



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

**Métodos para la lectura de contadores de
energía eléctrica en la red de BT. Análisis
particular del empleo de PLC.**

Autor:

Gómez Miguel, Diego

Tutor:

**Zorita Lamadrid, Ángel Luis
Ingeniería Eléctrica**

RESUMEN

La legislación eléctrica de determinados países industrializados, obliga a que en un cierto periodo de tiempo se sustituyan los contadores eléctricos tradicionales por otros modelos digitales, que van a permitir su comunicación a distancia y conseguir mejorar la operatividad de la red eléctrica, pasando de una red de distribución convencional a una red inteligente. El objetivo principal de este trabajo de fin de grado ha sido realizar un estudio de las diferentes tecnologías que se están empleando hoy en día en del mundo para la comunicación con estos nuevos contadores inteligentes.

Cada empresa encargada de la distribución eléctrica en distintas áreas geográficas, está adoptando la tecnología que consideran más adecuada para poder obtener los máximos beneficios que nos ofrece el disponer de una red eléctrica inteligente. En mi caso describiré el despliegue que está haciendo Iberdrola Distribución en el territorio de su responsabilidad dentro de España, desde la planificación del despliegue, las fases que tuvo, las distintas tecnologías que se utilizan para llevar la información que nos proporciona el contador inteligente a los centros de trabajo donde se analiza, así como los distintos equipos que han sido necesarios para realizar ese despliegue.

Por último se ha realizado un estudio sobre cómo afecta la colocación de diferentes filtros ante una misma señal de ruido, ya que este es uno de los mayores problemas que tiene esta nueva tecnología. Hay momentos en los que no se pueden obtener todas las lecturas de los contadores, y en la mayoría de los casos este problema se debe al ruido que se introduce de manera no deseada en la red. Estudiaremos los diferentes filtros que mejor se adecuan para solucionar este problema.

Métodos para la lectura de contadores de energía eléctrica en la red de BT. Análisis particular del empleo de PLC.

1. INTRODUCCIÓN	13
1.1. ANTECEDENTES	13
1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	16
1.3. DESCRIPCIÓN DE LA MEMORIA	17
2. ESTADO DEL ARTE: TECNOLOGÍAS EXISTENTES PARA EL ‘SMART METERING’ ...	19
2.1. REDES INTELIGENTES (SMART GRIDS).....	19
2.2. LAS COMUNICACIONES PARA LA MEDIDA INTELIGENTE.....	20
2.3. TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA.....	23
2.3.1. Redes inalámbricas de área personal (WPAN).....	26
2.3.2. Redes inalámbricas de área local (WLAN).....	31
2.3.3. Redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN)	35
2.3.4. Redes inalámbricas de área extensa (WWAN).....	38
2.4. TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN POR CABLE.....	42
2.4.1. Tecnología PLC	42
2.4.2. Tecnología xDSL	48
2.4.3. Euridis.....	49
2.4.4. PON	50
2.5. TABLA COMPARATIVA	51
3. PROYECTO STAR. RED ELÉCTRICA INTELIGENTE.....	54
3.1. INTRODUCCIÓN. MARCO GENERAL.	54
3.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO STAR.	56
3.3. PLANIFICACIÓN DEL DESPLIEGUE. FASES.....	61
3.4. COMUNICACIONES ENTRE LOS DIFERENTES SISTEMAS DEL PROYECTO STAR.	66
3.4.1. Comunicaciones de alta capacidad entre los sistemas de Iberdrola	67
3.4.2. Comunicaciones entre los CTs y su acceso a los sistemas de Iberdrola	71
3.4.3. Comunicaciones de acceso a los contadores. Estándar PRIME	76
OTROS ESTÁNDARES.....	83
3.5. EQUIPOS.	85
4. PROBLEMÁTICA DE LA RED INTELIGENTE	93
4.1. INTRODUCCIÓN	93
4.2. PROBLEMÁTICA DE LAS COMUNICACIONES PLC.....	94
4.2.1. Atenuación de la señal	95
4.2.2. Ruido en el canal PLC	96
4.2.3. Supraarmónicos	101
4.3. SOLUCIONES PARA LA REDUCCIÓN DE RUIDOS EN EL CANAL PLC	104
4.3.1. Instalación de un GTP.....	104
4.3.2. Filtros.....	105
4.4. ACTUACIÓN DE UNA EMPRESA ELÉCTRICA ANTE UN CASO REAL DE RUIDOS EN EL CANAL PLC.....	109
4.4.1. Introducción	109

Índice

4.4.2.	Relación señal-ruido.....	110
4.4.3.	Procedimiento de actuación	111
4.4.4.	Visualización de un caso real de ruidos	115
4.5.	EXPERIMENTO REALIZADO EN UNA EMPRESA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA	122
5.	CONCLUSIONES.....	143
6.	BIBLIOGRAFÍA	145

Métodos para la lectura de contadores de energía eléctrica en la red de BT. Análisis particular del empleo de PLC.

INDICE FIGURAS

Figura 1. Cadena de valor tradicional del negocio eléctrico.....	13
Figura 2. Desintegración regulatoria de la cadena de valor.....	13
Figura 3. Esquema de una Smart Grid.	20
Figura 4. Funcionalidades del sistema de comunicaciones dentro de una Smart Grid.	21
Figura 5. Típica red de comunicaciones AMI.....	23
Figura 6. Rango de frecuencias del espectro electromagnético.....	24
Figura 7. Clasificación de las redes inalámbricas según su alcance y capacidad.	25
Figura 8. Ejemplo de algunos dispositivos unidos mediante una red WPAN.	26
Figura 9. Esquema funcional de la solución netMETRIC.	30
Figura 10. Esquema de una red WLAN.....	31
Figura 11. Comunicación WiMAX para la lectura inalámbrica de contadores inteligentes.	36
Figura 12. Arquitectura propuesta por Albentia Systems para un sistema AMI.	37
Figura 13. Generación de una señal PLC.	43
Figura 14. Comparación de la especificación de CENELEC en Europa con la regulación FCC (Federal Communications Commission) en EEUU.....	45
Figura 15. Topología de red y tecnología a implementar.	47
Figura 16. Arquitectura del proyecto PRICE.	49
Figura 17. Categorización de los Centros de Transformación realizada por Iberdrola.	58
Figura 18. Ejemplo de equipos colocados en un Centro de Transformación.....	60
Figura 19. Fases de ejecución del despliegue STAR.	62
Figura 20. Distintos elementos de comunicaciones dentro de la red STAR.	66
Figura 21. Descripción general de la red de comunicaciones IP/MPLS.....	69
Figura 22. Uso de una red IP/MPLS para la teleprotección.....	70
Figura 23. Esquema básico de una conexión entre equipos con salida por radio digital.....	71
Figura 24. Esquema básico de una conexión entre equipos con salida GPRS.	72

Figura 25. Esquema básico de una conexión entre equipos con salida ADSL.....	72
Figura 26. Ejemplo de un CT de cabecera con salida por fibra óptica.....	74
Figura 27. Ejemplo de un CT de cabecera con salida GPRS.	74
Figura 28. Ejemplo de un CT de cabecera con salida ADSL.	75
Figura 29. Ejemplo de un CT intermedio.....	75
Figura 30. Diferentes estados posibles de un nodo de servicio en una subred PRIME.	79
Figura 31. Ejemplo de comunicación entre nodos base de diferentes subredes.....	80
Figura 32. Implementación de un sistema PRIME por parte de la empresa Circutor.	82
Figura 33. Principales estándares PLC con las correspondientes empresas y marcas que los implementan.....	84
Figura 34. Funcionalidades de un router GPRS.	86
Figura 35. Funcionalidades de un router GPRS.	87
Figura 36. Equipo de inyección PLC.	87
Figura 37. Funcionalidades de un switch.	88
Figura 38. Ejemplo de dos equipos TGB de las marcas Circutor y ZIV, respectivamente.	89
Figura 39. Ejemplo de dos equipos GTP de las marcas Teldat y ZIV, respectivamente.	89
Figura 40. Funcionalidades de un concentrador.	90
Figura 41. Remota dentro de un armario STAR.....	90
Figura 42. Rectificador de baterías dentro de un armario STAR.	91
Figura 43. Variación de la atenuación de la señal PLC con el tiempo y la frecuencia.	96
Figura 44. Escenario de ruido en redes eléctricas.	97
Figura 45. Clasificación de las distintas fuentes de ruido en el canal PLC.	99
Figura 46. Localización de las emisiones por parte de diferentes equipos en el rango 2 – 500 kHz.....	103
Figura 47. Ejemplo de colocación de un equipo GTP para solventar un problema de ruidos.....	105
Figura 48. Situación del filtro en una línea de baja tensión.	106
Figura 49. Instalación de un filtro ZIV con conexión de fase.	107
Figura 50. Diferencia entre la señal deseada y la no deseada.....	110

Figura 51. Flujograma de la visita a campo.....	113
Figura 52. Disponibilidad de un CT por centralización.....	114
Figura 53. Mapa de la urbanización El Cotanillo (Valladolid).	116
Figura 54. Ruido en la fase R antes de filtrar.	117
Figura 55. Ruido en la fase R después de filtrar.	117
Figura 56. Ruido en la fase S antes de filtrar.....	118
Figura 57. Ruido en la fase S después de filtrar.....	118
Figura 58. Ruido en la fase T antes de filtrar.....	119
Figura 59. Ruido en la fase T después de filtrar.....	119
Figura 60. Filtros colocados en paralelo dentro del cuadro general de protecciones.	120
Figura 61. Mapa figurativo de la instalación de un equipo GTP para evitar el ruido.	121
Figura 62. Equipamiento de Iberdrola utilizado para realizar las pruebas con los filtros (I).	122
Figura 63. Equipamiento de Iberdrola utilizado para realizar las pruebas con los filtros (II).	123
Figura 64. Gráfica del ruido en la red de BT sin tener conectada la fuente que genera el ruido.	124
Figura 65. Gráfica del ruido en la red de BT una vez conectada la fuente que genera el ruido.	125
Figura 66. Colocación del cargador averiado y del interruptor magnetotérmico.....	125
Figura 67. Conexión del filtro A en la red de BT.	126
Figura 68. Conexión del filtro A en nuestro modelo experimental.	126
Figura 69. Gráfica obtenida utilizando el filtro A.	127
Figura 70. Esquema eléctrico del filtro B.	128
Figura 71. Conexión del filtro B en nuestro modelo experimental y muestra de su aspecto interior.....	128
Figura 72. Gráfica obtenida utilizando el filtro B de 40A.	129
Figura 73. Gráfica obtenida utilizando el filtro B de 63A.	130
Figura 74. Conexión del filtro C en nuestro modelo experimental sin utilizar el neutro.	130
Figura 75. Gráfica obtenida utilizando el filtro C sin conectar el neutro.	131

Figura 76. Conexión del filtro C en nuestro modelo experimental utilizando el neutro.	131
Figura 77. Gráfica obtenida utilizando el filtro C conectando el neutro.	132
Figura 78. Esquema eléctrico del filtro D.	133
Figura 79. Conexión del filtro D en nuestro modelo experimental y muestra de su aspecto interior.	133
Figura 80. Gráfica obtenida utilizando el filtro D.	134
Figura 81. Esquema eléctrico del filtro E.	134
Figura 82. Conexión del filtro E en nuestro modelo experimental sin utilizar el neutro.	135
Figura 83. Gráfica obtenida utilizando el filtro E sin conectar el neutro.	136
Figura 84. Conexión del filtro E en nuestro modelo experimental utilizando el neutro.	136
Figura 85. Gráfica obtenida utilizando el filtro E conectando el neutro.	137
Figura 86. Esquema eléctrico del filtro F.	138
Figura 87. Conexión del filtro F en nuestro modelo experimental sin utilizar el neutro.	138
Figura 88. Gráfica obtenida utilizando el filtro F sin conectar el neutro.	139
Figura 89. Conexión del filtro F en nuestro modelo experimental utilizando el neutro.	139
Figura 90. Gráfica obtenida utilizando el filtro F conectando el neutro.	140
Figura 91. Equipo Noise diseñado por la empresa Arkossa.	141

Métodos para la lectura de contadores de energía eléctrica en la red de BT. Análisis particular del empleo de PLC.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El negocio eléctrico en España, anterior al año 1997, se estructuraba principalmente alrededor de grandes compañías que aglutinaban todas las actividades que se desarrollan alrededor de la electricidad. Estas empresas, en régimen de monopolio, integraban todo el proceso desde la generación hasta la comercialización con el cliente final (Figura 1).



Figura 1. Cadena de valor tradicional del negocio eléctrico.

Este escenario cambia a partir de la entrada en vigor de la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico, que establece la separación de actividades y la creación de empresas independientes para la gestión de las mismas. De esta forma las actividades de Transporte y Distribución quedan como actividades reguladas, como monopolio natural de sus redes, y la Generación y Comercialización se estructuran como actividades de libre mercado en régimen de competencia (Figura 2).

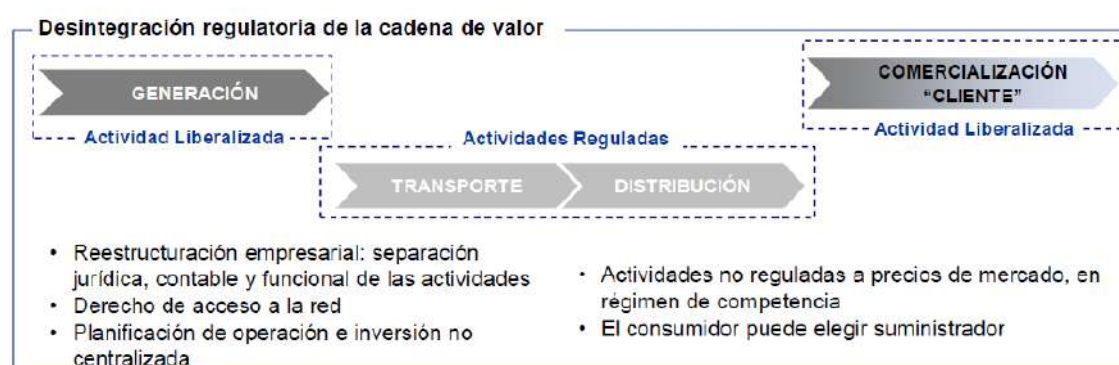


Figura 2. Desintegración regulatoria de la cadena de valor.

La regulación específica de la Ley, se establece con el RD 1995/2000 por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimiento de autorización de instalaciones de energía eléctrica.

El RD 809/2006 establece que a partir del 1 de julio de 2007, los equipos de medida a instalar para nuevos suministros de energía eléctrica hasta una potencia contratada de 15 kW y los que se sustituyan para los antiguos suministros deberán permitir la discriminación horaria de las medidas así como la telegestión en los términos y condiciones técnicas que establezca el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

Para poder proporcionar información en tiempo real y realizar una discriminación horaria, es necesario un equipo de medida que sustituya al contador tradicional. Es en este momento cuando surge el término ‘Smart Meter’ o medidor inteligente, que hace referencia a los dispositivos que permiten transmitir instantáneamente la información de los valores de energía consumida o producida para la optimización y correcta gestión en la red eléctrica.

La ITC/3860/2007 señala los plazos de sustitución de todos los contadores de medida en suministros de energía eléctrica con una potencia contratada de hasta 15 kW. La sustitución se hará por nuevos equipos que permitirán la telegestión y la discriminación horaria, y deberá estar finalizada antes del 31/12/2018. Los porcentajes de sustitución de todos los contadores de medida serán del 30% antes del 31/12/2010, del 20% antes del 31/12/2012, del 20% antes del 31/12/2016 y el 30% restante antes del 31/12/2018.

La Unión Europea también establece una normativa especial 2009/72/EC sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad, y establece que para el año 2020 al menos el 80% de los consumidores deben tener contadores inteligentes.

Posteriormente, en el año 2010, se edita un documento de estrategia europea para el año 2020, donde propone como uno de sus objetivos principales, que debería alcanzarse el objetivo 20/20/20 en materia de clima y energía (reducir emisiones de gases de efecto invernadero al menos en un 20% en comparación con los niveles de 1990, incrementar el porcentaje de fuentes de energía renovable en nuestro consumo final de energía hasta un 20%, e incrementar un 20% la eficacia energética).

Dentro del incremento en eficacia energética, se modifican los plazos de sustitución de equipos de medida, para adaptarlos a la realidad tecnológica del momento (los hitos planteados en la ITC/3860/2007 no se pudieron cumplir por no ser capaces los fabricantes de equipos de medida de satisfacer la demanda de los mismos). Los porcentajes de sustitución de todos los contadores de medida serán del 35% antes del 31/12/2014, del 35% antes del 31/12/2016, y el 30% restante antes del 31/12/2018. Estos plazos de sustitución se aplican en España con la ITC/290/2012.

Para cumplir con la normativa publicada, todas las empresas del sector tuvieron que diseñar un plan de sustitución de sus equipos de medida. Con ello surgen dos retos principalmente:

- Sustitución de los contadores domésticos tradicionales por equipos digitales inteligentes, que permiten nuevas funcionalidades a distancia.
- Dotar a la red eléctrica de un mayor grado de inteligencia, para que desde un punto de vista tecnológico esté preparada para dar un mejor servicio a los clientes.

Los nuevos dispositivos tienen dos características principales:

- *Discriminación horaria*: permitirá elaborar un sistema de facturación más complejo, teniendo en cuenta el momento del día y la distribución de la demanda a lo largo del mismo.
- *Capacidad de telegestión*: hace referencia a la medida y la gestión a distancia y en tiempo real de los consumos de los usuarios. De esta manera se puede optimizar el consumo de un cliente en base al comportamiento observado.

La telegestión ofrece la oportunidad de que la red eléctrica tradicional evolucione hacia una red inteligente (Smart Grid), incorporando tecnologías que permitan prestar nuevos servicios, mejorando la calidad del suministro y la atención a los clientes.

La instalación de los nuevos equipos de medida va a suponer numerosas ventajas para los usuarios:

- Reducción de los tiempos de interrupción del suministro por avería ya que se podrán localizar más rápidamente.
- Agilización en los cambios de condiciones contractuales al poder realizarse remotamente sin intervención en el cuarto de contadores.
- Ya no habrá lecturas estimadas ya que todas serán reales.
- Reducción de su facturación.

Por todo ello, al estar en estos momentos inmersos en este proceso de evolución hacia el empleo de contadores inteligentes o Smart Meters, surge el interés en la realización de este TFG con el propósito de dar una visión general de las tecnologías empleadas a tal fin y la problemática que se están encontrando las compañías eléctricas en su implementación.

1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo de este proyecto, por lo tanto, es exponer las diferentes tecnologías que se están utilizando para el Smart Metering a día de hoy, que elementos las componen, los protocolos en las que están basadas, así como evaluar uno de los principales problemas que se presenta para la lectura de contadores: el ruido en la red eléctrica.

A continuación se describen los diferentes objetivos específicos que se han pretendido completar con el desarrollo de este proyecto:

- Realizar un estudio del estado del arte de las tecnologías existentes para el Smart Metering, diferenciándolas en dos grandes grupos: tecnologías vía radiofrecuencia, que no necesitan un soporte físico, y tecnologías PLC (Power Line Communications), para las cuales sí que es necesario ese soporte.
- Estudiar la normativa aplicable a la sustitución de los contadores antiguos.
- Relacionar las tecnologías mencionadas anteriormente, concretamente la tecnología PLC, para explicar cómo ha sido desarrollada por Iberdrola Distribución en España, que equipos se necesitan, cómo se planteó el despliegue inicialmente y que otras tecnologías utilizan para conseguir hacer llegar la información desde los contadores a los equipos encargados de gestionarla.
- Enfocar el estudio del Smart Metering a la tecnología PLC, concretamente a la Alianza PRIME, que es la encargada de gestionar las comunicaciones por PLC en la red de baja tensión.
- Realizar un estudio de los filtros que se están utilizando hoy en día con el fin de mejorar las tasas de lectura de los contadores inteligentes, fijándonos especialmente en si cumplen con las especificaciones que establece el fabricante en relación a la banda de frecuencia en la que actúan. Por otro lado es importante conocer qué es la relación señal-ruido, ya que podemos tener diferentes tipos de comunicaciones erróneas.

1.3. DESCRIPCIÓN DE LA MEMORIA

Este proyecto de fin de grado está dividido en tres grandes bloques:

- Estado del arte: tecnologías existentes para el 'Smart Metering'
- Proyecto STAR. Red eléctrica inteligente.
- Problemática de la red inteligente

El primer bloque comenzará con una descripción de lo que se conoce como generación distribuida, redes inteligentes y microrredes. Es muy importante ver como se están introduciendo nuevas herramientas que permiten conocer los consumos de los clientes, así como apreciar las ventajas que nos proporcionan las infraestructuras de medición avanzada. Se explicará también que elementos componen este tipo de infraestructuras y que tecnologías de comunicación más comunes se están utilizando actualmente, diferenciándolas en dos grandes grupos, como son las tecnologías por radiofrecuencia y las tecnologías de comunicación por cable.

El segundo bloque está centrado en hablar del proyecto que está desarrollando Iberdrola Distribución para cumplir con la normativa marcada por el gobierno. Este proyecto se denomina STAR (Sistema de Telegestión y Automatización de Red) y está enfocado en aplicar una de las tecnologías por cable mencionadas anteriormente, concretamente la tecnología PLC. De este proyecto se explicará como se planteó inicialmente el despliegue, indicando las fases de las que consta, que tecnologías utiliza, tanto para el acceso a los Centros de Transformación como para el acceso a los contadores (PRIME), y que equipos son necesarios.

Por último, se ha incluido un estudio sobre la problemática que surge durante la implantación de estas infraestructuras de medición avanzada. Uno de los problemas más significativos son los ruidos no deseados que se introducen en la red. Lo primero de todo es realizar un estudio particular para cada caso donde se determinará si efectivamente es un problema de ruido, o si la mala tasa de lectura de los contadores se debe a cualquier otro problema. Una vez determinado que es debido a los ruidos, veremos que lo que hacen numerosas empresas de distribución eléctrica es colocar filtros entre el concentrador y los contadores, por lo que se estudiarán las propiedades que presentan dichos filtros.

Métodos para la lectura de contadores de energía eléctrica en la red de BT. Análisis particular del empleo de PLC.

2. ESTADO DEL ARTE: TECNOLOGÍAS EXISTENTES PARA EL 'SMART METERING'

2.1. REDES INTELIGENTES (SMART GRIDS)

El sector eléctrico se encuentra en una fase de transición hacia un nuevo modelo, caracterizado por el predominio de las energías renovables en la generación de electricidad, el aumento de la generación distribuida y la reducción de la dependencia de los combustibles de origen fósil.

Este nuevo modelo energético presenta importantes desafíos, tanto desde el lado de la oferta como de la demanda y va a suponer un cambio de rol de los consumidores de electricidad, orientado hacia una participación mucho más activa en el sistema.

La evolución hacia una red eléctrica inteligente es un elemento clave del éxito en la respuesta a estos desafíos. Pero, ¿qué entendemos por red eléctrica inteligente o Smartgrid?

Una red eléctrica inteligente o SG (Smart Grid), de acuerdo con Red Eléctrica Española, es aquella que puede integrar de forma eficiente el comportamiento y las acciones de todos los usuarios conectados a ella, de tal forma que se asegure un sistema energético sostenible y eficiente, con bajas pérdidas y altos niveles de calidad y seguridad de suministro. Para conseguir esto, las SGs se sirven de sistemas de monitorización, control y comunicación, por lo que la integración de las Tecnologías de la Información y la Comunicación o TICs, resulta fundamental. Las TICs engloban tres medios: los sistemas de información, la microelectrónica y los sistemas de comunicación.

Una SG presenta las siguientes características:

- **Flexibilidad:** presenta comunicación bidireccional y es flexible y adaptable a las necesidades cambiantes del sistema.
- Son redes con un grado elevado de **monitorización y automatización.**
- **Inteligente y segura:** capaz de operarse y protegerse con seguridad y simplicidad, disponiendo de la información necesaria en tiempo real.
- **Eficiente:** Permite satisfacer las necesidades energéticas minimizando las necesidades de nuevas infraestructuras.
- **Abierta:** permite integrar de forma segura las energías renovables, facilitando así la creación de nuevas oportunidades de negocio.
- **Sostenible:** es respetuosa con el medio ambiente.

En la Figura 3 se muestra el esquema de una SG. Si la comparamos con el sistema eléctrico convencional, podemos observar un notable cambio, ya que estamos ante un sistema menos jerarquizado en el que todo está interconectado.



Figura 3. Esquema de una Smart Grid.

Las Smart Grids utilizan sensores y se sirven de la capacidad de computación y el control de datos para elegir las mejores decisiones ante las situaciones adversas que se pueden presentar. De esta manera se facilita la posibilidad de dar un suministro más eficaz, económico y fiable.

2.2. LAS COMUNICACIONES PARA LA MEDIDA INTELIGENTE

Anteriormente se ha mencionado las TICs, las cuales constituyen un pilar fundamental para el éxito de las SGs. Son las encargadas de las funciones de control, gestión y monitorización. En la actualidad se están introduciendo cada vez más TICs en los equipos y sistemas de la red eléctrica, lo que proporciona una mayor capacidad de interconexión, aportando mayor nivel de inteligencia a la hora de suministrar la energía a los usuarios. Por lo tanto, la red de comunicaciones de un sistema eléctrico va enlazada con los recursos energéticos (generación distribuida, el almacenamiento y las cargas), los dispositivos de medida y otros aspectos, como se puede apreciar en la Figura 4.

La posibilidad de leer los consumos de los contadores inteligentes a distancia es un avance muy importante en la gestión de las SGs. Los comienzos de esta tecnología se remontan a la existencia de la telemida o AMR (Automated Meter Reading), la cual permitió que las compañías eléctricas pudiesen acceder a los registros de los

contadores de forma remota, en algunos casos incluso, hasta se podía obtener información del estado del contador. El problema que tenía este sistema es que era unidireccional. Es por ello que surgieron entonces las infraestructuras de medición avanzada o AMI (Advanced Metering Infrastructure). Un AMI es un sistema integrado de contadores inteligentes, redes de comunicaciones y sistemas de administración de datos que permiten la comunicación bidireccional entre los servicios públicos y los clientes. La diferencia entre una AMI y una AMR radica en el tipo de comunicación, ya que en el caso de los AMIs al ser bidireccional, se puede acceder de manera remota a los contadores para realizar la factura, tener un control de la potencia demandada, reconfiguración del contador y otro tipo de actuaciones. Concretamente en España, la tecnología más empleada para la implementación de un AMI es la tecnología PLC (Power Line Communications), la cual utiliza el cable eléctrico para la transmisión de información.

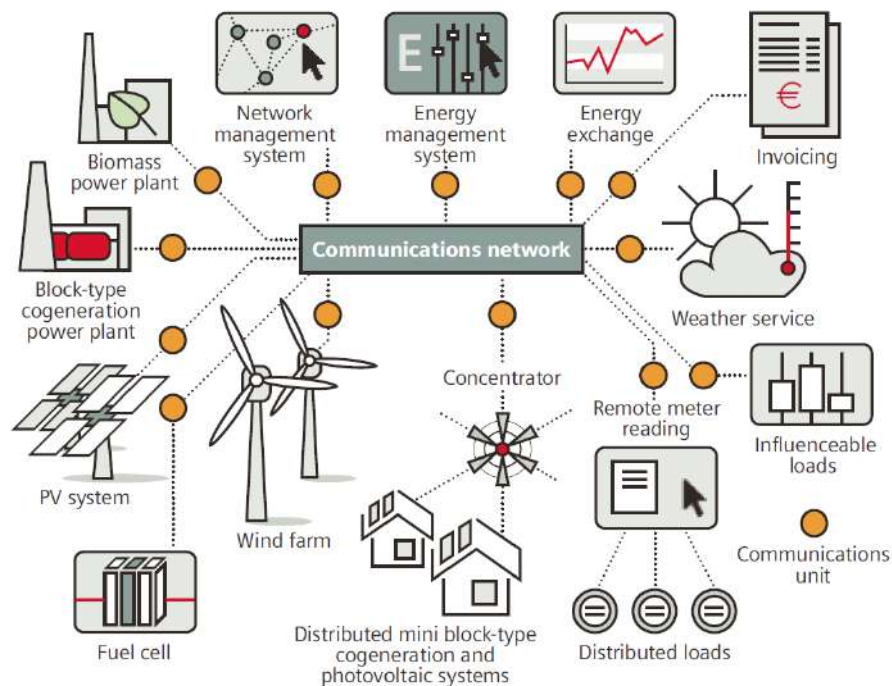


Figura 4. Funcionalidades del sistema de comunicaciones dentro de una Smart Grid.

A continuación se van a describir los cuatro elementos que componen un sistema de medición avanzada:

- **Un contador digital o Smart Meter (SM):** es uno de los elementos clave, ya que permite la comunicación bidireccional. Es un medidor digital que puede registrar las medidas tanto de consumo, como de generación de energía

eléctrica, agua o gas, así como transferir información a un sistema de procesamiento de datos, para fines de monitoreo remoto y facturación.

- **El concentrador de datos o Data Concentrator (DC):** es el encargado de realizar la recolección de datos de los medidores inteligentes, para transferirlos a través de distintas redes y utilizando diferentes tecnologías de comunicaciones, hasta alcanzar los sistemas de explotación y gestión de datos (MDMD). Esto lo consiguen a través de un nodo de comunicaciones que llevan embebido, al igual que los SMS. Se suelen instalar en los centros de transformación y pueden realizar a mayores, funciones de supervisión de media tensión.
- **El sistema de comunicaciones:** es el elemento que proporciona un canal para el intercambio de información entre los diferentes nodos.
- **El controlador central o Control Center (CC):** es el encargado de gestionar y controlar todo el sistema.

Las tecnologías modernas de comunicaciones, arquitecturas de protocolos y estándares pueden ayudar a construir una infraestructura común de comunicaciones para el transporte de datos entre las instalaciones del cliente, subestaciones eléctrica, sistemas de distribución de energía y centros de control de las empresas eléctricas. Para que esto sea posible, la red eléctrica inteligente requiere una infraestructura de comunicaciones bidireccional entre las diferentes áreas, desde los sitios de generación hasta los sitios de consumo (usuarios).

Para realizar infraestructuras de comunicación bidireccionales, el concentrador es el elemento clave. Se clasifican generalmente en dos grupos:

- **Concentrador local:** es el recolector de datos de contadores inteligentes, los cuales envía posteriormente a la red principal. No son siempre necesarios en implementaciones AMI, como por ejemplo aquellas con bajo número de clientes. En esos casos, los contadores se comunican directamente con los concentradores de red troncal.
- **Concentrador de red troncal:** recopilan la información de los concentradores locales.

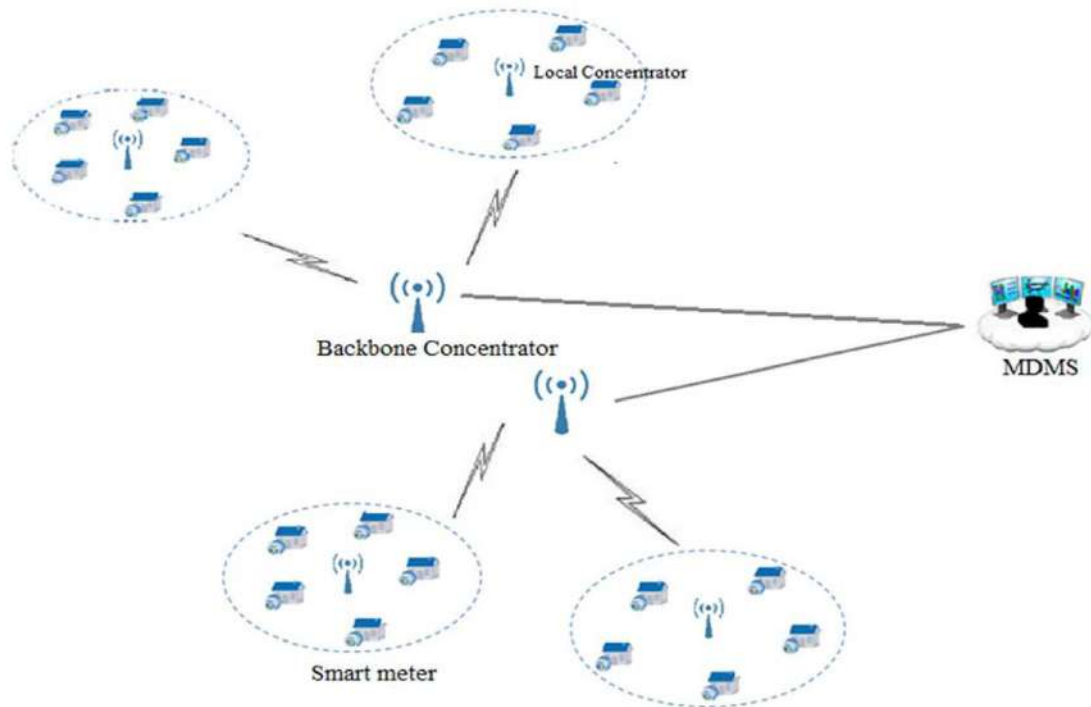


Figura 5. Típica red de comunicaciones AMI.

Las tecnologías existentes para los sistemas de medición avanzada se pueden clasificar en dos grandes grupos: las tecnologías inalámbricas y las tecnologías de comunicación por cable. A modo de caracterización general, las tecnologías de comunicación por cable son más robustas que las inalámbricas, en cambio estas últimas tienen un coste de instalación menor y suelen ser las más apropiadas para ubicaciones de difícil acceso.

2.3. TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

A modo de definición genérica, conocemos las comunicaciones inalámbricas como aquellas comunicaciones entre dispositivos que intercambian información utilizando el espectro electromagnético. Este espectro comprende desde las bajas frecuencias utilizadas para la radio, hasta los rayos gamma, que cubren longitudes de onda de miles de kilómetros. El rango del espectro electromagnético abarca las frecuencias comprendidas entre 30 Hz y $2,9 \cdot 10^{20}$ Hz como se puede apreciar en la Figura 6. La tecnología inalámbrica utiliza normalmente ondas de radiofrecuencia de baja potencia y una banda específica, de uso libre o privado para transmitir la información entre los dispositivos.

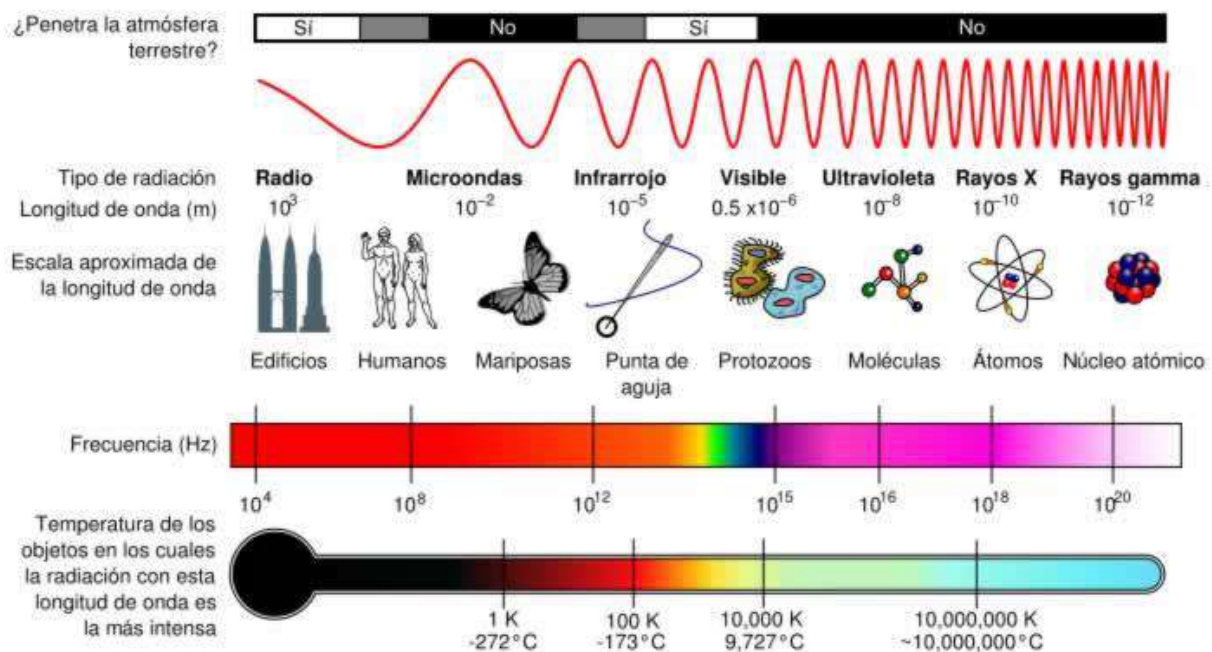


Figura 6. Rango de frecuencias del espectro electromagnético.

En cuanto a la regulación legal que tiene el espectro electromagnético, hay que destacar que es necesario que los países dispongan de una normativa que defina que rangos de frecuencia y potencia de transmisión están permitidos en cada tecnología. Esto es debido a que las ondas electromagnéticas son propensas a las interferencias, por lo que si existen muchos dispositivos emitiendo a una misma frecuencia, podrían existir problemas de comunicación entre algunos de ellos. Por otro lado, es importante que los datos que se transmitan estén codificados para así poder garantizar la privacidad de la información.

Existen muchos tipos de tecnologías inalámbricas cuya diferencia radica en la frecuencia de transmisión que utilizan, la velocidad y el alcance de las transmisiones, por lo que podemos realizar una clasificación en función de su alcance y capacidad principalmente.

Esta clasificación está basada, como su propio nombre indica, en la máxima distancia que puede proporcionar cada tecnología sin dar fallos así como en la tasa de bit que proporciona. Algunos de estos sistemas están diseñados para dar servicio a un área con una extensión considerable, aunque el coste que suponen es también mayor respecto al resto.

En la Figura 7 se puede observar los diferentes sistemas de red existentes ordenados según el alcance que tienen, de menor a mayor. Además se detallan algunas de las tecnologías más significativas que componen cada uno.

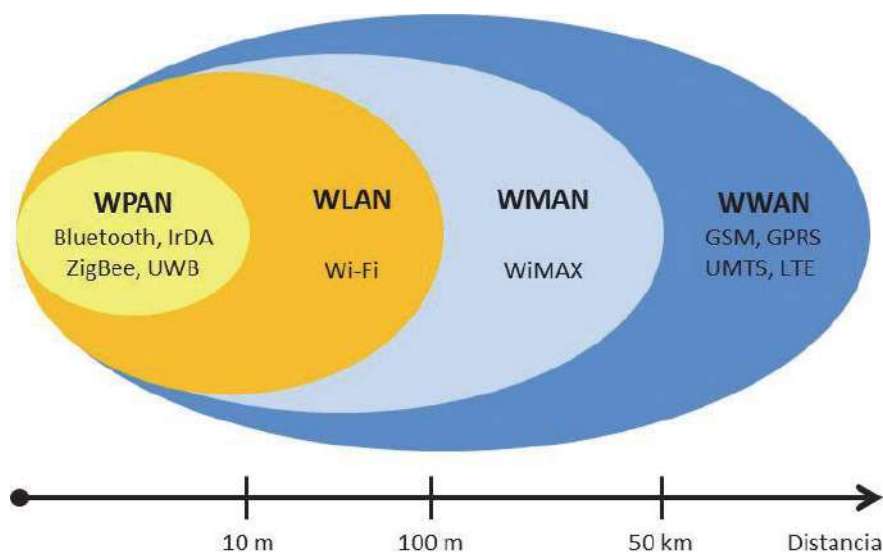


Figura 7. Clasificación de las redes inalámbricas según su alcance y capacidad.

A mayores, estas redes inalámbricas pueden dividirse en dos grupos: de corto y de largo alcance. Las de corto alcance son aquellas que solo abarcan un área limitada. Esto es aplicable a las redes de área local (LAN), las cuales están incorporadas en institutos o en campus universitarios, y a las redes de área personal (PAN), que engloban por ejemplo los ordenadores portátiles, ya que para comunicarse necesitan estar cerca unos de otros. Estas redes suelen utilizar las bandas libres ISM (industrial, scientific and medical) para la transmisión de información. Las frecuencias disponibles varían en función del país en el que nos encontremos. En España, por ejemplo, se utiliza la banda de 2.4 GHz, en Europa la banda de 868 MHz y en Estados Unidos la banda de 915 MHz. La existencia de este tipo de bandas permite a los usuarios operar sin necesidad de tener ningún tipo de licencia, lo que ha facilitado que estas redes se expandan en los últimos años.

Las redes de largo alcance abarcan grandes áreas, como las redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN). El objetivo de este tipo de redes es el de asegurar una cobertura inalámbrica a nivel mundial. La red con mayor alcance es la red inalámbrica de área extensa (WWAN). Sin embargo, cuando es necesaria una cobertura global de calidad, se recurre a las redes formadas por los satélites que orbitan alrededor de la Tierra.

A continuación se va a describir cada una de estas redes:

2.3.1. Redes inalámbricas de área personal (WPAN)

Este tipo de redes están basadas en el estándar IEEE 802.15, el cual está dividido en diez grupos de trabajo, aunque no están todas activas actualmente. IEEE 802.15 es un grupo de trabajo dentro del estándar IEEE 802, y está especializado en este tipo de redes (WPAN).

Una de sus principales características es que permite a los usuarios establecer comunicaciones entre diferentes dispositivos, como se puede observar en la Figura 8. Estos pueden ser: ordenadores portátiles, teléfonos móviles, impresoras, etc. Además estas redes también se caracterizan por su bajo consumo de energía y por su baja velocidad de transmisión de datos. Por el contrario, una desventaja que presentan es la limitación de alcance que tienen, ya que los dispositivos tienen que colocarse con cierta proximidad si pretenden comunicarse entre ellos.

Este tipo de redes son muy innovadoras y cada vez se están adentrando más en nuestras vistas, con el objetivo de poder facilitarnos diferentes tareas. Un ejemplo muy sencillo que nos afecta a todos, es el de una impresora conectada a un ordenador por Bluetooth, sin ningún cable, siempre y cuando estén a una distancia próxima (no superior a 10m).



Figura 8. Ejemplo de algunos dispositivos unidos mediante una red WPAN.

Las tecnologías más utilizadas en las redes WPAN son las siguientes: Bluetooth y Zigbee.

➤ **Bluetooth**

Es una tecnología que está regulada por el estándar IEEE 802.15.1, la cual permite la transmisión de voz y datos entre dispositivos, y para ello se sirve de la banda ISM de 2,4 GHz. Originalmente fue diseñada en 1994 para permitir comunicaciones omnidireccionales, con un bajo consumo de energía, baja potencia, corto alcance y dispositivos baratos. Actualmente tiene una tasa de bits máxima de 50 Mbps en su versión 5.0 y un rango de hasta 210 metros.

En el año 2002, el IEEE produjo el estándar 802.15.1 que es compatible con la versión 1.1 de Bluetooth. En la versión Bluetooth 3.0, se incorporó el estándar 802.11 para poder realizar transmisiones de alta velocidad, calidad que se ha ido manteniendo en posteriores versiones (4.0 y 5.0).

Es necesario que las redes WPAN interactúen con otro tipo de redes, un ejemplo de ello es la interacción con las redes WLAN a través de una compuerta de unión (Attachment Gateway). Una compuerta de unión puede o no implementarse en cualquier dispositivo dentro de la red WPAN. Un ejemplo de ello es la tecnología Bluetooth, que como acabamos de mencionar justo antes, se sirve del estándar de las redes WLAN (802.11) para aumentar las velocidades de transmisión.

Algunos de los objetivos que se pretenden conseguir con esta tecnología son:

- Facilitar las comunicaciones entre los equipos móviles y fijos.
- Eliminar cables y conectores entre estos.
- Ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre equipos personales.

Actualmente, Enel Distribución, una empresa privada chilena distribuidora de energía eléctrica, está ofreciendo una solución con la tecnología Bluetooth para la lectura de contadores eléctricos. Este sistema consiste en instalar un equipo de medida con tecnología de radiofrecuencia, a través del cual se realiza la lectura a distancia de cada suministro eléctrico. El sistema de medida a distancia, transforma la lectura del medidor en una señal de radio frecuencia, la cual es captada por una antena receptora portátil y transmitida vía bluetooth al ordenador de bolsillo del lector. Posteriormente esta información es enviada vía señal GPRS a los sistemas de facturación de Enel.

➤ Zigbee

Es un sistema de comunicación inalámbrica basado en una baja tasa de transmisión de datos con el fin de tener el menor consumo energético posible. Para llevar a cabo este sistema, un grupo de trabajo llamado Zigbee Alliance formado por varias empresas, la mayoría fabricantes de semiconductores, se encargó de desarrollar el estándar. La alianza trabaja junto con el IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) para conseguir una integración completa y operativa.

Se utiliza para la radiodifusión de datos, buscando ahorrar lo máximo posible en energía. Es una tecnología que se basa en el estándar IEEE 802.15.4 y se centra especialmente en la domótica, aunque también se puede utilizar con otros fines. Este estándar define el nivel físico (PHY) y el control de acceso al medio (MAC) de redes inalámbricas de área personal (WPAN) con tasas bajas de transmisión de datos.

Las capas del protocolo Zigbee están basadas en el modelo OSI. Sin embargo solo posee cuatro de las siete capas que el modelo OSI posee. Una de las ventajas de dividir un protocolo en capas es que, si se cambia el protocolo, es mucho más fácil cambiar una capa que todo el protocolo.

La tecnología Zigbee utiliza las bandas ISM (industrial, scientific and medical). Estas bandas están reservadas internacionalmente para un uso no comercial de radiofrecuencia electromagnética en áreas industrial, científica y médica. Zigbee ha adoptado la banda de 2.4GHz.

Esta tecnología presume de su bajo coste y su reducido consumo energético. Los protocolos que se usan para la comunicación entre balizas o nodos hace que se puedan entender entre los miembros de la red. Unos protocolos que 'despiertan' al nodo para empezar a transmitir y que luego vuelve a dejar en reposo para ahorrar energía. Su bajo consumo de energía, hace que sea muy adecuado para dispositivos cuyo funcionamiento no dispone de suministro eléctrico continuo y requiere del uso de baterías externas. Estos dispositivos pueden funcionar hasta más de 2 años mediante pilas. El nodo Zigbee más completo requiere aproximadamente el 10% del hardware de un nodo Bluetooth clásico.

Las características adquiridas por Zigbee al adoptar el estándar IEEE 802.15.4 son las siguientes:

- Tasa de transmisión desde 20 kbit/s hasta 250 kbit/s dependiendo de la frecuencia.
- Uso de frecuencias en banda libre: 2,4 GHz (al igual que WiFi), 915 MHz y 868 MHz.
- Dispone de 1, 10 o 16 canales de 5 MHz dependiendo de su frecuencia.
- Corto alcance, entre 10 y 1000 metros.

Existe una empresa en España, denominada JMP ingenieros, que se dedica al desarrollo, gestión e implementación de sistemas de monitorización y control energético y telemetría inalámbrica. Actualmente dispone de una amplia gama de soluciones inalámbricas destinadas a los distintos sectores de la eficiencia energética en los ámbitos residencial, pymes e industrial.

Una de las soluciones que proponen, tiene el nombre de **netMETRIC**, y es un sistema de medición AMR (advanced metering reading) para contadores de agua, gas y electricidad.

Características:

- Se basa en una red inalámbrica de sensores distribuidos.
- Consumo de energía reducido.
- Cada nodo dispone de capacidad de emisión/recepción.
- El sistema de medición se basa en el envío de lecturas por periodos predeterminados de tiempo (1h-24h).

Componentes:

- Nodo de adquisición de datos:
 - ✓ Cuenta los pulsos del contador, los almacena y los transmite vía radio hacia el colector.
 - ✓ Es capaz de retransmitir bidireccionalmente los datos que le llegan.
 - ✓ Tiene capacidad de almacenamiento de registros.
- Colector:
 - ✓ Recibe los datos de los nodos vía radio, los procesa y los retransmite hacia el sistema de gestión y control de datos.
 - ✓ Coordina la red local desplegada en cada zona de influencia.
 - ✓ Dispone de un servidor Web que almacena y gestiona la operativa de los nodos.
- Plataforma de comunicaciones
 - ✓ Interfaz entre la red de nodos y el sistema de gestión y control de datos.
- Centro de control y gestión de datos
 - ✓ Recibe los datos del gestor de comunicaciones, los presenta, almacena, gestiona y distribuye a los distintos departamentos.

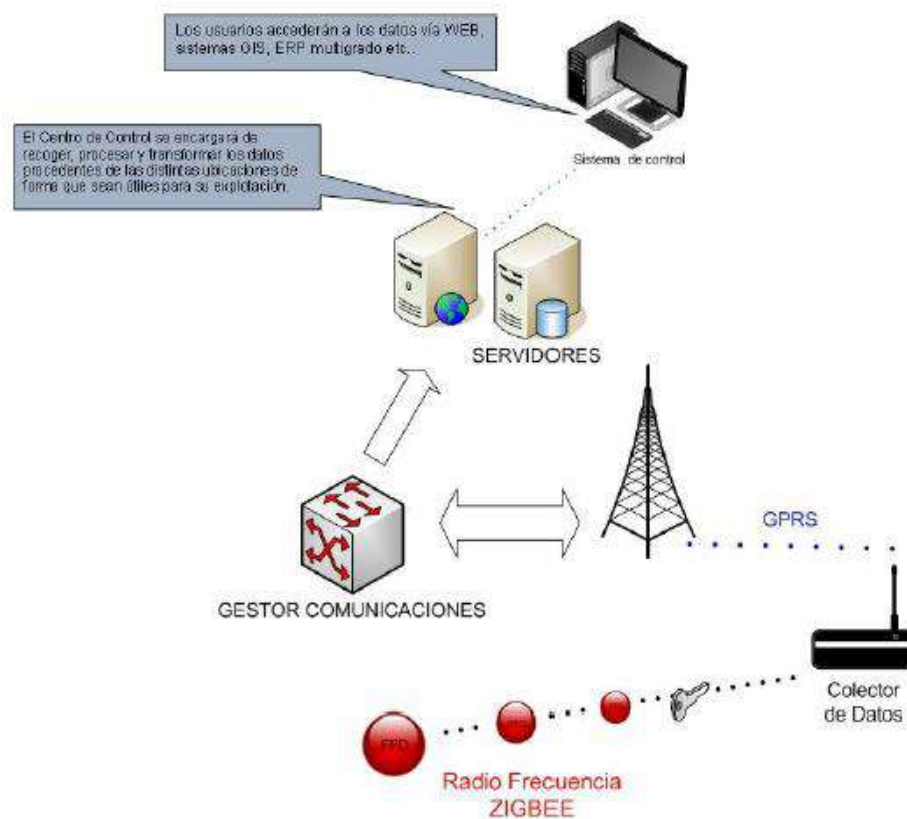


Figura 9. Esquema funcional de la solución netMETRIC.

Por otro lado, existe una pequeña empresa denominada 'Guelph Hydro electric Systems Inc.' cuya sede se encuentra en Ontario (Canadá), la cual fue nombrada por la Asociación de Energía de Ontario como la 'Gran Compañía del Año' por sobresalir en varias áreas. Guelph Hydro es única por su despliegue de contadores inteligentes con chip Zigbee en todo su territorio de servicio.

2.3.2. Redes inalámbricas de área local (WLAN)

Este tipo de redes están basadas mayoritariamente en el estándar IEEE 802.11, siendo la tecnología Wi-Fi la más significativa. Como se puede observar en la Figura 10, permite a los usuarios establecer una red inalámbrica dentro de un área local y permanecer conectados a la red (dentro de edificios, aeropuertos, universidades, etc). Se puede implementar en zonas donde no sea posible la instalación de un cableado, o bien para complementar una red local ya existente.



Figura 10. Esquema de una red WLAN.

Los estándares más destacados dentro del IEEE 802.11 vienen resumidos en la Tabla 1. La primera versión (IEEE 802.11) fue publicada en el año 1997, y especificó dos velocidades de transmisión de 1 y 2 Mbps transmitidos mediante señales infrarrojas. Posteriormente el IEEE 802.11b fue el primer estándar aceptado y fue aprobado en el año 1999, admitiendo hasta 11 Mbps en la banda de frecuencia ISM de 2,4 GHz. Recoge todos los aspectos contenidos en el estándar 802.11, permitiendo una funcionalidad comparable a Ethernet en una red inalámbrica Utiliza una modulación DSSS. Otra variante del IEEE 802.11 fue el IEEE 802.11a, aprobado en el año 1999. Este en cambio utiliza modulación OFDM y ha tenido menos aceptación que el anterior, pese a conseguir tasas de hasta 54 Mbps, debido al elevado coste de sus equipos. Por último, el estándar IEEE 802.11g se dio a conocer en el año 2003 y se presentó como un sucesor del IEEE 802.11b. Es capaz de conseguir una tasa de hasta 54 Mbps, y se diferencia del IEEE 802.11b en que puede utilizar opcionalmente la modulación OFDM, en lugar de la DSSS, de hecho esta norma establece que se use OFDM para velocidades por encima de 11 Mbps. Un punto de acceso IEEE 802.11g puede soportar clientes 802.11b y 802.11g.

Estándar	Tasa de transferencia	Banda de frecuencia
802.11	2 Mbps	2,4 GHz
802.11a	54 Mbps	5 GHz
802.11b	11 Mbps	2,4 GHz
802.11d	Define nuevos requisitos para implementar el estándar IEEE 802.11 en países que no dispongan de la banda de 2.4 GHz	
802.11g	54 Mbps	2,4 GHz
802.11h	Es una evolución del IEEE 802.11a ya que este estándar presentaba varios defectos frente a su competidor europeo HiperLAN 2, que también opera en la banda de 5 GHz.	
802.11i	Este estándar permite incorporar mecanismos de seguridad para la transmisión de datos en redes WLAN.	
802.11n	100 Mbps	2,4 GHz y 5 GHz

Tabla 1. Cuadro comparativo de los estándares 802.11

Las WLANs son una mejora respecto a las redes LAN las cuales utilizaban cableado, y presentan las siguientes características:

- **Movilidad:** dentro de una red WLAN podemos acceder a la información en tiempo real desde cualquier punto. Un problema que puede surgir y que no soluciona de momento ningún estándar, es el hecho de poder ir andando y que no perdamos la conexión. Esto ocurre debido al escaso alcance de cobertura de un punto de acceso, lo que obliga a tener que establecer una conexión con otro punto de acceso.
- **Instalación simple:** no es necesario el uso de cables.
- **Flexibilidad:** permite el acceso a lugares que una red LAN cableada no alcanzaría.
- **Bajo coste:** a largo plazo el coste de instalación de una red WLAN compensa al de una red LAN.
- **Retardos:** es importante tenerlos en cuenta y más en transmisiones inalámbricas.
- **Consumo:** los dispositivos móviles que disponen de batería, deben ser diseñados para tener un consumo eficiente.
- **Alcance:** aunque se garantiza que se puede llegar hasta un alcance de 100 metros, esto depende de muchos factores, como la ubicación, las condiciones meteorológicas y la presencia de obstáculos entre el punto de acceso y el terminal. Por lo tanto en lugares al aire libre, con buenas condiciones meteorológicas, el alcance debería ser bastante cercano al que se establece comercialmente. Sin embargo, en el interior de los edificios, la distancia disminuirá notablemente.

- **Seguridad:** en un principio no se hizo mucho hincapié en este tema, ya que la prioridad era poder transmitir datos a través del aire. Sin embargo, viendo el éxito que está teniendo esta tecnología, se ha buscado mejorar la seguridad proporcionada por los estándares. Esto se puede apreciar en el estándar IEEE 802.11i que resuelve muchas de las debilidades originales.

La tecnología más significativa es la tecnología Wi-Fi.

➤ **Wi-Fi**

Es la tecnología inalámbrica más conocida y utilizada hoy en día. Se utiliza como un sustituto de las redes LAN (con cableado) y permite la conexión entre diferentes puntos dentro del rango de alcance y movilidad. Emplea ondas de radio para la transmisión y la recepción de datos.

Wi-Fi es una abreviatura de Wireless Fidelity. Podemos distinguir varios tipos de Wi-Fi en función de cada estándar IEEE 802.11. Los estándares IEEE 802.11b, IEEE 802.11g e IEEE 802.11n utilizan la banda de 2,4 GHz y establecen una velocidad de 11 Mbps, 54 Mbps y 300 Mbps, respectivamente. Actualmente se está utilizando el estándar IEEE 802.11ac conocido como Wi-Fi 5, el cual utiliza la banda de 5 GHz que ha sido habilitada recientemente y en la que no intervienen otras tecnologías, por lo que presenta pocas interferencias. Este estándar consigue velocidades de hasta 1,73 Gbps, aunque en el año 2016 se dio a conocer el WiFi 802.11ad, el cual conseguiría cuadruplicar la velocidad de su predecesor. Este es el primer estándar que no ha sido creado por el IEEE y opera en la banda de 60 GHz. De cara a los próximos años se está trabajando en nuevos estándares que mejoren las características ya existentes.

Las redes Wi-Fi se pueden utilizar para conectar ordenadores entre sí, a internet y a redes cableadas. Esto se consigue conectando un router mediante un cable a un módem o a un dispositivo que suministre el servicio de internet. Este router envía los datos que recibe a través de las ondas de radio que son transmitidas a todo el alcance del que disponga el router. Estas ondas son decodificadas por nuestros dispositivos.

Las ondas de radio son muy propensas a verse afectadas por diferentes fenómenos:

- La reflexión de la señal.
- Condiciones climáticas.
- Materiales que impiden el paso de la señal.
- Señales producidas por distintos dispositivos de comunicación.

En la tabla 2 quedan resumidos cada uno de los estándares más significativos.

ESTÁNDAR	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n	802.11ac
Frecuencia	5 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz y 5 GHz	5 GHz
Ancho de banda	20 MHz	20 MHz	40 MHz	20 MHz y 40 MHz	160 MHz
Distancia	10 – 30 metros	90 metros	50 metros	120 – 300 metros	70 metros
Velocidad	54 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	54 – 300 Mbps	Hasta 1,73 Gbps

Tabla 2. Tabla comparativa de los diferentes estándares IEEE 802.11

Como ejemplo de implementación de esta tecnología tenemos a la empresa 'Burbank Water and Power' (BWP). Es una organización sin ánimo de lucro propiedad de los ciudadanos de Burbank (Los Ángeles, EEUU). En el año 2007, en colaboración con SmartSynch, comenzó a desplegar los primeros contadores inteligentes con Wi-Fi del mundo, que operan en una red Wi-Fi municipal desplegada por BWP.

2.3.3. Redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN)

Este tipo de redes forma parte del tercer grupo de redes inalámbricas. Las WMAN se basan en el estándar IEEE 802.16, también denominado WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access). Permite a los usuarios establecer conexiones inalámbricas entre varias ubicaciones dentro de un área metropolitana, como puede ser, entre varios edificios o en campus universitarios, evitando así la instalación de cables.

Son redes que pueden proporcionar una cobertura de cientos de kilómetros y un mayor ancho de banda. La tecnología IEEE 802.16 se ha propuesto para superar los inconvenientes de las WLAN y las redes celulares (WWAN).

La tecnología más significativa es WiMAX.

➤ WiMAX

Es una tecnología de comunicaciones basada en el estándar IEEE 802.16 que presenta una arquitectura punto a multipunto, y está enfocada a dar servicio a alta velocidad en un área metropolitana. Esto permite que redes LAN pequeñas puedan conectarse entre ellas mediante WiMAX creando así una WMAN. El objetivo principal de WiMAX es lograr la interoperabilidad mundial a través de ondas electromagnéticas.

Es una tecnología similar a la tecnología Wi-Fi, por lo tanto sus estándares también son muy parecidos. Puede llegar a tener una velocidad máxima de transmisión de 1 GBps para usuarios que no estén en movimiento y 365 Mbps para usuarios en movimiento. También puede operar en dos bandas de frecuencia, de 2 GHz a 11 GHz y de 10 GHz a 66 GHz. En el primer rango de frecuencias, la transmisión de datos es sin visión directa y se utiliza para comunicar los equipos con las torres o antenas situadas en el exterior. Mientras que en el segundo rango de frecuencias, la visión es directa y esto permite que las torres o antenas se comuniquen entre sí a distancias mayores, llegando a tener una cobertura de hasta 50 km.

Las aplicaciones que tiene WiMAX en las Smart Grids son las siguientes:

- *Lectura inalámbrica automática de los contadores (Figura 11).* La gran cobertura de distancia y las velocidades de datos lo suficientemente altas hacen que esta tecnología sea más adecuada para la tecnología inalámbrica.
- *Fijación de precios en tiempo real.*

- *Detección y restauración de interrupciones.* Con la ayuda de la comunicación bidireccional de WiMAX se puede solventar el problema de los 'apagones'.

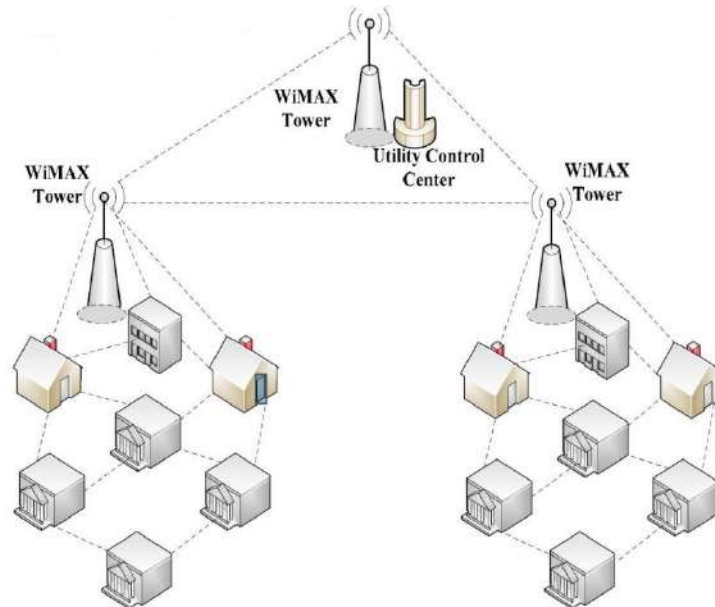


Figura 11. Comunicación WiMAX para la lectura inalámbrica de contadores inteligentes.

Una de las primeras implementaciones que se hizo con esta tecnología estuvo a cargo de la empresa 'General Electric', que creó un nuevo sistema de comunicación inalámbrico basado en WiMax en el año 2009 en EEUU. La empresa GE instaló una red de radios MDS Mercury 3650 basadas en WiMax para unir los sistemas de comunicaciones de "backhaul" (se conoce como backhaul a la porción de una red que comprende enlaces intermedios entre el núcleo o backbone y las subredes en sus bordes) de la empresa con los puntos de recolección de datos (medidores inteligentes).

Otro ejemplo lo podemos encontrar en la empresa 'Albentia Systems'. Es el proveedor líder mundial del mercado español en soluciones de acceso inalámbrico de banda ancha. Busca soluciones innovadoras basadas en el estándar IEEE 802.16. Una solución que propone para la lectura de contadores se basa en la colocación de estaciones base WiMAX, las cuales crean una zona de cobertura en la que los dispositivos esclavos (WiMAX CPE) se conectan a la red de acceso. Esto se puede apreciar en la Figura 12.

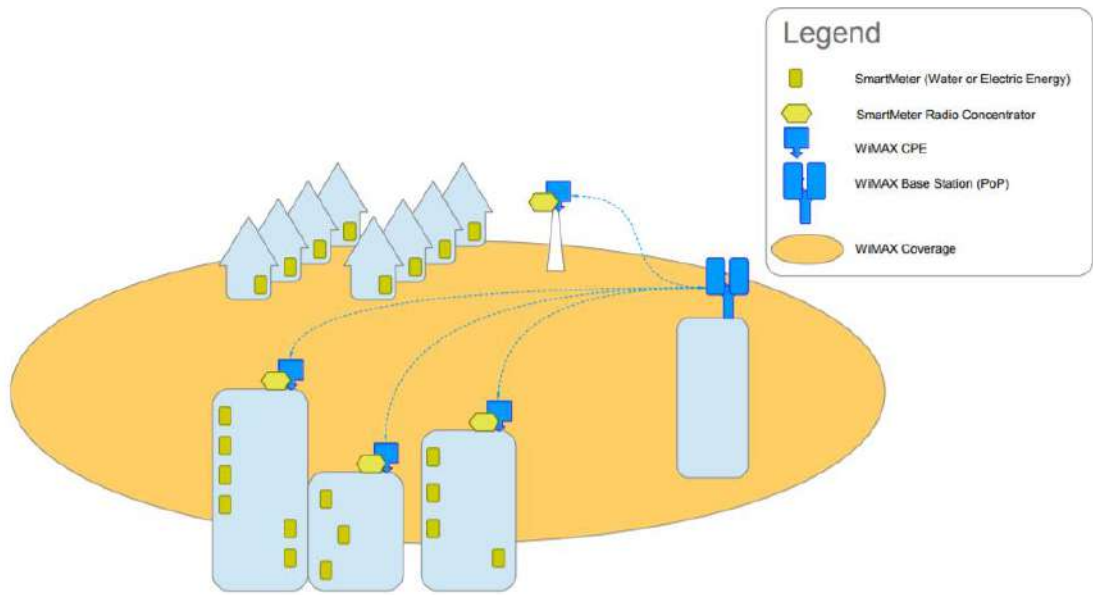


Figura 12. Arquitectura propuesta por Alentia Systems para un sistema AMI.

2.3.4. Redes inalámbricas de área extensa (WWAN)

Este tipo de redes dan cobertura a miles de kilómetros y permiten la interconexión de varios sistemas de comunicaciones. Suelen utilizar bandas de frecuencia con licencia. Tienen el alcance más amplio de todas las redes inalámbricas. Originalmente la telefonía móvil fue diseñada únicamente para la transmisión de voz, pero se han desarrollado protocolos con el fin de poder transmitir datos también.

Existen principalmente dos tecnologías disponibles: la telefonía móvil y los satélites.

- **Telefonía móvil**

En esta tecnología el área de cobertura se divide en celdas. Cada celda lleva asociado una estación base o transmisor de celda. Cada dispositivo móvil está conectado a una estación base y estas a una central de telefonía móvil, que une el teléfono y la red cableada de telefonía.

- **AMPS**

También conocido como Sistema Telefónico Móvil Avanzado (Advanced Mobile Phone System). Esta tecnología hace referencia a los primeros teléfonos móviles analógicos que existieron (1G) y fue diseñada para realizar llamadas de voz, casi sin transmisión de datos, con una velocidad de 2,4 Kbps. Las regiones geográficas se dividen en celdas, entre 10 y 20 km de diámetro, y a cada una se le asigna un conjunto de frecuencias. En este caso se utilizaban las bandas comprendidas entre 825 MHz y 845 MHz.

- **GSM**

Más conocido como Global System for Mobile Communications (Sistema Global para Comunicaciones Móviles). Es uno de los éxitos más importantes dentro del mundo de las telecomunicaciones. La mayoría de la población mundial está utilizando esta tecnología hoy en día (2G). Se creó en el año 1990 por el ETSI con el objetivo de dar a conocer una tecnología digital eficiente y con cobertura internacional. Básicamente permitía las comunicaciones de voz, mensajería instantánea (SMS), mensajería multimedia (MMS) y se podían enviar datos que requiriesen poco ancho de banda.

Sus principales características son:

- ❖ Baja tasa de datos, hasta 14,4 Kbps.
- ❖ Área de cobertura celular limitada.
- ❖ Dos zonas del espectro que se puedan utilizar, la banda de 900 MHz y la de 1800 MHz

➤ **GPRS**

Más conocida como General Packet Radio Service (servicio general de paquetes vía radio). Es una extensión mejorada de la tecnología GSM, de la cual aprovecha su infraestructura, por este motivo en sus inicios tiene la misma cobertura (2,5G). Permite la mensajería instantánea, los mensajes cortos (SMS) y multimedia (MMS) y los correos electrónicos. Proporciona unas velocidades de transferencia entre 56 y 114 kbps.

➤ **3G (UMTS)**

Más conocida como Universal Mobile Telecommunications System (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles). Es una tecnología móvil llamada tercera generación, surgida en el año 2000, sucesora de la tecnología GSM y GPRS. El objetivo principal era el de obtener una conexión de alta velocidad para abrir la telefonía móvil al campo de las aplicaciones multimedia. Se pueden obtener velocidades de descarga cercanos a los 2 Mbps.

Responden a la especificación IMT-2000 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, para disponer de banda ancha en telefonía móvil y transmitir un volumen de datos importante mediante la red. Con esta nueva generación fueron posibles las videoconferencias, descargar vídeos y ver la televisión en tiempo real.

Posteriormente surgieron las tecnologías H y H+, más conocidas como el 3G ultrarrápido. Con este método nos conectábamos a una red HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) o acceso ascendente de paquetes de alta velocidad, en la que podíamos llegar a obtener velocidades de 14 Mbps en condiciones óptimas.

➤ **4G (LTE)**

Hace referencia a la cuarta generación móvil. Con esta nueva tecnología tenemos un mayor acceso a la red y una mayor capacidad de datos. Está basada en el protocolo IP. Respecto a las tecnologías anteriores, su gran ventaja es que se ha conseguido mejorar la velocidad llegando hasta los 100 Mbps en movimiento.

En cuanto a las características que presenta:

- ❖ Más rápido que el ADSL
- ❖ Mejor para jugar en línea o hacer videollamadas.
- ❖ Menos saturación.
- ❖ Gratis: las compañías en España no cobran por ello.

➤ 5G

Esta nueva tecnología, correspondiente a la quinta generación móvil aún está en proceso de desarrollo, pero promete tener unas velocidades pico de 10 Gbps. Este tipo de datos hacen referencias a velocidades medidas en diferentes circunstancias, por lo que luego a la hora de la verdad seguramente no se llegue a esas velocidades pico teóricas.

Por otro lado, se habla de que las bandas que se van a utilizar para esta tecnología estarán por encima de los 20 GHz, esto es debido a que en las frecuencias tan altas hay más espacio libre para emitir, y con un ancho de banda mayor se podrá obtener una mayor velocidad.

• Satélite

Las comunicaciones del tipo WWAN también pueden llevarse a cabo mediante teléfonos vía satélite. La ventaja que nos proporcionan es que podemos abarcar áreas muy amplias debido a su gran altura, y así poder llegar a zonas de la superficie terrestre, en las cuales no se llegue mediante cableado, como pueden ser islas o zonas montañosas.

Como solución para la lectura de contadores a través de la tecnología WWAN disponemos de varios ejemplos.

Uno de ellos tiene que ver con Telefónica Deutschland, que presentó 'Smart Meter Connect', una solución para contadores inteligentes de luz y gas en Alemania, que pueden funcionar con o sin cobertura 3G. Uno de los grandes inconvenientes que hubo a la hora de desarrollar una solución de Smart Metering en Alemania fue que los contadores están metidos en armarios metálicos y muchas veces en sótanos sin cobertura 3G. Para solucionar este problema, Telefónica presentó en la feria 'E-World Energy & Water' su solución M2M: Telefónica Smart Meter Connect. Esta solución se basa en la creación de una red de telecomunicaciones que combina tecnología celular con radio frecuencia mallada (RF mesh). Pero ¿cómo funciona Smart Meter Connect?

Antes de la instalación de un nuevo contador inteligente, es necesario evaluar la cobertura de la zona donde se va a colocar. Si la cobertura es suficiente, se instala el contador para que se comuniquen a través de la tecnología 3G. En el caso de que la cobertura sea insuficiente, se optará por la tecnología RF mesh, por la cual los transmisores crearán una red inteligente por la que circula la información del contador hasta llegar a la antena de Telefónica. Si un transmisor falla, la red mallada se autoreconfigura para encontrar nuevos caminos para transmitir la información.

Otro ejemplo de aplicación lo podemos encontrar en Iberdrola, ya que una de las tecnologías que utiliza para el proyecto STAR (se describe posteriormente en el siguiente capítulo) es la tecnología GPRS o 3G. Esta tecnología está implementada en los routers que se encargan de transmitir la información que le proporcionan los contadores a los servidores privados de Iberdrola. Se montan normalmente dos tarjetas SIM pertenecientes a dos operadores distintos, con el fin de no perder la comunicación si una de ellas falla. Estas SIMs no sirven para conectarse a internet ni para hablar por teléfono, sólo para acceder a la red privada de Iberdrola.

En Italia, la empresa Enel también usa un sistema similar para la lectura de contadores, apoyándose en las tecnologías GSM GPRS y satélite.

De momento no ha sido necesaria la utilización de tecnologías como 4G o 5G ya que la cantidad de información que se transmite no es demasiado grande, y con la tecnología GPRS o 3G es suficiente. Pero si en un futuro se necesitase transmitir mayor cantidad de información, o información que tuviese más peso que la actual, se podrían utilizar las tecnologías más avanzadas.

2.4. TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN POR CABLE

Podemos describir este tipo de tecnologías como aquellas en las que se emplean señales eléctricas, electromagnéticas u ópticas para la transmisión de información. A diferencia de las tecnologías de comunicación inalámbrica utilizan un medio físico, que pueden ser cables para transmitir señales eléctricas, o mediante fibra óptica para transmitir señales de luz.

A continuación se van a exponer las tecnologías más comunes.

2.4.1. Tecnología PLC

Power Line Communications (comunicaciones mediante línea de potencia), más conocida como tecnología PLC, hace referencia a todas aquellas tecnologías que permiten la transferencia de datos a través de la red eléctrica convencional, tanto de alta como de baja tensión, utilizando una tecnología avanzada de modulación.

Esta tecnología se empezó a utilizar en el año 1838, donde se realizó la primera aplicación de la telemedida. En el año 1897 se da a conocer la primera patente sobre señalización en el cableado eléctrico. En las décadas posteriores sigue evolucionando, y ya en 1950, se empezó con una frecuencia de 10 Hz y una comunicación unidireccional para el control remoto de relés y el control de líneas eléctricas. Durante la década de 1980 se empezó a utilizar la red eléctrica para la transmisión unidireccional de datos, con frecuencias comprendidas entre 5 y 500 KHz. Ya en el año 1997 se comenzó con las primeras pruebas de comunicación bidireccional de datos, y también se empezó a considerar la posibilidad de tener acceso a internet a través del PLC ya que las velocidades eran suficientemente elevadas.

Actualmente se utiliza la red de baja tensión existente entre los centros de transformación y los contadores, por lo tanto la señal viaja con un rango de frecuencias entre 1,6 y 30 MHz, superponiéndose esa señal de comunicaciones con la señal eléctrica. Para ello utiliza una frecuencia muy superior a la que viaja la electricidad, que es de 50 Hz. Esto se debe a lo siguiente: la señal eléctrica se transmite en corriente alterna, y suele ser más ruidosa en los picos, por lo que en un principio lo que se intentaba era introducir la señal PLC en un rango próximo al cero, para que esto no supusiese una mayor amplitud en la señal total. Con el paso del tiempo y la evolución tecnológica, se empezó a añadir señales constantes en todo el rango de amplitud de la señal eléctrica, como se puede observar en la Figura 13. Entonces bastaba con inyectar la señal a frecuencias mucho más altas que las de la señal

eléctrica, para que la interferencia entre ambas fuese la menor posible. Por ello, un sistema PLC sencillo consiste en un transmisor que inyecte la señal de comunicaciones en la red eléctrica, un cable eléctrico como medio de transmisión y un receptor capaz de extraer la señal de comunicaciones de la señal eléctrica.

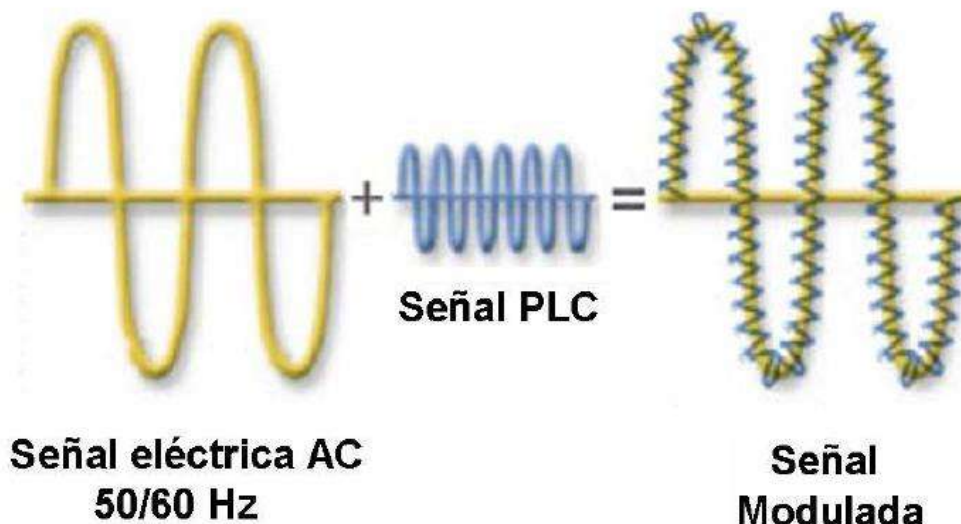


Figura 13. Generación de una señal PLC.

El sistema eléctrico fue diseñado para la transmisión de corriente alterna a una frecuencia de 50 Hz aproximadamente, por lo que la transmisión de datos a frecuencias mayores tiene ciertas limitaciones, ocasionando a veces distintos tipos de interferencias, como se explicará más en detalle en el capítulo 4. Estas limitaciones dificultan el análisis de la tecnología PLC. Por ejemplo, a frecuencias tan altas no es posible aplicar el principio de superposición, ya que no se puede asumir la linealidad e invariancia con el tiempo de las fuentes de ruido. Además existen numerosos tipos de redes eléctricas existentes, lo que dificulta también su modelado.

La gran ventaja que presenta esta tecnología es que se aprovecha de una infraestructura que ya está creada, por lo que supone un ahorro importante en cuanto a costes de realización, instalación y mantenimiento de la red. Pero como ya se ha dicho, la transmisión de datos a través de la red eléctrica conlleva bastantes problemas, como puede ser la atenuación con la frecuencia o el ruido. Para corregir este problema se utilizan diferentes modulaciones, como pueden ser ASK (Amplitude-Shift Keying ó modulación por desplazamiento de amplitud), FSK (Frequency Shift Keying ó modulación por desplazamiento de frecuencia) ó PSK (Phase Shift Keying o modulación por desplazamiento de fase) para banda estrecha, y OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing ó multiplexación por división de frecuencias ortogonales) para banda ancha.

Podemos clasificar la tecnología PLC en función de tres criterios distintos:

- Según el tipo de señal eléctrica en la que viaja:

- Corriente continua

Debido a que los cables de distribución de electricidad fueron pensados para transportar corriente alterna, las aplicaciones PLC no van enfocadas en este sentido. Aun así tiene cierto uso en los buses de generación distribuida y en transporte.

- Corriente alterna

El uso del PLC en corriente alterna es el más común hoy en día, y esto se debe a la evolución que están teniendo los sistemas de medición avanzada.

- Según la tensión de la señal en la que viaja:

- Alta tensión
- Media tensión
- Baja tensión

- Según el ancho de banda empleado:

- Banda ultra-estrecha o UltraNarrowband PLC (UNB-PLC)

La tecnología que opera en este rango lo hace a una frecuencia que va desde los 30 Hz hasta los 3 KHz. La tasa de bits que ofrece es bastante escasa, llegando a 100 bps como mucho. Sin embargo, el rango de operación que ofrece es bastante alto, llegando a más de 150 km. Algunas de las aplicaciones que se le ha dado a esta tecnología están enfocadas a la teleprotección en alta tensión por parte de las compañías eléctricas.

- Banda estrecha o Narrowband PLC (NB-PLC)

Corresponde a frecuencias entre 3 y 500 kHz, aunque depende del país en el que nos encontremos. El rango de operación comprende desde cientos de metros hasta cientos de kilómetros, ampliables si se usan repetidores. Dentro de esta tecnología podemos diferenciar dos grandes grupos en función de la tasa de bit que ofrecen:

- ❖ **Baja tasa de bit o Low Data Rate (LDR):** son tecnologías que alcanzan pocos kbps y que se suelen utilizar en la automatización de los hogares y en domótica.
- ❖ **Alta tasa de bit o High Data Rate (HDR):** son tecnologías de transmisión más eficientes, que pueden llegar a alcanzar los 500 kbps. Es la

tecnología más utilizada actualmente y la mejor alternativa para sistemas AMI, ya que utilizan modulación OFDM, usando la banda Cenelec A. Dentro de este grupo entrarían todos aquellos estándares que mejor se adecúen en la implementación de sistemas AMI.

Los rangos de frecuencia asignados a las aplicaciones de NB-PLC varían según el área geográfica. El principal aspecto a tener en cuenta a la hora de delimitar las frecuencias, son las posibles interferencias con los servicios de radio. En EEUU y Canadá, el organismo FCC (Federal Communications Commission) ha definido un rango de 0 a 535 KHz. En Japón, el organismo ARIB (Association of Radio Industries and Businesses) ha definido un rango de 10 – 450 KHz. En Europa, CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) ha definido una serie de bandas de baja frecuencia permitidas para la comunicación PLC (Figura 14):

- ❖ **Banda A** → de 3 KHz a 95 KHz, está reservada para las compañías eléctricas.
- ❖ **Banda B** → de 95 KHz a 125 KHz, puede ser usada para todas las aplicaciones sin ningún protocolo de acceso.
- ❖ **Banda C** → de 125 KHz a 140 KHz, está reservada para sistemas de red interna (red doméstica).
- ❖ **Banda D** → de 140 KHz a 148,5 KHz, está reservada para alarmas de sistemas de seguridad sin ningún protocolo de acceso.

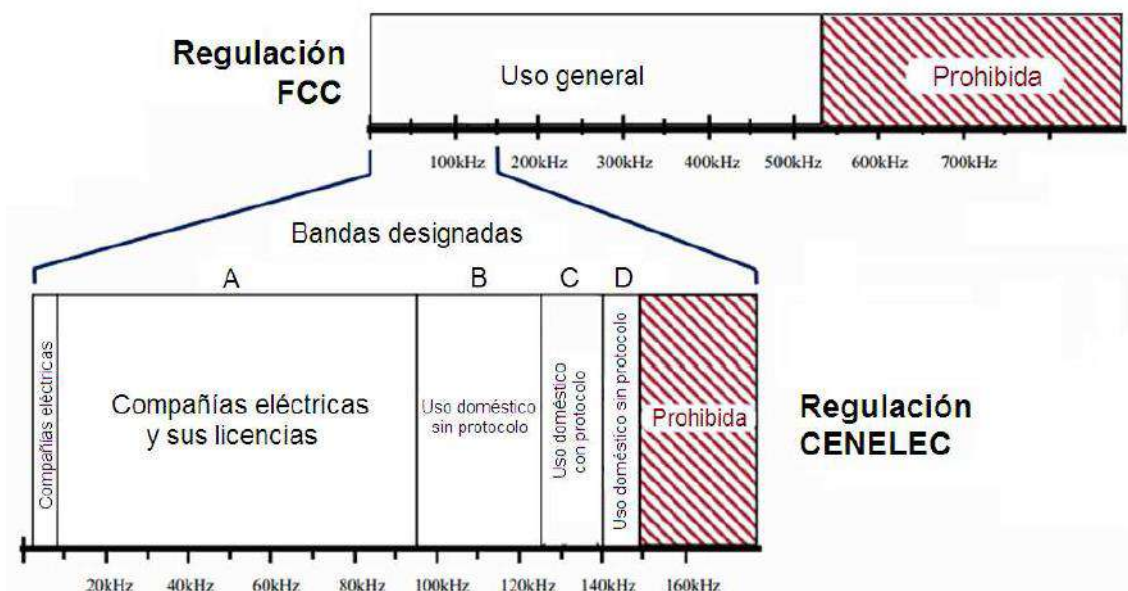


Figura 14. Comparación de la especificación de CENELEC en Europa con la regulación FCC (Federal Communications Commission) en EEUU.

A diferencia que en Europa, en EEUU, Canadá, Japón y China se permite el uso del rango de frecuencias sin asignación específica de bandas para uso exclusivo y sin protocolo concreto, lo que hace que el abanico de posibles aplicaciones sea mayor.

➤ Banda ancha o Broadband PLC (BB-PLC)

Esta tecnología utiliza una banda de frecuencias que va desde los 1.8 a los 250 MHz, con una tasa de bits que puede llegar hasta los cientos de Mbps. Se utiliza en aplicaciones de corto alcance. Uno de sus primeros usos fue para tener acceso a internet. Es una alternativa más económica a los sistemas xDSL, de hecho, EEUU es el país con mayor despliegue de esta tecnología para el acceso a internet de banda ancha.

TABLA COMPARATIVA

En la tabla 3 se puede ver una comparativa entre las tecnologías PLC mencionadas anteriormente, clasificadas según el ancho de banda empleado.

Tipos y características	UNB-PLC	NB-PLC	BB-PLC
Rango de frecuencias	30 Hz – 3 KHz	3 – 500 KHz	1,8 – 250 MHz
Bandas de frecuencia	SLF → 30 – 300 Hz ULF → 0,3 – 3 KHz	VLF/LF/MF CENELEC, FCC, ARIB	HF/VHF
Tasa de bit	Max 100 bps	De unos pocos kbps hasta 500 kbps	Hasta cientos Mbps
Alcance	Cientos de km	Varios km, ampliable con repetidores	Varios km, ampliable con repetidores
Aplicaciones	Telemedida	Telemedida, servicios en redes domésticas, Smart Grids (vehículo eléctrico, generación distribuida, etc.)	Servicios en redes domésticas, servicios para las compañías distribuidoras. Sustituto del xDSL.

Tabla 3. Comparativa de las tecnologías PLC según la banda de frecuencia.

Cuando se ha hecho antes una discriminación tipológica de la tecnología PLC, se ha hablado del PLC de banda estrecha (Narrowband PLC), el cual estaba dividido en dos grupos según la tasa de bits que ofrecían. Uno de ellos era el High Data Rate, que engloba todos aquellos estándares que se están implementando en sistemas AMI. Dentro de este grupo (HDR), existen numerosos estándares, siendo el más importante el estándar PRIME, el cual se describirá en profundidad en el siguiente capítulo, así como otros estándares muy comunes como son G3-PLC y Meters & More.

Esta tecnología es la más extendida a nivel mundial, por lo que a continuación se muestran algunos de los ejemplos más significativos.

Cuculus GmbH, una empresa con sede en Alemania, fue seleccionada en el año 2012 para suministrar su plataforma ZONOS a Eandis e Intrax para su despliegue de contadores en Bélgica. Eandis es un operador de redes en Bélgica e Intrax es un operador de infraestructura de servicios públicos que, entre otras cosas, incluye redes de electricidad. La implementación de la plataforma ZONOS tanto en Eandis como en Intrax, combinará tecnología PLC de banda ancha con tecnología GPRS.

Por otro lado, en Francia, el 1 de diciembre de 2015 fue el año en el que se empezó con el despliegue nacional de los nuevos contadores inteligentes, y se prevé que para finales del año 2021 esté terminado. Para ello se ha decidido utilizar los contadores inteligentes Linky en todo el país. Estos contadores se comunicarán con los concentradores de datos a través de la tecnología PLC y posteriormente los datos se transferirán a un sistema central de información usando una red de telecomunicaciones GPRS. La empresa encargada de ello será Enedis (antiguamente denominada Electricité Réseau Distribution France).



Figura 15. Topología de red y tecnología a implementar.

Aunque sin duda el ejemplo más importante y sobre el que trata en su mayor parte este TFG, es la tecnología PLC implementada por Iberdrola en España para la lectura de contadores. Es la tecnología que se ha utilizado desde que comenzó el

proyecto piloto en Castellón en el año 2010 y los resultados obtenidos desde entonces han sido bastante satisfactorios. Para obtener un mayor detalle acerca de esta tecnología y de cómo ha sido implementada por Iberdrola, consultar el capítulo 3.

2.4.2. Tecnología xDSL

Internet ha sufrido un gran crecimiento durante los últimos años, ya que la cantidad de personas que se conectan a él ha aumentado considerablemente. El desarrollo de nuevas aplicaciones que requieren una velocidad de transmisión mayor ha hecho que el sistema de comunicaciones telefónico no pueda satisfacer la demanda. Por eso se crean, entre otras muchas, las tecnologías xDSL (*x-type Digital Subscriber Line*), para poder dar solución a este problema.

Esta nueva tecnología presenta una alta velocidad de datos, pudiendo llegar a decenas de Mbps. La ventaja que tiene esta tecnología es que al igual que en el PLC se aprovecha de una infraestructura ya creada. La red telefónica posee numerosas líneas repartidas a nivel mundial, por lo que es un soporte ideal para las comunicaciones, debido a que ya está implementada y se puede acceder a casi cualquier lugar del mundo. Sin embargo uno de sus defectos es el poco ancho de banda que ofrece, característica que se soluciona con la tecnología xDSL.

Existen diversos tipos de tecnologías xDSL, pero la más común y utilizada es la tecnología ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Loop). Es una técnica de transmisión que permite la transmisión de datos a alta velocidad, y para ello lo hace a unas frecuencias superiores a las empleadas por el servicio telefónico, para no interferir con ellas. Ofrece una mayor capacidad de transmisión desde la red de comunicaciones al usuario (8 Mbps de bajada) que al contrario (800 Kbps de subida). Existen versiones posteriores de esta tecnología que ofrecen mayores velocidades o alcance.

Otros ejemplos de tecnología xDSL pueden ser: HSDL (High bit-rate DSL) con una tasa de bits de 2 Mbps y VHDSL (Very High data-rate DSL) con una tasa de bits que puede llegar hasta los 100 Mbps.

Como ejemplo de implementación de esta tecnología, tenemos el proyecto PRICE, desarrollado conjuntamente entre Iberdrola y gasNatural fenosa. Este proyecto tenía el objetivo de adquirir experiencia y conocimiento en la implementación y gestión de sistemas de distribución de redes inteligentes. Fue desarrollado en una zona común entre ambas distribuidoras, más concretamente entre Paracuellos del Jarama y Taracena.

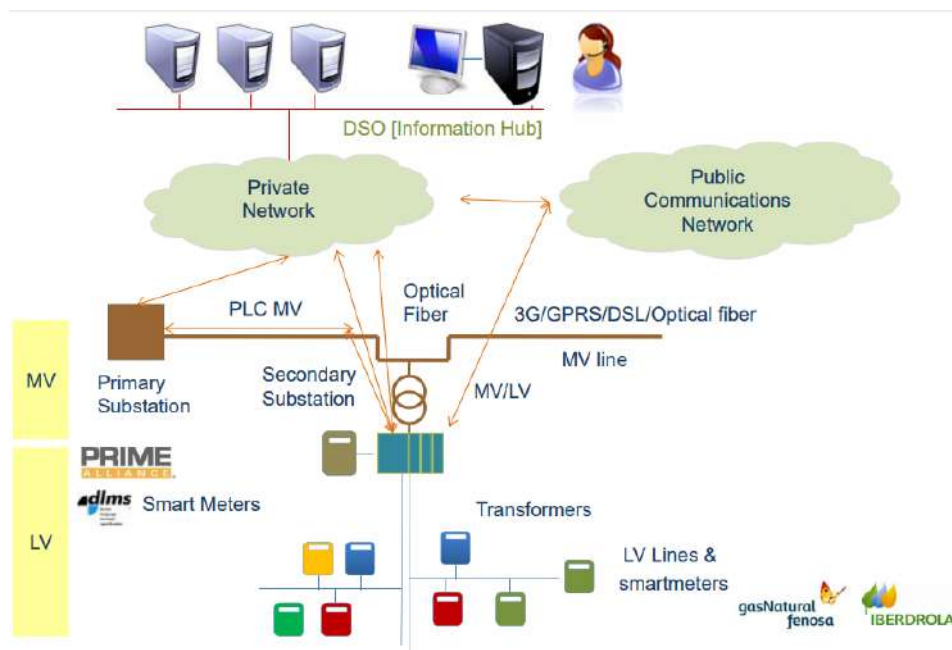


Figura 16. Arquitectura del proyecto PRICE.

2.4.3. Euridis

El protocolo Euridis es una solución segura y fiable para la lectura de contadores de manera remota, que garantiza una buena compatibilidad entre los distintos equipos. Fue introducida a principios de la década de 1990 como una solución eficiente de bajo coste.

Euridis es el único estándar internacional (IEC 62056-31 es su última versión) que funciona con cables de par trenzados para la lectura de contadores. La solución básica de Euridis utiliza un bus de datos para la comunicación al que cada contador está vinculado. Mediante el uso de un acoplador magnético y un terminal portátil, los contadores conectados al bus de datos Euridis se pueden leer en un lugar de fácil acceso.

Electricité de France (EdF) fue la primera compañía de electricidad en utilizar la lectura automática de contadores Euridis. Los contadores permitían almacenar información relacionada con anomalías o fallos internos del contador para su posterior análisis.

Por otro lado, el fabricante de contadores francés Sagemcon instaló en el año 1995 miles de contadores en la ciudad de Barcelona, los cuales estaban conectados a un bus Euridis. Estos contadores eran leídos a través de un ordenador que concentraba

los datos y que disponía de un módem telefónico para el posterior envío de los mismos a través de la red telefónica).

2.4.4. PON

Más conocida como 'Red óptica pasiva' (Passive Optical Network). Es un tipo de fibra óptica con una infraestructura de comunicaciones compuesta por elementos ópticos que no disponen de circuitos eléctricos, electrónicos o conexión a la red eléctrica para su funcionamiento, solo necesitan equipos activos en ambas puntas para generar la señal óptica. La distancia máxima puede llegar a los 60 km.

A principios del año 2013, State Grid Corporation of China (SGCC) ejecutó el proyecto de red inteligente utilizando esta tecnología. Otra empresa que lo está implementando es Iberdrola, utilizándolo para crear interconexiones entre centros de transformación, como se puede apreciar en la Figura 16.

2.5. TABLA COMPARATIVA

Tecnología inalámbrica		Tasa de bit	Bandas de frecuencia	Distancia	Ventajas	Desventajas
Celular (Redes WWAN)	AMPS	2,4 Kbps	825 – 845 MHz	-	-	<ul style="list-style-type: none"> • Transferencia entre celdas muy imprecisa
	GSM	14,4 Kbps max	900 – 1800 MHz	1 – 10 Km	<ul style="list-style-type: none"> • Amplia cobertura • Bajo mantenimiento • Bajo consumo 	<ul style="list-style-type: none"> • Las conexiones individuales son caras • Tasas de bits moderadas
	GPRS	114 Kbps	900 – 1800 MHz	1 – 10 Km		
	3G (UMTS)	2 Mbps	824 – 894 MHz	Hasta 50 Km		
	4G	20 – 100 Mbps	1900 MHz	Hasta 50 Km		
Redes WPAN IEEE 802.15	Zigbee	20 Kbps 40 Kbps 250 Kbps	868 MHz 915 MHz 2.4 GHz	10 – 1000 m	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo coste • Bajo consumo 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajas tasas de bits • Problemas de seguridad (bluetooth sobre todo)
	Bluetooth 5.0	50 Mbps	2.4 – 2.4835 GHz	Hasta 210 m		
Redes WLAN IEEE 802.11	Wi-Fi	1,73 Gbps max	2.4 GHz / 5 GHz	70m	<ul style="list-style-type: none"> • Alto nivel de disponibilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Se ve afectado por las emisiones de equipos cercanos
Redes WMAN IEEE 802.16	WiMax	Hasta 1 Gbps	2 GHz – 66 GHz	50 Km	<ul style="list-style-type: none"> • Buen rendimiento a largas distancias • Capacidad de servicio a miles de usuarios finales 	<ul style="list-style-type: none"> • Costes elevados en comparación con tecnologías similares

Tabla 4. Principales tecnologías inalámbricas y sus características para sistemas AMI.

Tecnología cableada		Tasa de bit	Bandas de frecuencia	Distancia	Ventajas	Desventajas
PLC	Ultra Narrow Band - PLC	Max 100 bps	30 Hz – 3 KHz	Cientos de km	<ul style="list-style-type: none"> • El medio ya está desplegado • Los equipos no dependen de baterías 	<ul style="list-style-type: none"> • El cable de electricidad es un medio hostil para las comunicaciones
	Narrow Band – PLC	Hasta 500 kbps	3 – 500 KHz	Varios km		
	BroadBand – PLC	Hasta cientos de Mbps	1.8 – 250 MHz	Varios km		
xDSL	ADSL	800 kbps de subida 8 Mbps de bajada	1 MHz aprox.	5 km	<ul style="list-style-type: none"> • El medio ya está desplegado • Tasas de bits moderadas 	<ul style="list-style-type: none"> • Costes de mantenimiento elevado • La eficiencia disminuye con la distancia
	HDSL	2 Mbps		3.6 km		
	VHDSL	15 – 100 Mbps		1.5 km		
Euridis	IEC 62056-31	9.6 kbps	80 MHz – 1 GHz	Cientos de m	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo coste • Tecnología conocida 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajas tasas de bits
PON		155 – 2.6 Gbps		60 km	<ul style="list-style-type: none"> • Elevadas tasas de bits • Inmunidad frente al ruido • Buen rendimiento durante kms 	<ul style="list-style-type: none"> • Coste elevado

Tabla 5. Principales tecnologías cableadas y sus características para sistemas AMI.

3. PROYECTO STAR. RED ELÉCTRICA INTELIGENTE.

En este capítulo se va a realizar un estudio del proyecto STAR, que fue diseñado y llevado a cabo por Iberdrola en España a partir del año 2010 con motivo de las normativas aplicadas en los últimos años. Se describirá por qué surge este proyecto, cuales son los objetivos que se pretenden conseguir, el despliegue que se está realizando, las comunicaciones entre los diferentes sistemas del proyecto STAR y una descripción de esos equipos que se están utilizando.

3.1. INTRODUCCIÓN. MARCO GENERAL.

Como ya se indicó en el apartado 1.1 Antecedentes, el negocio eléctrico en España sufre un gran cambio en el año 1997 a raíz de la separación de actividades dentro del Sector Eléctrico, quedando el Transporte y la Distribución como actividades reguladas, y la Generación y la Comercialización como actividades de libre mercado.

Sin embargo, el suceso más importante, y el que más relevancia tiene dentro de este TFG, es la entrada en vigor del RD 809/2006, mediante el cual se establece la sustitución de los contadores antiguos por unos nuevos contadores inteligentes. A partir de este momento, se empiezan a establecer los plazos correspondientes a la sustitución completa de los contadores antiguos. Tras una serie de órdenes ministeriales, se estableció con la ITC/290/2012, que antes del 31/12/2018 deberían de estar sustituidos el 100% de los contadores. Esta normativa concuerda con los plazos que había estipulado la Unión Europea para el año 2020.

Las dos características más destacadas que traen estos contadores inteligentes son:

- Discriminación horaria.
- Capacidad de telegestión.

La telegestión, legislada por el Real Decreto, es un primer paso en la dirección marcada por la Unión Europea con la Directiva 2009/72/EC. Además, ofrece la oportunidad de que la red eléctrica evolucione hacia una red inteligente.

Para ello se debe de acometer un plan de sustitución, elegir un modelo de comunicación y crear de un sistema de telegestión. Debido a que es motivo de estudio de este TFG, se va a mostrar el proyecto que está realizando Iberdrola Distribución para cumplir con la normativa impuesta por el gobierno español y la Unión Europea.

El desarrollo de la telegestión requiere:

- La sustitución de millones de contadores.
- Equipar los Centros de Transformación con comunicaciones.
- Establecer una red de comunicaciones de acceso para 10,5 millones de nodos.
- Un sistema de telegestión.

Los valores añadidos de la telegestión con la red inteligente son:

- Lectura remota de energía y potencia.
- Lectura remota de parámetros de calidad.
- Programación remota.
- Sincronización remota con equipos concentradores.
- Control remoto de la potencia: conexión y reconexión a distancia.

Para realizar ese cambio a una red eléctrica inteligente, se apuesta por el PLC de banda estrecha como medio principal de acceso a los contadores.

La interoperabilidad entre contadores y concentradores de distintos fabricantes es clave para evitar cautividades. El contador pasa a ser un sujeto pasivo que informa de forma autónoma de eventos y alarmas. La telegestión es un modelo que permite desarrollar una tecnología moderna y de futuro en los equipos de medida (contadores y concentradores).

La red de comunicaciones por diseño ha de estar capacitada para ofrecer nuevos servicios, no sólo para la gestión de nuevos contadores, sino para cubrir otras necesidades presentes y futuras. Por ello se apuesta por aprovechar el despliegue que supone realizar la telegestión, para incluir otra serie de beneficios.

La transformación a una red inteligente, a mayores de lo que nos proporciona la telegestión, incluye:

- Supervisión de Media y Baja Tensión (tensión e intensidad).
- Detección de paso de falta.
- Medidas de calidad de onda de Media Tensión.
- Alarmas de las instalaciones.
- Automatización y control en tiempo real de la Media Tensión.
- Operación remota de la red de Media Tensión.
- Mejora de la atención al cliente.

Esto se concreta en la incorporación de equipos electrónicos en los Centros de Transformación, que facilitarán información y mando sobre la red eléctrica, con el objetivo de mejorar la operativa del negocio (operación, planificación, optimización de la red).

3.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO STAR.

A raíz de todas las normativas mencionadas en el apartado anterior y en los antecedentes, se crea en Iberdrola el denominado Proyecto STAR:

“Sistema de Telegestión para Automatización de Red”.

Iberdrola lo define de la siguiente manera: ‘El proyecto STAR es una ambiciosa iniciativa del grupo Iberdrola, cuyo objetivo es llevar a cabo una transformación tecnológica en el campo de las redes inteligentes.

Dicho proyecto contaba principalmente con dos retos:

- Sustituir los contadores domésticos tradicionales por equipos digitales, inteligentes, que permiten hacer nuevas funciones y a distancia.
- Dotar a la red eléctrica de un mayor grado de inteligencia, para que desde el punto de vista tecnológico esté preparada para seguir dando en el futuro un servicio de primer orden a nuestros clientes. La red tiene que estar preparada desde el punto de vista técnico para soportar el servicio requerido.

La telegestión de contadores tiene impreso en su propio nombre las telecomunicaciones. Por lo tanto, había que resolver tres partes fundamentales:

- Comunicaciones de muy alta capacidad entre los sistemas de Iberdrola.
- Comunicaciones de alta velocidad a través de redes de telecomunicaciones convencionales entre los Centros de transformación y su acceso hacia los sistemas de Iberdrola.
- Comunicaciones de baja capacidad para acceder a cada uno de los contadores.

Las dos primeras ya habían sido resueltas mediante el uso de la tecnología que ya tenían, como podía ser la comunicación PLC de banda ancha, cables de fibra óptica, radio digital, ADSL o GPRS. El problema radica en la comunicación entre concentrador y contadores, ya que era la primera vez que se iba a utilizar la red de Baja Tensión para dicho fin.

Uno de los provechos que se sacó debido a la obligación de pasar a una red inteligente, fue la de categorizar los Centros de Transformación por funcionalidad. A continuación se describen las distintas categorías en las que se clasifica:

❖ Nivel Básico

Este nivel es el que se constituye en base a la obligación legal, y presenta las siguientes características:

- Telegestión de todos los contadores conectados a ese CT.
- Medida de los consumos, tensión e intensidad de los cuadros de Baja Tensión.

Para poder implementar estas características es necesario colocar una serie de equipos dentro del Centro de Transformación. Tanto para el nivel básico como para los dos niveles restantes, solo se mencionarán los equipos que lo forman. Será en el apartado 3.5 donde se verá más en detalle las características que posee cada uno de ellos.

- *Router.*
- *Concentrador.*
- *Nodos auxiliares: concentrador auxiliar.*
- *Cargador de baterías.*
- *Baterías.*
- *Trafos de intensidad: miden la intensidad que pasa por cada línea y pueden detectar pasos de falta.*
- *Trafos de tensión: miden la tensión existente.*

No siempre se dispone de todos estos equipos dentro de los CTs de nivel básico, depende de muchos factores, como pueden ser la situación geográfica, el espacio disponible en el CT o el número de clientes a los que hay que dar suministro. Por lo tanto existen dos variantes dentro de la instalación de equipos en este tipo de CTs, una de ellas es la colocación de un equipo denominado TGB y la otra, la instalación de un equipo denominado GTP. El TGB es un equipo que realiza las funciones de router y de concentrador dentro de un mismo elemento, de esta manera consigues reducir espacio al colocar un equipo en vez de dos por separado. El GTP es un equipo que se coloca cuando existen 100 o menos puntos de suministro.

• Nivel supervisado

Además de las características que nos proporciona la telegestión y la supervisión de Baja Tensión, este tipo de Centros de Transformación incluye:

- Medida en tiempo real de potencia activa, reactiva, tensión e intensidad en Media Tensión.
- Detector de paso de falta en Media Tensión.
- Posibilidad de conectar alarmas de agua, fuego, presencia y cámara.

Para poder implementar estas características es necesario colocar, a mayores de los equipos mencionados en el nivel básico, un equipo que se conoce como remota de supervisión de Media Tensión. La única carencia que tiene este equipo es que no admite órdenes de apertura y cierre.

❖ **Nivel Automatizado**

Además de la telegestión, la supervisión de Baja y Media Tensión y otras alarmas, este tipo de Centros de Transformación incluye:

- Señalización real de todas las posiciones en Media Tensión.
- Mando remoto de los interruptores entrada/salida de Media Tensión.

Este tipo de Centros de Transformación incluye, a mayores que los equipos del nivel básico, una remota de automatización. En este caso, este equipo sí que permite órdenes de apertura y cierre.

Esta categorización de los centros de transformación en tres tipos se puede apreciar en la Figura 17.

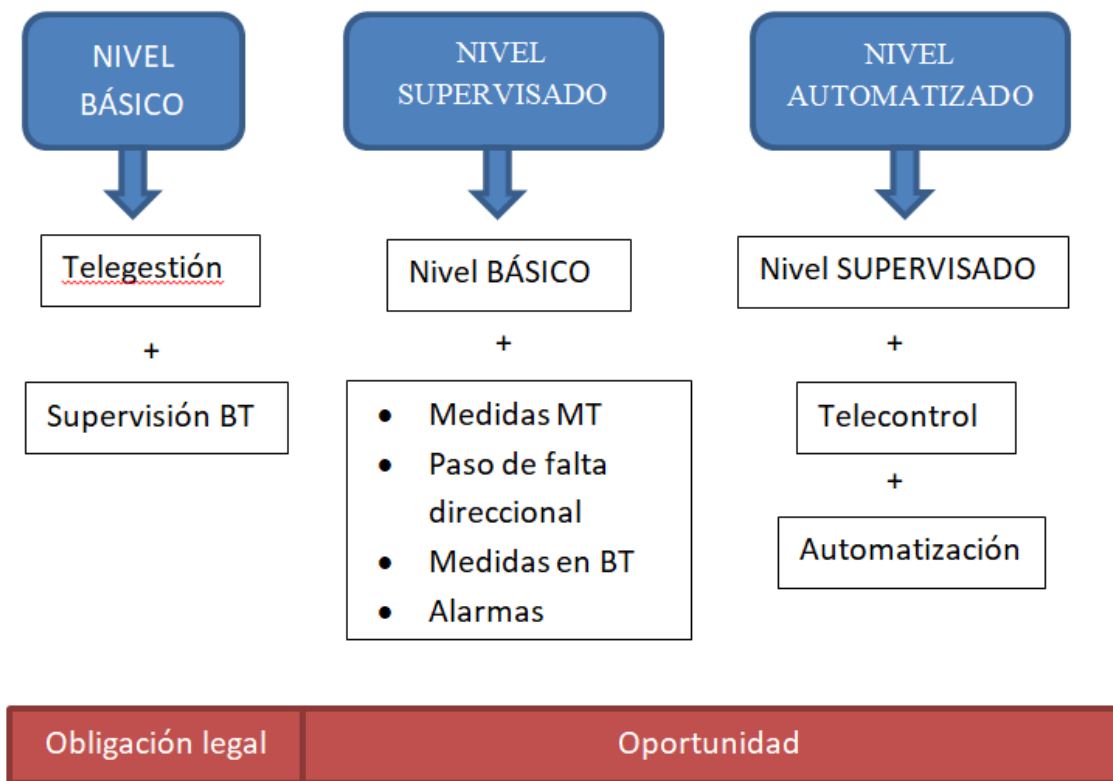


Figura 17. Categorización de los Centros de Transformación realizada por Iberdrola.

Hay ocasiones en las que por temas estratégicos o por otros motivos, se decide hacer una agrupación de CTs. Esta agrupación se denomina célula PLC, y consiste en la comunicación a través de la tecnología PLC de varios CTs. En ese caso cada tipo de CT dispondrá a mayores de los equipos mencionados, de un switch y de un equipo de inyección PLC (API). El switch se encargará de transmitir la información entre los distintos centros de la célula PLC, y el API se encargará de inyectar la señal PLC en la red de Media Tensión para que viaje entre los centros.

Para la comunicación entre los distintos equipos pertenecientes a los Centros de Transformación existen cuatro requisitos fundamentales:

- Gestión de los equipos de comunicaciones.
- Independencia de cada uno de los servicios demandados. Utilizan el mismo medio de comunicación pero es necesaria una diferenciación para que cada flujo de datos asociado se entregue en el sitio correspondiente. Esto se consigue a través de tecnologías Ethernet/IP.
- Velocidades, integridad, confidencialidad y disponibilidad de la información adaptadas a las necesidades de los servicios.
- Adaptación dinámica a los cambios en las tecnologías de comunicación. Preparación para un futuro.

Todo esto no sirve de nada si no se pone en práctica. Había que empezar a desarrollarlo en alguna ciudad con el fin de ver cómo iba a funcionar, que fallos se iban a detectar, etc.

La ciudad elegida por Iberdrola para ello fue Castellón, convirtiéndose así en la primera ciudad de España en la que se desarrollaba una Red Inteligente.

Se empezó el despliegue masivo en Junio de 2010 y el objetivo consistía en desarrollar una red inteligente en todo el municipio de Castellón. No solo había que esperar a que los todos los equipos cumplieran su cometido, si no que el sistema 'Plug and Play' funcionase correctamente. Plug and Play se refiere a la capacidad de un sistema informático de configurar automáticamente los dispositivos al conectarlos.

Se pasó de tener 25 CTs sólo con telegestión en el año 2009, a tener 566 Cts con telegestión, 325 con supervisión y 87 con automatización, todo esto en Julio de 2011. Todos ellos englobaban 100.000 contadores inteligentes.



Figura 18. Ejemplo de equipos colocados en un Centro de Transformación.

Como todo proceso que tiene una larga duración en el tiempo, se han ido sucediendo continuos cambios con el fin de corregir los errores que iban surgiendo, en ocasiones porque se encontraba que lo planteado inicialmente se podía mejorar o simplemente porque se detectaban ciertos fallos que había que corregir.

Por todo esto, lo que se presenta a partir del siguiente apartado, es el esquema que se planteó desde un inicio en Iberdrola para hacer una instalación de los distintos equipos STAR.

3.3. PLANIFICACIÓN DEL DESPLIEGUE. FASES.

El proyecto STAR presenta unas magnitudes y extensión geográfica muy relevantes, ya que afecta a toda Iberdrola Distribución. Por tanto, la definición de su ejecución y el despliegue del proyecto son de especial interés.

La ejecución del despliegue se ha dividido en tres actividades básicas (Figura 19):

- La planificación general del despliegue, concretada cada ejercicio con el Plan anual.
- La programación de cada Ámbito de Despliegue (AD).
- La ejecución del despliegue.

La planificación general del despliegue define el calendario de ejecución de cada uno de los Ámbitos de Despliegue en los que se ha dividido la geografía (son las diferentes zonas geográficas en las que se va a realizar el despliegue de una u otra manera), en el horizonte temporal del proyecto, que es a finales del año 2018. La definición geográfica de los ámbitos de despliegue se ha realizado atendiendo fundamentalmente a criterios de homogeneidad del número de puntos de suministro. Por cada región, se ha priorizado la ejecución de cada uno de los ámbitos que la constituyen atendiendo a criterios operativos y de calidad de suministro.

En el Plan anual se determina, para cada Ámbito de Despliegue en ejecución en un año calendario, las unidades físicas a desplegar en el mismo (tanto contadores como CTs).

La programación de cada Ámbito de Despliegue establece las condiciones de ejecución de cada uno de los CTs que forman parte del mismo, definiendo:

- La solución funcional de cada CT: telegestión / telegestión con supervisión de MT / telegestión con automatización de MT.
- Fase de Despliegue (FD) y Célula de Despliegue (CD) a la que pertenece cada CT.
- Fecha prevista de ejecución, fabricantes de equipos e instalador de cada CT.

Además, la programación determina los puntos de suministro alimentados por cada CT programado, actividad requerida para completar la implantación de la Telegestión.

Por último, la ejecución del despliegue se realiza conforme a los resultados de las actividades anteriores en cada CT objeto de proyecto, y posteriormente mediante la sustitución de los contadores por unos con capacidad de telegestión.

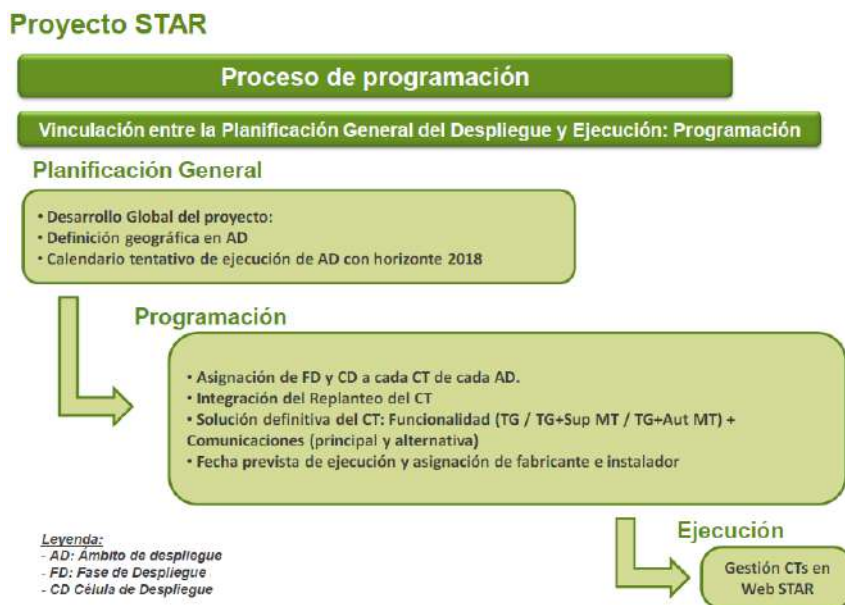


Figura 19. Fases de ejecución del despliegue STAR.

Otros datos iniciales de interés a la hora de planificar el despliegue pueden ser:

- Área de implementación (municipio a desplegar).
- Información completa de CTs y STs (líneas eléctricas, propiedades, etc.).
- Estudio teórico sobre posibles tecnologías disponibles (fibra óptica, ADSL, cable, cobertura GPRS).
- Orden de prioridad tecnológica:
 Fibra > PLC MT > Radio Digital > ADSL > GPRS

Aunque existen ciertos criterios a la hora de elegir la tecnología que se va a utilizar.

- Criterios de diseño GPRS
 - Viable si la señal recibida es superior a -85 dB en la mejor estación base y superior a -90 dB en al menos otras dos estaciones base.
- Criterios de diseño ADSL
 - Se verificará si existe algún punto de terminación de red cercano al CT o caja de conexiones.
 - Viable si el operador puede instalar dentro de costes la caja de interconexión ADSL que ha de situarse junto al CT.
- Criterios para radio digital:
 - Comprobar si existe visibilidad directa de algún repetidor o estación base de radio para la viabilidad del enlace. Es importante aportar datos geográficos de ubicación del CT.

Una vez planteada la planificación del despliegue, podemos distinguir tres fases dentro de la ejecución del mismo:

1. Fase 1: Replanteo
2. Fase 2: Verificaciones de fábrica
3. Fase 3: Verificación de la instalación. PEM

1. Fase 1: Replanteo

Es la primera fase para la implantación de una red STAR. En el estudio preliminar para decidir de forma óptima el nivel de inteligencia de un centro de transformación y su modo de comunicación, es pieza clave la labor de replanteo del centro de transformación.

El replanteo consiste en la visita a campo de la instalación para documentar con alto nivel de detalle la situación actual del centro de transformación. La información demandada se estructura de la siguiente manera:

- Información general del CT: descripción del tipo de instalación, condiciones de acceso, esquema unifilar, croquis del CT, etc.
- Comunicaciones: realización de mediciones de cobertura GPRS, así como de otros posibles modos de comunicación (ADSL o Radio Digital) en cercanía del centro de transformación.
- Celdas de Media Tensión: información detallada de la aparamenta instalada (tipo de celda, fabricante, bornas de conexión, características del cable de MT conectado).
- Transformadores de distribución: información del número de máquinas instaladas y sus características.
- Cuadros de Baja Tensión: descripción del modo de distribución de la red de Baja Tensión en el CT.
- Armarios: análisis de la disponibilidad de espacio en el CT para ubicar el futuro equipamiento STAR, teniendo en cuenta distancias en los cableados a realizar, sobre todo en el caso de ADSL. Si es ADSL o fibra óptica se necesita espacio para un armario extra.
- Tierras: situación de las tierras de neutro de la instalación.
- Fotografías: fotos generales del CT y fotos de detalle (conexión de cableado de MT a las celdas) para ilustrar la documentación recopilada.

El replanteo va a ser la base para la toma de decisiones de los equipos a instalar. Por ello es clave que el replanteo se realice con precisión y detalle, ya que si no puede haber fallos a la hora del montaje de los equipos. Durante la fase inicial se han extraído datos asociados a los CTs que van a tener algún servicio STAR y con esos datos se

realizará una planificación inicial de telecomunicaciones, donde se refleje la estimación de cual va a ser la tecnología de telecomunicaciones de acceso prevista. El replanteo consolidará o no esta planificación.

Para la red STAR, desde el punto de vista de telecomunicaciones, se pide analizar en el replanteo las posibilidades de utilización de todas las tecnologías, haciendo hincapié en las medidas y datos asociadas a la tecnología planificada inicialmente para ese CT.

Todos estos datos obtenidos en el replanteo, se almacenarán en una aplicación Web, con el fin de poder acceder a toda la información en cualquier momento siempre que se requieran datos de ese CT, sin necesidad de hacer un desplazamiento a campo.

2. Fase 2: Verificaciones de fábrica

Para una mayor efectividad de la instalación en campo, se realizan pruebas en fábrica, que limiten al máximo los posibles fallos en el momento de la instalación.

La integración de armarios STAR en fábrica comprende además de una correcta instalación de equipos, una configuración básica de los mismos que asegure la gestión y conectividad remota desde el Centro de Supervisión y Diagnóstico, una vez instalados en el CT.

El formulario diseñado para la verificación de los equipos de comunicaciones contempla las diferentes tecnologías que se pueden instalar, dependiendo de la ubicación final del armario.

La funcionalidad de realizar los check list en fábrica es facilitar en la medida de lo posible el trabajo en campo y evitar posibles problemas en instalación cuya resolución en ese momento produciría una pérdida de tiempo y coste. Agilizar al máximo el tiempo de instalación.

3. Fase 3: Verificación de la instalación. PEM

El instalador a través de la Web donde se han registrado los datos de replanteo, etc, programa los trabajos especificando los descargos necesarios y adjunta la visita previa. El responsable de la célula de despliegue (RC) debe controlar estos descargos para conseguir instalar los equipos en las fechas programadas.

El RC debe controlar que el instalador monte los equipos conforme a las especificaciones y cumpliendo la reglamentación de CT en todo momento. Debe vigilar que el instalador haya adelantado todos los posibles trabajos antes del descargo.

La puesta en servicio de las instalaciones requiere por parte del RC, del seguimiento y verificación de toda la documentación necesaria.

El día del descargo, una vez verificado en campo que los equipos comunican correctamente y cumplimentados todos los chequeos, el Instalador debe llamar al CSD para que verifiquen el acceso remoto a los equipos. En este momento, el CSD valida el acceso a las comunicaciones, a la telegestión, a la supervisión de MT o a la automatización, si dispone de ella. Si la instalación es correcta, el CSD valida los siguientes chequeos de puesta en servicio (P/S):

- Instalación Completa
- Chequeo P/S Comunicaciones
- Chequeo P/S BT
- Chequeo P/S MT

El CSD verifica que las medidas de los equipos sean coherentes y que estén cargadas las configuraciones correspondientes.

Pruebas de mando

Una vez cargada toda la documentación y validados todos los chequeos, el CT pasa al estado de CUARENTENA. La etapa de Cuarentena comienza con las pruebas de transmisión y de estabilidad de los equipos de comunicación. Una vez pasadas estas pruebas, los equipos estarían en condiciones de usarse completamente.

3.4. COMUNICACIONES ENTRE LOS DIFERENTES SISTEMAS DEL PROYECTO STAR.

Ya se ha comentado anteriormente que podemos distinguir tres grandes subgrupos dentro de las tecnologías de telecomunicaciones usadas para el STAR, como se puede apreciar en la Figura 20. Las comunicaciones de muy alta capacidad entre los sistemas de Iberdrola, las comunicaciones entre los Centros de Transformación y su acceso a los sistemas de Iberdrola y las comunicaciones de baja capacidad de acceso a los contadores (PRIME). Las dos primeras ya habían sido resueltas debido a que se han utilizado diferentes elementos que Iberdrola ya tenía desplegados. Sin embargo, el último tramo suponía un reto tecnológico que a día de hoy es una realidad, por lo que es en el que más se va a hacer hincapié.

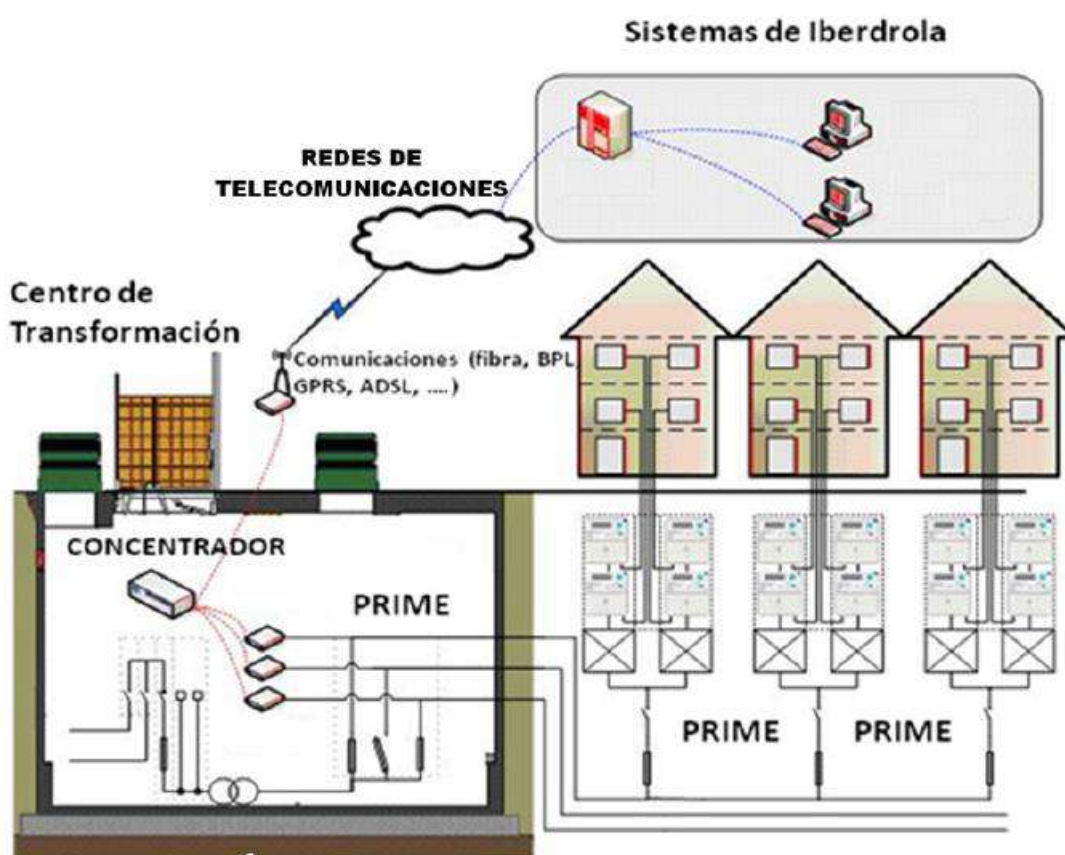


Figura 20. Distintos elementos de comunicaciones dentro de la red STAR.

3.4.1. Comunicaciones de alta capacidad entre los sistemas de Iberdrola

Las empresas eléctricas de todo el mundo se están embarcando en numerosos proyectos de Smart Grids. La arquitectura de estas Smart Grids incluye muchas aplicaciones, tales como la modernización de la red, la automatización de subestaciones y centros de transformación, y la creación de sistemas de medición avanzada (AMI).

Una de las claves para una transformación segura y eficiente de una red de suministro de energía es tener un sistema moderno y fiable de comunicaciones. Para respaldar de manera efectiva las aplicaciones de las Smart Grids, el Protocolo de Internet (IP) será un elemento clave en las distintas redes. Para los operadores de transmisión que han estado manteniendo infraestructuras de comunicaciones, deben considerar una evolución de sus infraestructuras, que serán muy diferentes a las tradicionales: TDM (Time Division Multiplexing) sobre SDH (Synchronous Digital Hierarchy) o sobre SONET (Synchronous Optical Network). Los operadores de distribución, que en el pasado solo necesitaban una cobertura mínima de comunicaciones en la mayoría de sus territorios, ahora enfrentan el desafío de ampliar y desplegar nuevas infraestructuras de comunicaciones.

La red de comunicaciones de servicios públicos tradicional se construye para transportar información entre el centro de control y todos los sitios remotos. El tráfico se transmite típicamente a través de circuitos TDM. Los operadores de transmisión normalmente han desplegado redes SDH o SONET. Con este tipo de redes se establecen configuraciones estáticas, lo que significa que el ancho de banda está reservado para un circuito particular, se use o no. En consecuencia, una aplicación puede tener un ancho de banda insuficiente mientras que el ancho de banda reservado para una aplicación inactiva permanece inactivo. Por lo tanto, este tipo de redes no están optimizadas para admitir las comunicaciones centradas en Ethernet e IP requeridas para las nuevas aplicaciones de las Smart Grids. Debido a que cada circuito en una implementación tradicional de TDM se establece con un ancho de banda predefinido, la calidad de servicio es inherente al sistema; una vez que se establece el circuito, una aplicación solo puede utilizar el ancho de banda asignado.

Es necesaria una transformación flexible para preservar las inversiones iniciales y así minimizar riesgos. La red IP/MPLS (IP/Multi-Protocol Label Switching) incorpora el estado del arte de las tecnologías más avanzadas para permitir que una compañía eléctrica despliegue una red IP de gran disponibilidad para el futuro y continúe brindando soporte a las aplicaciones ya existentes de TDM mientras proporciona un cambio sin problemas a los servicios IP, Ethernet e IP/MPLS.

La transformación de la red de comunicaciones a una red IP/MPLS es la base de la arquitectura Smart Grid. Iberdrola utiliza la red de comunicaciones IP/MPLS ofrecida por Nokia para las empresas eléctricas. Las nuevas aplicaciones Smart Grid brindan a las empresas eléctricas una mejor visibilidad para operar los sistemas eléctricos de manera más eficiente.

La solución ideal es la que ofrece al menos el mismo nivel de fiabilidad, calidad de servicio y seguridad que las redes de comunicaciones de los servicios públicos tradicionales, mientras apoya la infraestructura TDM y los nuevos servicios IP/Ethernet que son necesarios para el despliegue de redes inteligentes. Por otro lado las empresas deben minimizar el CAPEX (los gastos de capital) y el OPEX (los gastos de operación). IP y Ethernet serán los protocolos de comunicaciones clave para la infraestructura Smart Grid.

Algunas de los requerimientos que se deben considerar antes de implementar una red de comunicaciones de una red inteligente:

- **Ancho de banda:** el crecimiento de las aplicaciones IP impulsa la necesidad de un mayor ancho de banda, para así poder enviar una gran cantidad de datos.
- **Seguridad:** la red necesita transportar de forma segura las nuevas aplicaciones que requieren una red de comunicaciones.
- **Fiabilidad:** la red debe ofrecer el nivel necesario de fiabilidad para mantener el funcionamiento ininterrumpido.
- **Manejabilidad**

Para soportar el tráfico de datos de las empresas eléctricas en una sola red física, es clave una infraestructura de comunicaciones IP/MPLS, ya que puede soportar todos los tipos de tráfico. Algunas de las características que presenta son:

- Admite servicios TDM.
- Admite nuevas aplicaciones IP y Ethernet.
- Minimiza los costes sin comprometer la funcionalidad y la fiabilidad.
- Garantiza la seguridad de la red.
- Permite que la calidad del servicio priorice las aplicaciones críticas sobre el resto.

Estas características respaldan el claro movimiento hacia la implementación de una red IP/MPLS. Estas redes aumentan la eficiencia operativa y admiten aplicaciones existentes de misión crítica.

Los componentes de la infraestructura de Nokia IP/MPLS pueden incluir diferentes equipos. Iberdrola cuenta con 23 routers Nokia 7750 SR distribuidos por toda España que están conectados por fibra óptica o bien por una red de transporte de alta capacidad (DWDM).

La red de comunicaciones IP/MPLS de Nokia aprovecha múltiples tecnologías de vanguardia para permitir que una red empresarial continúe brindando soporte a las aplicaciones basadas en TDM y al mismo tiempo proporcione una ruta alternativa a los servicios IP y Ethernet. La infraestructura asegura que a cada aplicación se le puedan asignar los recursos que necesite, referidos al ancho de banda, al nivel de la calidad del servicio, seguridad y disponibilidad.

La Figura 21 muestra una descripción general de la red de comunicaciones IP/MPLS y de los diversos servicios que pueden admitirse. Esta red conecta el centro de control (y el centro 'backup') con sitios remotos y subestaciones con seguridad SDH/SONET.

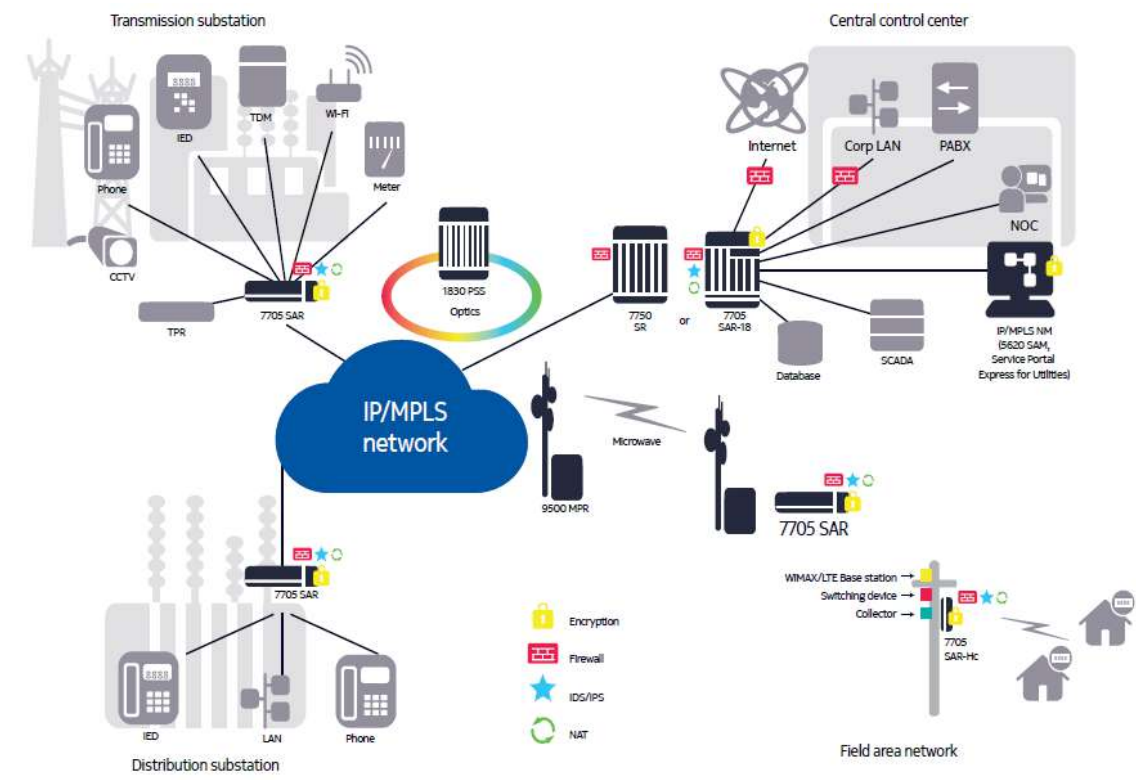


Figura 21. Descripción general de la red de comunicaciones IP/MPLS.

Por otro lado podemos usar la red IP/MPLS para servicios de teleprotección, como hace Iberdrola. Los sistemas de teleprotección monitorean y comparan las condiciones en las líneas de transmisión para coordinar el disparo de las mismas y así poder aislar rápidamente los fallos que se producen con el fin de evitar daños a los costosos equipos de las subestaciones. Para garantizar el sistema de teleprotección, se deben transmitir señales de retransmisión con una latencia mínima, y esto nos lo proporciona la red IP/MPLS. La configuración de la calidad de servicio permitirá a la red discriminar entre el tráfico de datos que tenga mayor prioridad frente al de menor prioridad.

En la Figura 22 se puede apreciar un ejemplo del uso de una red IP/MPLS para el servicio de teleprotecciones. La nube IP/MPLS de la imagen sería la nube que tiene formada Iberdrola por toda España donde estarían incluidos los 23 equipos mencionados anteriormente.

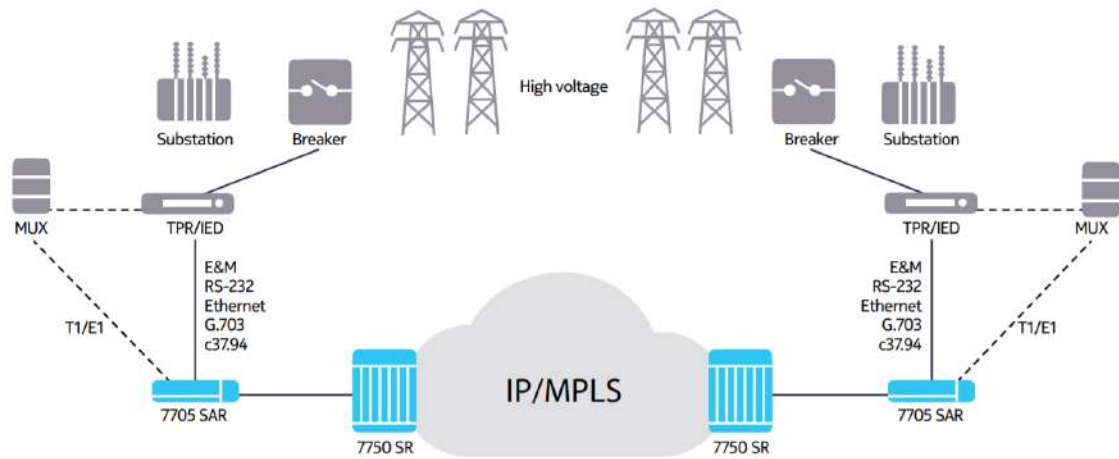


Figura 22. Uso de una red IP/MPLS para la teleprotección.

3.4.2. Comunicaciones entre los CTs y su acceso a los sistemas de Iberdrola

Son todas aquellas que permiten tener el Centro de Transformación integrado en la red de telecomunicaciones Ethernet/IP diseñada para el proyecto STAR. Esto incluye las siguientes tecnologías:

- Fibra óptica
- Radio digital
- PLC de banda ancha
- GPRS
- ADSL

Como ya se ha indicado en el apartado 3.2, este tipo de comunicaciones ya habían sido resueltas anteriormente, debido a que estas tecnologías ya estaban implementadas. Además, en el capítulo 2 se ha explicado el funcionamiento de cada una de ellas. Por lo que únicamente se ilustrará de manera gráfica como es el esquema básico de una conexión entre equipos con estas tecnologías.

- Radio digital

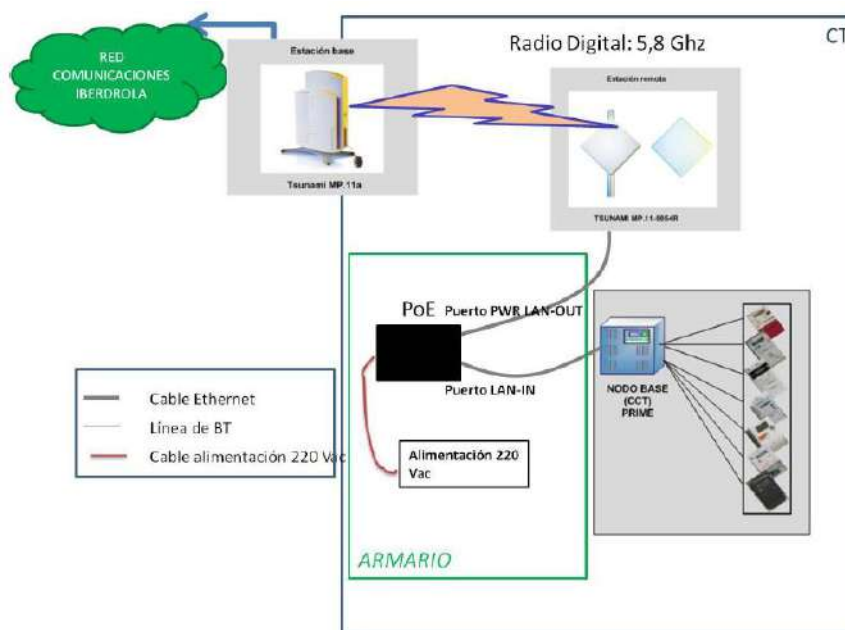


Figura 23. Esquema básico de una conexión entre equipos con salida por radio digital.

• GPRS

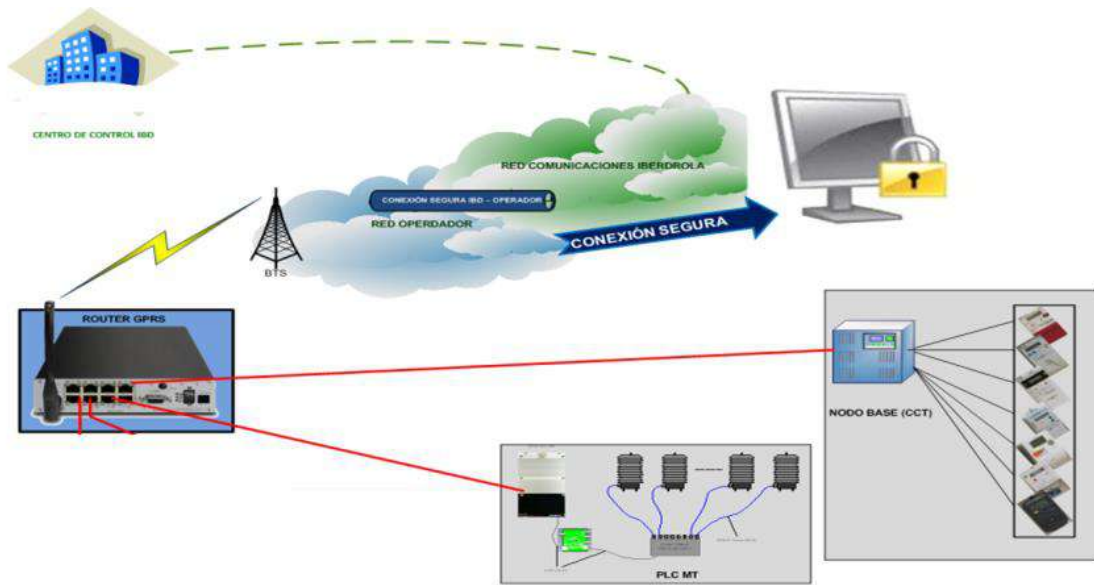


Figura 24. Esquema básico de una conexión entre equipos con salida GPRS.

• ADSL

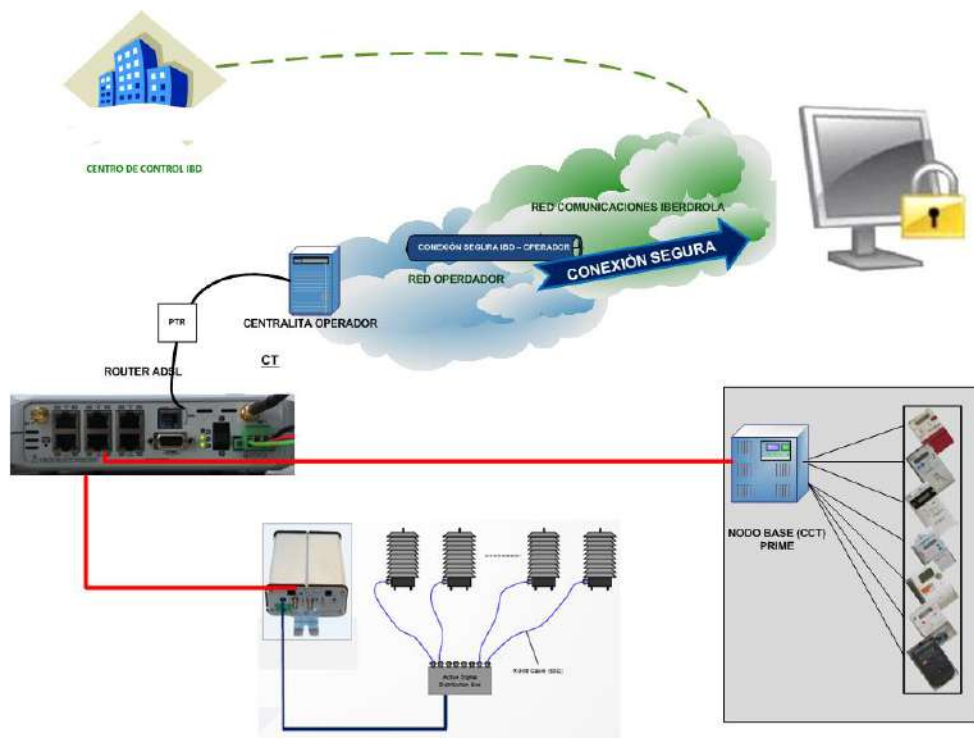


Figura 25. Esquema básico de una conexión entre equipos con salida ADSL.

- [PLC de banda ancha](#)

Elementos de un sistema PLC de Media Tensión:

- **Celdas de Media Tensión:** Son elementos muy importantes, la señal de comunicaciones se transporta a través del cable eléctrico entre CTs por medio de una inyección de señal que se realiza en la celda. El tipo de celda determina los elementos pasivos a instalar para poder captar adecuadamente esa señal.
- **Acoplamientos:** Es un elemento pasivo necesario en los sistemas de comunicación PLC para poder inyectar la señal de comunicaciones. La recomendación es usar siempre acoplamientos capacitivos.

De todos los CTs que formen una célula PLC, habrá uno que se encargará de llevar la información a la red de comunicaciones de Iberdrola, y se denominará CT de cabecera. Por lo tanto, podemos distinguir dos tipos de CTs dentro de una célula PLC:

- **CT Cabecera:** CT con conexión a la red troncal (GPRS, ADSL, FO, radio digital).

Equipos de un CT de cabecera:

- Router: da salida troncal y permite la conectividad entre los servicios STAR (VLANs).
- Equipo PLC (API): da salida hacia los otros CTs de la célula.
- Equipos servicios STAR: concentradores de BT y equipos de supervisión de MT/BT.

- **CT Intermedio:** Resto de CTs que forman parte de la célula PLC.

Equipos de un CT intermedio:

- Switch: permite la conectividad entre los servicios STAR (VLANs).
- Equipo PLC (API).
- Equipos servicios STAR.

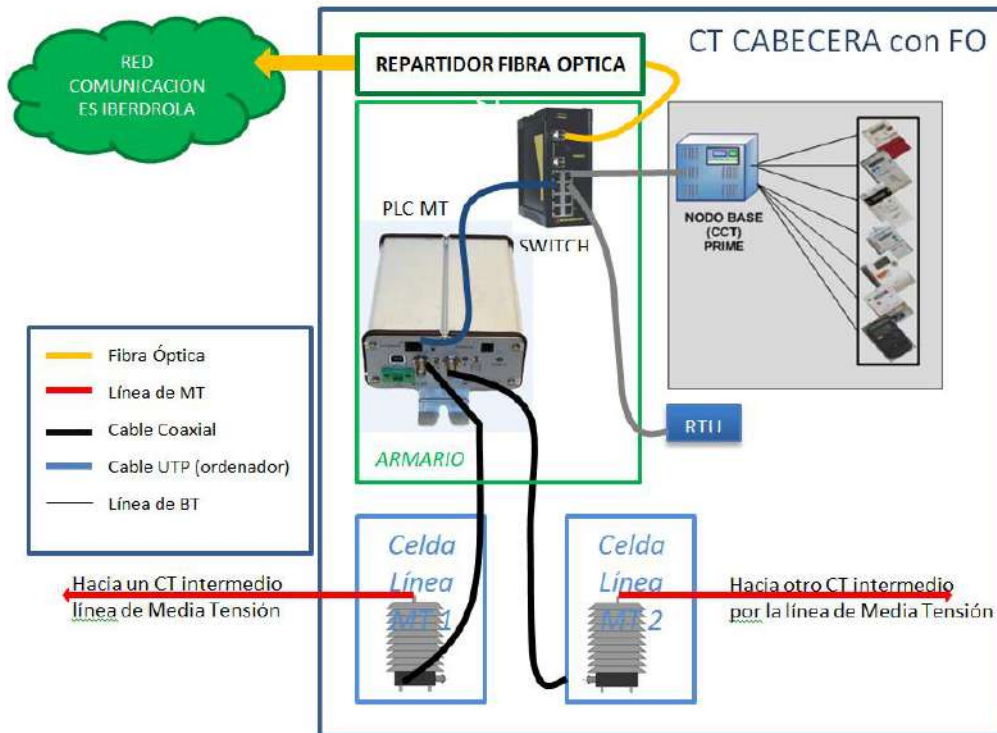


Figura 26. Ejemplo de un CT de cabecera con salida por fibra óptica.

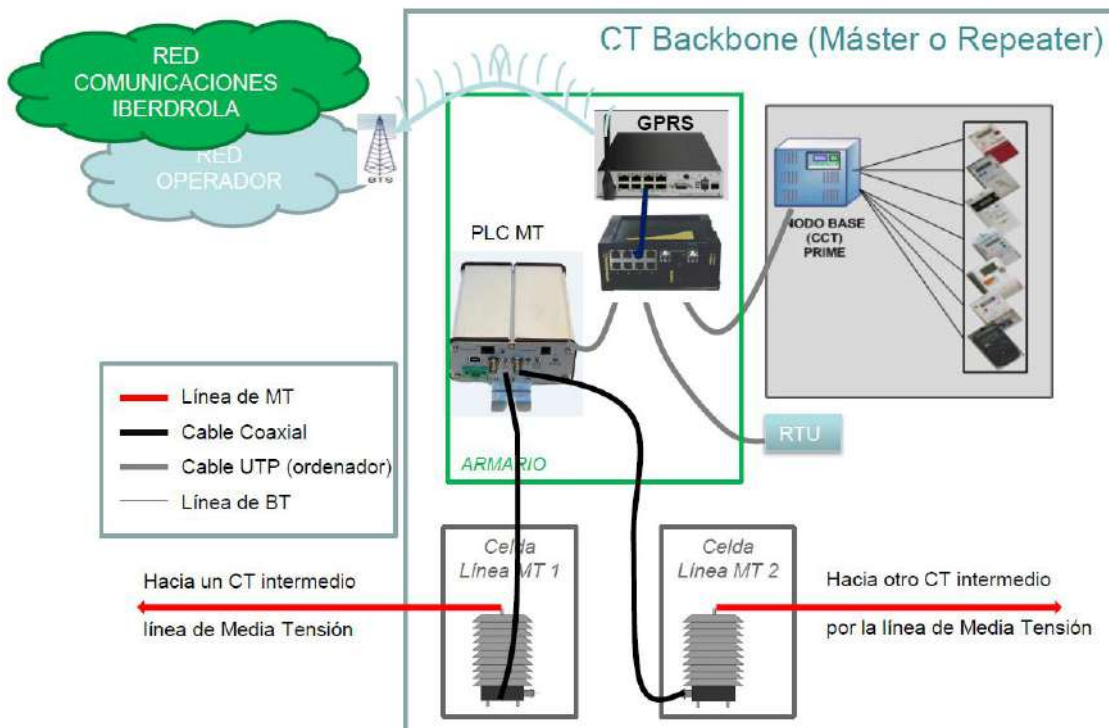


Figura 27. Ejemplo de un CT de cabecera con salida GPRS.

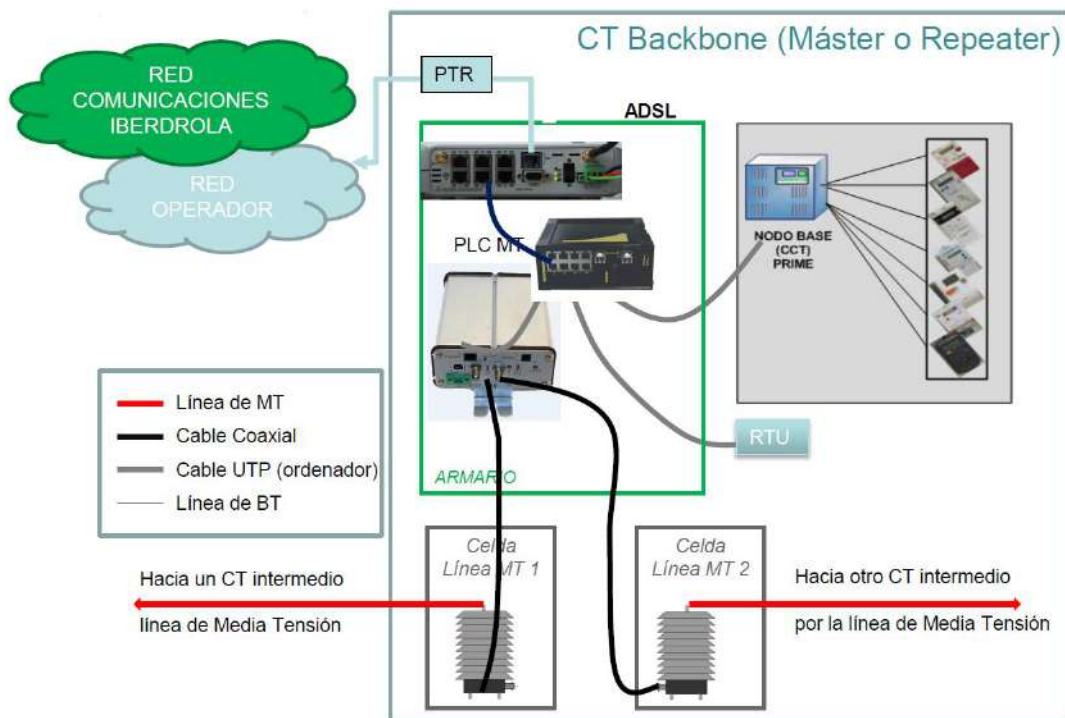


Figura 28. Ejemplo de un CT de cabecera con salida ADSL.

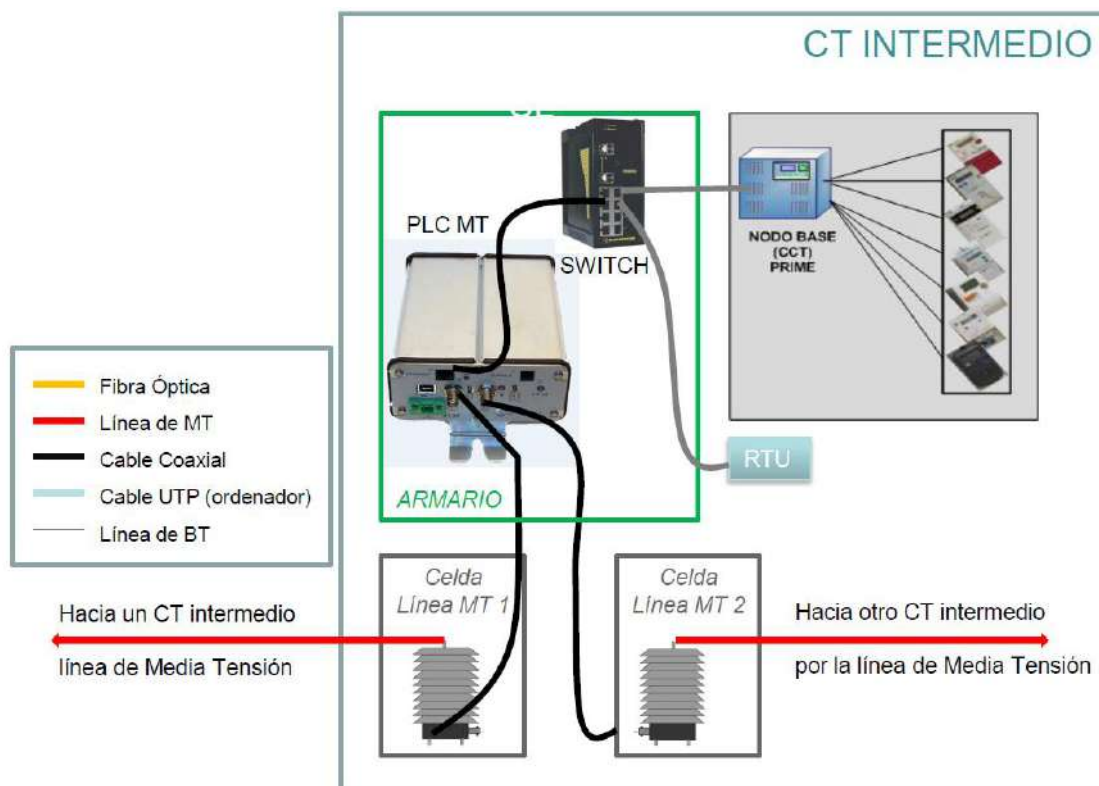


Figura 29. Ejemplo de un CT intermedio.

3.4.3. Comunicaciones de acceso a los contadores. Estándar PRIME

Como se ha comentado en el capítulo anterior al hablar de la tecnología PLC, PRIME (Power line Intelligent Metering Evolution) es uno de los estándares más comunes hoy en día, de hecho es el que está implementando Iberdrola en España. Es un sistema PLC de banda estrecha que emplea modulación OFDM. En el caso de Iberdrola se trabaja en un rango de frecuencias de 40 a 90 KHz, así se evita la parte inferior de la banda CENELEC-A, la cual suele ser bastante ruidosa.

Esta estándar surge en el año 2006 a raíz de las regulaciones que obligan a dotar a la red eléctrica de más inteligencia. Las compañías eléctricas han desarrollado planes para la modernización de las redes de distribución con el objetivo de mejorar la eficiencia energética. Dentro del campo de la medida inteligente, existen numerosas posibilidades que hace años eran totalmente impensables de implementar con los contadores tradicionales. Algunas de estas características son la conexión y desconexión de los suministros de forma remota o lecturas en tiempo real de contadores. Con el fin de garantizar la interoperabilidad entre las aplicaciones existentes, se ha decidido utilizar estándares abiertos y públicos, como el que define PRIME Alliance. El objetivo que tiene esta alianza es el de establecer una nueva solución de telecomunicaciones abierta, pública y no propietaria capaz de soportar no sólo las funcionalidades de medida inteligente, sino también el progreso hacia un nuevo concepto integral de red eléctrica inteligente.

Los beneficios que presenta esta tecnología son los siguientes:

- **Recolección automática de consumos e integración del proceso de facturación:** el desarrollo de la telegestión permite la lectura automática de los contadores y la integración de las lecturas con los sistemas de gestión y facturación, lo que supone la eliminación de errores.
- **Gestión de la demanda:** a partir de la información que vaya recopilando el contador, puede realizar una estimación de la demanda de energía en las distintas franjas horarias.
- **Gestión técnica de las instalaciones de red:** existe la posibilidad de realizar una monitorización y control de la red de distribución, desde el contador hasta el Centro de Transformación, optimizando los procesos de corte, modificación de tarifas y reconexión, así como los análisis de los parámetros técnicos a lo largo de la red de forma remota.

- **Detección de pérdidas en la red de distribución:** la monitorización de las medidas de consumos permite realizar un análisis exhaustivo de las pérdidas técnicas del sistema y detección del fraude, mejorando con ello la eficiencia de las operaciones de la compañía.

PRIME consiste en una capa física (PHY), una capa MAC (Medium Access Control) y varias capas de convergencia. La capa PHY es la encargada de transmitir y recibir tramas entre nodos y la capa MAC está estructurada para funcionar como una capa síncrona para maximizar el uso de los recursos de bajo ancho de banda de la capa PHY en canales de banda estrecha. Por otro lado la capa MAC también se encarga de la gestión de las conexiones y la formación de la topología de la red. En una red PRIME los dispositivos se configuran automáticamente en forma de árbol, y podemos diferenciar dos tipos de nodos:

- **Nodo base o Base Node (BN):**

Más conocido como concentrador de datos. Se encuentra en la 'raíz' del árbol y actúa como el nodo maestro proporcionando conectividad a todos los elementos de la subred que forma. Administra los recursos y conexiones de la subred. Sólo puede existir un nodo base por subred, por lo tanto, la dirección MAC de éste hace de identificador en dicha subred. De esta manera, una red PRIME puede estar formada por múltiples subredes con un nodo base en cada una. Algunas de las principales funcionalidades del BN son:

- Transmisión de beacons: estas tramas sirven para garantizar el mantenimiento de la conectividad en la subred y son enviadas por el BN cada cierto tiempo.
- Gestión de registros: el BN se encarga de recibir las peticiones de registro de los nodos y aceptarlas o no.
- Mediación en el acceso al canal: el BN decide sobre el uso del canal y la forma de acceder a él. También se encarga de asignar el canal a los dispositivos correspondientes.
- Gestión de las comunicaciones entre nodos: el tráfico de datos que se intercambie entre dos nodos de la subred ha de pasar necesariamente por el BN.

- **Nodo de servicio o Service Node (SN):**

Más conocido como contador inteligente. Forman las hojas o puntos de ramificación de la estructura del árbol. Inicialmente se encuentran en estado funcional desconectado y tienen que seguir un proceso de registro para formar parte de la subred. Tienen dos funciones: se encargan de mantener la conectividad en la subred y de difundir los datos de otros dispositivos cercanos.

Los dispositivos que tienen la funcionalidad de nodo base, continúan haciéndolo siempre que no sean explícitamente reconfigurados por otros mecanismos. Los nodos de servicio, por otro lado, cambian su comportamiento dinámicamente entre las funciones 'Desconectado', 'Switch' y 'Terminal'. El cambio entre estados funcionales se da como respuesta a ciertos eventos producidos en la red. Esto se puede apreciar en la Figura 30.

- Desconectado (Disconnected)

Este es el estado funcional inicial para todos los nodos de servicio. Cuando está desconectado, un nodo de servicio no puede comunicar datos o intercambiar datos con otros nodos. Su función principal es la de buscar una subred a su alcance e intentar registrarse en ella.

- Terminal (Terminal)

En este estado funcional, un nodo de servicio puede establecer conexiones y comunicar datos, pero no puede cambiar los datos de otros nodos.

- Repetidor (Switch)

En este estado funcional, un nodo de servicio puede realizar todas las funciones del estado terminal. Además, puede reenviar datos hacia y desde otros nodos en la misma subred. Es un punto de ramificación en la estructura del árbol. Los repetidores también envían tramas beacon. La función de los repetidores es muy importante, ya que propagarán las tramas a nodos y en general a secciones de la subred que no tengan conexión directa con el BN. Los switches reenvían la información de forma selectiva, es decir, solo propagan aquellas tramas que tienen por origen o destino un SN conectado a él. Para ello comprueban en su tabla interna si el nodo en cuestión está conectado a él.

Los tres estados anteriores se pueden alcanzar a través de los siguientes eventos, que también aparecen en la Figura 30:

- *Register* (Registro): es el proceso por el cual un nodo de servicio se incluye en la lista de nodos registrados del nodo base. Su finalización exitosa significa que el nodo de servicio es parte de la subred. Por lo tanto, representa la transición entre desconectado y terminal.
- *Unregister* (Baja): es el proceso por el cual un nodo de servicio se elimina de la lista de nodos registrados del nodo base. La cancelación del registro puede ser iniciada por cualquiera de los nodos de servicio o base. Un nodo de servicio puede anular el registro para encontrar un mejor punto de conexión, es decir, cambia el nodo de conmutación a través del cual está conectado a la red. Un nodo base puede anular el registro de un nodo de servicio registrado como resultado del fallo de cualquiera de los procedimientos de la capa MAC. Su finalización exitosa significa que el nodo de servicio está desconectado y ya no forma parte de la subred.
- *Promote* (Promoción): es el proceso mediante el cual un nodo de servicio está listo para conmutar (repetir, reenviar) el tráfico de datos desde otros nodos y actuar como punto de ramificación en la estructura de árbol de la subred. Una promoción exitosa representa la transición entre Terminal y Switch. Cuando un nodo de servicio está desconectado no puede hacer la transición directamente a Switch.
- *Demote* (Descenso): es el proceso por el cual un nodo de servicio deja de ser un punto de ramificación en la estructura de árbol de la subred. Un descenso exitoso representa la transición entre Switch y Terminal.

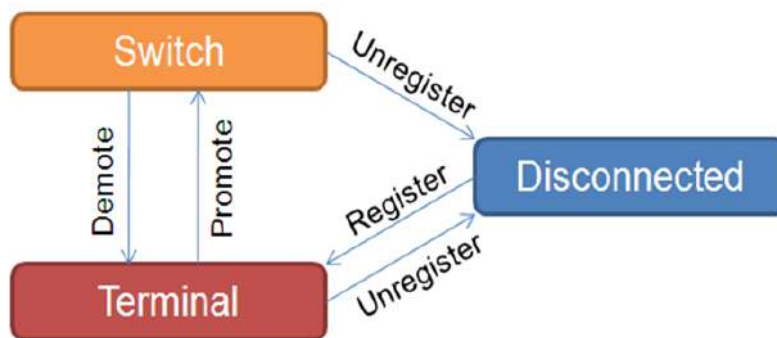


Figura 30. Diferentes estados posibles de un nodo de servicio en una subred PRIME.

Estos elementos del sistema PRIME tendrán siempre una interfaz PLC y también pueden tener al menos una interfaz que no sea PLC (IP) para comunicarse con otros elementos de red PRIME o para expandir subredes PRIME (Figura 31).

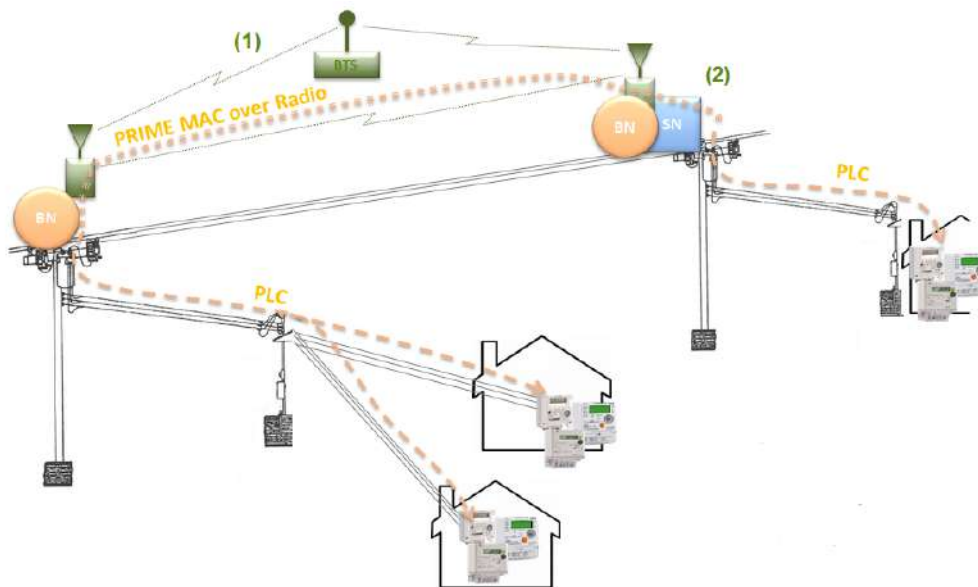


Figura 31. Ejemplo de comunicación entre nodos base de diferentes subredes.

Con todo esto podemos definir el proceso genérico de creación de una red PRIME: el proceso comienza cuando se conecta un BN, el cual comienza a mandar tramas beacon con el fin de que otros nodos respondan a ellas para así unirse a la subred. A su vez, los SNs que están conectados escanean en busca de una subred a la que conectarse. El BN recibirá todas las solicitudes de registro de todos los SNs, procesará cada una de ellas y responderá con un mensaje de aceptación o rechazo. Cuando el BN acepte el registro, asignará a cada SN un LNID (Local Node IDentifier) único que se utilizará en las posteriores comunicaciones dentro de la subred. Del mismo modo, el BN es el responsable de anular el registro de cualquier SN registrado. Los SNs registrados se incluirán en la tabla de registros del BN. Habrá nodos que no han podido conectarse directamente al BN, por lo que enviarán peticiones que derivarán en los nodos de niveles superiores solicitando su promoción a repetidores, proceso a cargo del BN, que es quien autoriza dicha promoción. Una vez que la promoción se completa, al nodo promocionado se le asigna un identificador SID (Switch IDentifier) y los nodos que no eran capaces de registrarse directamente en el BN lo harán a través del nodo repetidor.

A mayores, se suelen enviar una serie de tramas entre el BN y los SNs denominadas tramas Keep Alive, encargadas de garantizar la presencia de los nodos de la subred, con el fin de mantener la conectividad. Es un intercambio mutuo, por lo que si un SN no responde con la trama correspondiente, el BN considerará que el SN ya no forma parte de la subred y comenzará el proceso de baja de ese SN.

Actualmente PRIME se encuentra en su versión 1.4, la cual representa una extensión de la versión 1.3, que incluye cambios en las capas PHY y MAC los cuales brindan una mayor robustez y rendimiento. Esta nueva versión mantiene todos los beneficios y las lecciones aprendidas de los millones de medidores inteligentes PRIME instalados, lo que confirma que se trata de una tecnología que funciona en implementaciones de redes inteligentes a gran escala.

A continuación, en la Figura 32 se va a exponer de una manera más gráfica, un ejemplo de la implementación por parte de la empresa Circutor de un sistema PRIME en un entorno industrial, urbano y rural. Circutor ha desarrollado toda una gama completa de equipos basados en el sistema de telegestión PRIME, tanto de concentradores como de contadores. Se ha desarrollado el concentrador como el elemento clave para la gestión del sistema, ofreciendo así la solución más óptima para cada entorno de trabajo.

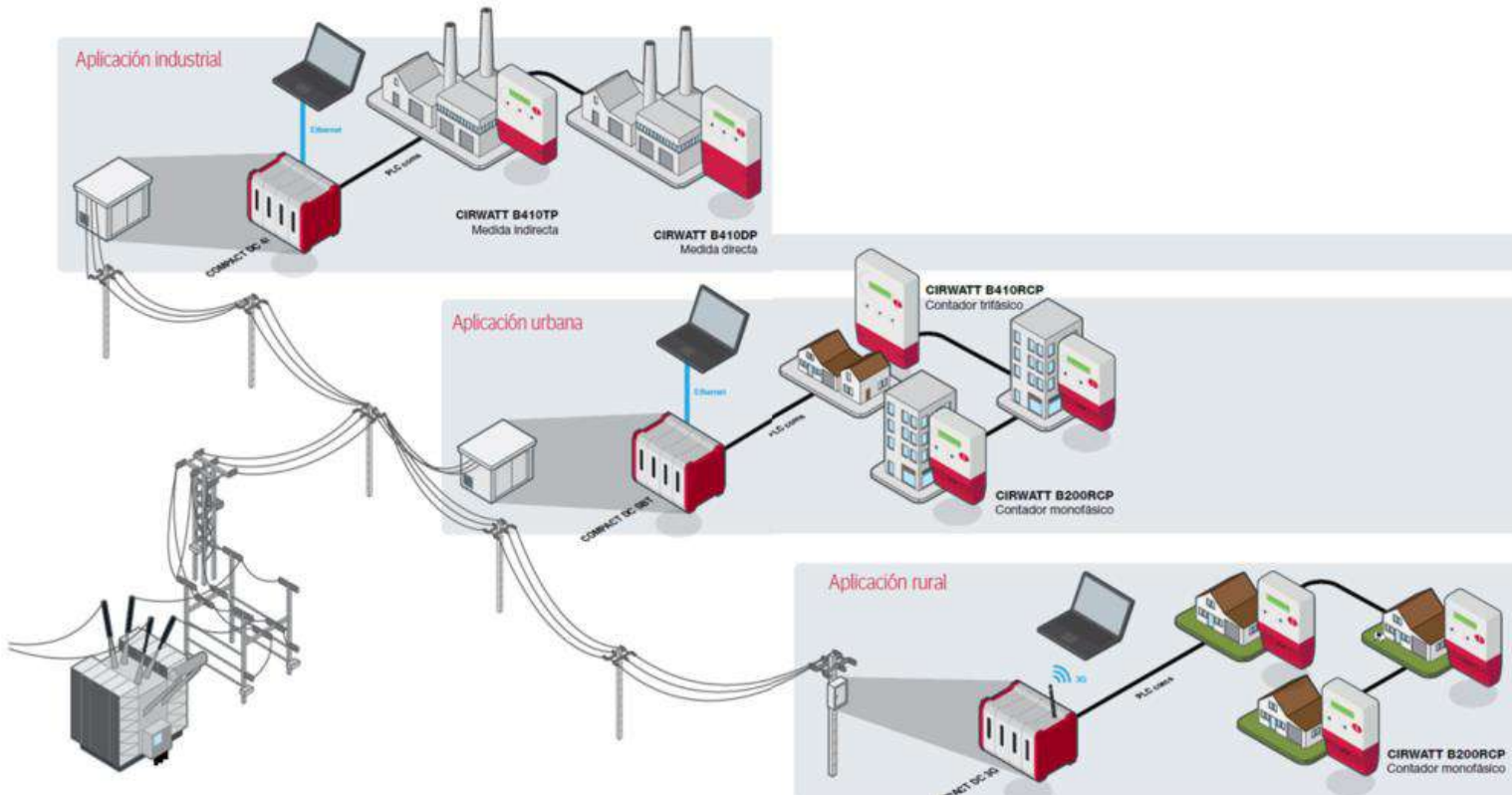


Figura 32. Implementación de un sistema PRIME por parte de la empresa Circutor.

OTROS ESTÁNDARES

Aparte del estándar PRIME, existen otros también muy importantes que se están implementando actualmente, como son G3-PLC y Meters & More, los cuales se van a explicar brevemente a continuación. Por otro lado, en la Figura 33 se detallan los estándares más importantes, así como las empresas y marcas que los llevan a cabo.

- G3-PLC

En el año 2007 comenzó el desarrollo de un nuevo estándar PLC más inteligente con modulación OFDM que extiende la velocidad de datos a 250 kbps. Ofrece comunicación bidireccional altamente confiable, de alta velocidad y diseñado específicamente para las Smart Grids.

Es un estándar extendido a nivel mundial que utiliza la banda de frecuencia comprendida entre 10 y 500 KHz para la transferencia de datos. Puede operar en la banda europea CENELEC A (35 KHz – 90 KHz), en la banda europea CENELEC B (98 KHz – 121 KHz), en la banda japonesa ARIB (155 KHz – 403 KHz) y en la banda de EEUU, FCC (155 KHz – 487 KHz).

Las redes de comunicaciones bidireccionales basadas en G3-PLC proporcionarán a los operadores de redes eléctricas, capacidades inteligentes de control y monitoreo. Los operadores podrán monitorear el consumo de electricidad en toda la red en tiempo real, implementar calendarios de tarifas variables y establecer límites al consumo de electricidad para administrar mejor las cargas máximas.

A su vez, los consumidores tendrán visibilidad en tiempo real de su consumo de electricidad. Con la adición de programas de tarifas variables, se alentará a los usuarios a reducir el consumo de electricidad durante los periodos de mayor uso.

En el año 2011, se crea G3-PLC Alliance patrocinado por ERDF (Electricité Réseau Distribution France), una organización cuyo objetivo era el de desarrollar un estándar global para esta tecnología y promoverlo por todo el mundo, con el fin de permitir la interoperabilidad de los diferentes dispositivos y su implementación. (ERDF pasó a llamarse Enedis posteriormente).

Algunas de las empresas que lo están implementando son las siguientes:

- Francia → ERDF
- Portugal → EDP
- EEUU → WIN Energy y St Louis Coop
- Japón → TEPCO y Chugoku
- China → State Grid y NARI

- Taiwán → III/TaiPower
- México → CFE
- Alemania → Vattenfall

• METERS & MORE

En el año 2010, Enel Distribuzione SpA y Endesa Distribución SA dieron un importante paso adelante en la implementación de soluciones de medidores inteligentes globales con la constitución de una asociación internacional sin fines de lucro, Meters and More, que se registró por la legislación belga. Es un protocolo abierto a terceros, y desde su constitución, más de 45 nuevas empresas ya se han unido a la asociación.

Este protocolo se implementó en los 13 millones contadores electrónicos que Endesa comenzó a instalar a sus clientes en España y que prevé su finalización a finales del año 2018. Aunque cabe destacar, que el primer proyecto de Smart Grid en España se desarrolló en Málaga, y fue gracias a la agrupación de unas 30 empresas del sector eléctrico. Este proyecto utilizó el estándar Meters and More.

Con el fin de proponerlo como un estándar europeo para la tecnología PLC, comenzaron a trabajar con CENELEC para lograr ese objetivo. Utiliza la banda de frecuencias comprendida entre 78,5 y 93,5 KHz.

Alliance/DSO	Utilities/Operators	Chip Manufacturer	Suppliers

Figura 33. Principales estándares PLC con las correspondientes empresas y marcas que los implementan.

3.5. EQUIPOS.

En este apartado se van a describir los distintos equipos que se están utilizando hoy en día para equipar los Centros de Transformación, con el fin de realizar la categorización tipológica antes mencionada (nivel básico, nivel supervisado y nivel automatizado). Podemos distinguir tres grupos bien diferenciados, como son los equipos de comunicaciones, equipos de telegestión y equipos de alimentación auxiliar. Los equipos de comunicaciones son los encargados, como su propio nombre indica, de comunicar, bien sea entre diferentes centros de transformación o bien entre los centros de transformación y los servidores de la empresa eléctrica en cuestión. Estas comunicaciones se basan en las distintas tecnologías explicadas en el capítulo 2. En cuanto a los equipos de telegestión, son aquellos que intervienen en el proceso de recolección de los datos proporcionados por los nuevos contadores inteligentes. Y por último, los equipos de alimentación auxiliar, se encargan de alimentar las baterías que se colocan en ciertos centros de transformación con el fin de dar un servicio extra en caso de avería o corte del suministro.

EQUIPOS DE COMUNICACIONES

- **Router**

Es un dispositivo digital para la interconexión de red a nivel 3. Permite asegurar el enrutamiento de paquetes entre redes o determinar la mejor ruta que debe tomar el paquete de datos para alcanzar su destino.

Su función es interconectar 2 o más redes entre sí. Envían información de una red a otra basándose en la dirección IP de destino y en el conocimiento del siguiente salto (otro router o equipo de destino) al que tiene que mandar el paquete.

Son los equipos que realizan la función de puerta de enlace (Gateway) para el resto de equipos de la red de área local que están conectados entre sí a nivel 2.

Para poder distinguir los diferentes servicios dentro de la red de comunicaciones, se utilizan direcciones IP determinadas para cada red. Las direcciones IP son únicas dentro de la red privada de la empresa. En el STAR se utiliza direccionamiento privado.

En el STAR se utilizan VLANs que permiten crear redes lógicamente independientes dentro de la misma red física. Se utiliza una VLAN para cada servicio del CT. Están

configuradas en todos los switches y routers de STAR. Cada servicio del CT se conecta a un puerto concreto del router/switch de forma fija. El puerto de conexión para cada servicio depende en cada caso de cómo se han configurado las VLANs en el equipo y de cómo se han asignado los puertos a ese equipo en concreto. A través de ese puerto sólo podemos acceder a equipos que pertenezcan a la misma VLAN. Para acceder a otras VLANs necesitamos un elemento de Nivel 3 (router).

Dentro de la tipología de estos equipos podemos distinguir dos fundamentalmente:

➤ **Router GPRS**

Características:

- ❖ Recogen los datos de un CT y los transmiten vía GPRS a los servidores de Iberdrola.
- ❖ Tiene integrada la funcionalidad de switch (varios puertos ethernet para los distintos servicios de telegestión, supervisión de media tensión, automatización, etc).
- ❖ Doble SIM para dotar de redundancia de operadores ante un fallo.
- ❖ Posee una antena, para disponer de recepción de la señal GPRS.

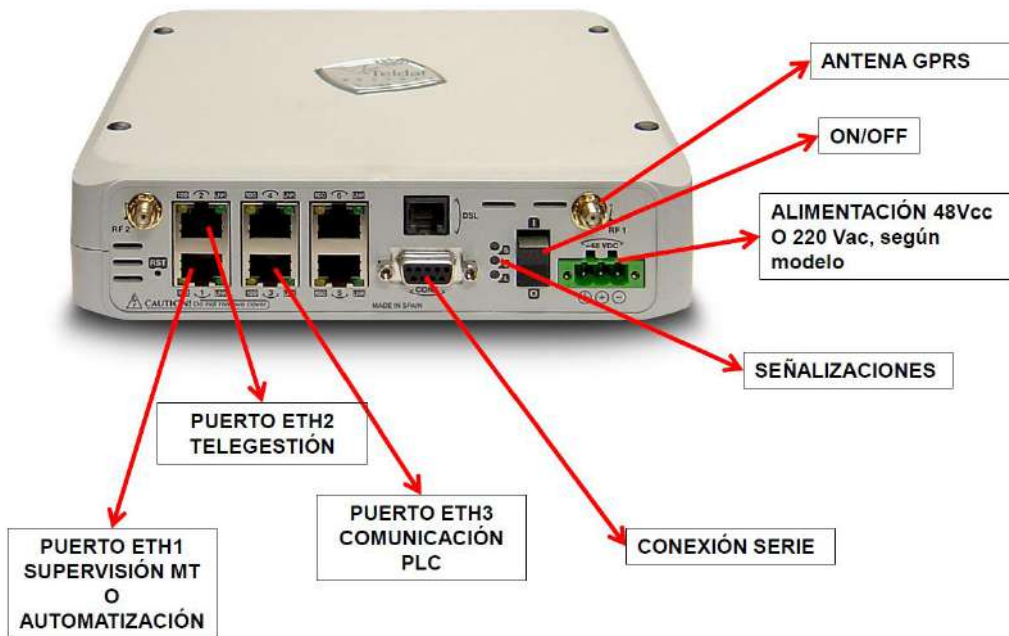


Figura 34. Funcionalidades de un router GPRS.

➤ Router ADSL

Recogen los datos de un CT y los transmiten vía ADSL a los servidores de Iberdrola.

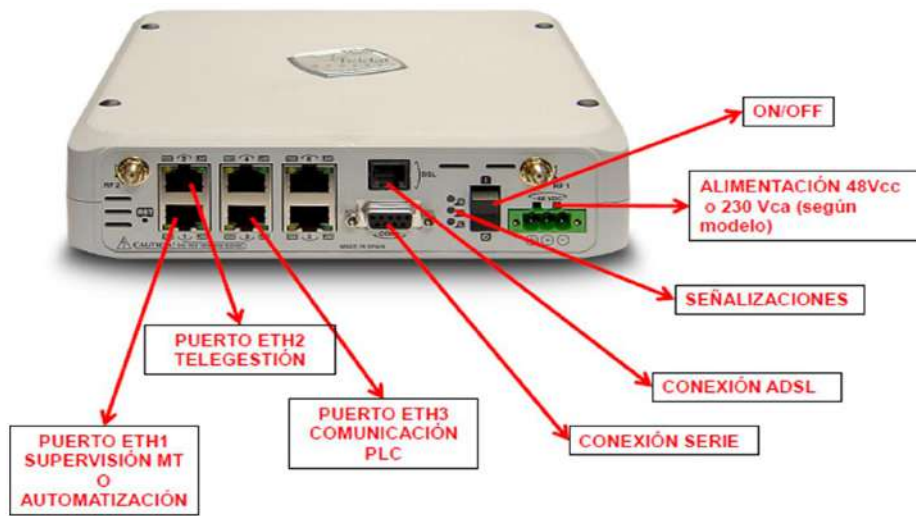


Figura 35. Funcionalidades de un router GPRS.

- **Equipo de inyección PLC- API**

Reciben y transmiten los datos de un CT, recogidos por el switch, al siguiente CT de una célula PLC, por los cables de MT mediante acoplos. Admiten 2 inyecciones PLC.



Figura 36. Equipo de inyección PLC.

- **Switch**

La función que tiene un switch es la de interconectar 2 o más segmentos de la misma red. Se envían información de un segmento a otro, basándose en direcciones MAC.

Los switch reciben los datos de los diferentes servicios del CT (telegestión, supervisión de MT y automatización). Poseen 8 puertos Ethernet (cable) + 2 puertos de fibra óptica. Son gestionables por el centro de control. No son un router, no sacan información por si solos a la red de comunicaciones.

Características:

- Recogen los datos de un CT y los transmiten al siguiente CT de una célula PLC.
- Posee 8 puertos Ethernet (cable) + 2 puertos de fibra óptica.
- No posee la capacidad de un router de sacar los datos a la red de comunicaciones.
- Se alimenta a 48V
- Los puertos 1 y 8 están dedicados a la distribución (remota y cargadores de baterías).
- Los puertos 2, 5, 6 y 7 están dedicados a la telegestión (concentrador y nodos auxiliares).
- Los puertos 3 y 4 están dedicados a la gestión (router ó PLC).

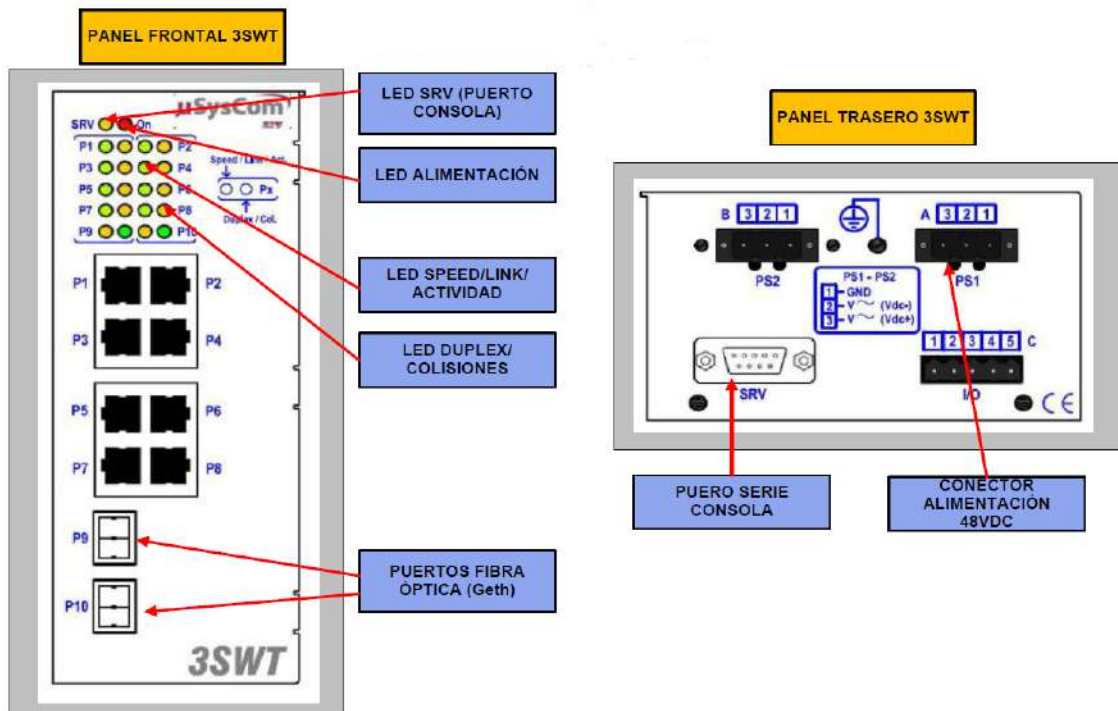


Figura 37. Funcionalidades de un switch.

- **TGB**

Este equipo realiza las funciones de router y de concentrador dentro de un mismo elemento.



Figura 38. Ejemplo de dos equipos TGB de las marcas Circutor y ZIV, respectivamente.

- **GTP**

Este equipo se instala en casos de muy baja densidad de puntos de suministro (menos de 100 clientes). Tan solo ofrece la telegestión de los contadores.



Figura 39. Ejemplo de dos equipos GTP de las marcas Teldat y ZIV, respectivamente.

EQUIPOS DE TELEGESTIÓN

- **Concentrador**

Recogen los datos enviados por los contadores mediante inyección PRIME y realizan supervisión en BT. Envían los datos al router o al switch.

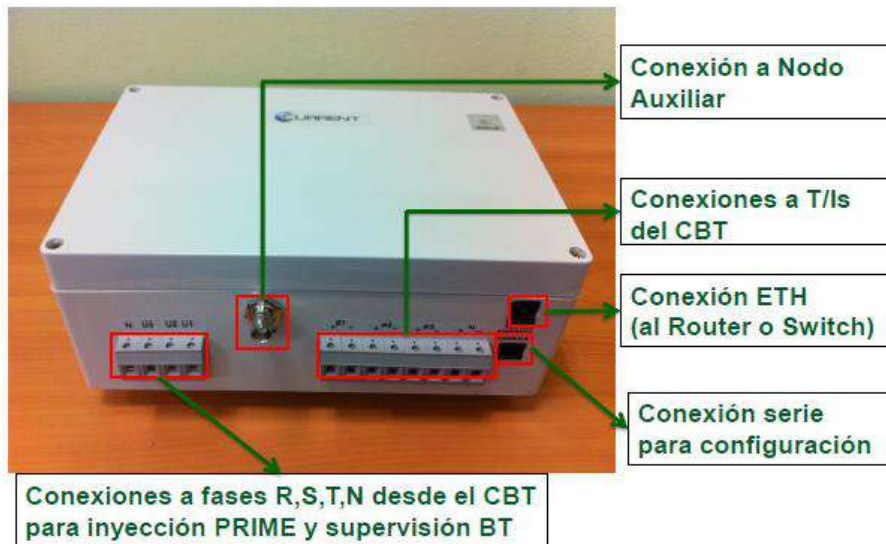


Figura 40. Funcionalidades de un concentrador.

- **Remota**

Ejecutan las órdenes remotas de apertura y cierre de los interruptores de MT y supervisan la tensión y la intensidad de línea de MT mediante sensores de tensión y sensores de intensidad (T/Is). Reciben las órdenes y envían los datos de la supervisión de MT a través del router o del switch.



Figura 41. Remota dentro de un armario STAR.

EQUIPOS DE ALIMENTACIÓN AUXILIAR

- **Cargadores de batería (rectificadores)**

Se encargan de mantener la carga de las baterías de la instalación. Transforma la tensión de 220V a 48V para la alimentación de algunos equipos. Excepto el concentrador y el nodo auxiliar que se alimentan a 220V, el resto de equipos se alimentan a 48V.

No son necesarios en CTs con funcionalidad sólo de telegestión con comunicación GPRS.



Figura 42. Rectificador de baterías dentro de un armario STAR.

Métodos para la lectura de contadores de energía eléctrica en la red de BT. Análisis particular del empleo de PLC.

4. PROBLEMÁTICA DE LA RED INTELIGENTE

4.1. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas que puede surgir en torno al despliegue de un sistema AMI es la utilización de un mismo medio de comunicación por parte de la electricidad y las comunicaciones. Este aspecto deriva, entre otras cosas, en un posible ruido en las comunicaciones PLC, que es el tema de mayor importancia dentro de este capítulo.

El principal problema es que el cable eléctrico no se concibió para la transmisión de datos, ni los equipos conectados a la red fueron diseñados para respetar la calidad de las comunicaciones. Respecto al cable eléctrico como medio de transmisión, debido a su constitución se comporta de distinta manera según el momento del día y según las condiciones atmosféricas.

Además, la respuesta del canal es diferente según la sección eléctrica; mientras en la red de transmisión, la atenuación y la dispersión son pequeñas, cuando nos acercamos a los puntos finales de consumo, éstas aumentan considerablemente, sobre todo a altas frecuencias.

A mayores de los problemas existentes de propagación a través del cable eléctrico, la presencia de interferencias dificulta la calidad de las comunicaciones. Al contrario que ocurre con la dispersión y la atenuación, el ruido PLC está presente en todas las secciones del sistema eléctrico. Este ruido está originado por las cargas y dispositivos eléctricos conectados a la red, por lo que varían según el momento del día, la localización y la frecuencia.

4.2. PROBLEMÁTICA DE LAS COMUNICACIONES PLC

Las líneas eléctricas constituyen un medio de comunicación potencialmente conveniente y económico para la transmisión de datos, ya que las casas y edificios industriales están acoplados a la red eléctrica, con tomas de corriente disponibles en prácticamente todas las salas donde se usa un dispositivo de comunicación y con un simple interfaz estándar en forma de un enchufe de pared. Pero presentan un desafío difícil, porque se busca una comunicación fiable de alta velocidad en un medio que no fue concebido para la transmisión de datos, ni los equipos conectados a la red fueron diseñados para respetar la calidad de las comunicaciones. Además, existen otras soluciones inalámbricas fuertemente competitivas disponibles en el mercado.

En cuanto al cable eléctrico como medio de transmisión, la reactancia inductiva de la red es la que domina los efectos de la propagación. El cable eléctrico está compuesto por una serie de materiales y secciones que generan un amplio rango de impedancias en distintos puntos de la red. El comportamiento del cable eléctrico viene determinado según el momento del día y las condiciones atmosféricas a las que esté sometido.

La red de transmisión y aún más la red de distribución tienen las características de una red cableada muy complicada, que varía con el tiempo, la ubicación y depende de la frecuencia. Los canales PLC tienen numerosos problemas técnicos:

- Atenuación de frecuencia y atenuación variable en el tiempo.
- Alta interferencia debido a cargas ruidosas.
- Varias formas de ruido impulsivo.
- Problemas de compatibilidad electromagnética (EMC) que limita la potencia transmitida disponible.
- Los supraarmónicos que se introducen en la red eléctrica

Dentro de los problemas técnicos que dificultan las comunicaciones en los canales PLC, las propiedades más importantes de las líneas eléctricas que degradan el rendimiento de las comunicaciones de alta velocidad son: la atenuación de la señal, el ruido y los supraarmónicos. Estas propiedades son las que vamos a tratar a continuación, centrándonos principalmente en los ruidos, ya que es la más significativa.

4.2.1. Atenuación de la señal

La atenuación en la señal PLC es la pérdida de la potencia de la señal durante su propagación, y se caracteriza por depender de la topología de la red, de la localización de los dispositivos de comunicación y de las cargas. Existen muchas fuentes de atenuación y distorsión de las señales PLC en las líneas eléctricas, siendo los factores más comunes:

- **Impedancias de cargas conectadas a las líneas de baja tensión:** en la mayoría de los rangos de frecuencia, la impedancia de carga muestra un comportamiento inductivo o capacitivo, pero las cargas resistivas (por ejemplo, de elementos de calefacción) también pueden causar valores de impedancia extremadamente bajos. La impedancia varía mucho con la frecuencia, pero también cambia con el tiempo, ya que los dispositivos se encienden o apagan continuamente.
- **Fases múltiples:** las señales PLC que típicamente se inyectan en una fase, tienen que viajar de una fase a la otra a través del transformador, lo que atenúa notablemente las señales.
- **Transformadores:** causan una alta atenuación de la señal cuando los dispositivos PLC están ubicados en los lados primario y secundario, por ejemplo en la comunicación entre contadores, situados en la línea de baja tensión, y un concentrador conectado en el lado de media tensión.
- **Pérdidas en la línea eléctrica:** la impedancia característica del cableado entre las ubicaciones de transmisión y recepción también puede añadir una atenuación significativa de la señal, particularmente en líneas de larga distancia al aire libre (por ejemplo, en redes de alumbrado público o en sistemas de medición).
- **Propagación multitrayecto:** la propagación de la señal por múltiples trayectos y la reflexión de la señal puede generar una atenuación de la señal PLC. Este fenómeno se observa menos a bajas frecuencias de comunicación (por debajo de 150 kHz), ya que la longitud de onda de la señal es bastante larga (más de 1 km).

Las mediciones realizadas en ambientes interiores y exteriores han mostrado que la atenuación de la señal depende de la topología de la red, pudiendo variar entre 15 y 60 dB. Si bien la atenuación depende también de la ubicación de los transceptores PLC y las cargas conectadas y también depende del tiempo y de la frecuencia como se puede apreciar en la Figura 43. Que la atenuación decrezca con el aumento de la frecuencia tiene que ver con la impedancia de acceso. Además, se ha observado que la

atenuación y la dispersión de la señal tienden a aumentar según nos acercamos hacia los puntos finales de consumo, especialmente en frecuencias altas.

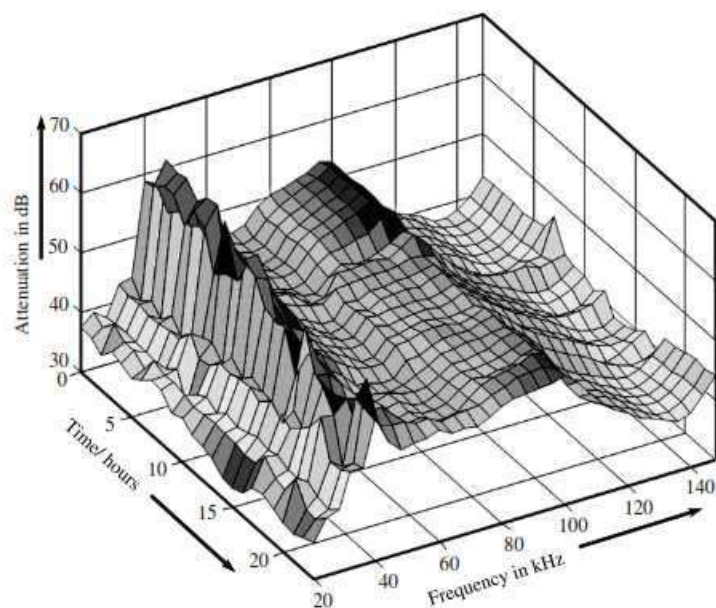


Figura 43. Variación de la atenuación de la señal PLC con el tiempo y la frecuencia.

4.2.2. Ruido en el canal PLC

Además de los problemas de propagación en el cable eléctrico, la presencia de interferencias dificulta la calidad de las comunicaciones. A diferencia de lo que ocurre con la dispersión y la atenuación, que aumentan según nos acercamos a los puntos de consumo, el ruido en el canal PLC está presente en todas las secciones del cable eléctrico.

Cuando las señales del PLC se atenúan severamente, el ruido se convierte en una preocupación importante para la recepción de datos. Generalmente, el ruido del canal es generado por cargas y dispositivos eléctricos conectados a la red, y varía con la hora del día, la ubicación y la frecuencia. El nivel de potencia de ruido en un lugar determinado, es la suma de formas de onda de ruido de diferentes fuentes y depende de la distancia a las fuentes de ruido. Además, el ruido tiene una mayor potencia en el rango de frecuencias más bajo y disminuye a una frecuencia más alta, lo que es particularmente desafiante para la tecnología PLC de banda estrecha, ya que opera por debajo de 150 kHz. El ruido se considera la principal fuente de errores en la transmisión de datos en sistemas PLC.

La tecnología PowerLine Communications (PLC) ha evolucionado mucho en los últimos años y esto se puede ver a través de la mejora en la velocidad de transmisión de datos, de unos pocos kbps a cientos de Mbps. Sin embargo, también ha habido un rápido crecimiento en el uso de electrodomésticos, en las cargas conectadas a la misma línea de alimentación que introduce una interferencia electromagnética y en el ruido que degrada el rendimiento de las comunicaciones. El ruido que existe en la comunicación de las líneas de alimentación es diferente del ruido del sistema de comunicación convencional que es un ruido gaussiano blanco aditivo (AWGN) y, por lo tanto, las técnicas de mitigación convencionales (que consideran el ruido como AWGN) no se pueden aplicar directamente. Para mitigar el ruido del receptor del PLC, es necesario comprender las características del ruido y, en función de estas, se lleva a cabo el modelado del ruido.

La Figura 44 presenta una descripción general del escenario de ruido. El dispositivo emisor emite una señal PLC $s(t)$, que tras pasar el canal con la respuesta de impulso $h(t)$, la señal transmitida alcanza un nodo suma, donde se agregan una variedad de interferencias $n(t)$, antes de que la señal final $r(t)$ llegue al receptor.

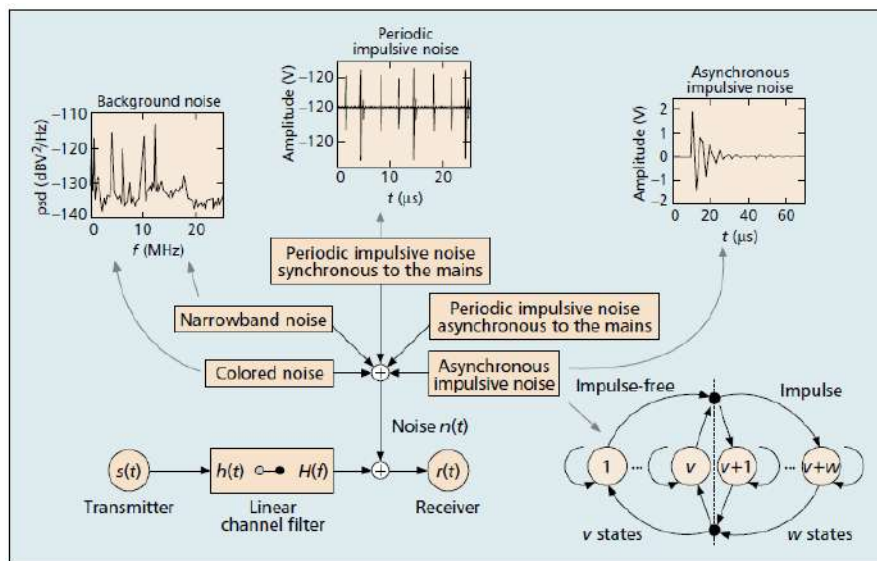


Figura 44. Escenario de ruido en redes eléctricas.

El ruido en los sistemas PLC se puede clasificar en tres categorías principales como se puede apreciar en la Figura 45:

- **Ruido de banda estrecha:** se debe principalmente a las señales de amplitud modulada. Proviene de la existencia de emisoras de radio en rangos de onda larga, media y corta.
- **Ruido de fondo ‘coloreado’ o continuo:** es el resultado de la suma de diferentes fuentes de ruido blanco de baja potencia presentes en la red y, por

lo general, se caracteriza por tener una densidad espectral de potencia (PSD) bastante baja que, sin embargo, aumenta significativamente hacia las frecuencias más bajas. Es causado, por ejemplo, por ordenadores o secadores de pelo. A su vez puede clasificarse en:

- **Invariante con el tiempo:** se caracteriza por tener una envolvente de onda constante que dura un largo periodo de tiempo. Un ejemplo lo tenemos en el ruido térmico que se genera en los circuitos internos de un dispositivo.
- **Variante con el tiempo:** se caracteriza por tener una envolvente que cambia síncronamente con el voltaje de la línea. Por lo tanto, el periodo del ruido es la mitad de la duración del ciclo de la red. Un ejemplo lo tenemos en el ruido generado por las lámparas fluorescentes accionadas por inversores.
- **Ruido impulsivo:** consiste en impulsos de corta duración y de gran amplitud. Las fuentes principales del ruido impulsivo son dispositivos eléctricos conectados a la red eléctrica. Es el generado principalmente por electrodomésticos, siendo el más significativo de los tres. Se considera que es la razón principal detrás de los errores en la transmisión de datos a través de los canales PLC. Puede dividirse en:
 - **Ruido impulsivo periódico asíncrono al ciclo de corriente alterna de la red eléctrica:** se genera principalmente por fuentes de alimentación conmutadas que se encuentran en varios electrodomésticos. Los impulsos se propagan con una frecuencia mucho mayor que la de la red. El rango de actuación varía entre 50 y 200 kHz.
 - **Ruido impulsivo periódico síncrono al ciclo de corriente alterna de la red eléctrica:** los impulsos se propagan con una frecuencia igual o el doble que la de la red y son de corta duración (algunos microsegundos). Tienen un PSD que disminuye con la frecuencia. La razón de su presencia son los diodos rectificadores, utilizados en algunos de los aparatos eléctricos, como en fuentes de alimentación de corriente continua o dispositivos como los atenuadores de luz basados en tiristores. El rango de actuación varía entre 50 y 100 kHz.
 - **Ruido impulsivo aperiódico asíncrono:** debido a la dificultad para modelarlo, este tipo de ruido ha sido ignorado durante mucho tiempo. En la práctica resulta que este tipo de ruido contiene una energía considerable y, por lo tanto, afecta seriamente la comunicación a alta velocidad. Ocurren de forma aleatoria y sin frecuencia fija, de muy corta duración (algunos microsegundos) y a menudo con largos intervalos entre ellos. En la Figura 44 se muestra un ejemplo de ruido impulsivo en el que tanto la amplitud como la duración pueden ser significativas y, por lo tanto, afectar seriamente las comunicaciones incluso cuando se

emplean esquemas de modulación sofisticados y robustos. Este tipo de ruido se caracteriza por tres variables aleatorias: amplitud, ancho de impulso y tiempo entre impulsos, por lo que se tuvieron que emplear métodos estadísticos para su caracterización. Son causados por motores eléctricos, taladros y transitorios de encendido/apagado presentes en la red.

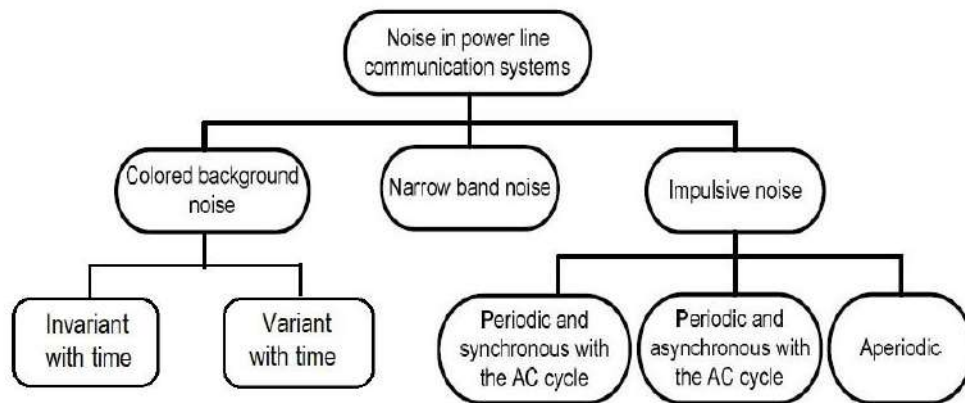


Figura 45. Clasificación de las distintas fuentes de ruido en el canal PLC.

Existen numerosos documentos técnicos que realizan una clasificación y estudio de los diferentes tipos de ruido, por lo que voy a recoger un pequeño estado del arte con diferentes publicaciones que se han hecho:

- En un artículo publicado en la revista científica de la Universidad distrital Francisco José de Caldas en el año 2016, se expone que se ha mitigado en alguna medida el ruido de fondo, el de banda estrecha y el ruido impulsivo, aunque el ruido impulsivo aperiódico aún no se ha logrado mitigar. Es el que más dificultades tiene para su detección y caracterización, dado que su presencia es muy aleatoria y está fuertemente ligada a la conmutación de cargas de tipo lineal y no lineal sobre la red eléctrica. En cuanto a los ruidos impulsivos periódicos (síncronos y asíncronos) se han hecho varias investigaciones para mejorar los problemas de atenuación y ruido. Entre estos métodos de mejora destaca la estrategia de correlacionar los canales del sistema de comunicación utilizando el modelo de Bernouilli.
- En otro artículo llamado '*Time Frequency analysis of noise generated by electrical loads in PLC*' se fija el objetivo de estudiar solo las características del ruido impulsivo de los dispositivos, y para ello se estableció una configuración

experimental diseñada para suprimir todos los demás tipos de ruido, principalmente el ruido de fondo coloreado y el ruido de banda estrecha.

- Por otro lado tenemos otros dos artículos '*Modeling the noise on the OFDM Power-Line communications system*' y en '*Power line channel characteristics and their effect on communication system design*' en los que se realiza una descripción de los diferentes modelos del canal PLC que se han propuesto a lo largo de la historia. Uno de los primeros modelos fue el introducido por Hensen y Schulz [*Time Dependence of the Channel Characteristics of Low Voltage Power-Line and its effects on Hardware Implementation, C. Hensen and W. Schulz*], según el cual, la atenuación era proporcional al crecimiento de la frecuencia. Era un enfoque simple para la estimación aproximada de la función de transferencia de los canales de la línea eléctrica. La atenuación, que aumenta con las frecuencias más altas, se puede interpolar por una línea recta, por lo que se puede encontrar una ecuación simple para calcular la amplitud de la función de transferencia de los canales. Como este enfoque no considera la propagación por trayectos múltiples ni las muescas resultantes de la función de transferencia de canales, se tuvieron que desarrollar modelos más detallados. Más tarde, se construyó el modelo Hannel de Philipps, teniendo en cuenta el fenómeno multitrayecto que se produce en una red de alta tensión. El modelo de Philipps describe la respuesta de impulso del canal como una superposición de N pulsos que representan la superposición de señales de N caminos diferentes. Zimmermann y Dostert [*Analysis and Modeling of Impulsive Noise in Broadband Powerline Communications, M. Zimmermann and K. Dostert*] introdujeron un modelo según el cual, no solo se considera el multitrayecto, sino también la atenuación añadida a la señal debido a la longitud del cable. Este modelo representa la superposición de señales de N caminos diferentes, cada uno de los cuales se caracteriza individualmente por un factor de ponderación y una longitud. Además, Galli y Banwell [*A Novel Approach to the Modeling of the Indoor Powerline Channel – part II: Transfer Function and its Properties, S. Galli and T. Banwell*] propusieron un modelo basado en la configuración de múltiples conductores, según el cual la línea de potencia podía ser representada por un circuito equivalente. También hay muchos otros investigadores que han desarrollado varios modelos de canales después de basarse en sus propias mediciones. Uno de ellos fue Middleton [*Statistical-physical model of electromagnetic interference, D. Middleton*], que indica que el ruido se categoriza en ruido de fondo e impulsivo. Estas dos componentes se suman para formar el ruido total que afecta a la señal. En este documento en concreto se utiliza el modelo de Zimmermann ya que es un método directo.
- En otro artículo titulado '*On noise modeling for power line communications*' se centra en el modelado del ruido en el rango de frecuencias hasta los 100 MHz. Y realiza un modelado del ruido de fondo y del ruido impulsivo. El ruido

impulsivo se modela con un proceso de llegada con impulsos que tienen una cierta distribución de duración. La amplitud a menudo se modela estadísticamente con los dos términos del enfoque gaussiano, con la distribución de Middleton o con una distribución obtenida ajustando datos experimentales.

- Por último, en el artículo ‘A power line communication tutorial – challenges and technologies’ se revisan las fuentes de atenuación, ruido y distorsión encontradas cuando se comunica a través del cableado de alimentación de corriente alterna. Además, se examinan diversas tecnologías que se han utilizado para abordar estos desafíos, tales como el espectro ensanchado y el procedimiento de señal digital.

Este es el problema que más importancia tiene dentro de cualquier red de comunicaciones PLC, por lo que los métodos resolutivos que se van a explicar, están enfocados reducir el nivel de ruidos en el canal PLC mediante diferentes elementos.

4.2.3. Supraarmónicos

El uso de diodos y tiristores en los comienzos de la electrónica de potencia, dio pie a la aparición de una serie de perturbaciones en la corriente eléctrica que no consumen energía de una forma continua en el tiempo. Estas perturbaciones se pueden descomponer en diferentes componentes o armónicos. Por lo general, las mayores distorsiones se encuentran en los armónicos 3, 5, 7 y 9, que corresponden a las frecuencias de 150, 250, 350 y 450 Hz en el sistema de 50 Hz.

En los últimos años se ha observado un interés creciente por la distorsión de la forma de onda en el rango de frecuencias de 2 a 150 kHz. Esto es debido en parte al gran uso que se está haciendo de las líneas de electricidad que utilizan este rango de frecuencia y en parte por el número creciente de dispositivos que emiten en este rango de frecuencia. Se han utilizado diferentes términos para referirse a la tensión y la corriente en este rango de frecuencia: “armónicos de alta frecuencia”, “distorsión de alta frecuencia” o “emisión de baja frecuencia”. Este último término se usa dentro de la sociedad IEEE para referirse al rango de frecuencias por debajo de 150 kHz. Aunque el término “supraarmónicos” se ha introducido recientemente y se está utilizando con más regularidad. Este término hace referencia a las perturbaciones a alta frecuencia que son introducidas en la red eléctrica, por equipos conectados a ella basados principalmente en transistores. La emisión en el rango de frecuencias supraarmónicas difiere de las emisiones armónicas en varias maneras. Una de las principales diferencias es que éstas últimas se propagan hacia la red, mientras que las corrientes supraarmónicas tienden a permanecer dentro de la instalación y propagarse en gran

medida hacia los equipos vecinos. Esto da lugar a dos tipos de emisiones dentro del rango de los supraarmónicos: las generadas por un dispositivo en concreto, denominadas “emisiones primarias” y las generadas por otros dispositivos vecinos, conocida como “emisiones secundarias”. Es un problema importante desde el punto de vista de las comunicaciones, ya que es la banda de operación de muchas tecnologías PLC, por lo que dichas emisiones pueden afectar a las comunicaciones.

La importancia de los supraarmónicos se fundamenta en dos pilares principalmente:

- El creciente uso de inversores fotovoltaicos hace que cada vez existan más fuentes de supraarmónicos. Los supraarmónicos en este caso, se originan en los circuitos de conmutación del inversor y se inyectan en la red mientras el inversor está funcionando.
- El auge de la generación distribuida coincide con el incremento de los despliegues AMI, basados en tecnología PLC. Además, en Europa, el organismo CENELEC fija un rango de operación (2 – 148.5 kHz) que coincide con el rango de frecuencias en las que se producen los supraarmónicos.

Esto se agrava debido a la ausencia de un estándar específico en ese rango de frecuencias que trate el problema de los supraarmónicos. Lo que sí existen son numerosos grupos de trabajo que se encargan de tratar este tema, como son el C4.24 de CIGRE/CIREN, el SC205 de CENELEC y el IEEE EMC Society TC 7.

Algunas fuentes conocidas que generan supraarmónicos son:

- Inversores (por ejemplo, en instalaciones fotovoltaicas) y variadores de velocidad (VSD).
- Fuentes de alimentación conmutadas (TV ó DVD).
- Equipos de iluminación LED y fluorescentes.
- Equipos domésticos (cocinas de inducción ó lavadoras).
- Sistemas de telemedida PLC.

Varias ‘víctimas’ conocidas de los supraarmónicos:

- Equipos de control electrónico de conmutación involuntaria (por ejemplo, semáforos, sistemas de calefacción, alumbrado público ó aparatos de cocina).
- Sistemas de comunicación (Ethernet, ADSL-modems, red IP ó enrutadores LAN).
- Receptores de TV y radio.
- Sistemas de telefonía.

La Figura 46 resume las bandas de frecuencias donde se localizan las emisiones de diferentes equipos en el rango 2 – 500 kHz. Se distingue entre equipos electrónicos con emisiones no intencionadas (NIE o Non Intended Emissions), y los equipos de comunicaciones eléctricas (MCS o Mains Communicating Systems).

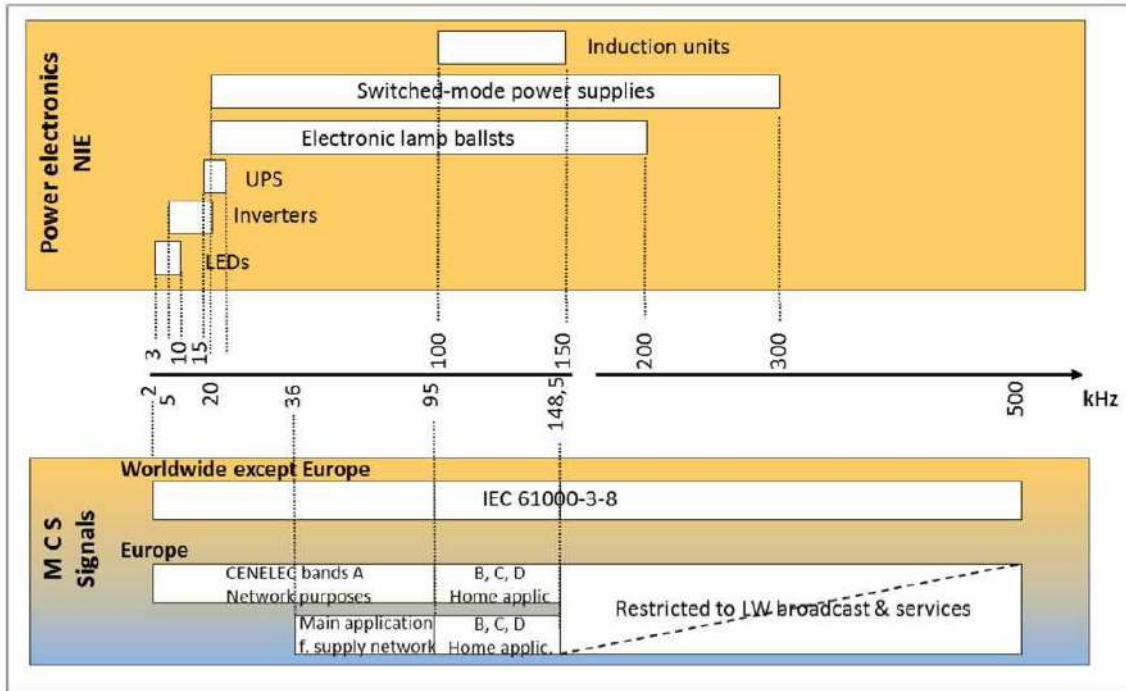


Figura 46. Localización de las emisiones por parte de diferentes equipos en el rango 2 – 500 kHz.

4.3. SOLUCIONES PARA LA REDUCCIÓN DE RUIDOS EN EL CANAL PLC

Dentro de la problemática de las comunicaciones PLC, como ya se ha mencionado antes, el ruido es el principal problema y el que más adversidades genera hoy en día. En cuanto a los métodos utilizados para solventar este problema, existen dos principalmente, que son los que está empleando Iberdrola en toda España, uno de ellos es la instalación de filtros en la caja general de protecciones, justo al lado del contador, para así poder atenuar esa señal de ruido, y otro método es la instalación de un GTP para ‘saltar’ el ruido.

4.3.1. Instalación de un GTP

Este ejemplo es el menos común y el más nuevo, ya que no lleva mucho tiempo implementándose, pero es bastante eficaz si lo que queremos es evitar la fuente de ruido y ‘saltarla’.

En el apartado 4.4.4 vamos a ver un caso real en el que, como última solución, se va a tener que instalar un equipo GTP, el cual se ha descrito anteriormente en el capítulo 2. Aun así, vamos a ilustrar de forma genérica en que consiste este método.

En la Figura 47 hemos recreado un escenario aleatorio que cuenta con un Centro de Transformación (triángulo azul), una fuente de ruidos (círculo rojo) y diversas cajas generales de protección y medida o CGPM (cuadrados marrones). Tanto la fuente de ruidos como los contadores están conectados a una de las líneas de baja tensión que salen del centro de transformación. En este caso vamos a suponer que la fuente de ruido está afectando solo a la línea de BT que está dibujada en la figura, impidiendo la lectura de los 19 contadores que hay conectados a ella. La solución es simple, ya que vamos a valernos de los equipos GTP para así evitar la fuente de ruido. Lo colocaremos dentro de la caja general de protección que esté más cerca del CT. Es importante destacar que tiene que existir una distancia mínima ($d_{\text{mín}}$) entre la fuente de ruido y el equipo GTP que se instale, ya que si no el ruido podría impedir las comunicaciones. Por su parte el GTP, una vez instalado, enviará la información que recoja de los contadores a través de comunicación GPRS/3G hacia los servidores de la empresa eléctrica en cuestión.

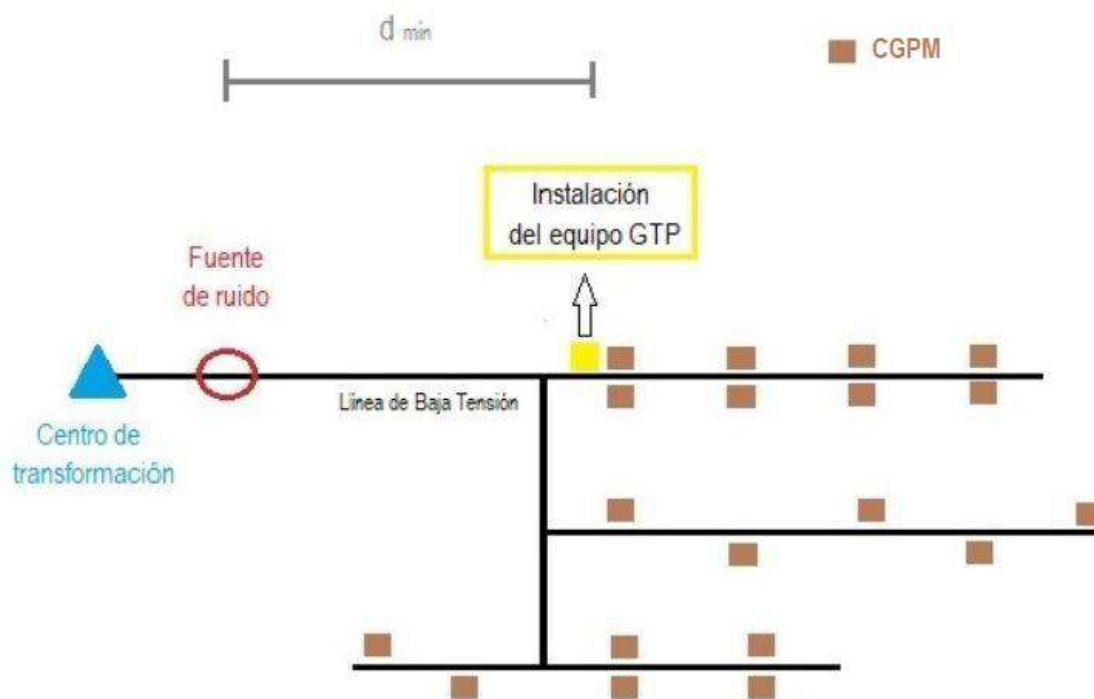


Figura 47. Ejemplo de colocación de un equipo GTP para solventar un problema de ruidos.

4.3.2. Filtros

Este método lleva utilizándose prácticamente desde que se implantó el proyecto STAR y empezaron a surgir los primeros problemas de malas lecturas de contadores debido a un problema de ruidos. Actualmente existe una gran variedad de fabricantes de filtros con extensos catálogos para poder utilizarlos en diferentes aplicaciones. En el caso de Iberdrola se han seleccionado los filtros que cumplen con los requerimientos establecidos.

Los filtros se instalan entre el contador y el concentrador como se muestra en la Figura 48, justo en la caja de protección general donde esté situado el contador. Al estar situado en ese lugar, es la empresa de distribución eléctrica la que se hace cargo de los costes de la instalación. Eso no quita que a mayores se puedan instalar filtros entre el contador y la carga, solo que tendría que hacerse cargo de los costes y del mantenimiento el responsable de la carga. La situación de estos filtros, atenúa la señal de ruido aguas abajo del contador, es decir, se disminuye el nivel de ruidos que está produciendo la carga conectada a la red, pero ¿qué pasa con el tramo de línea de BT que va desde el contador al concentrador? ¿se están generando ruidos ahí?. La respuesta es que no, en los tramos de línea en los que no hay cargas conectadas no se

generan ruidos, por lo que sólo colocaremos filtros en los casos en los que una carga conectada a la red esté generando un ruido.



Figura 48. Situación del filtro en una línea de baja tensión.

Los filtros disponibles se dividen en dos grupos, los que están diseñados para no afectar al mecanismo de reenganche automático de los contadores de telegestión y los que están diseñados sin restricciones en este sentido.

Normalmente los contadores en viviendas domésticas son en su mayoría de reenganche automático, esto quiere decir que si salta el interruptor de control de potencia (ICP), el cual va integrado en el contador, no como antiguamente, se rearma solo.

Un aspecto importante a tener en cuenta, es la potencia contratada del suministro a filtrar, ya que los filtros disponibles soportan un máximo de 63 amperios (A). Por tanto, si el ruido procede de un suministro de mayor potencia, no se podrán utilizar estos filtros. Para solucionar este problema se está probando a colocar los filtros en paralelo, de esta manera evitaríamos la parte resistiva que llevan incorporados y solo actuaría la parte capacitiva (el condensador), obteniendo así una buena atenuación.

- **FILTROS QUE NO AFECTAN AL MECANISMO DE REENGANCHE**

Estos filtros están diseñados de manera que respetan el funcionamiento del mecanismo de reenganche automático de los contadores de telegestión. Como consecuencia, su atenuación se ve ligeramente disminuida.

Dentro de este grupo de filtros, hay modelos en los que sólo es necesario conectar la fase y otros en los que es necesario conectar fase y neutro. Con estos últimos se suelen conseguir en la mayoría de los casos mejores resultados.

- ❖ **Conexión de fase:**

Normalmente consiguen atenuaciones bajas por lo que son adecuados para ruidos de poca potencia que afectan a una pequeña parte de los contadores. Existen tres modelos:

- ❖ **SPICA/FALCO:** atenuación muy baja sobre todo en la parte alta de la banda, donde es casi nula. Es un filtro diseñado para otra aplicación que utiliza frecuencias en torno a 65 kHz, por lo que la atenuación es buena en ese rango.
- ❖ **ZIV:** atenuación baja aunque ligeramente mejor que la obtenida con el SPICA/FALCO. Para no mostrar una foto de cada uno de ellos colocado, se incluye la Figura 49 en la que aparece un filtro de la marca ZIV con conexión de fase.
- ❖ **PREMO:** presentan una atenuación de unos 20 dB en toda la banda Cenelec A. Están diseñados para trabajar a frecuencias comprendidas entre 50 y 60 Hz, y soportan una corriente comprendida entre 45 y 63 A.



Figura 49. Instalación de un filtro ZIV con conexión de fase.

- ❖ **Conexión fase-neutro:**

Consiguen atenuaciones algo más altas que las anteriores, aunque con bastante diferencia entre los dos modelos disponibles. Entre estos dos modelos, se recomienda utilizar en todos los casos el PREMO, dado que su atenuación es mayor en todos los casos.

- ❖ **LANDIS (STRIKE):** atenuación limitada entre 10 y 15 dB
- ❖ **PREMO:** muy buena atenuación por encima de 20 dB en toda la banda. Desde el punto de vista de las comunicaciones PRIME, este es el filtro

que debería instalarse en todos los casos donde el reenganche sea necesario.

Una de las cosas que se ha ido viendo en la práctica, es que colocando los filtros conectando fase y neutro (los que lo permitan), se consigue una mejor atenuación que si solo conectamos la fase. De igual manera, también se ha comprobado que la instalación de filtros en paralelo da un mejor resultado debido a que solo se hace uso de la parte capacitiva del filtro (el condensador que llevan incorporado). Por este motivo se está estudiando la posibilidad de fabricar los filtros sin la parte resistiva, solo con la parte capacitiva, de esta manera se podrían obtener mejores resultados y se abaratarían los costes de producción de los filtros.

- **FILTROS QUE AFECTAN AL SISTEMA DE REENGANCHE**

Estos filtros están diseñados de manera que no deben respetar el funcionamiento del mecanismo de reenganche automático de los contadores de telegestión. Como consecuencia, su atenuación puede ser más elevada, sin embargo, quedan reservados para su instalación en suministros donde este mecanismo no es necesario, por ejemplo, comunidades de propietarios, fotovoltaicas, estaciones base de telefonía, etc.

Actualmente solo existe un modelo de filtro que cumple estas características, y requiere conexión de fase y neutro. Su atenuación es bastante buena, por lo que es apropiado para reducir las perturbaciones existentes en la red de baja tensión.

- ❖ **PREMO BF-XX:** son los filtros, marca PREMO, de la serie BF, como son BF-40, BF-40-MM, BF-60S, BF-60SP-D2, BF-40S, BF-40S-MM, BF-80S y BF-80SP-D2. Se trata de filtros que tienen una muy alta atenuación (>40 dB), disponibles para soportar corrientes de 20 a 63 A, ideal para su instalación en generadores fotovoltaicos, suministros comunitarios, etc.

Desde el punto de vista de las comunicaciones, este debería ser el filtro a instalar en todos los casos donde el reenganche no sea necesario.

4.4. ACTUACIÓN DE UNA EMPRESA ELÉCTRICA ANTE UN CASO REAL DE RUIDOS EN EL CANAL PLC.

4.4.1. Introducción

Como se ha comentado anteriormente, el principal problema que impide una buena comunicación entre equipos dentro de una red PLC, es el ruido. Este es el problema más significativo que surge durante la vida útil de un Centro de Transformación. Aprovechando mi experiencia en una empresa de distribución eléctrica, vamos a ver cómo actúa la misma ante un caso real de ruidos en el canal PLC.

En este tipo de empresas disponen de guías que detallan los procesos a seguir para mejorar las tasas de éxito de los contadores. Estas guías deben ser seguidas por los encargados de operar y mantener los equipos desplegados en campo que integren comunicaciones PRIME.

Lo primero de todo es importante conocer el concepto de relación señal-ruido, que permite comprender el motivo de un determinado comportamiento de los equipos desde el punto de vista de las comunicaciones. También es importante entender el mecanismo de funcionamiento de una subred PRIME, aunque esto ya se ha explicado en el capítulo 3.

Posteriormente se va a describir el proceso que sigue una empresa de distribución eléctrica desde que identifica que el problema que se tiene está relacionado con ruidos, hasta que se establece una solución para ello. Estos procesos, entre otros, suelen estar recogidos en diferentes manuales técnicos (MT), utilizados por los operarios de la empresa a la hora de actuar. En nuestro caso vamos a utilizar un MT que describe el proceso a seguir para mejorar las tasas de éxito en las operaciones remotas sobre los contadores PRIME (CNs), identificados como problemáticos por el sistema de telegestión. La MT se centra en actuaciones aplicadas a grupos de CNs donde las comunicaciones PRIME impacten de forma severa en sus tasas de éxito, es decir, en Centros de Transformación (CTs) completos, líneas de Baja Tensión (BT) o Cajas Generales de Protección (CGPs).

Como complemento de este apartado, se añadirá un caso real de un CT en el que había ruidos y en el que se tuvo que buscar solución a ello.

4.4.2. Relación señal-ruido

Un término muy utilizado en el ámbito de las comunicaciones, usado para explicar el funcionamiento de un equipo, es la relación señal ruido.

Independientemente de cual sea el medio físico utilizado para la transmisión de datos, existirán tanto señales deseadas (aquellas que son emitidas por los equipos que componen el sistema de comunicaciones), como señales indeseadas (emitidas por aparatos que comparten el mismo medio, pero que no están incluidos en el sistema de comunicaciones). Las señales deseadas se denominan “Señal”, y las señales indeseadas se denominan “Ruido”.

Por lo que se crea el término SNR mostrado gráficamente en la Figura 50, que es la diferencia entre la señal deseada y la no deseada. La SNR se mide en decibelios (dB) y se calcula como la diferencia entre el nivel de señal y el del ruido.

La línea verde haría referencia a la máxima inyección PRIME que manda el concentrador. Mientras que la línea roja hace referencia a la señal de ruido que se tiene en ese momento en concreto en el canal PLC. Con esto se da a entender que la línea roja, medida con cualquier equipo especializado, variará con el tiempo, no es constante.

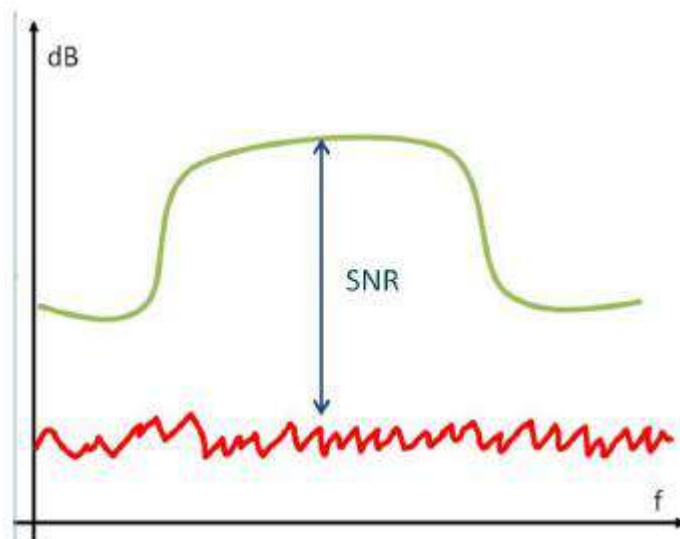


Figura 50. Diferencia entre la señal deseada y la no deseada.

Los equipos de comunicaciones necesitarán que la relación señal ruido supere un cierto umbral con el fin de poder comunicar debidamente. Es decir, que se pueda “entender” la señal recibida. Un ejemplo muy claro lo tenemos con los aparatos de radio convencionales. Si tenemos una baja SNR, percibimos un sonido con ruido ambiente difícil de entender, hasta un punto en el que se deja de entender el mensaje. En el caso de las comunicaciones por la línea de Baja tensión es algo parecido, una baja SNR impide que se lean correctamente las lecturas enviadas por los contadores.

Existe un problema a mayores, y es que cuando los contadores dejan de comunicar, estos se pueden desregistrar y perder la comunicación con los concentradores. Por lo que en el momento en que esa SNR mejora, tiene que hacerlo el tiempo suficiente para que el concentrador pueda completar el proceso de registro de los contadores.

Por lo que hay que considerar, que una baja tasa de lecturas debido a que la relación señal ruido no es buena, se puede deber a que el nivel de señal que se está emitiendo es bajo, o bien a que el nivel de señal de ruido es alto.

Por todo esto, se concluye que no todos los contadores que no comunican sufren ruido, y no todos los ruidos impiden las comunicaciones. Existen numerosos fabricantes de los distintos equipos, y no todos se comportan de la misma manera. A nivel PRIME, los contadores integran un hardware y un firmware, los cuales condicionan el comportamiento de un contador. Se ha visto en estudios, que un mismo contador, con una versión u otra de firmware, se comporta de distinta manera frente al mismo ruido.

4.4.3. Procedimiento de actuación

Primero de todo es importante saber cómo trabaja Iberdrola en relación a este tema. El grupo de trabajo que se encarga de solventar los problemas de ruidos es el CSD (Centro de Servicio y Diagnóstico). No es la única tarea a la que se dedican, por lo que parte de su trabajo a desarrollar en el ámbito del proyecto STAR se basa en dar solución a distintos órdenes de trabajo (OTs) que les irán apareciendo en la página web que tengan asignada. Cada OT lleva asociado un código y un nombre. La OT que nos interesa en este apartado es la 40301 – *Bajas prestaciones/mala calidad de lectura de contadores*, la cual hace referencia a todos aquellos contadores que por diferentes motivos, no tiene que ser solo por un tema de ruidos, no están enviando el 100% de sus lecturas.

Debido a que no hay una OT específica para determinar si el problema está relacionado con el ruido, lo primero que tiene que hacer el personal del CSD es mirar si es un fallo del contador o si es un fallo por ruido. Una vez determinado que el problema se debe al ruido, pasaríamos a seguir los pasos que nos marque el MT en cuestión.

Los dos pasos importantes a seguir serían:

- REVISIÓN DE LA MONITORIZACIÓN

Primero de todo es importante localizando la hoja de resultados de la monitorización realizada sobre el CT en la fase de despliegue con su puesta en servicio. Si no se dispone de monitorización previa, o si es muy antigua, es recomendable solicitar una nueva monitorización, dado que nos aportará una visión más completa del comportamiento de la subred PRIME. La monitorización aporta una información bastante completa de las lecturas durante varios días, ya que se asume que el funcionamiento en todas las semanas sigue un patrón similar, en función del patrón de consumo eléctrico.

- PROCEDIMIENTO DE ACTUACIÓN

Se ha comprobado que, en general, los ruidos presentes durante una gran parte del tiempo, y en las proximidades del CT, son especialmente perjudiciales para el funcionamiento de la subred PRIME completa.

Se distinguen dos casos para el problema de bajo índice de lecturas en un determinado conjunto de contadores.

➤ **Caso A: Malas comunicaciones del CT completo.**

En este caso se estudian problemas que puedan afectar a la comunicación de toda la subred de un CT de manera global o a la mayor parte de la misma, sin que los problemas se encuentren en localizados en un conjunto de contadores.

- Caso A-1: El equipo no registra contadores

Es un caso en el que bien el concentrador o bien un nodo auxiliar no registra ningún contador. En este caso, si se trata de un concentrador de fabricante diferente a ZIV, se envía al soporte del fabricante para que procedan a revisarlo. Si se trata de un concentrador de la marca ZIV:

- Se revisará vía Web si el equipo es estable.
- Se utilizará el programa ZIV PRIME Manager para conectarse remotamente al equipo con problemas, bien sea concentrador o nodo auxiliar, y se procederá a revisar aspectos técnicos del equipo. Además se observará si

la SNR es amplia para permitir la comunicación entre equipos. Si se detecta algún fallo en esta revisión se procederá a la sustitución del equipo.

- Si no se detecta ningún fallo en la revisión, será necesario hacer una visita a campo. Se puede proceder de dos maneras, aunque se recomienda empezar por la primera, como se muestra en el diagrama de la Figura 51.
 - a) Descartando en primer lugar la avería del equipo, para lo que se recomienda instalar un contador en el propio CT y ver si se registra en el concentrador. Si no se registra, se recomienda instalar otro equipo de funcionamiento contrastado (ej: armario portátil) para ver si registra los contadores. Si se descarta la avería del equipo, se procederá según el punto siguiente.
 - b) Descartando en primer lugar la presencia de problemas de relación señal-ruido, comenzando la búsqueda por los suministros más cercanos al CT. Si se descarta un problema de relación señal-ruido, habría que proceder según lo indicado en el punto anterior para descartar la avería del equipo.

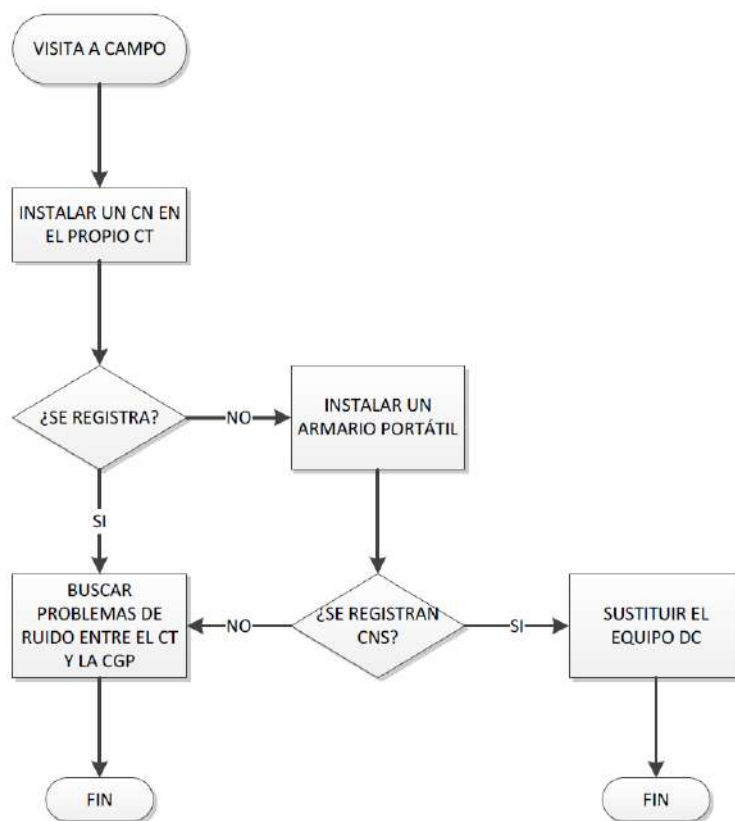


Figura 51. Flujograma de la visita a campo.

○ Caso A-2: Mala comunicación

En este caso se recomienda seguir los siguientes pasos:

- Actualizar las versiones firmware de los contadores y del concentrador, en caso de que no tengan la última versión homologada por Iberdrola.
- A continuación, se sustituirán los contadores con problemas de comunicación.
- Si el paso anterior no diera buenos resultados, se recomienda sustituir el concentrador.
- La siguiente acción recomendada es probar diferentes mecanismos software de inyección PRIME.

➤ **Caso B: Malas comunicaciones en parte del CT.**

En este caso se estudian problemas de comunicación que afectan a una parte bien localizada de la subred de un CT, normalmente una o varias centralizaciones de una misma línea de Baja Tensión. También puede tratarse de un problema que afecte a los contadores de una fase.

En primer lugar, se localizan en la hoja de resultados de la monitorización los datos correspondientes a los CNs con problemas. Normalmente, la centralización o la línea con problemas aparecerá con bajos porcentajes medios en esa hoja.

En la Figura 52 por ejemplo, se puede apreciar como son dos, las centralizaciones más problemáticas. El resto de la subred tiene buenas comunicaciones, por lo que se trata de un problema concreto, posiblemente por un ruido localizado en ellas o un problema de los propios contadores asociado a su firmware o hardware.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
	Address	Análisis MAC's	PRIME Meters found in Address	PRIME Meters NOT found in Address	Non PRIME Meters in Address	Total Meters in Address	Average Availability	Percentile 33	Percentile 66	Difference 33	Difference 66	Possible Degradation
1	1-1-62-Calle MAYOR 82 etc.8		13		13	13	93,147%	83,323%	94,695%	2,171%	2,204%	NO
2	1-2-63-Calle MAYOR 82 etc.7		17		17	17	8,867%	8,053%	8,700%	1,703%	1,495%	NO
3	1-3-69-Calle MAYOR 82 etc.5		25		25	25	99,360%	99,999%	100,000%	0,001%	0,238%	NO
4	1-4-69-Calle MAYOR 82 etc.8		5	10	15	15	0,254%	0,243%	0,511%	0,113%	0,434%	NO
5	1-5-69-Calle MAYOR 82 etc.4		10		10	10	99,495%	99,289%	99,741%	0,229%	0,201%	NO
6	1-6-69-Calle MAYOR 82 etc.2		18		18	18	79,366%	78,214%	78,747%	0,542%	0,33%	NO
7	1-7-69-Calle MAYOR 82 etc.3		13		13	13	80,329%	77,782%	78,982%	0,403%	1,209%	NO
8	1-8-69-Calle MAYOR 82 etc.1		17		17	17	96,354%	95,595%	97,412%	1,779%	2,181%	NO
9	1-9-4-Calle NUÑEZ DE ARCE 22		1		1	1	99,899%	99,899%	99,989%	0,000%	0,200%	NO
10	1-10-13-Calle NUÑEZ DE ARCE 20		1		1	1	99,579%	99,578%	99,579%	0,000%	0,000%	NO
11	1-11-12-Calle NUÑEZ DE ARCE 11		1		1	1	99,579%	99,578%	99,579%	0,000%	0,000%	NO
12	1-12-14-Calle NUÑEZ DE ARCE 13		1		1	1	100,000%	100,000%	100,000%	0,000%	0,000%	NO
13	1-13-17-Calle NUÑEZ DE ARCE 38		1		1	1	100,000%	100,000%	100,000%	0,000%	0,000%	NO
14	1-14-20-Calle NUÑEZ DE ARCE 10		1		1	1	100,000%	100,000%	100,000%	0,000%	0,000%	NO
15	1-15-23-Calle NUÑEZ DE ARCE 9		11		11	11	98,383%	99,806%	99,983%	0,583%	5,898%	NO
16	1-16-22-Calle NUÑEZ DE ARCE 30		1		1	1	99,999%	99,999%	99,999%	0,000%	0,000%	NO
17	1-17-27-Calle NUÑEZ DE ARCE 40		2		2	2	99,999%	99,999%	99,999%	0,000%	0,000%	NO
18	1-18-36-Calle NUÑEZ DE ARCE 5		1		1	1	100,000%	100,000%	100,000%	0,000%	0,000%	NO
19	1-19-00-Calle MAYOR 194		7		7	7	99,907%	99,045%	99,841%	0,433%	0,305%	NO
20	1-20-74-Calle GABRIEL 2		58		58	58	98,074%	99,210%	99,639%	2,844%	1,726%	NO

Figura 52. Disponibilidad de un CT por centralización.

Esta observación confirmaría que los problemas se encuentran localizados en los contadores de esa centralización o línea, por lo que podríamos estar ante un problema de escasa relación señal-ruido. Este problema puede ser permanente, o intermitente,

pudiendo en este segundo caso, ser aleatorio o seguir un patrón horario. Una vez verificado que el problema corresponde a una escasa relación señal-ruido. Las soluciones propuestas serían las siguientes. Si cada una de ellas proporciona la mejora de los resultados, no será necesario continuar con la siguiente:

- Si el problema es permanente se realizará una visita a campo. Si es necesario se procederá a la instalación de filtros.
- Si la solución de filtrado no ha tenido éxito, se recomienda actualizar las versiones de firmware de los contadores y del concentrador.
- A continuación, se recomienda realizar cambios en los contadores:
 - Si los contadores son trifásicos, alternar las fases de la instalación para tratar de localizar la fase más apropiada.
 - Sustituir los contadores.
- Sustituir el concentrador.
- La siguiente acción recomendada es probar diferentes mecanismos software de inyección PRIME.
- Si la situación persiste, se recomienda instalar contadores PRIME auxiliares entre la última centralización con comunicación y la primera sin ella. La intención es que estos contadores auxiliares se conviertan en Switches y permitan la comunicación de los demás contadores.
- Si no mejoran las comunicaciones, se puede colocar el armario portátil o un equipo GTP en el cuarto de contadores correspondiente a la caja con problemas, para que los contadores comuniquen a través de este equipo.

4.4.4. Visualización de un caso real de ruidos

Con el objetivo de complementar el apartado anterior, se va a incluir un caso real de un problema de ruidos en un Centro de Transformación, para así poder ver qué soluciones se han tomado para solventarlo. En este caso, y como se puede apreciar en la Figura 53, nos fijaremos en el CT que está situado en la urbanización El Cotanillo (Valladolid), el cual lleva su mismo nombre. Este CT está señalado con un triángulo azul en la Figura 53. En un caso de malas comunicaciones en parte del CT, y partiendo de la base de que ya se ha analizado y se conoce cual es la fuente que genera el ruido. Es una fuente muy cercana al CT, señalada con un círculo rojo, y corresponde con una elevación de aguas de la urbanización, perteneciente al ayuntamiento. Del CT parten 4 líneas de baja tensión, y la elevación de aguas toma de una de ellas, en concreto de la línea 2. La fuente de ruido al estar tan próxima al CT afectaba a todas las líneas y no dejaba leer la mayoría de los contadores.

El problema está en que este suministro tiene una potencia contratada de 41,5 kW, con unas puntas de 52 kW, y actualmente no se dispone de filtros para esas potencias tan altas. Como se ha visto antes, los filtros que hay disponibles hoy en día están diseñados para soportar 63 A como máximo, y en este caso es inviable colocar cualquiera de ellos en serie. Por lo que se va a optar por colocar 3 filtros en paralelo en cada una de las fases para solucionar el problema. En la Figura 60 se puede apreciar cómo quedan colocados los filtros dentro de la caja general de protecciones.

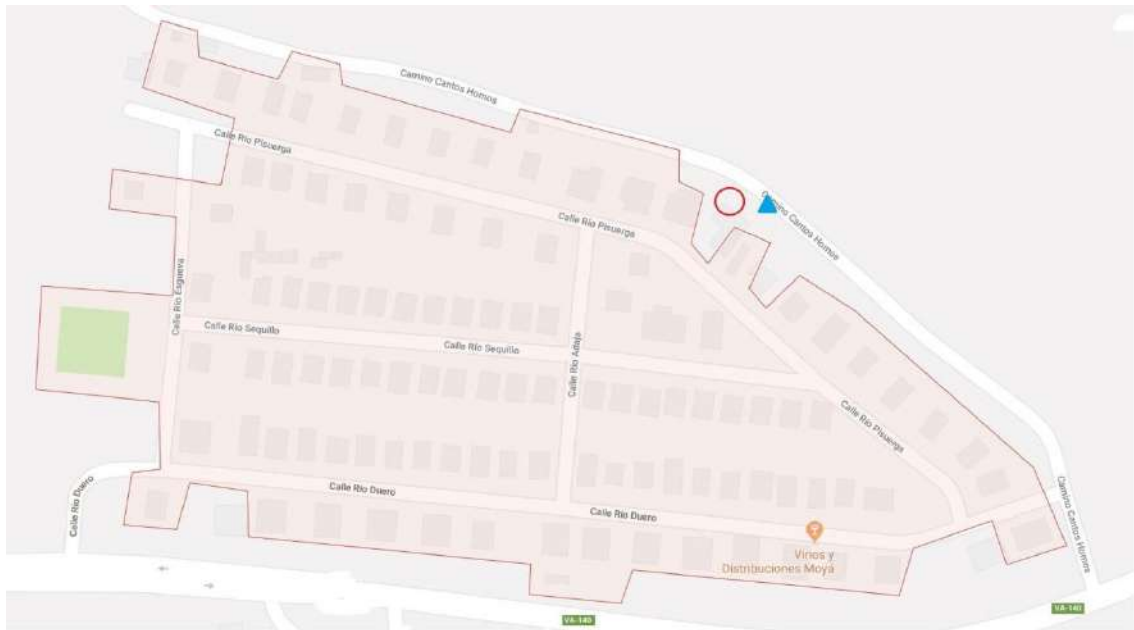


Figura 53. Mapa de la urbanización El Cotanillo (Valladolid).

A continuación, en las Figuras 54, 55, 56, 57, 58 y 59 se van a mostrar las gráficas obtenidas en cada una de las fases (R, S y T) antes de colocar el filtro y una vez colocado. La línea roja corresponde a la máxima inyección PRIME que puede mandar el concentrador, la línea naranja corresponde con la mínima inyección PRIME que manda el concentrador y la línea azul se corresponde con el ruido real que hay en ese momento.

FASE R SIN FILTRAR

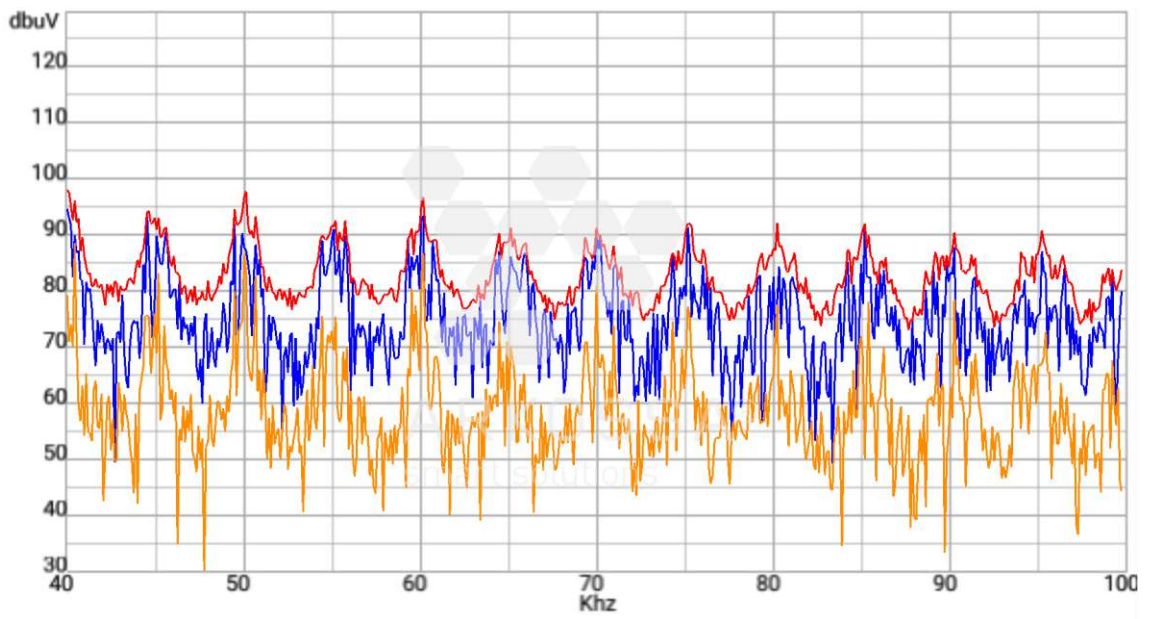


Figura 54. Ruido en la fase R antes de filtrar.

FASE R FILTRADA CON UN FILTRO EN PARALELO

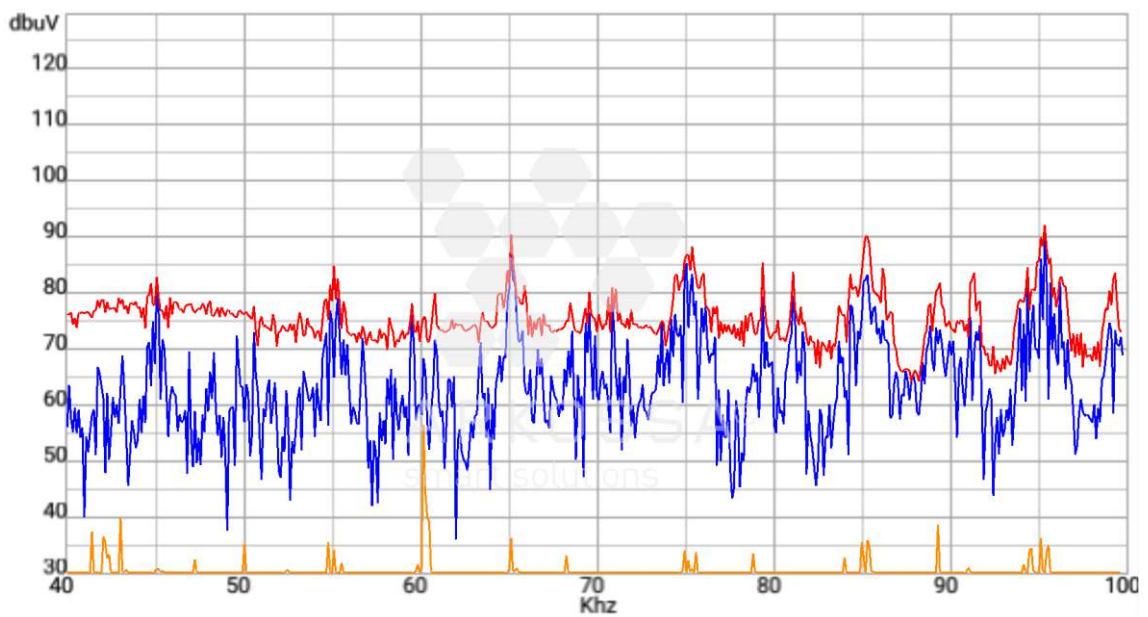


Figura 55. Ruido en la fase R después de filtrar.

FASE S SIN FILTRAR

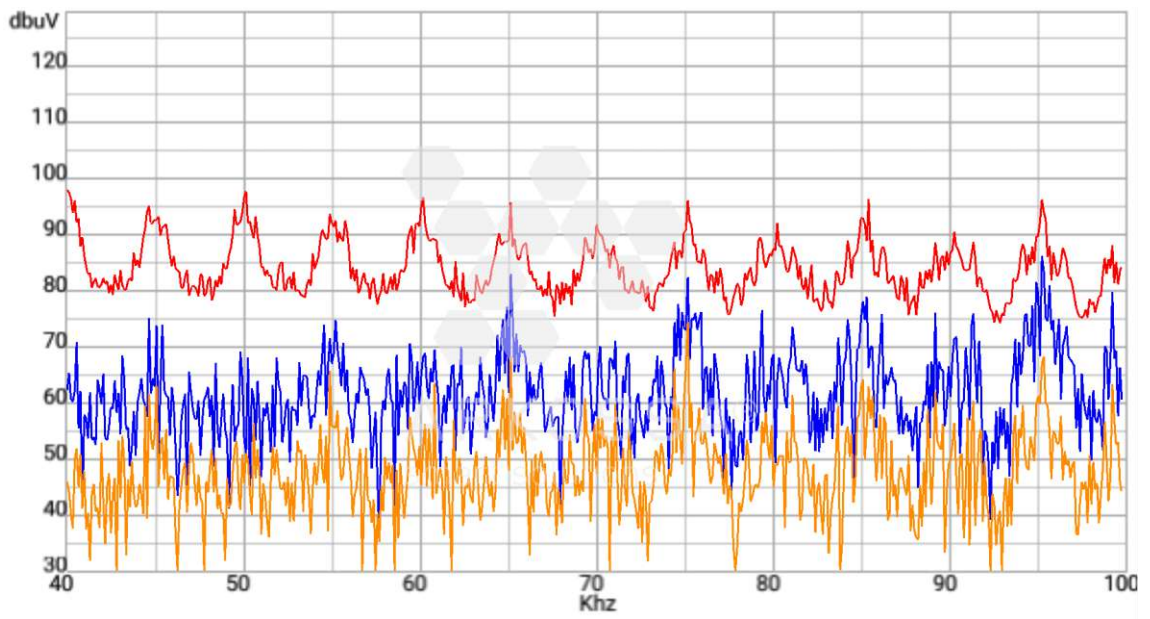


Figura 56. Ruido en la fase S antes de filtrar.

FASE S FILTRADA CON UN FILTRO EN PARALELO

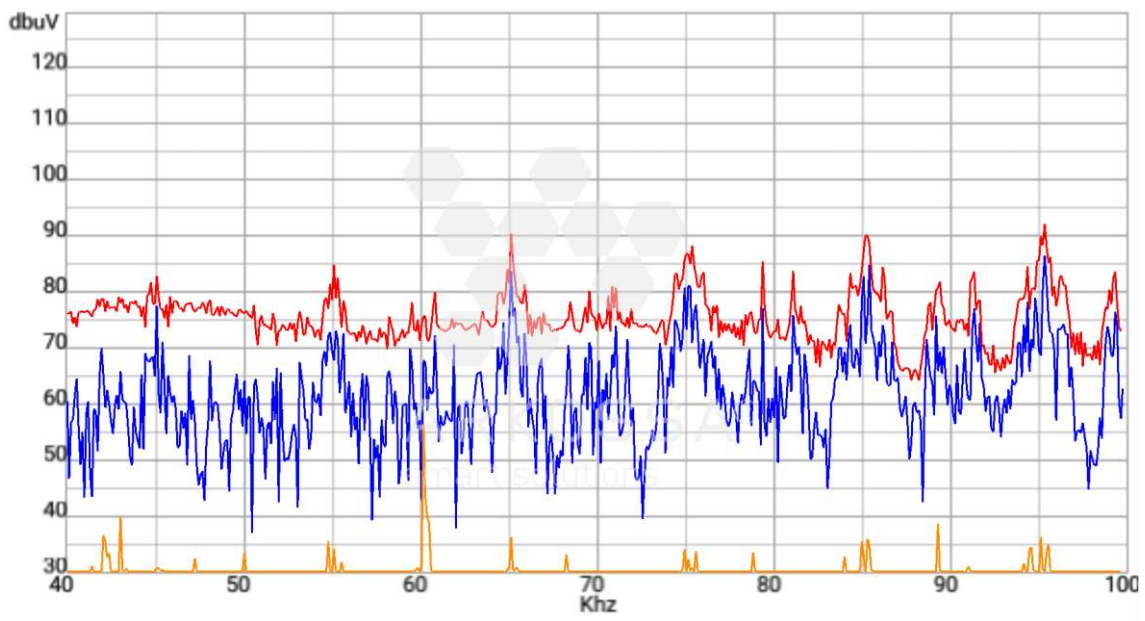


Figura 57. Ruido en la fase S después de filtrar.

FASE T SIN FILTRAR

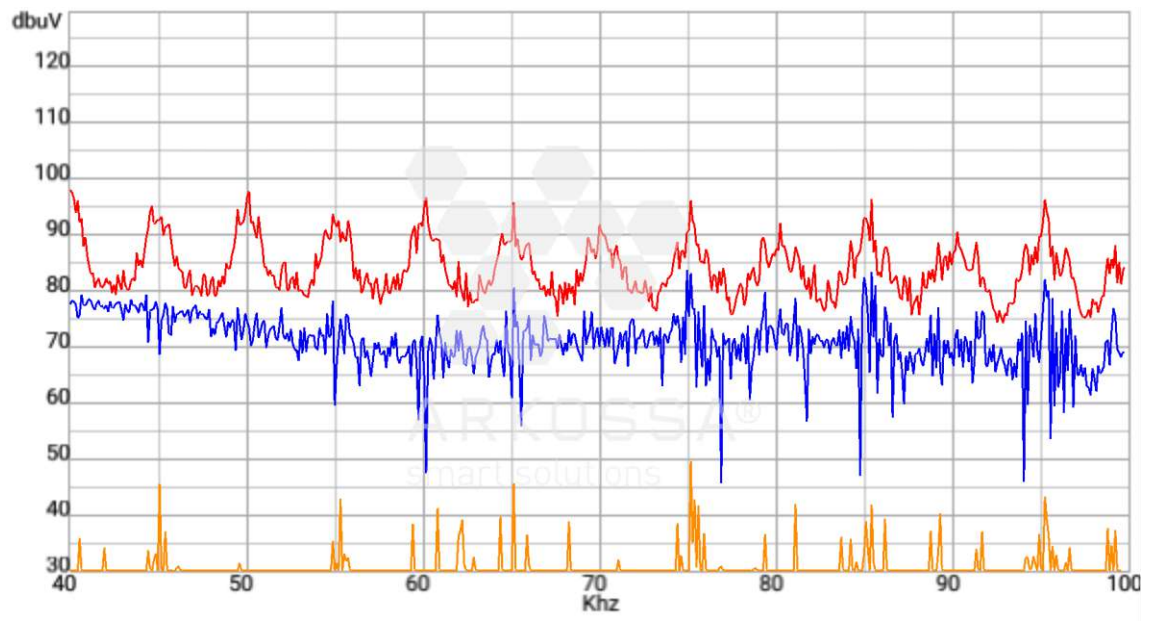


Figura 58. Ruido en la fase T antes de filtrar.

FASE T FILTRADA CON UN FILTRO EN PARALELO

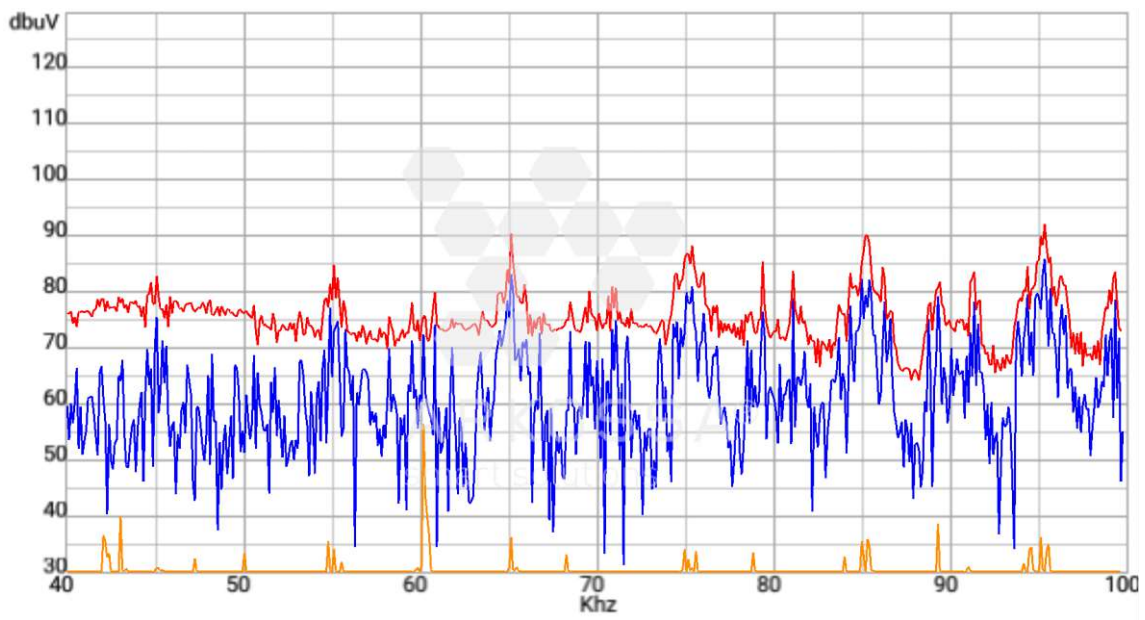


Figura 59. Ruido en la fase T después de filtrar.



Figura 60. Filtros colocados en paralelo dentro del cuadro general de protecciones.

Una vez colocados los filtros, podemos ver que la atenuación de la señal (línea azul) parece mínima, pero se comprobó que fue suficiente para que empezasen a comunicar 82 contadores asociados al centro. Estos 82 contadores correspondían con las líneas 1, 3 y 4. Sin embargo, quedaron sin comunicar 32 contadores, todos ellos asociados a la línea 2, que coincide con la línea a la que está unida la fuente que origina el ruido.

Con el fin de solucionar esto, se procedió a la instalación de un GTP como se muestra en la Figura 61, para así poder dar salida a los datos de esos 32 contadores situados en las cajas generales de protección y medida (CGPM, marcados en la figura con cuadrados de color rojo). Al igual que la instalación de filtros en paralelo es un buen método para aquellas situaciones en las que la potencia contratada es muy alta, la instalación de un GTP es una técnica que se ha empezado a utilizar desde no hace mucho tiempo, y el objetivo que tiene es el de ‘saltar’ la fuente de ruido. Al incorporar un router dentro, puede dar salida GPRS/3G a la información proporcionada por los contadores y así evitar la fuente de ruido. De esta manera se consiguió que comunicasen el 100% de los contadores.

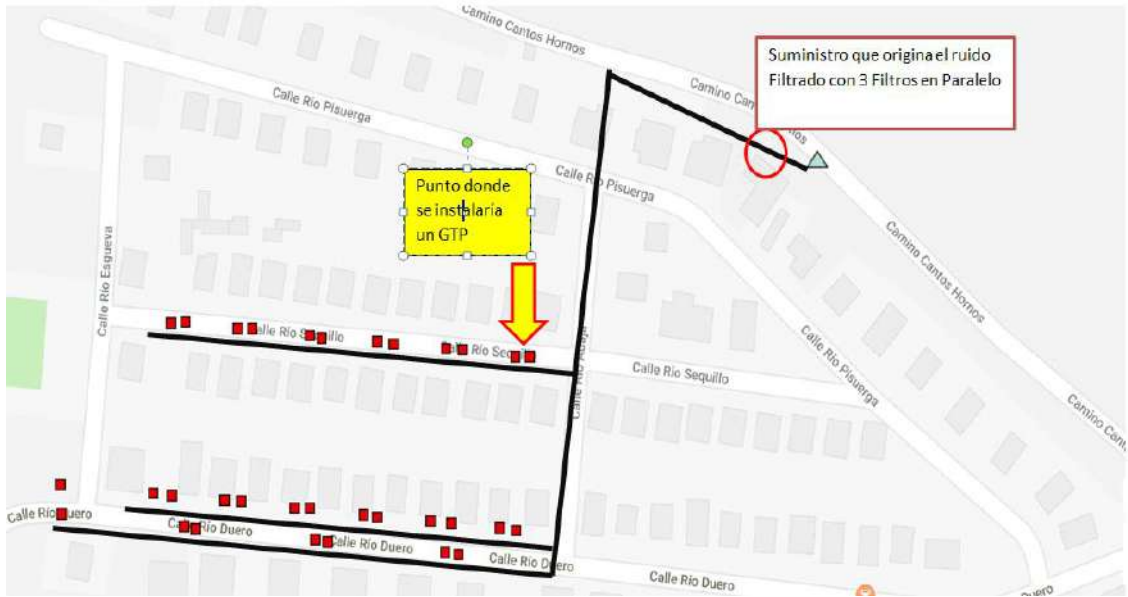


Figura 61. Mapa figurativo de la instalación de un equipo GTP para evitar el ruido.

4.5. EXPERIMENTO REALIZADO EN UNA EMPRESA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

En este último apartado, y aprovechando mi estancia en Iberdrola Distribución S.A., decidí realizar unas pruebas con una serie de filtros para ver cómo se comportaban ante una fuente que generaba un ruido en la red de baja tensión. Las pruebas las realicé en un laboratorio no acreditado, acompañado de personal de Iberdrola, en la sede del Polígono de Argales (Valladolid). Por temas de confidencialidad no se va a mencionar la marca de los filtros utilizados, simplemente se les denominará con las letras mayúsculas del abecedario: A, B, C, etc. Como equipamiento a la hora de desarrollar esta prueba, como se puede apreciar en la Figura 62 y 63, usamos los equipos que utilizan los profesionales de Iberdrola cuando hacen desplazamientos a campo para tratar problemas de ruidos. Con estos equipos obtendremos gráficas del ruido antes y después de colocar los filtros correspondientes. También se comentará si cada uno de los filtros cumple con las especificaciones técnicas que marcan.

El modelo utilizado sería el siguiente:



Figura 62. Equipamiento de Iberdrola utilizado para realizar las pruebas con los filtros (I).



Figura 63. Equipamiento de Iberdrola utilizado para realizar las pruebas con los filtros (II).

Es un modelo simple que cuenta con:

- Nodo auxiliar.
- Contador.
- Caja de magnetotérmicos y diferencial.
- Regleta con enchufes.

La regleta está conectada a una toma de 220V que tiene el laboratorio.

El contador está conectado a uno de los enchufes de la regleta, el que tiene color rojo.

El Nodo auxiliar se conecta mediante un cable Ethernet al ordenador.

Al ser un contador de la marca ZIV, podemos utilizar el programa ZIV Prime Manager para obtener la gráfica de ruido. La Figura 64 muestra la gráfica correspondiente al estado inicial, sin la fuente de ruido conectada.

Los picos que se observan entre las frecuencias de 60 y 70 kHz son debidas seguramente al resto de equipos que se encuentran en el laboratorio conectados a la red, por lo que no les vamos a dar importancia.

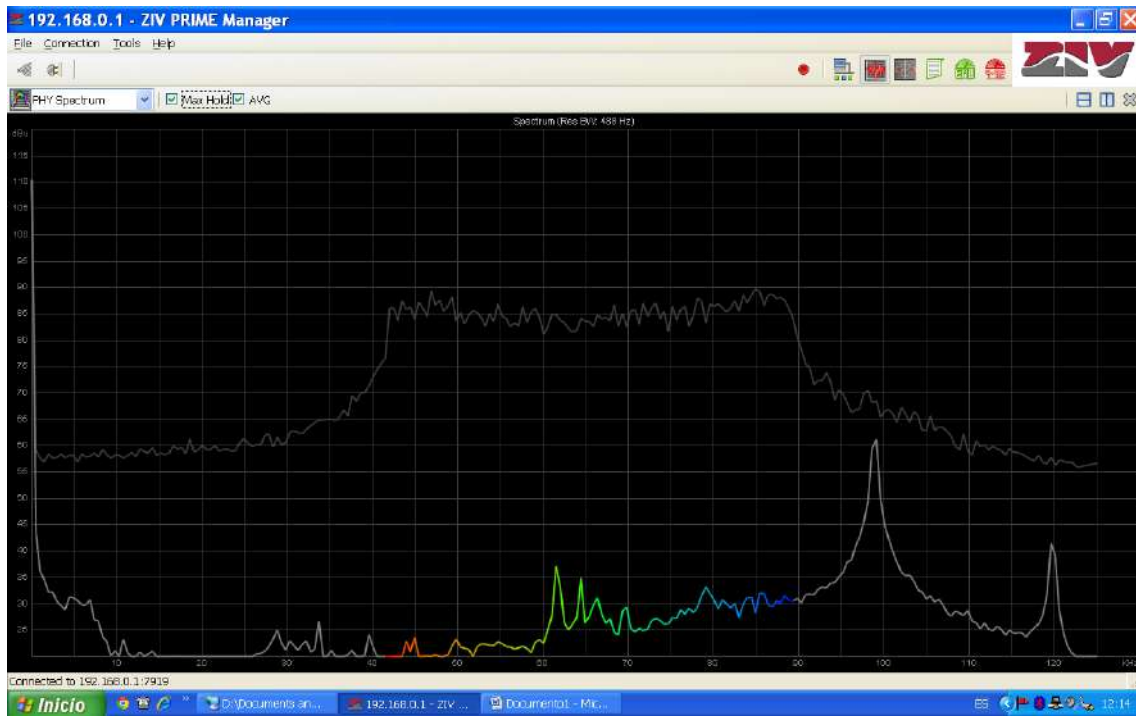


Figura 64. Gráfica del ruido en la red de BT sin tener conectada la fuente que genera el ruido.

Para generar una señal de ruido, como ya se ha comentado antes, se va a conectar un cargador, que ya sabemos previamente que está estropeado, por lo que generará un ruido en la red de BT. La Figura 65 muestra la gráfica resultante.



Figura 65. Gráfica del ruido en la red de BT una vez conectada la fuente que genera el ruido.

En la Figura 66 se muestra el cargador averiado conectado, así como un interruptor de control de potencia (magnetotérmico) para poder realizar las conexiones de los filtros con seguridad.

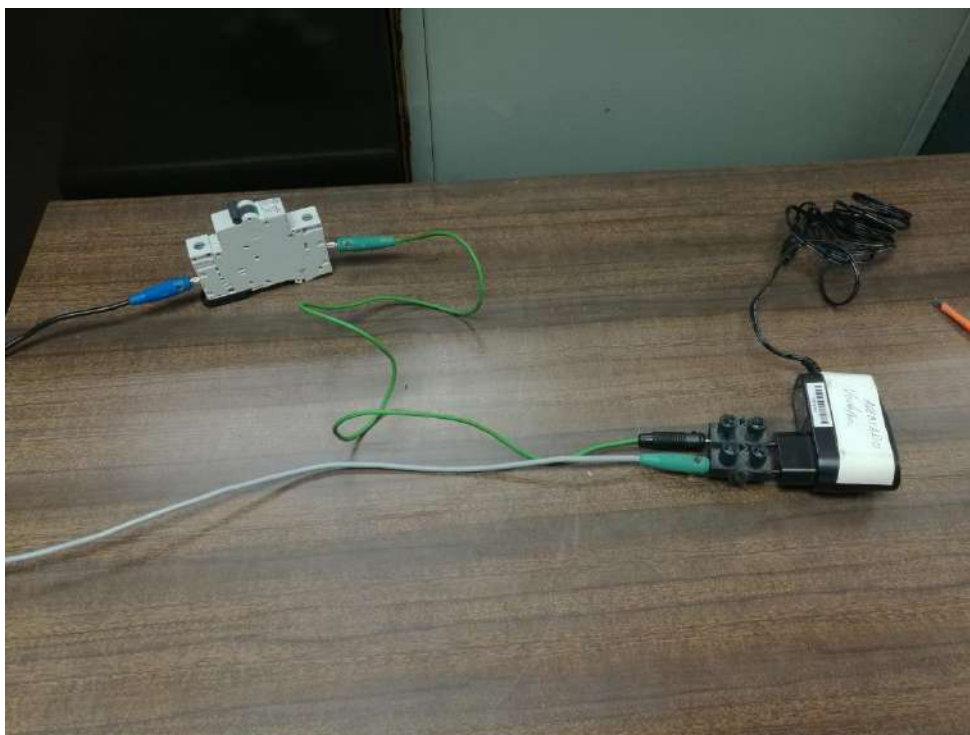


Figura 66. Colocación del cargador averiado y del interruptor magnetotérmico.

A continuación iremos colocando los diferentes filtros de los que disponemos para ver su comportamiento, analizando si los resultados cumplen con las especificaciones que vienen marcadas de fábrica. Como se ha indicado antes, por razones de confidencialidad, no se va a mencionar la marca de los filtros, se les denominará como A, B, C, etc.

❖ Filtro A

Este dispositivo está limitado a 65 A. Según el fabricante, este filtro solo es apto para instalaciones de abonados cuyo contrato no supere los 15 kW. Se conecta en serie con el cable de fase y sin la intervención del neutro como se puede apreciar en la Figura 67. En nuestro esquema quedaría conectado como se muestra en la Figura 68.

En la hoja de especificaciones se indica que este tipo de filtro cumple una atenuación en toda la banda PRIME mayor o igual a 20 dB.



Figura 67. Conexión del filtro A en la red de BT.



Figura 68. Conexión del filtro A en nuestro modelo experimental.

La gráfica obtenida se muestra en la Figura 69. Si lo comparamos con la gráfica inicial (Figura 65), podemos observar que el filtro realiza una atenuación de unos 15 dB en la banda de 45 kHz, pero el ruido persiste en las bandas de frecuencia posteriores hasta los 90 kHz. Por todo esto podemos decir que el filtro A no cumple con las especificaciones técnicas que marca el fabricante.



Figura 69. Gráfica obtenida utilizando el filtro A.

❖ Filtro B

El esquema eléctrico de este filtro queda detallado en la Figura 70. Como podemos observar en esta figura, el filtro está compuesto por una parte resistiva y una capacitiva. Se ha mencionado anteriormente en este capítulo, que debido a la experiencia que se tiene con los filtros, desde que se empezaron a utilizar hace tiempo, un filtro que disponga únicamente de parte capacitiva realizaría mejores funciones que el que se muestra. Está por ver aún si las empresas exponen esta situación a las compañías fabricantes de filtros para que lo valoren en un futuro. En nuestro esquema quedaría conectado como se muestra en la Figura 71.

Según el fabricante presenta las siguientes características:

- Tiene una atenuación mínima de 18 dB en la banda central (en torno a 65 kHz).
- Está diseñado para soportar conexiones monofásicas o trifásicas (conectando un filtro en cada fase).
- Está optimizado para realizar una buena atenuación en la banda comprendida entre 50 y 100 kHz.
- Este modelo presenta dos filtros, uno capaz de soportar 40A y otro capaz de soportar 63A, por lo que se van a probar ambos.

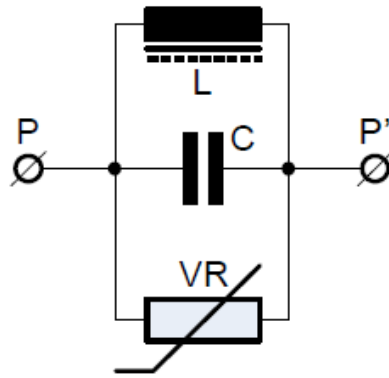


Figura 70. Esquema eléctrico del filtro B.



Figura 71. Conexión del filtro B en nuestro modelo experimental y muestra de su aspecto interior.

La gráfica obtenida con el filtro de 40A se muestra en la Figura 72. Podemos ver que se produce una atenuación de unos 12 dB en la banda comprendida entre 60 y 65 kHz, sin embargo aumenta levemente en frecuencias superiores. Por lo que, al igual que en el caso anterior, no se cumplen las especificaciones marcadas por el fabricante.

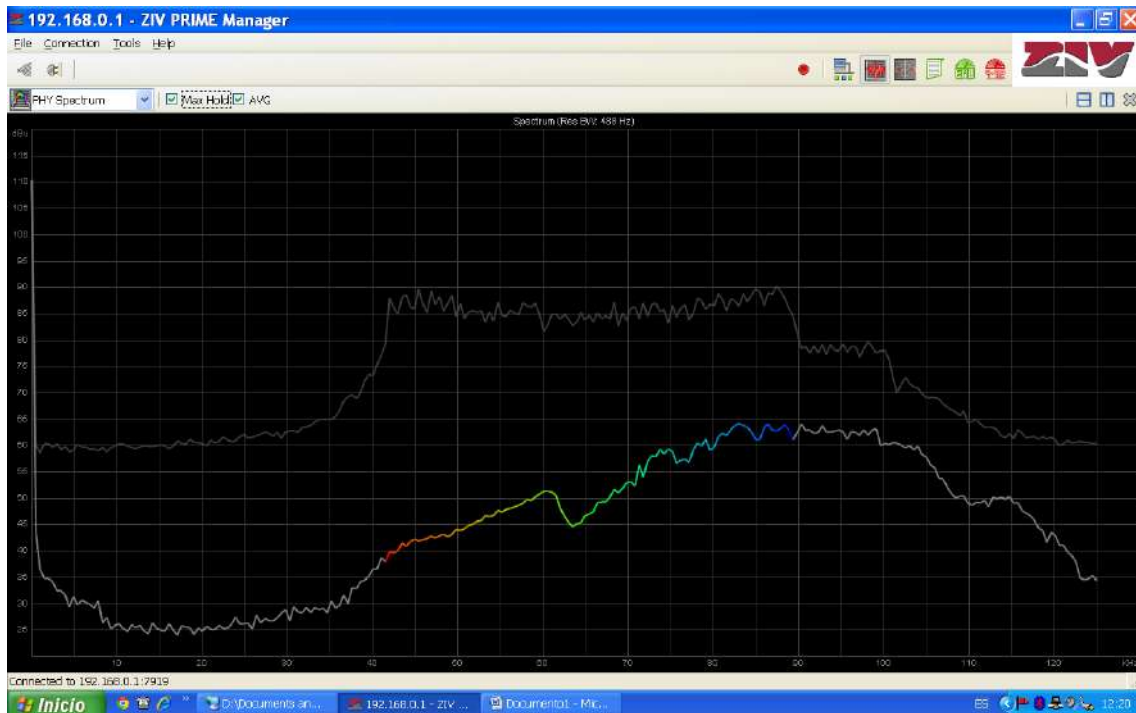


Figura 72. Gráfica obtenida utilizando el filtro B de 40A.

La gráfica obtenida con el filtro de 63A se muestra en la Figura 73. Podemos ver que se produce una atenuación de unos 15 dB en la banda de 65 kHz. También se produce una leve atenuación en frecuencias superiores, pero no tan marcada como la anterior. Este filtro, al contrario que el de 40A, cumple con las especificaciones establecidas marcadas por el fabricante.



Figura 73. Gráfica obtenida utilizando el filtro B de 63A.

❖ Filtro C

Este filtro presenta las siguientes características:

- Está preparado para soportar una corriente de 40A.
- Proporciona una atenuación mínima de 20 dB en la banda CENELEC A (40-95 kHz).
- Tiene la posibilidad de filtrar en 1 fase o en las 3 fases (colocando un filtro en cada fase).
- Incorpora, a diferencia de los dos anteriores, la posibilidad de conectarlo usando el neutro.

Nosotros vamos a probar a conectarlo de las dos maneras, con neutro y sin el. En la Figura 74 y 76 se puede apreciar como quedaría conectado el filtro en nuestro esquema.

- Conexión sin neutro:



Figura 74. Conexión del filtro C en nuestro modelo experimental sin utilizar el neutro.

La gráfica obtenida con el filtro C de 40A conectado sin el neutro se muestra en la Figura 75. Podemos ver que se produce una atenuación de unos 10 dB en la banda

comprendida entre los 80 y los 90 kHz. Con la conexión sin el neutro vemos que no cumplen con las especificaciones que marca el fabricante.



Figura 75. Gráfica obtenida utilizando el filtro C sin conectar el neutro.

- o Conexión con neutro:

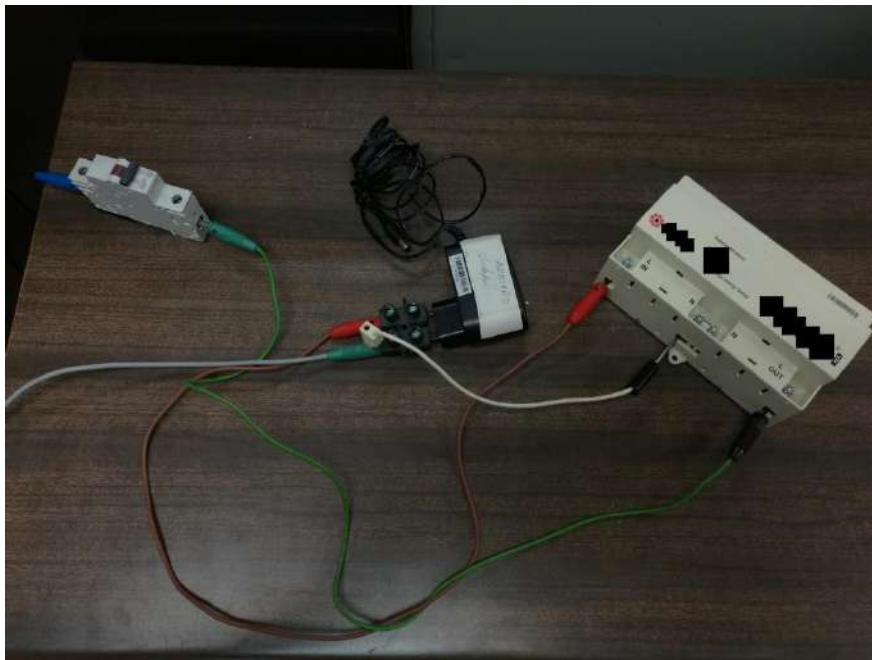


Figura 76. Conexión del filtro C en nuestro modelo experimental utilizando el neutro.

La gráfica obtenida con el filtro C de 40A conectado el neutro se muestra en la Figura 77. Podemos ver un cambio radical en el comportamiento de la señal de ruido. Mientras en los ejemplos anteriores, que no llevaban conexión a neutro, la atenuación era muy leve, sin conseguir si quiera cumplir con las especificaciones del fabricante, en este caso vemos que la señal se atenúa por completo en toda la banda PRIME. De este modo se conseguiría una comunicación total y sin interferencias con todos los contadores asociados al CT.

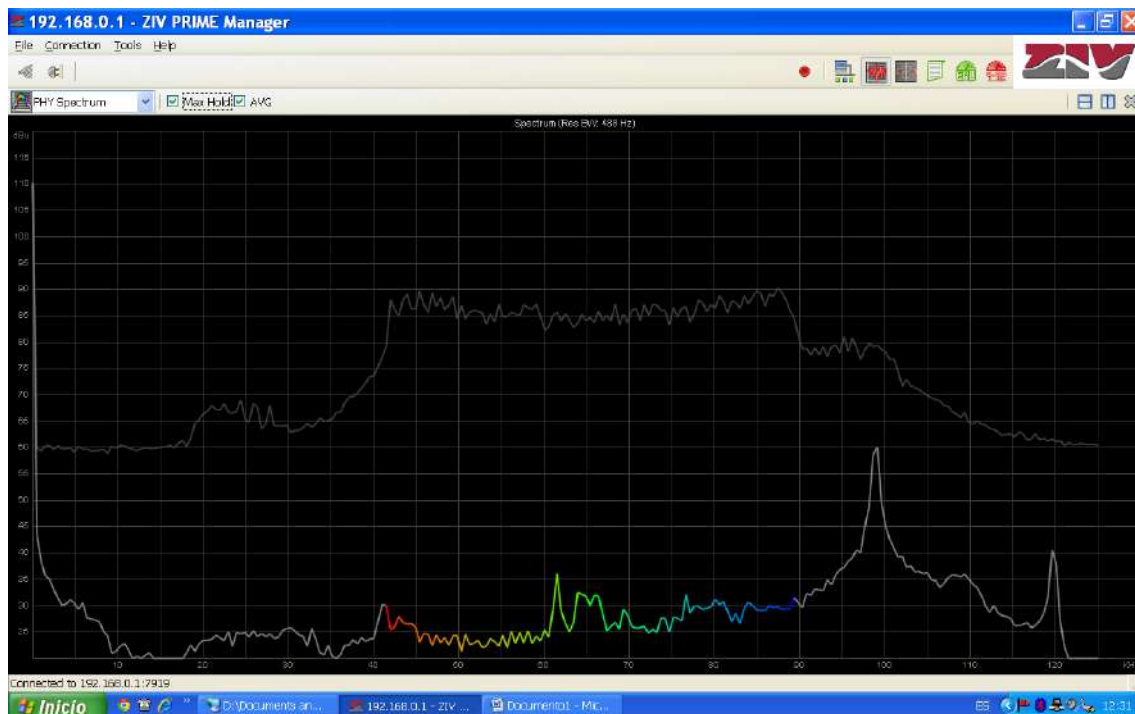


Figura 77. Gráfica obtenida utilizando el filtro C conectando el neutro.

❖ Filtro D

El esquema eléctrico de este filtro queda detallado en la Figura 78. Al contrario que los modelos anteriores, este filtro solo cuenta con una parte resistiva, por lo que según el razonamiento que se ha dado antes, a priori deberíamos suponer que el resultado del filtrado va a ser muy pobre en cuanto a atenuación. Este filtro está preparado para soportar 40A. En este caso no existe la posibilidad de conectarlo usando el neutro. En la Figura 79 se puede apreciar cómo quedaría conectado el filtro en nuestro esquema, así como su aspecto interior.



Figura 78. Esquema eléctrico del filtro D.



Figura 79. Conexión del filtro D en nuestro modelo experimental y muestra de su aspecto interior.

La gráfica obtenida con el filtro D se muestra en la Figura 80. Al contrario de lo que se podía suponer en un inicio, por tener solo parte resistiva, vemos que se produce una atenuación de 25 dB en la franja comprendida entre 65 y 75 kHz. Sin embargo se produce un pico considerable en la frecuencia de 65 kHz que antes no estaba y que no sabemos si podría impedir la lectura de los contadores asociados. En ese punto pasamos de tener 45 dB inicialmente a tener 65 dB. Es un incremento considerable para concluir que el filtro D no es una buena solución aunque cumpla con las especificaciones técnicas marcadas por el fabricante.

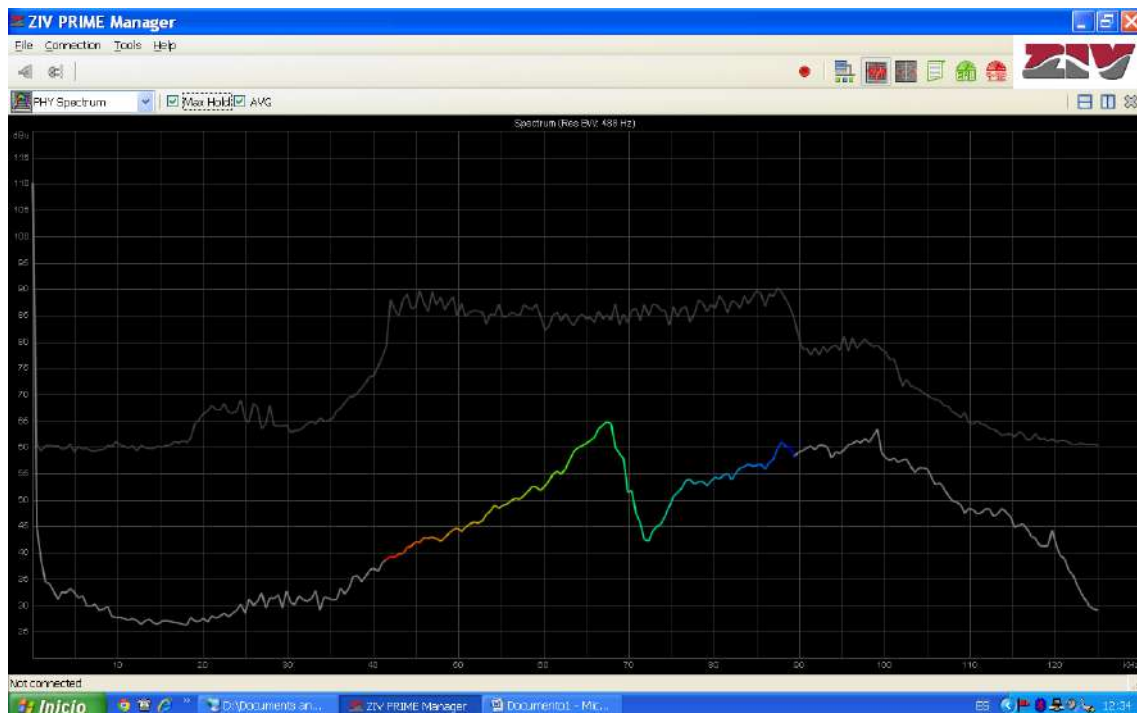


Figura 80. Gráfica obtenida utilizando el filtro D.

❖ Filtro E

El esquema eléctrico de este filtro queda detallado en la Figura 81. El filtro E está diseñado para trabajar a una frecuencia de 50/60 Hz y con una corriente nominal de 40 A, pudiendo llegar a soportar 45 A. Tiene posibilidad de filtrado en 1 fase o en las 3 fases (colocando un filtro en cada fase). Existe la posibilidad de conectarlo usando el neutro. Nosotros vamos a probar a conectarlo de las dos maneras, con neutro y sin el. En la Figura 82 y 84 se puede apreciar cómo quedaría conectado el filtro en nuestro esquema.

El esquema eléctrico es el siguiente:

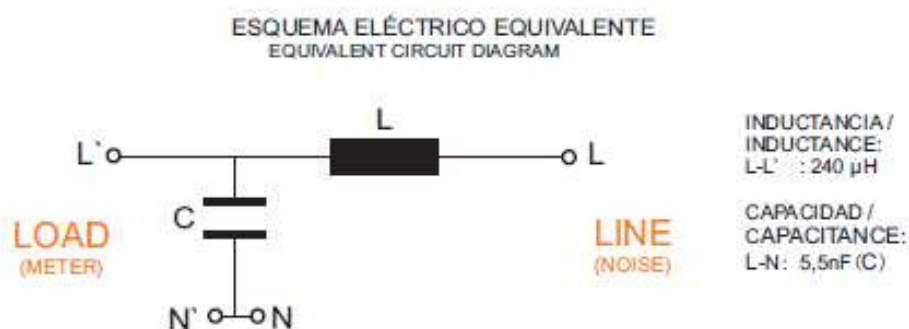


Figura 81. Esquema eléctrico del filtro E.

- Conexión sin neutro:

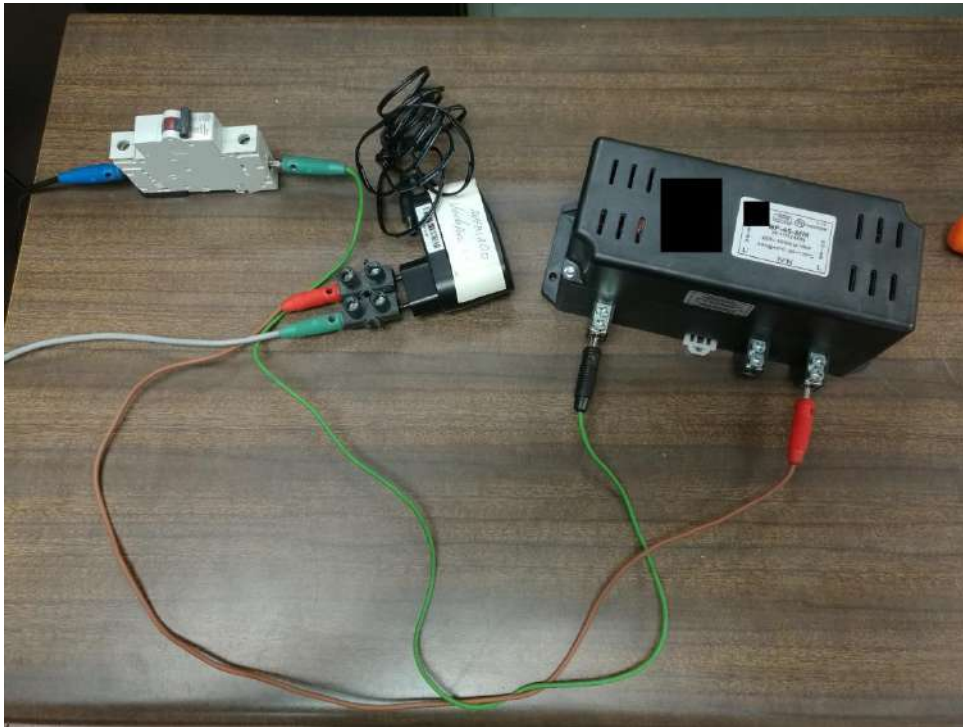


Figura 82. Conexión del filtro E en nuestro modelo experimental sin utilizar el neutro.

La gráfica obtenida con el filtro E conectado sin el neutro se muestra en la Figura 83. Podemos ver que nos sale un pico altísimo para la frecuencia de 80 kHz, por lo que sería imposible la lectura de los equipos de medición. Con la conexión sin el neutro vemos que no se cumplen con las especificaciones que marca el fabricante.



Figura 83. Gráfica obtenida utilizando el filtro E sin conectar el neutro.

- Conexión con neutro:



Figura 84. Conexión del filtro E en nuestro modelo experimental utilizando el neutro.

La gráfica obtenida con el filtro E conectando el neutro se muestra en la Figura 85. En este caso vemos que la señal se atenúa levemente para las frecuencias superiores a 80 kHz, sin embargo nos aparecen un par de picos de 25 dB en la banda comprendida entre 50 y 65 kHz que antes no aparecían, por lo que podrían impedir la lectura de contadores. Al contrario que con el filtro C, la conexión del neutro no ha atenuado la señal por completo.

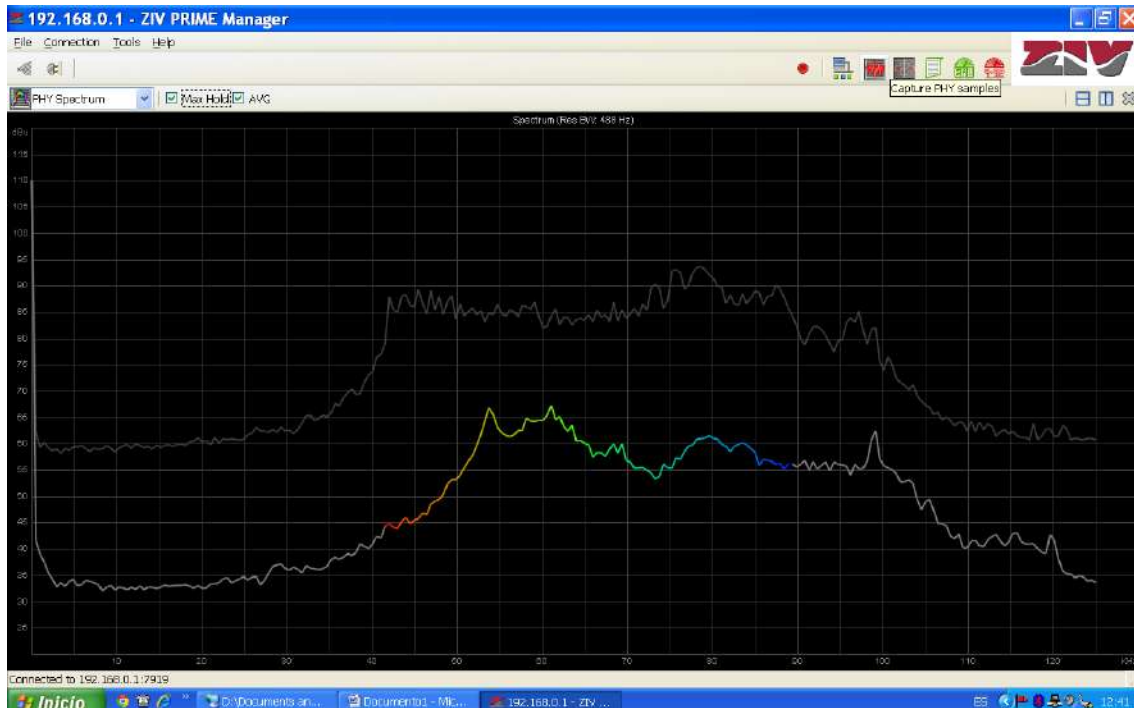


Figura 85. Gráfica obtenida utilizando el filtro E conectando el neutro.

❖ Filtro F

El esquema eléctrico de este filtro queda detallado en la Figura 86. Este filtro está diseñado para trabajar a una frecuencia de 50/60 Hz y con una corriente nominal de 40 A, pudiendo llegar a soportar 45 A. Tiene posibilidad de filtrado en 1 fase o en las 3 fases (colocando un filtro en cada fase). Existe la posibilidad de conectarlo usando el neutro. Nosotros vamos a probar a conectarlo de las dos maneras, con neutro y sin el. Es muy similar al filtro anterior, solamente cambia el valor de la inductancia y de la capacitancia. En la Figura 87 y 89 se puede apreciar cómo quedaría conectado el filtro en nuestro esquema.

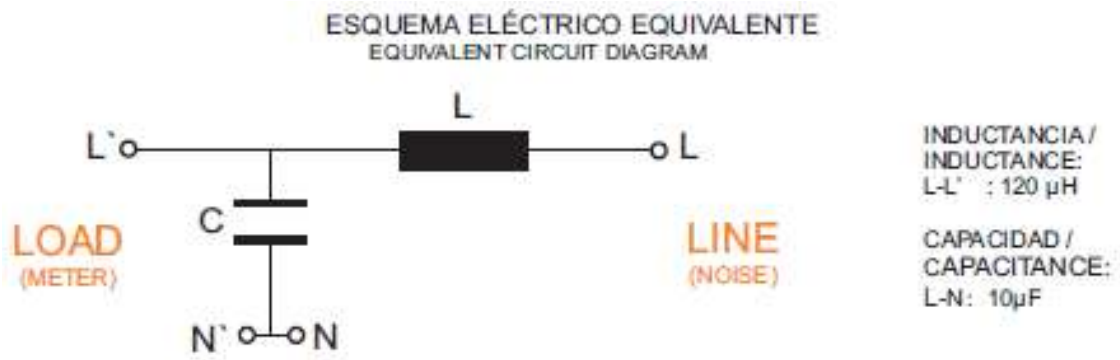


Figura 86. Esquema eléctrico del filtro F.

- Conexión sin neutro:

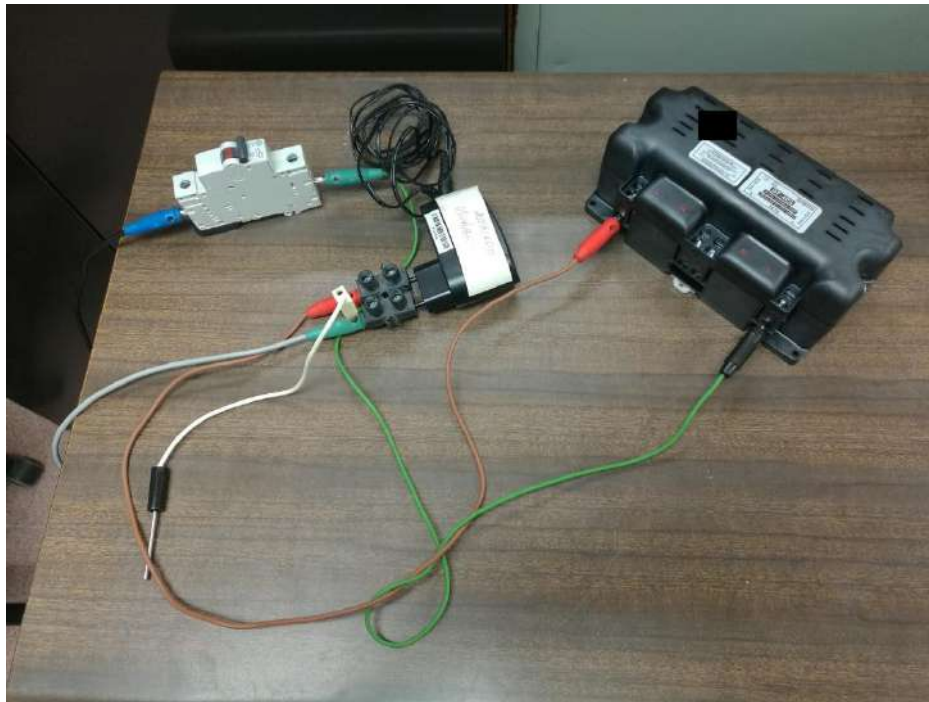


Figura 87. Conexión del filtro F en nuestro modelo experimental sin utilizar el neutro.

La gráfica obtenida con el filtro F conectado sin el neutro se muestra en la Figura 88. Podemos ver que se atenúa levemente a partir de los 85 kHz, pero esto no sería suficiente para mejorar la lectura de los contadores. Con la conexión sin el neutro vemos que no se cumplen con las especificaciones que marca el fabricante.

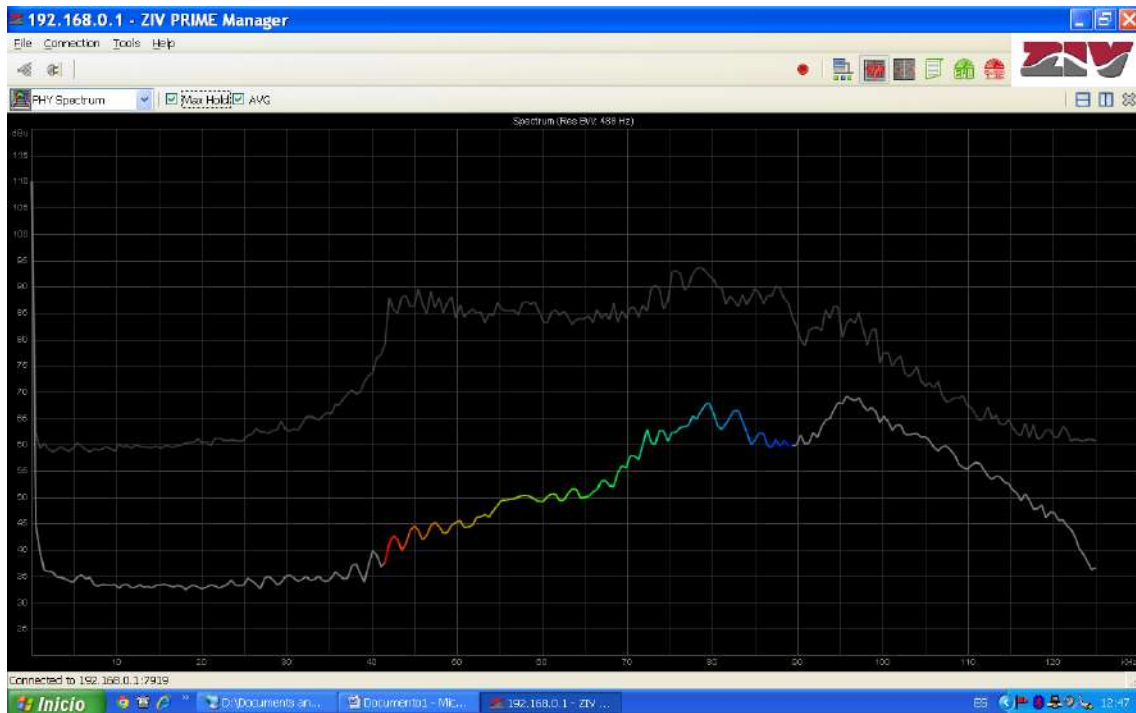


Figura 88. Gráfica obtenida utilizando el filtro F sin conectar el neutro.

- Conexión con neutro:

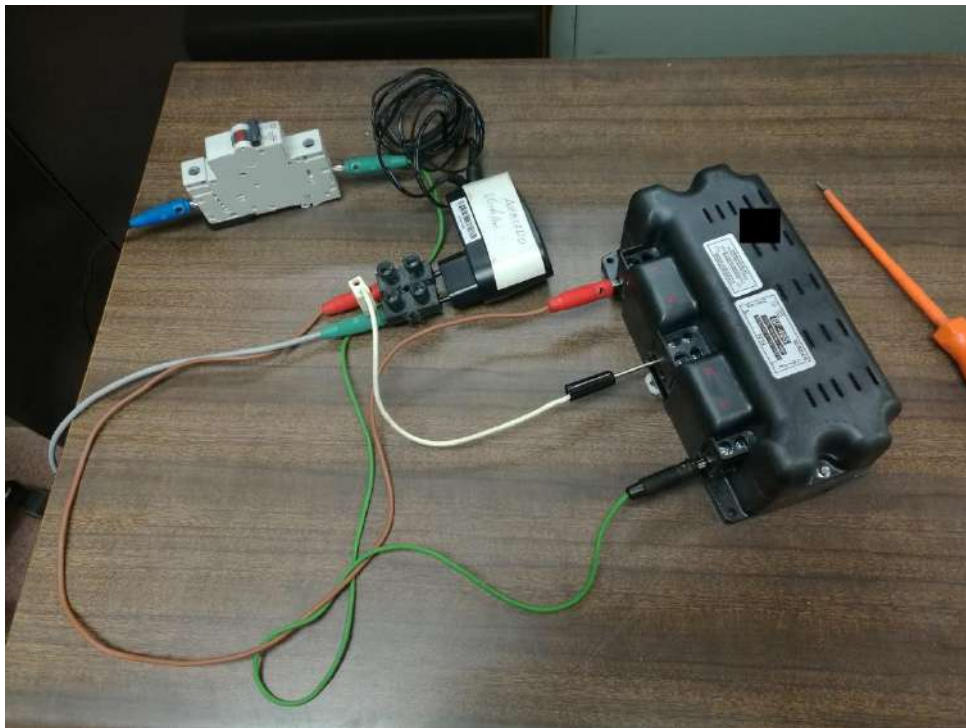


Figura 89. Conexión del filtro F en nuestro modelo experimental utilizando el neutro.

La gráfica obtenida con el filtro F conectando el neutro se muestra en la Figura 90. Podemos ver que al igual que nos pasó con el filtro C conectado el neutro, la señal se atenúa casi por completo, cumpliendo así con creces con las especificaciones que marca el fabricante y permitiendo la lectura de todos los contadores asociados.

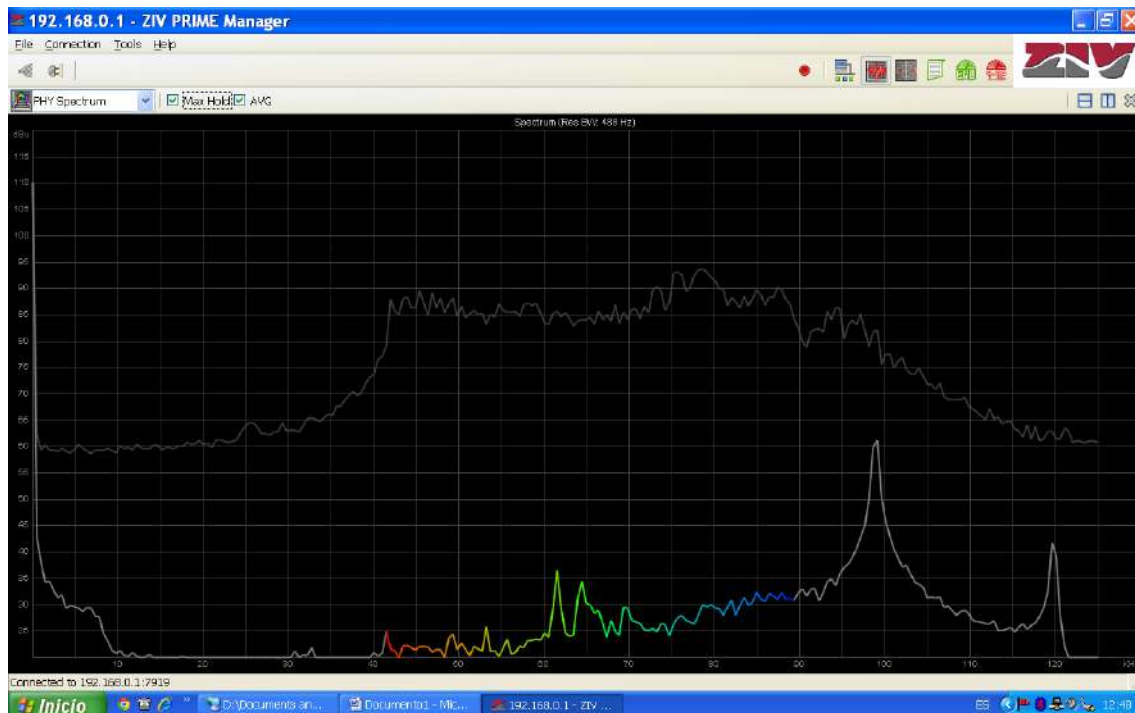


Figura 90. Gráfica obtenida utilizando el filtro F conectando el neutro.

Tanto el filtro C como el filtro F, conectándolos en serie y utilizando el neutro, nos proporcionan los mejores resultados de cara a la atenuación del ruido.

DISPOSITIVO NOISE (ARKOSSA)

Uno de los problemas que se nos puede plantear ante este estudio anterior de los filtros, es que no vamos a saber a ciencia cierta cual de ellos va a funcionar mejor. Si que es cierto que la experiencia ha hecho que sepamos sobre que frecuencias más o menos funcionan mejor unos y otros, pero el comportamiento no tiene por qué ser el esperado. Por todo ello, la empresa ARKOSSA ha diseñado un aparato denominado NOISE, visible en la Figura 91.

ARKOSSA ha creado un analizador de espectro versátil y ligero para la detección de ruido/interferencias y la calidad de la intensidad de la señal de las comunicaciones, diseñada pensando en la facilidad de manejo por parte de cualquier usuario, esta

herramienta puede conectarse a un smartphone, tablet o PC y llevar a cabo tareas de análisis y detección de ruido/interferencias en la señal PLC facilitando el diagnóstico de problemas y sugiriendo acciones correctivas sobre la marcha, como la colocación de distintos tipos de filtros que tiene registrados en su base de datos.

NOISE está preconfigurado para operar en un entorno de banda CENELEC A que incluye diferentes estándares como PRIME, G-3 o Meters & More. Al conectarse directamente a las redes de bajo voltaje NOISE facilita tareas de geolocalización en tiempo real, acoplamiento de dispositivo, visualización de componentes espectrales, genera gráficas de ruido e informes diagnósticos de posibles problemas que puedan ocurrir en los equipos desplegados o en la red. El manejo de NOISE es tan simple que no se necesitan grandes conocimientos de telecomunicaciones. Su tecnología innovadora y precisa proporciona análisis fiables al 100%. NOISE permite el análisis de frecuencias en un rango entre 10KHz y 100KHz. Para la toma de medidas en campo, se conecta directamente a la red de bajo voltaje.

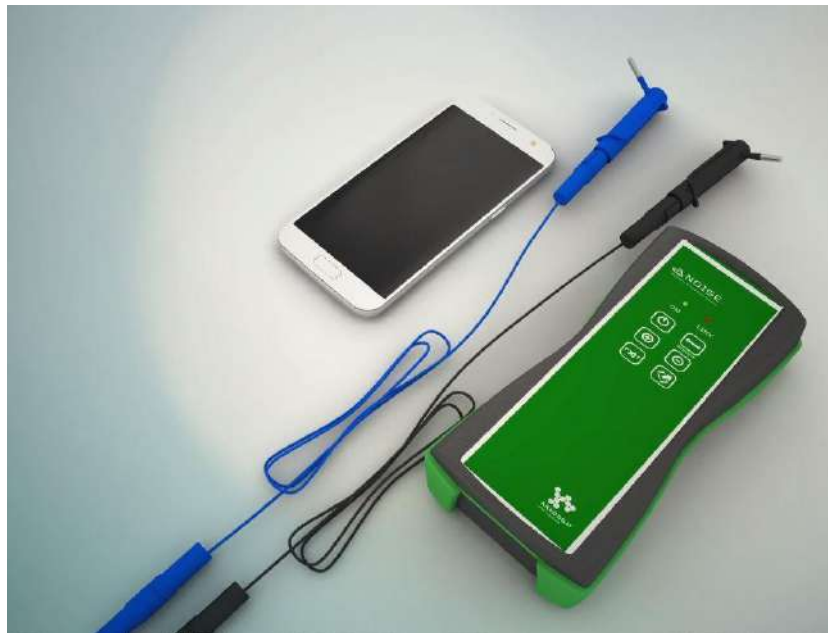


Figura 91. Equipo Noise diseñado por la empresa Arkossa.

Métodos para la lectura de contadores de energía eléctrica en la red de BT. Análisis particular del empleo de PLC.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo final de grado se han expuesto las diferentes tecnologías que se están utilizando hoy en día para el Smart Metering, con los diferentes elementos que las componen, los protocolos en las que están basadas, así como una evaluación de los diferentes problemas que se presenta a la hora de leer los nuevos contadores.

Atendiendo a los objetivos planteados en el primer capítulo, se ha generado una documentación y se han numerado algunas soluciones para poder cumplir con ellos.

En el capítulo 2 se ha desarrollado una descripción de las tecnologías utilizadas actualmente en el Smart Metering, tanto inalámbricas, las cuales no necesitan un soporte físico, como por cable, que sí que lo necesitan. Todas ellas son válidas para llevar a cabo un proceso de lectura de contadores, de ahí que se mencionen proyectos reales de cada una de ellas y donde se están implementando. En España, y con motivo de la realización de mis prácticas en una empresa de distribución eléctrica, la más utilizada es la tecnología PLC, que aprovecha una infraestructura ya creada.

En el capítulo 3 se ha relacionado las tecnologías antes mencionadas con el proyecto que está realizando Iberdrola en España, denominado STAR. Este proyecto se basa principalmente en la tecnología PLC de banda estrecha como medio principal, aunque hemos visto que se puede combinar con otras tecnologías para conseguir mejores resultados. Por otro lado se ha explicado cómo se realiza el despliegue de todos los equipos necesarios, así como los beneficios obtenidos de categorizar los centros de transformación según su funcionalidad.

Por último, en el capítulo 4, se han expuesto los problemas más importantes que influyen en las comunicaciones a través del canal PLC, siendo el más significativo el ruido. Como métodos de resolución se ha presentado la instalación de un equipo GTP y la colocación de filtros, que es lo que está utilizando hoy en día la empresa distribuidora de electricidad en la que estuve realizando las prácticas. A mayores se ha descrito el proceso genérico seguido para solventar un problema de ruidos, así como un caso real. Para finalizar se ha realizado una prueba con distintos tipos de filtros para ver cual era su comportamiento ante una fuente generadora de ruido.

Métodos para la lectura de contadores de energía eléctrica en la red de BT. Análisis particular del empleo de PLC.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Boletín oficial del estado”. <https://www.boe.es/>
- [2] “Introducción a la operación del sistema eléctrico español” Módulo 3. Capítulo 1. Operación del sistema eléctrico español. Postgrado en control de sistemas de energía eléctrica.
- [3] Francisco Casellas, Guillermo Velasco, Francesc Guinjoan y Robert Piqué. “El concepto de Smart Metering en el nuevo escenario de distribución eléctrica” Barcelona 2010.
- [4] Javier Cabeza López-Vazquez. “Estudio de la situación actual de las Smart Grids” Proyecto Fin de Carrera. Septiembre 2016.
- [5] Carlos Andrés Días, Juan Carlos Hernández. “Smart Grid: Las TICs y la modernización de las redes de energía eléctrica – estado del arte. Colombia 2011.
- [6] Juan F. Aguilar Saldaña. “Infraestructura de comunicación de un sistema AMR”. Trabajo de Fin de Master.
- [7] Luis Hernández. “Smart Grids/Smart Metering”. CIEMAT 2014.
- [8] Javier Lorente de la Rubia. “Estudio sobre el estado actual de las Smart Grids”. Proyecto Fin de Carrera 2011.
- [9] Dr. Ing. Thomas Springer. “Application Development for Mobile And Ubiquitous Computing”. Technische Universität Dresden.
- [10] Palak P. Parikh. “Opportunities and Challenges of Wireless Communication Technologies for Smart Grid Applications”. 2010 IEEE.
- [11] Abel García Pérez. “Estudio sobre tecnologías de red inalámbricas de área personal. Instalación, configuración y monitorización de una red zigbee. Cantabria 2017.
- [12] <https://www.ieee.org/>
- [13] Jordi Salazar. “Redes inalámbricas”. República Checa.
- [14] <http://www.zigbee.org/>
- [15] Victor Hugo Serna. “Comunicaciones a través de la red eléctrica – PLC”. Maxim France 2011.

- [16] “PRIME. Soluciones para sistemas AMI” Circutor.
- [17] Cédric Chauvenet. “G3-PLC, the standard of the LINKY roll-out and beyond”. Électricité de France 2016.
- [18] Jean Vigneron. “G3-PLC Powerline Communications Standard for Today’s Smart Grid” 2012.
- [19] <http://www.prime-alliance.org/>
- [20] Hernán Paz Penagos. “Ruido e interferencia en canales de comunicación por línea de distribución eléctrica”. Colombia 2008.
- [21] Noelia Uribe Pérez. “Análisis de la capacidad de PRIME para gestión de red en entornos con generación distribuida y sistemas de almacenamiento”. España 2017.
- [22] <http://www.globalsmartgridfederation.org/>
- [23] <https://www.espectrometria.com/>
- [24] http://www.albertia.com/Docs/WP/ALB-W012-000es_A1-Smartmetering.pdf
- [25] Nokia. “Deploying IP/MPLS Communications Networks for Smart Grids”.
- [26] “Equipos STAR” Iberdrola Distribución Eléctrica. 2012.
- [27] Amaya Bayona. “Proyecto STAR. Visión global”. 2012.
- [28] Javier Fernández. “Red inteligente”. 2012.
- [29] Iberdrola. “Las telecomunicaciones en el proyecto STAR”. 2012.
- [30] Iberdrola. “Planificación despliegue proyecto STAR”.
- [31] Iberdrola. “Tecnologías utilizadas en STAR”.
- [32] Iberdrola. “La red de comunicaciones”.
- [33] Iberdrola. “Fases del despliegue”.
- [34] Iberdrola. “Procedimiento de actuación ante bajas tasas de éxito en la operación sobre los contadores inteligentes, localizadas en un centro de transformación, por causa de relación señal a ruido insuficiente en subredes PRIME sobre la red eléctrica de baja tensión”. 2016.
- [35] Yefersson Cañon de Antonio. “Estudio de la factibilidad técnica de la implementación de PLC en la red de distribución eléctrica de Bogotá”. Colombia 2016.

- [36] S.Galli, A. Scaglione, Z. Wang. "Fort he grid and through the grid: The role of power line communications in the Smart grid". 2011.
- [37] <https://w3.usa.siemens.com/smartgrid/us/en/microgrid/pages/microgrids.aspx>
- [38] A. Moreno Muñoz, A. Gil de Castro, E. Romero Cavadal, S. Ronnberg, M. Bollen. "Supraharmonics (2 to 150 kHz) and multi-level converters". 2015.
- [39] P. Sutterling, W. Downey. "A power line communication tutorial – challenges and technologies".
- [40] M. Gotz, M. Rapp, K. Dostert. "Power line cannel characteristics and their effect on communication system design". 2004.
- [41] B. Baraboi. "Narrowband powerline communications applications and challenges".
- [42] O. V. Adekunle. "An overview of broadband comunnication over power lines". 2012.
- [43] B. Varadarajan, I. H. Kim, A. Dabak, D. Rieken, G. Gregg. "Empirical measurements of the low-frequency power line communications cannel in rural north America".
- [44] E. Biglieri. "Coding and modulation for a horrible cannel". 2003.
- [45] M. Zimmermann, K. Dostert. "Analysis and modeling of impulsive noise in broad-band powerline communications". 2002.
- [46] J. Knockaert. "High frequency power quality". 2016.
- [47] CENELEC SC 205^a Study Report Ed. 3. "Electromagnetic interference between electrical equipment/systems in the frequency range below 150 kHz". 2015.
- [48] Niovi Pavlidou. "Power line communications: state of art and future trends" 2003.
- [49] Pablo Emilio Rozo García, Johann Hernandez, Sandro Bolaños. "Ruido en un canal de comunicaciones a través de líneas eléctricas de potencia -PLC-" 2016.
- [50] Arturo G. Peralta, Ferney Amaya Fernández. "Evolución de las redes eléctricas hacia Smart grids en países de la región andina" 2013.
- [51] Commission for Energy Regulation (CER). "National Smart metering programme (NSMP)". 2012.
- [52] Fedit. "Smart Grids y la evolución de la red eléctrica". 2011.

- [53] Omar Enrique Morán, Luis Franklin Ortiz. “Estudio de la infraestructura de medición avanzada (AMI), principales requerimientos y beneficios”. Quito, 2012.
- [54] Alejandro David Aldas. “Interoperabilidad entre medidores inteligentes de energía eléctrica residencial para el DMQ bajo las normas ANSI”. Quito, 2015.
- [55] Eclareon. “Redes inteligentes: oportunidades de desarrollo y estrategia de implementación en Chile”. 2013.
- [56] <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11138/fichero/memoria%252FCap%C3%ADtulo+3.pdf>