i el ¼", anomenat comunament jack. La raó per la qual no es consideren connexions professionals, és perquè són molt sensibles a contaminar-se per interferències electromagnètiques, particularment quan les distàncies del cablejat són molt llargues.

A les connexions equilibrades, les senyals viatja dues vegades, una d'elles amb polaritat invertida. Els connectors han de ser de 3 pins, normalment XLR i ¾" estèreo, i cablejat de tres conductors, un dels quals es pla pantalla (malla) del cable. Normalment les interferències són anul·lades per l'apantallament del cable, però si encara així hi apareixen, afectaran als dos cables que porten la senyal. A l'entrada del dispositiu es sumen les dues senyals que arriben després d'haver-ne invertit una (desequilibri). Al estar una senyal invertida respecte de l'altra, s'aconsegueix reforçar la senyal original contra interferències que poguessin aparèixer, encara que no sempre s'aconsegueix cancel·lar la pertorbació. Es per aquest motiu que son preferibles aquestes connexions per a aplicacions professionals.

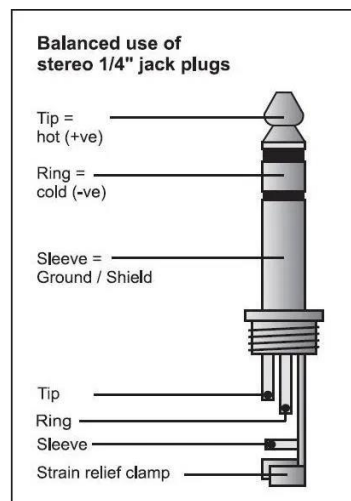
El paràmetre CMRR (Common Mode Rejection Ratio) expressa l'atenuació d'una interferència en els conductors de la senyal. Normalment oscil·la entre els 60 i 80 dB, donats per les toleràncies del circuit d'entrada, i que defineixen l'exactitud de la suma de les senyals a l'entrada (desequilibri).

A la següent imatge s'observa com el dispositiu de sortida produeix les dues còpies de la senyal, una de les quals invertida. En el dispositiu de destí les senyals es sumen, cancel·lant les possibles interferències.



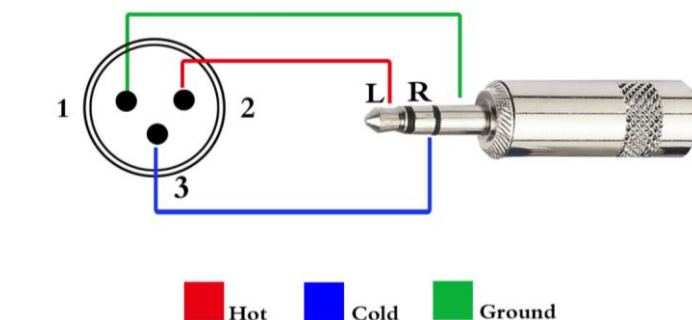
Il·lustració 39: Senyal equilibrada. Font: Pròpia [47]

A l'hora de fer la connexió, amb el connector ¾" estèreo de tres terminals (TRS), el positiu s'ha de connectar a la punta (tip), el negatiu a l'anell (ring) entremig, i la massa a la malla (sleeve) del cable.



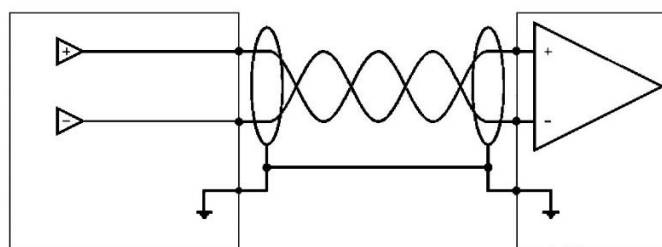
Il·lustració 40: Connector 1/4" Estèreo. Font: [49]

En els connectors XLR, el més habitual és assignar els terminals segons la normativa AES: pin2 al positiu, pin3 al negatiu i pin1 a la malla.



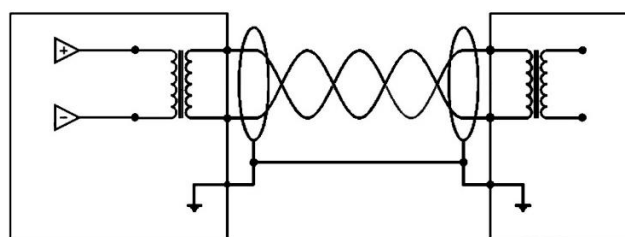
Il·lustració 41: Connector XLR -Connexió equilibrada. Font: [50]

En les connexions equilibrades, es troben dues diferències: les equilibrades electrònicament, i les equilibrades amb transformador. Les primeres necessiten un dispositiu amb sortida equilibrada i un altre amb entrada equilibrada i són les més emprades en equips professionals. Per impedir bucles de massa (ground loops), la malla està connectada a terra. Els bucles de massa es produeixen quan dos punts en un circuit estan destinats a tenir el mateix potencial de referència a terra, però realment tenen un potencial diferent entre ells. Són la principal causa de soroll e interferències en sistemes d'àudio, vídeo i ordinadors. [51]



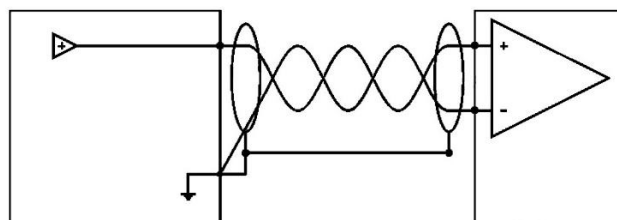
Il·lustració 42: Senyal equilibrada electrònicament. Font: Pròpia [47]

Les segones necessiten un transformador d'entrada o de sortida, només un perquè amb un ja es poden evitar els bucles en massa. D'aquestes dos ubicacions, la millor en quant a aïllament de massa, i volum i proximitat amb els equilibrats electrònicament, és col·locar el transformador a l'entrada. L'inconvenient principal és la seva dificultat per tenir característiques de linealitat i distorsió pròximes a les del sistema equilibrat electrònicament. Aquest sistema no s'utilitza molt degut a que és molt car [47].



Il·lustració 43: Senyal equilibrada amb transformador d'entrada i sortida. Font: Pròpia [47]

Hi ha vegades que les instal·lacions professionals disposin de fonts d'àudio desequilibrades, com poden ser els instruments musicals en actuacions en directe. És per això que existeixen connectors de mercat que converteixen les sortides no equilibrades d'alta impedància i -10 dBV, habitual en equips no professionals, a sortides equilibrades de +4 dBV i baixa impedància, habitual en equips professionals. Son dispositius que s'han de col·locar el més a prop possible de les senyals no equilibrades. Si no es possible disposar d'aquels connectors, existeix una altra tipologia de connexió, on el negatiu i la malla van connectats conjuntament.



Il·lustració 44: Senyal equilibrada amb connexió conjunta del negatiu i la malla. Font: Pròpia [48]

3.3 Pertorbacions en la il·luminació

Encara que l'estudi de camp es realitzi amb diferents tipus de d'il·luminacions, aquest subapartat fa referència al comportament dels harmònics causats pels focus que més problemàtiques generen, els LED. Són lluminàries que per la seva configuració electrònica i complexitat, generen més distorsió harmònica que altres tipus de focus.

Els LED són dispositius emissors de llum formats per elements semiconductors de dos terminals, on es produeix l'efecte d'electroluminescència per emetre llum. La il·luminació LED utilitza un rectificador d'ona completa per tal de convertir l'energia alterna en energia continua. Aquests convertidors estan formats per un circuit rectificador, un condensador de filtre, un convertidor DC-DC i un controlador de corrent constant. Com la potència a la entrada monofàsica està a diferent freqüència que la potència de sortida, que es manté gairebé constant, es generen sorolls en el sistema energètic. Per tant, aquestes càrregues no lineals (convertidors, rectificadors...) distorsionen la forma d'ona sinusoidal, afavorint a l'aparició de distorsió harmònica.

Es troben dos tipus d'il·luminació LED, la il·luminació LED fixa i la il·luminació LED dimeritzada, es a dir, controlada per reguladors o atenuadors (dimmers). D'aquests tipus els que més s'utilitzen en les arts escèniques són els LED dimeritzats, els quals està estudiat que generen més distorsió harmònica que els LED fixes. El que es evident es que els LED per ser una font no lineal, són una font considerable d'harmònics [53].

3.4 Pertorbacions per Radiofreqüència (RF)

Els equips que funcionen per RF, com poden ser els micròfons, treballen en bandes de freqüència determinades que normalment són de VHF (Very High Frequency) y UHF (Ultra High Frequency).

L'ús de la banda UHF assegura una menor probabilitat d'interferències per tenir un major espectre de freqüència disponible i menor quantitat de sistemes en funcionament. Les interferències que es generen en equips elèctrics, electrònics i d'il·luminació són menors amb aquesta banda degut a que el soroll d'aquestes fonts d'interferències són menys intenses a mesura que la freqüència de treball augmenta. A més, l'UHF permet treballar amb antenes petites i grans potències, el que fa que el seu preu sigui més elevat. En contra partida la qualitat de la senyal d'àudio és pitjor que en la banda VHF.

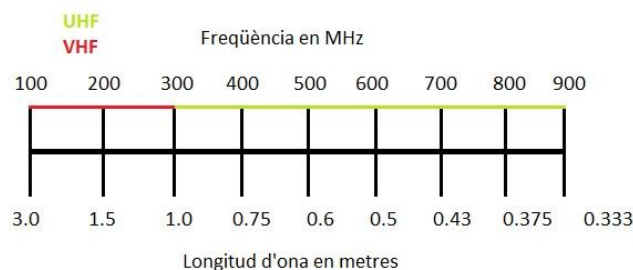
La banda VHF en canvi, té menys freqüències disponibles i per tant, major probabilitat d'interferències. D'aquest tipus hi existeix una major varietat de productes i subproductes necessaris, com les antenes, que són més econòmics i més senzills d'utilitzar [53][54].

3.4.1 Equips utilitzats en sistemes de RF

Els equips utilitzats en sistemes que empen la RF son els següents:

3.4.1.1 Antenes

Les antenes s'utilitzen normalment per rebre la senyal d'àudio, encara que si són antenes passives també la poden emetre. Es col·loquen en els peus del micròfon i s'han de sintonitzar en un rang de freqüències específic. La seva mida es proporcional a la longitud d'ona de la senyal a captar. Per tal d'assegurar un bon funcionament, s'han de col·locar en camp obert, sempre per sobre el públic i lluny de qualsevol superfície de reflexió, o fonts potencials d'interferències [53] [54].



Il·lustració 45: Rang de freqüències VHF-UHF. Font: Pròpia [53]

3.4.1.2 Cablejat.

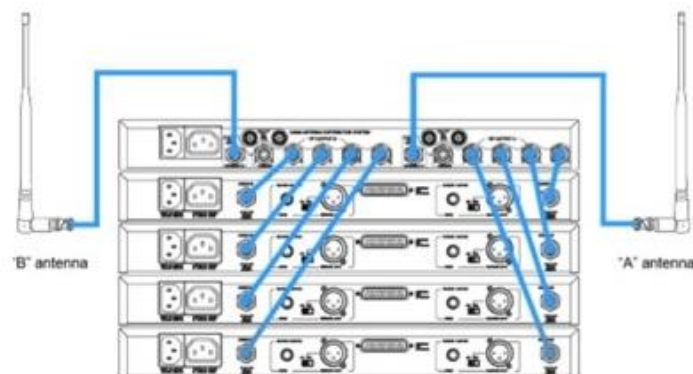
Els cables utilitzats han d'estar en bon estat i tenir el rang de treball i la impedància adequats. Quant més gran sigui la secció, millor serà la qualitat de distribució de la senyal i per tant, menys problemes hi haurà en el sistema. És important minimitzar la longitud de cable coaxial i allargar el cable de senyal d'àudio, per tal de reduir pèrdues de senyal. Així mateix, el cable haurà d'estar completament estès i mai formant un bobinat, ja que les bobines poden fer d'antenes i rebre senyals electromagnètiques que influeixin en forma d'interferències a la senyal RF.

Per tant, a l'hora de instal·lar el cablejat, s'ha d'intentar fer de manera controlada i si és possible estanca, per tal d'evitar camps magnètics. No han de col·locar-se pròxims a pantalles, LED i ordinadors [53][54].

3.4.1.3 Distribuïdor o Splitter.

Són sistemes electrònics que permeten separar o duplicar la senyal procedent d'una sola font entre diversos receptors. S'utilitzen en microfonia per interconnectar la sortida d'una antena a diversos receptors. Per tant, per evitar bucles de terra i interferències, un micròfon no es pot connectar directament a les entrades de micròfon de dues taules de so. [53]

En la següent imatge és poden veure com les diferents senyals d'antenes seran dividides entre diferents receptors.



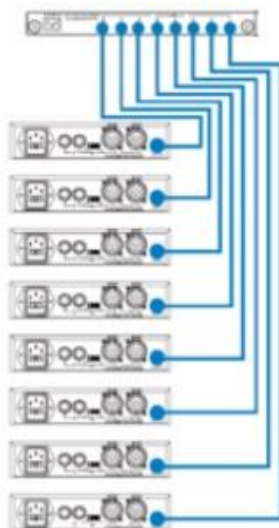
Il·lustració 46: Splitter. Font: [53]

3.4.1.4 Combinador o mesclador d'àudio.

S'encarrega de combinar diverses senyals de transmissió en una única sortida, que en els cas de la microfonia, la sortida és una antena. Hi ha dos tipus de sistemes, els passius i els actius. Els actius permeten combinar la sortida de diversos sistemes de transmissió, no presenten pèrdues i són menys propensos a les intermodulacions. La intermodulació es la mescla, sumatori o diferència de dos senyals de RF, generant una tercera que es troba fora de la banda de freqüències de les dos originals [53][55].

Una forma d'evitar interferències és acotar el seu ample de banda de treball.

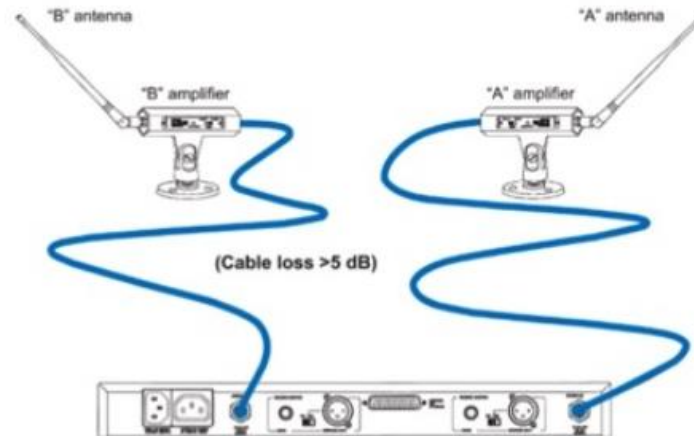
A continuació, s'observen diferents transmissors connectats a un combinador per mesclar les seves senyals d'àudio.



Il·lustració 47: Combinador-Mesclador d'àudio. Font: [53]

3.4.1.5 Amplificador o booster

Amplifiquen la senyal a la sortida de la antena i poden anar integrats a ella. La següent imatge mostra la connexió entre diferents antenes amb amplificadors integrats i els transmissors de senyal [53].



Il·lustració 48: Amplificador - Booster. Font: [53]

3.4.1.6 Filtres

Són dispositius interns que s'encarreguen d'eliminar els harmònics generats principalment pels amplificadors quan de manera externa al sistema no s'han pogut eliminar [53].

3.4.1.7 Racks

Són estructures que permeten allotjar dispositius electrònics per organitzar-los i/o facilitar el seu transport. En els equips de microfonia per RF, s'ha de tenir en compte que els equips s'escalfen amb facilitat, i es recomana deixar espais de ventilació [53].

CAPITOL 4: EQUIPS D'IL·LUMINACIÓ I SO UTILITZATS EN ESPECTACLES EN VIU

En la producció escènica, s'empren nombrosos equips elèctrics i electrònics d'il·luminació i so, per crear ambients espectaculars. Tenir nocions fonamentals d'aquests equips i les àrees de treball on s'ubiquen, és indispensable per situar-se i entendre on i com s'haurà de mesurar, per la qual cosa, en aquest capítol es farà una breu introducció dels equips d'il·luminació i so utilitzats en espectacles en viu.

4.1 Àrees de treball

En aquest apartat es definiran les àrees de treball tecnològic imprescindibles per al funcionament d'un escenari: sala de Dimmers i sala de control [57].

4.1.1 Sala de Dimmers

Es una sala situada propera a l'escenari, restringida i amb condicions de ventilació i temperatura específica, on es troben equips de regulació de potencia de les càrregues elèctriques que hi poden haver en els espectacles. Sala destinada al control i distribució elèctrica del sistema d'il·luminació espectacular. Hi ha una línia destinada a la Sala de Dimmers des del quadre general de distribució (QGD). En aquesta sala, es troba el Quadre General d'Il·luminació (QGI) des d'on surten totes les línies associades a la potència i el Control de la Il·luminació Espectacular .

4.1.2 Sala de control

Correspon a la sala on es situen els comandaments tècnics de control d'un espectacle, en concret de la lluminària, so i vídeo. Generalment està darrere de l'última fila de butaques, per tal de poder escoltar i veure tot el que està passant a l'escenari. Ha de tenir connexió i comunicació amb l'escenari i la sala de Dimmers i, connexió a internet.

4.2 Equips que intervenen en un espectacle

4.2.1 Equips d'il·luminació

4.2.1.1 Dimmer o Rack de dimmer

El sistema d'il·luminació està format per la alimentació del sistema i el control d'aquest mateix sistema. **Dimmer o rack de dimmer.**

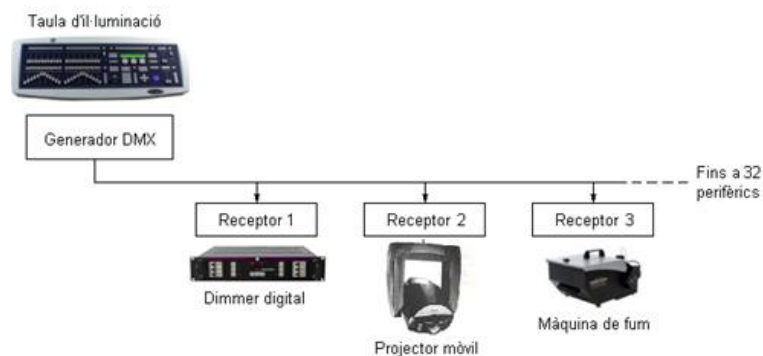
Els dimmers son regulador que mitjançant la variació de voltatge permeten atenuar la il·luminació de produccions escèniques. El rack de dimmer es componen de diferents circuits segons model i fabricant. Per exemple, si hi ha un dimmer 6x2kW significarà que disposa de 6 circuits amb una potència cadascun de 2kW. A més, es connecten entre sí, i el seu sumatori indica la quantitat de canals dels quals es disposa.

El canal dimmer correspon a la quantitat de canals d'il·luminació que es poden regular, i el circuit és el punt de connexió dels focus. Per tant, seria possible tenir més circuits que canals. Quan es determina un circuit a un canal del dimmer, s'anomena Patch.



Il·lustració 49: Parts d'un Dimmer. Font: [57]

Els dimmers per un costat estan connectats de manera trifàsica a la xarxa, i per un altre, connecten els focus d'il·luminació a cada canal corresponent. Aquesta connexió es realitza mitjançant la senyal DMX, la qual envia les ordres des de la consola de la sala de control a cada canal d'il·luminació. Cada línia DMX està formada per un conductor que circula des d'un número determinat de caixetins fins al patch DMX (línia controladora), i per un altre conductor que circula des de patch i fins al mateix número de caixetins (línia de receptors).



Il·lustració 50: Exemple d'equips connectats al Dimmer. Font: [58]

4.2.1.2 Controladors de lluminàries

El control es realitza amb l'ús de consoles. Les consoles són controladors de circuits d'il·luminació, que permeten ajustar el nivell de lluminària per construir les escenes d'un espectacle. Hi existeixen tres tipus [57]:

- **Manual.** Cada canal té un botó atenuador (fader) el qual permet ajustar fins al nivell desitjat.
- **Programable.** Les escenes es graven en una memòria, i la transició es fa assignant un temps d'entrada i sortida a cada estat de llum.
- **Controlador.** Aquesta consola controla els dimmers, i altres tipus de focus amb multiparàmetres.

4.2.1.3 Focus de difusió

Existeixen dos famílies de focus: les convencionals i els robòtics-multi paràmetres.

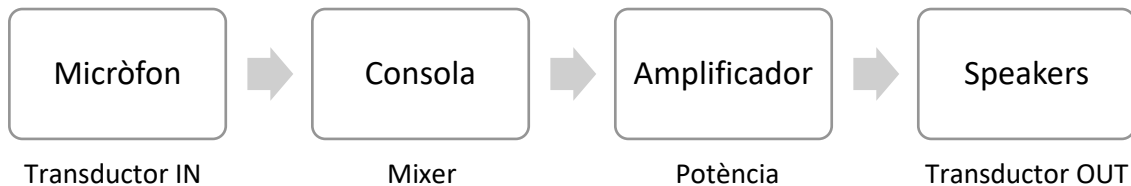
Convencional. Les lluminàries convencionals només tenen un paràmetre per poder ser controlats pel Dimmer: l'atenuació de la llum. Aquí es troben: focus PAR (Parabolic Aluminized Reflector), Fresnel, El·lipsoidal, Seguidor, Halogen [57].

- **PAR:** Focus més comú i econòmic, amb un feix de llum que varia des del més concentrat (spot) fins al més difús (flood). Hi ha tres tipus de potències: PAR 64 de 1000 W, PAR 56 de 300 W i PAR 38 de 100 W.
- **Fresnel:** Focus amb lent Fresnel que permet variar l'obertura del feix de llum des del més concentrat fins al més difús. En teatre és molt habitual utilitzar focus Fresnel de 1000 W, 2000 W i fins a 5000 W.
- **El·lipsoidal:** És el focus més utilitzat en teatre. Existeixen amb diferents distàncies focals i angles d'apertura. Tenen un sistema òptic per enfocar i desenfocar el feix de llum.
- **Seguidor:** És un focus similar al el·lipsoidal, i s'utilitza per seguir a l'interpret durant l'escena.
- **Halogen:** S'empra per a cobrir grans superfícies de l'escenari. Els més habituals per tenir aquesta cobertura, són els halògens panorames o asimètrics de 1000W.

Robòtics-Multi paràmetres. Aquests focus permeten controlar diversos paràmetres des de la consola (el controlador): el color, forma, moviment. El focus més utilitzat i econòmic és el PAR LED, on la làmpada convencional ha sigut substituïda per LEDs però la carcassa segueix sent la mateixa que un focus PAR.

4.2.2 Equips de so

El so natural emès a través de l'aire ha de ser transformat en impulsos elèctrics mitjançant un transductor. Aquest, en el cas dels espectacles es un micròfon, una guitarra, un teclat o una gravació. El so produït haurà de ser dirigit a la consola de so, on es processarà i es mesclarà amb altres i finalment, s'augmentarà amb un amplificador per després transformar-se en ones sonores que l'oïda humana pugui escoltar a través d'un speaker. Aquest procés s'anomena cadena electro-acústica.



Il·lustració 51: Procés Cadena Electroacústica . Font: Pròpia [57]

4.2.2.1 Micròfons

El funcionament d'un micròfon es el següent, les ones sonores fan vibrar el diafragma que hi ha al seu interior, transformant-les en impulsos elèctrics. Les diferents classes que hi ha depenen en com aquestes ones son transformades en senyal elèctrica [57]:

- **Dinàmics.** Son els mes comuns amb una resposta en freqüència perfecta per a la veu humana.
- **Condensadors.** Tenen major sensibilitat que els anteriors, son més delicats i permeten obtenir una lectura més fiable del so. Es per això que s'utilitzen en estudis de gravació.
- **Omnidireccionals.** Capten d'igual manera el so al seu voltant.
- **Unidireccionals.** L'àrea de sensibilitat te forma de cor, el que fa que la major resposta sigui davant del micròfon.
- **Bidireccionals.** L'àrea de sensibilitat te forma de 8, sent sensible a ambdós costats del micròfon.

4.2.2.2 Consola o Mixer

La consola rep la senyal sonora de tots els aparells que el produeixen i les mescla. Cada senyal està assignada a un canal, i te un número d'identificació, així cada canal pot ser regulat i ajustat abans de passar a l'amplificador i finalment al speaker.

4.2.2.3 Speakers i amplificadors

El seu funcionament és l'invers al d'un micròfon. Els impulsos fan vibrar la membrana per a generar les ones que es perceben. La senyal abans d'arribar al speaker ha de passar per un amplificador que augmenti la seva potència.

L'amplificador podria generar la distorsió del so o inclús una avaria si aquest no es de bona qualitat, o no te una potencia compatible amb el speaker.

4.2.2.4 Perifèrics

Son elements que es poden afegir a la cadena electro-acústica. Per exemple, un equalitzador gràfic que controla el to del so, un compressor per controlar les variacions de volum d'una senyal i/o controlar el nivell de sortida per protegir als equips de saturacions i un multi efectes per processar àudio i afegir efectes.

4.2.2.5 Monitoratge

Es tracta de monitoritzar el so de manera que sigui escoltat pel públic, i a la vegada que els intèrprets es puguin escoltar a ells mateixos. Si la representació es complexa, s'haurà de treballar amb dos consoles de so independents: una controlarà el so de la sala i l'altra el so dels monitors.

4.3 Connexió dels equips d'il·luminació i so

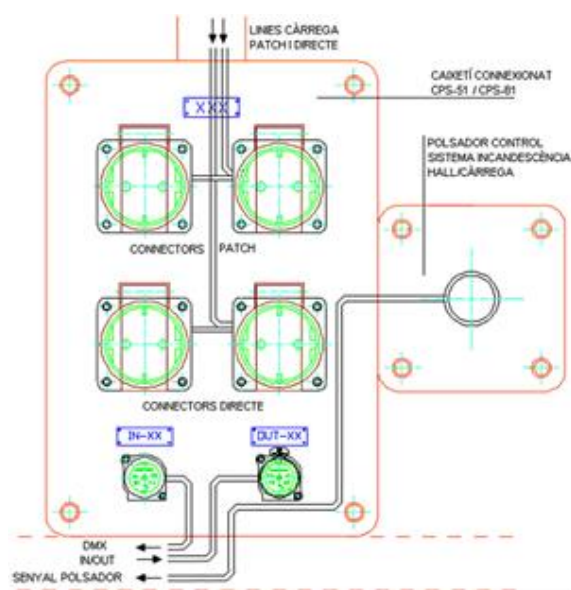
Una vegada es coneixen els equips que majoritàriament intervenen en un espectacle, es disposa a explicar a grans trets, la instal·lació elèctrica del teatre on s'han realitzat les mesures per a l'estudi d'aquest projecte. És important conèixer la distribució elèctrica de l'edifici on es vol fer l'estudi, i l'emplaçament de les connexions per tal de saber què es vol mesurar i on s'han d'ubicar els equips de mesura.

Aquesta informació haurà de ser la suficientment necessària i general, per donar resposta a les exigències sorgides, perquè per a poder explicar tot un sistema d'instal·lació elèctrica en un teatre, faria falta realitzar un altre projecte.

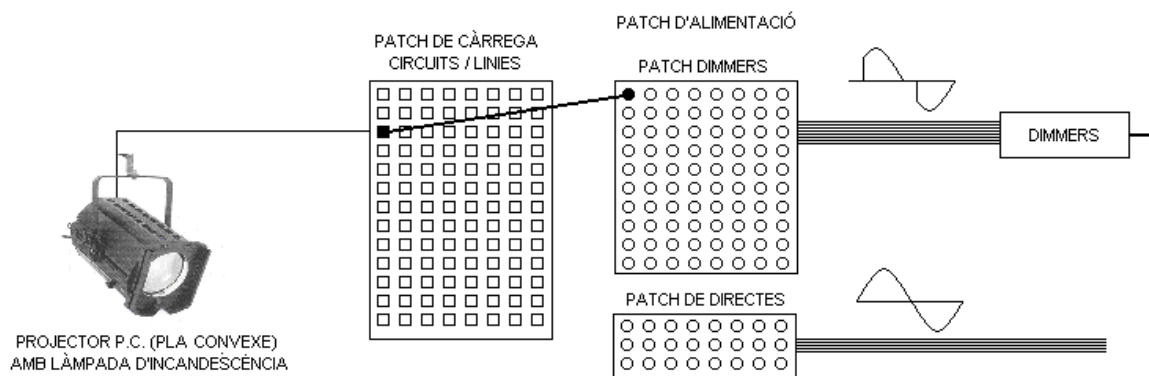
En el món dels espectacles en viu, i concretament en l'àmbit teatral, es requereixen instal·lacions molt singulars i diverses que representen l'instrument essencial per treballar. És per aquest motiu, que l'espai de representació i muntatge, ha de poder adoptar qualsevol distribució escènica per garantir totes les possibles situacions escèniques, i que per conseqüència, farà que cada instal·lació elèctrica tingui unes exigències específiques i problemàtiques diferents.

El teatre on s'ha realitzat l'estudi de camp ha sigut el Teatre Alegria de Terrassa. En ell es troba el quadre general de distribució (QGD) des del que surten les línies que subministren a tot l'edifici (aules, vestuaris i lavabos, oficines, cafeteria, etc...). Això inclou la sala de Dimmers, on, com ja s'ha comentat anteriorment, està situat el quadre general d'il·luminació (QGI), el qual distribueix les següents línies: Línia per a la connexió d'equips exteriors, línies de servei, línies d'alimentació a reguladors o Dimmers de 3 kW, línies d'alimentació a reguladors o Dimmers de 5 kW, línies d'alimentació directe a 3 kW, línies d'alimentació directe a 5 kW, línies d'il·luminació fixa servei i treball, i línies d'alimentació de control (il·luminació fixa i DMX)

A més, en una instal·lació elèctrica per a espectacles en viu, també es troben les línies de càrrega. Són conductors que enllacen elèctricament els conductors situats a un caixetí de connexió amb els connectors que hi ha al patch de càrrega. El caixetí de connexió correspon a la caixa on s'ubiquen els diferents connectors que lliguen les càrregues o receptors, en aquest cas s'observa un focus, per a disposar del seu control remot. El patch de càrrega és un panell físic amb connectors. Tots ells connectats a una línia elèctrica, la línia de càrrega, amb una càrrega que no està prevista.

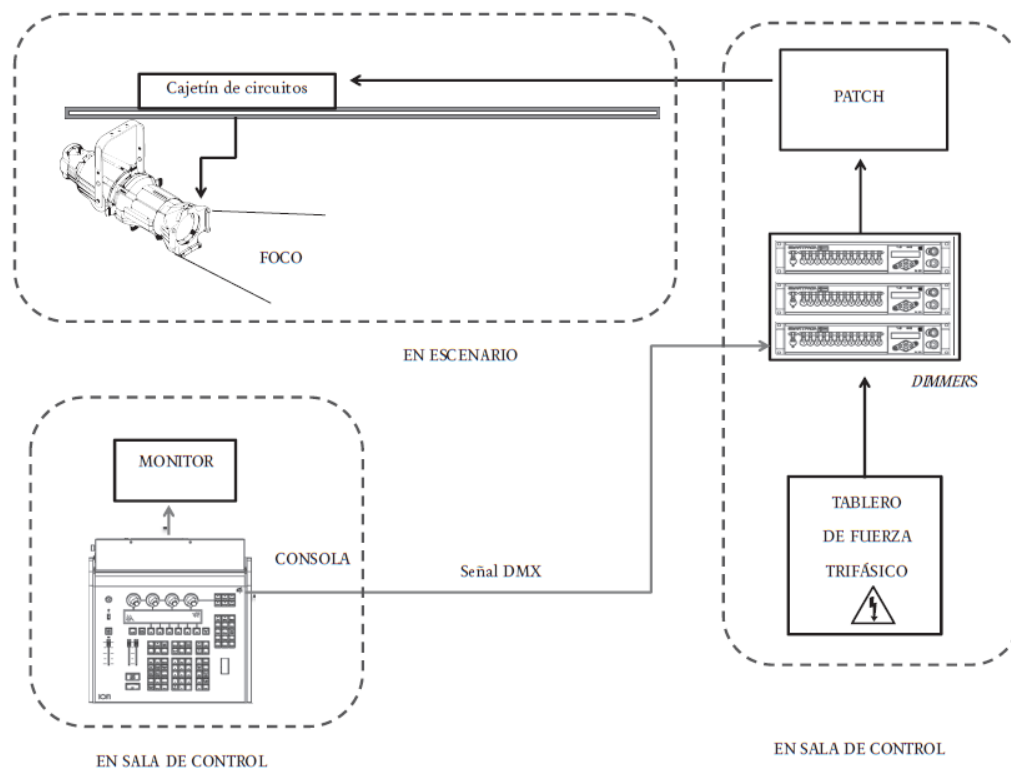


Il·lustració 52: Esquema del Patch de càrrega Teatre Alegria. Font: [58]



Il·lustració 53: Esquema connexió de càrregues al Patch de càrrega del Teatre Alegria. Font: [58]

Les línies de càrrega normalment no estan alimentades, perquè la seva alimentació depèn de les necessitats que l'espectacle requereix. Per tant, la tensió estarà controlada per reguladors de tensió (Dimmers) o per una tensió directa. En la següent figura s'observa la disposició de la connexió elèctrica que generalment s'empra en la il·luminació d'instal·lacions d'espectacles en viu, i els elements que hi intervenen.



Il·lustració 54: Exemple de disposició de la connexió d'equips d'il·luminació. Font: [57]

En el cas del Teatre Alegria, per mesurar les càrregues d'il·luminació durant els espectacles en viu, s'haurà de connectar l'analitzador de xarxa a les línies del quadre general de distribució, que van cap al quadre general d'il·luminació, ja que des d'allà s'extraurà tota l'energia elèctrica necessària que alimentarà la il·luminació d'un espectacle.

CAPITOL 5: ANÀLISI DE LES MESURES

En aquest capítol s'analitzaran les dades obtingudes amb els analitzadors de xarxa, i s'estableix una comparativa al final de cada anàlisi per poder valorar si es possible caracteritzar l'ona de la senyal dels equips, i per saber que es troba en cada cas. En tots els equips s'han mesurat els següents paràmetres:

- Paràmetres de corrent: Corrent de les línies, del neutre i de fuga.
- Paràmetres de tensió: Tensió de les línies entre fase-neutre, fase-fase i del neutre.
- Indicadors de distorsió harmònica de totes les línies i neutre, de tensió i de corrent: Índex de distorsió harmònica, distorsió harmònica, factor de cresta, factor K, coeficients de desequilibri i asimetria, Flicker instantani, Flicker PST i Flicker PLT.
- Harmònics de cada línia i el neutre, de corrent i de tensió.

Per poder avaluar les dades que s'han extret de les mesures i poder garantir un bon anàlisi s'ha fet servir la següent normativa:

- Norma UNE-EN 61000-3-2 "Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 3-2: Límites. Límites para las emisiones de corriente armónica (equipos con corriente de entrada <16 A por fase)".[81]
- Norma UNE-EN-61000-2-4 "Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 2-4: Entorno. Niveles de compatibilidad para las perturbaciones conducidas de baja frecuencia en las instalaciones."[79]
- IEEE-519-2014 "Prácticas y requisitos recomendados para el control de armónicos en sistemas de energía eléctrica.[81]
- UNE-EN 61000-3-3. Parte 3-3: Límites. Limitación de las variaciones de tensión, fluctuaciones de tensión y flicker en las redes públicas de suministro de baja tensión para equipos con corriente asignada ≤ 16 A por fase y no sujetos a una conexión condicional.[80]

Els gràfics de totes les mesures que s'analitzen a continuació, es poden trobar a l'apèndix B dels Annexes.

5.1 Anàlisi de les mesures de la UPC

En aquest apartat es realitzarà una comparativa entre els resultats obtinguts de les mesures dels equips del laboratori del departament d'Enginyeria Elèctrica de la UPC comentats al capítol 1. Així doncs estarà dividit en quatre tipus de mesures per facilitar l'enteniment. Les mesures s'han fet en uns intervals de temps acurat per no fer malbé els equips.

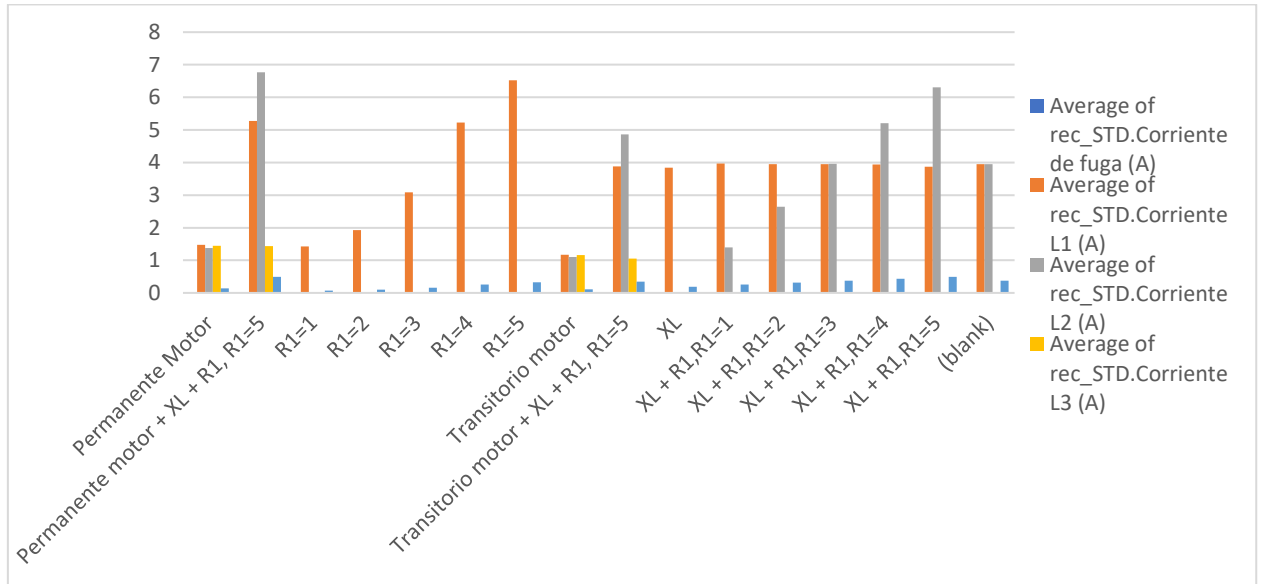
5.1.1 Mesures de càrregues de la UPC

5.1.1.1 Mesures de corrent

Com s'observa a la figura, no hi ha corrent de fuga, per la qual cosa, no hi ha corrents en els conductors de terra. El que sí que hi apareix en valors mínims és el corrent de neutre que indica

que circula una petita quantitat de corrent de retorn pel conductor del neutre. Al ser un valor tan petit no arriba a interferir en l'índex de distorsió harmònica, i per tant el valor d'aquest en el neutre serà de 0%.

El nom dels paràmetres de la càrrega resistiva de l'eix X, no significa que sigui el valor de la resistència, sinó, que es van provar 5 resistències diferents en la mateixa càrrega resistiva. Aquesta canvia la resistència mitjançant un potenciòmetre que al incrementant el seu valor numèric en la posició, (1,2,3,4 o 5) la resistència té un valor inferior.

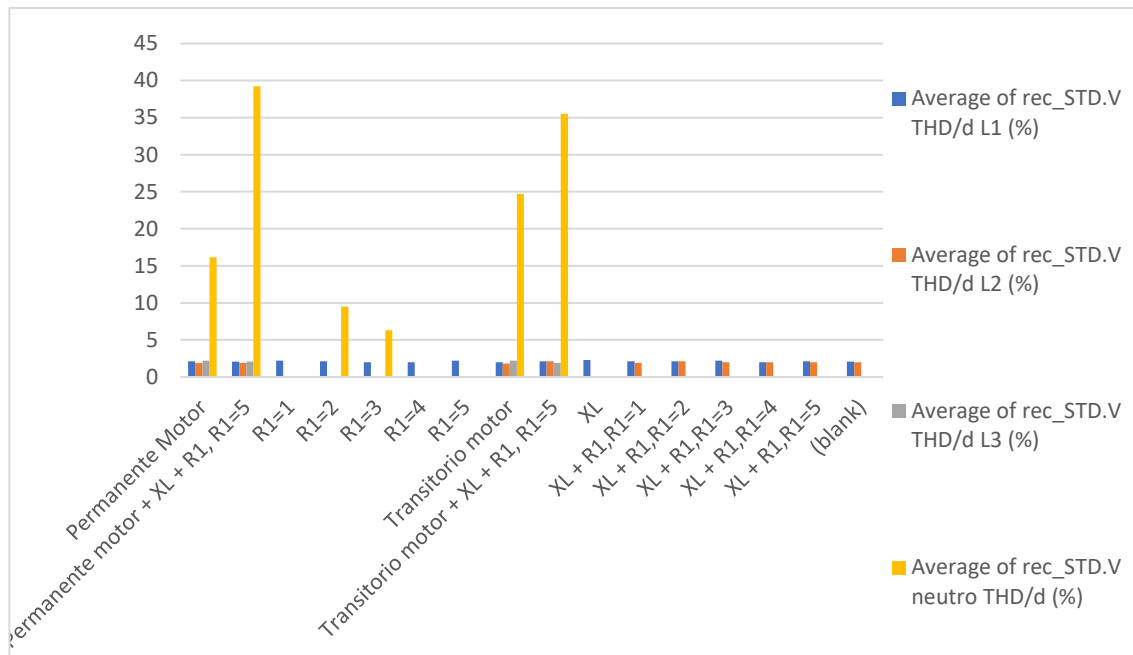


Gràfic 8: Mesures de càrregues a la UPC: Corrent

5.1.1.2 Mesures d'índex de distorsió harmònica (THD)

Per a les mesures d'índex de distorsió harmònica (THD) s'ha decidit calcular la mitjana aritmètica. La decisió ha sorgit de la necessitat d'ajuntar aquelles dades amb valors similars per a poder crear un únic gràfic.

Els equips que es mostren a continuació estan mesurats de manera individual i de manera conjunta. A més, es pot distingir entre aquells que s'han mesurat en un regim permanent i en un regim transitori.



Gràfic 9: Mesures de carregues a la UPC: Índex de distorsió harmònica (THD)

Tal com s'observa a la figura, tots els equips de les línies 1,2 i 3 tenen el THD de tensió inferior al 5%, vol dir que els equips funcionen amb normalitat i que no existeix risc d'un mal funcionament.

Segons la normativa IEC-61000-2-4, la tensió del neutre que es troba en la resistència 3 del banc de càrregues resistives (R1=3) entre el 5% i el 8%, indica que la distorsió harmònica comenci a ser significant. En canvi, la resta de valors THD del neutre en tensió, superen el 8%, per la qual cosa es pot assegurar que els equips tenen alt risc de veure's afectats pels harmònics i acabar funcionant de manera incorrecta, si continuen durant més temps connectats. El THD del neutre en tensió està provocat per les tensions que hi ha al neutre.

THD de corrent no apareix en el gràfic degut a que els valors obtinguts en la mesura, són de 0 A. Per tant no hi ha distorsió harmònica de corrent en el neutre.

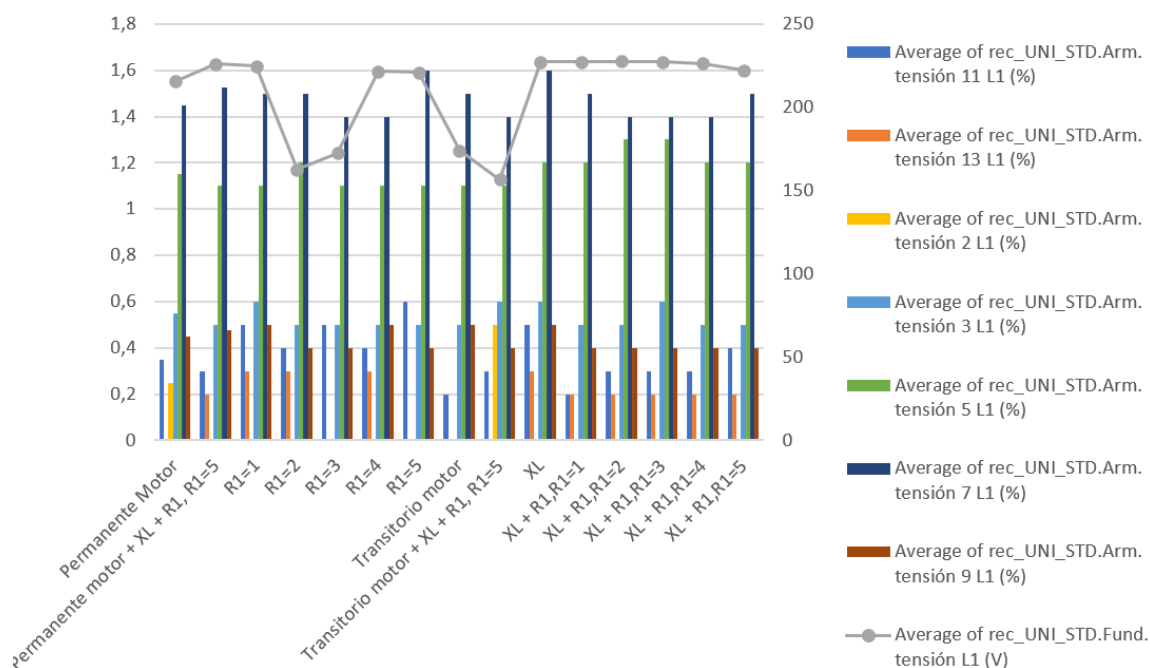
Continuant amb índex de distorsió harmònica, es presenta el gràfic de les distorsions en corrent de cada línia. La distorsió en corrent del neutre no hi apareix perquè els valors registrats són 0 A.

Els valors de distorsió harmònica en valor eficaç, que també han sigut registrats, considera el càlcul de la intensitat o tensió harmònica total i el contingut en RMS total, en lloc del contingut de la fonamental, on $I_{RMS} = \frac{I_{MAX}}{\sqrt{2}}$ i $V_{RMS} = \frac{V_{MAX}}{\sqrt{2}}$. Com els valors que per normativa s'empren més són els càlculs de THD en tensió i corrent.

5.1.1.3 Mesures dels harmònics de tensió

Les mesures dels harmònics de tensió estan analitzades segons la Norma IEC-61000-2-4 que estableix els límits d'harmònics en tensió en percentatge en xarxes industrials de BT per a la classe 2, que correspon a entorns industrials normals, límits habituals per a xarxes públiques, s'obtenen les següents dades.

Les dades a analitzar corresponen als harmònics senars principals que s'han registrat en les línies L1, L2, L3 i neutre. Els gràfics de les dades corresponent a les línies L2, L3 i neutre estaran en l'annex, però les taules amb els resultats es fiquen a continuació.



Gràfic 10: Mesures de carregues a la UPC: Harmònics de tensió

Taula 8: Mesures de carregues a la UPC: Harmònic de tensió: L1

Ordre d'harmònic	Valor Max (%)	Compleix IEC-61000-2-4
2	0.5	SI
3	0.6	SI
5	1.3	SI
7	1.6	SI
9	0.5	SI
11	0.6	SI
13	0.3	SI

Taula 9: Mesures de càrregues a la UPC: Harmònic de tensió: L2

Ordre d'harmònic	Valor Max(%)	Compleix IEC-61000-2-4
2	0.8	SI
3	1.0	SI
5	1.1	SI
7	1.2	SI
9	0.6	SI
11	1.1	SI

Taula 10: Mesures de càrregues a la UPC: Harmònic de tensió: L3

Ordre d'harmònic	Valor Max (%)	Compleix IEC-61000-2-4
2	0.3	SI
3	0.7	SI
5	1.0	SI
7	1.5	SI
9	0.7	SI
11	0.3	SI

Taula 11: Mesures de càrregues a la UPC: Harmònic de tensió: Neutre

Ordre d'harmònic	Valor Max (%)	Compleix IEC-61000-2-4
3	37.0	NO
5	27.0	NO
7	8.0	NO

Els harmònics que s'han generat en tensió de les línies 1,2 i 3 compleixen amb la normativa vigent. En canvi, els harmònics generats en el neutre no la compleix.

Pel que es pot observar en els gràfics, és que si ajuntem les càrregues resistives per una banda, la inductància per un altra i el motor per separat, s'obtenen uns resultats molt similars. El mateix ocorre quan es mesuren conjuntament. El que també s'observa és que el resultat varia si es mesura en estat permanent o en estat transitori.

Com tots els harmònics en tensió de la línia 1 tenen valors similars, resulta complicat poder caracteritzar la seva ona i conèixer a través del gràfic d'harmònics a quin equip correspon.

5.1.1.4 Mesures dels harmònics de corrent

Les mesures dels harmònics de corrent estan analitzades segons la normativa IEEE 519-2014 que estableix els límits d'harmònics de corrent per a càrregues no lineals, indica que aquests harmònics superen el nivell permès establert per als harmònics senars.

En quant al resultat d'harmònics de corrent, només s'ha registrat l'ona fonamental, es a dir, no hi ha cap valor en cap ordre d'harmònics diferent.

5.1.2 Mesures del focus halògens de la UPC

Per una altra banda, a part dels equips dels motors i de les càrregues inductives i resistives del laboratori de la UPC, es disposa a realitzar l'anàlisi dels focus halògens de 350 W comentats al capítol 1.

5.1.2.1 Mesures de corrent

Com s'observa a la figura, ocorre el mateix que en les mesures de corrent de les càrregues anteriors. No hi ha corrent de fuga, per la qual cosa, no hi ha corrents en els conductors de terra. Si que es troben valors mínims del corrent de neutre, el que indica que circula una petita quantitat de corrent de retorn pel conductor del neutre. Al ser un valor tan petit no arriba a interferir en l'índex de distorsió harmònica, i per tant el valor d'aquest en el neutre serà de 0%. Hi apareixen pics de corrent en L1, amb valors màxims aproximats de 0.8 A.



Gràfic 11: Mesures de carregues a la UPC: Focus halògens de la UPC: Corrent

5.1.2.2 Mesures d'indicadors de distorsió harmònica

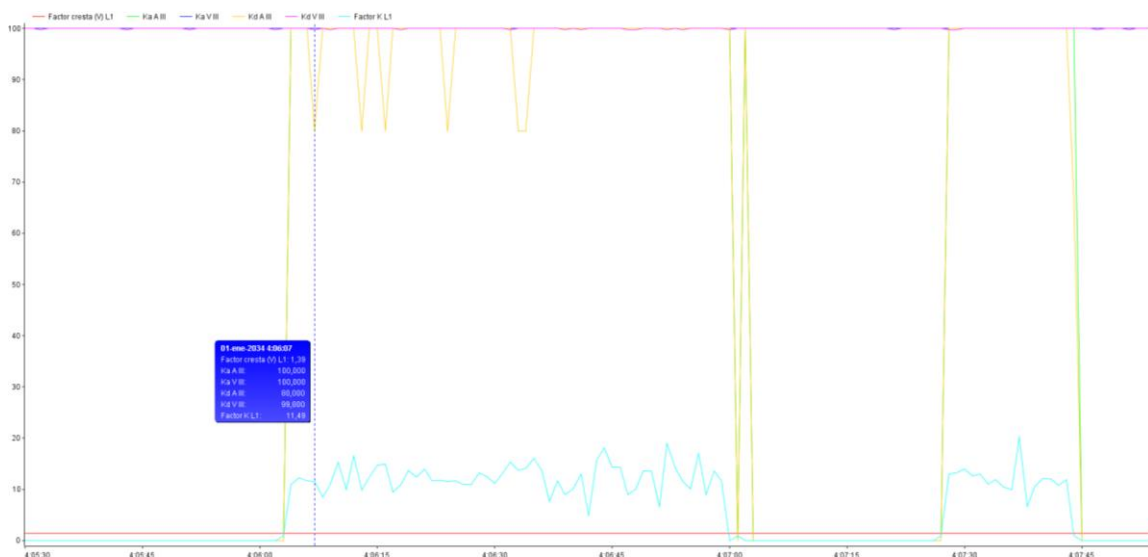
En aquesta figura s'observen els valors obtinguts dels índex de distorsió harmònica de tensió i corrent de cada línia i del neutre en valor de percentatge (%).



Gràfic 12: Mesures de carregues a la UPC: Focus halògens de la UPC: Índex de distorsió harmònica (THD)

Com la càrrega és monofàsica, la línia afectada és L1. El percentatge del THD de corrent de L1 supera el 50%, per la qual cosa, la distorsió harmònica present és molt significativa, i podria generar problemes en l'equip. En quant al percentatge del THD de tensió de L1 és menor del 5%, el que indica que està dins de la normativa IEC-61000-2-4 i per tant, es troba en la normalitat. El valor del THD de tensió del neutre és del 0% i per tant, reafirma el que s'ha comentat en l'apartat anterior.

Els valors de distorsió harmònica en valor eficaç considera el càlcul de la intensitat o tensió harmònica total i el contingut en RMS total, en lloc del contingut de la fonamental, tal com s'ha explicat en l'apartat de mesures d'equips de la UPC.



Gràfic 13: Mesures de carregues a la UPC: Focus halògens de la UPC: K, cresta, Desequilibri i Asimetria

El factor de cresta de L1, és 1.39 menor que $k = \sqrt{2}$, per tant, es troba dintre del límit i garanteix que no hi ha cap pic de corrent exagerat.

El factor K s'utilitza com a índex en el disseny d'equips, concretament de transformadors de distribució. En aquest cas és de 11.49, per la qual cosa, s'haurà de redimensionar el transformador per tal de poder treballar en l'ambient harmònic que ho requereixi.

En la figura, apareixen els coeficients de desequilibri en corrent i tensió (Kd A III i Kd V III), i els coeficients d'asimetria en corrent i tensió (Ka A III i Ka V III). Els desequilibris superen el 10% per

desequilibri de corrent i 3% per desequilibri de tensió, per la qual cosa les càrregues monofàsiques i trifàsiques que estan desequilibrades provoquen la circulació mínima de corrent en el neutre, tal com s'ha pogut observar a la figura ., El coeficient d'asimetria indica que les fases són asimètriques.

En quant a valors de Flicker, el valor és de a Pst de L1,L2 i L3 no han superat els nivells acceptats segona la norma EN61000-3-3:2008, per tant són correctes. En canvi, els valors de Plt de L1,L2 i L3 superen els nivells acceptats per la norma. Aquests valors afecten de forma negativa a la xarxa de distribució pública de BT.

El Flicker instantani, es calcula mitjançant la mitjana ponderada dels valors instantanis. Però els paràmetres que indiquen si els valors són acceptables o no, són el PST i PLT.

5.1.2.3 Mesures dels harmònics de tensió

Pel que fa als harmònics de tensió de L1, els valors van del 0 al 0,1 % en els diferent ordre d'harmònic. A L2 i L3 són del 0% degut a que la càrrega és monofàsica. No obstant en el neutre si que es troben alguns harmònics pocs significatius, el cinquè té un valor del 0,7% i el setè de 0,9 %. Ambdós valors compleixen la norma IEC-61000-2-4.

5.1.2.4 Mesures dels harmònics de corrent

Pel que fa als harmònics en corrent de la L1 es troben els següents valors:



Gràfic 14: Mesures de càrregues a la UPC: Focus halògens de la UPC: harmònics de corrent

Taula 12: Mesures de carregues a la UPC: Focus halògens de la UPC: harmònics de corrent: L1

Ordre d'harmònic	Valor Max (%)	Compleix IEEE 519-2014
3	92.5	NO
5	75.5	NO
7	37.7	NO
9	37.7	NO

El valor de la fonamental de corrent en L1 és de 0,344 A, i com s'observa no es compleix la normativa IEE 519-2014, per tant, s'hauran d'adoptar mesures correctives, ja que aquestes interferències poden interferir en altres equips.

A la L2 també es troben harmònics en el mateix punt que L1 i amb el mateix valor de la fonamental de corrent en L1, les dades obtingudes són les següents:

Taula 13: Mesures de carregues a la UPC: Focus halògens de la UPC: harmònics de corrent: L2

Ordre d'harmònic	Valor Max (%)	Compleix IEEE 519-2014
3	75.5	NO
5	75.5	NO
7	53.4	NO
9	37.7	NO

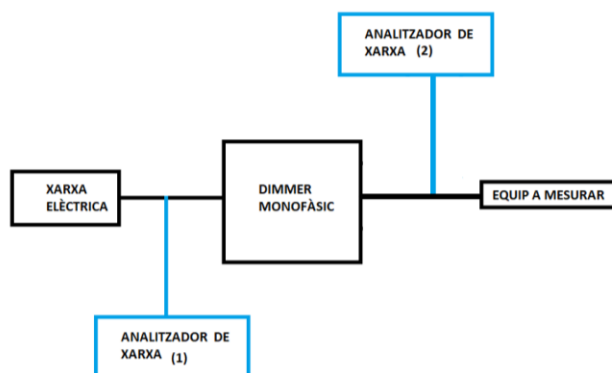
Pel que respecta a la línia 3 i a la corrent del neutre són del 0.1% amb un valor de la fonamental del 0%.

5.2 Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria

Les mesures realitzades en el Teatre Alegria de Terrassa, són equips d'il·luminació utilitzats en la producció espectacular. Aquest apartat es divideix en dos grups, el primer correspon a mesures dels equips per separat, i el segon en mesures d'equips funcionant simultàniament. Així es revisarà si es troba alguna forma de poder caracteritzar les formes d'ona i poder identificar quines pertorbacions corresponen a un equip.

Per les mesures dels equips per separat, s'han utilitzat dimmers monofàsics i trifàsics. La diferència que pot haver-hi entre ells és que un dels dos disposi de filtres que dificultin el pas dels harmònics a la resta d'equips.

Les mesures amb el dimmer monofàsic BOTEX MPX-405 s'han realitzat amb la següent connexió.



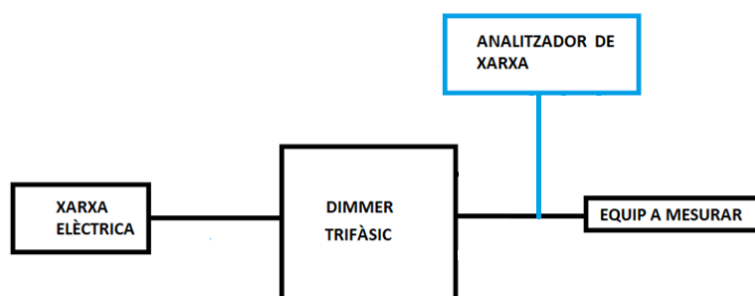
Il·lustració 55: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Esquema de connexió BOTEX MPX-405

Es fa una distinció de la col·locació de l'analitzador de xarxa, amb el dimmer monofàsic si que es pot connectar l'analitzador entre la xarxa elèctrica i el dimmer. Però amb el dimmer trifàsic, que es veurà a continuació, no es pot degut a que el connector per a connexions trifàsiques i monofàsiques és diferent. Per tant, es col·locarà l'analitzador en dos punts diferents:

(1) Primera posició de l'analitzador de xarxa per mesurar. Una vegada acabat es desconnectarà per col·locar-lo a la segona ubicació.

(2) Segona posició de l'analitzador de xarxa per mesurar.

Les mesures amb el dimmer trifàsic MIZAR s'han realitzat amb la següent connexió:



Il·lustració 56: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Esquema de connexió MIZAR

5.2.1 Equips mesurats per separat

Una vegada es coneix com es realitza la connexió per mesurar, es comencen a analitzar els resultats obtinguts per a equips mesurats per separat.

5.2.1.1 Focus BPP210 LED amb dimmer monofàsic

En primer lloc s'analitzen les mesures de tensió quan el dimmer monofàsic només utilitza un canal, es a dir, un color RED amb les següents regulacions del mesclador d'il·luminació BOTEX SDC-16 al llarg del temps.

Les regulacions del mesclador tenen un rang del 0 al 255, on el 0 correspon al 0% d'intensitat lumínica, el 128 correspon al 50% i el 255 al 100%.

Taula 14: Focus BPP210 LED amb dimmer monofàsic: % Il·luminació en funció del valor del mesclador.

Valor mesclador	% Il·luminació
61	23.92
80	31.37
105	41.17
120	47.06
153	60
170	66.7
202	79.22
220	86.27
235	92.16
255	100

A la següent figura es mostren els valors de tensió del canal 1 que correspon a la línia 1. Cal afegir que cada tram correspon als valors del Gràfic 15 que en són un total de 10 mesures.

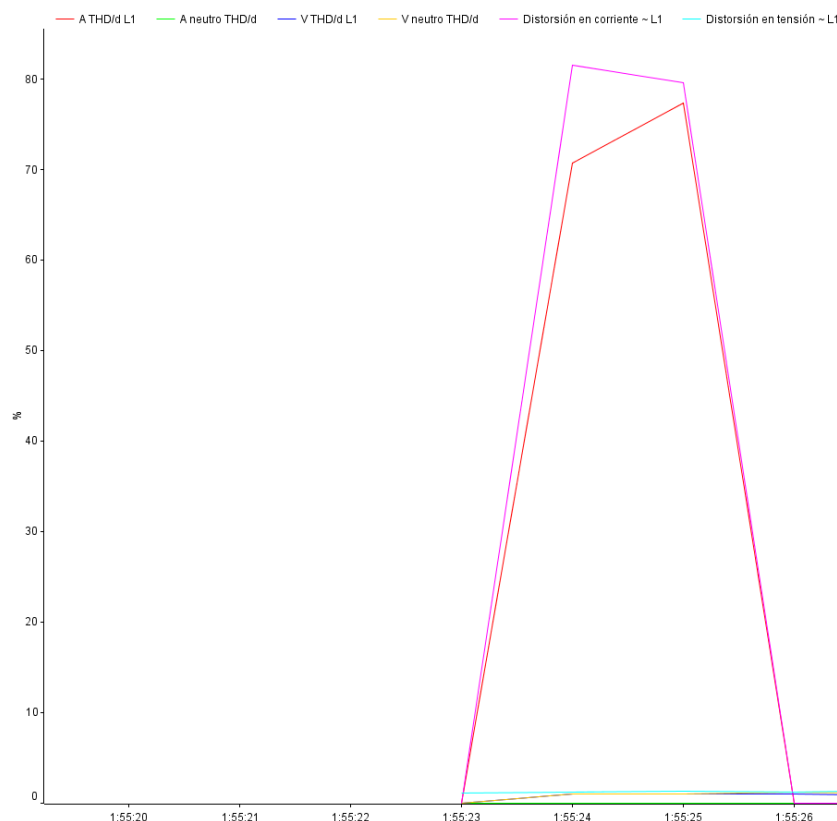


Gràfic 15: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus BPP210 LED amb dimmer monofàsic: Tensió L1

S'observa la tensió fase-neutre (Tensió L1) lleugerament superior a 230 V teòrics que hi ha a la xarxa elèctrica, però que compleix amb la tensió esperada. Es pot comprovar realitzant el càlcul de la tensió de línia, $V_L = V_F \cdot \sqrt{3} = 398.37 V \approx 400 V$. Les tensions de L2 i L3 són 0 V, la tensió L12 del gràfic correspon a la tensió fase-fase, es a dir, la tensió de línia, que té un valor inicial d'uns 218 V.

Pel que fa a l'anàlisi de corrents, no apareix cap corrent fins a la mesura número 5, que correspon al 60% d'il·luminació, on es troba un pic de corrent del neutre i a la línia 1. El corrent del neutre si és igual a 0 A es considera que el sistema està equilibrat. En la pràctica, s'espera que el corrent del neutre pugui ser un 20% del corrent de fase. En aquest cas, supera aquest percentatge, i per tant el sistema està desequilibrat. No obstant, al ser un valor petit, no afectarà a l'índex de distorsió harmònica de l neutre.

A nivell d'indicadors de distorsió harmònica es troben diversos pics d'índex de distorsió harmònica, un d'ells en el mateix punt que el pic de corrent del neutre. En aquest cas, s'ha escollit el pic d'un altre punt degut a que la seva visualització es millor per fer l'anàlisi.



Gràfic 16: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus BPP210 LED amb dimmer monofàsic: Índex de distorsió harmònica (THD)

Com la càrrega és monofàsica, la línia afectada és L1. El percentatge del THD de corrent de L1 i supera el 50%, per la qual cosa, la distorsió harmònica present és important, a nivell de poder fer malbé el funcionament d'equips receptors. En quant al percentatge del THD de tensió de L1 és menor del 5%, el que indica que està dins de la normativa IEC-61000-2-4 i per tant, es troba en la normalitat. Tal com s'ha indicat, es confirma que l'índex de distorsió harmònica no apareix gaire afectat, el valor resultant és molt pròxim a 0% i seria vàlid en la normativa.

En quant al factor de cresta de L1, aquest és 1.40 que és menor que $k = \sqrt{2}$. Es a dir, en aquest cas es troba dins del límit, i vol dir que no hi ha cap pic de corrent extrem.

El factor K de L1 en aquest punt és de 8.99, el valor normal que ha de tenir és 1.0 per la qual cosa, aquest valor indica no es requereix redimensionar el transformador per tal de poder treballar en l'ambient harmònic que ho requereixi.

Els desequilibris (Kd A III i Kd V III), superen el 10% per desequilibri de corrent i 3% per desequilibri de tensió, per la qual cosa les càrregues estan desequilibrades, i provoquen la circulació de corrent en el neutre, que en aquest cas és un valor molt petit.

Els coeficients d'asimetria (Ka A III i Ka V III) indiquen que es troben quasi al 100%, vol dir que el sistema generat en aquesta instal·lació, és asimètric.



Gràfic 17: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus BPP210 LED amb dimmer monofàsic: K, cresta, Desequilibri i Asimetria

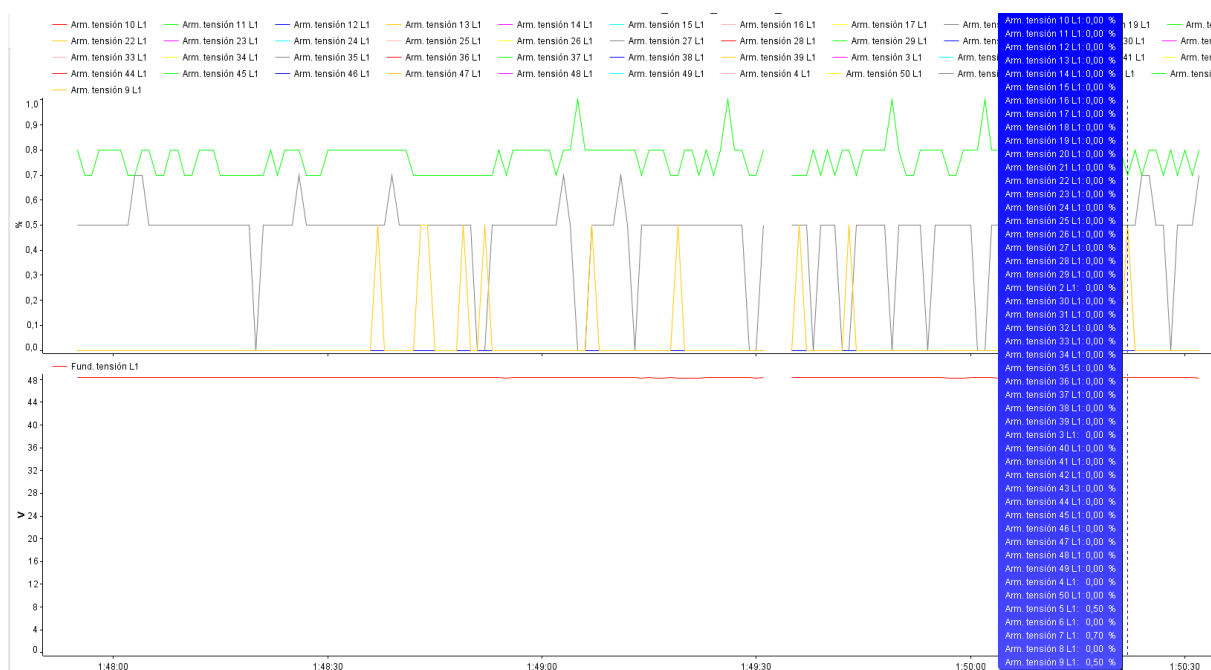
En quant als valors de Flicker s'observa a la següent imatge que el Pst L1 és de 0.14 i el Ptl L1 que és 0, compleixen la norma EN61000-3-3:2008. Aquests són Pst = 1 i per a Plt 0,65 segona la norma EN61000-3-3:2008. El Flicker instantani, es calcula mitjançant la mitjana ponderada dels valors instantanis. Però els paràmetres que indiquen si els valors són acceptables o no, són el PST i PLT.



Gràfic 18: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus BPP210 LED amb dimmer monofàsic: Flicker

Per últim, es mostren els gràfics dels valors dels harmònics des del fonamental fins al número 50 tant de tensió, com de corrent de la línia 1. Les línies 2 , 3 i el neutre no presenten índex d'harmònics ni de tensió ni de corrent, sinó que es troben tots al 0,1% per a una fonamental de 0.

Per tal de poder observar els valors dels harmònics de tensió, s'ha escollit un punt de la mesura



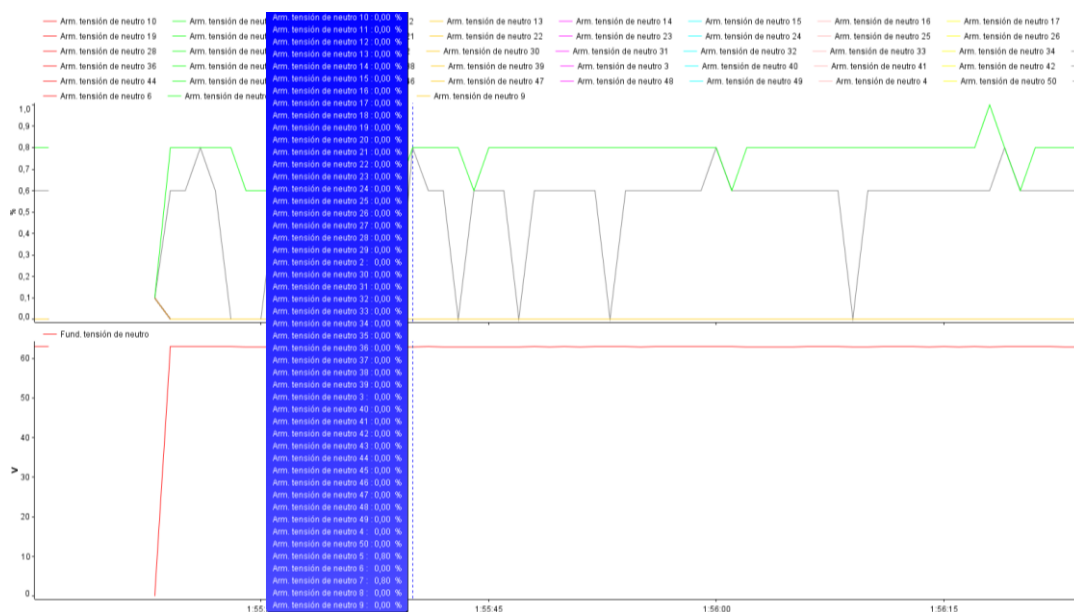
Gràfic 19: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus BPP210 LED amb dimmer monofàsic: Harmònics de tensió L1

Taula 15: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus BPP210 LED amb dimmer monofàsic: Harmònics de tensió

Ordre d'harmònic	Valor Max (%)	Complex IEC-61000-2-4
5	0.5	SI
7	0.7	SI
9	0.5	SI

Tots els harmònics de tensió generats en L1 compleixen amb els límits que estableix la normativa IEC-61000-2-4.

A continuació, es mostren els valors d'harmònics de tensió del neutre.



Gràfic 20: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus BPP210 LED amb dimmer monofàsic: Harmònics de tensió Neutre

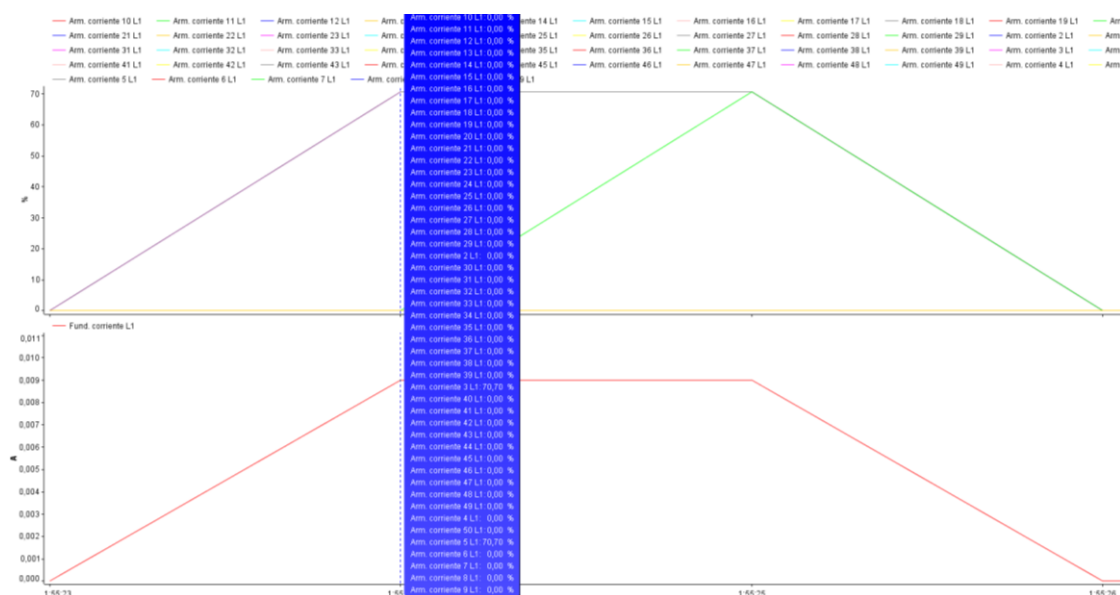
Taula 16: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus BPP210 LED amb dimmer monofàsic: Harmònics de tensió Neutre

Ordre d'harmònic	Valor Max (%)	Complex IEC-61000-2-4
5	0.8	SI
7	0.8	SI

Tots els harmònics de tensió en el neutre generats compleixen amb els límits que estableix la normativa IEC-61000-2-4.

En quant als harmònics de tensió de les línies 2 i 3, els valors són de 0,1% respecte a una fonamental de 0 V.

Una vegada ja s'han analitzat els harmònics de tensió, s'analitzen els harmònics de corrent amb un valor de la fonamental de 0,9 A:



Gràfic 21: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus BPP210 LED amb dimmer monofàsic: Harmònics de Corrent L1

Taula 17: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus BPP210 LED amb dimmer monofàsic: Harmònics de Corrent L1

Ordre d'harmònic	Valor Max	Compleix IEEE 519-2014
3	70.7	NO
5	70.7	NO

Segons la normativa IEEE 519-2014 que estableix els límits d'harmònics de corrent per a càrregues no lineals, indica que aquests harmònics superen el nivell permès establert per als harmònics senars. Per tant seria necessari aplicar mesures correctives.

En quant a harmònics de corrent en el neutre, i en les línies 2 i 3, són de 0,1% amb una fonamental de 0 A.

Pel que fa a la resta de mesures de focus LED amb el dimmer monofàsic, no hi ha diferència entre analitzar el canal 1 o la resta de canals, es a dir, que el canvi de color dels LED no influeix en l'anàlisi de la qualitat de l'energia. Els gràfics obtinguts estan a l'annex per tal d'ampliar la informació.

5.2.1.2 Focus BPP210 LED amb dimmer trifàsic

Per fer una comparativa amb el dimmer monofàsic utilitzat amb LED, es presenta l'anàlisi de resultats del focus LED amb un dimmer trifàsic utilitzant un canal fins la mesura de temps 1:51:56 h i dos canals a partir de la mesura 1:51:57 h. Tots dos al 100%.

Ara que amb uns quants anàlisis anteriors s'ha pogut visualitzar com s'han extret les dades, a partir d'aquest punt i fins l'anàlisi de les mesures en espectacles en viu, s'explicaran tots els

paràmetres anteriors, però visualitzant les gràfiques que siguin més rellevants. La resta de gràfics estan als annexes corresponents.

En aquesta mesura,

La tensió fase-neutre (Tensió L1) lleugerament superior a 230 V teòrics que hi ha a la xarxa elèctrica, però que compleix amb la tensió esperada. Les tensions de L2 i L3 en aquest cas si que tenen valors del voltant de 15 . La tensió L12 del gràfic correspon a la tensió fase-fase, es a dir, la tensió de línia, que té un valor inicial d'uns 218 V, i té el mateix valor que L31. El valor de L23 és 0 V.

Pel que fa a l'anàlisi de corrents, el corrent de fuga és de 0 A, és a dir, no hi ha corrents en el conductor de protecció de terra.

Pel que fa al corrent del neutre té un valor molt petit de 0,0334 A. Quan el sistema elèctric trifàsic és equilibrat, amb una simetria d'ones de 120º elèctrics, el corrent del neutre és igual a 0 A. Per tant, en aquest cas el sistema està desequilibrat.

A nivell d'indicadors de distorsió harmònica es troben diversos pics d'índex de distorsió harmònica.

El percentatge del THD de corrent de L1 i L2 superen el 50%, per la qual cosa, la distorsió harmònica present és important, a nivell de poder fer malbé el funcionament d'equips receptors. Per a les línies L3 i neutre, aquest paràmetre és 0% per la qual cosa, és correcte. En quant al percentatge del THD de tensió de L1, L2, L3 i neutre tenen pics on és més gran que el 50%. En aquests casos, la presència d'harmònics en corrent és molt significativa, això vol dir, que no es compleixen els límits de la normativa IEC-61000-2-4 i per tant s'ha de buscar una solució.

En quant al factor de cresta de L1,L2 i L3 són menors que $k = \sqrt{2}$. Es a dir, en aquest cas es troba dins del límit, i vol dir que no hi ha cap pic de corrent extrem.

El factor K de L1, L2 i L3 són més grans que el valor normal,1.0, per la qual cosa, aquest valor indica no es requereix redimensionar el transformador per tal de poder treballar en l'ambient harmònic que ho requereixi.

En els desequilibris (Kd A III i Kd V III) hi ha pics que superen el 10% per desequilibri de corrent i 3% per desequilibri de tensió, per la qual cosa les càrregues estan desequilibrades, i provoquen la circulació de corrent en el neutre, que en aquest cas és un valor molt petit.

Els coeficients d'asimetria(Ka A III i Ka V III) també apareixen durant el registre de dades. Els pics es troben entre el 80% i 100%, vol dir que el sistema generat en aquesta instal·lació, és asimètric.

En quant als valors de Flicker s'observa a la següent imatge que el Ptl de les línies 1,2 i 3, superen els límits establerts en la norma EN61000-3-3:2008. En canvi per a Pst , les línies 1 i 3 no compleixen amb la normativa, però la línia 2 si. El Flicker instantani, es calcula mitjançant la mitjana ponderada dels valors instantanis. Però els paràmetres que indiquen si els valors són acceptables o no, són el PST i PLT.

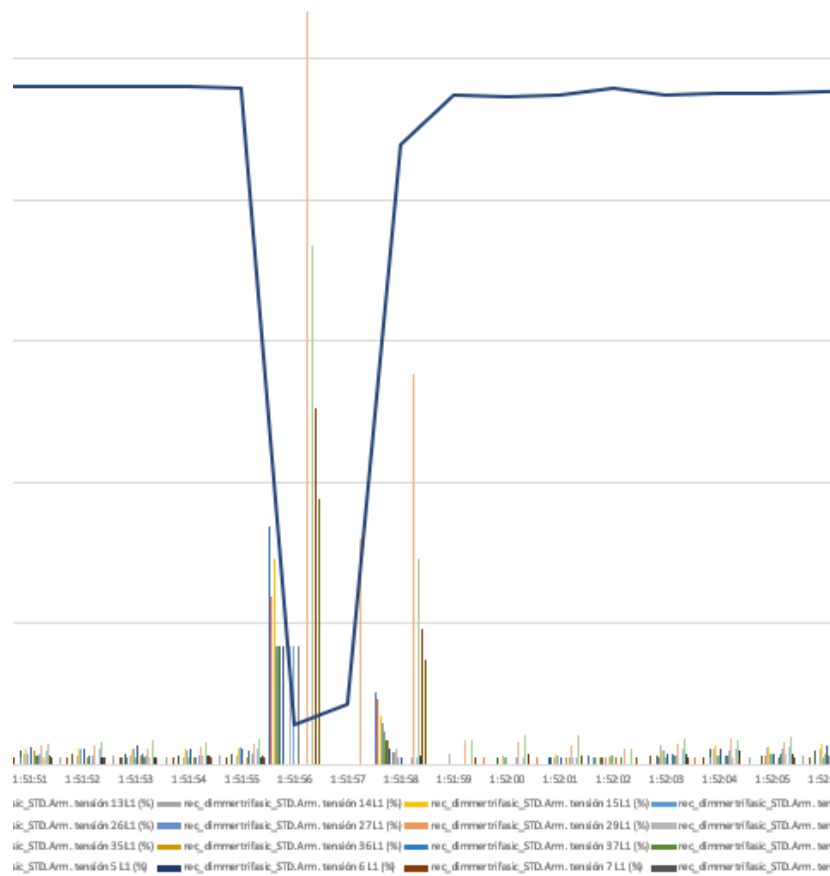
Per últim, els gràfics dels valors dels harmònics de tensió i corrent des del fonamental fins al número 50 de la línia 1, 2, i neutre es troben a l'annex per la seva grandària. En la següent taula es mostren els valors de l'ordre d'harmònics de tensió de la línia 2 més rellevant d'un canal: 3,5,7 i 13. S'escull la línia 2 perquè a la línia 2 ocorre el mateix.

Taula 18: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus BPP210 LED amb dimmer trifàsic: Harmònics de tensió L2

Ordre d'harmònic	Valor Max (%)	Complex IEC-61000-2-4
3	1.5	SI
5	1.7	SI
7	0.7	SI
13	0.7	SI

Tots els harmònics de tensió en L1 i L2 generats compleixen amb els límits que estableix la normativa IEC-61000-2-4.

La següent figura mostra el canvi entre passar de tenir connectat un canal, a connectar el segon.



Gràfic 22: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus BPP210 LED amb dimmer trifàsic: Harmònics de tensió L2

El que s'observa és que en la transició de connexió del canal 2 és que els harmònics es veuen alterats fins que queda ja estabilitzat el percentatge lumínic del canal 2.

En la següent taula es mostren els valors de l'ordre d'harmònics de tensió més rellevant de dos canals: 3,5,7,9 i 13.

Taula 19: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus BPP210 LED amb dimmer trifàsic: Harmònics de tensió Dos Canals

Ordre d'harmònic	Valor Max (%)	Compleix IEC-61000-2-4
3	1.9	SI
5	2.0	SI
7	0.7	SI
9	0.5	SI
13	0.5	SI

Tots els harmònics de tensió en L1 i L2 generats compleixen amb els límits que estableix la normativa IEC-61000-2-4.

Una vegada ja s'han analitzat els harmònics de tensió, s'analitzen els harmònics de corrent de L1 amb un valor de la fonamental de fins a 0,21 A en un canal:

Taula 20: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus BPP210 LED amb dimmer trifàsic: Harmònics de corrent L1

Ordre d'harmònic	Valor Max (%)	Compleix IEEE 519-2014
3	70.7	NO
5	70.7	NO
7	99.9	NO

En la següent taula es mostren els valors de l'ordre d'harmònics de corrent més rellevant de dos canal, amb un valor de la fonamental de fins a 0,514 A.

Taula 21: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus BPP210 LED amb dimmer trifàsic: Harmònics de corrent Dos canals

Ordre d'harmònic	Valor Max (%)	Compleix IEEE 519-2014
3	87.4	NO
5	70.7	NO
7	64.7	NO
9	54.2	NO
11	45.8	NO
13	32.3	NO

Els valors de L2 són similars als valors de L1.

Segons la normativa IEEE 519-2014 que estableix els límits d'harmònics de corrent per a càrregues no lineals, indica que aquests harmònics superen el nivell permès establert per als harmònics senars. Per tant seria necessari aplicar mesures correctives.

Amb aquests resultats, cal dir que al afegir un altre canal, sorgeixen més harmònics que només amb un canal, i que els que són d'un mateix ordre, com l'ona fonamental és més gran, encara que disminueixin, el valor en % dels harmònics és més gran.

Pel que fa a la resta de mesures de focus LED amb el dimmer trifàsic, no hi ha diferència entre analitzar el canal 1 o la resta de canals, es a dir, que el canvi de color dels LED no influeix en l'anàlisi de la qualitat de l'energia. S'ha analitzat el cas més notori, ja que el resultat de l'anàlisi amb tres o quatre canals a la vegada, és molt similar a l'anàlisi amb dos canals. Per tant, el canvi més destacat és quan es passa de tenir un canal connectat, a tenir-ne dos. A més afegir, que encara que s'hagi estudiat els harmònics que afecten més a la qualitat de l'energia de les instal·lacions, també apareixen d'altres menys comuns i amb un percentatge molt més baix, però que en certa manera també afecten.

5.2.1.3 Focus ADB C103

En aquest focus, la tensió fase-neutre (Tensió L1) és similar a la tensió del neutre, es a dir lleugerament inferior a 230 V teòrics que hi ha a la xarxa elèctrica, però que compleix amb la tensió esperada. Les tensions de L2 i L3 en aquest cas si que tenen valors del voltant de 15 V i són similars. La tensió L12 i la tensió L31 és la mateixa i corresponen a la tensió fase-fase, es a dir, la tensió de línia, que té un valor inicial d'uns 217 V. El valor de L23 és 0 V.

Pel que fa a l'anàlisi de corrents, el corrent de fuga és de 0 A, és a dir, no hi ha corrents en el conductor de protecció de terra.

El corrent del neutre té un valor molt petit de 0,0339 A. Quan el sistema elèctric trifàsic és equilibrat, el corrent del neutre és igual a 0 A. Per tant, en aquest cas el sistema està desequilibrat.

A nivell d'indicadors de distorsió harmònica es troben diversos pics d'índex de distorsió harmònica. El percentatge del THD de corrent de L1, L2 i L3 superen el 50%, per la qual cosa, la distorsió harmònica present és important, a nivell de poder fer malbé el funcionament d'equips receptors. Per al neutre, aquest paràmetre és 0% per la qual cosa, és correcte. En quant al percentatge del THD de tensió de L1, L2, L3 i neutre tenen pics on és més gran que el 50%. En aquests casos, la presència d'harmònics en corrent és molt significativa, això vol dir, que no es compleixen els límits de la normativa IEC-61000-2-4 i per tant s'ha de buscar una solució.

Aquests valors ocorren quan s'augmenta la intensitat lumínica del 0% al 100% i quan està estable al 50%, perquè quan es manté estable al 100% els valors de THD corrent i tensió son menors que el cas anterior, però sobrepassen del 10%, i per tant, segueixen sense complir la normativa.

En quant al factor de cresta de L1, L2 i L3 són majors que $k = \sqrt{2}$. Es a dir, en aquest cas es troba fora del límit, i vol dir que si que existeixen grans pics de corrent.

El factor K de L1 i L2 són més grans que el valor normal, 1.0, aquest valor indica que es requereix redimensionar el transformador per tal de poder treballar en l'ambient harmònic que ho requereixi. El factor K per a L3 és 0, per la qual cosa, no influeix.

En els desequilibris (Kd A III i Kd V III) hi ha pics que superen el 90% per desequilibri de corrent i 3% per desequilibri de tensió, per la qual cosa les càrregues estan desequilibrades, i provoquen la circulació de corrent en el neutre, que en aquest cas és un valor molt petit.

Els coeficients d'asimetria (Ka A III i Ka V III) també apareixen durant el registre de dades. Ka A III té un valor del 0%, però en tensió, els pics es troben entre el 90% i 100%, vol dir que el sistema generat en aquesta instal·lació per a la tensió, és asimètric.

En quant als valors de Flicker, tots els valors de Ptl i Pst de les línies 1, 2 i 3, superen els límits establerts en la norma EN61000-3-3:2008. Es recorda que el Flicker instantani, es calcula

mitjançant la mitjana ponderada dels valors instantanis. Però els paràmetres que indiquen si els valors són acceptables o no, són el PST i PLT.

Per últim, els gràfics dels valors dels harmònics de tensió i corrent des del fonamental fins al número 50 de la línia 1, 2, 3 i neutre. En la següent taula es mostren els valors de l'ordre d'harmònics de tensió de la línia 1, que són els mateixos que els de la tensió del neutre. Les línies 2 i 3 són molt similars entre sí, i s'assemblen a la línia 1, però amb menys quantitat d'harmònics.

Els gràfics dels annexes tenen tres fases, la primera és una pujada del 0% al 100% d'engegada del focus, la segona es manté i per tant els harmònics són molt insignificants i per tant compleixen la normativa IEC-61000-2-4, i el tercer quan el focus es troba al 50%. S'ha de mencionar, que els focus entre el 30% i el 60% és quant més pateixen per estabilitzar la senyal i per tant, és quants més harmònics apareixen.

Taula 22: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus ADB C103: harmònics de tensió L1

Ordre d'harmònic	Valor Max (%)	Compleix IEC-61000-2-4
3	35.3	NO
5	34.4	NO
7	20.5	NO
9	9.5	NO
11	11.6	NO
13	11.8	NO

Els harmònics que apareixen del 0 al 100% són els mateixos que hi ha al deixar el focus a un 50% de la seva capacitat lumínica. Aleshores en aquests dos punts, com es veu a la Taula 22 no compleix la normativa establerta.

En els valors dels harmònics de corrent, la línia 1 i la línia 2 són exactament iguals, mentre que harmònics de corrent en la línia 3 i en el neutre, són del 0,1% amb un valor de la fonamental de 0A.

En la següent taula es mostren els valors de l'ordre d'harmònics de corrent més rellevant de dos canal, amb un valor de la fonamental de fins a 4.322 A.

Taula 23: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus ADB C103: harmònics de corrent L1

Ordre d'harmònic	Valor Max (%)	Compleix IEEE 519-2014
3	54.9	NO
5	45.2	NO
7	19.9	NO
9	14	NO
11	13.2	NO
13	10.8	NO

Segons la normativa IEC-61000-2-4 per als harmònics de tensió, i la IEEE 519-2014 per als harmònics de corrent, cap dels harmònics analitzats, les compleix. Per tant seria necessari aplicar mesures correctives.

5.2.1.4 Focus ADB FRESNEL A59-Z

En aquest focus es fa el mateix procediment explicat en el focus anterior, ADB C103.

la tensió fase-neutre (Tensió L1) és similar a la tensió del neutre, es a dir lleugerament inferior a 230 V, però que compleix amb la tensió esperada d'alimentació del focus. Les tensions de L2 i L3 en aquest cas si que tenen valors del voltant de 15 V i són similars. La tensió L12 i la tensió L31 és la mateixa i corresponen a la tensió fase-fase, es a dir, la tensió de línia, que té un valor inicial d'uns 217 V. El valor de L23 és 0 V.

Pel que fa a l'anàlisi de corrents, el corrent de fuga és de 0 A, és a dir, no hi ha corrents en el conductor de protecció de terra.

El corrent del neutre té un valor molt petit al voltant d'uns 0,0330 A. Quan el sistema elèctric trifàsic és equilibrat, el corrent del neutre és igual a 0 A. Per tant, en aquest cas el sistema està desequilibrat.

A nivell d'indicadors de distorsió harmònica es troben diversos pics d'índex de distorsió harmònica.

El percentatge del THD de corrent de L1, L2 i L3 superen el 50%, per la qual cosa, la distorsió harmònica present és important, a nivell de poder fer malbé el funcionament d'equips receptors. Per al neutre, aquest paràmetre és 0% per la qual cosa, és correcte. En quant al percentatge del THD de tensió de L1, L2, L3 i neutre tenen pics on és més gran que el 50%. En aquests casos, la presència d'harmònics en corrent és molt significativa, això vol dir, que no es compleixen els límits de la normativa IEC-61000-2-4 i per tant s'ha de buscar una solució.

Aquests valors ocorren quan s'augmenta la intensitat lumínica del 0% al 100% i quan està estable al 50%, perquè quan es manté estable al 100% els valors de THD corrent i tensió son menors que el cas anterior, però sobrepassen del 10%, i per tant, segueixen sense complir la normativa.

En quant al factor de cresta de L1,L2 i L3 són majors que $k = \sqrt{2}$. Es a dir, en aquest cas es troba fora del límit, i vol dir que si que existeixen grans pics de corrent.

El factor K de L1 i L2 són més grans que el valor normal,1.0, per la qual cosa, aquest valor indica que es requereix redimensionar el transformador per tal de poder treballar en l'ambient harmònic que ho requereixi. El factor K per a L3 és 0, per la qual cosa, no influeix.

En els desequilibris (Kd A III i Kd V III) hi ha pics que superen el 90% per desequilibri de corrent i 3% per desequilibri de tensió, per la qual cosa les càrregues estan desequilibrades, i provoquen la circulació de corrent en el neutre, que en aquest cas és un valor molt petit.

Els coeficients d'asimetria(Ka A III i Ka V III) també apareixen durant el registre de dades. Ka A III té un valor del 0%, però en tensió, els pics es troben entre el 90% i 100%, vol dir que el sistema generat en aquesta instal·lació per a la tensió, és asimètric.

En quant als valors de Flicker, tots els valors de Ptl i Pst de les línies 1,2 i 3, superen els límits establerts en la norma EN61000-3-3:2008. Es recorda que el Flicker instantani, es calcula mitjançant la mitjana ponderada dels valors instantanis. Però els paràmetres que indiquen si els valors són acceptables o no, són el PST i PLT.

Per últim, els gràfics dels valors dels harmònics de tensió i corrent des del fonamental fins al número 50 de la línia 1, 2, 3 i neutre. En la següent taula es mostren els valors de l'ordre d'harmònics de tensió de la línia 1, que son els mateixos que els de la tensió del neutre. Les línies 2 i 3 són molt similars entre sí, i s'assemblen a la línia 1, però amb menys quantitat d'harmònics.

Els gràfics dels annexes també tenen tres fases, com el focus anterior, i per tant, l'explicació es la mateixa: la primera és una pujada del 0% al 100% d'engegada del focus, la segona es manté i per tant els harmònics són molt insignificants i per tant compleixen la normativa IEC-61000-2-4, i el tercer quan el focus es troba al 50%. S'ha de mencionar, que els focus entre el 30% i el 60% és quant més pateixen per estabilitzar la senyal i per tant, és quants més harmònics apareixen.

Taula 24: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus ADB FRESNEL A59-Z: harmònics de tensió L1

Ordre d'harmònic	Valor Max (%)	Compleix IEC-61000-2-4
3	74.7	NO
5	39.4	NO
7	18.1	NO
9	14.7	NO
11	9.8	NO
13	11.6	NO

Els harmònics que apareixen del 0 al 100% són els mateixos que hi ha al deixar el focus a un 50% de la seva capacitat lumínica. Aleshores en aquests dos punts, com es veu a la taula 24 no compleix la normativa establerta.

En els valors dels harmònics de corrent, la línia 1 i la línia 2 són exactament iguals, mentre que harmònics de corrent en la línia 3 i en el neutre, són del 0,1% amb un valor de la fonamental de 0A.

En la següent taula es mostren els valors de l'ordre d'harmònics de corrent més rellevant de dos canal, amb un valor de la fonamental de fins a 4.322 A.

Taula 25: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus ADB FRESNEL A59-Z: harmònics de corrent L1

Ordre d'harmònic	Valor Max (%)	Compleix IEEE 519-2014
3	72.4	NO
5	39.5	NO
7	18.4	NO
9	11.9	NO
11	7.5	NO
13	10.6	NO

Segons la normativa IEC-61000-2-4 per als harmònics de tensió, i la IEEE 519-2014 per als harmònics de corrent, cap dels harmònics analitzats, les compleix. Per tant seria necessari aplicar mesures correctives. Els valors obtinguts tant en aquest tipus de lluminària, com en el focus ADB C103 són molt similars.

5.2.1.5 Focus halogen STR 75 R/T PF

En aquest focus, es fa el mateix procediment explicat en els focus anterior, ADB C103 i ADB FRESNEL A59-Z. A més, hi ha paràmetres que també són similars i d'altres que no.

La tensió és un dels paràmetres similars on la fase-neutre (Tensió L1) és similar a la tensió del neutre, es a dir aproximadament 230 V, i compleix amb la tensió esperada d'alimentació del focus. Les tensions de L2 i L3 en aquest cas si que tenen valors del voltant de 15 V i són similars. La tensió L12 i la tensió L31 és la mateixa i corresponen a la tensió fase-fase, es a dir, la tensió de línia, que té un valor inicial d'uns 217 V. El valor de L23 és 0 V.

Pel que fa a l'anàlisi de corrents, el corrent de fuga és de 0 A, és a dir, no hi ha corrents en el conductor de protecció de terra. El corrent del neutre és igual a 0 A, i per tant, el sistema està equilibrat a nivell de corrents. No hi ha cap pic de corrent en les línies 1,2 i 3.

A nivell d'indicadors de distorsió harmònica es troben diversos pics d'índex de distorsió harmònica. El percentatge del THD de corrent de L1, L2 i L3 superen el 50%, per la qual cosa, la distorsió harmònica present és important, a nivell de poder fer malbé el funcionament d'equips receptors. Per al neutre, aquest paràmetre és 0% per la qual cosa, és correcte.

En quant al percentatge del THD de tensió de L1, L2, L3 i neutre, tenen pics superiors al 50%. En aquests casos, la presència d'harmònics en corrent és molt significativa, això vol dir, que no es compleixen els límits de la normativa IEC-61000-2-4 i per tant s'ha de buscar una solució.

Aquests valors ocorren quan s'augmenta la intensitat lumínica del 0% al 100% i quan està estable al 50%, perquè quan es manté estable al 100% els valors de THD corrent i tensió son menors que el cas anterior, però sobrepassen del 10%, i per tant, segueixen sense complir la normativa.

En quant al factor de cresta de L1,L2 i L3 són majors que $k = \sqrt{2}$. Es a dir, en aquest cas es troba fora del límit, i vol dir que si que podrien existir grans pics de corrent.

El factor K de L1 i L2 són més grans que el valor normal, 1.0, per la qual cosa, aquest valor indica que es requereix redimensionar el transformador per tal de poder treballar en l'ambient harmònic que ho requereixi. El factor K per a L3 és 0, per la qual cosa, no influeix.

En els desequilibris (Kd A III i Kd V III) hi ha pics que superen el 90% per desequilibri de corrent i 3% per desequilibri de tensió, per la qual cosa les càrregues estan desequilibrades, i provoquen la circulació de corrent en el neutre, que en aquest cas és un valor molt petit.

Els coeficients d'asimetria(Ka A III i Ka V III) també apareixen durant el registre de dades. Ka A III té un valor del 0%, però en tensió, els pics es troben entre el 90% i 100%, vol dir que el sistema generat en aquesta instal·lació per a la tensió, és asimètric.

En quant als valors de Flicker, tots els valors de Ptl i Pst de les línies 1,2 i 3, superen els límits establerts en la norma EN61000-3-3:2008. Es recorda que el Flicker instantani, es calcula mitjançant la mitjana ponderada dels valors instantanis. Però els paràmetres que indiquen si els valors són acceptables o no, són el PST i PLT.

Per últim, els gràfics dels valors dels harmònics de tensió i corrent des del fonamental fins al número 50 de la línia 1, 2, 3 i neutre. En la següent taula es mostren els valors de l'ordre d'harmònics de tensió de la línia 1, que son els mateixos que els de la tensió del neutre. Les línies 2 i 3 són molt similars entre sí, i s'assemblen a la línia 1, però amb menys quantitat d'harmònics.

Els gràfics dels annexes també tenen tres fases, com el focus anterior, i per tant, l'explicació es la mateixa: la primera és una pujada del 0% al 100% d'engegada del focus, la segona es manté i per tant els harmònics són molt insignificants i per tant compleixen la normativa IEC-61000-2-

4, i el tercer quan el focus es troba al 50%. S'ha de mencionar, que els focus entre el 30% i el 60% és quant més pateixen per estabilitzar la senyal i per tant, és quants més harmònics apareixen.

Taula 26: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus halogen STR 75 R/T PF: harmònics de tensió L1

Ordre d'harmònic	Valor Max (%)	Compleix IEC-61000-2-4
3	80.5	NO
5	47.4	NO
7	21	NO
9	14.4	NO
11	7.2	NO
13	6.8	NO

Els harmònics que apareixen del 0 al 100% són els mateixos que hi ha al deixar el focus a un 50% de la seva capacitat lumínica. Aleshores en aquests dos punts, com es veu a la Taula 26 no compleix la normativa establerta.

En referència als harmònics de corrent, com que els valor de corrent són tots de 0A, tampoc hi ha cap valor d'harmònic de corrent.

Així doncs, segons la normativa IEC-61000-2-4 per als harmònics de tensió, cap dels harmònics analitzats, les compleix. Per tant seria necessari aplicar mesures correctives. Els valors obtinguts tant en aquest tipus de lluminària, com en el focus ADB FRESNEL A59-Z i ADB C103 són molt similars.

5.2.1.6 Tub fluorescent SYLVANIA

En el cas del pack de dos tubs fluorescents s'ha realitzat el següent anàlisi. En primer lloc el tub que estava en un estat OFF, ha passat a estar al 100%, a continuació s'ha baixat fins a un 16% per veure que el tub no s'engega, seguidament a un 41% aproximadament on el tub fluorescent comença a fer pampallugues però sense èxit d'engegar-se i finalment a un 50% on s'observa que només s'engega un dels tubs fluorescents.

La tensió de fase-neutre (Tensió L1) és similar a la tensió del neutre, es a dir aproximadament 230 V quan està al 100%, per tant, compleix amb la tensió esperada d'alimentació del focus. La tensió L12 correspon a la tensió fase-fase, es a dir, la tensió de línia, que té un valor inicial d'uns 217 V també al 100%.

Pel que fa a l'anàlisi de corrents, el corrent de fuga és de 0 A, és a dir, no hi ha corrents en el conductor de protecció de terra. El corrent del neutre té un valor insignificant, i per tant, el sistema està equilibrat a nivell de corrents. Apareixen pics de corrent en la línia 1 quan els tubs estan engegats, es a dir, si no s'engeguen o només s'engega un no hi ha pics .

Com la càrrega és monofàsica, la línia afectada és L1. El percentatge del THD de corrent de L1 és del 0% i el de corrent del neutre supera el 10% però no arriba al 50%, per la qual cosa, la distorsió harmònica present és significant. En quant al percentatge del THD de tensió de L1 arriba fins al 100% quan està engegant-se, el que indica que supera els límits de la normativa IEC-61000-2-4. Quan ja s'ha engegat al 100%, aquest valor baixa fins a gairebé un 2%, el qual sí que compleix la normativa. Per tant, només es produeix distorsió harmònica quan el fluorescent està en procés d'engegar-se.

Els valors de distorsió harmònica en valor eficaç considera el càlcul de la intensitat o tensió harmònica total i el contingut en RMS total, en lloc del contingut de la fonamental, tal com s'ha explicat en l'apartat de mesures d'equips de la UPC.

Seguidament, es revisen altres indicadors de distorsió harmònica. Aquí també s'ha seleccionat un punt específic de la mesura per poder visualitzar-ho millor.

En quant al factor de cresta de L1 és similar a $k = \sqrt{2}$. Es a dir, en aquest cas es troba dins del límit, i vol dir que no podrien existir grans pics de corrent.

El factor K de L1 arriba a 1.0 quan està al 100% per la qual cosa, aquest valor indica que no es requereix redimensionar el transformador per tal de poder treballar en l'ambient harmònic que ho requereixi.

En els desequilibris (Kd A III i Kd V III) hi ha pics que superen el 90% per desequilibri de corrent i 3% per desequilibri de tensió, per la qual cosa les càrregues estan desequilibrades, i provoquen la circulació de corrent en el neutre, que en aquest cas és un valor molt petit. El desequilibri del corrent apareix quan coincideix amb els pics de corrents. En aquell moment el sistema de corrent està desequilibrat. Pel que fa al desequilibri de tensió, està entre el 90 i el 100% en tots els estats.

Els coeficients d'asimetria (Ka A III i Ka V III) també apareixen durant el registre de dades. Ka A III té un valor del 100% quan el tub fluorescent acaba d'arribar al 50% i per tant només s'engega un fluorescent. Aquesta mesura dura un instant. En tensió, coincideix amb el Kd V III, el que indica que és asimètric en tensió.

En quant als valors de Flicker, tots els valors de Ptl i Pst de lla línia 1, superen els límits establerts en la norma EN61000-3-3:2008 durant tota la mesura, però apareixen quan s'engega per primera vegada el tub. Es recorda que el Flicker instantani, es calcula mitjançant la mitjana ponderada dels valors instantanis. Però els paràmetres que indiquen si els valors són acceptables o no, són el PST i PLT.

Per últim, els gràfics dels valors dels harmònics de tensió i corrent des del fonamental fins al número 50 de la línia 1. En la següent taula es mostren els valors de l'ordre d'harmònics de tensió de la línia 1. Les línies 2, 3 i el neutre tenen harmònics del 0,1% amb la fonamental a 0V en quant a tensió, i 0A en quant a corrent.

Taula 27: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Tub fluorescent SYLVANIA: harmònics de tensió L1

Ordre d'harmònic	Valor Max (%)	Compleix IEC-61000-2-4
3	29	NO
5	16	NO
7	16	NO
9	12	NO
11	8	NO
13	10	NO

Els harmònics que apareixen estan presents durant tots els estats del tub fluorescent però en valors diferents que només són inferiors als límits establerts per normativa quan està al 100% de manera permanent. És per aquest motiu que el tub fluorescent mentre s'engega, o només funciona un dels dos, genera una quantitat d'harmònics importants que poden alterar el funcionament d'altres equips.

En referència als harmònics de corrent, com que els valor de corrent són gairebé tots de 0A, excepte quan es troba al 50%, tal com s'observa a la següent taula:

Taula 28: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Tub fluorescent SYLVANIA: harmònics de corrent L1

Ordre d'harmònic	Valor Max (%)	Compleix IEEE 519-2014
3	26	NO

Així doncs, segons la normativa IEC-61000-2-4 i la IEEE 519-2014 per als harmònics de tensió, i de corrent respectivament, cap dels harmònics analitzats compleix a no ser que estigui estabilitzat en un 100% de la intensitat lumínica. Per a la resta de casos seria necessari aplicar mesures correctives.

5.2.1.7 ADB SVOBODA HT 2251

Aquest tipus de focus és particular, les lluminàries estan disposades en sèrie en lloc d'en paral·lel com generalment estan connectats la resta de focus.

La tensió de fase-neutre (Tensió L1) és similar a la tensió del neutre, es a dir aproximadament 108 V. Les tensions de L2 i L3 estan a 0 V. La tensió L12 i la tensió L31 és la mateixa i corresponen a la tensió fase-fase, es a dir, la tensió de línia, que té un valor inicial d'uns 102 V. El valor de L23 és 0 V.

Pel que fa a l'anàlisi de corrents, el corrent de fuga és de 0 A, és a dir, no hi ha corrents en el conductor de protecció de terra. El corrent del neutre és igual a 0 A, i per tant, el sistema està equilibrat a nivell de corrents. No hi ha cap pic de corrent en les línies 1,2 i 3.

A nivell d'indicadors de distorsió harmònica es troben diversos pics d'índex de distorsió harmònica. El percentatge del THD de corrent de L1, L2, L3 i del neutre és del 0%, per la qual cosa, no hi ha risc de produir-se distorsió harmònica.

En quant al percentatge del THD de tensió de L1, L2, L3 i neutre, tenen pics que com a màxim arriben a l'1%. En aquests casos no hi ha risc de distorsió harmònica, això vol dir, que es compleixen els límits de la normativa IEC-61000-2-4 i per tant està correcte.

En quant al factor de cresta de L1, es igual que $k = \sqrt{2}$, i en conseqüència es troba dins del límit, i vol dir que no hi hauria risc de l'aparició de grans pics de corrent. A L2 i L3 els valors de factor de cresta, són 0.

El factor K, tant a L1,L2 i L3 els valors són 0, en aquest cas doncs, no influeix aquest factor.

En els desequilibris (Kd A III i Kd V III) no hi ha desequilibri de corrent, es a dir és del 0%, però si que hi ha desequilibri de tensió del 100%, el que indica que existeix desequilibri en la tensió. Dels coeficients d'asimetria(Ka A III i Ka V III) només existeix el Ka V III amb valor del 100%, vol dir que el sistema generat en aquesta instal·lació per a la tensió, és asimètric.

En quant als valors de Flicker, tots els valors de Plt de les línies 1,2 i 3, són de 0,14, i per tant, compleixen amb la norma EN61000-3-3:2008. En canvi, el Pst d'aquestes línies tenen valors diferents superiors a 1 i per tant, no compleixen amb la normativa. Es recorda que el Flicker instantani es calcula mitjançant la mitjana ponderada dels valors instantanis. Però els paràmetres que indiquen si els valors són acceptables o no, són el PST i PLT.

Per últim, els gràfics dels valors dels harmònics de tensió i corrent. En aquest cas, només existeix l'harmònic 5 de la línia 1, amb un valor de la fonamental de 22,8 V.

Taula 29: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: ADB SVOBODA HT 2251: harmònics de tensió L1

Ordre d'harmònic	Valor Max (%)
5	1

El cinquè harmònic si compleix amb la normativa ja que té un valor d'un 1 % per a un valor de tensió de 22,35 V mínim i 22,8 V màxim, donant com a resultat 0,228 V com a màxim.

En referència als harmònics de corrent, com que els valors de corrent són tots de 0A, tampoc hi ha cap valor d'harmònic de corrent.

5.2.1.8 Canviador de color DIAFORA CC2500

Per al cas del motor de 2,5 KW del canviador de color no s'ha generat cap mesura significativa que pugui embrutar la qualitat de l'energia quan s'utilitza per si sol. També cal dir que és un equip molt antic que ha sigut substituït per els focus LEDs que permeten canviar ràpidament el color de la llum, el gran inconvenient és que aquest sí que generen quantitats d'harmònics molt significatives.

5.2.2 Equips mesurats conjuntament

A continuació es realitza l'anàlisi de les mesures d'equips treballant simultàniament com si estiguessin funcionant durant un espectacle en viu.

5.2.2.1 Focus ADB SVOBODA HT 2251 y STR 75 R/T PF

Per tal de fer aquest anàlisi la pinça amperimètrica s'ha col·locat en el focus STR 75 R/T PF i s'ha variat la intensitat lumínica d'aquest mateix focus entre el 100%, 50% i 0%.

La tensió és un dels paràmetres similars on la fase-neutre (Tensió L1) és similar a la tensió del neutre, es a dir aproximadament 226 V, i compleix amb la tensió esperada d'alimentació del focus. Les tensions de L2 i L3 en aquest cas sí que tenen valors del voltant de 15 V i són similars. La tensió L12 i la tensió L31 és la mateixa i corresponen a la tensió fase-fase, es a dir, la tensió de línia, que té un valor inicial d'uns 217 V. El valor de L23 és 0 V.

Pel que fa a l'anàlisi de corrents, el corrent de fuga és de 0 A, és a dir, no hi ha corrents en el conductor de protecció de terra. El corrent del neutre és de 0.034 A, com que aquest valor no afectarà a l'índex de distorsió harmònica del neutre, es pot considerar equilibrat a nivell de corrents. Hi apareix un pic de corrent a la línia 1 que coincideix amb l'engegada dels dos focus.

A nivell d'indicadors de distorsió harmònica es troben diversos pics d'índex de distorsió harmònica, un d'ells coincideix amb l'arrancada dels dos focus.

El percentatge del THD de corrent de L1 i L2 coincideixen, i durant la major part del temps de la mesura superen el 40%, per la qual cosa, la distorsió harmònica present és significant. Per al neutre, aquest paràmetre és 0% per la qual cosa, és correcte.

En quant al percentatge del THD de tensió de L1, L2, L3 i neutre, tenen pics que oscil·len entre el 10% i el 85%, per tant hi ha pics superiors al 50%. Això sí les tres línies i el neutre augmenten i disminueixen el THD de tensió de forma paral·lela. En aquests casos, la presència d'harmònics en és molt significativa, això vol dir, que no es compleixen els límits de la normativa IEC-61000-2-4 durant el seu funcionament, per tant s'ha de buscar una solució.

En quant al factor de cresta de L1,L2 i L3 són majors que $k = \sqrt{2}$ però mai superiors a 2.7. Es a dir, en aquest cas totes les línies tenen pics que estan fora del límit, el que significa que si que podrien existir grans pics de corrent. Això reafirma el primer pic de corrent que es genera al engegar els dos focus, el qual s'ha comentat al parlar de l'anàlisi de la corrent.

El factor K de L1 i L2 són més grans que el valor normal, 1.0, per la qual cosa, aquest valor indica que es requereix redimensionar el transformador de distribució per tal de poder treballar en l'ambient harmònic que ho requereixi. El factor K per a L3 és 0, per la qual cosa, no influeix.

En els desequilibris (Kd A III i Kd V III) hi ha pics que superen el 90% per desequilibri de corrent i 3% per desequilibri de tensió, per la qual cosa les càrregues estan desequilibrades, i provoquen la circulació de corrent en el neutre, que en aquest cas és un valor molt petit.

Els coeficients d'asimetria(Ka A III i Ka V III) també apareixen durant el registre de dades. Ka A III té un valor del 0.3% com a màxim, però en tensió, els pics es troben entre el 90% i 100%, vol dir que el sistema generat en aquesta instal·lació per a la tensió, és asimètric però no per al corrent.

En quant als valors de Flicker, tots els valors de Ptl i Pst de les línies 1,2 i 3, superen els límits establerts en la norma EN61000-3-3:2008. Es recorda que el Flicker instantani, es calcula mitjançant la mitjana ponderada dels valors instantanis. Però els paràmetres que indiquen si els valors són acceptables o no, són el PST i PLT.

Per últim, els gràfics dels valors dels harmònics de tensió i corrent des del fonamental fins al número 50 de la línia 1, 2, 3. Els harmònics de tensió en el neutre són similars als de la línia 1, però de corrent del neutre no hi ha. En la següent taula es mostren els valors de l'ordre d'harmònics de tensió de la línia 1 que és igual a la línia 2. La línia 3 en canvi presenta només harmònics senars del 3er,5e,7e i 9e ordre.

Taula 30: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus ADB SVOBODA HT 2251 y STR 75 R/T PF: harmònics de tensió L1

Ordre d'harmònic	Valor Max (%)	Compleix IEC-61000-2-4
3	54	NO
5	18.1	NO
7	16.21	NO
9	9.9	NO
11	9.5	NO
13	6.8	NO

Els harmònics de corrent de la línia 1 més significatius són els següents:

Taula 31: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus ADB SVOBODA HT 2251 y STR 75 R/T PF: harmònics de corrent L1

Ordre d'harmònic	Valor Max (%)	Compleix IEEE 519-2014
3	89.9	NO
5	76.7	NO
7	58.3	NO
9	40.6	NO
13	20.5	NO

Com s'observa a les taules, segons la normativa IEC-61000-2-4 per als harmònics de tensió, i la normativa IEE E19-2014 per als harmònics de corrent, cap dels harmònics analitzats, les compleix. Per tant seria necessari aplicar mesures correctives.

Pel que fa a la caracterització de la ona, es podria distingir la forma d'ona del focus STR 75 R/T PF respecte a la del focus ADB SVOBODA HT 2251. És possible perquè la forma d'ona resultant que s'ha obtingut en aquest anàlisi és molt similar a la forma d'ona del focus STR 75 R/T PF.

5.2.2.2 Focus ADB C103, A59-Z y Tub halogen

Per tal de fer aquest anàlisi la pinça amperimètrica s'ha col·locat en el focus A59-Z i s'ha variat la intensitat lumínica d'aquest mateix focus entre el 100% i el 0%.

En primer lloc, s'ha connectat el ADB C103, s'ha tornat a desconnectar als 10 segons i a continuació, en diferents instants de temps s'han anat afegint la resta de focus al 100% sense desconnectar-ne cap. El segon en connectar ha sigut el tub i per últim el focus A59-Z.

La tensió fase-neutre (Tensió L1) és similar a la tensió del neutre, es a dir 105,86 V al començament de la lectura i quan és connecta el ADB C103 aquesta canvia a 219 V aproximadament, i compleix amb la tensió esperada d'alimentació del focus. Les tensions de L2 i L3 en aquest cas tenen el mateix valor, uns 15 V i també es generen quan es connecta el ADB C103. La tensió L12 i la tensió L31 és la mateixa i corresponen a la tensió fase-fase. El valor de L23 és 0 V. Quan es desconnecta l'halogen A59-Z, els valors de les tensions tornen a ser els que hi havia quan només estava el LED.

Pel que fa a l'anàlisi de corrents, el corrent de fuga és de 0 A, és a dir, no hi ha corrents en el conductor de protecció de terra. El corrent del neutre és de 0.0311 A i ocorre el mateix que a la tensió, només apareixen aquests pics de corrent quan es connecta el ADB C103. Com que aquest valor no afectarà a l'índex de distorsió harmònica del neutre, es pot considerar equilibrat a nivell de corrents. Hi apareix un pic de corrent a la línia 1 i a la línia 2 que coincideix amb l'engegada del focus ADB C103.

A nivell d'indicadors de distorsió harmònica es troben diversos pics d'índex de distorsió harmònica, que també coincideix amb l'arrancada del ADB C103, i amb els pics de corrent i tensió mencionats anteriorment.

El percentatge del THD de corrent de L1 i L2 coincideixen, i només apareixen en el pic final del gràfic. Durant aquest, superen el 50%, per la qual cosa, la distorsió harmònica present és important. Per al neutre, aquest paràmetre és 0% per la qual cosa, és correcte.

En quant al percentatge del THD de tensió de L1, L2, L3 i neutre, tenen valors que oscil·len entre el 1% i el 15% de manera continua, amb algun que altre pic que sobrepassa el 30%. L'existència dels pics superiors al 30% encara que siguin puntuals, i dels valors constants superiors al 8%, indiquen que els equips es poden veure afectats a causa de la distorsió harmònica. Per tant, no es compleixen els límits de la normativa IEC-61000-2-4 durant el seu funcionament, i s'ha de buscar una solució.

En quant al factor de cresta de L1 oscil·la el valor de $k = \sqrt{2}$, però les línies L2 i L3 el superen. Es a dir, en aquest cas la única línia que indica que no tindrà pics de corrent extrems, és la L1. Les altres línies tenen pics que estan fora del límit, el que significa que si que podrien existir grans pics de corrent. Això reafirma el primer pic de corrent que es genera al engegar el focus ADB C103, el qual s'ha comentat al parlar de l'anàlisi de la tensió i de la corrent.

El factor K de les línies L1 i L2 tenen un valor de 0, o 1 fins al punt on es desconnecta l'halogen A59-Z, mentre que la L1 es manté a 0. Aquest valor indica que es requereix redimensionar el transformador de distribució per tal de poder treballar en l'ambient harmònic que ho requereixi.

En els desequilibris s'observa que Kd A III té un valor del 0% constant fins a la desconnexió del focus A59-Z que canvia a 100% indicant que el sistema varia d'estar equilibrat a desequilibrat en corrent. Kd V III té un valor constant de 99-100%, per tant, el sistema està desequilibrat en tensió durant tota la mesura. El coeficients d'asimetria Ka A III és del 0% en tota la mesura, per la qual cosa no hi ha asimetria en corrent. Per una altra banda el coeficient Ka V III té un valor constant de 99-100% que significa que el sistema es asimètric en tensió.

En quant el Flicker, tots els valors de Ptl i Pst de les línies 1,2 i 3, superen els límits establerts en la norma EN61000-3-3:2008 de manera constant durant la mesura. Es recorda que el Flicker instantani, es calcula mitjançant la mitjana ponderada dels valors instantanis. Però els paràmetres que indiquen si els valors són acceptables o no, són el PST i PLT.

Per últim, els gràfics dels valors dels harmònics de tensió i corrent des del fonamental fins al número 50 de la línia 1, 2, 3. Els harmònics de tensió en el neutre són similars als de la línia 1, però de corrent del neutre no hi ha. En la següent taula es mostren els valors de l'ordre d'harmònics de tensió de la línia 1,2 i 3 quan es connecta el ADB C103.

Taula 32: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus ADB C103, A59-Z y Tub halogen: harmònics de tensió (només ADB C103)

	Ordre d'harmònic	Valor Max (%)	Compleix IEC-61000-2-4
Línia 1	3	0.5	SI
	5	0.7	SI
	7	0.7	SI
Línia 2	3	15	NO
Línia 3	3	14.2	NO
Neutre	5	0.7	SI
	7	0.7	SI

La L1 compleix amb la normativa IEC-61000-2-4 que estableix els límits dels harmònics en tensió. No obstant la L2 i L3 no la compleixen.

Quan es desconnecta el ADB C103 tots els valors dels harmònics disminueixen fins al punt de ser del 0% tant en corrent com en tensió.

Després es connecta el focus ADB C103 al 100%, en el 2:21:58h, seguidament el tub fluorescent al 100% en el 2:22:00 i finalment el focus A59-Z en el 2:22:03 h. Els harmònics de tensió de les línies 1,2 i 3 més significatius en aquest moment són els següents:

Taula 33: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus ADB C103, A59-Z y Tub halogen: harmònics de tensió

	Ordre d'harmònic	Valor Max (%)	Compleix IEC-61000-2-4
Línia 1	3	1.6	SI
	5	1.5	SI
	7	0.7	SI
Línia 2	3	12.9	NO
	5	9	NO
Línia 3	3	1.5	SI

Neutre	3	2.7	SI
	5	4.8	SI
	7	0.7	SI

Com s'observa a les taules, segons la normativa IEC-61000-2-4 per als harmònics de tensió, només es compleix per als harmònics de la línia 1 i del neutre.

A continuació es mostren els resultats dels harmònics de corrent de les línies L1 i L2 més rellevants que només apareixen quan ja estan tots els equips d'il·luminació connectats. La línia 3 no en té.

Taula 34: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus ADB C103, A59-Z y Tub halogen: harmònics de corrent

	Ordre d'harmònic	Valor Max (%)	Compleix IEC-61000-2-4
Línia 1	2	99.9	NO
	3	70.7	NO
	4	99.9	NO
	6	70.7	NO
Línia 2	2	70.7	NO
	3	99.9	NO
	4	99.0	NO
	5	99.9	NO
	6	57.7	NO
	8	70.7	NO

Els resultats indiquen que no es compleix amb els límits establerts per la normativa IEEE 519-2014. Per la qual cosa, s'hauran de buscar solucions pel filtratge d'harmònics.

Pel que fa a la caracterització de la ona, es bastant complicat distingir la forma d'ona de cada focus quan estan tots connectats, degut a que les ones dels altres equips per separat són molt similars i crearia confusió. El que si que es pot estimar, és la quantitat d'harmònics de corrent parells que fins ara no havien sortit i que tenen uns valors molt superiors als que per normativa haurien de tenir.

5.2.2.3 Focus LED y halogen A59-Z

Per tal de fer aquest anàlisi la pinça amperimètrica s'ha col·locat en el focus A59-Z per visualitzar com li afecten els harmònics generats pel focus LED. Ambdós es connecten directament al 100%, primer es connecta el focus LED i 20 segons més tard, l'halogen.

La tensió fase-neutre (Tensió L1) és similar a la tensió del neutre, es a dir 224.8 V aproximadament, i compleix amb la tensió esperada d'alimentació del focus. Les tensions de L2 i L3 en aquest cas tenen el mateix valor, uns 14.26 V. La tensió L12 i la tensió L31 és la mateixa i corresponen a la tensió fase-fase amb valor de 214V. La línia L23 és 0 V.

Pel que fa a l'anàlisi de corrents, el corrent de fuga és de 0 A, és a dir, no hi ha corrents en el conductor de terra. El corrent del neutre és de 0.0332 A. Aquest valor no afectarà a l'índex de distorsió harmònica del neutre degut a que és insignificant. Hi apareix un pic de corrent a la línia 1 y i a la línia 2 que coincideix amb l'engegada del focus LED.

A nivell d'indicadors de distorsió harmònica es troben diversos pics d'índex de distorsió harmònica, que també coincideix amb l'arrancada del LED, i amb els pics de corrent i tensió mencionats anteriorment.

El percentatge del THD de corrent de L1 i L2 són quasi iguals, i es mantenen en tota la mesura. Durant aquesta, superen el 50%, per la qual cosa, la distorsió harmònica present és important. Per al neutre i per a la línia 3, aquest paràmetre és 0% per la qual cosa, és correcte.

En quant al percentatge del THD de tensió de L1, L2, L3 i neutre, tenen valors que oscil·len entre el 0% i el 15% de manera continua, amb algun que altre pic que sobrepassa el 30%. L'existència dels pics superiors al 30% encara que siguin puntuals, i dels valors constants superiors al 8%, indiquen que els equips es poden veure afectats a causa de la distorsió harmònica. Per tant, no es compleixen els límits de la normativa IEC-61000-2-4 durant el seu funcionament, i s'ha de buscar una solució.

En quant al factor de cresta de L1 oscil·la el valor de $k = \sqrt{2}$, però les línies L2 i L3 el superen. Es a dir, en aquest cas la única línia que indica que no tindrà pics de corrent extrems, és la L1. Les altres línies presenten valors del factor que estan fora del límit, el que significa que si que podrien existir grans pics de corrent. Això reafirma el primer pic de corrent que es genera al engegar el focus LED, el qual s'ha comentat al parlar de l'anàlisi de la tensió i de la corrent.

El factor K de les línies L1 i L2 tenen valors més gran de 1, que és el fixat en la normativa com a valor òptim. El factor K de L3 és 0. Aquest valor indica que es requereix redimensionar el transformador de distribució per tal de poder treballar en l'ambient harmònic que ho requereixi.

En els desequilibris s'observa que Kd A III té un valor del 100% quasi constant fins i tot quan es connecta el focus A59-Z, per tant és un sistema desequilibrat en corrent. Amb Kd V III ocorre el mateix, es manté un valor constant de 99-100%, per tant, el sistema està desequilibrat en tensió durant tota la mesura. El coeficients d'asimetria Ka A III és del 0% en quasi tota la mesura, exceptuant punts particulars on es supera el 30%, per la qual cosa, hi ha asimetria en corrent en aquests punts però en els altres el sistema és simètric en corrent. Per una altra banda el coeficient Ka V III té un valor constant del 100% que significa que el sistema es asimètric en tensió.

En quant el Flicker, tots els valors de Ptl i Pst de les línies 1,2 i 3, superen els límits establerts en la norma EN61000-3-3:2008 de manera constant durant la mesura. Es recorda que el Flicker instantani, es calcula mitjançant la mitjana ponderada dels valors instantanis. Però els paràmetres que indiquen si els valors són acceptables o no, són el PST i PLT.

Per últim, els gràfics dels valors dels harmònics de tensió i corrent des del fonamental fins al número 50 de la línia 1, 2, 3. Els harmònics de tensió en el neutre són similars als de la línia 1, però de corrent del neutre no hi ha.

En la següent taula es mostren els valors de l'ordre d'harmònics de tensió més significatius de les línies 1,2,3 i del neutre, una vegada s'ha estabilitzat la senyal, perquè quan es connecten els equips sempre s'alteren els harmònics i apareixen amb valors superiors als establerts.

Taula 35: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus LED y halogen A59-Z: harmònics de tensió

	Ordre d'harmònic	Valor Max (%)	Compleix IEC-61000-2-4
Línia 1	3	1.8	SI
	5	2.0	SI
	7	0.7	SI

	9	0.5	SI
Línia 2	3	16.1	NO
Línia 3	3	8.7	NO
Neutre	3	2.2	SI
	5	1.5	SI
	7	0.7	SI
	9	0.5	SI

La L1 i el neutre compleixen amb la normativa IEC-61000-2-4 que estableix els límits dels harmònics en tensió. No obstant la L2 i L3 no la compleixen. El que s'observa a les gràfiques que hi ha a l'annex, és que la quantitat d'harmònics augmenta quan s'introdueix el focus halogen A59-Z en el 2:13:30.

A continuació es mostren els resultats dels harmònics de corrent de les línies L1 i L2 més rellevants. La línia 3 i el neutre no en tenen. Els resultats es divideixen en dues parts, la primera part quan només està el focus LED connectat, i la segona quan s'afegeix l'halogen A59-Z.

Taula 36: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus LED y halogen A59-Z: harmònics de corrent (només LED)

	Ordre d'harmònic	Valor Max (%)	Compleix IEEE 519-2014
Línia 1	2	99.9	NO
	3	99.9	NO
	5	99.9	NO
	4	99.9	NO
	6	70.7	NO
	7	44.7	NO
	9	70.7	NO
Línia 2	2	99.9	NO
	3	99.9	NO
	4	70.7	NO
	5	99.9	NO
	6	70.7	NO
	7	44.7	NO

Taula 37: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Focus LED y halogen A59-Z: harmònics de corrent

	Ordre d'harmònic	Valor Max (%)	Compleix IEEE 519-2014
Línia 1	2	99.9	NO
	3	99.9	NO
	4	99.9	NO
	5	81.6	NO
	6	65.4	NO
	7	40.8	NO
	8	40.8	NO
	9	40.8	NO
Línia 2	2	99.9	NO
	3	99.9	NO

	4	91.2	NO
	5	84.5	NO
	6	70.7	NO
	7	65.4	NO
	8	40.8	NO

Els resultats indiquen que no es compleix amb els límits establerts per la normativa IEEE 519-2014. Per la qual cosa, s'hauran de buscar solucions pel filtratge d'harmònics.

Pel que fa a la caracterització de la ona, es bastant complicat distingir la forma d'ona de cada focus quan estan tots connectats, degut a que les ones dels altres equips per separat són molt similars i crearia confusió. El que si que es pot saber és el moment en que s'introdueix un equip nou a la instal·lació per la quantitat d'harmònics de corrent que apareixen amb valors molt superiors al límit, i perquè la majoria són parells.

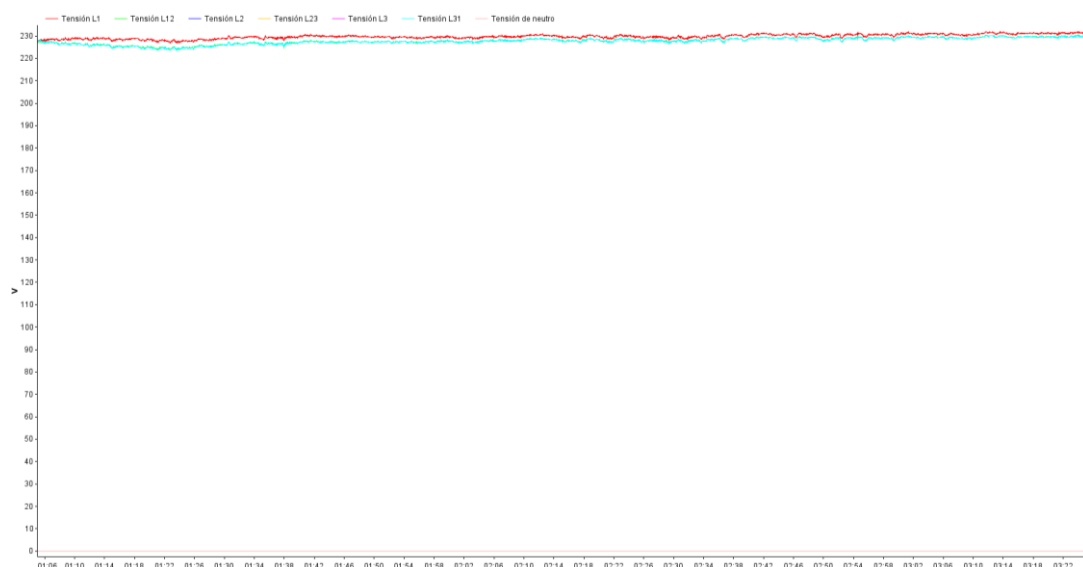
5.2.3 Equips mesurats en espectacles en viu

5.2.3.1 Altaveu professional

L'altaveu a estudiar presenta sorolls en ocasions, quan està sent utilitzat en alguna funció escènica. És per aquest motiu que s'ha decidit seleccionar aquest altaveu i analitzar que li ocorre. Podria ser que durant el registre de mesures no es presenti cap soroll, no obstant si que hi haurà registre dels paràmetres que defineixen la distorsió harmònica.

La connexió s'ha realitzat amb el cablejat monofàsic explicat en el capítol 1, per tant, es tracta d'un equip monofàsic en el qual s'han utilitzat les pinces amperimètriques i els connectors banana per mesurar els següents paràmetres:

En primer lloc s'observa el comportament de la tensió:

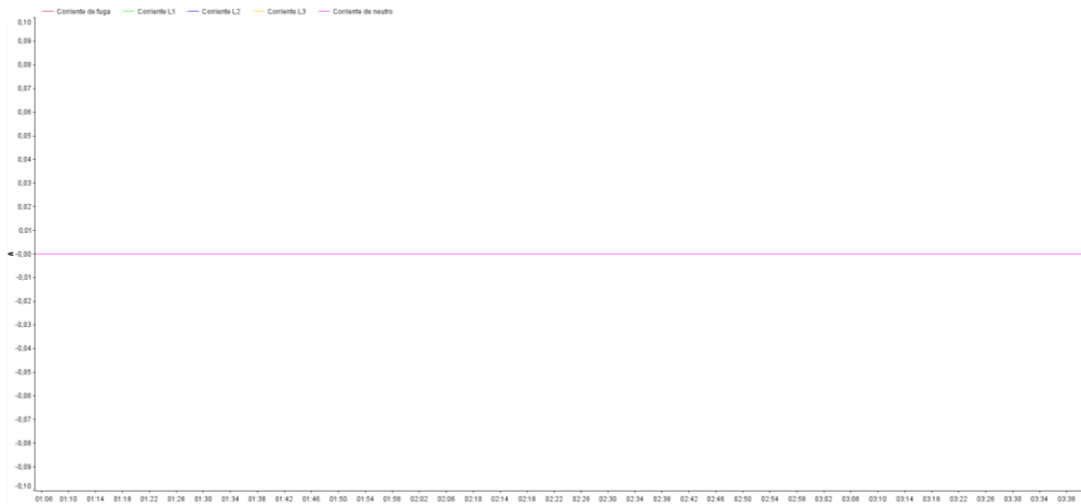


Gràfic 23: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Altaveu professional: Tensió

Com es pot observar a la figura, la tensió fase-neutre (Tensió L1) és aproximadament 230 V teòrics que hi ha a la xarxa elèctrica, però compleix amb la tensió esperada. Es pot comprovar

realitzant el càlcul de la tensió de línia, $V_L = V_F \cdot \sqrt{3} = 398.37 V \approx 400 V$. Les tensions de L2 i L3 són 0 V. La tensió L31 del gràfic correspon a la tensió fase-fase, es a dir, la tensió de línia, que té un valor quasi constant de 228 V. La tensió L31 és la mateixa que la tensió L12, mentre que la tensió L23 és 0 V.

A continuació, es mostra la gràfica corresponent als pics de corrent:



Gràfic 24: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Altaveu professional: Corrent

En concret, en la figura, el corrent de totes les línies és 0 A, el que indica que no hi ha cap pertorbació provinent del corrent, es a dir, al gràfic d'harmònics no hauria d'aparèixer cap alterat. El corrent de fuga és 0 A per la qual cosa no es produeixen fugues cap a terra, i el corrent del neutre també ho és, indicant que és tracta d'una càrrega equilibrada, i per la qual cosa, pel conductor del neutre no circula corrent de retorn. Que el corrent del neutre sigui 0 A repercuteix en l'índex de distorsió harmònica del neutre, de tal forma que al seu gràfic serà del 0%.

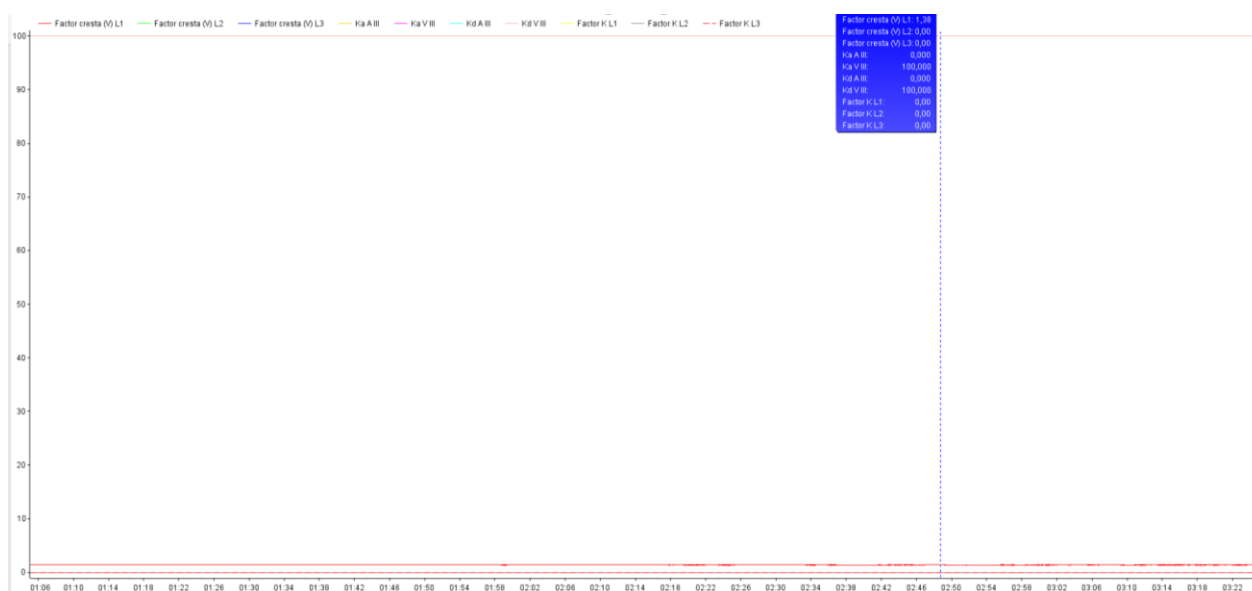
Seguidament s'analitzen els nivell de distorsió harmònica. Per tal de que es puguin observar millor els valors, s'ha ampliat a gràfica en un punt determinat de màxim nivell de distorsió harmònica de la tensió:



Gràfic 25: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Altaveu professional: Índex de distorsió harmònica (THD)

Tal com s'ha comentat, l'índex de distorsió harmònica tant del neutre com de les línies en corrent és del 0 %. En canvi si que existeix l'índex de distorsió harmònica de la tensió de la L1, valor del qual és 3.4% i està dins dels límits de bon funcionament de l'equip per la normativa IEC-61000-2-4.

Tot seguit, s'analitzen altres indicadors de distorsió harmònica:

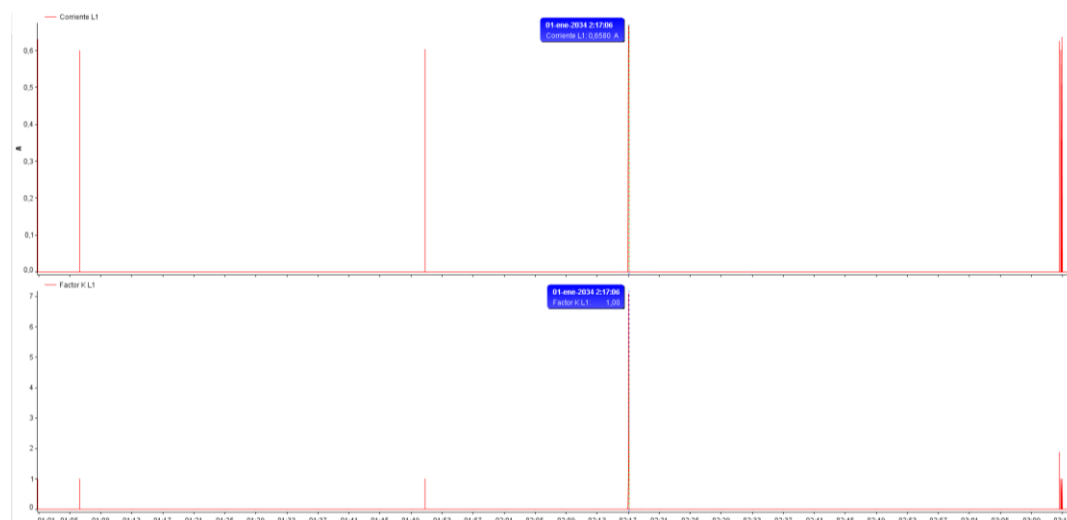


Gràfic 26: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Altaveu professional: K, cresta, Desequilibri i Asimetria

El factor de cresta de L1, té un valor de 1,38 V i és menor que $k = \sqrt{2}$. Normalment aquest factor ha de ser inferior a $\sqrt{2}$ per garantir que els pics que puguin aparèixer en la forma d'ona no seran extrems. En aquest cas, els coeficients de desequilibri i asimetria del corrent són 0 degut a que no hi ha cap alteració del corrent. En canvi aquests coeficients referits a la tensió, són del 100% per la qual cosa L1, L2 i L3 estan desequilibrades i són asimètriques en tensió.

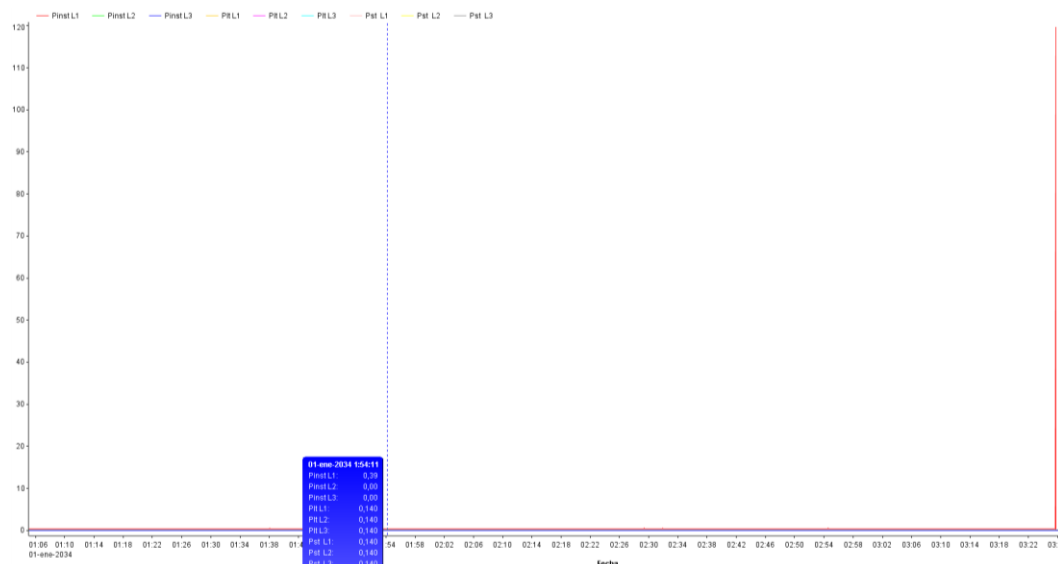
Els coeficient de desequilibri supera el 10% per desequilibri de corrent i el 3% per desequilibri de tensió, per la qual cosa les càrregues monofàsiques estan desequilibrades i són asimètriques a nivell de tensió.

El factor K és de 0 per a totes les línies, degut a que està relacionat amb els pics de corrent de la mateixa línia, es a dir, si L1 té un pic de corrent, allà també existirà el factor K. En aquest cas també es de 0 A perquè no hi ha pics de corrent en L1. S'observa a la figura següent el que s'acaba de comentar.



Gràfic 27: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Altaveu professional: Corrent L1 & Factor K L1

En la següent gràfica es troben els valors de Flicker:



Gràfic 28: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Altaveu professional: Flicker.

El Pst i Plt L1, Pst i Plt L2 i Pst i Plt L3 tenen el mateix valor, 0.140. És un valor acceptable en els límits de Plt i Pst establerts en la norma EN61000-3-3:2008. El Flicker instantani, és 0.39, i com els altres paràmetres són correctes per normativa, el flicker instantani també ho és.

Per acabar amb l'anàlisi de mesures d'un altaveu professional, es mostren els gràfics dels valors dels harmònics des del fonamental fins al número 50 de de tensió. Pel que fa als harmònics en corrent de les línies L1, L2, L3 i el neutre, no presenten índex d'harmònics ni de tensió ni de corrent, ja que es troben tots al 0,1% amb l'ona fonamenta a 0V.



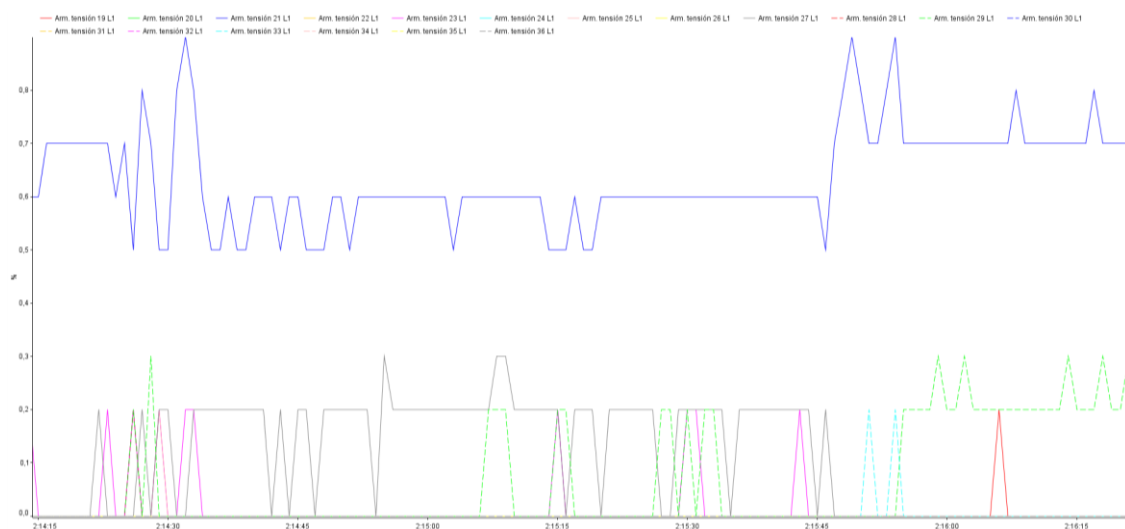
Gràfic 29: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Altaveu professional: harmònics de tensió 1 a 18

A la figura, s'observa que amb la Norma IEC-61000-2-4 que estableix els límits d'harmònics en tensió en percentatge en xarxes industrials de BT per a la classe 2, que correspon a entorns industrials normals, límits habituals per a xarxes públiques, s'obtenen les següents dades:

Taula 38: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Altaveu professional: harmònics de tensió 1 a 18

Ordre d'harmònic	Valor Max	Complex IEC-61000-2-4
3	1.8	SI
5	0.7	SI
7	0.9	SI
9	1.2	SI
11	0.5	SI
13	0.2	SI
17	0.2	SI

Tots els valors d'harmònics de tensió des del fonamental fins al 18, compleixen amb la normativa.

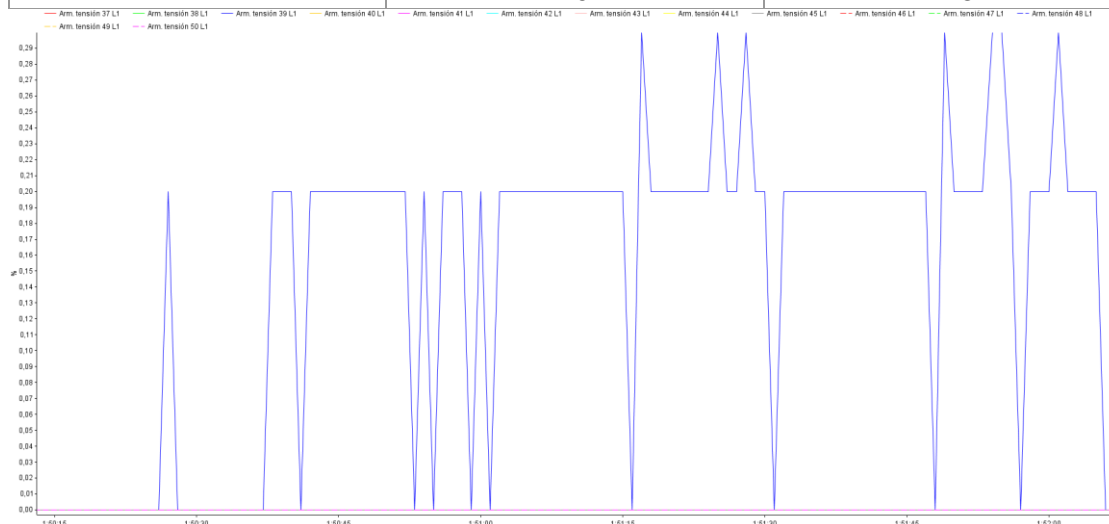


Gràfic 30: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Altaveu professional: harmònics de tensió 19 a 36

Pel que fa als harmònics de tensió de la L1 del 19 al 36, els que apareixen són els següents:

Taula 39: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Altaveu professional: harmònics de tensió 19 a 36

Ordre d'harmònic	Valor Max	Compleix IEC-61000-2-4
3	1.8	SI
5	0.7	SI
7	0.9	SI
9	1.2	SI
11	0.5	SI
13	0.2	SI
17	0.2	SI



Gràfic 31: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Altaveu professional: harmònics de tensió 37 a 50

Taula 40: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Altaveu professional: harmònics de tensió 37 a 50

Ordre d'harmònic	Valor Max	Compleix IEC-61000-2-4
39	0.3	NO

5.2.3.2 Etapa de potència

Una etapa de potència és el que comunament és coneix com a amplificador de potència o amplificador d'àudio, i la seva funció es augmentar el nivell d'una senyal. La connexió s'ha realitzat amb el cablejat monofàsic explicat en el capítol 1, per tant, es tracta d'un equip monofàsic en el qual s'han utilitzat les pinces amperimètriques i els connectors banana per mesurar els següents paràmetres:

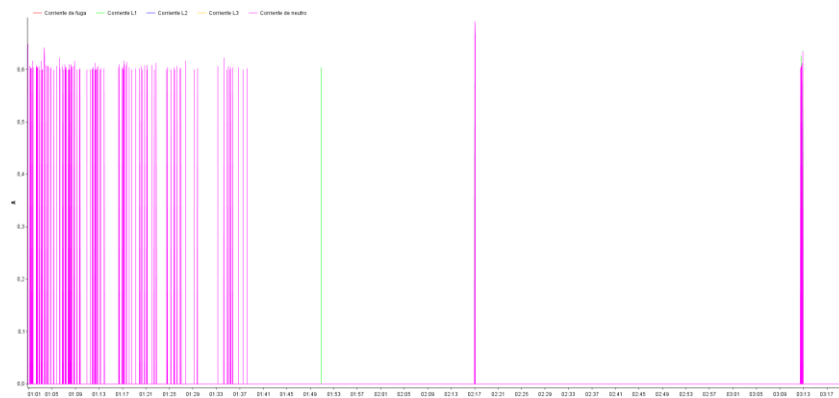
En primer lloc es revisa la tensió d'alimentació de l'etapa de potència.



Gràfic 32: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: Tensió

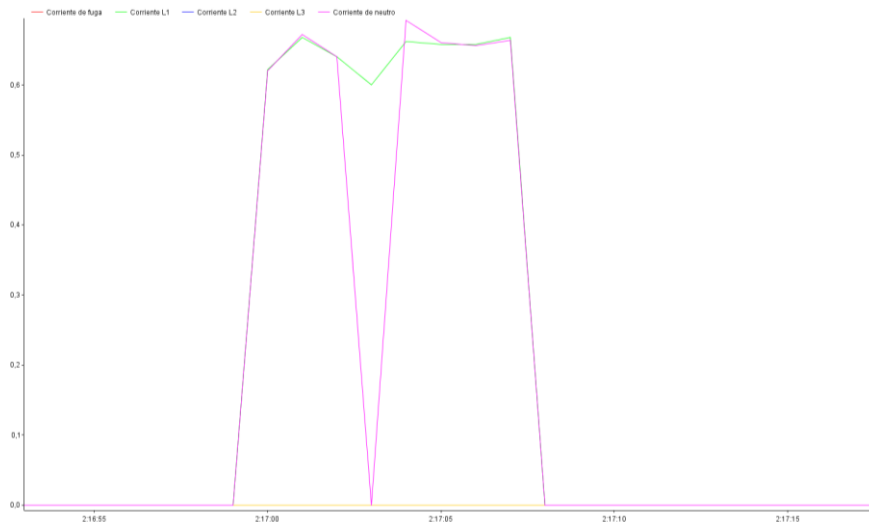
Com es pot observar a la figura, la tensió fase-neutre (Tensió L1) és lleugerament superior dels 230 V teòrics que hi ha a la xarxa elèctrica, però compleix amb la tensió esperada. Es pot comprovar realitzant el càlcul de la tensió de línia, $V_L = V_F \cdot \sqrt{3} = 398.37 V \approx 400 V$. Les tensions de L2 i L3 són 0 V. La tensió L12 del gràfic correspon a la tensió fase-fase, es a dir, la tensió de línia, que té un valor inicial d'uns 221 V i pot arribar fins a un valor de 224 V aproximadament. La tensió L31 és la mateixa que la tensió L12, mentre que la tensió L23 és 0 V.

En segon lloc, es revisen els paràmetres de pics de corrent.



Gràfic 33: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: Corrent

Per tal d'obtenir informació de les lectures de corrent, s'ha seleccionat un punt específic de la mesura. El corrent de la L1 apareix en moments puntuals, tal com s'observa, si no hi ha cap pic, significa que és 0 A.



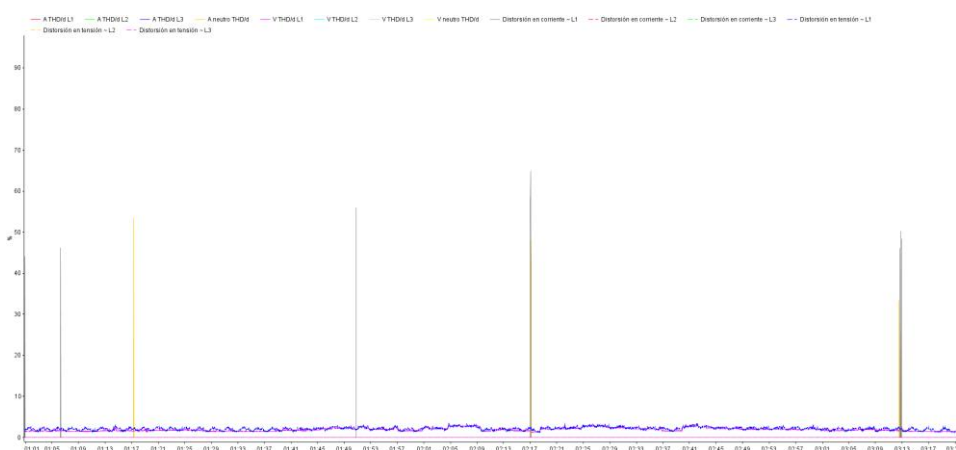
Gràfic 34: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: Corrent (Zoom In)

Com s'observa a la figura, el corrent de la L1 arriba fins a gairebé 0,7 A aproximadament, mentre que el corrent en L2 i L3 és de 0 A.

El corrent de fuga és de 0 A, i és el corrent que circula pel conductor de protecció. Aquests corrents es produeixen normalment a través de l'aïllament dels conductors i pels filtres, que protegeixen els equips de sobretensions i de perturbacions elèctriques. En aquest cas, no es produeixen corrents de fuga.

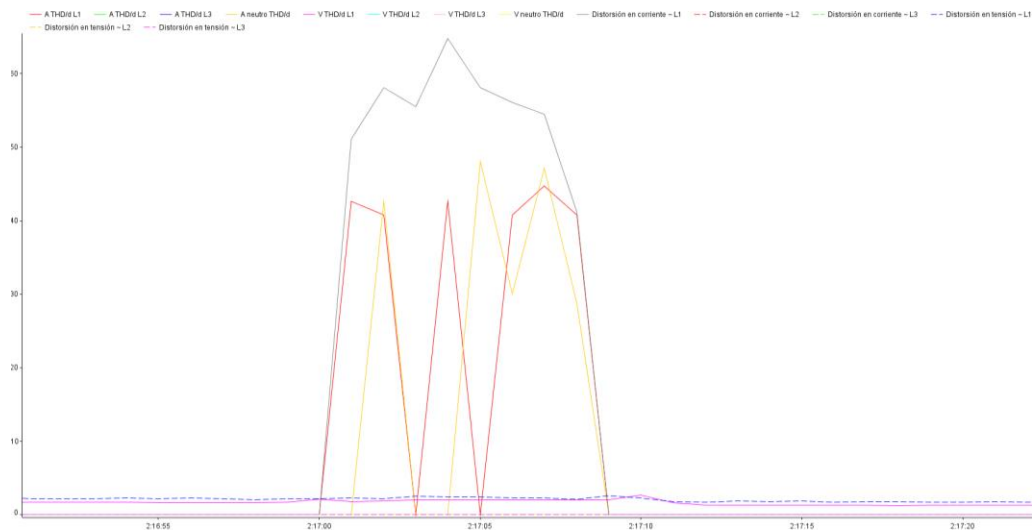
Pel que fa al corrent del neutre és el vector suma de les tres corrents de línies. Quan el sistema elèctric trifàsic és equilibrat, amb una simetria d'ones de 120º elèctrics, el corrent del neutre és igual a 0 A. En la pràctica, s'espera que el corrent del neutre pugui ser un 20% del corrent de fase. En aquest cas, hi ha punts on el corrent del neutre es igual o superior al corrent de fase, això vol dir que el sistema té càrregues desequilibrades, i que per tant, pel conductor del neutre circula corrent de retorn. Per tant, tal com s'explicava al capítol 2, significa que existeix la presència de perturbacions en el sistema elèctric, i es veurà reflectit en el següent anàlisi de distorsió harmònica.

A continuació, es revisen el nivell de distorsió harmònica.



Gràfic 35: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: Índex de distorsió harmònica (THD)

Per tal d'obtenir informació més detallada d'aquestes lectures, s'ha seleccionat un punt específic de la mesura.



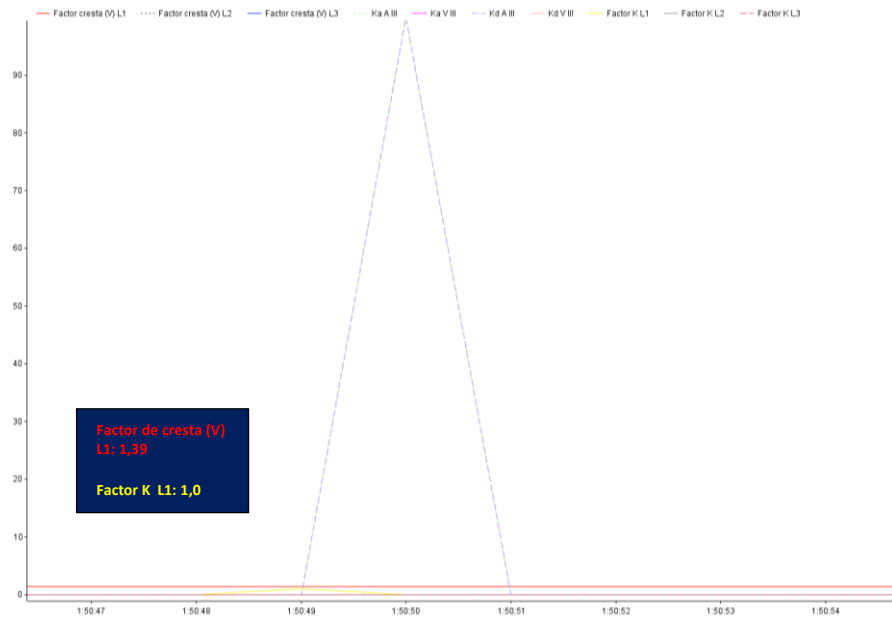
Gràfic 36: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: Índex de distorsió harmònica (THD) (Zoom In)

En aquesta figura s'observen els valors obtinguts dels índex de distorsió harmònica de tensió i corrent de cada línia i del neutre en valor de percentatge (%). Quantifiquen numèricament els harmònics existents en un punt de mesura determinat respecte a la ona fonamental.

Com la càrrega és monofàsica, la línia afectada és L1. El percentatge del THD de corrent de L1 i de corrent del neutre, superen el 10% però no arriba al 50%, per la qual cosa, la distorsió harmònica present és significativa. En quant al percentatge del THD de tensió de L1 és menor del 5%, el que indica que està dins de la normativa IEC-61000-2-4 i per tant, es troba en la normalitat.

Els valors de distorsió harmònica en valor eficaç considera el càlcul de la intensitat o tensió harmònica total i el contingut en RMS total, en lloc del contingut de la fonamental, tal com s'ha explicat en l'apartat de mesures d'equips de la UPC.

Seguidament, es revisen altres indicadors de distorsió harmònica. Aquí també s'ha seleccionat un punt específic de la mesura per poder visualitzar-ho millor.



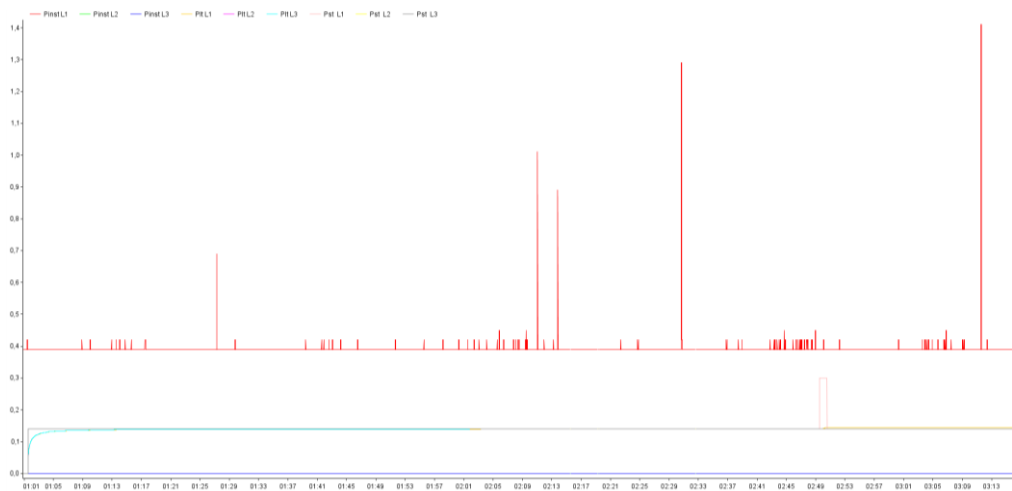
Gràfic 37: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: K, cresta, Desequilibri i Asimetria

Pel que fa al factor de cresta de L1, aquest és menor que $k = \sqrt{2}$. Normalment aquest factor ha de ser inferior a $\sqrt{2}$ per garantir que els pics en la forma d'ona no són extrems. Es a dir, en aquest cas es troba dintre del límit.

El factor K determinat és de 1.0, i el valor normal que ha de tenir és 1.0 per la qual cosa, aquest valor indica que no es requereix ni es perd potència en els transformadors. Si el factor K és superior voldrà dir que s'haurà de redimensionar el transformador per tal de poder treballar en l'ambient harmònic que ho requereixi.

En la figura, apareixen els coeficient de desequilibri en corrent i tensió (Kd A III i Kd V III), i els coeficients d'asimetria en corrent i tensió (Ka A III i Ka V III). Els desequilibris superen el 10% per desequilibri de corrent i 3% per desequilibri de tensió, per la qual cosa les càrregues monofàsiques i trifàsiques que estan desequilibrades provoquen la circulació de corrent en el neutre, tal com s'ha pogut observar a la figura .,

En la següent gràfica es troben els valors de Flicker:



Gràfic 38: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: Flicker

Com es pot observar a Pst L1, Pst L3 Plt L1 i Plt L3, els nivells individuals acceptats no han sigut superats, aquests són per a Pst = 1 i per a Plt 0,65 segona la norma EN61000-3-3:2008,

https://www.aserluz.org/wp-content/uploads/2016/03/UNE-EN_61000-3-32009.pdf

i corresponen als límits permesos en una xarxa elèctrica. El Flicker instantani, es calcula mitjançant la mitjana ponderada dels valors instantanis. Però els paràmetres que indiquen si els valors són acceptables o no, són el PST i PLT.

Per últim, es mostren els gràfics dels valors dels harmònics des del fonamental fins al número 50 tant de tensió, com de corrent de la línia 1. Les línies 2 , 3 i el neutre no presenten índex d'harmònics ni de tensió ni de corrent, sinó que es troben tots al 0,1%.

Per tal de poder observar els valors dels harmònics de tensió, s'ha escollit un punt de la mesura:

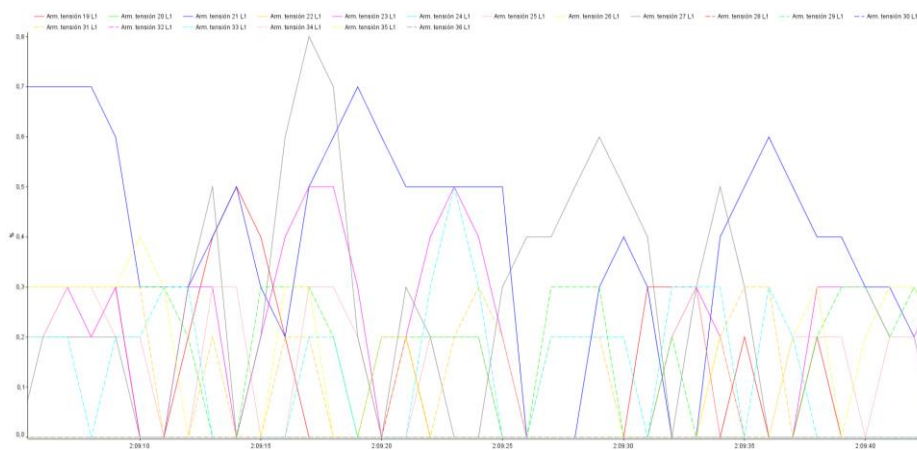


Gràfic 39: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: harmònics de tensió L1 1 a 18

A la figura , s'observa que amb la Norma IEC-61000-2-4 que estableix els límits d'harmònics en tensió en percentatge en xarxes industrials de BT per a la classe 2, que correspon a entorns industrials normals, límits habituals per a xarxes públiques, s'obtenen les següents dades:

Taula 41: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: harmònics de tensió L1 1 a 18

Ordre d'harmònic	Valor Max	Compleix IEC-61000-2-4
3	2.4	SI
5	1.8	SI
7	1.4	SI
9	1.8	NO
11	0.9	SI



Gràfic 40: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: harmònics de tensió L1 19 a 36

Pel que fa als harmònics de tensió de la L1 del 19 al 36, els que apareixen són els següents:

Taula 42: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: harmònics de tensió L1 19 a 36

Ordre d'harmònic	Valor Max	Compleix IEC-61000-2-4
19	0.5	SI
21	0.7	NO
23	0.5	SI
25	0.3	SI
27	0.8	NO
29	0.3	NO
31	0.3	SI
33	0.3	NO
35	0.4	SI

Taula 43: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: harmònics de tensió L1 37 a 50

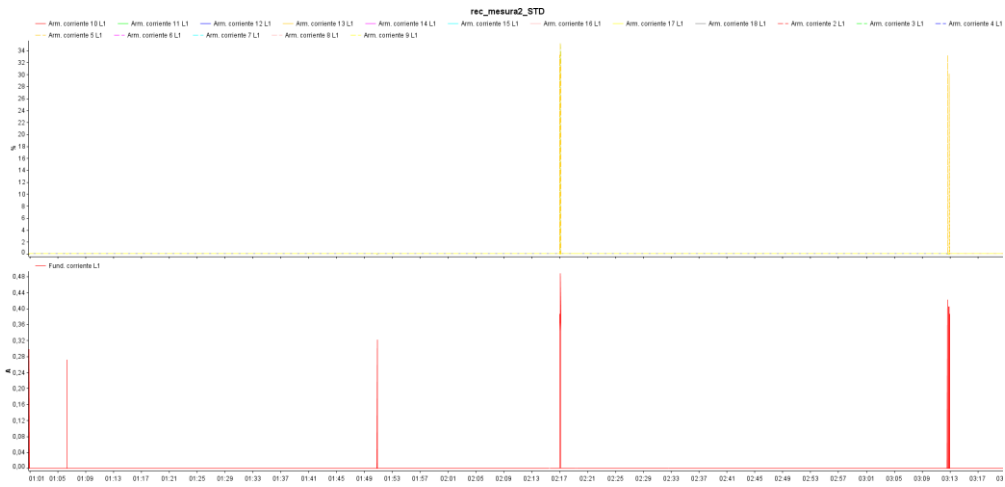


Pel que fa als harmònics de tensió de la L1 del 37 al 50, els que apareixen són els següents:

Taula 44: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: harmònics de tensió L1 37 a 50

Ordre d'harmònic	Valor Max	Complex IEC-61000-2-4
39	0.3	NO
41	0.2	SI

Una vegada ja s'han analitzat els harmònics de tensió, s'analitzen els harmònics de corrent:



Gràfic 41: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: harmònics de corrent L1 1 a 18



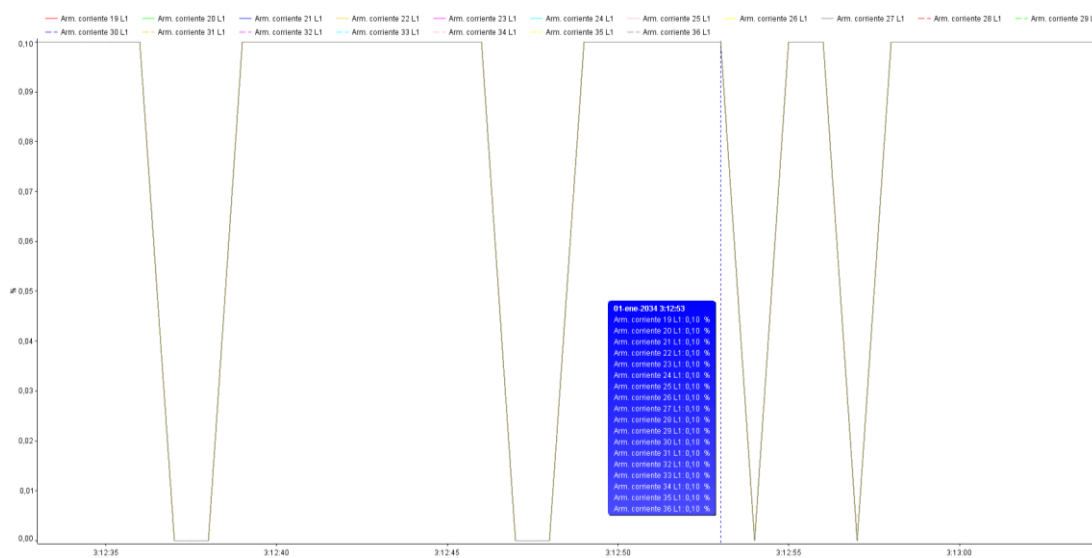
Gràfic 42: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: harmònics de corrent L1 1 a 18 (Zoom In)

De la figura, que és una ampliació, es pot extreure que hi ha harmònics sobreposats. Aquests són: l'harmònic 5, l'harmònic 3.

Taula 45: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: harmònics de corrent L1

Ordre d'harmònic	Valor Max	Complex IEEE 519-2014
3	34	NO
5	34	NO

Segons la normativa IEEE 519-2014 que estableix els límits d'harmònics de corrent per a càrregues no lineals, indica que aquests harmònics superen el nivell permès establert per als harmònics senars. Per tant seria necessari aplicar mesures correctives.



Gràfic 43: Anàlisi de les mesures en el Teatre Alegria: Etapa de potència: harmònics de corrent L1 19 a 50

Els nivells d'harmònics de corrent de la figura es consideren correctes degut a que no superen els límits harmònics de corrents per a càrregues no lineals. Ocorre el mateix per a les dues línies, L2 i L3.

En aquesta mesura cal destacar que els pics que hi apareixen en les gràfiques dels harmònics de corrent L1, i tots els paràmetres per determinar la distorsió harmònica: Factor de cresta, Factor K, THDV, THDA, Distorsió, K_a i K_d en corrent i tensió, coincideixen. Són els punts crítics de l'etapa de potència on podria ser que la il·luminació espectacular l'estigués afectant en funció dels equips que s'hagin connectat simultàniament.

CAPITOL 6: Conclusions

El plantejament inicial que ha fet possible la realització d'aquest projecte ha sigut la necessitat d'analitzar la qualitat de l'energia elèctrica en un dels sectors més oblidats però que més afectat es troba, el sector de la producció escènica.

Aquest sector s'ha vist beneficiat per els avanços de les noves tecnologies que li han permès millorar la qualitat dels espectacles. No obstant, els mateixos avanços han perjudicat l'estat de l'energia elèctrica en les instal·lacions i equips del món dels espectacles.

Una de les parts importants d'aquest projecte ha sigut la creació de l'enquesta per a professionals del món dels espectacles. Gràcies a les respostes adquirides, s'ha determinat l'inici de l'estudi del projecte, l'abast i les dificultats que existeixen en el món real sobre la compatibilitat electromagnètica i els sorolls.

L'anàlisi s'ha realitzat finalment amb l'analitzador de xarxa AR6 de CIRCUTOR, degut a problemes d'incompatibilitat amb l'ordinador, no s'han pogut extraure les dades mesurades amb el GSC-59. Per poder fer servir el GSC-59 es va crear una màquina virtual amb el sistema operatiu Windows XP, però malauradament no ha sigut possible fer l'extracció. De tota manera amb les mesures del AR6 s'ha pogut assolir l'objectiu del projecte.

Analitzant els resultats que s'han obtingut de les mesures realitzades s'observa la problemàtica que es genera en aquest tipus d'instal·lacions elèctriques. L'estudi s'ha basat principalment en l'anàlisi de la il·luminació espectacular i dels equips de so utilitzats.

El resultat confirma l'aparició de perturbacions, sorolls i interferències, que embruten la senyal de la xarxa elèctrica i que alteren el funcionament d'altres equips. Molts d'aquests resultats també indiquen que el nivell en percentatge d'harmònics generats no compleixen amb els límits establerts per normatives de compatibilitat electromagnètica. A més, per una banda s'observa clarament amb els equips de la UPC, la quantitat de perturbacions generades per carges resistives, inductives i per motors trifàsics que no s'haguessin pensat, i per un altra, en el Teatre Alegria com els equips d'il·luminació generen interferències entre altres equips d'il·luminació, i equips de so.

En conclusió, amb aquest estudi, s'han pogut observar i analitzar perturbacions que dificulten el funcionament d'equips i connectors, amb els inconvenients i dificultats que comporten (explicat en el capítol 2), i s'ha pogut donar visibilitat a un àmbit on és desconegut que poguessin ocórrer aquestes problemàtiques. Normalment, l'estudi de perturbacions es realitzen en àmbits industrials per tal d'aconseguir un estalvi en el consum energètic i en conseqüència econòmic, en canvi, en aquest cas l'objectiu de la supressió i anul·lació de les perturbacions és millorar la qualitat dels espectacles.

6.1 Propostes de millora

Com a proposta de millora per aquest projecte, es podria realitzar l'estudi de les interferències produïdes per radiofreqüència. Tal i com han comentat participants de l'enquesta

i com s'explica en el capítol 3, cada vegada s'introdueixen més dispositius amb aquesta tecnologia i en conseqüència, cada vegada es produeixen més problemes amb interferències i sorolls.

També seria una proposta de millora, poder dissenyar i implementar tecnologies de filtratge per els resultats obtinguts, i així aportar possibles solucions per millorar la qualitat de l'energia. A més a més, es podria valorar la eficàcia d'aquestes solucions.

Les solucions ha implementar serien les següents:

- Aplicació de filtres d'harmònics entre l'escomesa general de l'edifici on es realitza la producció escènica, i els equips de so i il·luminació utilitzats. Aquests filtres poden ser actius, passius o híbrids i s'expliquen en el capítol 1.
- Canviar la ubicació de les càrregues no lineals en la xarxa elèctrica també explicat en el capítol 1.
- Utilitzar transformadors separadors per a les etapes de potencia de so, per tal d'aïllar la connexió a terra de la línia elèctrica i evitar els bucles de terra i les postes a terra involuntaris d'equips de prova. Els bucles de terra estan explicats en el capítol 3
- Separació del cablejat de connexió de la il·luminació i del àudio.
- Aïllar les càrregues pertorbadores de les que no ho siguin.

6.2 Conclusions Personals

Per un altre costat, la realització d'aquest treball m'ha permès aprofundir més en coneixements d'electrònica, electricitat i física, podent aplicar coneixements que s'han assolit en les diverses assignatures del màster d'enginyeria industrial i aprenent d'altres que han completat la meva formació.

A nivell personal, haver tingut la oportunitat de realitzar un treball que compagina dues de les temàtiques que més m'entusiasmen, m'ha permès estar motivada per continuar formant-me per confrontar problemàtiques de la vida real amb l'enginyeria.

Bibliografia

- [1] Jorge Urrutia. Nuevas tendencias de la programación televisiva: El teatro y las nuevas tecnologías. *Revista Telos*. [En línea]. Septiembre-Noviembre 1992, no. 31. ISSN: 0213-084X. [Consulta: 15 de setembre 2020] Disponible en: <https://telos.fundaciontelefonica.com/archivo/numero031/el-teatro-y-las-nuevas-tecnologias/>
- [2] Gustavo Schraier. Una mirada sobre el teatro y las nuevas tecnologías. *Revista ACC* [En línea]. 2015, no. 2 [Consulta: 15 de setembre 2020]. Disponible en: <http://www.gustavoschraier.com.ar/publicaciones/23/una-mirada-sobre-el-teatro-y-las-nuevas-tecnolog%C3%ADas/>
- [3] Sound On Sound Forum [En línea] [Consulta: 20 d'octubre 2020] Disponible en: <https://www.hispasonic.com/foros>
- [4] Doctor ProAudio Forum [En línea] [Consulta: 22 d'octubre 2020] Disponible en: <https://foros.doctorproaudio.com/>
- [5] Hispasónicos Forum [En línea] [Consulta: 23 d'octubre 2020] Disponible en: <https://www.soundonsound.com/forum>
- [6] Iluminación LED versus luces convencionales. En: *Starlight Creaciones que iluminan* [En línea]. [Consulta: 20 de setembre 2020]. Disponible en: <https://www.starlight.pe/iluminacion-led-versus-luces-convencionales/>
- [7] Comparativa de consumo entre luz convencional y luz led. En: *Enrique Iluminación* [En línea]. [Consulta: 20 de setembre 2020]. Disponible en: <https://enriqueiluminacion.com/comparativa-consumo-luz-convencional-led/>
- [8] Analizador de redes portátil AR6. En: *Circutor* [En línea]. Circutor, Noviembre 2018. [Consulta: 03 de noviembre 2020]. Disponible en: <http://circutor.es/es/formacion/formacion-practica/2385-formacion-del-analizador-de-redes-electricas-portatil-ar-6>
- [9] Perturbaciones – CIRCUTOR CVMk2 Series Manual del usuario. En: *Manuals Directory* [En línea]. Circutor. [Consulta: 10 de noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.pdfmanuales.com/manuals/750177/circutor-cvmk2-series.html?page=119>
- [10] Especificaciones técnicas GSC-53/N/57/59. En: *HT* [En línea]. Version 1.10. COITF. [Consulta: 10 de noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.coiitf.es/images/stories/PDF/caracteristicas.pdf>
- [11] Bombillas halógenas. En: *Philips* [En línea]. Philips. [Consulta: 21 de setembre de 2020]. Disponible en: <https://www.lighting.philips.com.mx/consumer/bombillas-halogenas>
- [12] Departament d'Enginyeria Elèctrica de la UPC (2020), *Apunts de l'assignatura Sistemes Elèctrics de Potència*. Terrassa, apuntes de ESEIAAT-UPC 2020/21-01
- [13] BP4504 Conector banana macho. En: *Satkit* [En línea] [Consulta: 15 de diciembre 2020] Disponible en: <https://satkit.com/es/bp4504-conector-banana-macho-4mm-90-incluye-1-rojo-y-1-negro>

- [14] 5002LMR Pinza cocodrilo roja 600V. En: *Cetronic Componentes Electrónicos* [En línea]. Cetronic. [Consulta: 15 de diciembre 2020] Disponible en: <https://www.cetronic.es/sqlcommerce/disenos/plantilla1/seccion/producto/DetalleProducto.jsp?idIdioma=&idTienda=93&codProducto=999208587&cPath=584>
- [15] ¿Qué es una pinza amperimétrica? Introducción a las pinzas amperimétricas. En: *Fluke* [En línea]. Fluke, 2020. [Consulta: 23 de diciembre 2020] Disponible en: <https://www.fluke.com/es-es/informacion/blog/pinzas/el-abece-de-las-pinzas-amperimetricas>
- [16] CPG-100. En: *Circutor* [En línea]. Circutor. [Consulta: 23 de diciembre 2020] Disponible en: <http://circutor.es/es/productos/medida-y-control/analizadores-de-redes-portatiles/accesorios-an-port/cpg-100-detail#descripcion>
- [17] HT96U Manual de Instrucciones. En: *HT* [En línea]. Versión 1.03 [Consulta: 04 de diciembre 2020] Disponible en: https://www.ht-instruments.com/media/filer_public/b5/08/b508738c-fe05-40a1-9689-05ccc145f4a0/ht96u.pdf
- [18] Interior de la pinza amperimétrica de bobina flexible. En: *Fluke* [En línea]. Fluke, 2020. [Consulta: 23 de diciembre 2020] Disponible en: <https://www.fluke.com/es-do/informacion/blog/sonda-tipo-pinzas/interior-de-la-pinza-amperimetrica-de-bobina-flexible>
- [19] GSC57-GSC59. En: *TMM* [En línea]. [Consulta: 23 de diciembre 2020] Disponible en: <https://www.tecnicasmmm.com.ar/producto/gsc57-gsc59/>
- [20] Vicente Porfilio “Cómo funciona un foco de cine con lente Fresnel”[apunt de bloc]. En: *Porfilio Fotografia de autor* [En línea]. 20 Abril 2020 [Consulta: 25 de diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.vicenteporfilio.com/como-funciona-un-foco-de-cine-con-lente-fresnel/>
- [21] Elipsoida reflector spotlight. En: *Wikibooks* [En línea]. Wikibooks, 28 Abril 2010. [Consulta: 25 de diciembre 2010]. Disponible en: https://en.wikibooks.org/wiki/Technical_Theatre/Lighting/Ellipsoidal
- [22] BPP210 LED PAR 64 18x12W 4-in 1 LEDs. En: *beamZ* [En línea]. beamZ. [Consulta: 25 de diciembre 2010]. Disponible en: <https://www.beamzlighting.com/product/bpp210-led-par-64-18x-12w-4-in-1-leds/>
- [23] ¿Qué es un GOBO?. En: *Gobos* [En línea]. Gobos. [Consulta: 25 de diciembre 2010]. Disponible en: <http://www.gobos.es/gobos/que-es-un-gobo/>
- [24] STR 75 R/T + PF. En: *Lighting 75 Series Strong* [En línea]. Strong. [Consulta: 25 de diciembre 2020] Disponible en: <http://en.strong.es/producto.asp?strong=1&stage=0&id=421>
- [25] Luminaria fluorescente. En: *Wikipedia* [En línea]. Wikipedia, 27 Novembre 2020.[Consulta: 25 de diciembre 2020]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Luminaria_fluorescente
- [26] ADB SVOBODA HT 2251. En: *Arcoiris Lighting Systems* [En línea]. Arcoiris Lighting Systems [Consulta: 25 de diciembre 2020]. Disponible en: <https://arcoirislighting.com/producto/adb-svoboda-ht-2251>
- [27] CC2500. En: *Novelty* [En línea]. DIAFORA [Consulta: 25 de diciembre 2020]. Disponible en: <http://www.novelty.fr/iphone/materiel.php?id=47>
- [28] Botex MPX-405 Dimmer. En: *Thomann* [En línea]. [Consulta: 25 de diciembre 2020]. Disponible en: https://www.thomann.de/gb/botex_mpx405v.htm
- [29] Botex SDC-16. En: *Thomann* [En línea]. [Consulta: 25 de diciembre 2020]. Disponible en: https://www.thomann.de/gb/botex_sdc_16.htm

- [30] Cool Cable DMX 3-pin. En: *Blizzard* [En línia]. Products Blizzard [Consulta: 25 de desembre 2020]. Disponible en: <https://blizzardpro.com/products/dmx-cool-cables-3-pin>
- [31] DMX 5-pin. En: *Blizzard* [En línia]. Products Blizzard [Consulta: 25 de desembre 2020]. Disponible en: <https://blizzardpro.com/products/dmx-cool-cables-10ft-5-pin>
- [32] Capítol 2 Superposició de ondes. En: *Universidad Nacional de Colombia* [En línia]. Física de Oscilaciones Ondas y Óptica, 03 Setembre 2019. [Consulta: 27 de desembre 2020]. Disponible en: https://virtualciencias.medellin.unal.edu.co/pluginfile.php/38120/mod_resource/content/1/Cap%202.pdf
- [33] 5. Detecció i filtrado de armònics. En: *Schneider Electric* [En línia]. Schneider Electric p.7-8. [Consulta: 15 de setembre 2020]. Disponible en: http://automata.cps.unizar.es/bibliotecaschneider/BT/Guia/5_Armonicos
- [34] Compatibilitat Electromagnètica. En: *EMIKON* [En línia]. p.3-4 [Consulta: 15 de setembre 2020]. Disponible en: http://www.emikon.com/templates/web/pdf/QUE_ES_LA EMC.PDF
- [35] Alberto Martín Pernía "Interferències Electromagnètiques en Sistemes Electrònics". En: *Universidad de Oviedo*. [En línia] Curso de Doctorado. [Consulta: 15 de setembre 2020]. Disponible en: http://ieee-pels-ies.es/Pels/Pdf/Oviedo/Doctorado_EMI.pdf
- [36] Conceptos bàsics sobre las interferències (EMI) y la compatibilitat electromagnètica (CEM). En: *CEMDAL – Consultoría en Compatibilidad Electromagnética*. [En línia] [Consulta: 16 de setembre 2020]. Disponible en: <https://www.cemdal.com/espa%C3%B1ol/conceptos-b%C3%A1sicos-cem/>
- [37] Lluís Ferrer i Arnau "Introducció a la compatibilitat electromagnètica". En: *UPC Departament d'Enginyeria Electrònica*. [En línia] [Consulta: 16 de setembre 2020]. Disponible en: http://www.jcee.upc.es/JCEE2002/FERRER_PON_02.pdf
- [38] ¿Qué es la ley de Faraday?. En: *Khan Academy*. [En línia] Consulta: 16 de setembre 2020]. Disponible en: <https://es.khanacademy.org/science/physics/magnetic-forces-and-magnetic-fields/magnetic-flux-faradays-law/a/what-is-faradays-law>
- [39] Procedimientos para el estudio y análisis de perturbaciones armónicas. En: *Circuitor* [En línia]. Circuitor. [Consulta: 17 de setembre 2020]. Disponible en: http://circuitor.com/docs/procedimientos_sp.pdf
- [40] Xavier Paradell "Lucha contra las interferències y el ruido eléctrico". En: *CQ-RADIO*. [En línia] [Consulta: 18 de setembre 2020]. Disponible en: https://www.gub.uy/unidad-reguladora-servicios-comunicaciones/sites/unidad-reguladora-servicios-comunicaciones/files/documentos/publicaciones/Interferencias%20por%20l%C3%A1mparas%20bajo%20consumo%20Abr%2008_0.pdf
- [41] Departament d'Enginyeria Elèctrica de la UPC (2019), *Apunts de l'assignatura Sistemes de Generació, Transport i Distribució d'Energia Elèctrica*. Terrassa, apuntes de ESEIAAT-UPC 2019/20-02
- [42] Departament d'Enginyeria Elèctrica de la UPC (2019), *Apunts de l'assignatura Càlcul i Disseny de Línies Elèctriques d'Alta Tensió*. Terrassa, apuntes de ESEIAAT-UPC 2019/20-02
- [43] Juan José Mora Flórez "Fluctuaciones de Tensión y Flicker". En: *Calidad del Servicio eléctrico*. [En línia] Universitat de Girona, 13 Març 2002 [Consulta: 20 de setembre 2020]. Disponible en: http://eia.udg.es/~secse/curso_calidad/curso5_fluctuaciones_flicker.pdf

- [44] Efecto Larsen. En: *Wikipedia* [En línia]. Wikipedia, 6 Octubre 2020. [Consulta: 10 d'octubre 2020]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_Larsen
- [45] Pitidos por acoplamiento en Audífonos ¿Causas y cómo solucionarlo? En: *Oír Vital Web* [En línia]. Centros Auditivos Oír Vital. [Consulta: 10 d'octubre 2020]. Disponible en: <http://www.oirvital.com/pitidos-en-audifonos-retroalimentacion-acustica/>
- [46] Acoples (feedback). 10 causas y 10 maneras de evitarlos. En: *Doctor ProAudio (DoPa)* [En línia]. Biblioteca de refuerzo sonoro DoPa, 2012. [Consulta: 10 d'octubre 2020]. Disponible en: <https://www.doctorproaudio.com/content.php?112-acoples-feedback-evitarlos>
- [47] Conexiones balanceadas y no balanceadas. En: *Doctor ProAudio (DoPa)* [En línia]. Biblioteca de refuerzo sonoro DoPa. [Consulta: 10 d'octubre 2020]. Disponible en: <https://www.doctorproaudio.com/content.php?135-conexiones-balanceadas-no-balanceadas>
- [48] Conexiones balanceadas y no balanceadas. En: *Doctor ProAudio (DoPa)* [En línia]. Biblioteca de refuerzo sonoro DoPa. [Consulta: 10 d'octubre 2020]. Disponible en: <https://www.doctorproaudio.com/content.php?135-conexiones-balanceadas-no-balanceadas/view/2>
- [49] Joshua Casper “Balanced use of stereo ¼” jack plugs”. En: *Joshua Casper TRS diagram* [En línia][Consulta: 20 d'octubre 2020]. Disponible en: <https://www.joshuacasper.com/diy/ground-pin-audio-jack-socket/attachment/trs-diagram/>
- [50] TISINO Mini Jack TRS Stereo Male to XLR Male Blanced. En: *Amazon* [En línia]. 20 Diciembre 2017. [Consulta: 20 d'octubre 2020]. Disponible en: <https://www.amazon.in/TISINO-3-5mm-Stereo-Balanced-Interconnect/dp/B075XQ965V>
- [51] Bucle de tierra (electricidad) – Ground loop (electricity). En: *Wikipedia* [En línia]. Wikipedia, 14 Diciembre 2020. [Consulta: 28 de diciembre 2020]. Disponible en: [https://es.qaz.wiki/wiki/Ground_loop_\(electricity\)](https://es.qaz.wiki/wiki/Ground_loop_(electricity))
- [52] A. F. Barbosa, L. A. Noguera y W. M. Giral, “Análisis de distorsión armónica en iluminación LED”. *Revista Vínculos* [En línia]. vol 14, no 2, Julio-Diciembre 2017, 95-107 [Consulta: 22 d'octubre 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.14483/2322939X.12520>
- [53] Elena García Vicente “Radiofrecuencia: bandas de Trabajo y equipo”. *Revista Hispasonic* [En línia]. 19 de Mayo de 2017 [Consulta: 22 d'octubre 2020]. Disponible en: <https://www.hispasonic.com/tutoriales/radiofrecuencia-bandas-trabajo-equipo/42907>
- [54] Elena García Vicente “Trabajando con sistemas de microfonía inalámbrica”. *Revista Hispasonic* [En línia]. 16 de Mayo de 2017 [Consulta: 22 d'octubre 2020]. Disponible en: <https://www.hispasonic.com/tutoriales/trabajando-sistemas-microfonia-inalambrica/42896>
- [55] Liberto Walker “Qué es la intermodulación”. En: *Novedades Electrónicas* [En línia]. 2 Enero 2019 [Consulta: 25 d'octubre 2020]. Disponible en: <https://republicaradio.com/que-es-la-intermodulacion/>
- [56] ¿Qué es un rack y para que se utiliza?. En: *Electropolis* [En línia]. 2 Mayo 2017[Consulta: 25 d'octubre 2020]. Disponible en: <https://www.electropolis.es/blog/que-es-un-rack-y-para-que-se-utiliza/>
- [57] Consejo Nacional de la Cultura y las Artes (CNCA) Gobierno de Chile. *Manual de Escenotecnia*. Santiago, Chile: 2014. ISBN 9789563520866.

[58] Valladares Piedra, Juan Raúl. Projecte d'instal·lació elèctrica, il·luminació i control del Teatre Alegria de Terrassa. Treball fi de grau. UPC, Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa, Departament d'Enginyeria Elèctrica, 2005.

[59] Corrent de fuga. En: *Redeweb* [En línia]. Redeweb, 5 Gener 2021. [Consulta: 5 Gener 2021]. Disponible en: <https://www.redeweb.com/articulos/instrumentacion/medida-de-corrientes-de-fuga-conceptos-basicos/>

[60] Compensación de Energía Reactiva y Filtrado de Armónicos. Catálogo 2019. En: *Schneider-Electric* [En línia]. Schneider-Electric. [Consulta: 5 Gener 2021]. Disponible en: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=ESMKT01182E19_SE_compensacion-energia-2019+%28web%29.pdf&p_Doc_Ref=ESMKT01182A16

[61] Neil Rasmussen. Understanding Power Factor, Crest Factor, and Surge Factor. White Paper 17 En: *Schneider-Electric* [En línia]. Schneider-Electric. [Consulta: 5 Gener 2021]. Disponible en: https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=SPD_SADE-5TNQYL_EN

[62] Dictionary.com Archived February 23, 2008, at the Wayback Machine. The American Heritage Dictionary of the English Language, Fourth Edition. Houghton Mifflin Company, 2004. (accessed: January 25, 2008).

[63] Alcalde San Miguel, Pablo (2014). *Electrotecnia : Instalaciones eléctricas y automáticas* (6ª edición). Madrid: Paraninfo. p. 424. ISBN 9788428398770.

[64] Harmonics Made Simple. En: *ECM* [En línia]. 1 Gener 2004 [Consulta: 25 d'octubre 2020]. Disponible en: <https://www.ecmweb.com/archive/article/20886010/harmonics-made-simple>

[65] Francesc Fornieles. Parámetros básicos de los armónicos eléctricos En: *Fornieles* [En línia]. Fornieles, 14 Julio 2017. [Consulta: 5 Gener 2021]. Disponible en: <https://fornieles.es/perturbaciones-electricas/parametros-basicos-de-los-armonicos-electricos/#:~:text=La%20distorsi%C3%B3n%20individual%20es%20simplemente,corriente%2C%20respecto%20al%20valor%20fundamental.>

[66] F. R. Quintela y R. C. Redondo Melchor. *Diccionario de Ingeniería Eléctrica*. Universidad de Salamanca. En: <https://electricidad.usal.es/Diccionario> (visto el 13/01/2021).

[67] ¿Qué es la ley de Faraday? En: *Khan Academy* [En línia]. Khan Academy. [Consulta: 5 Gener 2021]. Disponible en: <https://es.khanacademy.org/science/physics/magnetic-forces-and-magnetic-fields/magnetic-flux-faradays-law/a/what-is-faradays-law>

[68] Andrés. ¿Qué son cargas no lineales, qué problemas generan y que dice la Norma? En: *Electricaplicada* [En línia]. Electricaplicada. [Consulta: 5 Gener 2021]. Disponible en: <https://www.electricaplicada.com/cargas-no-lineales/#:~:text=La%20definici%C3%B3n%20para%20cargas%20no,de%20onda%20de%20voltaje%20aplicado%E2%80%9D.>

[69] Monod, P.; PréJean, J. J.; Tissier, B. (1979). «Magnetic hysteresis of CuMn in the spin glass state». *J. Appl. Phys.* (American Institute of Physics) 50 (B11): 7324. Bibcode:1979JAP....50.7324M. doi:10.1063/1.326943. Consultado el 6 de enero de 2021.

[70] Alfonso Fernandez. Excentricidad. En: *Power MI* [En línia]. Power MI. [Consulta: 5 Gener 2021]. Disponible en: <https://power-mi.com/es/content/excentricidad#:~:text=La%20excentricidad%20se%20define%20como,y%20el%20eje%20de%20simetr%C3%ADa.&text=La%20excentricidad%20se%20manifiesta%20de,est%C3%A1%20presente%20un%20campo%20magn%C3%A9tico>

- [71] An Interactive Guide To The Fourier Transform. En: *Better Explained* [En línia]. *Better Explained*. [Consulta: 5 Gener 2021]. Disponible en: <https://betterexplained.com/articles/an-interactive-guide-to-the-fourier-transform/>
- [72] Comparación entre esquemas de conexión para el suministro eléctrico. En: *Bender* [En línia]. *Bender*. [Consulta: 6 Gener 2021]. Disponible en: <https://www.bender.es/informacion-tecnica/tecnologia/sistema-it/comparacion-entre-esquemas-de-conexion-para-el-suministro-electrico>
- [73] «Presa de terra». L'Enciclopèdia.cat. Barcelona: Grup Enciclopèdia Catalana.
- [74] Conductor CPN o PEN. En: *Glosarios Servidor Alicante* [En línia]. *Glosarios Servidor Alicante*. [Consulta: 6 Gener 2021]. Disponible en: <https://glosarios.servidor-alicante.com/electricidad/conductor-cpn-o-pen>
- [75] Espectro Radioelèctric. En: *MinTic* [En línia]. *MinTic*. [Consulta: 6 Gener 2021]. Disponible en: <https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Sistemas-MINTIC/SGE-Sistema-de-Gestion-del-Espectro/Informacion-General/2350:Espectro-Radioelectrico>
- [76] R.H. Mauch (1996). Electroluminescence in thin films - Applied Surface Science
- [77] EGAN, David M. Architectural acoustics. Nova York: McGraw-Hill, 1988. ISBN 0-07-019111-5.
- [78] Ganancia acústica. En: *Ministerio de Educación- ITE - Instituto de Tecnologías Educativas*. [En línia]. [Consulta: 6 Gener 2021]. Disponible en: http://ares.cnice.mec.es/gtm/web/index_es_resultado_final.php?num=234728%7C&Buscar=Ganancia%20ac%C3%BAstica%7C&volver=Ganancia%20ac%C3%BAstica&cual=0>m=733ea069987e91dbc4d2eff6cc729bbd
- [79] Artículo Técnico AFQEvo Filtro Activo Multifunción. En: *CIRCUTOR*. [En línia]. [Consulta: 10 Gener 2021]. Disponible en: http://docs.circutor.com/docs/CIR_Article_AFQEvo_SP.pdf
- [80] UNE-EN 61000-3-3. Parte 3-3: Límites. Limitación de las variaciones de tensión, fluctuaciones de tensión y flicker en las redes públicas de suministro de baja tensión para equipos con corriente asignada ≤ 16 A por fase y no sujetos a una conexión condicional. En: *AENOR*. [En línia]. [Consulta: 10 Gener 2021]. Disponible en: https://www.aserluz.org/wp-content/uploads/2016/03/UNE-EN_61000-3-32009.pdf
- [81] UNE-EN 61000-3-2. "Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 3-2: Límites. Límites para las emisiones de corriente armónica (equipos con corriente de entrada <16 A por fase)". IEE519-1992 "Prácticas y requisitos recomendados para el control de armónicos en sistemas de energía eléctrica". En: *UPC COMMONS*. [En línia]. [Consulta: 10 Gener 2021]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/2696/36106-4.pdf?sequence=4>