

Acoblament del senyal del *power line communications* d'alta freqüència en línies d'alta tensió per la transmissió de dades per les *smart grids*

Ramon Gallart Fernàndez

Grau Tecnologies de la Telecomunicació – Menció en Enginyeria de Sistemes de Telecomunicació

TFG Disseny de Sistemes Electrònics

Carlos Gonzalo Moreno Soriano

Germán Cobo Rodríguez

19/06/2017



Aquesta obra està subjecta a una llicència de [Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada 3.0 Espanya de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/)

La finalització del treball final de grau suposa la consecució d'un objectiu marcat fa molts anys amb molt de sacrifici. Arribat en aquest moment, puc confirmar que en aquesta segona etapa universitària, estic molt orgullós d'haver format part de la Universitat Oberta de Catalunya.

Per arribar fins aquí, cal comptar amb gent que et doni suport i t'ajudi constantment, per això i per moltes més coses he de donar les gràcies a en Santi Martínez Farrero per motivar-me a realitzar aquests estudis, a Estabanell Energia S.A. per acceptar el repte de la temàtica desenvolupada en aquest treball.

També gràcies al meu tutor Carlos Gonzalo Moreno Soriano pels seus consells durant tot el treball, la seva disponibilitat i el bon tracte rebut el qual, sempre ha estat de gran valor i també al director del treball, Germán Cobo Rodríguez, amb ell com a responsable d'assignatura, vaig aprendre les primeres passes sobre antenes i microones.

Gràcies a tots els meus amics, sempre m'han animat quan més ho necessitava i com no, als companys amb els que m'he creuat al llarg de tots aquests anys.

I, per descomptat, gràcies a la meua dona, Maria Teresa, que m'ha donat els ànims i suport necessari per finalitzar-lo.

Índex

Índex.....	4
Figures.....	5
Taules.....	6
Fitxa del treball.....	7
1 Introducció.....	9
1.1 Context i justificació del treball.....	9
1.2 Objectius del treball.....	10
1.3 Objectius específics.....	10
1.4 Enfocament i mètode a seguir.....	10
1.5 Planificació del Treball.....	11
1.6 Tasques del Treball.....	12
1.7 Diagrama de Gantt.....	15
1.8 Diagrama de Pert.....	16
2. Anàlisi i necessitats del projecte.....	17
2.1. Evolució del PLC.....	17
2.2. Estudi de l'acoblament del senyal.....	19
2.2.1. Acobladors PLC.....	22
2.2.2. La xarxa elèctrica de mitja tensió i l'afectació amb els elements de maniobra.....	24
2.2.3. Anàlisi de la infraestructura elèctrica pel senyal PLC.....	31
2.3. La xarxa real i la seva arquitectura.....	34
2.3.1. Pros del PLC en les xarxes elèctriques.....	38
2.3.2. Contres del PLC en les xarxes elèctriques.....	39
2.3.3. Comparatives de les altres solucions tecnològiques del PLC.....	40
2.3.4. Les Modulacions.....	41
3. Implementació i proves.....	43
3.2. Verificació dels acobladors i accessoris a instal·lar.....	49
3.3. Anàlisi del canal amb generador de funcions i analitzadors.....	52
3.4. Configuració i connexió dels equips PLC.....	61
3.5. Anàlisi del canal a nivell físic.....	66
3.6. Anàlisi dels requeriments del IEC 61850.....	68
4. Valoració econòmica.....	73
5. Conclusions.....	74
6. Glossari.....	75
7. Referències.....	77

Figures

Figura 1 Tasques	14
Figura 2 Gantt	15
Figura 3 Pert.....	16
Figura 4 Magnitud de la funció de transferència per a diferents longituds i freqüències	20
Figura 5 Esquema bàsic del canal PLC.....	21
Figura 6 Esquema de detall d'un canal PLC	22
Figura 7 Esquema d'un acoblador capacitiu	23
Figura 8 Esquema d'un acoblador inductiu.....	24
Figura 9 Cadena de producció, transport i distribució d'energia elèctrica	25
Figura 10 Model Europeu de distribució.....	26
Figura 11 Model aproximat de les línies de mitja tensió com a canal de telecomunicacions	27
Figura 12 Seccionador-interruptor de línia d'un CT	31
Figura 13 Terminacions per cables de mitja tensió.....	31
Figura 14 Transformador de distribució MT/BT	31
Figura 15 Esquema unifilar xarxa de distribució elèctrica.....	32
Figura 16 Components d'una estació transformadora en alta freqüència	33
Figura 17 Esquema circuit equivalent cable mitja tensió.....	34
Figura 18 Parts d'un cable soterrat de mitja tensió	34
Figura 19 Esquema acoblament inductiu amb interruptor de mitja tensió tancat	35
Figura 20 Esquema acoblament inductiu amb interruptor de mitja tensió obert.....	35
Figura 21 Exemple d'instal·lació dels acobladors inductius.....	36
Figura 22 Esquema acoblament capacitiu amb interruptor de mitja tensió tancat	36
Figura 23 Esquema acoblament capacitiu amb interruptor de mitja tensió obert	37
Figura 24 Exemple d'instal·lació d'acobladors capacitius.....	37
Figura 25 Tipus d'acobladors.....	43
Figura 26 Zona d'estudi	44
Figura 27 Recinte E.R. Rec i E.T. Magatzem	44
Figura 28 Xarxa elèctrica de M.T C.T 535 i E.T.281	45
Figura 29 Xarxa elèctrica de M.T E.T. 281 i E.T.500	45
Figura 30 Zona d'afectació del treball	46
Figura 31 Format per la tramitació de descàrrec.....	47
Figura 32 ACA E.T.281 Cuartel	48
Figura 33 AIMT E.T. 500 Pedrals.....	48
Figura 34 CAMS E.T. 535 Magatzem	48
Figura 35 Full-23 Manual usuari analitzador PERSEUS.....	49
Figura 36 Verificacions dels acobladors	50
Figura 37 Connexió esquema-1 de la Figura-13	51
Figura 38 Connexió esquema-2 de la Figura-13	51
Figura 39 Connexió esquema-3 de la Figura-13	52
Figura 40 Cas-1: Senyal rebut a l'ET 281 Cuartel (dalt) i ET 535 Magatzem (baix)	54
Figura 41 Cas-2: Senyal rebut a l'ET 281 Cuartel (dalt) i ET 535 Magatzem (baix)	55
Figura 42 Cas-3: Senyal rebut a l'ET 281 Cuartel (dalt) i ET 535 Magatzem (baix)	56
Figura 43 Cas-4: Senyal rebut a l'ET 281 Cuartel (dalt) i ET 535 Magatzem (baix)	57
Figura 44 Cas-5: Senyal rebut a l'ET 281 Cuartel (dalt) i ET 535 Magatzem (baix)	58
Figura 45 Cas-6: Senyal rebut a l'ET 281 Cuartel (dalt) i ET 535 Magatzem (baix)	59
Figura 46 Cas-8: Senyal rebut a l'ET 281 Cuartel (dalt) i ET 500 Pedrals (baix)	60
Figura 47 Mesura del soroll mesurat a l'ET 281 Cuartel direcció Pedrals	61
Figura 48 DRN Node BPLC Fabricat ZIV.....	62
Figura 49 Configuració encaminador BPLC situat en el E.T.500 Pedrals.....	63
Figura 50 Configuració encaminador BPLC situat en el E.T.281 Cuartel.....	64

Figura 51 Configuració encaminador BPLC situat en el E.T.535 Magatzem.....	65
Figura 52 Connexió dels diferents tipus d'acobladors i l'encaminador DRN.....	66
Figura 53 Estadística acumulades sobre latències i disponibilitat.....	67
Figura 54 Configuració del temps de mostreig de la mesura	67
Figura 55 Mesures enllaç BPLC Cuartel-Magatzem	68
Figura 56 Mesures enllaç BPLC Cuartel-Pedrals.....	68
Figura 57 Mapejat dels missatges TCP/IP en una xarxa IEC61850.....	70
Figura 58 interconnexió entre dispositius segons IEC 61850 adaptat a C.T.....	72

Taules

Taula 1: Dates clau.....	11
Taula 2 Cables RHZ-1 de Prysmian.....	33
Taula 3 Resum serveis segons la Tecnologia	40
Taula 4 Resum de viabilitat tècnica per serveis	41
Taula 5 Resum de la viabilitat econòmica	41
Taula 6 Materials cel·les amb elements de maniobra de tall al aire.....	50
Taula 7 Materials cel·les amb elements de maniobra de tall amb SF6	50
Taula 8 Materials cel·les amb elements de maniobra de tall al aire o SF6	51
Taula 9 de casos de mesura segons la configuració de l'element de maniobra de M.T,.....	52
Taula 10 Tipus de missatges IEC-61850.....	69
Taula 11 Prioritat dels missatges definits per IEC 61850	71
Taula 12 Cost infraestructura de la fibra òptica	73
Taula 13 Cost infraestructura del BPLC	73

Fitxa del treball

Títol del treball:	<i>Acoblament del senyal del power line communications d'alta freqüència en línies d'alta tensió per la transmissió de dades per les smart grids.</i>
Nom de l'autor:	<i>Ramon Gallart Fernandez.</i>
Nom del consultor/a:	<i>Carlos Gonzalo Moreno Soriano</i>
Nom del PRA:	<i>Germán Cobo Rodríguez.</i>
Data de lliurament (mm/aaaa):	<i>06/2017</i>
Titulació o programa:	<i>Grau Tecnologies de la Telecomunicació</i>
Àrea del Treball Final:	<i>Disseny de Sistemes Electrònics</i>
Idioma del treball:	<i>Català</i>
Paraules clau	<i>Smart Grids, Power Line Communication, Ample de Banda.</i>
Resum del Treball	
<p>Aquest treball, es basa en una necessitat real d'un distribuïdor d'energia elèctrica amb l'objectiu de determinar, com es veu afectat el senyals d'alta freqüència en els acobladors de la tecnologia Power Line Communications (PLC) en les línies d'alta tensió per la transmissió de dades entres centres de transformació, amb la finalitat de poder obtenir un canal de telecomunicacions que permeti la connexió de dispositius electrònics per l'operació elèctrica segons l'estàndard IEC-61850.</p> <p>El document, presenta una introducció sobre la tecnologia PLC i la seva història en aplicacions per les empreses elèctriques per així, exposar una comparació sobre el beneficis que aquesta aporta.</p> <p>El treball presenta mesures, dispositius i aplicació real amb l'objectiu de trobar una alternativa viable tecnològica i econòmicament que permeti un desplegament massiu per l'ús de xarxes intel·ligents en un entorn sever el qual, requereix d'una alta fiabilitat i disponibilitat per permetre la presa de decisions distribuïdes en una ampla superfície pel subministrament elèctric.</p> <p>L'estructura presentada, consta de tres part clarament diferenciades en el decurs del treball, fase d'anàlisi, fase de definició i implementació en instal·lacions reals i finalment la fase de documentació i lliurament a l'empresa.</p>	

Abstract

Determining how high frequency signals in couplers affect the Power Line Communications (PLC) technology with which they are used in high voltage distribution lines is a real need for electricity distributors. As it is this technology that allows data transmission between secondary substations, establishing a telecommunications channel that ensures electrical operation according to the IEC-61850 standard.

This work addresses this need by presenting an economically viable technology as a solution, including the necessary measures, devices, and implementation methods.

First an introduction to PLC technology and its historic applications by power companies is made, outlining the benefits that this technology has brought. A solution that allows a massive deployment of smart grids is then presented. The solution is viable in severe environments taking into consideration the reliability and availability needed to allow spread out decisions over a wide area of an electrical network.

All the steps of the solution delivery are presented; the problem analysis, the solution definition, and finally how it is implemented in an actual installation.

1 Introducció

El pla docent, explica que el treball fi de grau és una assignatura que està pensada per a realitzar un treball de síntesi dels coneixements adquirits en altres assignatures de la carrera i que requereix, posar-los en pràctica conjuntament en un treball concret. Normalment el TFG és un treball eminentment pràctic i vinculat a l'exercici professional de les tecnologies de la comunicació encara que en alguns casos pot ser, o incloure, un treball de recerca.

Aquest treball, està centrat a l'àrea de disseny de sistemes electrònics de manera que, pretén donar resposta a un projecte real encarregat per l'empresa Estabanell Energia (EyPESA) a l'estudiant d'aquest, sobre com afecten els diferents tipus d'acoblament d'un senyals d'alta freqüència en les línies d'alta tensió segons la seva configuració amb l'objectiu de permetre una Automatització Avançada de la Distribució d'energia elèctrica (ADA) en una de les principals aplicacions per les xarxes intel·ligents.

1.1 Context i justificació del treball

El *Power Line Communications* (PLC) pot oferir una infraestructura de telecomunicacions rendible, per donar suport a l'adquisició de dades i l'automatització basat en l'estàndard IEC-61850, per proporcionar interoperabilitat entre tots els dispositius involucrats en el seguiment i control de la xarxa elèctrica. No obstant això, l'aplicabilitat del PLC per a l'ADA ha de ser investigat amb cura ja que, aquesta tecnologia encara presenta algunes limitacions relacionades amb la velocitat de dades, fiabilitat, etc.

EyPESA, és un distribuïdor d'energia elèctrica català que distribueix electricitat a 27 municipis de les comarques del Ripollès, Osona i Vallès Oriental amb més de 56.000 punts de subministrament connectats a la seva xarxa elèctrica que conformen 760 centres de transformació i 23 subestacions dues de les quals, estan connectades a la xarxa de transport elèctric amb titularitat de *Red Eléctrica de España* la qual, aposta pel desplegament de les xarxes intel·ligents en base a la seva infraestructura elèctrica que ha evolucionant des de fa més de cent anys.

Aquesta particularitat conjuntament amb l'elevat cost que requereix l'estesa de fibra òptica per comunicar les seves infraestructures de mitja tensió per la seva gestió i control a més de la dificultat en poder accedir en les instal·lacions elèctriques amb tecnologies radio com per exemple, 4G donat que els centres de transformació en les ciutats, majoritàriament estan soterrats, fan que aposti per instal·lar equips de telecomunicacions PLC. Les xarxes intel·ligents tenen el potencial de reduir les emissions de diòxid de carboni a través de la integració dels recursos d'energia renovable distribuïda, emmagatzematge d'energia, i permetre la penetració dels vehicles elèctrics.

D'altra banda, poden augmentar la fiabilitat del subministrament d'energia elèctrica mitjançant mesuraments, el seguiment i el control de la generació distribuïda. Les xarxes de distribució conjuntament amb els sistemes de protecció elèctrics, connectats amb aquest medi, necessiten per la correcta i segura presa de decisió i també, l'actuació dels elements que configuren la xarxa d'alta tensió amb una actualització de la informació en temps real. També, les infraestructures elèctriques van incrementant el nombre de dispositius de control que estan basats en l'electrònica de potència els quals, precisen d'una resposta en un temps de l'ordre de milisegons (ms) per la detecció, monitoratge i control de la tecnologia per la correcta interacció entre aquests i la xarxa elèctrica.

Per obtenir un ample de banda adequat que compleixi amb els requeriments de l'estàndard IEC-61850, l'elecció i també la connexió dels acobladors amb els dispositius elèctrics pren importància, per tant, aquest document tracta de donar una estimació de l'ample de banda

raonable mitjançant les mesures reals, juntament amb el coneixement pràctic sobre la infraestructura de la xarxa elèctrica. El resultat, permetrà identificar les limitacions del PLC per donar suport a les aplicacions necessàries per les xarxes intel·ligents de l'empresa.

1.2 Objectius del treball

Les xarxes intel·ligents, són bàsicament xarxes de distribució elèctrica combinades amb modernes tecnologies d'informació, que proporcionen dades tant a les empreses distribuïdores d'electricitat, comercialitzadors i també, als consumidors, el que és avantatjós per a totes les parts. Per tant, una xarxa intel·ligent és més complexa en el seu funcionament respecta una xarxa elèctrica automatitzada.

L'objectiu d'aquest treball s'ha centrat en determinar les distàncies màximes entres centres de transformació i també, com resoldre els problemes d'acoblar el senyal PLC en una xarxa elèctrica de mitja tensió, per integrar la tecnologia necessària per poder esdevenir una xarxa intel·ligent.

Per això, els diferents objectius necessaris pel desenvolupament del projecte, són:

- **Objectiu-1:** Identificar els avantatges i les problemàtiques de la tecnologia BPLC per ser instal·lada en els centres d'alta tensió.
- **Objectiu-2:** Conèixer la topologia de la xarxa elèctrica com a part fonamental del acoblament del senyal BPLC.
- **Objectiu-3:** Validar la tecnologia de telecomunicacions basada en BPLC que permeti la integració de l'estàndard IEC-61850.
- **Objectiu-4:** Justificar els costos de la instal·lació així com el seu manteniment en edificis amb un entorn de treball hostil.
- **Objectiu-5:** Aconseguir que la instal·lació dels acobladors no sigui un punt feble per a la operació elèctrica.

1.3 Objectius específics

- 1.- Conèixer el funcionament bàsic d'una xarxa BPLC així com el seu disseny.
- 2.- Estudiar les principals característiques (velocitats de transmissió, amplitud de banda, equips de connexió, interfícies, etc.).
- 3.- Fer una petita comparació amb altres tecnologies usades per les xarxes intel·ligents.
- 4.- Realitzar i executar la implantació del treball a EyPESA sobre l'ús d'aquesta tecnologia i lliurar els resultats finals a l'empresa.

1.4 Enfocament i mètode a seguir

El primer pas per fer front aquest treball, ha estat realitzar un anàlisi inicial dels requeriments recollits en l'enunciat i elaborar un pla realista i ajustat que permeti aconseguir en termini, abast i qualitat dels objectius establerts en apartats anteriors.

Per aconseguir una estimació ajustada sobre l'abast del treball conjuntament amb una planificació el més realista possible, s'ha estimat convenient utilitzar un programari de planificació Gantt, el qual serà útil pel projecte que té una durada fixada i on és possible definir clarament uns requisits estables.

Aquest mètode de desenvolupament de projectes distingeix diverses fases i es caracteritza per l'ordre lineal d'aquestes. Les fases que es preveuen per aquest treball són les següents:

- **Anàlisi de requisits:** estudi detallat dels requeriments i necessitats que haurà de resoldre la metodologia per instal·lar acobladors d'alta freqüència en xarxes elèctriques de mitja tensió. En aquesta fase és molt important l'entesa de la necessitat d'EyPESA, amb l'objectiu de concretar al màxim les seves necessitats.
- **Disseny:** s'especifica una solució als requeriments obtinguts a la fase anterior i se'n defineixen les estructures necessàries.
- **Implementació:** és la fase que es planifica la instal·lació dels acobladors en coordinació amb els procediments de l'empresa.
- **Prova:** es proven els acobladors en les instal·lacions elèctriques d'EyPESA de manera planificada amb l'objectiu de detectar i corregir possibles errades que sorgeixin durant els treballs.
- **Manteniment:** Durant el temps de funcionament dels acobladors, es realitzen els canvis necessaris per tal de corregir errors o per adaptar-los a nous requeriments.

Aquest enfocament, és l'indicat quan no es preveuen molts canvis sobre els requisits inicials durant la resta del projecte. Aquest fet permet realitzar una bona planificació i valoració de recursos i també econòmica des del començament, al mateix torn, una correcta coordinació amb els departaments d'EyPESA que s'han vist implicats en el decurs d'aquest treball.

1.5 Planificació del Treball

La data inicial del projecte correspon a la data del lliurament de l'enunciat (13/03/2017), la data final del projecte correspon a la data del lliurament final de la memòria (19/06/2017) i també, la presentació virtual (30/06/2017). Les dates clau del treball són les següents:

<i>Data</i>	<i>Esdeveniment</i>
23/02/2017	Inici.
23/02/2017	Inici PAC-01.
13/03/2017	Lliurament PAC-01: Pla de treball.
14/03/2017	Inici PAC-02.
10/04/2017	Lliurament PAC-02: Anàlisi i necessitats del projecte.
11/04/2017	Inici PAC-03.
15/05/2017	Lliurament PAC-03: Implementació i proves.
16/05/2017	Inici PAC-04.
19/06/2017	Lliurament PAC-04: Memòria escrita i presentació virtual.
28/06/2017	Inici debat virtual.
30/06/2017	Final debat virtual.

Taula 1: Dates clau

1.6 Tasques del Treball

Per desenvolupar aquest treball final de grau, en el diagrama de Gantt proposat, s'han considerat les tasques que es detallem a continuació.

Planificació:

- Lectura de l'enunciat, identificació de tasques a realitzar i planificació temporal.
- Elaboració de la documentació.

Tasca-1: Anàlisi i necessitats del projecte:

- Descripció de la tasca: recollida de dades i anàlisi de la situació actual incloent l'evolució del PLC a EyPESA.
- Objectiu de la tasca: identificar les necessitats de l'empresa referent a:
 - Estudiar l'acoblament del senyal PLC.
 - Els diferents acobladors PLC.
 - Com afecta la xarxa elèctrica segons la configuració dels elements de maniobra.
 - Anàlisi sobre les infraestructures elèctriques que treballaran amb acobladors.

Tasca-2: estudi de la infraestructura d'acoblament:

- Descripció de la tasca: analitzar els diferents mètodes d'acoblar el senyal d'alta freqüència a la xarxa elèctrica.
- Objectiu de la tasca: determinar el millor tipus d'acoblador de senyal en base a les conclusions de l'anàlisi de la tasca anterior considerant:
 - La xarxa elèctrica real i la seva arquitectura
 - Pros i contres del PLC sobre les xarxes elèctriques d'alta tensió
 - Comportament del rendiment del senyals PLC segons les modulacions emprades.

Tasca-3: Valoració de les mesures obtingudes:

- Descripció de la tasca: Valorar les mesures obtingudes en les instal·lacions elèctriques.
- Objectiu de la tasca: Obtenir la metodologia per la instal·lació dels acobladors d'alta freqüència BPLC amb la màxima funció de transferència.

Tasca-4: Presentació de la proposta d'acoblament:

- Descripció de la tasca: Completar les fases prèvies a la presentació dels resultats obtinguts en les instal·lacions reals.
- Objectiu de la tasca: Presentar a l'empresa els resultats sobre la fiabilitat de la tecnologia PLC pel correcte funcionament dels dispositius de control a connectar.

Tasca-5: Valoració econòmica:

- Descripció de la tasca: Identificar els costos de la tecnologia conjuntament amb el muntatge en instal·lacions elèctriques.
- Objectiu de la tasca: Obtenir una valoració econòmica.

Tasca-6: Disseny i metodologia d'instal·lació:

- Descripció de la tasca: Realització de les tasques sobre el correcte muntatge necessaris per aconseguir un correcte acoblament del senyal d'alta freqüència.
- Objectiu de la tasca: Implementació i instal·lació total dels acobladors funcionant en una xarxa d'alta tensió energitzada.

Tasca-7: Documentació:

- Descripció de la tasca: Documentació funcional dels acobladors.
- Objectiu de la tasca: Elaborar una documentació que expliqui els detalls de la instal·lació i consideracions en els centres de transformació d'alta tensió.

Observacions:

Aquest treball es lliura amb aquesta memòria, un fitxer d'annexos amb els manuals i els *datasheets* utilitzats durant el desenvolupament així com una presentació i també un vídeo que explica el treball, publicat al *blog* de Present@.

La planificació s'ha anat actualitzant a mesura que ha progressat el treball, havent reajustat del calendari tenint en compte els dies festius i les hores reals dedicades, a més, s'han gestionat imprevistos com poden haver estat, malalties o altres.

La finalitat d'aquesta planificació és la d'orientar a EyPESA, sobre la càrrega de treball que representarà realitzar els treballs per acoblar un senyal PLC en una xarxa elèctrica d'alta tensió segons els requeriment de la IEC-61850.

També cal esmentar, que el Gantt, s'ha ideat com a una primera aproximació, tenint en compte la càrrega de treball inicial suposada en els diferents capítols del treball.

És important assenyalar que aquest treball, ha estat subjecte a la disponibilitat de la xarxa real d'EyPESA pel que han hagut desviacions derivades de restriccions operatives de la xarxa elèctrica i els noms de les instal·lacions elèctriques estan escrits segons actes i registres legals.

També s'ha de tenir en ment que hi va haver un període de vacances per Setmana Santa, fet que va provocar una disminució de la intensitat en la càrrega de treball.

Donat el gran nombre de mesures realitzades i tal com es senyala en els apartats corresponents, ha estat necessari realitzar moltes combinacions per obtenir els resultats de manera que, en la memòria s'han incorporat els de més importància i més desfavorables amb les combinacions més òptimes amb la finalitat de convergir amb la millor solució que ha permès assolir l'objectiu del treball.

A continuació es presenten les tasques que han estat necessàries per a la correcta realització del treball:



nom	Inici	Finalització
TFG Disseny de Sistemes Electrònics	22/02/17	30/06/17
Lectura Pla Docent i l'eneunciat	23/02/17	24/02/17
Proposta enunciat	27/02/17	27/02/17
Lliurar Proposta Eneunciat	2/03/17	2/03/17
[01] [PAC-1] Planificació TFG	24/02/17	13/03/17
[01.01] Redacció resúm i objectius	3/03/17	4/03/17
[01.02] Redacció de les tasques a realitzar	5/03/17	6/03/17
[01.03] Planificació temporal	7/03/17	10/03/17
[01.04] Elaboració Pla de Treball	11/03/17	15/03/17
Lliurar PAC-1 Planificació del TFG	13/03/17	13/03/17
[02] [PAC-2] Anàlisi i necessitats del projecte	14/03/17	10/04/17
[02.01] Evolució del PLC	14/03/17	15/03/17
Tasca-1 Anàlisi i estudi	15/03/17	15/03/17
[02.02] Estudi de l'acoblament del senyal	14/03/17	24/03/17
[02.02.01] Acobladors PLC	14/03/17	17/03/17
[02.02.02] Xarxa elèctrica i afectació elements maniobra	18/03/17	21/03/17
[02.02.03] Anàlisi de la infraestructura elèctrica	22/03/17	24/03/17
Tasca-2 Estudi de la infraestructura d'acoblament	24/03/17	24/03/17
[02.03] La xarxa real i la seva arquitectura	25/03/17	10/04/17
[02.03.01] Pros del PLC en les xarxes elèctriques	25/03/17	28/03/17
[02.03.02] Contres del PLC en les xarxes elèctriques	29/03/17	1/04/17
[02.03.03] Comparatius de les altres solucions tecnològiques	2/04/17	3/04/17
[02.03.04] Les modulacions	4/04/17	5/04/17
[02.04] Elaboració de la documentació	6/04/17	10/04/17
Lliurar PAC-2	10/04/17	10/04/17
[03] [PAC-3] Implementació i proves	11/04/17	15/05/17
[03.01] Tramitació treballs programats A.T.	11/04/17	12/04/17
[03.02] Verificació Acobladors i accessoris a instal·lar	13/04/17	14/04/17
[03.03] Anàlisi del canal amb generador de funcions i analitzadors	15/04/17	20/04/17
[03.04] Configuració i connexió dels equips PLC	21/04/17	26/04/17
[03.05] Anàlisi del canal a nivell físic	27/04/17	30/04/17
[03.06] Anàlisi del requeriments del IEC 61850 canal a nivell físic	1/05/17	7/05/17
Tasca-3 Valoració mesures obtingudes	7/05/17	7/05/17
[03.07] Elaboració documentació	8/05/17	15/05/17
Tasca-4 Proposta d'acoblament	14/05/17	14/05/17
Lliurar PAC-3	15/05/17	15/05/17
[04] [PAC-4] Documentació i valoració econòmica	16/05/17	19/06/17
[04.01] Revisió i depuració d'error	16/05/17	23/05/17
[04.02] Elaboració de la memòria	24/05/17	4/06/17
Tasca-5 Valoració econòmica	31/05/17	31/05/17
Tasca-6 Disseny i metodologia de instal·lació	3/06/17	3/06/17
[04.03] Elaboració de la presentació Virtual	5/06/17	19/06/17
Tasca-7 Documentació	19/06/17	19/06/17
Lliurar PAC-4	19/06/17	19/06/17
[05] Debat virtual	28/06/17	30/06/17

Figura 1 Tasques

Les tasques que han conformat el treball, han estat estructurades com a primer pas previ al Gantt amb la finalitat de definir les etapes i activitats de com ha estat organitzat el treball.

Aquesta acció ajuda a la identificació de fites les quals, no solament han permès mantenir el focus del treball, sinó, també han estat necessàries per determinar amb major precisió, el compliment de l'evolució segons el cronograma.

Les fites han ajudat a no perdre de vista les dates claus com poden ser el terminis de lliurament de les diferents PAC així com el terminis importants, com per exemple els referent s a la coordinació entre l'empresa i l'estudiant.

1.7 Diagrama de Gantt

Utilitzant el **Gantt Project** i considerant la data d'inici del projecte 22/02/2017, la planificació ha estat la següent:

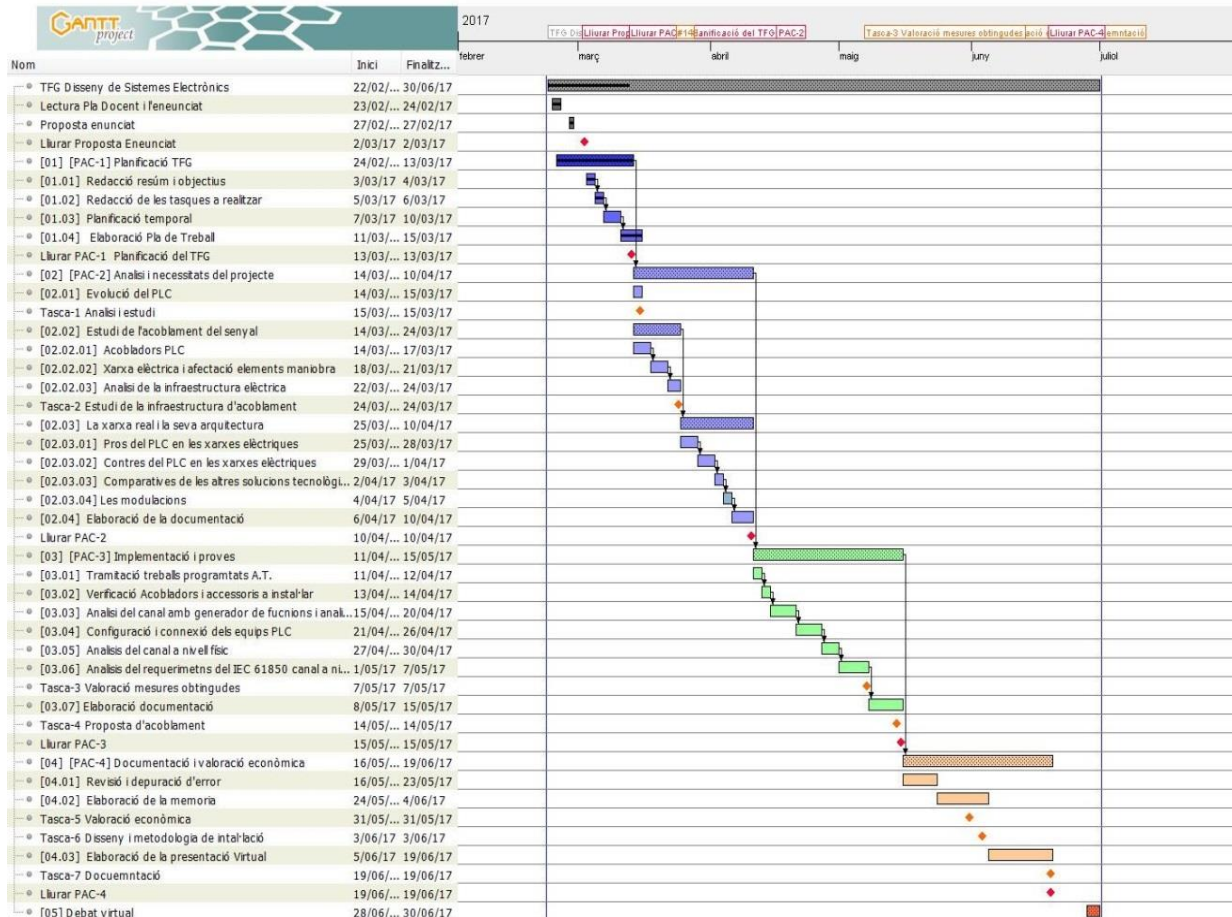


Figura 2 Gantt

El diagrama de la Figura-2, s'ha estructurat en sis (6) agrupacions identificades per les numeracions [00] fins les [05] al mateix torn, amb colors diferenciats a la barra temporal.

Cada inici d'una PAC s'identifica amb [0x] de manera que, la primera barra engloba el conjunt de capítols del diagrama. Amb els subapartats que componen als subtasques per obtenir la fita que coincideix amb el lliurament de les respectives PAC identificat amb un rombe de color vermell.

El rombe de color taronja, situa en cada conjunt les diferents tasques que s'han desenvolupat.

El Gantt ha estat dissenyat de la forma més esquemàtica possible amb la finalitat de transmetre la informació més important, de manera que, ha estat d'ajut en el decurs del treball.

Tal com es pot veure en el Gantt, en l'eix vertical, s'han ubicat les tasques a desenvolupar mentre que a l'eix horitzontal s'ha representat els temps amb "el dia" com unitat.

1.8 Diagrama de Pert

El següent diagrama correspon a la representació gràfica de les relacions entre les tasques del projecte que ha permès calcular el temps del projecte d'una forma senzilla, tal que:

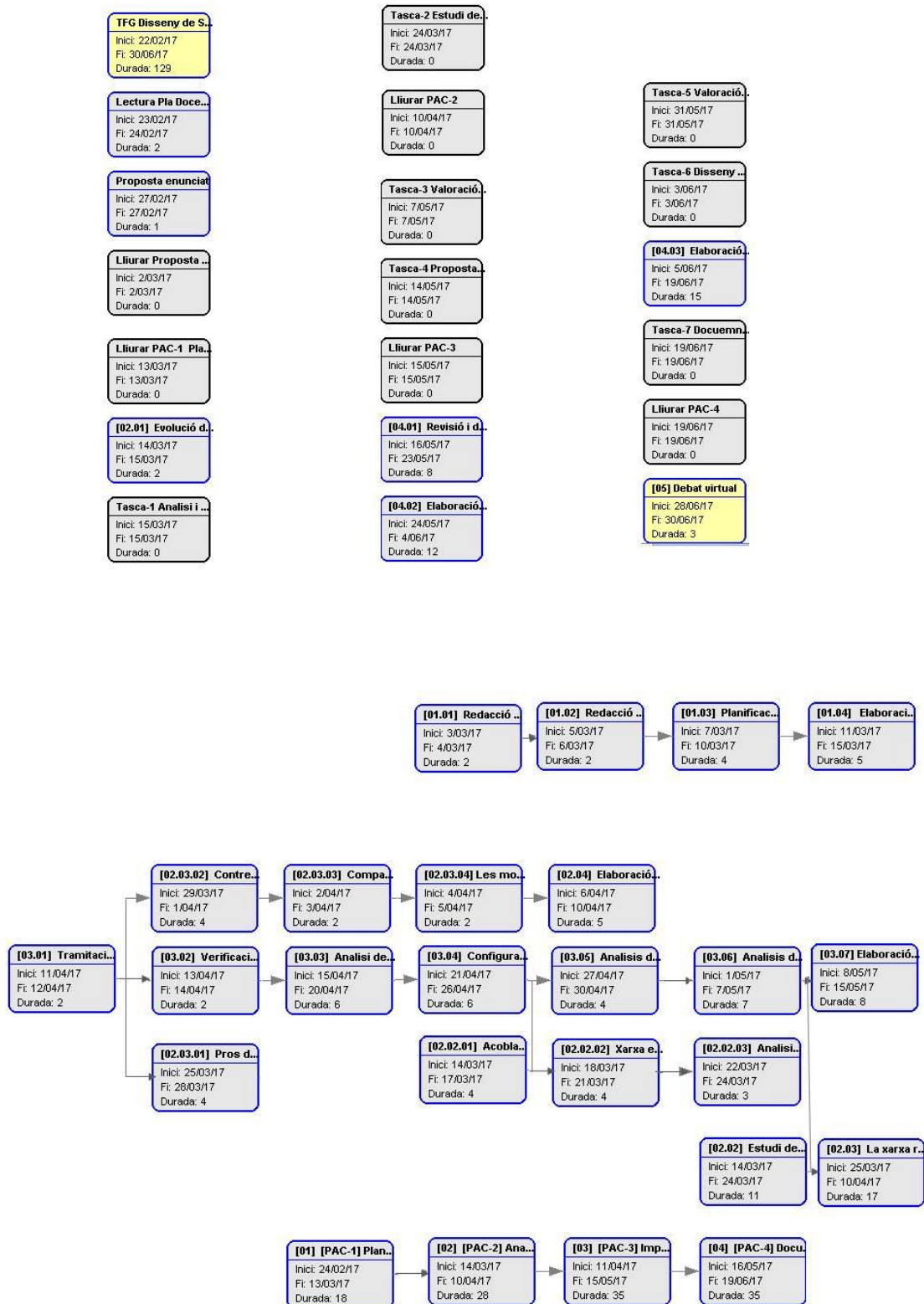


Figura 3 Pert

Aquest diagrama (Figura-3), les fletxes representen les relacions amb les diferents tasques del treball i els nodes amb rectangles del graf, mostren instants del projecte.

Per tant, aquest diagrama permet obtenir els inicis mínims i els finals màxims de la totalitat de les tasques del treball.

2. Anàlisi i necessitats del projecte

S'ha considerat d'interès amb la finalitat de centrar el TFG, previ a l'anàlisi i necessitats, explicar l'evolució de la tecnologia PLC.

2.1. Evolució del PLC

A EyPESA, les telecomunicacions a través de les línies elèctriques van ser implantades en l'any 1986 per unir dues subestacions de la xarxa de subtransport elèctric al nivell de tensió de 40 kV.

Els sistemes de telecomunicacions *Power Line Carrier*, (PLC) transmetien senyals de veu i canals telegràfics a velocitats que anaven des de 50 bit/s fins 1.200 bit/s esdevenint una xarxa bàsica de comunicacions molt fiable per poder gestionar les centrals hidroelèctriques i protegir la xarxa elèctrica primària les quals, estaven localitzades en les zones allunyades dels consums.

La seqüència temporal a grans trets, ha estat:

- 1950: pel control d'enllumenat públic i control remot de repetidors utilitzant una freqüència de 10 Hz i 10 kW de potencia de telecomunicacions en un sol sentit.
- 1970: comencen a instal·lar-se els primers equips d'ona portadora a les elèctriques en modulació en amplitud amb comunicació asíncrona o en una direcció a la banda que va des dels 40 kHz fins els 500 kHz.
- 1997: primeres proves del *Power Line Communications* (PLC) per la transmissió de senyals bidireccionals de dades mitjançant la xarxa elèctrica d'alta tensió.
- 2000: es fan les primeres proves a França per *Electricité du France* (EDF) i ASCOM.

Però, el *Power Line Communication*, és a dir, l'ús de la infraestructura elèctrica per a la transmissió de dades, s'està instal·lant sota el context de la xarxa intel·ligent.

Les línies de mitja tensió a Espanya, estan dins de l'interval de tensió que va des de 1 kV, fins a 36 kV, aquestes línies de distribució, estan connectades a les línies d'alta tensió a través de subestacions de transformació primàries. Les línies de MT s'utilitzen per a la distribució d'energia entre les ciutats, pobles i clients industrials amb grans consums.

Les línies elèctriques, poden ser, línies aèries o subterrànies. A més, en entorns urbans, presenten una estructura majoritàriament en forma de bucle, amb l'objectiu de permetre la transmissió de dades entre aquestes instal·lacions amb redundància del canal.

Els objectius de les xarxes intel·ligents, inclouen la integració de fonts d'energia renovable intermitents en la cadena de subministrament d'electricitat, assegurar el lliurament fiable d'electricitat, i l'ús de la infraestructura elèctrica existent de manera més eficient. Dins del marc del PLC i en concret en el context de la xarxa intel·ligent, les diferents especificacions actuals estan segons els següents estàndards:

- G3-PLC, [1],
- PRIME, [2],
- Meters & More [3],
- HomePlug GREEN PHY [4],
- HomePlug AV2 [5], i
- els estàndards:
 - o IEEE 1901 [6],
 - o IEEE 1901.2 [7],
 - o ITU-T G.hn/G.hnem [8].

Principis operatius:

La tecnologia BPLC de banda ampla pot transmetre dades a través de la xarxa de distribució elèctrica de mitja tensió i, per tant, estendre una xarxa d'àrea local existent per permetre connexió dels diferents dispositius distribuïts per les instal·lacions elèctriques.

El principi funcional del PLC consisteix en superposar un senyal d'alta freqüència (d'1,6 a 30 MHz) en nivells baixos d'energia a través d'un senyal elèctric de 50 Hz o 60 Hz segons el país. Aquest segon senyal es transmet a través de la infraestructura elèctrica i es pot rebre i descodificar de manera remota. D'aquesta manera, rebrà el senyal qualsevol receptor PLC que s'ubiqui a la mateixa xarxa elèctrica degudament acoblat en aquesta. Per això, un acoblador integrat en els punts d'entrada del receptor PLC elimina els components de baixa freqüència abans que es procedeixi al tractament del senyal.

Marc legal i normatiu:

Qualsevol tipus de tecnologia que funcioni en una banda de freqüència definida, ha de situar-se dins d'un marc legal.

Les xarxes PLC són, al mateix temps, xarxes de subministrament elèctric i de telecomunicacions. Per aquest motiu, a les autoritats els va resultar difícil definir el seu marc legal. Pel que fa a les instal·lacions elèctriques d'alta i baixa tensió, correspon a l'autoritat reguladora de telecomunicacions, concedir els permisos per a realitzar proves sempre que la tecnologia estigui encara en desenvolupament i no s'hagin publicat els estàndards.

Els cables de la línia elèctrica no van ser dissenyats per transportar senyals de comunicació i, per tant, donen lloc a emissions conduïdes, així com, l'emissió radiada que pugui interferir, per exemple, amb la ràdio amateur o receptors de ràdio. La regulació sobre la compatibilitat electromagnètica pel senyal PLC en línies elèctriques (EMC), distingeix entre:

PLC de Banda Estreta NB-PLC [9].

PLC de Banda Ampla BPLC [10].

Les regulacions NB-PLC treballen amb l'espectre de 3 kHz fins al voltant de 500 kHz.

La Banda de 40 a 500 kHz, és on es troben els tradicionals sistemes d'ones portadores, les quals fan possible enllaços punt a punt de llarga distància sobre línies elèctriques d'alta tensió. En aquest cas, la banda està dividida en canals de 4 kHz i es regeixen per les recomanacions de la CEI-60663 i CEI-60495. En les darreres generacions dels equips d'ona portadora digitals, s'han assolit velocitats de 256 kbit/s amb canalitzacions de 64 kHz.

La següent taula, llista les regulacions més important relacionades amb el BPLC:

País	Freqüència [kHz]	Organisme
Japó	10-450	Association of Radio Industries and Businesses (ARIB)
USA	10-490	Federal Communications Commission (FCC)
UE	3-148,5	Comité Européen de Normalisation Électrotechnique (CENELEC)

Per ser un subconjunt de totes les altres bandes, el *Comitè Europeu de Normalització Electrotècnica* (CENELEC) les agrupen en quatre bandes tals que es defineixen com:

Banda-A: (3-95 kHz),
 Banda-B: (95-125 kHz),
 Banda-C: (125 a 140 kHz), i
 Banda-D: (140-148,5 kHz).

A més d'especificar els límits de transmissió i els seus procediments de mesura, la norma CENELEC [11] definida en la EN 50065 també ordena que la **banda-A** només pot ser utilitzada pels proveïdors d'energia. Aquest fet, va fer possible que els comptadors intel·ligents comuniquin amb els concentradors dels centres de transformació per el que es va denominar Servei de Telegestió [12]. Aquest sistemes solen ser punt-multipunt i les velocitats màximes obtingudes no superen els 9,6 kbit/s.

Centrant aquest treball en el BPLC, s'ha de diferenciar entre dos rangs de freqüència:

- 2 MHz a 30 MHz, i
- 30 MHz a 100 MHz destinat per xarxes interior per hotels i llars fora de l'abast d'aquest treball.

El *Comité International Spécial des Perturbacions Radioélectriques* (CISPR), es va fundar en el 1934 i ara forma part de la *International Electrotechnical Commission* (IEC), està treballant per regular les interferències que genera el BPLC. Al principi, el CISPR 22 [13] va definir dos conjunts de límits i mètodes de mesura per a emissions conduïdes d'equips de telecomunicacions. Un conjunt de límits, es va definir per al port de telecomunicacions, i l'altre per al port de xarxa.

Pels mòdems PLC, no està definit si el port de senyal de PLC es considera com una xarxa elèctrica o com a port de telecomunicacions, ja que al mateix temps, s'utilitza per a la font d'alimentació. El mètode pels ports de telecomunicacions, respecten les propietats de simetria del cable d'alimentació. En les aplicacions per instal·lacions elèctriques de mitja tensió, el rang de freqüències més comunament utilitzat és el que va des d'2 MHz fins als 30 MHz el port és mitjançant un cable RG-58 (50 Ω) que lliura l'energia a un acoblador amb la finalitat d'induir el senyals d'alta freqüència en un cable elèctric de mitja tensió. No obstant això, en aquest cas, també apareixen asimetries com a conseqüència de la posició dels interruptors-seccionadors de maniobra que hi ha en una xarxa de distribució elèctrica. Amb la tecnologia disponible, les velocitats màximes obtingudes han estat de 200 Mb/s.

2.2. Estudi de l'acoblament del senyal

Primerament, caldrà caracteritzar el canal de telecomunicacions del medi elèctric el qual, es pot definir com una línia de transmissió en la que té quatre paràmetres que afecten la seva capacitat per complir la seva funció com a part d'un sistema de potència: resistència, inductància, capacitància i conductància. Aquests mateixos paràmetres són de gran importància per a la

determinació de les propietats de la tecnologia BPLC per transportar senyals de telecomunicacions.

Els valors de resistència, inductància, capacitància i conductància, també són coneguts com els paràmetres primaris de les línies.

Es defineixen dos paràmetres de la línia de transmissió:

- La seva impedància característica Z_0
- La constant de propagació γ .

Tots dos paràmetres són nombres complexos i són funció de la freqüència f i dels paràmetres primaris [(Neri, 2002)] [14].

L'anàlisi detallada de cada un d'aquests paràmetres no és objecte d'aquest treball no obstant, l'anàlisi de la magnitud de la funció de transferència que hi ha entre dos punts d'una línia de potència està bàsicament determinada per tres paràmetres: la longitud del cable, el tipus del cable i la configuració dels alimentadors.

Es pot deduir que per a altes freqüències la funció de transferència per a xarxes de mitja tensió diferents, els anteriors paràmetres seran diferents.

Les línies tenen una resistència R' , inductància L' , capacitància C' , conductància G' per unitat de longitud, i totes augmenten amb la longitud de la línia. G' té una forta dependència per tipus d'aïllament del cable.

En països europeus s'han estat efectuant moltes mesures per a cables amb aïllament de PVC amb diferents longituds i per a diferents freqüències (Banwell, 2003) [15] els resultats es mostren a la Figura-4.

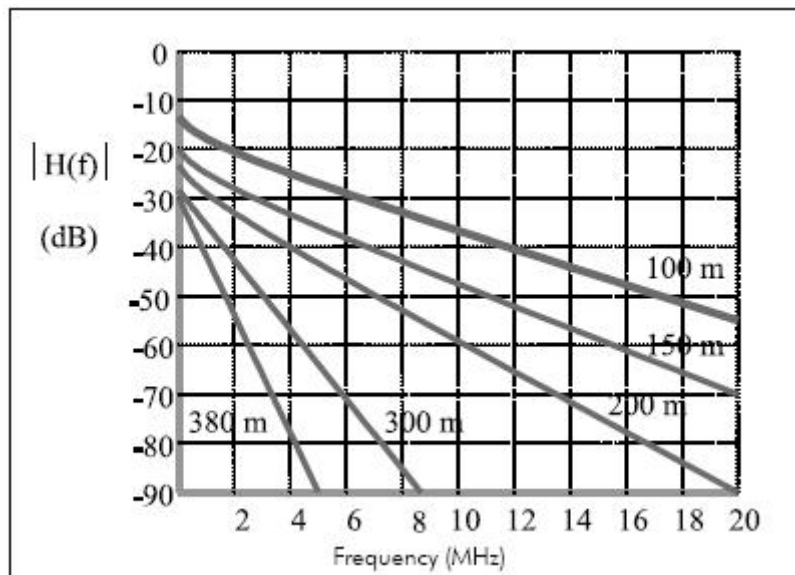


Figura 4 Magnitud de la funció de transferència per a diferents longituds i freqüències [font: T.C. Banwell & S. Gall]

S'observa que l'atenuació augmenta ràpidament en incrementar la longitud dels conductors i que també augmenta amb l'increment de la freqüència. Addicionalment a aquesta informació desfavorable d'atenuació cal sumar els diferents efectes de la interferència electromagnètica com a conseqüència de l'espectre de freqüències que utilitza el BPLC (des de 2 MHz fins a 30 MHz)

A altes freqüències dels cables presenten fuites en forma de radiació electromagnètica, comportant-se com antenes de baixa eficiència (Zimmermann i Dostert, 2002) [16]. Aquesta forma de radiació produeix interferència amb les comunicacions de ràdio principalment en les freqüències entre 1 a 20 MHz, bandes assignades a AM i radionavegació. Per tant, cal gestionar adequadament la compatibilitat electromagnètica (EMC) amb aquest tipus de comunicacions.

El grau d'interferència depèn de la potència de transmissió, de la distància i de la configuració dels cables. Més exactament, la fracció de potència radiada està determinada per la simetria de la xarxa, i aquesta simetria està definida en termes de la impedància entre conductors.

Un esquema bàsic d'una xarxa BPLC, és el que es mostra a la Figura-5. Representa un transmissor, amb la seva respectiva impedància de sortida, un receptor amb la seva corresponent impedància d'entrada, la línia elèctrica (canal) i els circuits d'acoblament.

Són els circuits d'acoblament els que permeten l'acoblament i desacoblament dels senyals de telecomunicacions. En essència són filtres passa-alts que separen els senyals de l'electricitat dels senyals de les telecomunicacions.

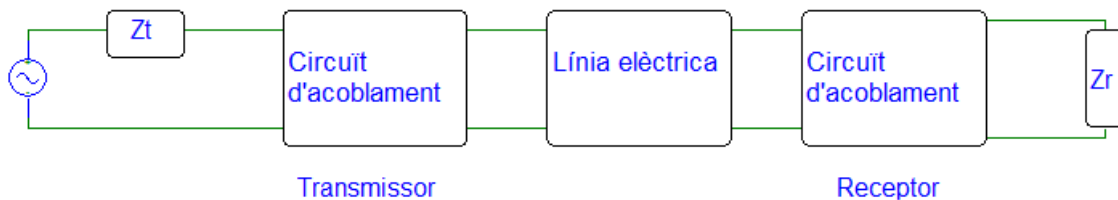


Figura 5 Esquema bàsic del canal PLC

En els canals convencionals de telecomunicacions, les impedàncies de sortida del transmissor Z_t i d'entrada al receptor Z_r són valors estables, permetent un acoblament senzill dels circuits. El canal PLC presenta impedàncies que varien no només amb la corrent I del circuit elèctric sinó també amb la freqüència f , és a dir, que és un canal variant en el temps i amb la freqüència.

L'optimització d'un esquema de transmissió pot fer-se només després de disposar d'un model exacte de la xarxa, per això una forma, és considerar el canal de la Figura-6 que té en compte els següents aspectes:

- 1.- Atenuació variant en el temps i amb la freqüència.
- 2.- Dependència de la xarxa respecte la localització, topologia i tipus de càrrega.
- 3.- Alta interferència pel soroll produït pel tipus de càrregues connectades.
- 4.- Soroll impulsiu.
- 5.- Mesures EMC que limiten la potència de transmissió.

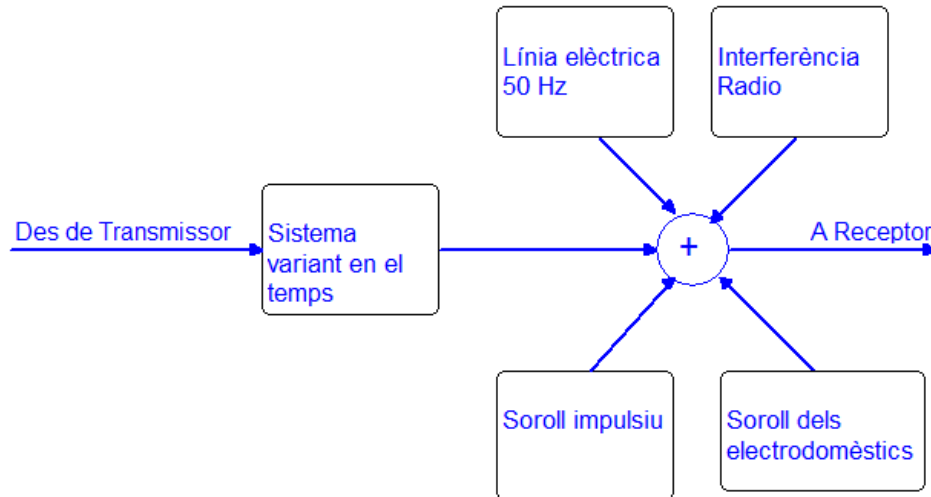


Figura 6 Esquema de detall d'un canal PLC.

2.2.1. Acobladors PLC

Els acobladors són els accessoris necessaris per injectar i recuperar el senyal de PLC al llarg de les línies elèctriques, les quals, són el mitjà de transmissió de la tecnologia PLC.

Els acobladors han de complir la normativa de seguretat elèctrica establerta per les companyies elèctriques per a la instal·lació d'equips de mitja tensió, al mateix temps que les pèrdues de la inserció del senyal de comunicació hauran de ser les mínimes possibles.

Una correcta adaptació dels acobladors del senyals PLC entre les impedàncies presentades pels equips de telecomunicacions i els cables de mitja tensió, en el rang de freqüències que s'utilitza en el PLC de banda ampla, esdevé com un dels factors que determinen les característiques de transmissió entre estacions transformadores.

Els fabricants d'acobladors PLC de banda ampla, els dissenyen per complir amb els estàndards elèctrics i al mateix torn, permetre l'accés de les interfícies de comunicacions a la xarxa elèctrica de mitja tensió amb la seguretat que requereix.

Per tant, les tècniques d'acoblament del senyal d'alta freqüència sobre les xarxes elèctriques de mitja tensió, esdevenen com un factor clau pel disseny d'una xarxa BPLC.

Una de les característiques que han de complir els acobladors, són les mides que aquestes, han de ser petites per poder ser instal·lats en les instal·lacions elèctriques, on els espais són reduïts a més de que han de mantenir unes distàncies de seguretat i també, unes connexions a les xarxes de posada a terra, per assegurar els dispositius i les persones de possibles sobretensions.

L'acoblament del senyal en una xarxa de mitja tensió, és possible amb qualsevol dels següents tipus:

- Capacitiu mitjançant el conductor actiu d'una de les fases de mitja tensió,
- Inductiu mitjançant el conductor actiu d'una de les fases de mitja tensió,
- Inductiu mitjançant les malles dels cables radials de mitjan tensió.

L'acoblament capacitiu, bàsicament s'acobla a la tensió de la fase activa del cable de mitja tensió i en canvi, els inductius l'acoblament és per inducció a la fase activa o al cable radial de posada a terra, amb al corrent d'alta freqüència.

Acoblament capacitiu

L'acoblament s'aconsegueix a través de la connexió d'un condensador directament en el cable de mitja tensió i d'un circuit de sintonització (Figura-7). Bàsicament, el sistema treballa com un filtre, on el principal objectiu és fer coincidir la impedància característica de la línia de distribució i la impedància del terminal de comunicació.

Aquesta solució d'acoblament requereix la connexió física amb la línia elèctrica, de manera que l'aïllament i el que això comporta, són paràmetres molt importants.

Aquest acobladors, optimitzen l'ample de banda disponible de manera que presenten una molt bona adaptació de les impedàncies entre la línia elèctrica de mitja tensió i l'equip PLC de telecomunicacions.

Aquest tipus de dispositius, han de poder obtenir un alt nivell d'aïllament entre la xarxa de 50 Hz i els equips de telecomunicacions amb la finalitat d'oferir la màxima seguretat pel personal qualificat que ha de treballar amb aquesta tecnologia i els equips en sí.

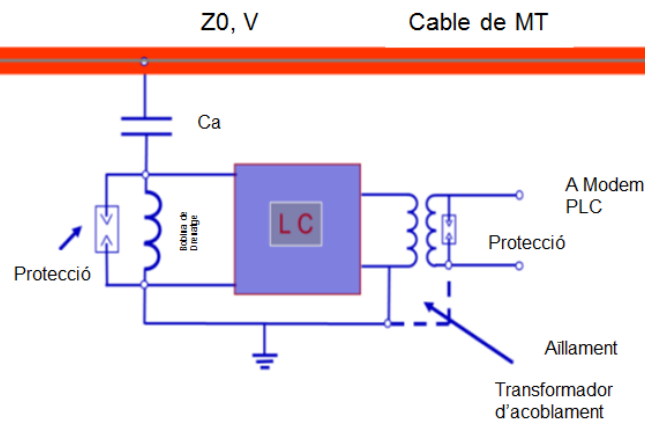


Figura 7 Esquema d'un acoblador capacitiu

Aquest acobladors es poden instal·lar en les xarxes elèctriques de mitja tensió aèries [17] o soterrades [18] respectant les condicions de treball i operació.

Acoblament inductiu

El principi de funcionament dels acobladors inductius es basa en el dels transformadors, això significa que no és necessari cap tipus de connexió física entre el acoblador i el nucli del cable de la línia (Figura-8). El nucli magnètic abraça el cable aïllat de distribució i el senyal PLC s'acobla a la línia per mitjà d'inducció magnètica.

Els acobladors inductius, estan dissenyats per a ser instal·lats en línies subterrànies aïllades i apantallades de mitja tensió.

Una altra característica important d'aquest mètode d'acoblament, és la capacitat que presenta el nucli magnètic per suportar altes intensitats en el conductor sense provocar la saturació magnètica en el propi nucli.

Per acoblar el senyal amb acobladors inductius, és possible amb tres metodologies:

Acoblament intrusiu per mitjà de la pantalla del cable radial:

Aquest mètode realitza la comunicació entre la terra i la pantalla, com si fos un sistema d'un sol conductor.

Acoblament no intrusiu per mitjà de la pantalla del cable radial:

Aquest mètode realitza la comunicació entre terra i la pantalla, com si fos un sistema d'un sol conductor. Aquest mètode és igual que l'anterior però la transferència de senyal, normalment és molt més dèbil.

Acoblament no intrusiu, per mitjà del nucli del cable radial:

Aquest mètode s'acobra el senyal d'alta freqüència, sobre tot el cable soterrat, però té un gran desavantatge respecte als altres acoblaments i és que té una alta dependència del corrent en el conductor a causa de la saturació magnètica del nucli.

En general, tots els mètodes inductius tenen l'inconvenient que depenen de la càrrega i la seva instal·lació és més delicada ja que cal fer una espira amb el cable radial de posada a terra, per evitar que el senyal induït es cancel·li.

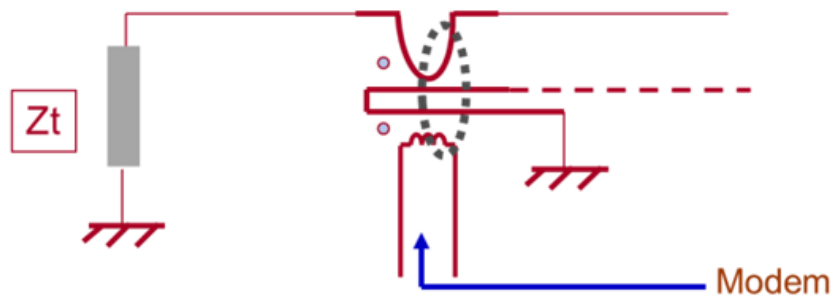


Figura 8 Esquema d'un acoblador inductiu.

2.2.2. La xarxa elèctrica de mitja tensió i l'afectació amb els elements de maniobra.

Aquest apartat, té com objectiu, el d'explicar, fer un anàlisi de la topologia i les característiques d'una xarxa elèctrica de mitja tensió (Figura-9). A Espanya la cadena de producció i distribució d'energia elèctrica està estructurada en quatre etapes:

Generació:

És el primer pas i bàsicament consisteix en transformar algun tipus d'energia no elèctrica en energia elèctrica.

Transport:

Correspon al següent pas i la seva funció és la de transportar la energia elèctrica generada de les grans centrals fins als grans centres de consum.

Distribució:

És on es fa el lliurament de l'energia elèctrica entre les subestacions de transport fins a les llars, comerços i indústries mitjançant diferents nivells de transformació per reduir la tensió als valors de 230Vac o 400Vac.

Comercialització:

Realitza la compra-venda d'energia elèctrica.

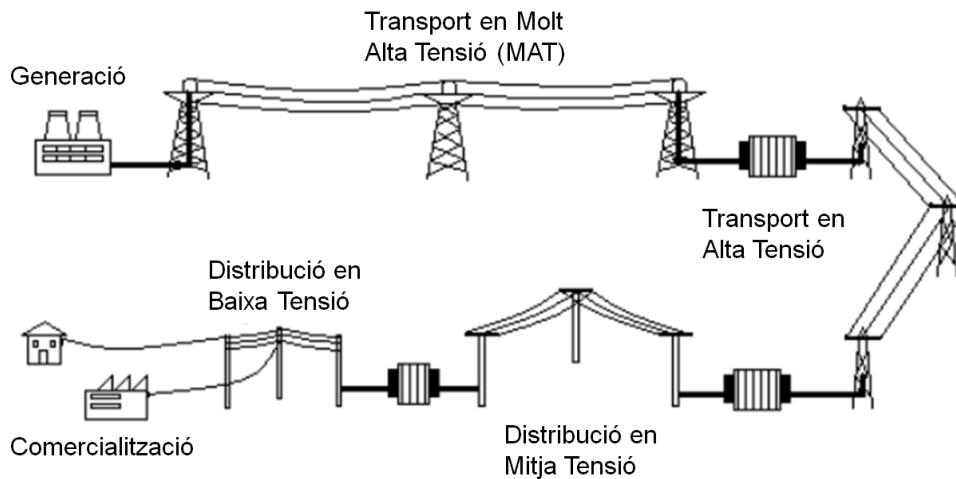


Figura 9 Cadena de producció, transport i distribució d'energia elèctrica [Font: Internet]

Topologia dels circuits primaris de les xarxes de distribució.

Els circuits primaris són els que recorren els sectors urbans i rurals del país per subministrar potència als transformadors de distribució a tensions assignades que van des dels 3 kV fins a 25 kV (per al cas de Catalunya), aquests circuits poden conformar un sistema radial, en un sistema en anell o en un sistema emmallat.

Sistemes radials:

Els sistemes radials són aquells en que des d'una subestació surten un o més alimentadors. Cada un d'ells pot o no ramificar, però mai tornen a trobar un punt comú. Aquests sistemes són senzills i fàcils de controlar i protegir per tant són els més econòmics, però són els que ofereixen una menors qualitat de servei [19].

Sistemes en anell:

Els sistemes en anell permeten millors condicions de qualitat de servei al ser alimentats en paral·lel des de diverses fonts alhora, mitjançant línies que parteixen d'una subestació i tornen a la mateixa o una altra, per tant, el sistema sempre té un camí alternatiu per poder assegurar el subministrament elèctric. El nombre d'anells formats és sempre reduït i cadascú pot contenir derivacions més o menys importants i ramificades.

Sistemes emmallats:

Els sistemes emmallats són aquells en què totes les línies formen anells, obtenint-se una estructura similar a una malla de manera que s'obté la màxima seguretat, encara que, amb un major cost.

EyPESA disposa d'una topologia de xarxa de distribució segons el model europeu (Figura-10) el qual, consisteix en un sistema de tres fases on el punt neutre del transformador de la subestació està amb connexió a terra amb resistències o inductàncies que limiten les corrents de falla a terra. Els transformadors dels centres de transformació, els neutres de la baixa tensió estan connectats directament a terra mentre que els enrotllaments de mitja tensió, majoritàriament són en triangle.

Actualment en les zones urbanes, els cables típicament estan soterrats amb transformadors de distribució amb una potència mitjana de 400 kVA per subministrar energia elèctrica a unes 140 llars, també, de mitjana.

La xarxa elèctrica d'EyPESA està connectada a la xarxa de transport de *Red Eléctrica de España* (REE) en dues subestacions al nivell de tensió primària de 220 kV i gràcies als transformadors, es redueix la tensió a 40 kV començant en aquests punts la seva xarxa de subtransport que connecta un total de 23 subestacions on es realitza una segona transformació per reduir la tensió des de 40 kV fins a 20 kV, 5,25 kV o 3,15 kV.

Els 760 centres de transformació que disposa, és el lloc que hi han els transformadors que realitzen la darrera reducció de tensió a nivell de baixa tensió que són sistemes a quatre fils de 400 V (F-F)¹ 230 V (F.N)² i/o 230 V (f-f) 127 V(F-N).

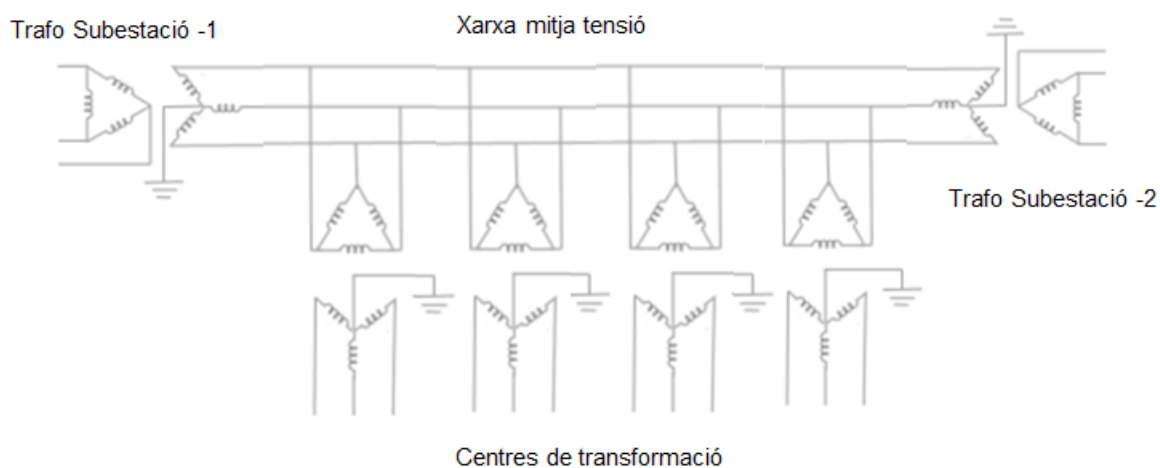


Figura 10 Model Europeu de distribució

Una xarxa de distribució en mitja tensió elèctrica disposa d'unes característiques que determinen les propietats elèctriques, com són la conductància dels cables, la constant dielèctrica de l'aïllant i les seves propietats físiques, com el diàmetre del cable i les separacions entre conductors.

Aquestes propietats també determinen les constants elèctriques primàries: resistència en sèrie R , inductància en sèrie L , capacitància de derivació C , i la conductància de derivació G . La resistència i la inductància afecten en la longitud de la línia, mentre que la separació entre conductors o dielèctric determinen la capacitància i conductància [20].

Aquest paràmetres primaris s'han de caracteritzar tenint en compte que a altes freqüències, la conductància per unitat de longitud augmenta a causa de les pèrdues del dielèctric i la resistència per unitat de longitud, augmenta amb la freqüència a causa de l'efecte pel·licular. La distribució de la conductància sovint es pot menysprear en comparació amb la distribució de la capacitància.

La resistència en sèrie amb la inductància, pot ser reemplaçada per resistències i inductàncies connectades en sèrie, on a altes freqüències, la resistència de la inductància creix, fent que la resistència total creixi també i es generi una major atenuació del senyal d'alta freqüència.

Un model aproximat de les línies de mitjana tensió com a canal de telecomunicacions es presenta a la Figura-11 [21].

¹ F-F Voltatge mesurat entre fases

² F-N Voltatge mesurat entre fase i neutre

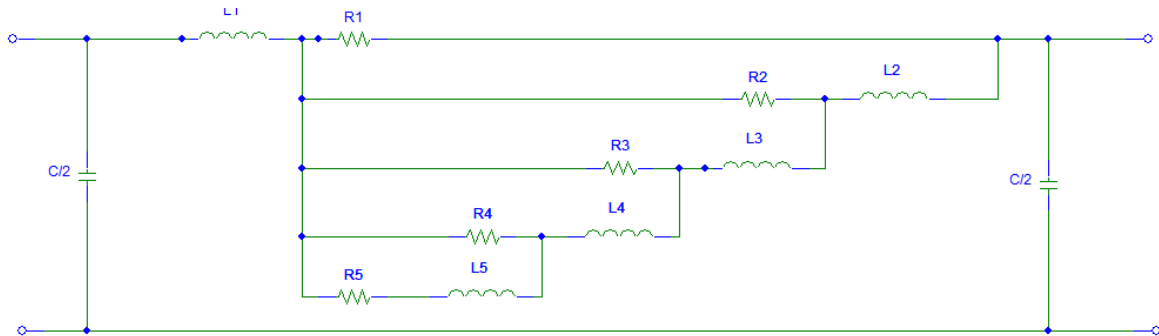


Figura 11 Model aproximat de les línies de mitja tensió com a canal de telecomunicacions

Resistència: l'atenuació és una conseqüència que provoca la pèrdua de potència que rep el receptor des del transmissor. Per una línia de transmissió a dos fils la resistència des del punt de vista de baixa freqüència ve donada per:

$$R_{BF} = \frac{2}{\sigma_c \cdot \pi \cdot r^2} \quad [1]$$

σ_c , és la conductivitat del material
 r , és el radi intern del conductor

Per alta freqüència, l'expressió ve donada per:

$$R_{AF} = \frac{2}{\sigma_c \cdot \pi \cdot a} \quad [2]$$

σ_c , és la conductivitat del material
 a , és la profunditat de la penetració

La profunditat de penetració ve donada per:

$$a = \sqrt{\frac{2}{\omega \cdot \mu \cdot \sigma_c}} \quad [3]$$

σ_c , és la conductivitat del material
 μ , és la permeabilitat del medi
 $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$

Conductància: per cables de mitja tensió aïllats, és funció de la freqüència i de les característiques del material aïllant. La Conductància G , ve donada per:

$$G = 2 \cdot \pi \cdot \frac{\omega \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r}{\ln\left(\frac{D}{r}\right)} \cdot \tan\delta \quad [4]$$

ϵ_0 , és la permeabilitat de l'espai lliure
 ϵ_r , és la permeabilitat relativa
 $\tan\delta$, és l'angle de pèrdua dielèctrica
 D , és la distància de separació entre centres de conductors
 r , és el radi extern del conductor

Inductància: com a conseqüència de que un conductor de la línia de distribució està en les proximitats dels altres i és tallat per tres fluxos de naturalesa diferent.

El primer flux correspon al que es forma pel corrent que circula des de l'exterior del conductor fins a l'infinit.

El segon flux, també es forma pel corrent que circula pel conductor i que es localitza a l'interior d'aquest.

El tercer flux, serà igual a la suma dels fluxos originats pels conductors propers recorreguts per les seves respectives corrents que també tallen el conductor considerat.

Aquests fluxos variables creen unes forces electromotrius auto-induïdes $E = -L \cdot \frac{\delta i}{\delta t}$ que amb els seus efectes s'oposen a les causes que les produeixen generant una reactància a la línia de valor:

$$X_L = \omega \cdot L \quad [5]$$

L correspon al coeficient d'autoinducció aparent de la línia i s'obté en base a la teoria i la formulació comunament conegudes per l'anàlisi de sistemes de potència i particularment per càlculs de línies de transport i distribució.

La inductància total d'una línia aèria monofàsica per unitat de longitud, es pot calcular com segueix:

$$L = 4 \cdot 10^{-7} \cdot \ln\left(\frac{D}{r \cdot e^{-\frac{1}{4}}}\right) \quad [6]$$

D , és la distància de separació entre els centres del conductors
 r , és el radi extern del conductor

Capacitància: apareix com a resultat de la diferència de potencial entre els conductors, provocant que aquests, es carreguin de la mateixa forma com si es tractés de les plaques d'un condensador quan se'ls aplica una diferència de potencial entre elles. La Llei de Gauss, explica que la càrrega elèctrica total dins d'una superfície tancada, és igual a la integral de la superfície de la component normal de la densitat del flux elèctric.

Aquesta ve donada segons:

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot k}{\ln\left(\frac{D}{r}\right)} \quad [7]$$

k , és la permitivitat del material que envolta el conductor
 D , és la distància de separació entre centres de conductors
 r , és radi exterior conductor

La propagació dels senyals d'altra freqüència aplicades a les xarxes elèctriques de mitja tensió, pateixen atenuacions les quals augmenten amb la longitud de la línia i la freqüència. Aquesta atenuació és funció de la impedància característica Z_L i la constant de propagació γ .

Per tant, ambdós paràmetres, es poden definir per la resistència, la conductància, la inductància i la capacitància els quals són dependents de la freqüència.

Impedància característica: es defineix com la impedància que es veu des d'una línia amb longitud infinita o també, la impedància que es veu en una línia finita que acaba amb una

càrrega totalment resistiva igual a la impedància característica de la línia. Pel rang de freqüències que treballa el BPLC (2 MHz – 30 MHz) s'obté que:

$$R \ll 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \quad [8]$$

$$G \ll 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \quad [9]$$

Per tant, gràcies a la dependència de la L i de la C a la freqüència, aquesta es pot menysprear de manera que s'obté l'expressió [22]

$$Z_L = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad [10]$$

Impedància característica: és de interès per expressar la constant d'atenuació i el desplaçament de fase per unitat de longitud d'una línia de transmissió. A mida que una ona es propaga al llarg de la línia de transmissió, la seva amplitud es va reduint amb la distància recorreguda, matemàticament, la constant de propagació és:

$$\gamma = \alpha + j\beta \quad [11]$$

α , és el coeficient d'atenuació
 β , és el coeficient de desplaçament

La constant de propagació és una quantitat complexa que ve definida per:

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L) \cdot (G + j\omega C)} \quad [12]$$

Com el BPLC treballa en el rang de freqüències (2 MHz – 30 MHz), $R \ll 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$ i $G \ll 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C$, la constant de propagació quedarà:

$$\gamma = \frac{1}{2} \cdot \frac{R}{Z_L} + \frac{1}{2} \cdot G \cdot Z_L + j\omega\sqrt{LC} \quad [13]$$

Tot i que Shannon va presentar la seva teoria matemàtica de la comunicació en que tots els canals de transmissió tenen una capacitat màxima teòrica la qual, depèn de l'ample de banda i la relació senyal soroll (SNR) [23] segons la formulació:

$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad [14]$$

C , és la capacitat teòrica màxima en bps
 B , és l'ample de banda del canal
 S , és la potència transmesa
 N , és la Potència del soroll

Però pel BPLC, no s'aplica directament ja que la relació senyal soroll, no és constant amb l'ample de banda. Però a la pràctica, la densitat de potència del senyal transmès $S_{nn}(f)$ i la densitat de potència del soroll $S_{rr}(f)$, són dependents de la freqüència llavors, si s'acota un rang, s'obté:

$$C = \int_{f_1}^{f_0} B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S_{rr}(f)}{S_{nn}(f)} \right) df \quad [15]$$

En base a l'objectiu d'aquest treball final de grau, que és el de determinar quines afectacions pot tenir l'acoblament del BPLC per poder ser usat segons l'estàndard IEC 61850 [24] per la connexió de dispositius entre els centres de transformació d'un distribuïdor elèctric, tot i que no és objecte del mateix, a continuació es fa una breu introducció sobre característiques dels centres de transformació i els elements de maniobra que els conformen amb la finalitat de identificar quins d'aquests elements podran afectar al senyal BPLC de la xarxa de distribució segons la seva configuració o estat.

Segons el reglament sobre centrals elèctriques, subestacions i centres de transformació, defineix aquest darrer com una instal·lació prevista d'un o diversos transformadors reductors d'alta tensió a baixa tensió amb l'aparellatge i obra complementària necessàries.

En qualsevol sistema elèctric (generació, transport i distribució d'energia elèctrica) els centres de transformació tenen una funció important la qual, consisteix en distribuir energia elèctrica a diferents voltatges i al mateix torn, permetre la connexió de línies i xarxes en qualsevol punt que es consideri convenient. Els centres de transformació, solen estar entre les subestacions i els usuaris.

Depenent de la missió i el seu emplaçament en la xarxa elèctrica, els centres de transformació es classifiquen segons:

- Alimentació:
 - o En punta.
 - o De pas.
- Propietat:
 - o Del distribuïdor.
 - o Del client.
- Emplaçaments:
 - o Intempèrie o aeri.
 - o Interior:
 - De superfície.
 - Subterrani.
- Escomesa:
 - o Aèria.
 - o Soterrada.
- Obra Civil:
 - o Convencional.
 - o Compacte semisoterrat.
 - o Compacte de superfície.
 - o De maniobra.
 - o Prefabricat.
 - o Prefabricats de superfície.
 - o Prefabricats soterrats.

Els elements que afectaran el senyal BPLC acoblat a la xarxa de mitja tensió, són:

Els seccionadors-interruptors de línia (Figura-12), que la seva funció és la de poder fer canvis en els diferents segments que conformen la xarxa de distribució en mitja tensió i també poder aïllar un tram de xarxa per treballs de manteniment o com a conseqüència d'una falla elèctrica.

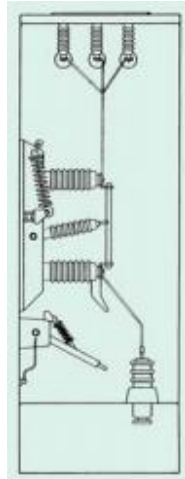


Figura 12 Seccionador-interruptor de línia d'un CT [Font: Cel·la CB-20 24 kV 400A Ormazabal]

Les terminacions (Figura-13) són els extrems dels cables de mitja tensió que connecten aquest amb qualsevol dels elements elèctrics. Els cables radials soterrats i les terminacions, esdevenen com a claus per fer l'acoblament del senyal d'alta freqüència a la línia elèctrica.

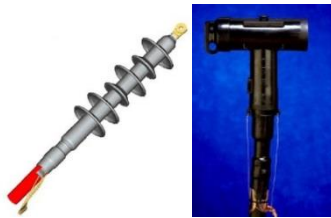


Figura 13 Terminacions per cables de mitja tensió [Font: Cables y Accesorios para Media Tensión de Prysmian]

Els transformadors de distribució (Figura-14), redueixen la tensió de mitja a baixa, tindran una afectació al senyal BPLC, segons sigui la configuració dels elements de maniobra donada la impedància del transformador Z_t .



Figura 14 Transformador de distribució MT/BT [Font: Magatzem EyPESA]

2.2.3. Anàlisi de la infraestructura elèctrica pel senyal PLC

Les necessitats per l'automatització per permetre les maniobres a la xarxa de mitja tensió, és un element bàsic per assolir una millora significativa en la qualitat del servei del subministrament elèctric per aconseguir:

1. Disminució del temps de resposta i reducció de la indisponibilitat associades a les incidències de la xarxa de distribució.
2. Adaptació de la topologia de la xarxa donats els canvis en les càrregues elèctriques de la distribució depenent de la franja horària, dia de la setmana, la estació, els nous punts de subministrament, entre d'altres.
3. Demés aplicacions menys importants com poden ser les connexions/desconnexions de les bateries de condensadors per la compensació de la potència reactiva.

Aquestes funcionalitats requereixen d'una alta disponibilitat per la seva gestió ja que ha de seguir funcionant independentment de les possibles fallades en el subministrament elèctric o per les incidències dels propis cables de mitja tensió els quals, són el medi de telecomunicació del BPLC. Per tot això, es fa necessari una redundància de camins físics i de sistemes d'alimentació que puguin funcionar de forma autònoma.

Pel que es refereix als requeriment d'ample de banda pels serveis anteriors, realment són baixos, és a dir poden ser $n < 9,6$ kb/s amb un tràfic que es genera de forma aleatòria depenent de les necessitats del moment. La latència no és un fenomen crític i es dona com a vàlid valors de 500 ms. La Figura-15, correspon a una topologia de la xarxa de mitja tensió:

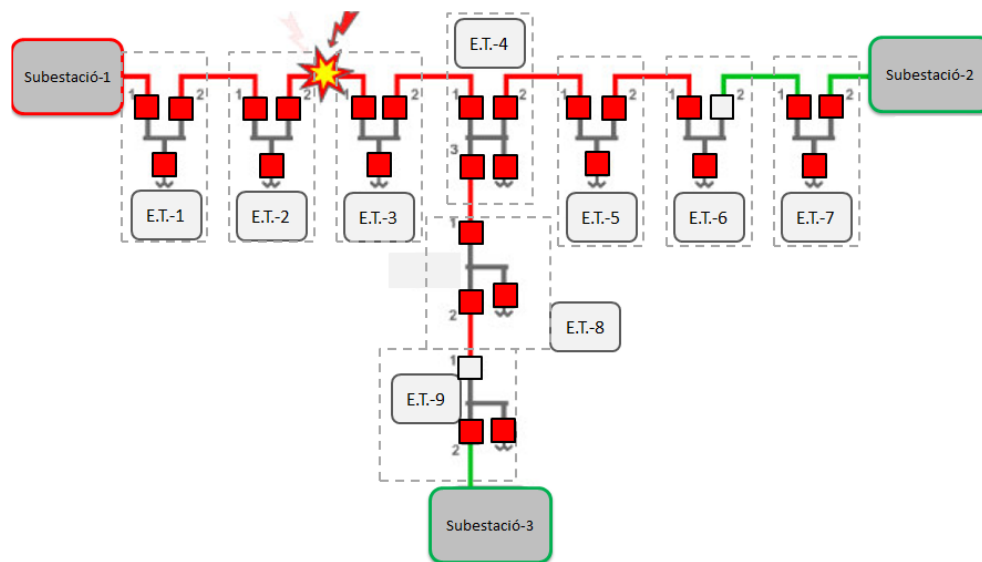


Figura 15 Esquema unifilar xarxa de distribució elèctrica.

De l'esquema de la Figura-15, es pot observar que la xarxa de mitja tensió està formada per diferents estacions transformadores MT/BT (E.T.). La topologia subjacent d'aquesta interconnexió pot ser considerada com una topologia d'anell mallada que proporciona una certa quantitat de redundància entre les E.T. Les estacions transformadores estan connectades de forma heterogènia, amb diversos tipus de diferents cables així com una combinació de línies aèries i subterrànies. Aquest treball, es centra, amb els cables subterrànies els quals, representen enllaços punt a punt amb càrregues i impedàncies relativament estables per permetre al BPLC ser un medi que permeti l'aplicació per les xarxes intel·ligents per permetre la connexió entre dispositius amb l'estàndard IEC 61850 amb requeriments de latència més exigents respecte al sistemes de telecomandament.

Un dels elements que cal considerar en les xarxes de mitja tensió soterrades, són les empiuladures ja que, poden donar lloc a la pèrdua de la transmissió o a una atenuació bastant alta (> 10 dB).

Una altra característica comuna de les xarxes de MT subterrànies és que múltiples cables poden compartir un conducte comú durant una certa distància. Depenent de la longitud d'aquests trams paral·lels, així com els tipus de cable, l'atenuació de la diafonia entre cables paral·lels pot ser bastant baixa, el que tindrà un impacte en canal entre les estacions transformadores.

Una de les restriccions per l'ús del BPLC en les xarxes de M.T. és que les distàncies d'enllaç llargues no permeten suportar un enllaç de qualitat. L'atenuació és un factor molt important i augmentarà amb la distància i la freqüència. Per això, en els enllaços més llargs de MT cal utilitzar freqüències a la part baixa de la banda per garantir una rendibilitat mínima.

En les xarxes d'EyPESA, s'utilitzen cables del tipus RHZ-1 amb aïllament 24 kV, en distàncies superiors a 500 m, s'han assolit velocitats superiors als 35 Mbit/s. Aquest treball es centrarà en un anàlisi de la xarxa urbana de la distribuïdora per obtenir velocitats mínimes de 100 Mbps. I les distàncies màximes que les poden suportar requerides pel IEC-61850.

Centrant el treball en les estacions transformadores, aquestes es poden identificar per cada estació els diferents elements que s'han descrit en l'apartat 2.2.2. de manera que, es pot modelar segons la Figura-16:

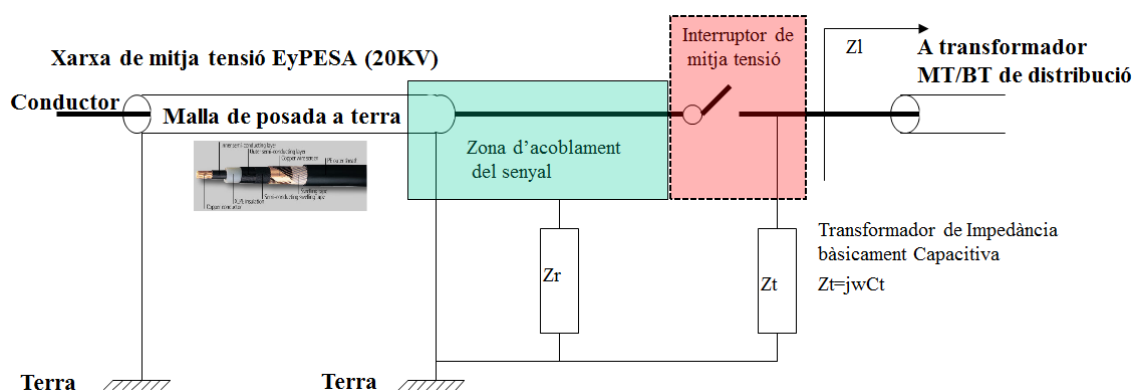


Figura 16 Components d'una estació transformadora en alta freqüència

Per l'acoblament capacitiu és millor un alt valor de la impedància Z_1 i una mínima capacitat del transformador C_t . Per l'acoblament inductiu s'aplica el contrari.

La impedància vista pel cable, serà el valor en paral·lel de Z_t, Z_1 i $Z_r \ll Z_t$, provocant un gran desajust, especialment quan l'interruptor està tancat. Quan l'interruptor de mitja tensió es tenc, el mode comú gairebé es cancel·la ja que la capacitat del transformador C_t es fa gran.

Per tant, el primer element de la infraestructura BPLC, és la línia de transmissió que com s'ha comentat, és el cable de mitja tensió.

La Taula-2, mostra les característiques dels cables soterrats de mitja tensió normalitzats per EyPESA.

Reactància a 50 Hz		Capacitat a 50 Hz	
Secció [mm ²]	Ω/ km	Secció [mm ²]	$\mu\text{F}/ \text{km}$
70	0,104	70	0,34
95	0,100	95	0,38
120	0,098	120	0,41
150	0,093	150	0,43
240	0,089	240	0,51

Taula 2 Cables RHZ-1 de Prysmian.

I la seva modelització (Figura-17) serà:

$$Z_0(\omega) = \sqrt{\frac{Z(\omega)}{Y(\omega)}} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \approx \sqrt{\frac{L}{C}} \quad [16]$$

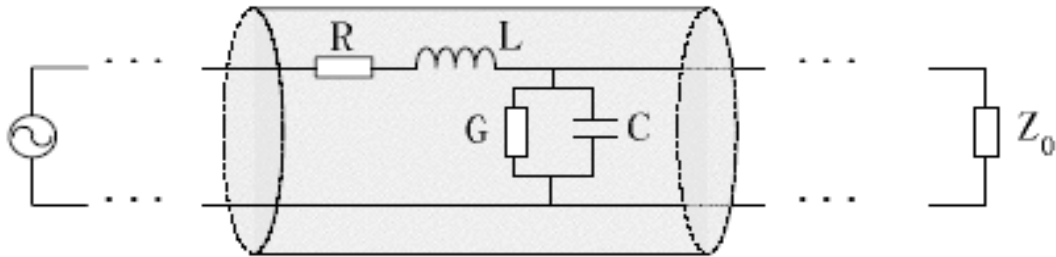


Figura 17 Esquema circuit equivalent cable mitja tensió.

Amb una estructura constructiva (Figura-18) segons:

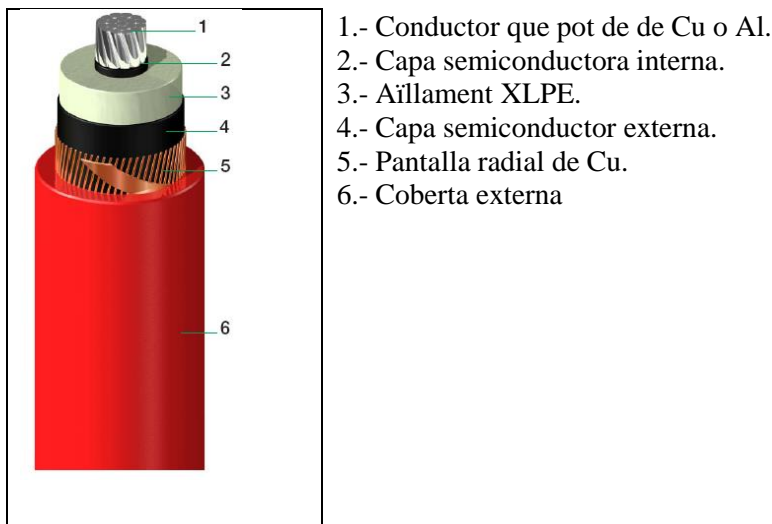


Figura 18 Parts d'un cable soterrat de mitja tensió [Font: Cables y Accesorios para Media Tensión de Prysmian].

2.3. La xarxa real i la seva arquitectura

En aquest apartat s'explica les diferents afectacions de l'acoblament del senyal BPLC a la xarxa elèctrica de mitja tensió segons els diferents acobladors que s'hagin instal·lat.

Anteriorment, s'ha esmentat que, la topologia d'una xarxa de MT pot ser descrita com una topologia de malla anellada en el que les E.T. poden tenir camins redundants. Això vol dir que cada E.T. podrà tenir diverses línies de mitja tensió.

Per tal d'aconseguir una independència entre la xarxa elèctrica de mitja tensió i el senyal BPLC, amb la finalitat d'obtenir una major fiabilitat, els acobladors s'instal·len al cable elèctric de mitja tensió abans de l'interruptor de maniobra. Això assegura que la xarxa lògica del BPLC presenti una topologia independent respecte del corrent de la xarxa de mitja tensió i també evita que l'obertura del interruptor de mitja tensió no talli el canal físic de telecomunicacions.

No obstant això, no es pot evitar una pèrdua del nivell del senyal acoblat d'alta freqüència en funció de la posició dels interruptors de maniobra d'alta tensió ja que la impedància vista pel acoblador canviarà durant la commutació.

Un acoblament inductiu (Figura-19), en general funcionarà millor quan el interruptor de mitja tensió estigui tancat ja que li presentarà una més baixa impedància al poder considerar les carregues del transformador, és a dir, la Figura-16, la Z_t del transformador permet circular una corrent del senyal BPLC per les capacitats en aquesta freqüència que li presenta el transformador, però segons la Figura-20, la $Z_r \gg Z_t$ i en aquest cas Z_t al estar obert l'interruptor de mitja tensió tendeix a infinit.

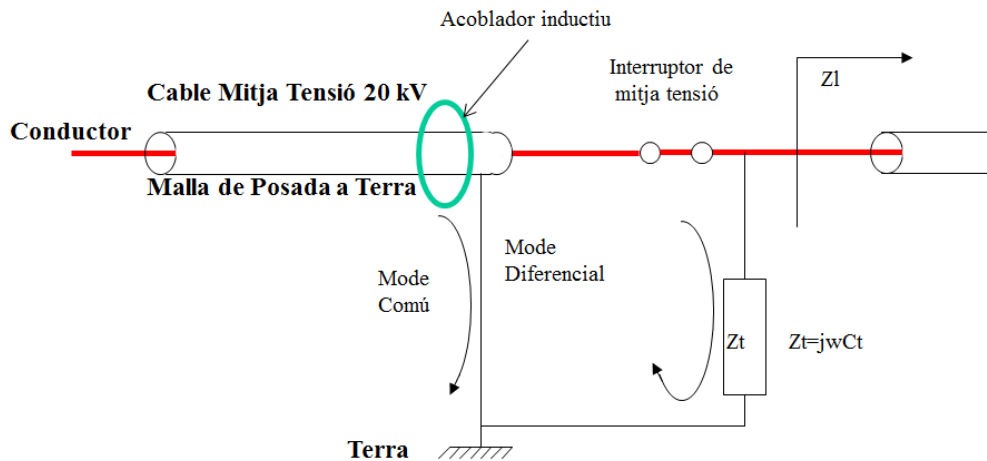


Figura 19 Esquema acoblament inductiu amb interruptor de mitja tensió tancat.

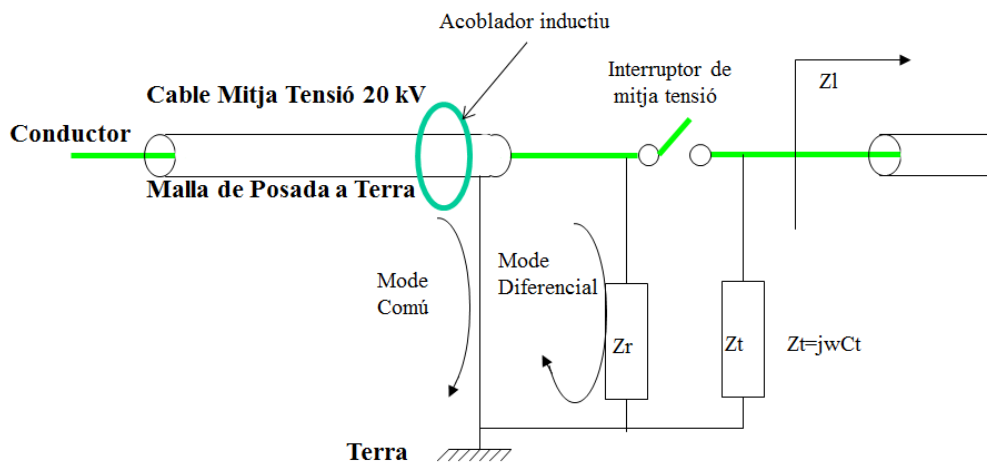


Figura 20 Esquema acoblament inductiu amb interruptor de mitja tensió obert.

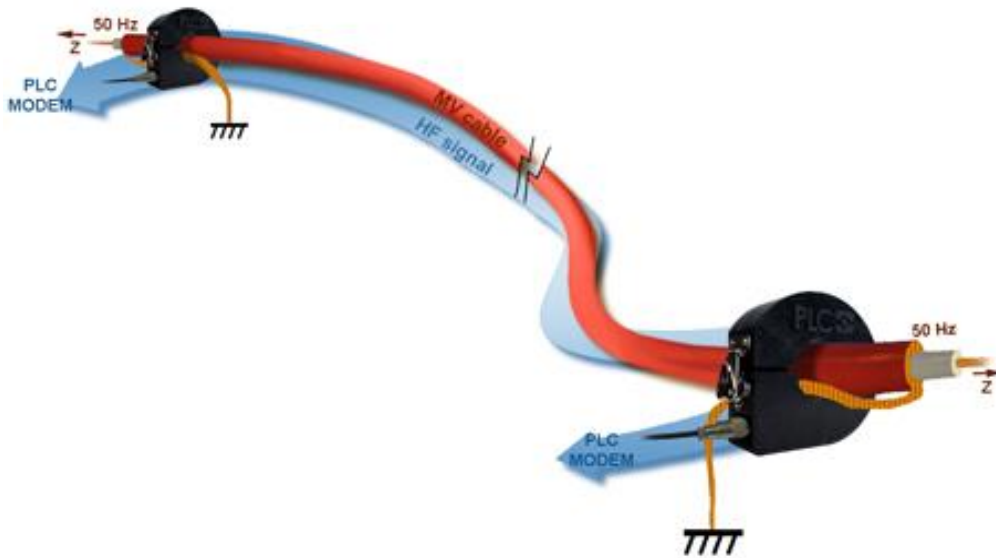


Figura 21 Exemple d'instal·lació dels acobladors inductius.

Per tant, els canvis en la posició del interruptor de mitja tensió, introdueixen una afectació en el senyal que pot implicar una variació de l'atenuació de ± 20 dB o superior. És per aquesta causa que, aquest tipus d'acobladors requereixen d'un temps de recuperació del senyals que no sempre es pot garantir.

Però, un acoblament capacitiu (Figura-24), en general funciona correctament independentment quina sigui la posició de l'interruptor de mitja tensió o inclús millor quan aquest, estigui obert ja que $Z_r \ll Z_t$ pel cas de que l'interruptor de mitja tensió estigui tancat (figura-22) i $Z_r \ll Z_t$ ($Z_t \rightarrow \infty$) per interruptor mitja tensió obert (figura-23)

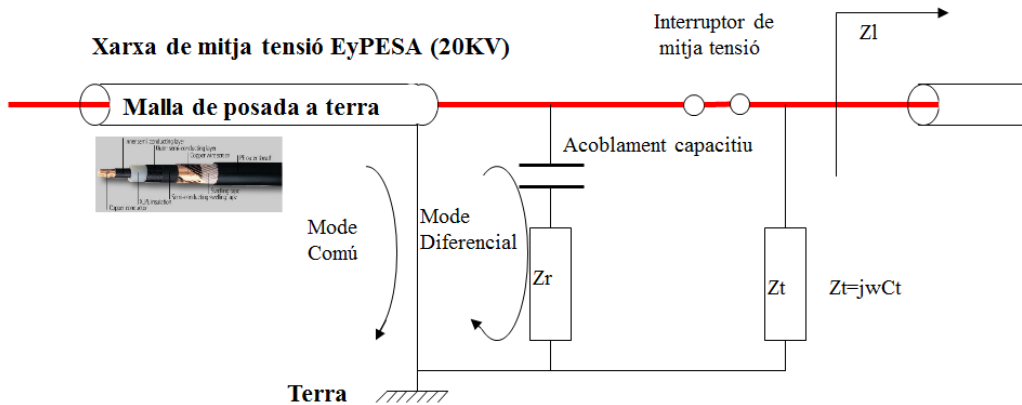


Figura 22 Esquema acoblament capacitiu amb interruptor de mitja tensió tancat.

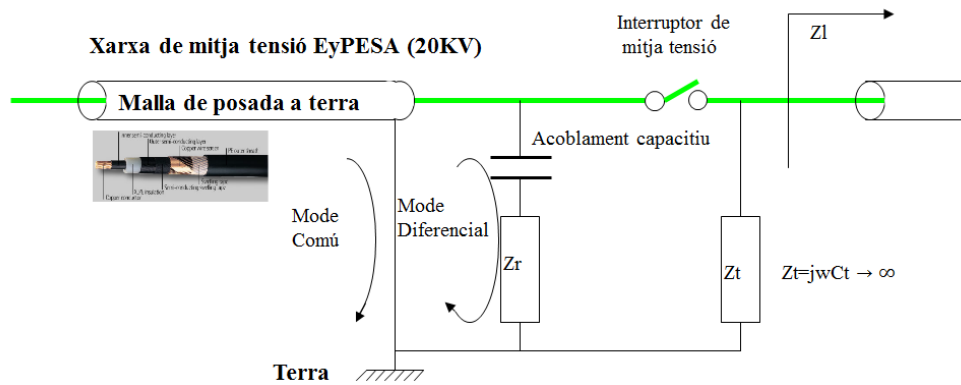


Figura 23 Esquema acoblament capacitiu amb interruptor de mitja tensió obert.

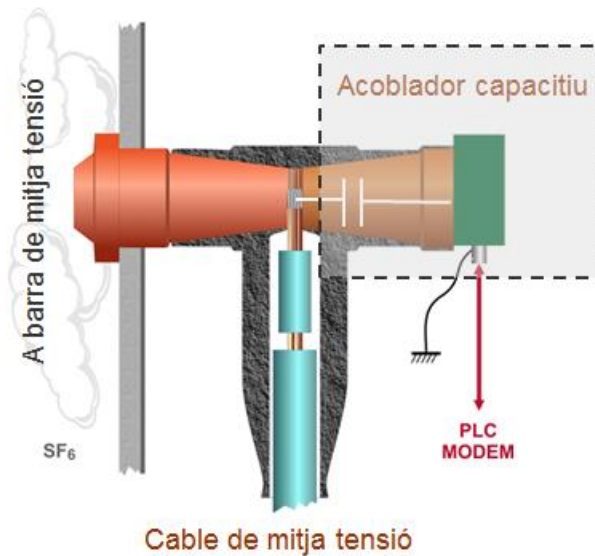


Figura 24 Exemple d'instal·lació d'acobladors capacitius

La selecció d'un mètode d'acoblament està influenciada pel tipus dels accessoris del cable de mitja tensió, així com les característiques del transformador de distribució. No obstant això, la selecció d'acoblament també pot dependre de les limitacions pràctiques com ara l'espai disponible, la distància de seguretat requerida per la mitja tensió o altres restriccions de la instal·lació. La normativa de seguretat, requereix que els treballs necessaris pel muntatge dels acobladors inductius en cables soterrats, sempre s'instal·laren en línies no energitzades i amb la posada a terra.

En les estacions transformadores que tinguin múltiples alimentadors connectats a través d'una barra de mitja tensió, significa que un senyal de BPLC injectat, es propagarà pels diferents alimentadors del centre i també a través de múltiples salts derivats de les connexions elèctriques entre instal·lacions, creant d'aquesta manera un canal de difusió. La naturalesa de difusió del senyal BPLC en una xarxa de MT proporciona el potencial per a l'augment de la redundància a través dels múltiples camins de mitja tensió o alimentadors. Si es produeix una fallada en el cable, les dades poden ser encaminades a través d'un camí alternatiu.

Això, és un aspecte molt important per a les comunicacions necessàries per a les xarxes intel·ligents per tal d'augmentar la fiabilitat contra fallades en els nodes i enllaços.

D'altra banda, el domini d'interferència d'una estació transformadora pot ser bastant elevat, fet que podria reduir el potencial de reutilització dels recursos de BPLC a la xarxa. Aquesta situació

es complica encara més per l'esmentat anteriorment en configuracions d'instal·lacions amb cables paral·lels en un traçat per un conducte comú, que condueix a la situació que en diferents estacions transformadores, hi hagi un nivell elevat del senyal procedent d'altres centres.

El nivell de l'emissió del domini pertanyent per a cada node, pot canviar dinàmicament durant el temps en base a les condicions variables de les càrregues de la xarxa i l'estat dels interruptors de mitja tensió. Amb la tecnologia actual BPLC estandarditzada, no existeix un mètode pràctic per limitar el nivell de interferència per poder reduir la transmissió i així, la densitat espectral.

2.3.1. Pros del PLC en les xarxes elèctriques

La tecnologia BPLC al igual que altres tecnologies, permet al distribuïdor d'energia elèctrica, obtenir més informació al seu centre de control remot per tal de prendre decisions amb rapidesa i precisió; per això, la xarxa de comunicacions, disposa d'una gran quantitat d'informació sobre els elements de maniobra i el seu control remot com ara els estats, les mesures, els indicadors de pas de falta o altres en temps real. Això es pot dur a terme mitjançant l'ús de pocs recursos de la xarxa BPLC per què la informació enviada al centre de control, usa molt poc ample de banda però, són necessaris molts recursos per l'intercanvi de dades entre els dispositius intel·ligents elèctrics i també, els de protecció elèctrica entre centres de transformació amb requeriments mínims de 100 Mb/s, objecte d'aquest treball.

Referent a la possibilitat de poder executar ordres de forma remota, l'usuari és capaç d'operar la xarxa elèctrica sense necessitat de desplaçar-se al lloc on s'ha produït un incident. Això estalvia temps d'actuació i evita l'haver de traslladar-se a la instal·lació, excepte per fer accions de manteniment.

Hi ha una clara reducció del temps d'actuació per que, al disposar de tota la informació necessària en el centre de control remot, redueix el temps d'actuació davant eventualitats ja que aquesta informació permet localitzar l'element que causa l'incident en menys temps respecte les solucions tradicionals.

Donat que totes les dades dels diferents elements del sistema elèctric estan disponibles, com ara el nombre d'operacions dels elements de tall, la temperatura, etc., es pot programar el seu manteniment i això, redueix els incidents causats pel desgast dels elements com ara els interruptors i els transformadors.

Les xarxes de comunicacions BPLC afegeixen valor, ja que ofereixen una gran quantitat d'avantatges tècnics i econòmics i també, utilitzant molt pocs recursos de les xarxes elèctriques. Els anteriors avantatges tècnics assenyalats, també porten avantatges econòmics directes a un cost marginal de manera que, les següents característiques, fan possible que el cost de la instal·lació sigui baix:

1- La integració en cada posició o cel·la de mitja tensió pot fer funcions de control i de mesurament, per tant, és possible reduir el cost dels elements de control local com són, els polsadors, els relés, els temporitzadors, el cablejat, el mesurament, els convertidors, etc.

2- La reducció dels temps de les posades en servei, perquè el sistema pot estar totalment provat pel fabricant.

3- Pel que fa als costos operatius OPEX, són que l'ús de la xarxa d'un operador de telecomunicacions penalitza pel pagament constant d'una quota.

Els costos d'operació del BPLC, són menors que la tecnologia GPRS/4G per cobertures del 100%

Les evolucions tecnològiques d'operadors de telecomunicacions, es poden veure afectades així com la modificació de les bandes de freqüències, la regulació, etc.

Tot i que els costos inicials dels equips GPRS/4G, són inferiors als del BPLC, cal avaluar la cobertura real en les zones de les estacions transformadores, considerant que moltes d'aquestes instal·lacions estan soterrades essent una limitació pel senyal GPRS/4G.

Les inversions econòmiques inicials, estan condicionades no únicament als equips BPLC, sinó també cal considerar les inversions en acobladors i treballs a la xarxa elèctrica per al seva instal·lació.

L'avantatge diferencial sobre el BPLC, que és un 100% propietat del distribuïdor respecte la tecnologia GPRS/4G, que és d'un operador de telecomunicacions, per si sol, no justifica la gran divergència econòmica entre ambdues tecnologies.

En aquest treball, s'ha centrat essencialment en una xarxa intel·ligent la qual, es considera un sistema de transmissió i de distribució d'energia elèctrica que és prou "intel·ligent" per detectar possibles problemes, comunicar aquestes condicions a un centre de control, i automàticament prendre mesures per resoldre aquestes incidències.

D'acord amb l'informe "Desafiament i Oportunitat: traçar un nou futur energètic", per *Energy Future Coalition*, [25] hi ha cinc conceptes que defineixen una xarxa de distribució intel·ligent:

1. Una xarxa amb *self-healing* per detectar, anticipar i respondre als problemes, evitar o mitigar les interrupcions i falles.
2. La seguretat de les amenaces físiques i cibernètics a causa de la implementació de la nova tecnologia que permetrà una millor identificació i resposta als fets per l'home o interrupcions naturals.
3. L'ús de la generació distribuïda, permetent als clients la interconnexió de les tecnologies de generació distribuïda fàcilment per mitjà de l'energia normalitzada i les interfícies de comunicació.
4. La gestió de l'energia intel·ligent a l'usuari final, per permetre als clients a obtenir un millor control dels seus aparells i equips.
5. Un major rendiment i un cost d'energia més baix a la xarxa, mitjançant una millor harmonització de la demanda local i la distribució, i el foment dels recursos de generació de més baix cost.

Les xarxes intel·ligents fusionen els elements elèctrics tradicionals, els sensors intel·ligents i els dispositius de control, amb les tecnologies de la informació (TI) per tal de ser capaç de crear la infraestructura necessària per millorar la qualitat dels serveis existents i proporcionar-la als clients.

2.3.2. Contres del PLC en les xarxes elèctriques

Centrant el comportament comparatiu de la tecnologia BPLC en vers al seu competidor més directe en zones urbanes, que és la tecnologia GPRS/4G, el BPLC tindria un clar desavantatge per ràtios de cobertura petits, el que vol dir que la tecnologia GPRS/4G es situa com l'alternativa més eficient en quant a les inversions CAPEX. La instal·lació, depèn de l'arquitectura de la xarxa elèctrica.

Els costos de manteniment (OPEX) del BPLC són superiors.

Actualment, encara es treballa per definir normatives i estàndards. Per aquesta raó la organització internacional *PLC Fòrum*, està treballant per obtenir una especificació que permeti la coexistència entre diferents equips i sistemes BPLC.

Poden haver problemes d'operació i interferències amb altres equips, per tant, existeix un problema de radiació que pot ser provocat pel soroll d'altres senyals en la mateixa banda de freqüències.

La radiació del senyal, fa necessari aplicar algorismes de xifrat.

Poden haver determinats sistemes de radiocomunicació propers que poden veure's afectats com a conseqüència de les emissions paràsites que el BPLC genera en forma d'interferències que perjudiquen la recepció del senyal d'ona mitja i curta (2 - 30 MHz) entre els que cal prendre especial atenció als sistemes dels aeroports, torres de control del tràfic marítim, hospitals, exèrcit i policies.

La tecnologia BPLC és afectada pel propi estat de la xarxa de mitja tensió de manera que si aquestes estan deteriorades, els cables estan en mal estat i/o tenen empuladures defectuoses, poden fer que un enllaç no sigui possible.

Pels requeriments de banda ampla de l'estàndard IEC-61850 per assolir els 100 Mb/s, la distància entre centres de transformació, és una limitació.

Hi ha tres paràmetres crítics en les línies de distribució de mitja tensió usades com a canal físic de telecomunicacions, aquests són: el soroll, la impedància i l'atenuació. Tots ells, són altament impredecibles i variables amb el temps, la freqüència i el seu emplaçament.

2.3.3. Comparatives de les altres solucions tecnològiques del PLC

Avui en dia, hi ha en el mercat diverses solucions tecnològiques que permeten el desenvolupament de les xarxes de telecomunicacions necessàries per la construcció de infraestructures.

De fet, hi ha moltes d'aquestes tecnologies que s'estan emprant en els serveis clàssics de telecontrol, però la migració a les xarxes intel·ligents, necessiten requeriments més rigorosos d'ample de banda, retards, *jitter*, BER, etc. La Taula-3, mostra quins són els serveis suportats en funció de les diferents tecnologies segons UNESA definits per EyPESA.

Serveis suportats [Sí, No]						
Tecnologies	FO	GPRS/4G	WiMAX	TETRA	xDSL	BPLC
Serveis						
Telecontrol	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Aplicacions Corporatives	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Videovigilància	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Gestió alarmes	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Telegestió de proteccions	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Telegestió de comptadors	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Xarxes Intel·ligents	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí

Taula 3 Resum serveis segons la tecnologia.

Per la selecció final d'una determinada tecnologia que cobreixi els requeriments necessaris per a un determinat servei per ser ofert per una distribuïdora elèctrica, cal considerar aspectes tals com les zones de cobertura, la disponibilitat dels serveis donat uns imprevistos, solucions de

contingència, proximitat de infraestructures de telecomunicacions, concessions de llicències per ús d'espectre radioelèctric, etc.

La Taula-4, resumeix les diferents viabilitats tècniques:

Viabilitat tècnica [Baixa, Mitja, Alta]						
Tecnologies	FO	GPRS/4G	WiMAX	TETRA	xDSL	BPLC
Serveis						
Telecontrol	M	M	M	M	M	A
Aplicacions Corporatives	M	M	M	M	M	A
Videovigilància	M	M	M	M	M	A
Gestió alarmes	M	M	M	M	M	A
Telegestió de proteccions	M	M	M	M	M	A
Telegestió de comptadors	B	A	B	A	A	A
Xarxes Intel·ligents	M	M	B	B	B	A

Taula 4 Resum de viabilitat tècnica per serveis.

Per altre banda, la idoneïtat d'una tecnologia, no ha de ser exclusiva a les seves característiques tècniques, sinó que en funció dels serveis que han de suportar, és necessari fer un anàlisi de viabilitat econòmica.

Per tant, una solució serà més òptima en igualtat de requeriments tècnics, quan més econòmica resulti incloent en aquesta viabilitat econòmica, la seva valoració en termes dels costos associats pel desplegament.

Viabilitat econòmica [Baixa, Mitja, Alta, Molt Alta]						
Tecnologies	FO	GPRS/4G	WiMAX	TETRA	xDSL	BPLC
Serveis						
Telecontrol	MA	M	M	M	A	M
Aplicacions Corporatives	MA	M	M	M	A	M
Videovigilància	MA	M	M	M	A	M
Gestió alarmes	MA	M	M	M	A	M
Telegestió de proteccions	MA	M	M	M	A	M
Telegestió de comptadors	MA	M	M	M	A	M
Xarxes Intel·ligents	MA	M	M	-	-	M

Taula 5 Resum de la viabilitat econòmica.

2.3.4. Les Modulacions

El canal de BPLC, és un ambient molt hostil. Com s'ha comentat anteriorment, les característiques d'un canal de BPLC tendeixen a variar en temps, situació i amb els canvis de càrrega, el que justifica la necessitat d'unes tècniques de modulació robustes amb esquemes de modulació sofisticats.

Les tècniques de modulació més convencionals com són, l'ASK, la PSK o la FSK normalment no són usades per les exigències de la xarxa BPLC.

Les modulacions que suporten els requeriments del canal BPLC per xarxes elèctriques de mitja tensió, són: l'OFDM, i el DSSS.

L'OFDM, és una tècnica de modulació d'alta eficiència espectral que gestiona molt bé el soroll, els canvis d'impedància i les reflexions produïdes pels múltiples camins que recorre el senyal.

Un altre avantatge de l'OFDM, és la seva habilitat per utilitzar o deixar d'utilitzar qualsevol subcanal, per tal de mantenir una òptima taxa d'error. Això permet a més evitar interferències amb altres sistemes, poder complir els nivells d'emissió regulats per les normatives.

Mitjançant l'OFDM amb 1.155 portadores, és possible assolir velocitats de fins a 200 Mbits/s. El sistema fa servir la modulació adaptativa, és a dir, és capaç de mesurar els nivells d'atenuació i soroll amb una alta resolució espectral i en base a aquesta informació utilitzar unes o altres subportadores per enviar la informació.

A cada subportadora s'usen modulacions digitals com la PSK, la QPSK, la QAM, entre d'altres. Actualment, EYPESA, està col·laborant en la investigació i proves d'una nova tecnologia anomenada MC-CDMA que és una combinació de CDMA i OFDM, la qual permet incrementar el nombre de subportadores i és possible arribar a aconseguir velocitats més altes però aquest treball es centrarà amb la tecnologia disponible en el mercat.

El principi bàsic de l'OFDM, es basa en una tècnica que combina esquemes de modulació i multiplexació per tal d'optimitzar l'ús de l'espectre electromagnètic i així poder transmetre informació provinent de diferents fonts pel mateix mitjà i a altes velocitats.

L'OFDM és molt similar a la multiplexació per divisió de freqüències (FDM), ja que aprofita el seu principi per permetre enviar múltiples missatges a través d'un simple canal de comunicacions, permetent un increment en l'eficiència de l'espectre.

Un exemple de FDM és l'ús de diferents freqüències per a cada estació de ràdio de FM. Totes les estacions transmeten al mateix temps però no interfereixen entre si a causa de que cadascuna fa servir una freqüència portadora diferent. Addicionalment, aquestes tenen un ample de banda limitat i estan el suficientment separades en freqüència, per evitar que els senyals es superposen en el domini de la freqüència.

A diferència dels sistemes de transmissió FDM, en els quals els senyals necessiten tenir una banda de guarda bastant àmplia entre cada canal per poder prevenir la interferència entre les portadores, els sistemes OFDM poden tenir les portadores més pròximes, ja que s'aprofita la propietat d'ortogonalitat dels senyals, reduint àmpliament aquesta banda de guarda, incrementant d'aquesta manera l'eficiència de l'espectre.

Tots els sistemes de comunicació fan servir algun esquema de modulació per mapejar el senyal d'informació a una forma que pugui ser transmesa eficientment sobre el canal de comunicació.

Alguns dels esquemes més comuns per a senyals anàlogues són: la freqüència modulada (FM), amplitud modulada (AM), modulació de fase (PM), entre d'altres. Entre els esquemes més comuns de modulació digital es troben *Amplitude Shift Keying* (ASK), **Frequency Shift Keying** (FSK) i *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) entre d'altres. Tant FDM com OFDM fan servir algun d'aquests esquemes de modulació.

En una transmissió simple OFDM totes les subportadores estan sincronitzades entre si, restringint la transmissió a un esquema de modulació digital. L'OFDM es basa en símbols, i pot ser entesa com un gran nombre de portadores de baixa taxa de bits els quals estan transmetent en paral·lel.

Totes aquestes portadores es transmeten al mateix instant, sincronitzades en temps i freqüència, formant un simple bloc d'espectre de freqüència.

3. Implementació i proves

Tant com la implementació, la instal·lació i les proves, són una part molt important d'aquest TFG ja que és el punt de partida per realitzar els preparatius preliminars amb la finalitat de fer la instal·lació correcta dels acobladors, coordinada amb el departament d'exploració de la xarxa de mitja tensió i així obtenir les mesures per determinar la viabilitat per usar la tecnologia BPLC com a medi de comunicacions per la connexió de dispositius sota l'estàndard IEC-61850 [26].

Tot i que la tecnologia BPLC és àmpliament usada per diferents distribuïdors elèctrics nacionals i internacionals, bàsicament s'utilitza com a canal de telecomunicació per automatització i telegestió. Però la viabilitat d'usar l'estàndard suportat en BPLC, permetrà la normalització dels objectes que conformen els models de dades dels diferents dispositius segons les propietats de l'empresa elèctrica.

Amb aquesta finalitat, s'han escollit els acobladors normalitzats a la distribuïdora pels senyals BPLC que hi ha a la taula de la Figura-25. Les fitxes tècniques de l'acoblador ACA, estan disponibles en la pàgina-2, l'acoblador CAMS a la pàgina-17 i l'acoblador AIMT, pàgina-36, totes tres de l'annex.




Acoblador	Tipus	Característiques	Normes
Inductiu 	AIMT-2	300 A	UNE 21333 IEC 60358
Capacitiu 	ACA500	24 kV 2 nF	
Capacitiu: 	CAMT	24 kV 2 nF	

Figura 25 Tipus d'acobladors.

La zona d'estudi ve representat en la Figura-26 i correspon a la xarxa de distribució de mitja tensió propietat d'EyPESA situada Granollers. Aquesta xarxa permet al mateix cable elèctric, distribuir electricitat a les tres instal·lacions elèctriques estudiades i també esdevé com a medi físic de la xarxa de telecomunicacions entre elles, d'aquesta manera ha estat possible acumular latències entre els nodes i així poder determinar el nombre màxim de instal·lacions que podrà suportar l'estàndard IEC-61850 emprant aquesta tecnologia en funció dels enllaços i distàncies.

Les mesures s'han realitzat en els trams que connecten elèctricament amb cable soterrat tipus RHZ-1 240 Al H-16 [28] els centres de transformació E.T. 0535 Magatzem i E.T. 0281 Cuartel i des d'aquest darrer amb l'E.T. 500 Pedrals prenen especial atenció en els tram Cuartel – Pedrals en base a que com ve explicat en la Figura-4 de l'apartat 2.2 Estudi de l'acoblament del senyal, s'han estudiat els diferents comportaments per obtenir la màxima amplada de banda que permeti la major transferència del senyal en les distàncies superiors de 250 m i menors de 350 m, ja que en les ciutats, aquestes longituds de la distribuïdora elèctrica EyPESA, no solen superar els 250 m de mitjana.

Les distàncies per cada segment, són les següents:

Tram Magatzem – Cuartel: línia elèctrica de 83 m formats amb dos trams, un de 70 m i un altre de 13 m amb un empiulament segons es pot veure en la Figura -28.



Figura 28 Xarxa elèctrica de M.T C.T 535 i E.T.281 [Font: GIS EyPESA]

Tram Cuartel – Pedrals: línia elèctrica de 261 m formats amb dos trams, un de 210 m i un altre de 51 m amb un empiulament segons es pot veure en la Figura-29.



Figura 29 Xarxa elèctrica de M.T E.T. 281 i E.T.500 [Font: GIS EyPESA]

L'E.T. 535 Magatzem, és una instal·lació amb aparellatge elèctric de tall amb dielèctric aire a la pressió atmosfèrica de la zona, amb un transformador de 400 kVA relació 20 kV / 0,400 – 0,230 kVac i l'E.T. 281 Cuartel i l'E.T. 500 Pedrals, disposen d'aparellatge de maniobra de mitja tensió amb envoltant que conté el dielèctric de SF6 (hexafluorur de sofre) i un transformador de 630 kVA de les mateixes relacions de transformació que l'anterior, cadascuna d'elles.

La Figura-30, mostra els diferents acobladors instal·lats per realitzar les mesures a l'esquema unifilar de la zona notant que les instal·lacions soterrades estan enquadrades amb una línia discontinua i les instal·lacions de superfície, ho estan amb una línia continua. Sense entrar en detalls elèctrics, les cel·les de mitja tensió amb dielèctric SF6, estan enquadrades amb una línia fina negra dins de cada edifici i les línies de color blau de l'esquema, corresponen al nivell de tensió de 20 kV connectades amb cable radial soterrat. Els transformadors de distribució estan protegits amb fusibles a l'igual que les sortides de baixa tensió.

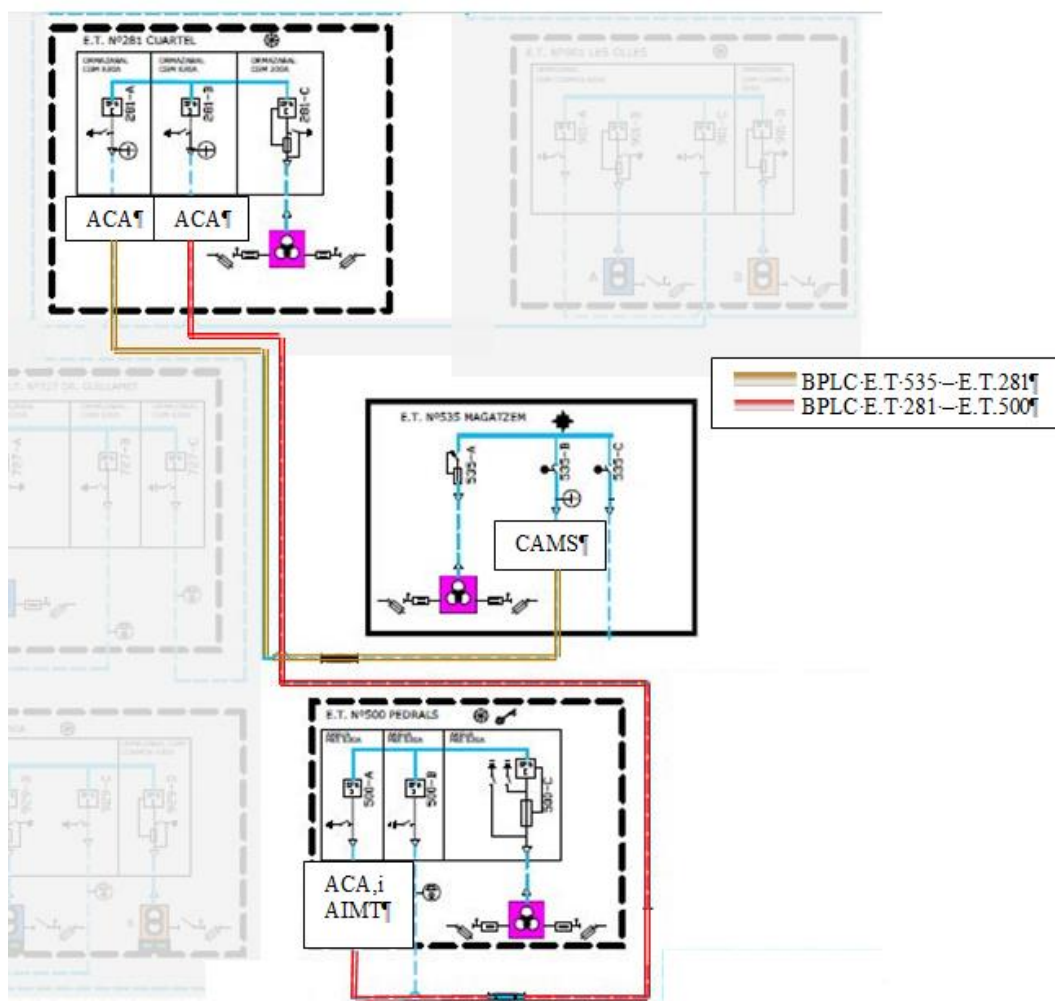


Figura 30 Zona d'afectació del treball [Font: GIS Unifilar EyPESA]

El muntatge dels acobladors, s'ha realitzat per que s'injecti el senyal d'alta freqüència en la fase T de mitja tensió segons el conveni establert per la distribuïdora de manera que per fer una adequada instal·lació, s'han emprat, tots els elements necessaris per la correcta i segura operació respectant la normativa de seguretat elèctrica per instal·lacions de mitja tensió vigent.

3.1. Tramitació treballs programats

Per poder acoblar el senyal BPLC a la xarxa elèctrica de mitja tensió, és necessari executar els treballs previstos per permetre la instal·lació física dels acobladors sense tensió. Tota operació que es realitza, requereix d'uns procediments administratius i protocols operatius els quals, estableixen la metodologia i la seqüenciació sota les normes que regeixen la seguretat sobre les persones i els equips de les instal·lacions.

No és objecte d'aquest treball explicar la metodologia per l'operació elèctrica, però si, la justificació amb la finalitat de demostrar les accions coordinades necessàries que han estat realitzades, per això, en la Figura-31, es pot veure el format usat, que ho acredita.

	CENTRE OPERACIÓ XARXA DEPARTAMENT EXPLOTACIÓ	RE-COX-008 SOL·LICITUD DESCÀRREC Rev. 0.4 15/02/2017
	SOL·LICITUT DE DESCÀRREC	Pag1 de1

Nº OBRA (ID):	7000056	NIVELL TENSIÓ	M.T.			
SOL·LICITAT PER:	Ramon Gallart	S'ADJUNTA ESQUEMA	NO			
AGENT DESCÀRREC:	Raimon Rovira	PERSONAL MANIOBRA	2			
DATA PREV. DESCÀRREC:	17/04/2017	ES NECESSITA FULL TRAFQ?	NO			
HORARI ESTADA POSICIÓ:	9:15	CFO	NO			
Nº CENTRE:	535	Nº CLIENTS	No afecta client			
NOM CENTRE:	Maragtzem	AFECTA GENERACIÓ EXTERNA?	NO			
MUNICIPI:	Granollers	ES NECESSITA GENERADOR?	NO			
SUBCONTRACTES:	EYPESA	MODIFICA GIS	NO			
NUMERO DESCÀRREC	908777	DATA RECEPCIÓ	17/04/2017			
HORARIS FEINES						
	DATA-1:	17/04/2017	DATA-2:			
	HORARI-1	HORARI-2	HORARI-3	HORARI-1	HORARI-2	HORARI-3
DE:	09:30	-	-	-	-	-
A:	17:00	-	-	-	-	-
HORARIS D'AFECTACIÓ CLIENTS						
	DATA-1:		DATA-2:			
	HORARI-1	HORARI-2	HORARI-3	HORARI-1	HORARI-2	HORARI-3
DE:	-	-	-	-	-	-
A:	-	-	-	-	-	-
	DATA-3:		DATA-4:			
	HORARI-1	HORARI-2	HORARI-3	HORARI-1	HORARI-2	HORARI-3
DE:	-	-	-	-	-	-
A:	-	-	-	-	-	-
CENTRES I/O LINIES AFECTADES						
DATA-1	Instal·lació acobladors BPLC					
DATA-2						
DATA-3						
DATA-4						
TREBALLS A REALITZAR						
Mesures BPLC xarxa M.T. Magatzem-Cuartel-Pedrales						
COMENTARI DELS TREBALLS A REALITZAR						
Treballs de recerca						
COMENTARI A ESCRIURE EN ELS FULLS OFICIAL I PAPERS D'AVÍS						

Figura 31 Format per sol·licitar una tramitació de descàrrec.

En les Figures-32,33 i 34 es poden veure diferents fases dels treballs, com han quedat instal·lats els diferents acobladors en els tres centres de transformació complint amb el que exigeix el Reglament d'Instal·lacions Elèctriques d'Alta Tensió. [27]



Figura 32 ACA E.T.281 Cuartel.



Figura 33 AIMT E.T. 500 Pedrals.

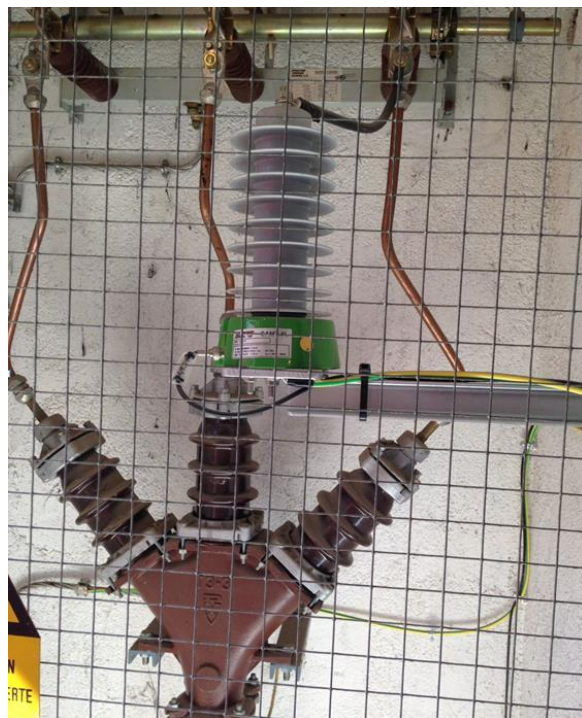


Figura 34 CAMS E.T. 535 Magatzem

3.2. Verificació dels acobladors i accessoris a instal·lar

Previ a la instal·lació dels acobladors en els centres de transformació, s'han verificat aquests seguint la metodologia la qual, ha consistit en la connexió del generador de funcions **BK Precision** model **4087**, injectar un senyal sinusoidal amb una amplitud de 2 Vpp que equival a una potencia de +10 dBm sobre una càrrega de 50 Ω amb un dels acobladors i mesurar en el altre acoblador el senyal rebut mitjançant l'analitzador **SDR-PERSEUS** concretament amb la funció **HFSPAN** (Figura-35) que es pot veure en el full-23 del capítol-7 del manual. Tant el manual de l'analitzador com el generador de funcions, s'adjunten a les pàgines 169 i 171 respectivament de l'annex.

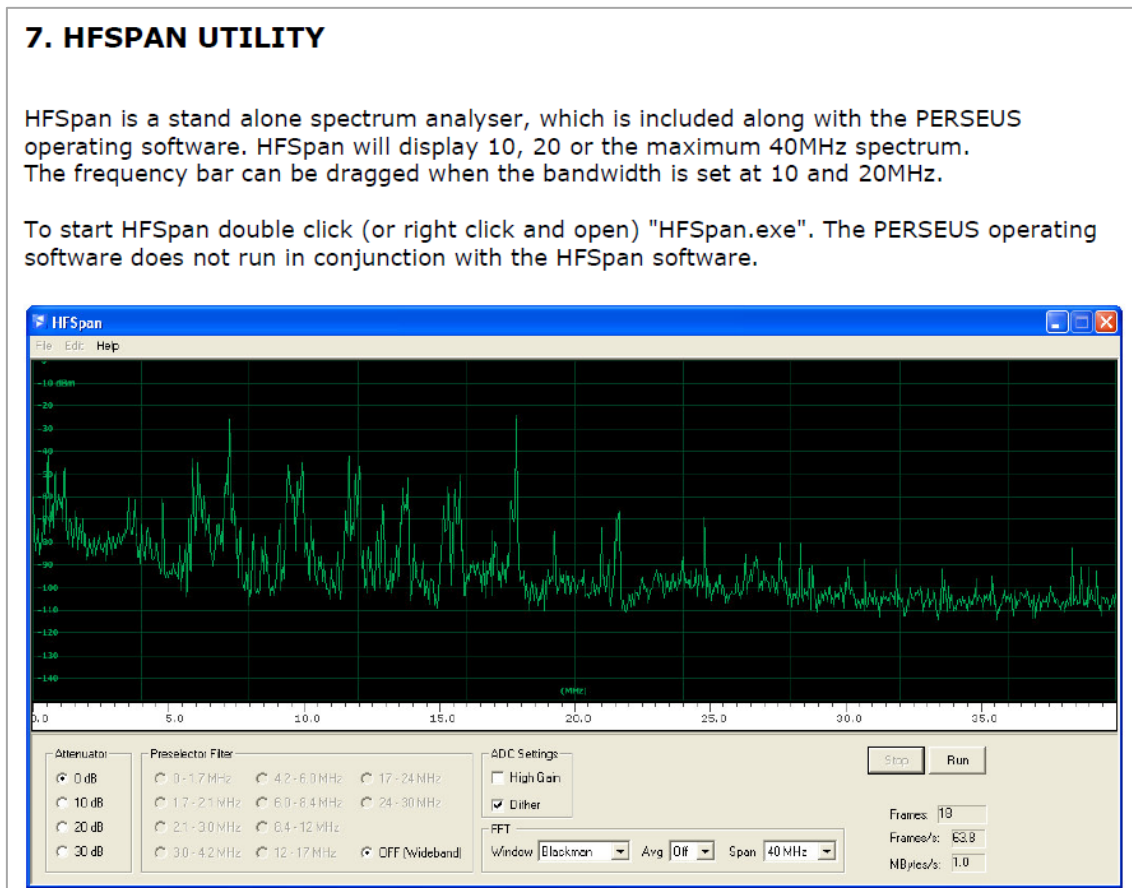


Figura 35 Full-23 Manual usuari analitzador PERSEUS.

La finalitat ha estat verificar que els acobladors no presenten problemes i funcionen segons les especificacions del proveïdor amb l'objectiu d'assegurar que aquests, una vegada instal·lats funcionaran correctament i així, poder descartar falles o conclusions no adequades, una vegada la xarxa elèctrica ha tornat a estar en ús.

En l'esquema de la Figura-36, es poden veure les diferents combinacions realitzades així com la connexió de les combinacions possibles entre els acobladors.

En el cas dels acobladors inductius i per poder fer la transferència del senyal, és necessari introduir un cable perquè es comporti com una espira tancada i permeti al generador induir el corrent tal com es va explicar en l'apartat 2.2.1 Acobladors PLC.

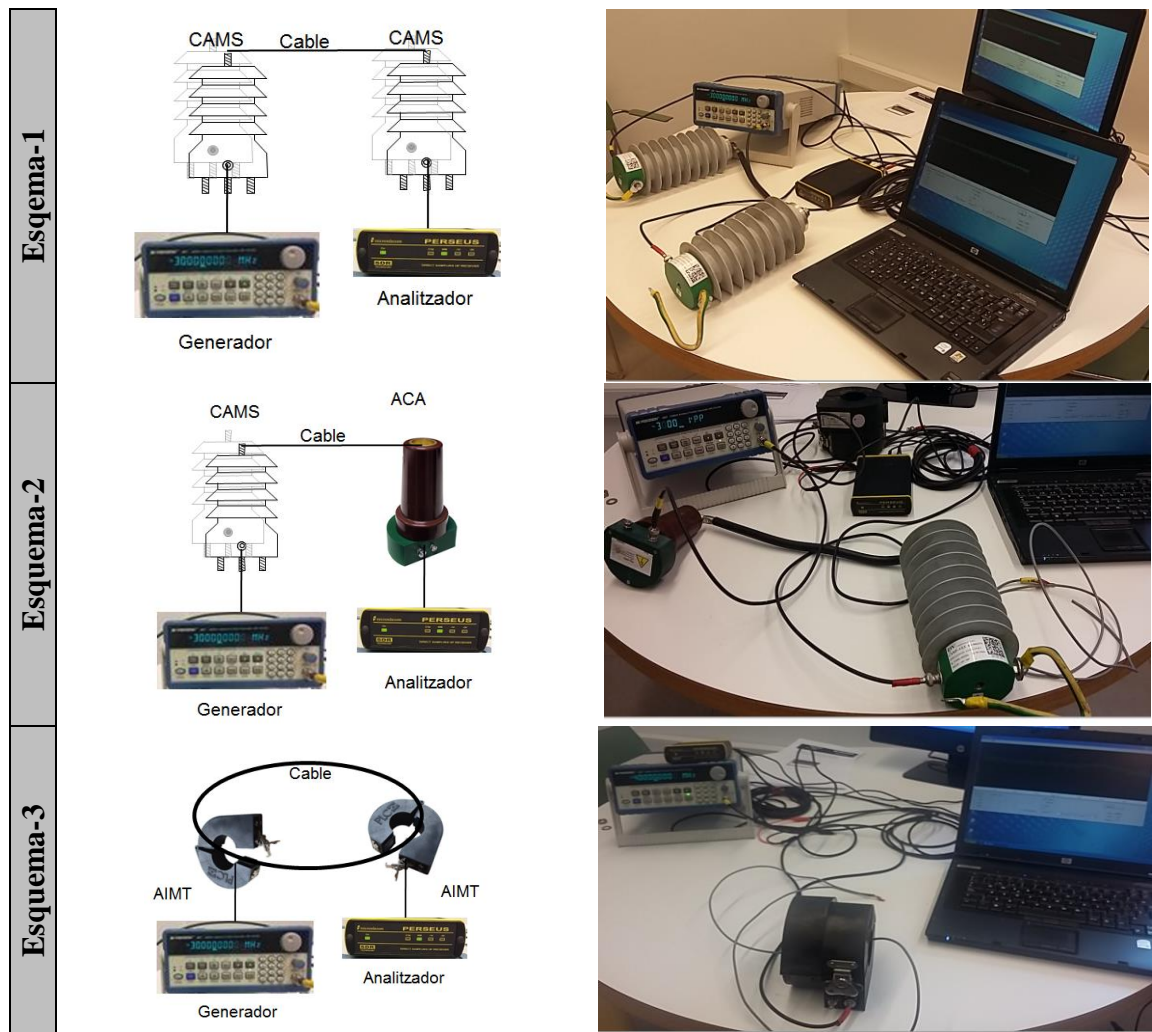


Figura 36 Verificacions dels acobladors.
Esquema-1.- Capacitiu CAMS – CAMS. **Esquema-2.-** Capacitiu ACA – CAMS **Esquema-3.-** Inductiu AIMT – AIMT.

La llista del material necessari per instal·lar en cada cel·la de mitja tensió i també per cada centre de transformació, és la representada en les Taules-6, 7 i 8:

Tipus Cel·la	Convencional amb elements de maniobra amb tall aire		
Quantitat	Ítem	Codi/Ref	Proveïdor
1	Acoblador capacitiu	CAMS	ZIV Communications
1	Trafo adaptador Impedància	LS	ZIV Communications
1	Kit cable 25 m	RG-58	JOMA
2	Connector cable coaxial	BNC	JOMA
1	Kit connexió elèctric	MATE0991	EyPESA

Taula 6 Materials cel·les amb elements de maniobra de tall al aire.

Tipus Cel·la	Convencional amb elements de maniobra amb tall SF6		
Quantitat	Ítem	Codi/Ref	Proveïdor
1	Acoblador capacitiu	ACA-500	ZIV Communications
1	Trafo adaptador Impedància	LS	ZIV Communications
1	Kit cable 25 m	RG-58	JOMA
2	Connector cable coaxial	BNC	JOMA
1	Kit connexió elèctric	MATE0991	EyPESA

Taula 7 Materials cel·les amb elements de maniobra de tall amb SF6.

Tipus Cel·la	Convencional amb elements de maniobra amb tall aire o SF6		
Quantitat	Ítem	Codi/Ref	Proveïdor
1	Acoblador inductiu	AIMT	ZIV Communications
1	Kit cable 25 m	RG-58	JOMA
2	Connector cable coaxial	BNC	JOMA
1	Kit connexió elèctric	MATE0991	EyPESA

Taula 8 Materials cel·les amb elements de maniobra de tall al aire o SF6.

En els resultats obtinguts s'observa que en la pantalla de l'analitzador, els acobladors capacitius Figures-37 i 38 presenten una bona resposta en l'amplada de banda que va des de 2 MHz fins a 30 MHz.

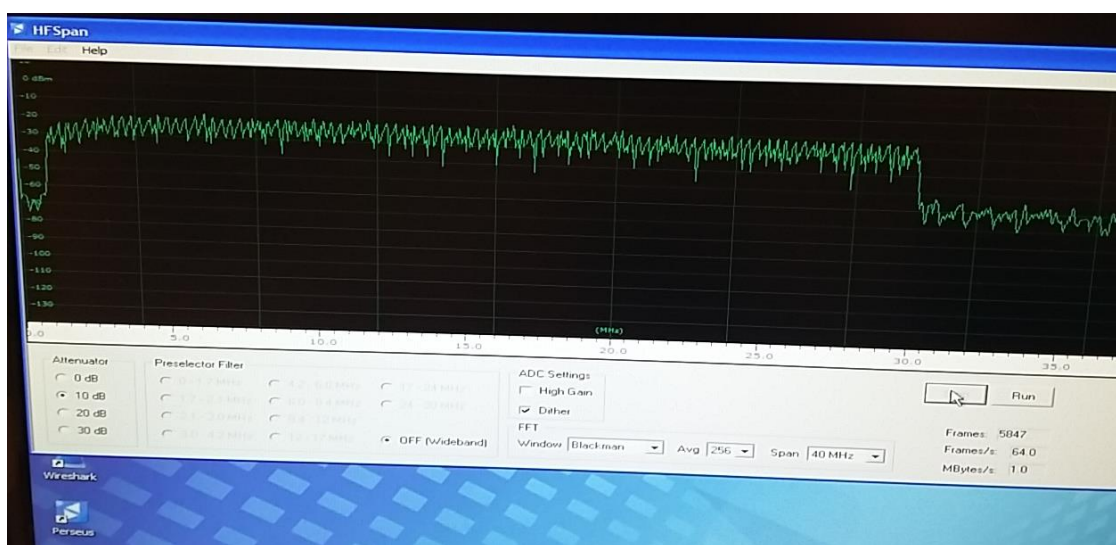


Figura 37 Connexió esquema-1 de la Figura-13.

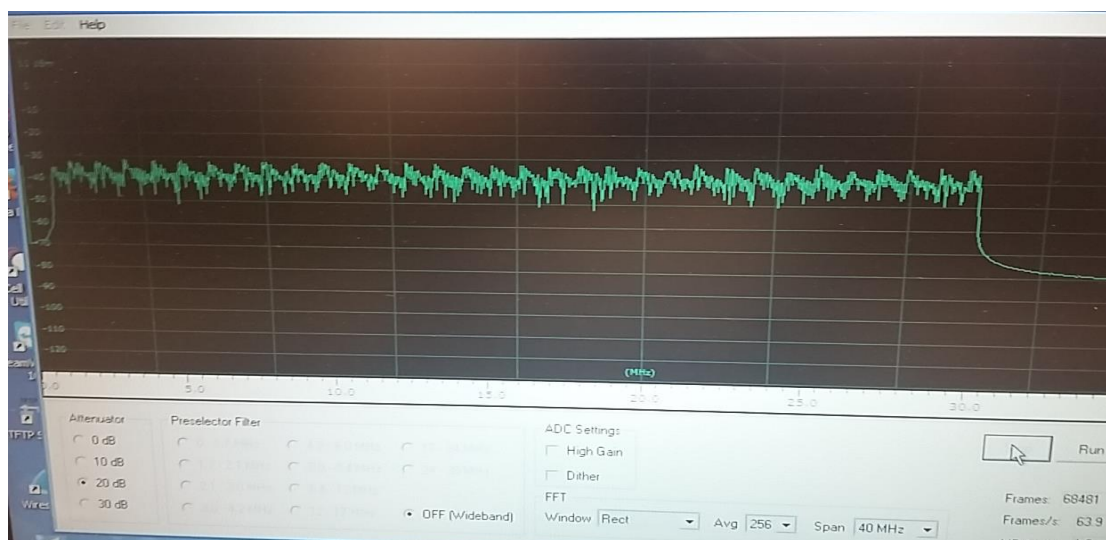


Figura 38 Connexió esquema-2 de la Figura-13.

En el cas de l'acoblador inductiu Figura-39, apareix una atenuació propera a una cancel·lació a la freqüència central de $8 \text{ MHz} \pm 1 \text{ MHz}$ la qual, pot ser motivada a una possible desadaptació del cable no radial usat per la prova. No obstant això i al ser molt selectiva s'han considerat adequats els tres tipus d'acobladors de manera que són vàlids per realitzar la instal·lació en les cel·les de mitja tensió dels centres de transformació.

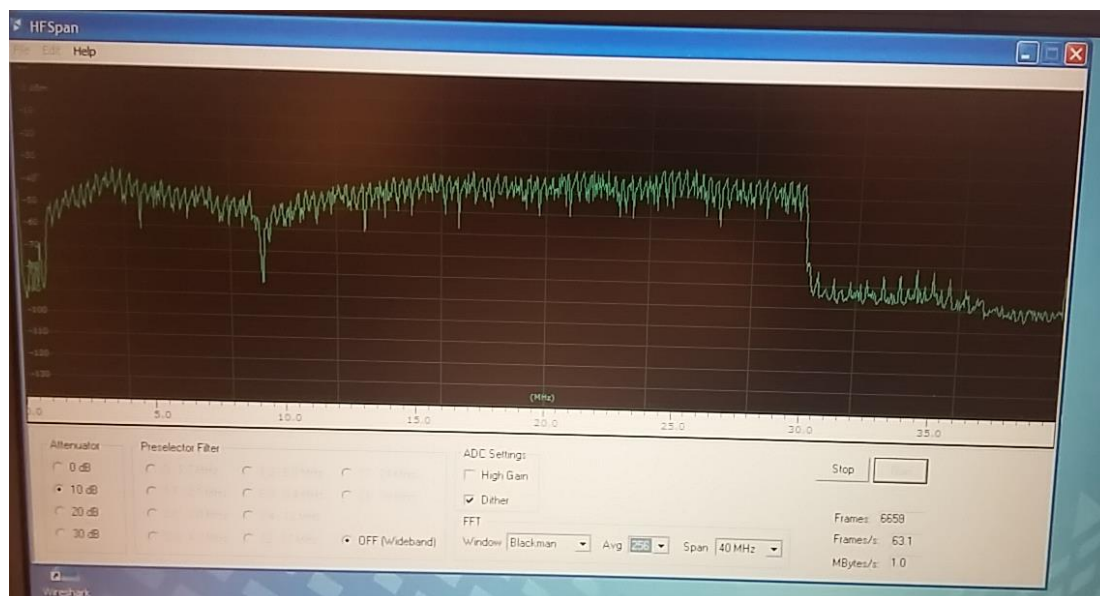


Figura 39 Connexió esquema-3 de la Figura-13.

3.3. Anàlisi del canal amb generador de funcions i analitzadors

La metodologia realitzada per realitzar l'anàlisi del canal, ha estat la mateixa que l'anterior però amb els acobladors instal·lats en les instal·lacions elèctriques. Els valors han estat obtinguts gràcies a la descàrrega d'un fitxer *.xlsx, amb la finalitat de presentar els resultats amb major qualitat i no fer captures de pantalla de l'analitzador. En l'anterior apartat, s'han adjuntat captures com a mostra visual de l'analitzador emprat.

En aquest anàlisi real, les mesures han estat realitzades alternant diferents combinacions dels acobladors emparellats amb capacitius, amb inductius i amb combinació de capacitiu i inductiu en els tres centres de transformació, considerant les diferents posicions o estats dels elements de maniobra de M.T. que són, obert, tancat o en posada a terra, segons es pot veure a l'esquema de la Figura-30, per tant, la Taula-9 agrupa els dotze casos més probables de la xarxa elèctrica estudiats.

Aquestes situacions són important de considerar en base a que no sempre l'explotació d'una xarxa elèctrica, manté una configuració determinada.

Cas	Acoblador	ET 535 Magatzem [535-B]	ET-281 Cuartel [281-A]
1	Capacitiu	Obert	Obert
2		Tancat	Tancat
3		Posada a Terra	Posada a Terra
4	Inductiu	Obert	Obert
5		Tancat	Tancat
6		Posada a Terra	Posada a Terra
Cas	Acoblador	ET-281 Cuartel [281-B]	ET-500 Pedral [500-A]
7	Capacitiu	Obert	Obert
8		Tancat	Tancat
9		Posada a Terra	Posada a Terra
10	Inductiu	Obert	Obert
11		Tancat	Tancat
12		Posada a Terra	Posada a Terra

Taula 9 de casos de mesura segons la configuració de l'element de maniobra de M.T.

La mesura ha consistit en la captura des de l'analitzador d'espectres PERSEUS instal·lat en un dels centres de transformació i en el l'altre, s'ha connectat el generador de funcions **BK Precision** model **4087** el qual, ha estat transmetent un senyal lentament per que l'analitzador capturi múltiples escombrats, els quals s'han obtingut els valors màxims.

El generador ha estat carregat amb el cable coaxial de 50 Ω per lliurar, en aquest cas, un nivell d'emissió de +10 dBm.

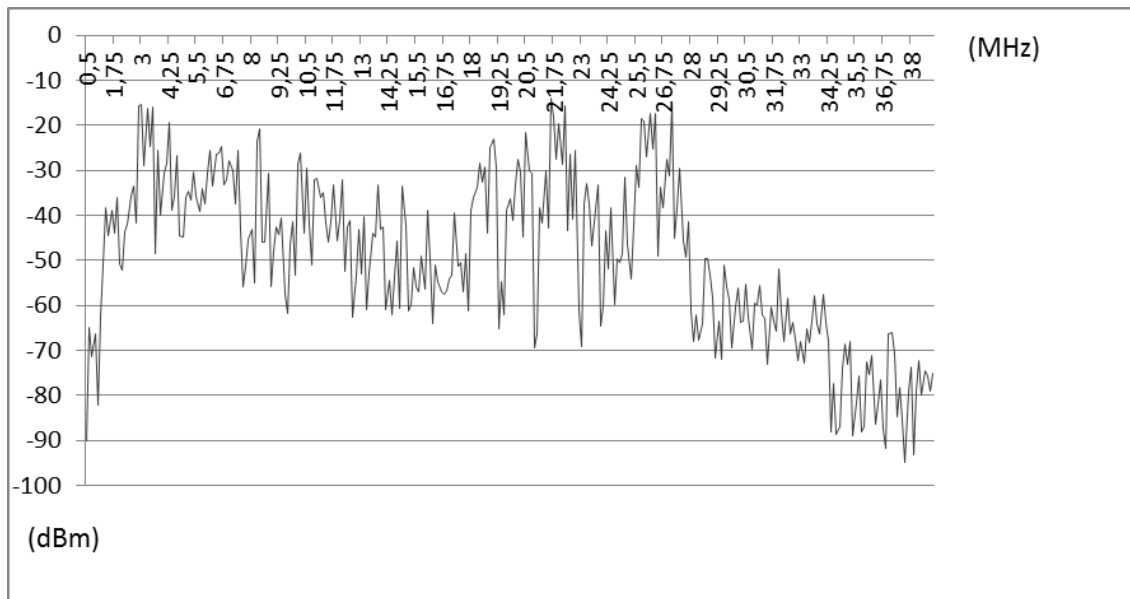
En aquest treball, s'han presentat els valors més desfavorables de les configuracions analitzadors/generador segons els dotze casos expressats en la taula anterior, considerant valors dolents per atenuacions ≥ -80 dBm.

Cas-1

Valors obtinguts segons es pot visualitzar en la Figura-40 (dalt) la qual, mostra l'espectre obtingut en el centre de transformació 281 Cuartel injectant el senyal i a l'altre extrem, és on hi ha el centre de transformació 535 Magatzem Figura-40 (baix) i a l'inrevés.

S'ha aplicat un escombrat de 10 ms el qual comença a la freqüència inicial de 500 kHz i finalitza a 40 MHz.

Els resultats presentats, són els més desfavorables una vegada intercanviat el generador de funcions i l'analitzador.



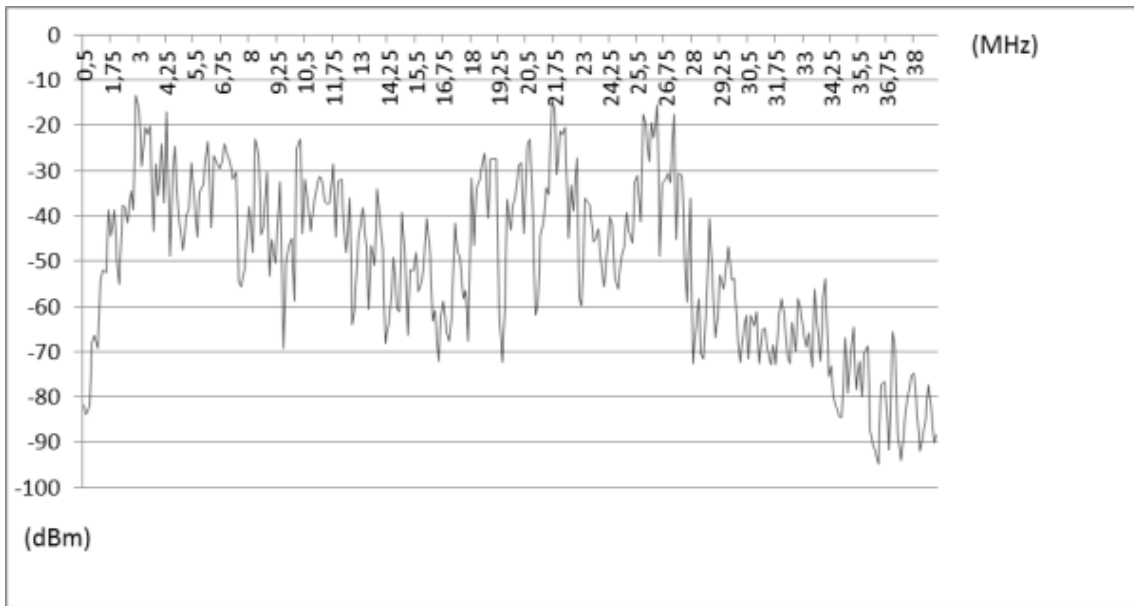


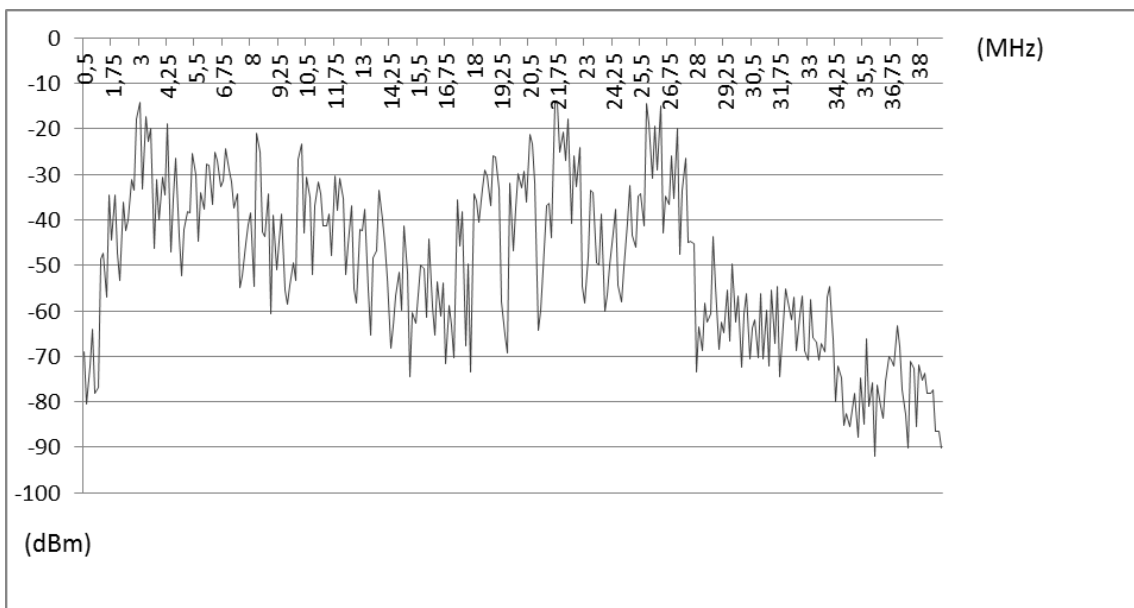
Figura 40 Cas-1: Senyal rebut a l'ET 281 Cuartel (dalt) i ET 535 Magatzem (baix)

Cas-2

Valors obtinguts segons es pot visualitzar en la Figura-41 (dalt) la qual, mostra l'espectre obtingut en el centre de transformació 281 Cuartel injectant el senyal i a l'altre extrem, és on hi ha el centre de transformació 535 Magatzem Figura-41 (baix) i a l'inrevés.

S'ha aplicat un escombrat de 10 ms el qual comença a la freqüència inicial de 500 kHz i finalitza a 40 MHz.

Els resultats presentats, són els més desfavorables una vegada intercanviat el generador de funcions i l'analitzador.



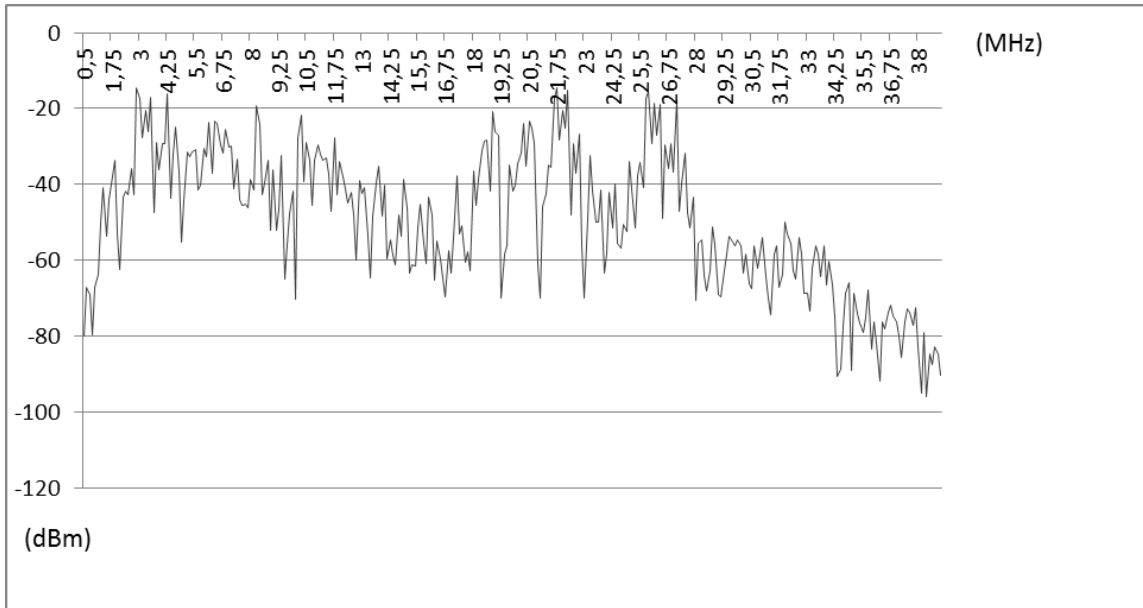


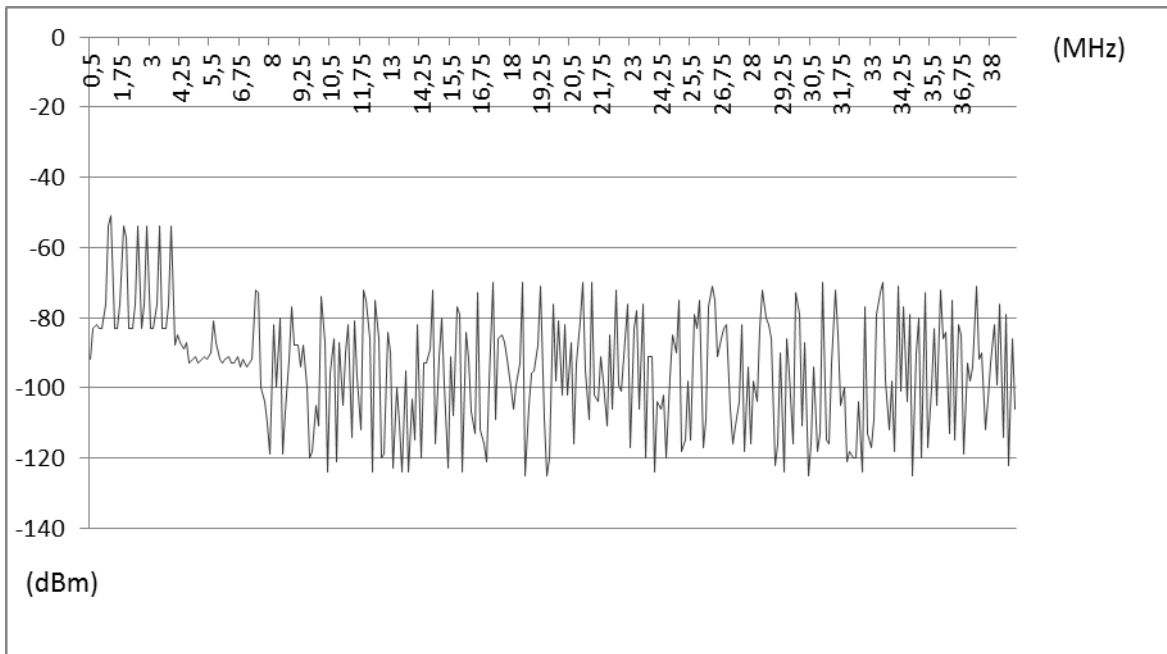
Figura 41 Cas-2: Senyal rebut a l'ET 281 Cuartel (dalt) i ET 535 Magatzem (baix)

Cas-3

Valors obtinguts segons es pot visualitzar en la Figura-42 (dalt) la qual, mostra l'espectre obtingut en el centre de transformació 281 Cuartel injectant el senyal i a l'altre extrem, és on hi ha el centre de transformació 535 Magatzem Figura-42 (baix) i a l'inrevés.

S'ha aplicat un escombrat de 10 ms el qual comença a la freqüència inicial de 500 kHz i finalitza a 40 MHz.

Els resultats presentats, són els més desfavorables una vegada intercanviat el generador de funcions i l'analitzador.



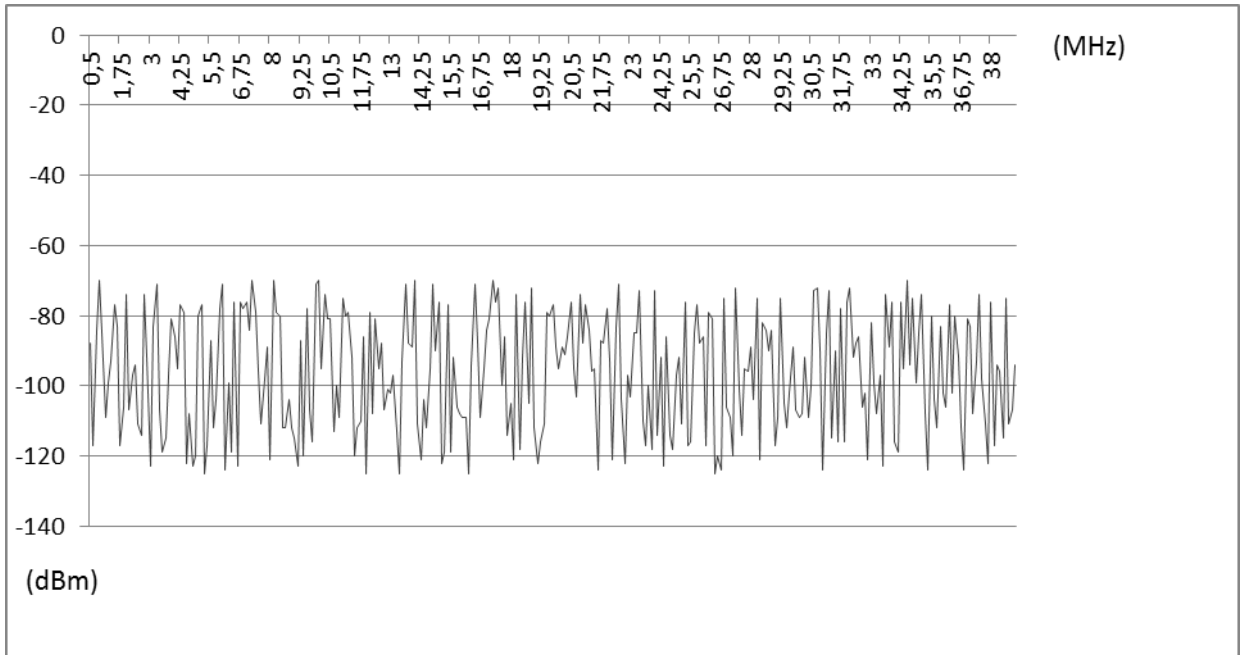


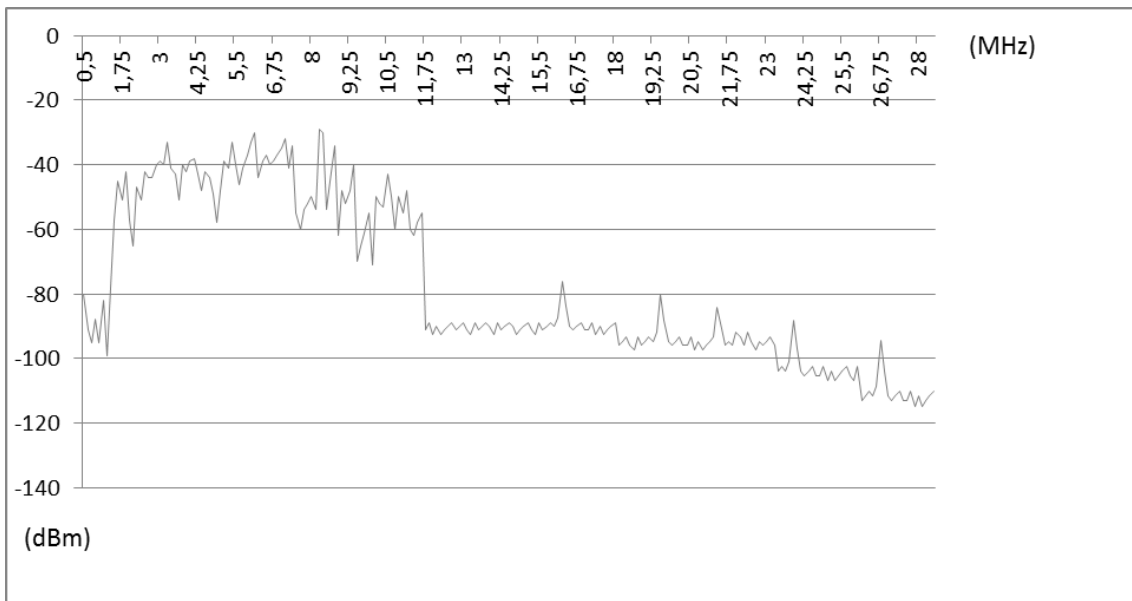
Figura 42 Cas-3: Senyal rebut a l'ET 281 Cuartel (dalt) i ET 535 Magatzem (baix)

Cas-4

Valors obtinguts segons es pot visualitzar en la Figura-43 (dalt) la qual, mostra l'espectre obtingut en el centre de transformació 281 Cuartel injectant el senyal i a l'altre extrem, és on hi ha el centre de transformació 535 Magatzem Figura-43 (baix) i a l'inrevés.

S'ha aplicat un escombrat de 10 ms el qual comença a la freqüència inicial de 500 kHz i finalitza a 40 MHz.

Els resultats presentats, són els més desfavorables una vegada intercanviat el generador de funcions i l'analitzador.



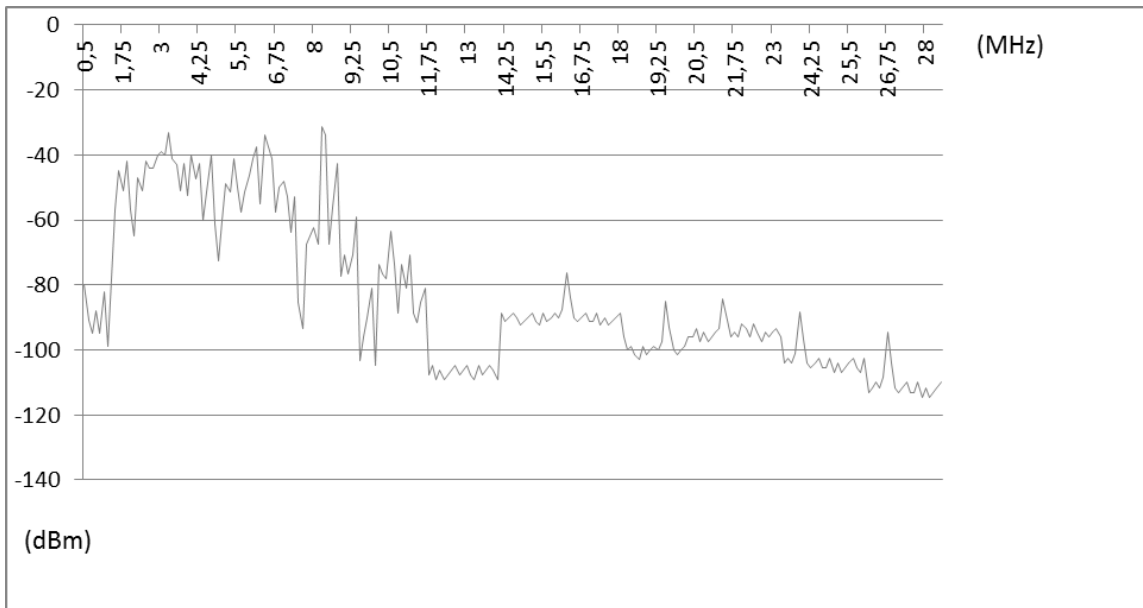


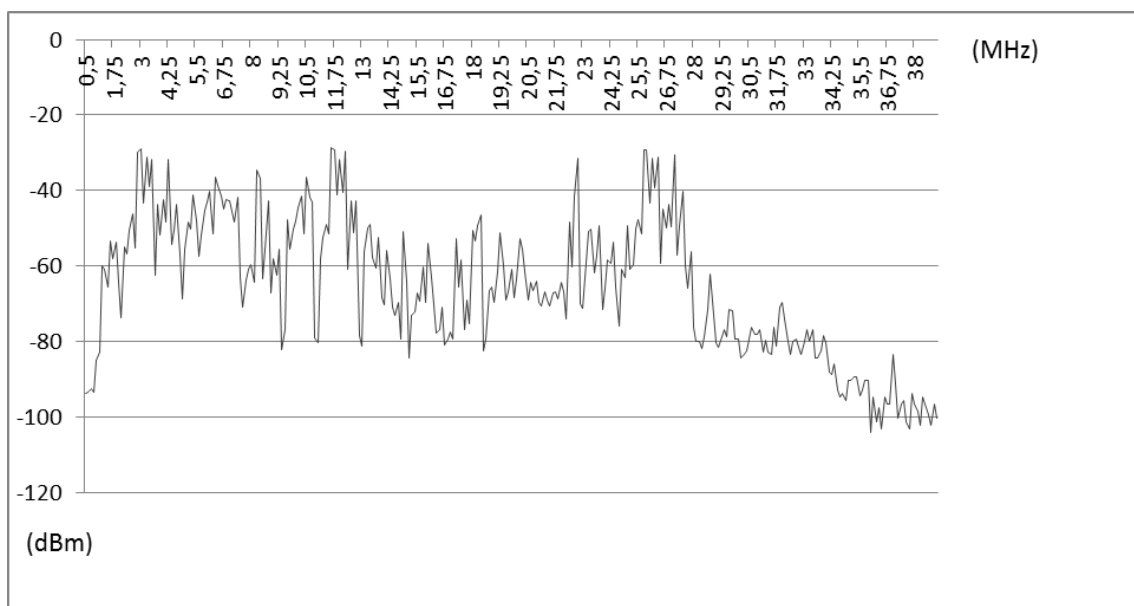
Figura 43 Cas-4: Senyal rebut a l'ET 281 Cuartel (dalt) i ET 535 Magatzem (baix)

Cas-5

Valors obtinguts segons es pot visualitzar en la Figura-44 (dalt) la qual, mostra l'espectre obtingut en el centre de transformació 281 Cuartel injectant el senyal i a l'altre extrem, és on hi ha el centre de transformació 535 Magatzem Figura-44 (baix) i a l'inrevés.

S'ha aplicat un escombrat de 10 ms el qual comença a la freqüència inicial de 500 kHz i finalitza a 40 MHz.

Els resultats presentats, són els més desfavorables una vegada intercanviat el generador de funcions i l'analitzador.



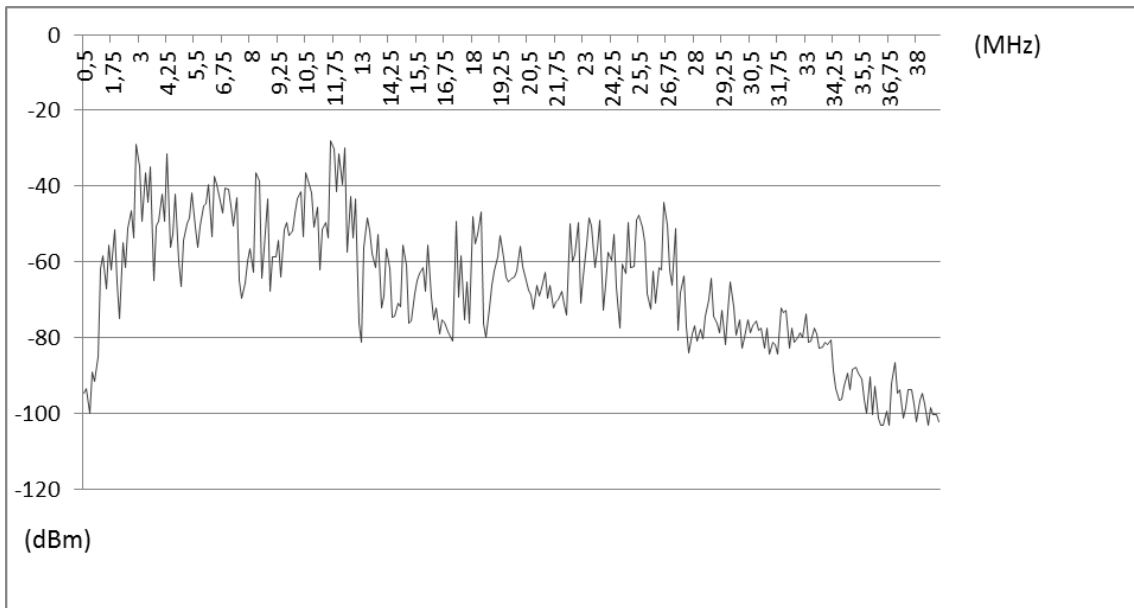


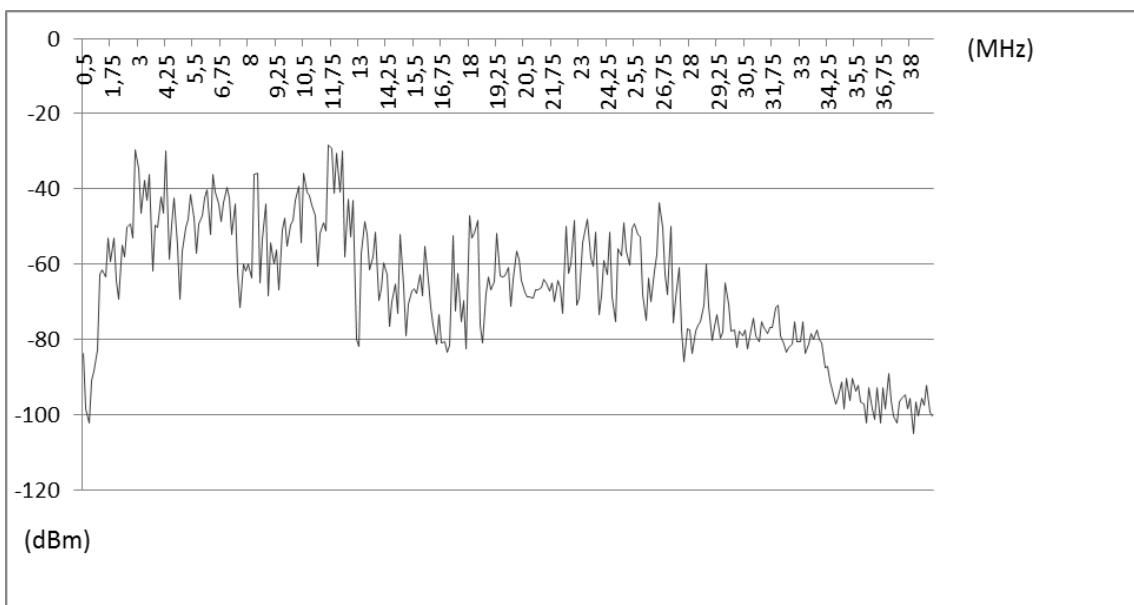
Figura 44 Cas-5: Senyal rebut a l'ET 281 Cuartel (dalt) i ET 535 Magatzem (baix)

Cas-6

Valors obtinguts segons es pot visualitzar en la Figura-45 (dalt) la qual, mostra l'espectre obtingut en el centre de transformació 281 Cuartel injectant el senyal i a l'altre extrem, és on hi ha el centre de transformació 535 Magatzem Figura-45 (baix) i a l'inrevés.

S'ha aplicat un escombrat de 10 ms el qual comença a la freqüència inicial de 500 kHz i finalitza a 40 MHz.

Els resultats presentats, són els més desfavorables una vegada intercanviat el generador de funcions i l'analitzador.



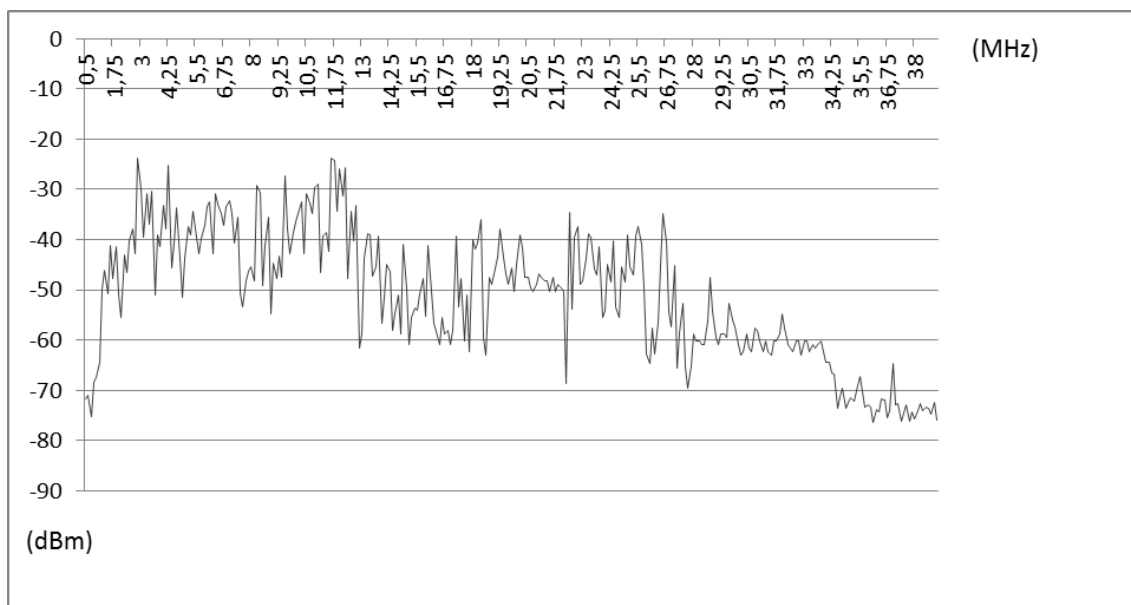


Figura 45 Cas-6: Senyal rebut a l'ET 281 Cuartel (dalt) i ET 535 Magatzem (baix)

Durant les mesures entre els casos 7 i 12, i una vegada constatat que el comportament dels acobladors, ha estat anàleg als dels casos compresos entre l' 1 i el 6 s'ha descartat la viabilitat d'instal·lar acobladors inductius en base les mesures de curta distància realitzades entre els centres de transformació Magatzem i Cuartel quan els elements de maniobra elèctrics estan oberts a cada extrem.

Per aquesta situació, tot i que una xarxa elèctrica pot estar fora de servei, s'ha de considerar que aquesta ha de seguir essent un medi físic de telecomunicacions fiable entre els centres de transformació.

En definitiva i segons ve representat en els casos 10,11 i 12, per aquest enllaç, només es presenta l'opció del cas-8 que correspon al menys favorable entre els millors.

Cas-8

Valors obtinguts segons es pot visualitzar en la Figura-46 (dalt) la qual, mostra l'espectre obtingut en el centre de transformació 281 Cuartel injectant el senyal i a l'altre extrem, és on hi ha el centre de transformació 500 Pedrals Figura-46 (baix) i a l'inrevés.

S'ha aplicat un escombrat de 10 ms el qual comença a la freqüència inicial de 500 kHz i finalitza a 40 MHz.

Els resultats obtinguts són els més desfavorables una vegada intercanviat el generador de funcions i l'analitzador.

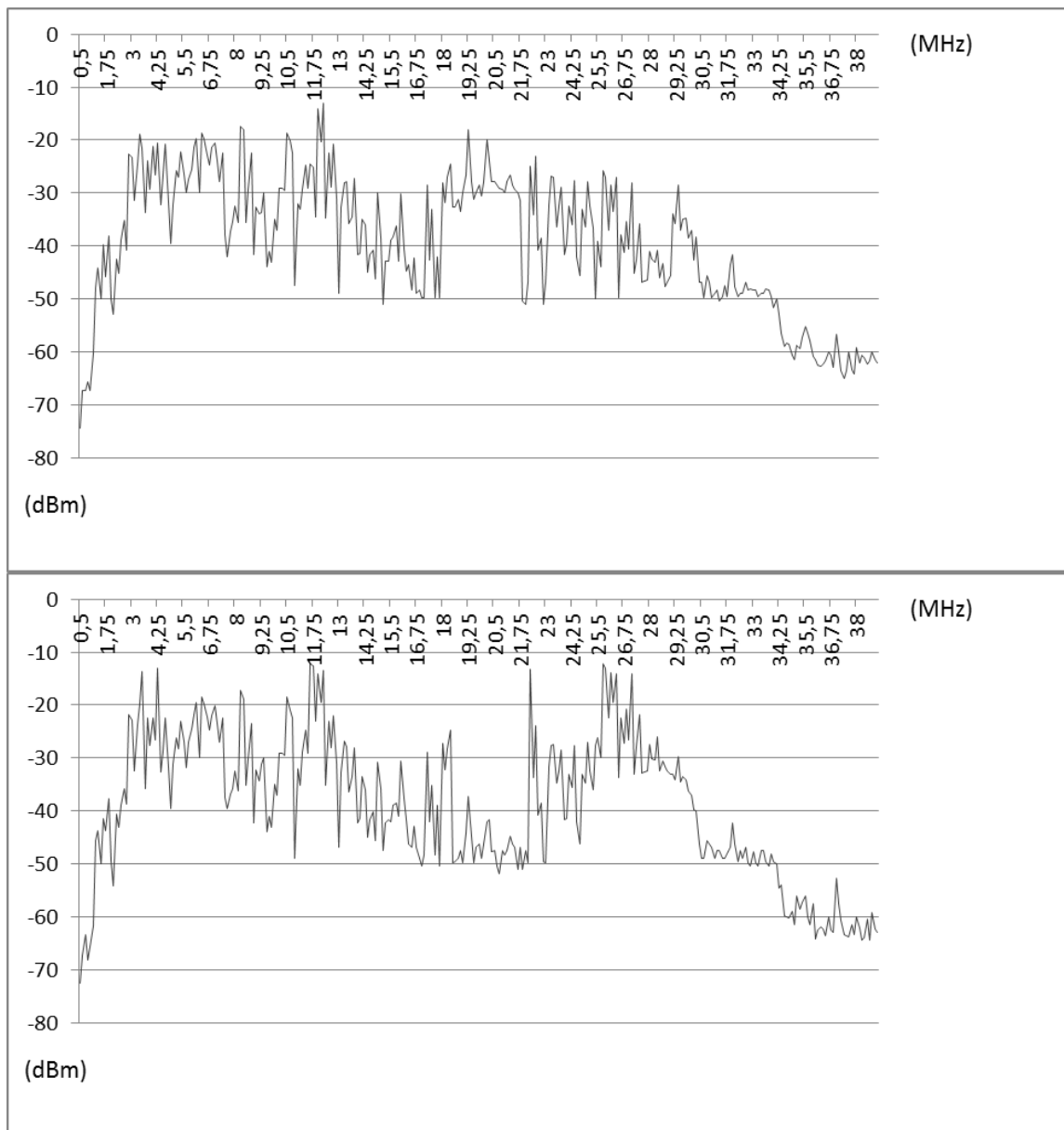


Figura 46 Cas-8: Senyal rebut a l'ET 281 Cuartel (dalt) i ET 500 Pedrals (baix)

Referent a la mesura del soroll, aquesta tot i haver-se mesurat en ambdós trams, només s'ha presentat els valors obtinguts del tram de línia més llarga i més desfavorable, corresponent al cas-8 i amb la funció *maxhold*, que es basa en la captura dels màxims assolits mitjançant l'atenuador de -30 dBm intern de l'analitzador PERSEUS.

Durant les mesures, bàsicament, el soroll es va mostrar impulsiu segons els valors de la gràfica de la Figura-47 en la qual, es pot apreciar que aquest va disminuint amb l'increment de la freqüència.

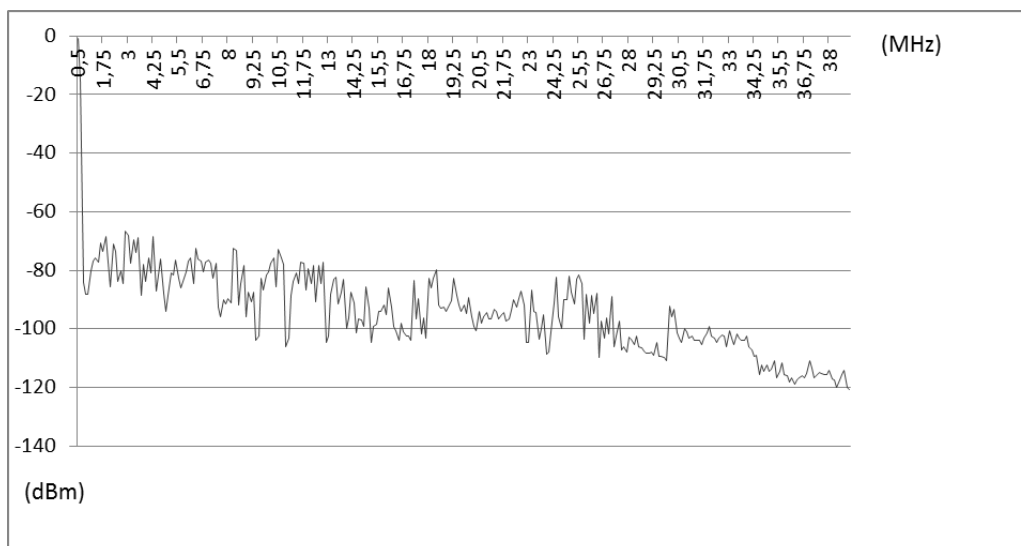


Figura 47 Mesura del soroll mesurat a l'ET 281 Cuartel direcció Pedrals.

Considerant que l'equip de BPLC a instal·lar utilitza el *Multicarrier Modulation Profile*, les proves preliminars han demostrat que la banda de freqüència més útil per la transmissió del BPLC, és la compresa entre les freqüències de 2 MHz fins a 26 MHz (aproximadament). Això depèn específicament de la línia de mitja tensió, però en tots els casos la part de l'espectre de la freqüència (per sota de 26 MHz) ofereix millors característiques de propagació respecte la part superior (de 26 MHz a 40 MHz).

3.4. Configuració i connexió dels equips PLC.

La distribuïdora te normalitzat un equipament del fabricant ZIV model de la gama DRN amb l'objectiu, de disposar d'una tecnologia de telecomunicacions el més homogènia i compacte possible per esser instal·lada en els centres de transformació, per això aposta per un producte que estigui dissenyat per poder fer el transport de la informació dels diferents serveis els quals són l'automatització, la telegestió, les proteccions elèctriques, els sistema de videovigilància i els analitzadors de xarxes elèctriques, cap als nivells superiors d'una xarxa elèctrica amb diferents interfícies, com poden ser, la fibra òptica, el BPLC, tecnologies radio basades en GPRS/UMTS.

En base a les exigències de l'entorn de treball elèctric, es requereix d'una bona fiabilitat i robustesa, aquests equipaments inclouen la funció d'encaminador amb sis ports *Fast Ethernet* en configuració 10/100Base-Tx i dos port SFP *Gigabit Ethernet*.

Aquests ports *Fast Ethernet*, estan dissenyats i destinats per a connectar els diferents equipament presents en una instal·lació elèctrica esmentades anteriorment però els més exigents, són els sistemes de protecció i detecció de falta elèctrica.

Per tant, centrant l'operació de les telecomunicacions com a *switch* de les interfícies *Ethernet*, *Gigabit Ethernet* i BPLC, la capacitat d'encaminador es basen en IPv4 amb possibilitat d'encaminar de forma estàtica i/o dinàmica, del que es desprèn, que és possible gestionar els protocols RIP i OSPF.

L'estructura del node DRN, és la que es pot veure en la Figura-48 i el manual d'usuari es pot obtenir en la pàgina 49 de l'annex.

Vista frontal

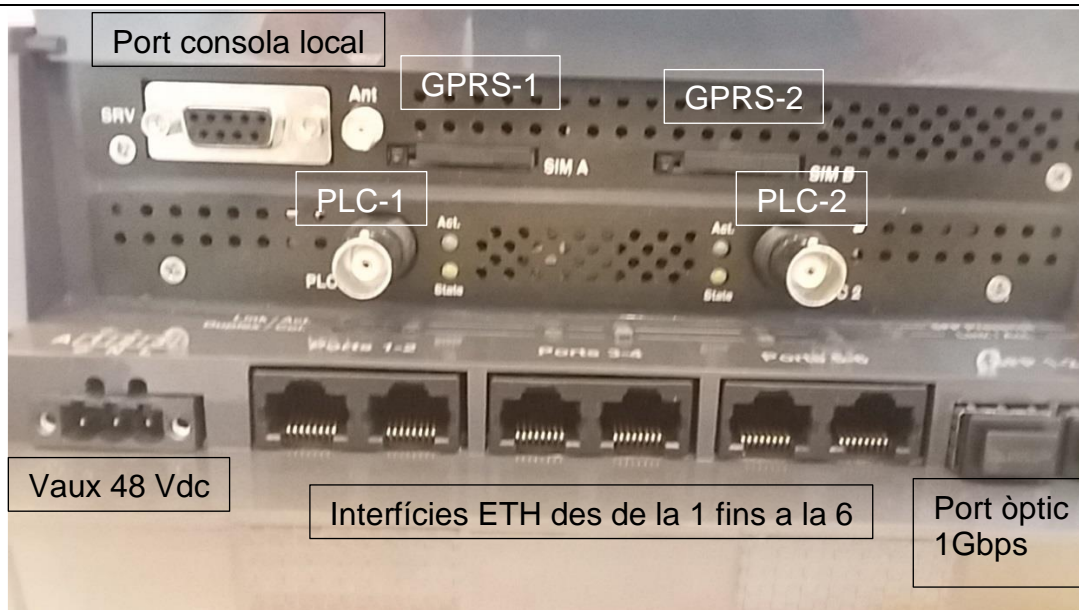


Figura 48 DRN Node BPLC Fabricat ZIV.

La metodologia per accedir al node DRN, és mitjançant una consola d'usuari en mode local o també, via Telnet, en el cas d'accés remot. Al manual d'usuari del fabricant venen les explicacions detallades així com dades importants i també, esquemes per la seva correcta instal·lació conjuntament amb informació relativa a la configuració. A la memòria final del treball, serà adjuntat en l'annexa.

Des del terminal, s'han obtingut les configuracions corresponent als equip BPLC instal·lats en els centres de transformació 500 Pedrals (Figura-49), E.T.281 Cuartel (Figura-50) i E.T.535 Magatzem (Figura-51) de manera que s'ha obtingut la següent informació de interès:

Lan/port[7] BPLC direcció E.T. 500 Pedrals

Estadístiques locals de l'equip instal·lat a l'E.T. 500 Pedrals són 129 Mbps en sentit E.T. Cuartel i 127 Mbps des de E.T. Cuartel.

```
DRA2 - Pedrals /> download
restore
set /main/hostname "DRA2 - Pedrals"
set /main/location "Granollers - 500"
set /main/contact TIC
set /main/timezone Madrid
set /admin/reset/enable on
set /admin/reset/period 7
set /lan/port[1]/name DCU
set /lan/port[1]/vid 500
set /lan/port[5]/vid 500
set /lan/port[6]/vid 500
set /lan/port[7]/name "PLC0- Cuartel"
set /lan/port[7]/vid 500
set /lan/port[8]/vid 500
set /lan/port[9]/name "Lliure"
set /lan/port[9]/vid 500
set /lan/vif[1]/vid 500
set /lan/vif[1]/ip [REDACTED]
set /lan/vif[1]/mask [REDACTED]
set /lan/vif[1]/description ESC_Centre_1
set /lan/plc/plc1/factory_default off
set /lan/plc/plc1/nmk 23
add /routing/static/default_st_rules
set /routing/static/default_st_rules[1]/gateway [REDACTED]
set /routing/static/default_st_rules[1]/if vlan500
set /routing/static/default_st_rules[1]/descr esc_Centre_1
set /ntp/client/server[1]/ip [REDACTED]
set /snmp/enable on

DRA2 - Pedrals /> stats lan/plc
/
  lan/
    plc/
      plc_interfaces[]/
        [plc_interfaces] port mac state tx_packets tx_error t
x_coll rx_packets rx_error
-----
-----
-----
656 1 7 00:E0:AB:19:C6:5C static 445115 0 3
91571 2 8 00:E0:AB:19:C6:5D static 343317 0 0
0 0
      plc0_network[]/
        [plc0_network] pl role tei mac tx_rate rx_rate
-----
-----
-----
1 LOC CCO 002 00:E0:AB:19:C6:5C 129 127
2 REM STA 003 00:E0:AB:19:C6:66 131 128
```

Figura 49 Configuració encaminador BPLC situat en el E.T.500 Pedrals.

Lan/port[7] BPLC direcció E.T.500 Pedrals

Estadístiques locals de l'equip instal·lat a l'E.T. 281 Cuartel són 128 Mbps en sentit E.T. Pedrals i 131 Mbps des de E.T. Pedrals.

Lan/port[8] BPLC direcció E.T. 535 Magatzem

Estadístiques locals de l'equip instal·lat a l'E.T. 281 Cuartel són 148 Mbps en sentit E.T. Magatzem i 147 Mbps des de E.T. Magatzem.

```
DRA2 - Cuartel /> download
restore
set /main/hostname "DRA2 - Cuartel"
set /main/location "Granollers - 281"
set /main/contact TIC
set /main/timezone Madrid
set /admin/reset/enable on
set /admin/reset/period 7
set /lan/port[1]/name DCU
set /lan/port[1]/vid 500
set /lan/port[5]/vid 500
set /lan/port[6]/vid 500
set /lan/port[7]/name "PLC0- PEDRALS"
set /lan/port[7]/vid 500
set /lan/port[8]/name "PLC1- Magatzem"
set /lan/port[8]/vid 500
set /lan/port[9]/vid 500
set /lan/vif[1]/vid 500
set /lan/vif[1]/ip [REDACTED]
set /lan/vif[1]/mask [REDACTED]
set /lan/vif[1]/description ESC_Centre_1
set /lan/plc/plc1/factory_default off
set /lan/plc/plc1/nmk 23
add /routing/static/default_st_rules
set /routing/static/default_st_rules[1]/gateway [REDACTED]
set /routing/static/default_st_rules[1]/if vlan500
set /routing/static/default_st_rules[1]/descr esc_Centre_1
set /ntp/client/server[1]/ip [REDACTED]
set /snmp/enable on
DRA2 - Cuartel /> stats lan/plc
/
  lan/
    plc/
      plc_interfaces[]/
        [plc_interfaces] port mac state tx_packets tx_error t
x_coll rx_packets rx_error
-----
-----
777 1 0 7 00:E0:AB:19:C7:8C static 478582 0 2
91571 2 0 8 00:E0:AB:19:C6:55 static 539771 0 0
0 0
      plc0_network[]/
        [plc0_network] pl role tei mac tx_rate rx_rate
-----
-----
1 1 LOC CCO 002 00:E0:AB:19:C7:8C 128 131
2 2 REM STA 003 00:E0:AB:19:C6:66 127 129
      plc1_network[]/
        [plc1_network] pl role tei mac tx_rate rx_rate
-----
-----
1 1 LOC CCO 002 00:E0:AB:19:C6:55 148 147
2 2 REM STA 003 00:E0:AB:19:C8:7C 146 145
```

Figura 50 Configuració encaminador BPLC situat en el E.T.281 Cuartel.

Lan/port[7] BPLC direcció E.T. 281 Cuartel.

Estadístiques locals de l'equip instal·lat a l'E.T. 535 Magatzem són 145 Mbps en sentit E.T. Cuartel i 146 Mbps des de E.T. Cuartel.


```

DRA2 - Magatzem /> download
restore
set /main/hostname "DRA2 - Magatzem"
set /main/location "Granollers - 535"
set /main/contact TIC
set /main/timezone Madrid
set /admin/reset/enable on
set /admin/reset/period 7
set /lan/port[1]/name DCU
set /lan/port[1]/vid 500
set /lan/port[5]/vid 500
set /lan/port[6]/vid 500
set /lan/port[7]/name "PLC0- Cuartel"
set /lan/port[7]/vid 500
set /lan/port[8]/vid 500
set /lan/port[9]/vid 500
set /lan/vif[1]/vid 500
set /lan/vif[1]/ip ██████████
set /lan/vif[1]/mask ██████████
set /lan/vif[1]/description ESC_Centre_1
add /routing/static/default_st_rules
set /routing/static/default_st_rules[1]/gateway ██████████
set /routing/static/default_st_rules[1]/if vlan500
set /routing/static/default_st_rules[1]/descr esc_Centre_1
set /ntp/client/server[1]/ip ██████████
set /snmp/enable on

DRA2 - Magatzem /> stats lan/plc
/
  lan/
    plc/
      plc_interfaces[]/
        [plc_interfaces] port mac state tx_packets tx_error t
x_coll rx_packets rx_error
-----
      1 0 7 00:E0:AB:19:C8:7C static 543724 0 0
      2 0 8 00:E0:AB:19:C8:7D static 443 0 0
    plc0_network[]/
      [plc0_network] pl role tei mac tx_rate rx_rate
-----
      1 LOC CCO 002 00:E0:AB:19:C8:7C 145 146
      2 REM STA 003 00:E0:AB:19:C6:55 147 148

```

Figura 51 Configuració encaminador BPLC situat en el E.T.535 Magatzem.

La connexió dels diferents equipaments es divideix entre la connexió elèctrica per alimentar la tecnologia de l'encaminador DRN i la connexió d'alta freqüència entre el connector BNC del port PLC i l'acoblador amb cable coaxial RG-58 per transferir i rebre el senyal de la línia de transmissió basada en el cable radial de mitja tensió.

Amb la finalitat de que els sistemes de telecomunicacions siguin fiables en cas d'una falla del subministrament elèctric de la instal·lació, és necessari alimentar tots els dispositius actius, a un sistema de carregador i bateria amb una tensió normalitzada per l'empresa de 48 Vdc amb una autonomia de dues hores.

El nivell d'aïllament que es requereix en els centres de transformació de mitja tensió, és de 5 kV per evitar transferències directes de tensions entre els equips i les persones respecte els punts actius de mitja tensió donada una pèrdua d'aïllament [29]. del sistema elèctric. Això, s'aconsegueix gràcies a transformadors d'aïllament interns en els carregadors.

La connexió entre l'encaminador DRN i els acobladors, es pot veure resumida en la Figura-52.

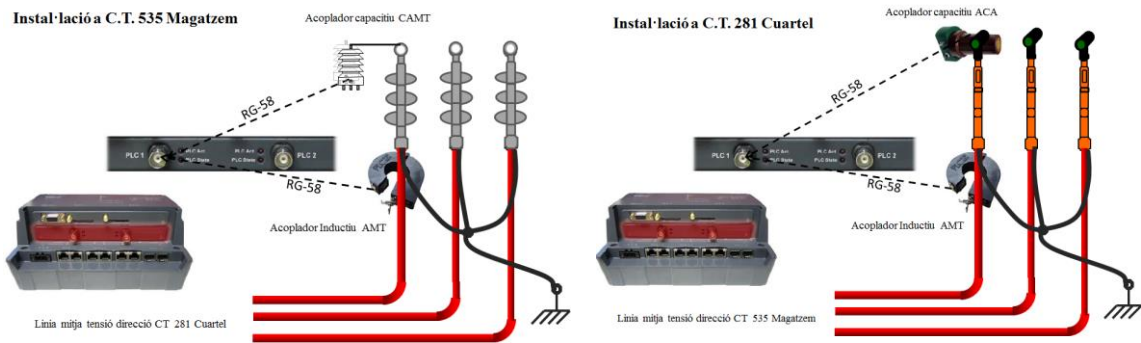


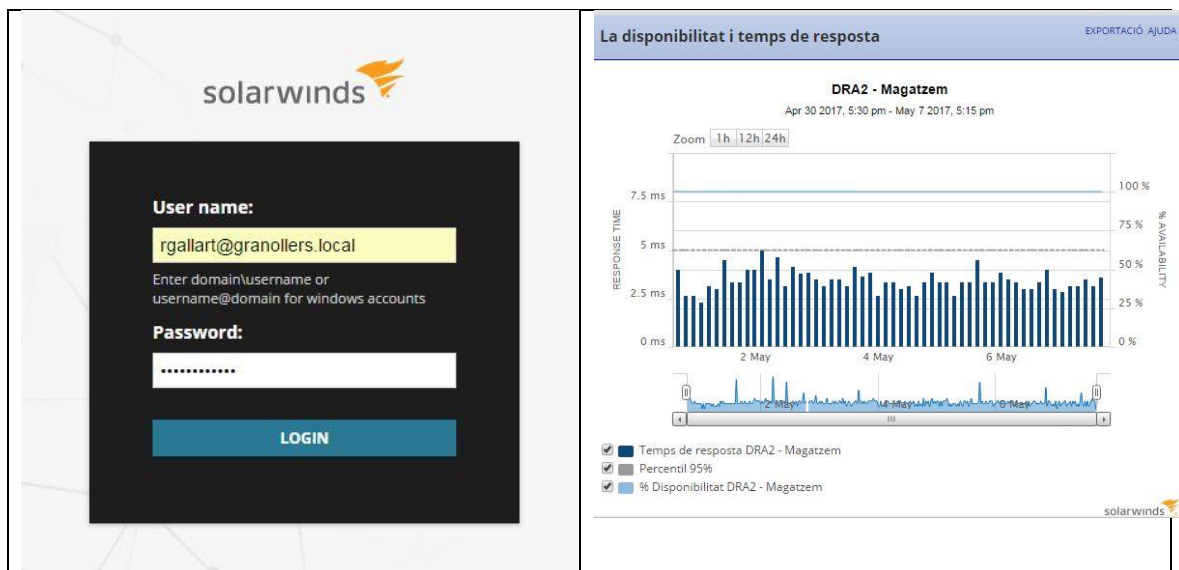
Figura 52 Connexió dels diferents tipus d'acobladors i l'encaminador DRN.

3.5. Anàlisi del canal a nivell físic

Es important notar que en el cas-4 desenvolupat en el apartat 3.3, correspon a la situació d'ús d'acobladors inductius amb els seccionadors de maniobra de la xarxa elèctrica de mitja tensió oberts en els respectius extrems per tant, tal com s'ha explicat en el apartat 2.3 La xarxa real i la seva arquitectura (Figura-17), és quan es dona la situació més desfavorable de manera que, no permet assolir l'amplada de banda necessària pel correcte compliment dels requeriment de l'IEC-61850 no obstant això, l'amplada de banda obtingut, és sobradament suficient per altres serveis com poden ser els d'automatització, els de telegestió, etc.

La metodologia per analitzar el canal a nivell físic ha estat basada amb les estadístiques obtingudes des del sistema de gestió dels elements de la xarxa de telecomunicacions d'EyPESA suportat en el programari **Solar Winds** (<http://www.solarwinds.com/es/>) el qual permet la gestió de tots els dispositius de xarxa de manera que i concretament per aquest treball, s'ha pres especial atenció a les amplades de banda i a les latències des de l'origen fins a final amb la finalitat de considerar tota la cadena de la xarxa BPLC en les condicions més desfavorables.

Per això i una vegada registrats al programari Solar Winds, els resultats obtinguts de latències acumulades i disponibilitat han estat el que es mostren a la Figura-53.



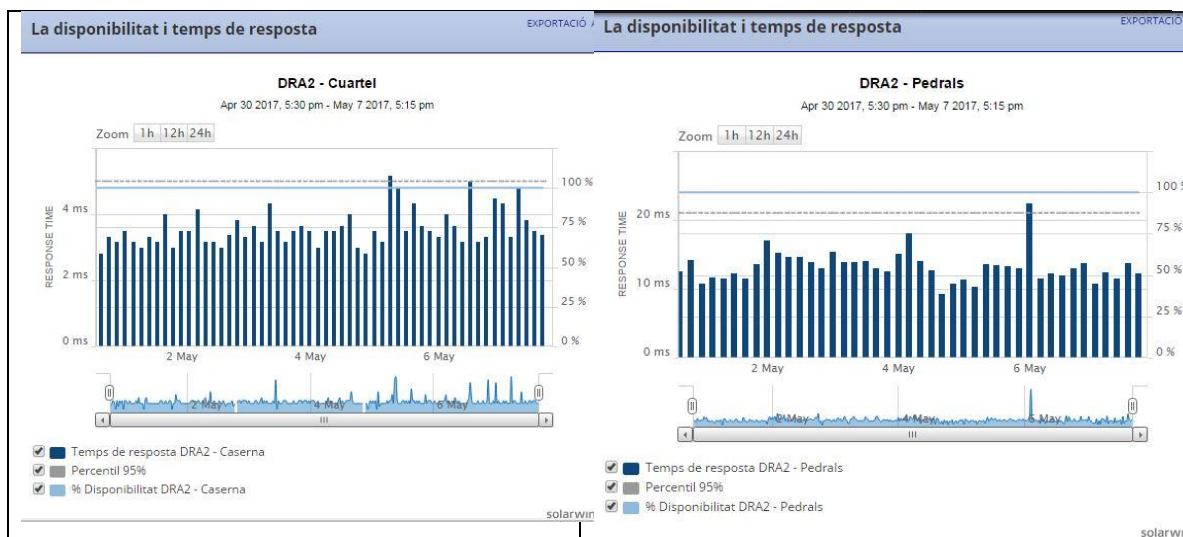


Figura 53 Estadística acumulades sobre latències i disponibilitat.

Per obtenir la mesura del *bit rate* en el Solar Winds, ha estat en base a una estadística de la velocitat de descàrrega i carrega ja que, en una xarxa de telecomunicacions necessària per la gestió d'una xarxa elèctrica intel·ligent, la mida dels fitxers depèn de la interfície que necessita fer l'enviament de la informació i/o continguts és a dir la simetria és important. Per tant, mesurant la quantitat de temps que es triga a descarregar aquests arxius, s'obté un primer resultat de velocitat o el que és el mateix:

$$Velocitat [bps] = \frac{Mida arxius [bits]}{t_{final} - t_{inicial} [s]} \quad [17]$$

Els resultats obtinguts corresponen a la mesura en el sentit més desfavorable dels dos enllaços segons es pot visualitzar a les Figures-55 i 56. Aquests valors han estat els corresponents als dies compresos entre el 30 d'Abril i el 7 de Maig amb una mostra cada 15 minuts, segons es pot veure a la Figura-54, per tant s'ha pogut comprovar el comportament del canal en funció de la variabilitat de les impedàncies connectades a la xarxa elèctrica en l'interval d'una setmana.

En el sistema de monitorització *Solar Winds* ha estat configurat alarmes per detectar caigudes de la velocitats inferiors als 100 Mb/s i latències superiors a 10 ms, de manera que durant els dies d'estudi, no s'ha detectat cap alarma.

personalitzar gràfic ACTUALITZACIÓ

Titols de gràfic:

titol:

subtitol:

rang de zoom predeterminat:

Període de temps:

Interval de mostra:

Carta de la mida:

amplada:

alçada:

Es pot mantenir la mateixa relació d'aspecte ample / alt mitjançant la introducció d'un ample, però entrar a '0' per l'altura

Figura 54 Configuració del temps de mostreig de la mesura.

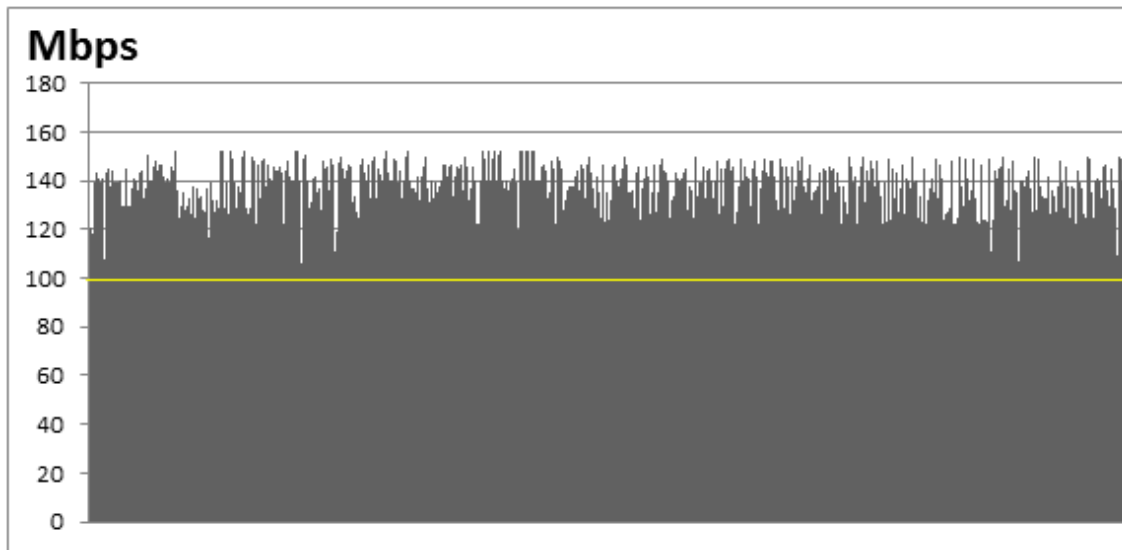


Figura 55 Mesures enllaç BPLC Cuartel-Magatzem.

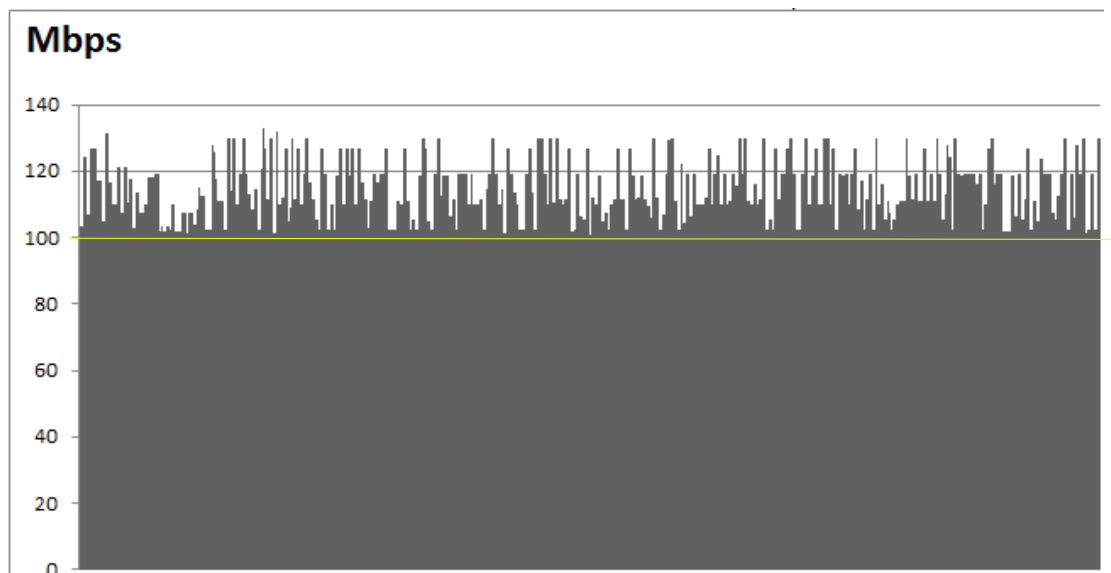


Figura 56 Mesures enllaç BPLC Cuartel-Pedrales.

3.6. Anàlisi dels requeriments del IEC 61850

La contínua evolució tecnològica del sector elèctric es veu reflectida en aquests moments en la implantació de les xarxes intel·ligents o *Smart Grids*, per aconseguir un ús més eficient i racional de l'energia. Es requereix per a això la incorporació en les xarxes elèctriques de les tecnologies de la informació i les comunicacions, per a possibilitar l'intercanvi bidireccional de dades, capacitat imprescindible en la interacció requerida per aquests nous serveis. Les tendències dels serveis de les tecnologies de la informació, convergeixen ja des de fa temps i de forma estesa cap a les tecnologies TCP / IP. com a conseqüència d'aquest full de ruta, va néixer la norma internacional IEC 61850, pensada per a la implantació d'aquestes solucions en les xarxes internes de les subestacions elèctriques, però aplicable també a sistemes de *Smart Grid*, energies renovables o vehicle elèctric.

L'estàndard IEC 61850 es presenta com una proposta normalitzada única i completa (modelatge, configuració, comunicacions) per assegurar la interoperabilitat entre diferents fabricants.

Per això, la seva implementació preveu aportar a les empreses un important estalvi de costos en la seva implantació, els materials i també, en el manteniment de les instal·lacions elèctriques.

A més, el desenvolupament de les xarxes LAN de les subestacions i centres de transformació, necessàries per a la implantació de la norma IEC 61850, obre la porta a un nou mercat de serveis, gràcies a les possibilitats TIC.

Aquest treball no s'ha centrat en la comunicació interna de subestacions elèctriques, sinó que va més enllà, en el sentit d'ampliar aquest abast des de la subestació als centres de transformació que estan connectats elèctricament com a alternativa a les tecnologies de fibra òptica que requereix una inversió important per la seva estesa i també, les tecnologies radio 4G, les quals no són les més ideals en aquests tipus de instal·lacions ja que bàsicament en les ciutats i poblacions acostumen a estar soterrades presentant un impediment físic a la cobertura sense fils.

El fet diferencial que ha motivat proposar a l'empresa a fer aquest projecte, és en base a un anàlisi sobre necessitats de telecomunicacions internes dels centres de transformació i la comunicació entre aquests, bàsicament, per que les interaccions de protecció en l'àmbit de la xarxa de distribució, no són similars a les de les subestacions elèctriques permetent a la distribuïdora optimitzar les seves inversions, per això forma part del pla estratègic de xarxes intel·ligents.

A l'hora de fer el disseny de la topologia de la xarxa, cal tenir en compte la disposició física dels dispositius que han de comunicar-se entre si. Per a això és important determinar com han de connectar-se aquests, de manera que, segons el tipus de missatge a intercanviar, tindrà requeriments de temps diferents.

La Norma IEC 61850 en la part 5 defineix els tipus de missatges que circularan dins de la xarxa de comunicació i els classifica segons el seu rendiment tal i com es mostra a la Taula-10.

Tipus	Nom	Exemple	Acompliment requerit
1A	Missatges ràpids: <i>Trip</i>	Actuacions protecció	10 ms entre E.T.
			2 ms en Subestació
1B	Missatges ràpids: <i>Others</i>	Interacció entre processos	<100 ms entre E.T
			20 ms En subestació
2	Missatge de velocitat de mesura	Valors rms	<100 ms
3	Missatges lents	Transferència de registres	< 500 ms
4	Missatges dades sense processar	Transductors	Protecció: 480÷1920 ,mostres/s
			Mesura: 1500÷12000 mostres/s
5	Transferència d'arxius	Alarmes, informació, ajustos	No hi ha requeriments
6	Missatge de sincronització	Sincronització del temps a la xarxa	± 25 µs de <i>clock</i> intern

Taula 10 Tipus de missatges IEC-61850.

En un sistema de comunicació que utilitza un cert model, en aquest cas el TCP / IP, cal identificar la seva pila de protocols. La Figura 57 la mostra i també, fa el mapejat dels missatges que circulen en una xarxa IEC 61850 al mateix torn que és comparat amb el model TCP / IP.

A la Figura-54, es pot constatar que el missatge GOOSE, és un missatge de temps crític, estan mapejats a la capa 1 del model TCP / IP on la seva lògica de publicació de missatges es basa en adreces MAC.

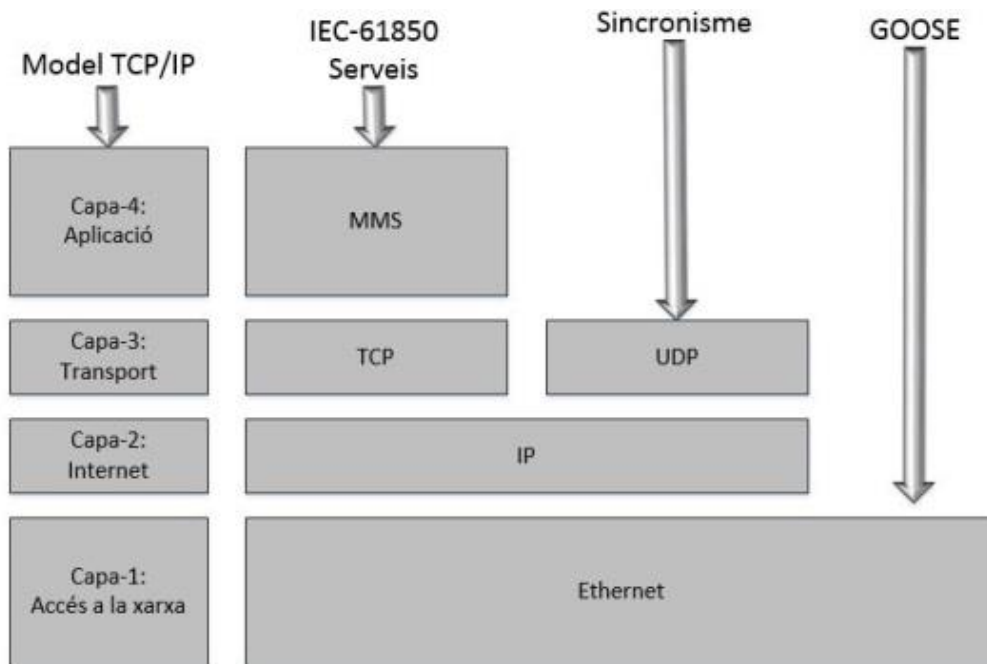


Figura 57 Mapejat dels missatges TCP/IP en una xarxa IEC61850.

La xarxa ha de ser dissenyada de forma per que sigui capaç de transportar la informació requerida sense que es produeixin pèrdues. Una de les principals causes de pèrdues d'informació, s'atribueix a la saturació de l'enllaç a causa de que la capacitat d'aquest no és suficient per suportar tot el trànsit que circula per ell, i com a conseqüència, es tradueix en l'augment de la latència o fins i tot la caiguda de l'enllaç.

Pel disseny de la xarxa s'ha de tenir en compte dos aspectes fonamentals per evitar la saturació i millorar el rendiment:

- El volum del tràfic de dades a la xarxa.
- La naturalesa del trànsit, si és impulsiu o és constant a la xarxa.

Es recomanat que la capacitat dels enllaços i la xarxa siguin calculats de forma que no superin en cap cas el 50% de la seva utilització si no es preveu cap modificació.

En aquest treball, la utilització de encaminadors i *hub* (repetidors) amplia el domini de col·lisions per la qual cosa es recomana l'ús de *switches* amb enllaços *full-duplex* (comunicació simultània en ambdós sentits) per augmentar la capacitat i reduir les latències dels missatges. La capacitat dels ports del *switch* s'ha d'adequar a la capacitat de l'enllaç connectat al mateix, per tal de no desapropiar amplada de banda.

A cada un dels encaminadors se'ls ha previst d'un nombre de ports lliures per a minimitzar els possibles canvis en el disseny de la xarxa en cas d'una ampliació futura o per realitzar el manteniment del dispositiu [30]. En base a això es proposen les següents pràctiques:

- Deixar com a mínim dos ports lliures en cada dispositiu en cas de falla dels altres ports.
- Definir un port del *switch* del tipus RJ - 45 per poder connectar un ordinador portàtil.
- Els ports connectats a les IED, han de ser com a mínim de 100 Mbps.

- Etiquetar els ports del *switch* en el programari d'una forma que es relacioni amb el dispositiu que està connectat en ell per identificar ràpidament l'origen d'un problema a la xarxa.

Una manera d'augmentar el rendiment i evitar la saturació de la xarxa, és la utilització de VLAN i la QoS per garantir el lliurament de missatges en cas de congestió. Separar el tràfic de missatges en VLAN permet disminuir el domini de col·lisió i el domini *broadcast* per tant minimitzar el perill de congestió de la xarxa. Per exemple separar els missatges GOOSE de protecció en una VLAN i els de control en una altra VLAN.

La QoS és un conjunt de requisits de serveis que la xarxa ha de complir per assegurar un nivell de servei adequat per a la transmissió de les dades. A la Taula-11 es poden veure els valors de prioritats definits per la IEC 61850-5 on la prioritat dels missatges crítics com el GOOSE i SV han de tenir un valor mínim de 4 i així en cas de congestió de la xarxa, aquests missatges tindran una major prioritat sobre els altres missatges.

Missatge	Nomenclatura	Prioritat
Generic Object Oriented Substations Events	GOOSE	4
Generic substation State Events	GSSE	1
Sampled Value	SV	4

Taula 11 Prioritat dels missatges definits per IEC 61850.

Les funcions necessàries per l'automatització dels centres de transformació estan relacionades amb les diferents tasques que ha de desenvolupar. Aquestes funcions es poden referir al control, a la monitorització i la protecció dels equip de les instal·lacions elèctriques.

Totes aquestes operacions que es desenvolupen en un centre de transformació, es situen en tres nivells lògics diferents i són:

- Nivell de estació transformadora.
- Nivell de posició o cel·la.
- Nivell de procés.

Les funcions del nivell de procés s'encarreguen de fer el mostratge dels valors analògics i digital directament en el propi origen i els transmeten a la resta de dispositius en temps real.

Les funcions del nivell de posició o cel·la, utilitzen les dades d'una determinada posició i actua amb l'equipament primari de la pròpia posició.

Finalment, el nivells de estació transformadora, es distingeixen dos tipus de funcions, per una banda estan les funcions relatives als procés que usaran les dades de diferents posicions per actuar sobre els dispositius.

Per altre banda, hi han les funcions relatives a la interfície, la qual, representa les fronteres del propi centre de transformació de manera que la relació entre aquestes, es poden veure a la Figura-58.

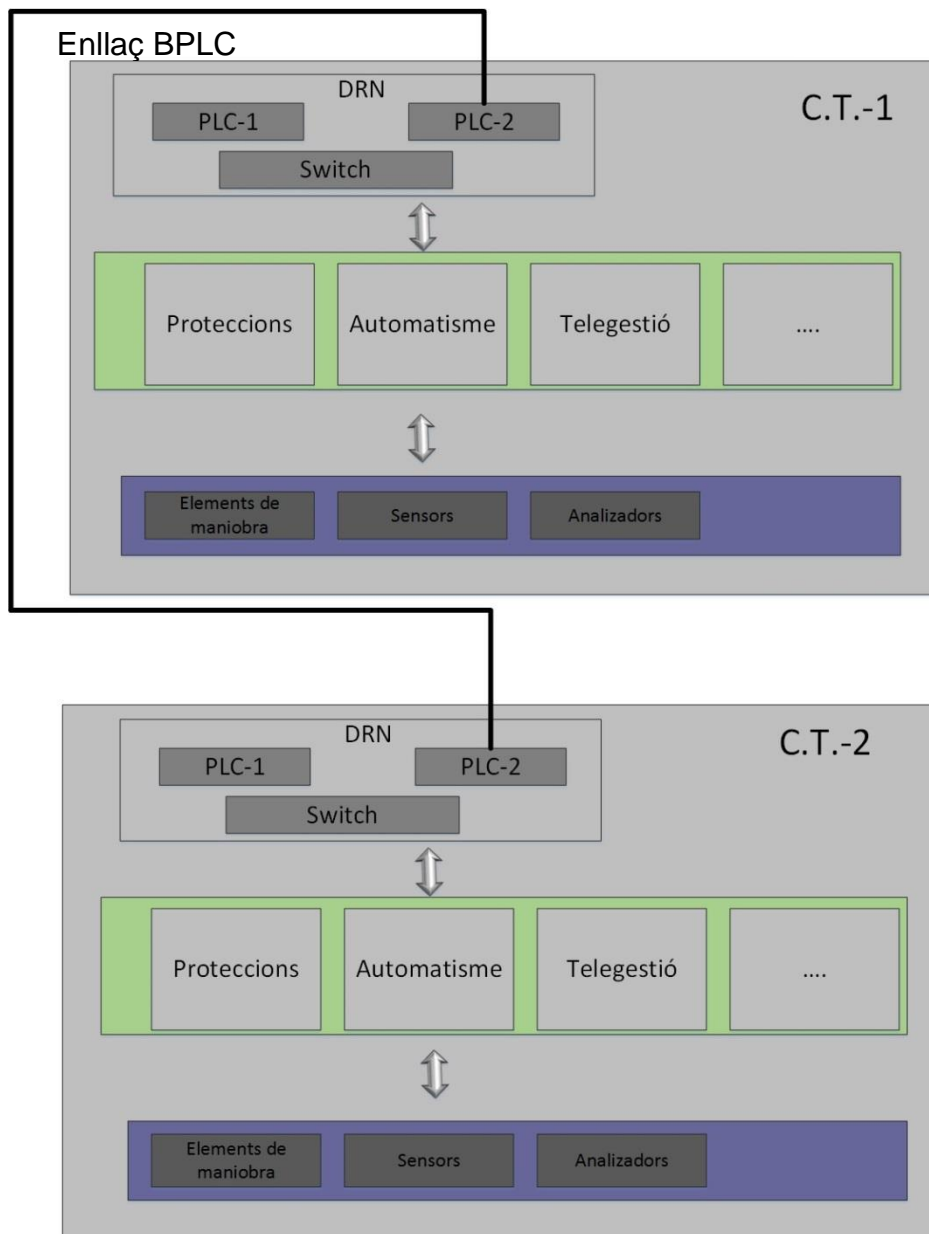


Figura 58 interconnexió entre dispositius segons el IEC 61850 adaptat al centres de transformació.

En base a les mesures realitzades a l'apartat 3.3, s'ha determinat que el millor acoblador per instal·lar en les xarxes elèctriques del distribuïdor per obtenir el màxim rendiment pel que fa a la transferència de senyal d'alta freqüència en els cables de mitja tensió tipus RHZ-1 o amb cables de característiques similars, és el capacitiu en base al que menys afectació presenta segons la variació de les càrregues i les configuracions operatives determinades per la pròpia explotació.

Observant la Taula-10 i considerant que l'IEC-61850 té diferents exigències per les telecomunicacions entre els dispositius de les estacions transformadores i també donat que aquestes instal·lacions no disposen de sistemes de protecció elèctric complexos ni tampoc hi ha un volum de dades gran com es pot donar el cas de les subestacions, es veu viable aplicar el BPLC per la xarxa de distribució d'EYPESA amb els avantatges econòmics i operatius, que això significa segons es podrà determinar en la valoració econòmica i conclusions finals.

4. Valoració econòmica

Tot seguit es detalla una comparativa sobre els costos de la tecnologia BPLC (Taula-12) i fibra òptica (Taula-13), descartant les solucions basades en l'estàndard 4G per la problemàtica explicada en l'apartat 1.1., donada les dificultats de cobertura en les instal·lacions elèctriques soterrades en edificis i/o via pública.

S'han considerat els materials necessàries per ambdues tecnologies així com els costos de instal·lació. Aquest s'han obtingut de la base de dades que disposa l'empresa per la valoració de treballs, equipaments i materials per poder fer encàrrecs de treballs i també control de despeses amb personal propi. En el cas del BPLC (Taula-13) de les tres possibilitats d'acobladors, s'ha considerat el més car. En el conceptes de instal·lació està inclòs tot el petit material.

Per realitzar la comparativa, s'ha establert una longitud de 250 m que inclou la distància entre centres pel traçat del carrer i també a l'interior de la estació transformadora. En el cas de la fibra, i per poder realitzar treballs de manteniment, EyPESA, per cada centre de transformació instal·la una reserva de 25 m.

Cost per un C.T. tecnologia fibra òptica					
Material	ml	unitat	Preu (€)	Instal·lació (€)	TOTAL (€)
Jumpers SM		2,00	8,00	2,18	20,36
Caixa Terminació Mural		1,00	75,52	14,60	90,12
Tubs interior E.T.	6,00		3,77	2,18	20,62
Preparació extrem F.O.		2,00		14,60	29,20
Fusió F.O.		2,00	4,00		8,00
Connector SFP		1,00	332,00		332,00
Router DRN		1,00	1.100,00		1.100,00
Configurar Router		1,00		55,50	55,50
Instal·lació Router		1,00		14,60	14,60
Mesura Reflectometria		2,00		14,60	29,20
Cable OPSYCON F.O.	275,00		2,74		753,50
Tuberia rasa exterior	250,00		0,77		192,50
Obra civil	250,00		27,50		6.875,00
Permisos i Direcció Facultativa		1,00	685,00		685,00
TOTAL					10.205,60

Taula 12 Cost infraestructura de la fibra òptica.

Cost per un C.T. tecnologia BPLC					
Material	ml	unitat	Preu (€)	Instal·lació (€)	TOTAL (€)
Acoblador Capacitiu ACA-500		1,00	265,00		265,00
Acoblador Capacitiu CAMS		1,00	364,00		364,00
Acoblador Inductiu AIMT		1,00	328,00		328,00
Instal·lació Acoblador		1,00		24,18	24,18
Suport metàl·lic Acobaldor CAMS		2,00	25,60	14,60	40,20
Router DRN		1,00	1.100,00		1.100,00
Configurar Router		1,00		55,50	55,50
Instal·lació Router		1,00		14,60	14,60
Cable RG-58	20,00		0,21	3,18	67,80
Descàrrec		4,00	43,08		172,30
TOTAL					1.838,58

Taula 13 Cost infraestructura del BPLC.

5. Conclusions

La tecnologia PLC no és un desenvolupament nou, és una alternativa que s'ha vingut analitzant i aplicant des de fa alguns anys, bàsicament a les grans empreses centrada en suportar serveis de telegestió, automatització.

És important tenir molt clar els inconvenients que presenten les xarxes elèctriques, ja que des del seus orígens, aquestes no han estat dissenyades per a la transmissió de dades. No obstant això, un estudi previ del medi conjuntament amb una instal·lació correcte dels acobladors, fa viable compartir aquesta tecnologia mentre l'empresa va realitzant el desplegament de la fibra òptica a mida que les necessitats ho requereixin de manera que d'aquesta forma, es pot prioritzar en quines instal·lacions establir la connectivitat via fibra.

Amb la tècnica de modulació OFDM, s'ha garantit el funcionament òptim dels sistemes de comunicació de manera que, presenta grans avantatges enfront d'altres tècniques utilitzades en els orígens del PLC.

La implementació de la tecnologia PLC, no pot ser considerada com el reemplaçament de les tecnologies existents, sinó com una solució complementària que treballa en conjunt amb altres tecnologies de comunicació.

La transmissió de senyals en les línies elèctriques no és fàcil. Sorgeixen diversos problemes, a causa de reflexions de senyal, per la configuració dels elements de maniobra de mitjana tensió i pel comportament de les càrregues elèctriques a altes freqüències. Per tant les aplicacions han de ser dissenyades acuradament i han de combinar-se amb la experimentació adequada, pel que fa a les característiques de transmissió del senyal.

Però aquest treball ha aprofundit en determinar les característiques físiques que cal considerar per assegurar que el BPLC pugui suportar l'estàndard IEC-61850 per centres de transformació des de les subestacions amb la finalitat d'escollir en quins punts de la xarxa, cal prioritzar per invertir en la construcció i l'estesa de xarxa de gran capacitat de fibra òptica aportant una alternativa de garantia per l'operació de la xarxa en funció de les distàncies.

En les proves realitzades, s'ha determinat que distàncies superiors a 300 m, el BPLC és útil per serveis d'automatització, telegestió però no ho és, per l'IEC-61850. També, els acobladors amb millor transferència del senyal, són els capacitius els quals, són una mica més cars en el conjunt materials/instal·lació, però la variabilitat en l'explotació elèctrica no presenten restriccions tal, com es dona amb els inductius.

Si bé és cert, que en la configuració d'un enllaç entre dues estacions transformadores quan el cable de mitja tensió està en posada a terra, en el cas del condensador el senyal es perd mentre que amb l'acoblador inductiu, no li afecta. No obstant això, un tram de la xarxa en posada a terra, es considera com a tram indisponible de manera que els sistemes de re-encaminament, gestionen altres camins per que la informació arribi al seu destí.

La implantació del IEC-61850 a nivell d'estació transformadora, ajuda a l'estandardització de la informació i model de dades de les empreses elèctriques entre equipaments fet que donat el creixent increment de dispositius dispersos per la xarxa, fa que la unificació i simplicitat en l'activació d'aquest, sigui rellevant.

En base als resultats obtinguts, l'empresa donarà continuïtat per realitzar la instal·lació dels dispositius IED amb IEC-61850 en l'escenari d'aquest treball, per confirmar que la comunicació entre aquest i els centres de transformació permeten la correcta operació considerant que les exigències de temps de la Taula-10, no són les que requereixen les subestacions.

6. Glossari

ASK	Amplitude-Shift Keying
BER	Bit Error Rate
BPLC	Broadband Power Line Communication
C.T.	Centre de transformació a vegades representat com a E.T. Estació Transformadora
CAPEX	Capital Expenditure [http://www.encyclopediainanciera.com/definicion-capex.html]
CDMA	Frequency Division Modulation
CTTV	Circuit Tancat de TV
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
E.R.	Estació Receptora
E.T.	Estació Transformadora a vegades representat com a C.T. Centre de Transformació
EMC	Compatibilitat electromagnètica
EDF	Electricité du France
EyPESA	Estabanell y Pahisa Energía S.A.
FM	Freqüència Modulada
FDM	Frequency-Division Multiplexing
FSK	Frequency-Shift Keying
GIS	Geographical Information System
GOOSE	Generic Object-Oriented Substations Events
GPRS	General Packet Radio Service
GSSE	Generic Substation State Events
IEC	International Electrotechnical Commission
IED	Intelligent Electrical Devices
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ITU	International Telecommunications Union
Jitter	Variabilitat temporal Durant l'enviament de senyals digitals
LAN	Local Area Network
MAC	Media Access Control
MC-CDMA	Multiple Carrier-Code Division Multiple Access
MMS	Microsoft Media Server
OFDM	Multiplexació per divisió en freqüències ortogonals
OPEX	Operating Expenses [http://www.encyclopediainanciera.com/definicion-opex.html]
OSPF	Open Shortest Path First
Pert	Project Evaluation Review Technique
PLC	Power Line Communications o Power Line Carrier
PRIME	PowerLine Intelligent Metering Evolution
PSK	Phase-Shift Keying
PVC	Policlorur de Vinil
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying
RIP	Routing Information Protocol
RTU	Remote Terminal Unit
SFP	Small Form-Factor Pluggable

SV	Sampled Value
TETRA	Terrestrial Trunked Radio
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TFG	Treball Final de Grau
TIC	Tecnologies de la Informació i les Telecomunicacions
UDP	User Datagram Protocol
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UNE	Una Norma Española
UNESA	Asociación Española de la Industria Eléctrica [http://www.unesa.es/]
VER	Bit Error Rate
VLAN	Virtual Local Area Network
xDSL	x Digital Subscriber Line
XLPE	Polietilè Reticulat. [https://es.wikipedia.org/wiki/Polietileno_reticulado]

7. Referències

- [1]. G3-PLC Official Website, URL: <http://www.g3-plc.com/home/>
- [2]. PRIME Alliance Website, URL <http://www.prime-alliance.org/>
- [3]. Meters & More Website, URL <http://www.metersandmore.com/>
- [4]. HomePlug GREEN PHY Website, URL: <http://www.homeplug.org/tech-resources/green-phy-iot/>
- [5]. HomePlug AV2 Website, URL: http://www.homeplug.org/tech-resources/hpav2_next_gen/
- [6]. IEEE 1901 Website, URL: <https://standards.ieee.org/findstds/standard/1901-2010.html>
- [7]. IEEE 1901-2 Website, URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6679210/>
- [8]. ITU-T G.hn/G.hnem Website, URL: https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/tut/T-TUT-HOME-2010-PDF-E.pdf
- [9] Gerd Bumiller, Markus Sebeck, “Complete Power-Line Narrow Band System for Urban- Wide Communication”.
- [10] Andersson, L.; Sendin, A.; Berganza, I.; “Field Experience with Medium Voltage Broadband Powerline Carrier in Smart Metering and Smart Grid Deployments,”, Protection Automation & Control World Conference 2012, Budapest, Hungary, June 2012.
- [11] CENELEC Official Website, [URL:http://www.cenelec.org](http://www.cenelec.org)
- [12] A. Sendin, A. Llano, A. Arzuaga and I. Berganza, “Field Techniques to Overcome Aggressive Noise Situations in PLC Networks”, In proceedings of IEEE SPLC 2011.
- [13] CISPR22 Official Website, URL: http://www.iec.ch/emc/iec_emc/iec_emc_players_cispr.htm
- [14] Henry Bastidas Mora, “The theoretical foundations for calculating the technical parameters for low-voltage overhead electricity lines for use in telecommunications”, REVISTA INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN VOL. 29 No. 2, AGOSTO DE 2009 (107-111)
- [15] T.C. Banwell and s. Galli, A Novel Approach to Accurate Modeling of the Indoor Power Line Channel. Part I: Fundamental Analysis and Circuit Models, and Part II: Transfer Function and Channel Properties., Submitted IEEE Trans. Commun., Jan. 2003.
- [16] M. Zimmermann and K. Dostert, Analysis and Modeling of Impulsive Noise in Broadband Powerline Communications., IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, Vol. 44, 1, Feb. 2002, pp. 249-258.
- [17] H. A. Bastidas, “Modelando algunas características de las redes eléctricas usadas como canal para proveer telecomunicaciones Modelling some characteristics of electrical networks used as channels for providing telecommunications,” Ingeniería e Investigación, vol. 25, no. 003, pp. 111–115, 2005
- [18] C. Hensen, W. Schulz, and S. Schwane, “Characterisation, Measurement and Modelling of Medium Voltage Power-Line Cables for High Data Rate Communication,” pp. 37–44

- [19] Boletín Oficial del Estado, Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- [20] W. Tomasi, *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. Prentice Hall, cuarta ed., 2003
- [21] C. Hensen, W. Schulz, and S. Schwane, “Characterisation, Measurement and Modelling of Medium Voltage Power-Line Cables for High Data Rate Communication,” pp. 37–44.
- [22] M. Zimmermann and K. Dostert, “A Multipath Model for the Powerline Channel,” *IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS*, vol. 50, no. 4, pp. 553–559, 2002
- [23] C. E. Shannon, “A Mathematical Theory of Communication,” *Illinois Research*, no. July 1928, pp. 1–54, 1949.
- [24] International electrotechnical Commission URL: <http://www.iec.ch/smartgrid/standards/>
- [25] Energy future coalition “Challenge and opportunity Charting a new energy future” URL: <http://energyfuturecoalition.org/wp-content/uploads/2015/06/Challenge-and-Opportunity-Charting-a-New-Energy-Future.pdf>
- [26] IEC 61850-7-2 Edition 1.0:2003 Communication networks and systems in substations Part 7- 2: Basic communication structure for substation and feeder equipment – Abstract communication service interface (ACSI).
- [27] Reglamento de Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión “Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias | ITC-RAT 01 a 23”.
- [28] Catálogo de cables para media Tensión Prysmian
[http://www.prysmianclub.es/sites/default/files/Catalogo_MT_Prysmian_2013_2.pdf]
- [29] Water Treeing-Filled versus Unfilled Cable Insulation, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, IEEE, Piscataway, N.J., January/February 2001, Vol. 17, No. 1
- [30] International Electrotechnical Commission IEC 61850-5:2013 Communication networks and systems in substations - Part 5: Communication requirements for functions and device models