

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INTEGRACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL SISTEMA ELÉCTRICO

TRABAJO FIN DE MÁSTER

***RUIDO Y EMISIONES ASOCIADOS A
LOS CARGADORES DE VEHÍCULO
ELÉCTRICO EN LA BANDA FCC***

Estudiante	<i>Castillo, Aguirre, Paula</i>
Director/Directora	<i>Zamora, Belver, Inmaculada</i>
Departamento	Ingeniería eléctrica
Curso académico	<i>2019-2020</i>

Bilbao, 29, Septiembre, 2020

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	OBJETO	1
1.2.	ALCANCE	1
2.	ESTADO DEL ARTE	1
2.1.	SISTEMA ELÉCTRICO	1
2.2.	EL VE EN EL SISTEMA ELÉCTRICO	2
2.3.	PUNTOS DE RECARGA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO	3
2.4.	NORMATIVA DE LAS INSTALACIONES DE RECARGA	4
2.5.	MODOS DE CARGA	5
2.5.1.	SEGÚN EL TIEMPO DE CARGA	5
2.5.2.	MODOS DE CARGA SEGÚN NORMA IEC-61851-1	6
2.6.	TIPOS DE CONECTORES PARA LOS DIFERENTES MODOS DE CARGA	10
2.7.	COMUNICACIONES ENTRE EL VE Y EL CARGADOR	12
2.7.1.	COMUNICACIONES MODO 3	13
2.7.2.	COMUNICACIONES MODO 4	16
3.	DESARROLLO TEÓRICO	16
3.1.	COMUNICACIONES EN EL SISTEMA ELÉCTRICO	16
3.2.	TECNOLOGIAS BASADAS EN PLC	18
3.2.1.	MODULACIONES PLC	20
3.2.2.	NB-PLC	21
3.3.	REDES DE DISTRIBUCIÓN COMO CANAL DE COMUNICACIÓN	23
3.3.1.	TOPOLOGÍA DE LA RED PLC	23
3.3.2.	IMPEDANCIA DE LA RED ELÉCTRICA	24
3.3.3.	ATENUACIÓN DE LAS SEÑALES TRANSMITIDAS	24
3.3.4.	NIVEL DE EMISIONES NO INTENCIONADAS	25
4.	METODOLOGIA	26
4.1.	PROCESADO DE SEÑAL	26
4.2.	METODOLOGIA DE MEDIDAS PARA CARACTERIZACIÓN DE NIE	34
4.3.	EQUIPO DE MEDIDAS	36
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	40
5.1.	IMPEDANCIAS	41
5.1.1.	RESULTADOS OBTENIDOS	41
5.1.2.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	51
5.2.	NIE	51
5.2.1.	RESULTADOS OBTENIDOS	51
5.2.2.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE NIE	69
5.3.	COMUNICACIONES	70
5.3.1.	RESULTADOS DE COMUNICACIONES	71
6.	CONCLUSIONES	74
7.	BIBLIOGRAFÍA	76

ÍNDICE FIGURAS

Figura.1.	Normativa de las instalaciones de recarga (Fuente: Circutor)	4
Figura.2.	Modo 1 de carga de VE. (Fuente: LuGEnerGy)	7
Figura.3.	Modo 2 de carga de VE. (Fuente: LuGEnerGy)	7
Figura.4.	Modo 3 de carga VE. (Fuente: LuGEnerGy)	8
Figura.5.	Modo 4 de carga VE. (Fuente: LuGEnerGy)	9
Figura.6.	Sistema conductivo carga para VE (Fuente: Circutor)	10
Figura.7.	Conector SCHUKO (Fuente:The Wallbox store)	11
Figura.8.	Conector SAE J1772 (Fuente: Endesa)	11
Figura.9.	Pines de conexión cargador SAE J1772 [10]	11
Figura.10.	Conector Mennekes (Fuente: Endesa)	11
Figura.11.	Pines de conexión del cargador Mennekes [10]	11
Figura.12.	Conector CHAdeMO (Fuente:The Wallbox store)	12
Figura.13.	Pies de conexión cargador CHAdeMO [10]	12
Figura.14.	Conector CCS (Fuente: MaesWell)	12
Figura.15.	Pines de conexión cargador CCS [10]	12
Figura.16.	Bornes del conector modo 3 (Fuente: LuGEnerGy)	14
Figura.17.	Circuito de conexión del piloto de control	14
Figura.18.	Valor de tensión en el CP según indicaciones de carga del VE	15
Figura.19.	Circuito de conexión del piloto de proximidad	15
Figura.20.	Bandas de frecuencia	18
Figura.21.	Diagrama de bloques básico de un sistema de comunicación PLC [16]	19
Figura.22.	Proceso de comunicación mediante PLC [17]	20
Figura.23.	Especificación bandas CENELEC en Europa y FCC en Estados Unidos [14] [17]	22
Figura.24.	Bandas de extensión de frecuencia PRIME v1.4 /FCC/ARIB [19]	23
Figura.25.	Espectro de una señal en dominio del tiempo y dominio de la frecuencia	26
Figura.26.	Medidas de ruido y armónicos	26
Figura.27.	Transformada de Fourier en el dominio de la frecuencia de señales habituales [27]	27
Figura.28.	Transformada de Fourier del seno [28]	28

Figura.29.	Transformada de Fourier del coseno [28]	28
Figura.30.	Conexión del osciloscopio a la red.....	29
Figura.31.	Conexión de la sonda y el osciloscopio.....	29
Figura.32.	Filtro de la sonda de paso alto y paso de banda	30
Figura.33.	Señal filtrada por la sonda.....	30
Figura.34.	Digitalización de la señal analógica con un tiempo de muestreo	31
Figura.35.	Obtención de $y_1(t)$	32
Figura.36.	Obtención de $y_2(t)$	32
Figura.37.	Obtención de la señal.....	33
Figura.38.	Señal con ventana gaussiana	33
Figura.39.	Señal con ventanas gaussianas con un 75% de solape	33
Figura.40.	Esquema sistema de medidas NIE [30]	35
Figura.41.	Esquema del procesado de resultados mediante las especificaciones del CISPR 16 [30].....	36
Figura.42.	Equipos de medida utilizados en IBIL	37
Figura.43.	Equipos del sistema de medidas (Montaje 2 LISN)	39
Figura.44.	Magnitud de impedancia medida IMP1.....	41
Figura.45.	Fase de impedancia medida IMP1	42
Figura.46.	Magnitud de impedancia medida IMP2.....	42
Figura.47.	Fase de impedancia medida IMP2	43
Figura.48.	Magnitud de impedancia medida IMP3A	43
Figura.49.	Fase de impedancia medida IMP3A.....	43
Figura.50.	Magnitud de impedancia medida IMP3B CH1	44
Figura.51.	Fase de impedancia medida IMP3B CH1	44
Figura.52.	Magnitud de impedancia medida IMP3B CH3/CH5	44
Figura.53.	Fase de impedancia medida IMP3B CH3/CH5	45
Figura.54.	Magnitud de impedancia medida IMP3B CH4	45
Figura.55.	Fase de impedancia medida IMP3B CH4	45
Figura.56.	Magnitud de impedancia medida IMP3B CH6/CH2	46
Figura.57.	Fase de impedancia medida IMP3B CH6/CH2	46
Figura.58.	Magnitud de impedancia medida IMP3B CH7	46
Figura.59.	Fase de impedancia medida IMP3B CH7	47
Figura.60.	Magnitud de impedancia medida IMP4A CH1	47
Figura.61.	Fase de impedancia medida IMP4A CH1	48

Figura.62.	Magnitud de impedancia medida IMP4A CH3/CH5	48
Figura.63.	Fase de impedancia medida IMP4A CH3/CH5	48
Figura.64.	Magnitud de impedancia medida IMP4A CH4	49
Figura.65.	Fase de impedancia de medida IMP4A CH4	49
Figura.66.	Magnitud de impedancia medida IMP4A CH6/CH2	49
Figura.67.	Fase de impedancia medida IMP4A CH6/CH2	50
Figura.68.	Magnitud de impedancia medida IMP4A CH7	50
Figura.69.	Fase de impedancia medida IMP4 CH7.....	50
Figura.70.	Espectrograma medición NIE 3A CH1.....	52
Figura.71.	Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 3A CH1	53
Figura.72.	Espectrograma medición NIE 3B CH1.....	53
Figura.73.	Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 3B CH1	54
Figura.74.	Espectrograma medición NIE 3B CH3-CH5	54
Figura.75.	Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 3B CH3-CH5.....	55
Figura.76.	Espectrograma medición NIE 3B CH4.....	55
Figura.77.	Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 3B CH4	56
Figura.78.	Espectrograma medición NIE 3B CH6-CH2	56
Figura.79.	Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 3B CH6-CH2.....	56
Figura.80.	Espectrograma medición NIE 3B CH7.....	57
Figura.81.	Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 3B CH7	57
Figura.82.	Espectrograma medición NIE 4A CH1.....	58
Figura.83.	Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 4A CH1	58
Figura.84.	Espectrograma medición NIE 4A CH3-CH5	59
Figura.85.	Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 4A CH3-CH5.....	59
Figura.86.	Espectrograma medición NIE 4A CH4.....	60
Figura.87.	Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 4A CH4	60
Figura.88.	Espectrograma medición NIE 4A CH6-CH2	60
Figura.89.	Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 4A CH6-CH2.....	61
Figura.90.	Espectrograma medición NIE 4A CH7.....	61
Figura.91.	Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 4A CH7	61
Figura.92.	Espectrograma medición NIE 4B	62
Figura.93.	Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 4B	62
Figura.94.	Espectrograma medición NIE 4B CH2.....	63
Figura.95.	Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 4B CH2	63

Figura.96.	Espectrograma medición NIE 4B CH3.....	64
Figura.97.	Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 4B CH3.....	64
Figura.98.	Espectrograma medición NIE 4B CH4.....	65
Figura.99.	Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 4B CH4.....	65
Figura.100.	Espectrograma medición NIE 4B CH5.....	66
Figura.101.	Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 4B CH5.....	66
Figura.102.	Espectrograma medición NIE 4B CH6.....	67
Figura.103.	Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 4B CH6.....	67
Figura.104.	Espectrograma medición NIE 4B CH7.....	68
Figura.105.	Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 4B CH7.....	68
Figura.106.	Espectrograma medición NIE 4B CH8.....	69
Figura.107.	Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 4B CH8.....	69

ÍNDICE TABLAS

Tabla I.	Principales tecnologías y características para sistemas AMI. [14].....	16
Tabla II.	Comparación entre NB-PLC y BB-PLC [18].....	20
Tabla III.	Escenarios de medidas	39
Tabla IV.	Lista de medidas en orden cronológico	40
Tabla V.	Medidas impedancias.....	41
Tabla VI.	Medidas NIE.....	51
Tabla VII.	Mediciones comunicaciones	72

RESUMEN

Castellano

En este proyecto se ha llevado a cabo la medición y caracterización de los ruidos y emisiones no intencionadas producidos por los cargadores de los vehículos eléctricos con el objetivo de analizar qué efecto producen estos en las bandas de comunicaciones FCC. Con el fin de conseguir el mismo objetivo y analizar la relación de los diferentes parámetros también se han llevado a cabo medidas de impedancia y comunicaciones en una situación de carga del vehículo eléctrico. La campaña de medidas se ha realizado en las instalaciones del Gestor de Carga del Vehículo Eléctrico IBIL, ubicadas en el Bilbao Exhibition Centre (BEC) mediante un sistema de medidas diseñado y realizado por el grupo TSR de la Escuela de Ingeniería de Bilbao. Los resultados obtenidos han sido procesados y analizados, para obtener las conclusiones reflejadas en este proyecto.

Euskera

Proiektu honetan zehar kotxe elektrikoak eta hauen karga postuak sortzen dituzten zarata eta sare elektrikora bidaltzen diren nahigabeko isurketak neurtu eta ezaugarritu dira, FCC komunikazio bandetan sortzen duten efektua aztertzeko helburuarekin. Helburu berdina lortzeko beste parametro batzuk ere neurtu dira, inpedantzia neurketak eta komunikazio neurketak ibilgailu elektrikoaren karga egoera baterako. Neurketak IBIL Ibilgailu Elektrikoen Karga Zuzendariaren instalazioetan burutu da, instalazio hauek Bilbao Exhibition Centre-ean kokatuta daude. Neurketa guztiak Bilboko ingeniarietza eskolako TSR taldeak diseinatutako eta burututako neurketa sistema batekin egin dira. Lortutako emaitzak prozesatu eta aztertu egin dira, proiektu honetan agertzen diren ondorioak lortuz.

Ingles

In this project, the measurement and characterization of emissions and unintentional noise produced by the chargers of electric vehicles has been carried out with the aim of analyzing what effect these produce on the FCC communications bands. In order to achieve the same objective and to analyze the relationship of the different parameters, impedance and communication measurements have also been carried out in a charging situation of the electric vehicle. The measurement campaign has been carried out in the facilities of the IBIL Electric Vehicle Charge Manager, located in the Bilbao Exhibition Centre (BEC) by means of a measurement system designed and carried out by the TSR group of the Bilbao Engineering School. The results obtained have been processed and analyzed, to obtain the conclusions reflected in this project.

ACRÓNIMOS

VE: Vehículo Eléctrico.

NIE: Non-Intentional Emission..

HVDC: High Voltage Direct Current.

DC: Direct current.

AC: Alternating current.

CCS: Combined Charging System.

IEC: International Electrotechnical Commission.

REBT: Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

ITC: Instrucción Técnica Complementaria.

BT: Baja Tensión.

PP: Pilot Proximity.

CP: Control Pilot.

PLC: Power Line Communication.

LAN: Local Area Network.

WAN: Wide Area Network.

AMI: Advanced Metering Infrastructure.

UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones.

NB-PLC: Narrow Band Power Line Communication.

UNB-PLC: Ultra Narrow Band Power Line Communication.

BB-PLC: Broad Band Power Line Communication.

OFDM: Orthogonal Frequency Domain Multiplexing.

TVAD: Television digital.

ARIB: Association of Radio Industries and Business.

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETO

La aparición del Vehículo Eléctrico (VE) está provocando un gran cambio en aspectos energéticos, tecnológicos, económicos y ambientales. Para que el desarrollo del VE crezca, la disponibilidad y los tipos de puntos de recarga son un tema a estudiar a fondo. Es necesaria, la implementación de algunos cambios para que en este proceso de evolución la red eléctrica no se vea afectada. [1]

El vehículo eléctrico presenta ventajas como la reducción de contaminación en la ciudad, el ahorro de energía, o la reducción de las emisiones de ruido. La carga de los vehículos eléctricos, se controla mediante comunicaciones específicas entre el VE y el cargador. Hay, además, otro tipo de comunicaciones entre el cargador y el resto de la red eléctrica (Smart Grid). Ambos tipos de comunicaciones pueden verse afectados por las señales de interferencia que entran a la red en los procesos de carga, como se analizara más detalladamente en este trabajo.

En este contexto, el objeto de este trabajo es analizar los diferentes fenómenos que interfieren en las comunicaciones, para así poder optar a buscar soluciones adecuadas que eviten estas interferencias producidas por la recarga del VE. El objetivo del proyecto es caracterizar los ruidos no intencionados que se emiten a la red, en el dominio de la frecuencia, hasta 500 kHz, donde se prevé que las comunicaciones vayan en un futuro. Para cumplir este objetivo se ha buscado una relación entre los ruidos emitidos en diferentes situaciones de carga y por diferentes vehículos eléctricos.

1.2. ALCANCE

El alcance de este trabajo se ha basado en caracterizar los diferentes problemas que pueden ocasionar los cargadores de VE en las comunicaciones, mediante líneas eléctricas.

Para ello, se han estudiado diferentes parámetros asociados a este fenómeno. Se ha llevado a cabo un estudio de la importancia que los diferentes valores de impedancia toman en diferentes situaciones de carga, así como los ruidos no intencionados (NIE) que se emiten en dichas y situaciones y, por último, mediante medidas de comunicación, se ha establecido una relación de cómo estos factores afectan a las comunicaciones. El último punto de este trabajo consiste en aportar una solución, estudiando diversos canales de comunicación, para conseguir que las comunicaciones no se vean afectadas por la recarga de VE conectados a la red.

2. ESTADO DEL ARTE

El estado del arte de este trabajo incluye una breves explicación de los cambios y avances que el sistema eléctrico está teniendo. Dando como resultado a nuevas tecnologías que hoy en día no están muy desarrolladas. Entre estas tecnologías se centrará en el coche eléctrico, puesto que será el objeto de estudio principal. En relación al coche eléctrico se han analizado los diferentes modos de carga y los tipos de conectores más utilizados.

2.1. SISTEMA ELÉCTRICO

El sistema eléctrico está sumido en un constante cambio. Los avances y las nuevas tecnologías exigen que este se vaya adecuando al momento, y también lo hagan las normativas y leyes que lo rigen.

En 1996, se aprobó la Directiva europea sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad, con unos objetivos claros y unos criterios mínimos de liberalización e introducción de la competencia en el Sistema Eléctrico. La mayoría de los países comunitarios deberían adaptar sus legislaciones eléctricas al nuevo esquema con anterioridad al 19 de febrero de 1999. España fue uno de los primeros países en adoptar los criterios emanados de esta Directiva, de forma que el 1 de enero de 1998 entró en vigor la ley 54/1997 [2] del sector eléctrico, que introdujo los cambios normativos más importantes de la historia del sector en España. Esta ley está ya derogada por la nueva Ley del Sector Eléctrico, Ley 24/2013. [3]

El siglo XXI se ha visto abocado a hacer frente a numerosos retos. El sistema de producción de energía eléctrica se encuentra inmerso en un proceso de transformación en su configuración, las fuentes de energía primaria incluyen las energías renovables, y varían las tecnologías a utilizar y los requisitos medioambientales. También, desde una concepción tradicional en la que grandes centros de generación abastecían a los lugares de consumo por medio de redes de transporte y distribución de gran capacidad y distancia, se está evolucionando hacia lo que se ha denominado “Generación Distribuida” de energía eléctrica. En esta nueva concepción, los puntos de generación y consumo se encuentran más próximos, y las pérdidas de transporte y distribución pueden disminuir significativamente. En este contexto, cobra mayor importancia la adecuada integración de las fuentes de generación renovables (con su carácter intermitente y no gestionable) y el concepto de eficiencia energética. En ambos casos, tanto desde un punto de vista técnico como económico. Adicionalmente, surgen otros conceptos y nuevos retos de implementación como microrredes, vehículos eléctricos, tecnologías de almacenamiento, líneas de transporte de corriente continua (HVDC), contadores inteligentes, redes inteligentes, gestión activa de la demanda, autoconsumo, etc. que se van poniendo en marcha poco a poco. [4] [5]

Por tanto, se convierte en un desafío llevar a cabo el correcto funcionamiento y la adecuada gestión entre todos estos elementos que poco a poco han ido sumándose al sistema eléctrico. Entre estos elementos uno de los que más importancia está cogiendo estos últimos años es el vehículo eléctrico, y es de vital importancia que su funcionamiento vaya acorde con las necesidades y requisitos que muestra en cada momento la red eléctrica.

2.2. EL VE EN EL SISTEMA ELÉCTRICO

La electrificación del transporte puede convertirse en el gran salto que las energías renovables necesitan para consolidarse, así podrían superar sus inconvenientes de no gestionabilidad y de no garantizar el suministro. No se conoce, a día de hoy, aplicaciones o métodos de almacenar la energía eléctrica a gran escala. Esto supone el mayor reto de las energías renovables, puesto que estas dependen de factores externos fuera del control del hombre, como pueden ser el sol o el viento. Esto hace que la generación que proviene de las energías renovables no pueda ir acorde con la demanda en todo momento, aunque, gracias al vehículo eléctrico y su desarrollo este inconveniente podría verse aliviado.

Entre las energías renovables, la energía eólica y la energía fotovoltaica presentan un gran potencial a corto y medio plazo para jugar un papel importante en el desarrollo del coche eléctrico. En momentos de mucho sol o viento, cuando la energía generada por estos tipos de sistemas sea mayor a la demanda del momento, la energía “sobrante” podrá utilizarse para recargar las baterías y en un futuro no muy lejano pueden verter la electricidad almacenada a la red en las horas punta. Se trabajaría de forma similar a un sistema de almacenamiento distribuido, a una gran escala, implicando a miles o millones de vehículos que, además, pasan la mayor parte del tiempo aparcados.

La integración bidireccional entre la red y los vehículos eléctricos crea las condiciones para integrar la generación de la electricidad y el transporte, abriendo más el horizonte a las energías renovables, que de esta forma podrán superar muchas limitaciones actuales. [6]

Una de las grandes ventajas del VE está relacionada con la eficiencia del motor eléctrico, que presenta un elevado par motor desde casi 0 revoluciones. Como no poseen caja de cambios tienen una mejor respuesta en aceleración y un muy buen comportamiento cinemático. Además, el vehículo eléctrico aprovecha la energía de los frenados, que en los vehículos convencionales constituyen pérdidas en forma de calor disipado a causa de la fricción. Asimismo, el vehículo eléctrico presenta un coste de mantenimiento y de combustible (recarga de energía eléctrica, excluyendo el coste de las baterías) mucho menor que el de un vehículo con motor de combustión interna.

2.3. PUNTOS DE RECARGA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

Las ventajas medioambientales que trae el uso del VE se pueden potenciar aún más en las instalaciones de recarga de estos vehículos. Estas superficies destinadas a efectuar la recarga de los vehículos pueden ser dotadas de paneles fotovoltaicos con los que obtener de forma limpia una parte de la energía eléctrica empleada para la recarga. Hay que considerar que la elevada dependencia de los combustibles fósiles en España, el previsible encarecimiento a medio plazo de los mismos, las negativas consecuencias sobre el medio ambiente de las energías convencionales y la incertidumbre real del futuro energético mundial, hacen aconsejable el desarrollo de todos aquellos usos de energías autónomas y limpias que técnicamente han demostrado ser viables y competitivas. [7]

Además del desarrollo tecnológico de las baterías, otro importante freno para el éxito comercial de los vehículos eléctricos es la necesidad de nuevas infraestructuras para su recarga. Ambas dificultades explican el desarrollo de los vehículos híbridos.

El combustible empleado por los vehículos eléctricos puros es la energía eléctrica recibida de la red eléctrica. La circulación de los vehículos eléctricos (a excepción de los híbridos) requiere de la ejecución de una considerable red de puntos de recarga para los vehículos eléctricos. El crecimiento del parque de vehículos eléctricos irá ligeramente precedido en el tiempo por la instalación de esta red de puntos de recarga. Desde hace muchos años, y dependiendo de las prestaciones de autonomía supuestas para el vehículo eléctrico comercial, se han estudiado varias estrategias para la red de puntos de recarga de vehículos eléctricos. Por supuesto estas estrategias, analizadas en parte por empresas externas a la fabricación de automóviles, dependen de las opciones y decisiones de los fabricantes de la industria del automóvil en cuanto a las características del sistema de recarga. Se pueden destacar principalmente dos sistemas de recarga.

- a. **Sustitución de baterías.** Con la instalación de electrolinerías de sustitución de baterías, en unos pocos minutos se completa el cambio de baterías sin que el conductor tenga que bajarse del vehículo. Una cadena automatizada utiliza dos plataformas para llevar a cabo el proceso. La primera extrae la batería vacía de la parte inferior del vehículo. Una vez retirada, la segunda instala una batería cargada procedente del almacén de la estación de servicio. En ningún momento hay flujo de corriente eléctrica hacia el vehículo.
- b. **Recarga de baterías permanentes.** Se basa en la implantación de terminales que recargan las baterías permanentes instaladas en los vehículos eléctricos. Estos puntos están distribuidos en los domicilios de los propietarios y en diversos puntos de la red

viaria: en parkings públicos y privados, en las bandas de aparcamiento municipales, en las actuales Estaciones de Servicio que incorporen esta nueva actividad o en nuevas electrolineras. En todos estos casos, la batería del vehículo se recarga, no se sustituye. Es evidente que la expansión de uno u otro sistema de recarga, o la coexistencia de ambos, depende de las decisiones estratégicas de diseño de los vehículos eléctricos establecidas por los fabricantes de automóviles. [7]

La carga de los vehículos eléctricos se controla mediante comunicaciones específicas entre el VE y el cargador. Hay, además, otro tipo de comunicaciones entre el cargador y el resto de la red eléctrica inteligente (Smart Grid). Ambos tipos de comunicaciones pueden verse afectados por las señales de interferencia que entran a la red en los procesos de carga.

Este trabajo se ha centrado en las comunicaciones que existen entre el vehículo eléctrico y la estación de carga. El sistema de carga estudiado ha sido el de recarga de baterías permanentes.

2.4. NORMATIVA DE LAS INSTALACIONES DE RECARGA

El problema de la normativa de las instalaciones de recarga viene ligado con los diferentes estándares, cargadores y normas que hay en este ámbito. Las instalaciones relacionadas con el vehículo eléctrico tienen que cumplir lo establecido en la instrucción técnica complementaria ITC-52 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT).

En la Figura 1 se pueden observar las diferentes normas y estándar relacionados con los diferentes aspectos relacionados con el vehículo eléctrico y sus componentes.



Figura.1. Normativa de las instalaciones de recarga (Fuente: Circutor)

Las normas referentes a las comunicaciones son las siguientes:

- **ISO/IEC 15118. Vehículos de carretera- Interfaz de comunicación vehículo a red.** Es un estándar internacional que define la comunicación del vehículo a la red (V2G) para la carga y descarga de vehículos eléctricos. Esta norma está compuesta por 9 partes, donde se establece desde la información general hasta los requisitos físicos y legales que tienen que cumplir las comunicaciones.

- **IEC 61851-24:2014.** *Sistema de carga por conducción de vehículos eléctricos.* Parte 24: Comunicación digital entre una estación de carga de vehículos eléctricos de CC y un vehículo eléctrico para el control de la carga de CC.

2.5. MODOS DE CARGA

Los VE dependen de un suministro de energía que puede llevarse a cabo de diversas formas y con características muy diferentes. Así, surge la primera pregunta relacionada con la recarga del VE, de dónde tomar ese suministro y cuánto tiempo se necesitará para cargar el vehículo. La generación de energías alternativas renovables como la hidráulica, solar, eólica y biomasa permitirán establecer diferentes fuentes para la generación de electricidad y establecer una infraestructura de carga con energía verde, tomando en cuenta el tamaño óptimo de la batería y su diseño en el VE, en donde los aspectos técnicos y económicos deben ser estudiados a fondo.

Para poder llevar a cabo un uso general de VE y cargadores, se han estandarizado los diferentes modos de carga, dando lugar a 4 modos de carga diferentes, según sus características y uso. Los vehículos eléctricos puros e híbridos enchufables necesitan de una fuente de alimentación externa para la recarga de sus baterías eléctricas. En los siguientes apartados se presenta una breve descripción de los diferentes tipos de carga. Se ha dado importancia a la comunicación que ofrece cada tipo de carga, pues es la característica principal a observar en este trabajo. [1] [8]

2.5.1. SEGÚN EL TIEMPO DE CARGA

Los tipos de carga según el tiempo se pueden agrupar en dos tipos de recarga, recarga lenta y recarga rápida. Estos grupos, a su vez, se pueden desglosar dando lugar a cinco subgrupos según la velocidad de carga, dicho de otra manera, según el tiempo necesario para recargar la batería del vehículo. El parámetro fundamental que establece el tiempo de carga que va necesitar el vehículo eléctrico es la potencia disponible en el punto de carga. En la siguiente clasificación se especifican los tiempos y potencia de cada tipo, los diferentes tipos de carga según el tiempo y sus características más importantes. [9]

- Recarga lenta:

- Recarga super-lenta: La intensidad de corriente se limita a corrientes de 10 A o menores. En estos casos la limitación de la corriente viene impuesta por no disponer de una base de recarga con protección e instalación eléctrica adecuada. La recarga completa de las baterías de un coche eléctrico medio, unos 22 a 24 kWh de capacidad, puede llevar entre diez y doce horas.
- Recarga lenta: Conocida como recarga normal o convencional. Se realiza a 16 A, se demandan alrededor de 3,6 kW de potencia. Recargar las mismas baterías citadas en el caso anterior, tardarían entre seis y ocho horas con este sistema de carga.

- Recarga rápida:

- Recarga semi-rápida: En inglés se suele llamar *quick-charge*. Se realiza a una potencia de unos 22 kW a 25 kW. Renault apuesta bastante por este tipo de recarga, por ejemplo, con su cargador de bajo coste Camaleón, compatible con el Renault ZOE. La recarga puede llevar una hora u hora y cuarto.

- Recarga rápida: La potencia que se demanda es muy alta, entre 44 kW y 50 kW. La recarga de esos 22 a 24 kW de baterías puede llevar media hora. Lo normal es que no se haga una recarga del 100% sino entorno al 80% o 90%. Una recarga total de la batería hace que su vida útil disminuya, y a larga puede suponer problemas para el correcto funcionamiento de la batería.
- Recarga super-rápida: La potencia de recarga es todavía más alta que en la recarga rápida, aproximadamente el doble. Este tipo de recarga la utiliza, por ejemplo, Tesla Motors en su Tesla Model S, con una potencia entre 90 y 120 kW. Recargar unos 250 km de autonomía viene a requerir unos 20 minutos.
- Recarga ultra-rápida: Apenas se usa este tipo recarga, y debe considerarse algo todavía experimental, en vehículos eléctricos a prueba con acumuladores de tipo supercondensadores (por ejemplo algunos autobuses eléctricos). La potencia de recarga es muy elevada (por encima de 130 o 150 kW), y en unos cinco o diez minutos se pueden recargar las baterías. Sin embargo, las baterías de iones de litio no soportan la temperatura tan elevada, que provoca este tipo de recarga, pues deteriora gravemente su vida útil.

2.5.2. MODOS DE CARGA SEGÚN NORMA IEC-61851-1

Los diferentes modos de carga normalizados están muy relacionados con la velocidad a la que se carga el vehículo eléctrico, los elementos usados para la carga y el tipo de corriente, alterna o continua, que se usa para la alimentación del vehículo. A continuación, se describen los cuatro tipos de carga especificados en la norma IEC-61851-1 que actualmente regula los tipos de carga de vehículos eléctricos.

- **MODO 1.** Es aquel modo de carga en una toma no destinada exclusivamente a la carga del mismo, como se muestra en la Figura 2. Es decir, es aquél que se realiza en un enchufe clásico doméstico y se conecta directamente a la red de AC (una toma SCHUKO). Un extremo de la manguera se conecta a un enchufe convencional y el otro extremo, con su adaptador, se conecta al vehículo. Hoy en día está prohibido en casi todos los países usar este modo de carga.

Este sistema es el más sencillo de los modos de recarga, pues consiste únicamente en llevar un cable del enchufe de 230 V al vehículo. Normalmente se cargan así pequeñas motos o bicis eléctricas u otro tipo de vehículo pequeño (patinetes, etc.). La toma no incluye seguridad y no se aconseja para vehículos o motos de mayor potencia, puesto que en un vehículo eléctrico pueden darse sobrecalentamientos, ya que estaría conectado más de 8 horas para lograr la carga completa y esto puede llevar a un deterioro de la batería, o a daños mayores que puedan llegar a producir explosiones.

La corriente máxima recomendada para este modo en cargas lentas es de 10A (2,3 kW). Este tipo de instalaciones suele incluir una protección diferencial y magnetotérmica. Además, este tipo de carga no tiene comunicación, entre el vehículo y el cargador. Por lo tanto, no existe información respecto al estado de la batería del coche, o la energía que la red pueda proporcionar en ese momento.



Figura.2. Modo 1 de carga de VE. (Fuente: LuGEnerGy)

- **MODO 2.** Consiste en la instalación por parte del usuario de una caja con un enchufe tipo Schuko, de forma preferente para la carga del vehículo eléctrico, como se muestra en la Figura 3. Este tipo de carga está pensada para la recarga doméstica, en el garaje del usuario. La caja debe estar provista de los sistemas de protección adecuados, y lleva una caja de control para regular y proteger la carga en su vehículo eléctrico. Por tanto, en este caso la conexión entre el coche eléctrico y la red no es directa.

Este modo de recarga es interesante en algunos tipos de coche híbrido enchufable o, un vehículo eléctrico pequeño, como son los cuadríciclos. Al existir un sistema de seguridad se permite controlar la fiabilidad de la conexión entre el vehículo eléctrico y la red y se pueden establecer unos parámetros de carga.

Con este modo de recarga se puede alcanzar una potencia máxima de 7,4 kW en tensión monofásica y hasta 22 kW en tensión trifásica, obteniéndose una corriente máxima de 32 A por fase. Al igual que en el modo 1 la instalación contará con protección diferencial y magnetotérmica. La conexión a la red puede realizarse por conectores de baja tensión tipo Schuko o CEE/CETAC de 16 A o 32 A.



Figura.3. Modo 2 de carga de VE. (Fuente: LuGEnerGy)

- **MODO 3.** Este modo de carga requiere de un dispositivo llamado wallbox, es decir, un punto de recarga destinado exclusivamente a recargar vehículos eléctricos. Este punto de recarga o wallbox (véase Figura 4) incorpora varios sistemas de protección necesarios para la seguridad de la instalación eléctrica y del vehículo. Según la legislación española (ITC-BT 52) este modo de recarga es obligatorio para los puntos de recarga de uso público.

La conexión del Vehículo Eléctrico a la red eléctrica se realiza mediante equipamiento dedicado en exclusiva a la recarga del vehículo eléctrico. Este modo 3 interesa especialmente para uso doméstico cuando se dispone de un vehículo híbrido enchufable con una autonomía considerablemente alta o un coche 100% eléctrico. El modo 3 permite recarga monofásica y

trifásica. Se puede alcanzar una potencia máxima de 7,4 kW en tensión monofásica y hasta 22 kW en tensión trifásica, con una corriente máxima de 32 A por fase, al igual que en el modo 2.

La mayor diferencia entre el modo 3 y el modo 2 está en la comunicación que hay entre el vehículo eléctrico y el cargador. Al realizar la carga mediante un cargador específicamente diseñado para la recarga de vehículos eléctricos, se permiten una serie de funciones adicionales. El cargador debe incorporar las protecciones en la propia infraestructura de carga y un conector específico que permite una serie de funciones adicionales, así como la posibilidad de seleccionar una potencia de recarga en función de las preferencias del usuario o de las necesidades específicas que tenga el vehículo que se está recargando.

Para este modo de carga se necesita un conector específico, que será Tipo 1 (SAE J1772) o Tipo 2 (IEC 62196-2) dependiendo de las características del vehículo. Progresivamente, este modo 3 se está generalizando dejando atrás el modo 2. Esto es debido al avance tecnológico en cuanto a potencia y capacidad de batería de los vehículos eléctricos, siendo el modo 3 más seguro, fiable y mucho más rápido.

El punto de recarga normalmente se coloca en la pared con un sistema específico para cargar el vehículo eléctrico. Monitoriza siempre la carga y dialoga con el vehículo eléctrico por medio de la manguera para ir regulando la carga según sus instrucciones, así la carga se hace de forma segura y se evita el desgaste prematuro de la batería. También detecta si el vehículo está enchufado y suministra tensión cuando está conectado y se da la orden. Si la manguera se suelta por alguna razón, el punto de recarga anula la alimentación y corta la tensión. Se elimina de esta manera los riesgos de accidente y que alguien use el enchufe para otro fin. Además, hay modelos de todo tipo de identificación personal, App para configuración, para ver el consumo, estado de carga, etc.

Resumiendo, este modo de carga se lleva a cabo mediante corriente alterna, y mediante unos relés se establece si el VE necesita ser cargado o no. No se puede controlar a cuanto, solo hacen una comprobación para asegurar que se mantiene dentro de unos márgenes establecidos. El algoritmo del modo de carga de las baterías está dentro del vehículo eléctrico. Aunque el usuario ponga el cargador a máxima potencia, si la batería está cargada en más de un 80%, el coche no va a demandar la carga a 32 A.



Figura.4. Modo 3 de carga VE. (Fuente: LuGEnerGy)

- **MODO 4.** La mayor diferencia entre el modo 4 de carga y los anteriores es que en este caso el vehículo se carga con corriente continua, como se observa en la Figura 5. Las potencias de recarga que puede soportar este modo de carga oscilan entre los 22 kW y los 50 kW.

Al igual que el modo 3, el modo 4 también incluye las protecciones necesarias en la infraestructura de carga así como el mismo sistema de comunicaciones, entre ellas: la

comprobación permanente de la toma a tierra, la verificación de conexión correcta, activación y desactivación de carga, así como la posibilidad de seleccionar una potencia de recarga en función de las preferencias del usuario o las necesidades del vehículo eléctrico que se esté recargando en el momento.

El conector estándar más utilizado para este tipo de recarga es el japonés CHAdeMO. Es decir que por el lado del vehículo se tiene un conector de Tipo 1 (SAE J1772 o Yazaki) o de Tipo 2 (IEC, Mennekes) y, a su vez, un conector CHAdeMO o CCS según el vehículo eléctrico a cargar. Por el lado del punto de recarga la extensión del cable deberá ser CHAdeMO.



Figura.5. Modo 4 de carga VE. (Fuente: LuGEnerGy)

Tras presentar las características generales de los diferentes modos de recarga, se pueden apreciar importantes diferencias entre ellos. Las mayores diferencias son el tipo de corriente en el que se hace la carga, el tiempo de carga y la comunicación que hay entre el cargador y el vehículo eléctrico. Este último punto es el aspecto de análisis en este trabajo, donde se ha profundizado en las comunicaciones entre el vehículo y el cargador. [10]

En base a lo establecido en la norma IEC-61851-1 las especificaciones concretas de los diferentes modos de carga se pueden observar de manera resumida en la Figura 6. [11]

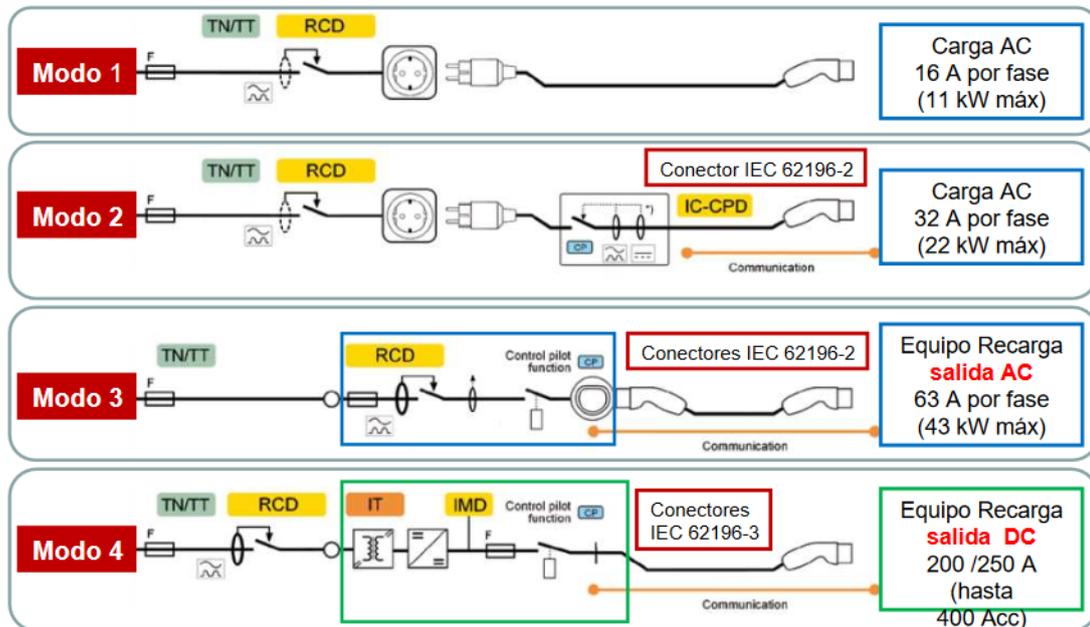
Normas equipos recarga**UNE-EN & IEC-61851-1 : Sistema conductivo carga para vehículos eléctricos**Especifica **4 modos de carga:**

Figura.6. Sistema conductivo carga para VE (Fuente: Circutor)

2.6. TIPOS DE CONECTORES PARA LOS DIFERENTES MODOS DE CARGA

Dependiendo del modo de carga utilizado y de la infraestructura de estos, existen diferentes tipos de conectores. Los conectores son dispositivos que permiten unir los diferentes circuitos eléctricos, en este caso el vehículo eléctrico con el cargador o la red eléctrica. Estos conectores se diferencian unos a otros por su construcción, número de pines o conexiones, tamaño, fiabilidad, facilidad de conexión y por la resistencia que pueden tener al contacto y a las vibraciones. Algunos de ellos se pueden configurar para asegurar que se eviten malas conexiones y con el uso de sistemas de bloqueo se mantiene una adecuada protección durante el estado de carga. [12]

En resumen, para la carga de un vehículo eléctrico se debe conectar a la red por algún tipo de enchufe, clavija o conector. Las tomas de corriente y sus conexiones son diferentes en los distintos países, ya que no se posee un estándar de conexión. Por eso, hay que analizar una gran cantidad de conectores.

Hay diferentes modelos estandarizados, por un lado, en Asia y EEUU, y por otro los de Europa. A su vez, como hay dos modos básicos de cargar el vehículo (corriente alterna o continua), esos estándares se multiplican por dos, dando como resultado, cuatro subfamilias: SAE J1772 y CHAdeMO en Asia y EEUU, y Mennekes y CCS Combo en Europa. A estos hay que añadirles el enchufe Schuko que como se ha mencionado anteriormente permite la carga de modo 1 y modo 2. [10] [13] A continuación, se presentan las características más relevantes de dichos conectores.

- **CONECTOR SCHUKO.** Es el tipo de conector que se usa en el modo 1 y 2 de carga, siendo el que se puede encontrar en cualquier vivienda europea con dos bornes (uno positivo y otro negativo) y una toma de tierra. Es usado para la recarga de motos y bicicletas eléctricas en modo

monofásico, alcanzando una intensidad máxima de 16 A, con tensión menor de 250 V y potencias de 2,3 kW. Están hechos para realizar una recarga lenta, este conector es uno de los más comunes y se trata de la conexión más sencilla. (Figura 7).



Figura.7. Conector SCHUKO (Fuente: *The Wallbox store*)

- **CONECTOR SAE J1772.** También conocido como Yazaki, lo ha estandarizado Japón y ha sido adoptado por los americanos y aceptado en Europa. Es el más usado para la recarga de vehículos eléctricos. Mide 43 mm de diámetro y se caracteriza por tener cinco bornes, de los cuales dos son de corriente, uno de tierra y dos de detección de proximidad y de control, que detectan si el coche está en movimiento y si hay una correcta comunicación. Se usa tanto en carga rápida como en carga lenta en modo monofásico ajustándose a tensiones e intensidades máximas de 32 A y una potencia de 7,4 kW. (Figuras 8 y 9).



Figura.8. Conector SAE J1772 (Fuente: *Endesa*)

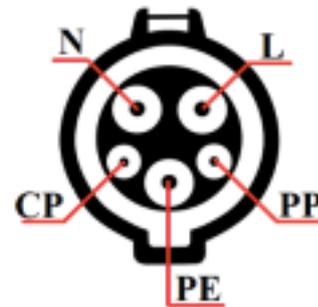


Figura.9. Pines de conexión cargador SAE J1772 [10]

- **CONECTOR MENNEKES.** Es un conector alemán de tipo industrial, conocido también como VDE-AR-E 2623-2-2 que cumple con la norma IEC 62196-2. Mide 55 mm de diámetro y tiene siete bornes, de los cuales cuatro son para corriente (trifásica), uno a tierra y dos para comunicaciones, alcanzando hasta 43 kA y 63 A para la recarga rápida. (Figuras 10 y 11).



Figura.10. Conector Mennekes (Fuente: *Endesa*)

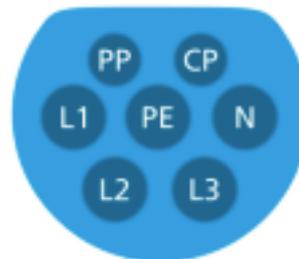


Figura.11. Pines de conexión del cargador Mennekes [10]

- **CONECTOR CHAdeMO.** Es el cargador utilizado por todos los vehículos japoneses, entre ellos las marcas Mitsubishi, Toyota, Subaru, etc. Este conector está diseñado para carga rápida y tiene diez bornes, toma de tierra y comunicación con la red. Admite hasta 200 A de intensidad cuando carga en recarga ultra-rápida. Comparado con los conectores anteriormente mencionados es el que mayor diámetro tiene. (Figuras 12 y 13)



Figura.12. Conector CHAdeMO
(Fuente: The Wallbox store)



Figura.13. Pines de conexión cargador CHAdeMO [10]

- **CONECTOR ÚNICO COMBINADO (CCS).** Este tipo de cargador surgió como solución a la recarga de DC propuesta por los norteamericanos. Es un conector combinado compuesto por un conector AC tipo 2 y un conector DC con dos terminales. Tiene cinco bornes, de los cuales uno es de toma a tierra, dos de corriente y dos de comunicación con la red. También es conocido como combo 2 y admite recarga tanto lenta como rápida, alcanzando hasta 90 kW y 200 A. (Figuras 14 y 15)



Figura.14. Conector CCS (Fuente: MaesWell)

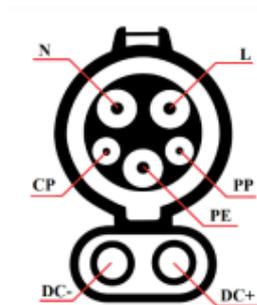


Figura.15. Pines de conexión cargador CCS [10]

2.7. COMUNICACIONES ENTRE EL VE Y EL CARGADOR

Una vez analizados los cargadores es importante mencionar que la naturaleza de las señales eléctricas puede ser variada y por ello el espectro de conectores eléctricos en el mercado es tan amplio. Estos conectores en general manejan dos tipos principales de señales; Por un lado, las señales de alimentación llamadas señales fuertes o de potencia, y por otro lado, las señales de datos o de comunicaciones, llamadas señales débiles o discretas.

Las señales fuertes son las encargadas de suministrar energía eléctrica al banco de baterías, que más tarde será enviada al motor. Las señales débiles permiten establecer la comunicación entre el

vehículo y el punto de recarga. Estas señales débiles permiten mediante la electrónica, conocer aspectos tales como si el vehículo eléctrico se ha conectado o desconectado, el nivel de cargas de la batería o cuando se ha completado la carga. No todos los modos de carga ni todos los conectores establecen este tipo de señales de comunicación.

Es decir, es necesario que el vehículo y el punto de recarga tengan una comunicación para el buen funcionamiento del VE durante el estado de carga y para así evitar problemas que puedan surgir por parte de una sobrecarga. Las comunicaciones entre el cargador y el vehículo pueden hacerse de distintas formas, como pueden ser alámbricas e inalámbricas. Además, estas comunicaciones pueden ser de diferentes niveles. A continuación, se da una breve descripción de estas posibilidades:

- **Comunicación vehículo-punto de recarga.** Esta comunicación se da en base a lo establecido en el protocolo indicado en la norma de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC 61851: Sistema conductivo para recarga de vehículos eléctricos.)

- **Comunicación Centro de gestión-poste de recarga.** La comunicación entre en centro de gestión y los postes de recarga deberá seguir lo establecido en la norma anteriormente mencionada (IEC 61851), esto se debe a que todavía no se ha desarrollado un protocolo específico que regule esta comunicación.

- **Comunicación punto de recarga-sistema de distribución eléctrico.** Debe haber una comunicación entre el punto de recarga y el sistema de distribución de energía, así podrá conocerse en tiempo real el funcionamiento y las necesidades, por un lado, de las operadoras eléctricas y, por otro lado, de los vehículos eléctricos conectados a la red. Mediante esta conexión se podrán disponer de datos como la potencia disponible en el momento o las necesidades eléctricas de una determinada subestación. Avanzando en estas comunicaciones, en el futuro se puede gestionar un flujo bidireccional de la energía, y ser útil para saber cuánta potencia se le puede ofrecer al coche para su carga, como, saber si se puede volcar energía del punto de recarga hacia la subestación en un momento en el que fuera necesario.

2.7.1. COMUNICACIONES MODO 3

Se trata del modo de carga más utilizado, normalizado por la IEC 61851-1. Gracias a las características en los conectores que se usan en este modo de carga se le pueden dar ciertas especificaciones al momento de carga. Se le puede ordenar al vehículo que cargue a una intensidad determinada y que ésta no sea superada, también permite ordenar una determinada intensidad que no deba ser superada. Así, se puede llevar a cabo una carga adecuada del vehículo, asociándose con las necesidades de la red en todo momento. Además, se puede controlar de una manera eficiente y eficaz, teniendo conocimiento del consumo y la producción eléctrica en cada momento, para poder establecer la cantidad de electricidad disponible para la carga del vehículo.

Este modo de carga no solo es el más utilizado, sino que también se considera el más seguro. En este caso el enchufe no está energizado, solo se energiza en el momento en el que el VE lo necesite. Esto hace que sea muy adecuado para estar conectado en la vía pública.

En la figura 16 se puede observar el tipo de conector utilizado para el modo 3 de carga y en él los diferentes pilotos que permiten que se de esta comunicación. Estos dos pilotos son: el piloto de proximidad (PP) y el piloto de control (CP).

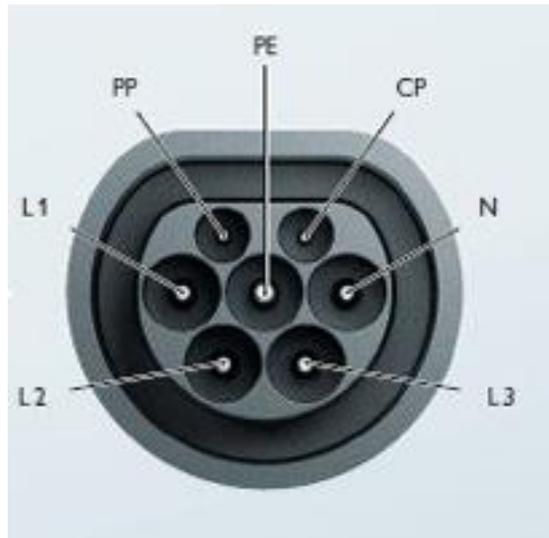


Figura.16. Bornes del conector modo 3 (Fuente: LuGEnerGy)

2.7.1.1. PILOTO DE CONTROL (CP)

Mantiene una comunicación entre el poste de recarga y el vehículo eléctrico. Mediante esta comunicación se establece cual es la corriente máxima a la que se puede cargar el vehículo conectado en ese momento. No siempre el cargador cargara a la corriente máxima permitida por el vehículo, puesto que a veces la red a la que está conectado ese poste de recarga no tiene capacidad suficiente para abastecer esa demanda. Así pues, se permiten establecer restricciones dependiendo de la red a la que se está conectado. Esta información la establece el poste de recarga.

La comunicación también se lleva a cabo en sentido contrario, desde el vehículo hacia el poste de recarga. En este caso el vehículo eléctrico informa de su estado, por ejemplo puede que esté cargando o fuera de servicio. En la figura 17 se puede observar cómo sería el esquema eléctrico en esta situación.

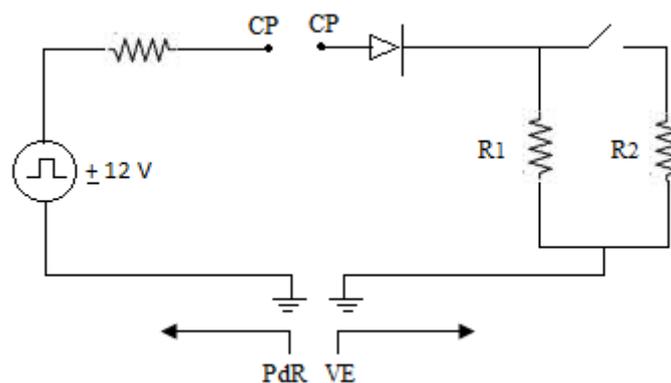


Figura.17. Circuito de conexión del piloto de control

El poste de recarga mide el punto del CP de manera analítica. El ancho de pulso se obtiene de una relación con el *duty cycle*. Mediante el cambio del ancho de pulso se establece la información de cuál es la corriente máxima. Si el vehículo no está conectado en el piloto de control se miden 12 V. Si el coche quiere cargar se cierra el interruptor del circuito, y la tensión cambia de valor, como se puede observar en la figura 18.

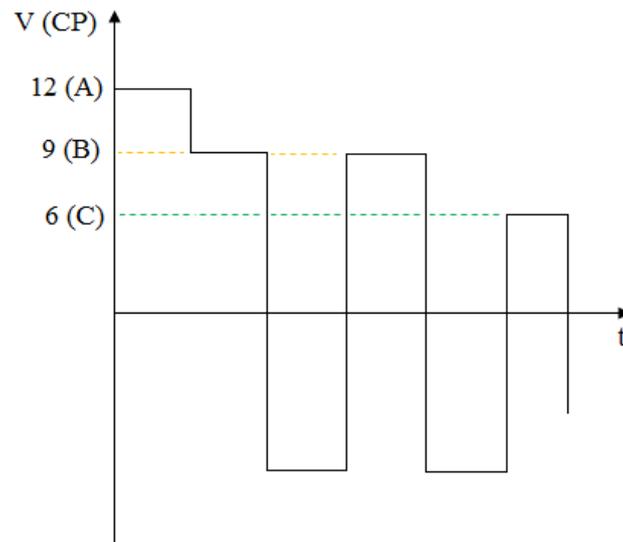


Figura.18. Valor de tensión en el CP según indicaciones de carga del VE

La relación y las indicaciones a seguir serían las siguientes, en el punto A no se detecta coche, cuando pasa al punto B se detecta que hay un vehículo conectado pero este no quiere cargar, por último en el punto C se detecta que hay un vehículo y este quiere cargar.

2.7.1.2. PILOTO DE PROXIMIDAD (PP)

Como se ha visto anteriormente existe, mucha variedad en los tipos de cargadores y mangueras de los diferentes vehículos eléctricos. Esto implica que el mayor problema se dé en la conectividad. En el poste de recarga se instala el conector que obliga la norma y es cada vehículo eléctrico el que debe llevar su manguera y así pueda unirse al cargador. El PP es el encargado de detectar que algo ha sido enchufado al poste de recarga. El esquema eléctrico es el de la figura 19. En este caso, el valor de la R_x está relacionado con la I_{max} que el poste de recarga ha establecido

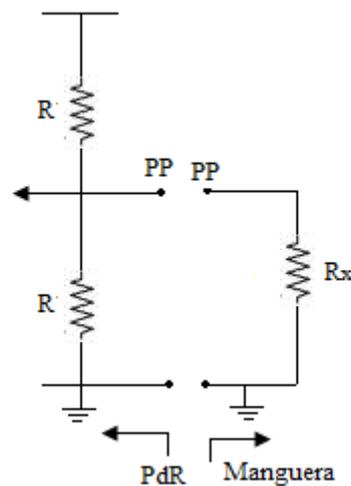


Figura.19. Circuito de conexión del piloto de proximidad

2.7.2. COMUNICACIONES MODO 4

El MODO 3 tiene comunicaciones limitadas y todo lo expuesto para este MODO no sirve para el MODO 4, puesto que en el MODO 4 es el vehículo eléctrico el que tiene que hacer las peticiones de carga.

En este caso se establece el valor del *duty cycle*, por ejemplo el modelo alemán lo establece al 5%, y de esta manera le está diciendo al poste de recarga que las comunicaciones se las va dar de otra manera. La comunicación se hace mediante PLC. El problema de este tipo de comunicación es que no es muy robusta respecto al ruido que se produce en ellas. La comunicación se hace entre 1-30 MHz.

Se pueden dar problemas en la comunicación. Por ejemplo, en cargadores conectados en gasolineras ubicadas en campo, se dan muchos problemas de ruido puesto que el inversor que se tiene es muy grande. Se envía la señal por medio del CP vía PLC y a causa del acoplamiento se pierde la señal. En este caso, la fuente de ruido es el propio poste de recarga, debido a los equipos electrónicos que lo componen. Este ruido toma ambas direcciones, por un lado hacia el vehículo eléctrico y por otro lado, y el más preocupante, el ruido que se filtra a la red eléctrica.

Si bien el ruido que se genera es mayor, puesto que las comunicaciones viajan por la línea PLC, la información de la que se puede disponer es mucho mayor. Se puede saber de quién es el vehículo que está conectado, autenticar que esa persona puede usar ese poste de recarga, controlar temas de tarificación, etc. El punto de carga tiene la capacidad para medir el estado de la batería.

Por tanto lo más adecuado sería disponer de este tipo de comunicaciones que se hacen a través de PLC sin que se produjesen ruidos tanto hacia el coche como sobre todo hacia la red eléctrica.

3. DESARROLLO TEÓRICO

3.1. COMUNICACIONES EN EL SISTEMA ELÉCTRICO

Existen diferentes tecnologías y protocolos de comunicación que poco a poco se están implantando, o se están realizando investigaciones para su desarrollo (Tabla I). El uso de estas tecnologías se está llevando tanto a niveles locales, LAN (*Local Area Network*), como a niveles WAN (*Wide Area Network*). Entre las diferentes tecnologías que se puedan emplear, *wire-less*, *wire-line*... Se centrará el estudio en la tecnología PLC.

La ventaja clave del PLC es el uso de las líneas eléctricas existentes como medio de comunicación, lo que proporciona el gran beneficio de eliminar los considerables costos de instalación de la infraestructura de redes, como cables o antenas.

Tabla I. Principales tecnologías y características para sistemas AMI. [14]

Tecnología cableada					
Tecnología	Tasa de bit	Bandas de frecuencia	Distancia	Ventajas	Desventajas
NB-PLC	< 500 Kbps	3-500 kHz	Varios km	El medio ya está instalado. Los equipos no dependen de baterías.	Medio hostil para las comunicaciones.
BB-PLC	< cientos de Mbps	1.8-250 MHz	Varios km		

xDSL	ADSL	800 Kbps de ↑ 8 Mbps de ↓	~ 1 MHz	5 km	El medio ya está instalado. Tasas de bits moderadas.	Costes de mantenimiento ↑ A mayor distancia menor eficiencia.
	HDSL	2 Mbps		3.6 km		
	VHDSL	15-100 Mbps		1.5 km		
Euridis		9.6 Kbps	80 MHz-1GHz	Cientos de m	Bajo coste. Tecnología conocida.	Bajas tasas de bits.
PON		155-2.5 Gbps		60 km	Elevadas tasas de bits. Inmunidad al ruido. Buen η durante kms.	Coste elevado.
Tecnología inalámbrica						
Tecnología		Tasa de bit	Bandas de frecuencia	Distancia	Ventajas	Desventajas
RF mallada			902-928 MHz	Depende de los saltos.	La red se amplía mediante saltos. Se forman enlaces ad-hoc de forma dinámica.	Sistemas propietarios. η decrece notablemente con la distancia.
Móvil	3G-4G	60-240 Kbps	824 - 894 MHz 1900 MHz	< 50 km	Amplia cobertura. Bajo mantenimiento. Bajo consumo. Flexibilidad de configuración.	Conexiones individuales caras. Tasas de bits moderadas.
	GSM	14.4 Kbps max.	900 - 1800 MHz	1-10 km		
	GPRS	170 Kbps max.	900 - 1800 MHz	1-10 km		
Redes PAN	ZigBee	20-250 Kbps	868 - 915 MHz	10-1000 m	Bajo coste. Bajo consumo.	Bajas tasas de bits. Problemas de seguridad.
	6LoWPAN	20-250 Kbps	2.4 GHz	10-1000 m		
	Bluetooth	721 Kbps	2.4 - 2.4835 GHz	1-100 m		
Redes LAN	Wi-Fi	54 Mbps max.	2.4 - 5.8 GHz	100 m	Alto nivel de fiabilidad y disponibilidad.	Se ve afectado por las emisiones de equipos cercanos.
	Enhanced Wi-Fi	54 Mbps max.	2.4 GHz			
	IEEE 802.11n	600 Mbps max.	2.4 GHz			
Redes MAN	WiMAX	70 Mbps	1.8 - 3.65 GHz	50 km	Buen η a largas distancias. Capacidad de servicio a miles de usuarios.	Costes más elevados en comparación con tecnologías similares.

Según la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) el rango de frecuencias que comprende el espectro radioeléctrico va desde 0 Hz hasta los 3000 GHz. En la práctica, el rango teórico de frecuencias está limitado. Las frecuencias inferiores a 9 kHz no suelen emplearse, ya que se trata de frecuencias de baja capacidad para transportar información en las que se producen interferencias considerables. Por otro lado, las frecuencias más altas del espectro están poco estudiadas o exploradas. La tecnología comercial actual no tiene capacidad para utilizar de forma efectiva las altas frecuencias del espectro. En la práctica, el espectro radioeléctrico comprende frecuencias desde los 9 kHz hasta los 275 GHz. En la Figura 20 se representa el espectro de frecuencias, con algún ejemplo de uso y caracterizando más detalladamente las bandas de frecuencia para PLC que se desarrollarán a continuación. [15]

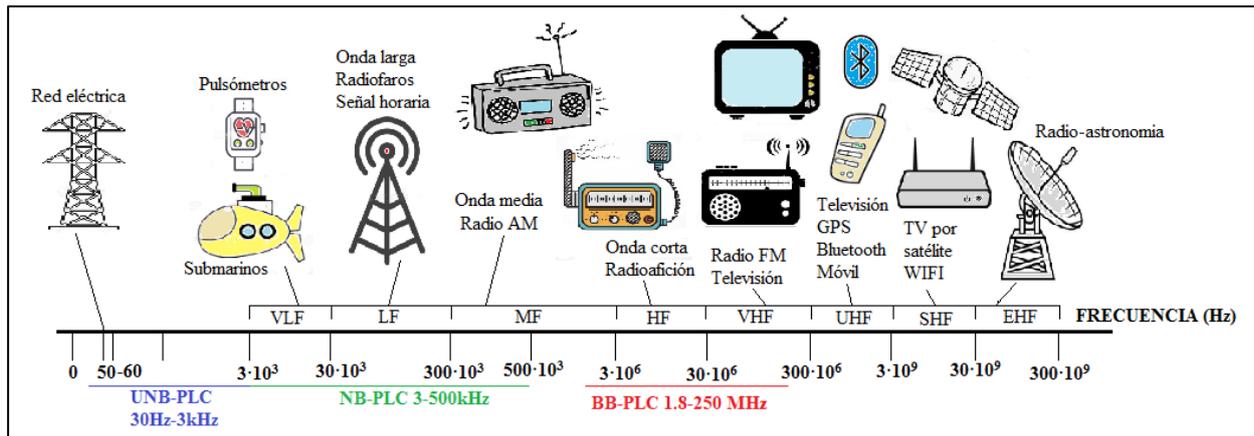


Figura.20. Bandas de frecuencia

3.2. TECNOLOGIAS BASADAS EN PLC

Las tecnologías basadas en PLC (*Power Line Communication*) consisten en utilizar las redes de distribución eléctrica como medio de redes de comunicación de alta velocidad. Dicho de otra manera, se refiere a cualquier tecnología que posibilita transferir datos a velocidades tanto de banda estrecha como de banda ancha, a través de la red eléctrica mediante tecnología avanzada de modulación. Teniendo en cuenta que estas líneas de distribución no están diseñadas para este uso, las señales de comunicación y la propia línea presentan una serie de características a tener en cuenta:

- La red eléctrica es difícil de modelizar en referencia a su canal de comunicaciones, debido al gran número de conductores e impedancias que se forman en dicha red.
- Las comunicaciones serán altamente dependientes de la localización del receptor y el transmisor, es decir, la distancia que haya entre los dos aparatos de comunicación.
- Presencia de diferentes desvanecimientos, atenuaciones y ruidos en las diferentes frecuencias de la red eléctrica.

El principio de la tecnología PLC consiste en superponer una señal de alta frecuencia (1.6- 30 MHz) con bajos niveles de energía sobre la señal de la red eléctrica (50 Hz, Europa). La señal de comunicaciones que se quiere mandar se transmite a través de la infraestructura de la red eléctrica (cables, componentes y elementos que constituyen la red). La señal enviada desde un punto de la red se puede recibir y decodificar de forma remota en cualquier otro punto de la red. Por tanto, cualquier receptor PLC que se encuentre conectado a la misma red eléctrica podría recibir la señal, o la información enviada, formándose así la comunicación entre emisor y receptor, siendo la vía de transporte del mensaje la red eléctrica existente (Figura 21).

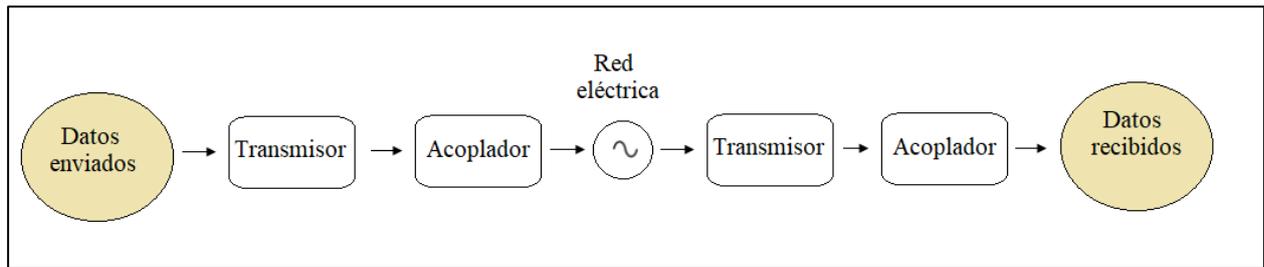


Figura.21. Diagrama de bloques básico de un sistema de comunicación PLC [16]

Para que se dé la comunicación, debe haber un sistema de transmisión capaz de inyectar una señal en la red, y otro sistema de transmisión que sea capaz de extraerla y procesarla para recuperar los datos que se han enviado. Una interfaz construida mediante un circuito de acoplamiento capacitivo o inductivo, se encarga de proporcionar un aislamiento galvánico y protección contra las perturbaciones que se puedan dar en el nivel de tensión de la línea.

La señal que se envía por medio del transmisor, debe coexistir con las tensiones de línea de 50 o 60 Hz, como con los distintos tipos de distorsión, por esto la transmisión en banda base resulta imposible. Es necesario añadir algún tipo de modulación que permita utilizar la red eléctrica a modo de canal.

Existen diferentes tipos de esquemas de modulación, cada uno con sus ventajas y desventajas. En particular, en el canal PLC, la aplicación de éstos está relacionada con la banda de frecuencia utilizada para el envío de señales, como se ha podido observar en la Figura 20. Para aplicaciones de PLC de banda estrecha se utilizan esquemas de modulación simples debido a su costo de implementación y simplicidad. Cuando se trata de aplicaciones de PLC de banda ancha se utilizan técnicas de modulación más complejas. Entre estas técnicas estaría, por ejemplo, la técnica OFDM (*Orthogonal Frequency Domain Multiplexing*).

En la Figura 22 puede observarse un ejemplo de comunicación mediante tecnología PLC:

- Un acoplador colocado en la entrada PLC receptor elimina las componentes de baja frecuencia antes de que la señal sea tratada. Hay que tener en cuenta que la línea eléctrica sigue en funcionamiento transportando señales de 50 Hz y que si éstas las recibiera el receptor la comunicación fallaría.
- Un modem de red eléctrica (PLM) convierte un dato binario en una secuencia de señales con características definidas anteriormente (frecuencia...) y viceversa. Realiza el trabajo en sentido inverso, convirtiendo en características los datos extraídos de codificaciones binarias. Este modem es el encargado de hacer los procesos de Modulación/Demodulación.
- Mediante una interfaz de línea de red eléctrica (PLI) se transmiten las señales moduladas sobre la red y detecta las señales que recibe, por lo que se lleva a cabo un proceso de transmisión/recepción.

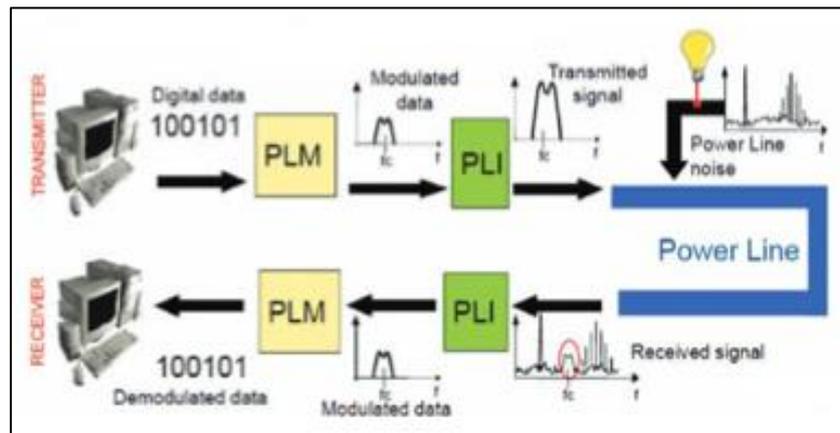


Figura.22. Proceso de comunicación mediante PLC [17]

3.2.1. MODULACIONES PLC

Clasificación de la tecnología PLC según el ancho de banda que emplea:

- **UNB-PLC** (*Ultra Narrow Band PLC*): Banda ultra-estrecha de 30 Hz a 3 kHz.
- **NB-PLC** (*Narrow Band PLC*): Banda estrecha de 3 a 500 kHz.
- **BB-PLC** (*Broad Band PLC*): Banda ancha de 1.8 a 250 MHz.

Hoy en día se puede distinguir entre dos clases de sistemas PLC: banda estrecha y banda ancha. Normalmente, el PLC de banda estrecha (NB-PLC) se refiere a la comunicación de ancho de banda bajo, utilizando la banda de frecuencia por debajo de 500 kHz y proporcionando velocidades de datos de decenas de kbps. El PLC de banda ancha (BB-PLC) utiliza una banda de frecuencias mucho más amplia, normalmente entre 2MHz y 30MHz, y permite velocidades de datos de cientos de Mbps (Tabla II).

Tabla II. Comparación entre NB-PLC y BB-PLC [18]

	NB-PLC	BB-PLC
Rango de datos	< 200 kbps	> 1 Mbps
Frecuencia	< 500 kHz	> 2 MHz
Modulación	FSK, S-FSK, BPSK, SS, OFDM	OFDM
Aplicaciones	Automatización de edificios Energías renovables Mediciones Avanzadas Iluminación exterior Vehículo eléctrico Smart Grid	Internet HDTV Audio Juegos
Proveedores	Ariane Controls Cypress Echelon Maxim ST Microelectronics Texas Instruments Yitran	Atheros Broadcom Lantiq Marvell Maxim Sigma

La banda ancha PLC representa una alternativa interesante al cable, DSL o Wi-Fi como solución para la distribución de Internet y la creación de redes multimedia en el hogar. En cuanto a la PLC

de banda estrecha, existe hoy en día un mercado potencialmente grande en el que se utilizan las tecnologías BB-PLC para aplicaciones de transferencia de datos de alta velocidad como Internet, TVAD y audio. El NB-PLC encuentra muchas aplicaciones en los mercados de comando, control y monitoreo, como la automatización de edificios inteligentes, la generación de energía renovable, la medición avanzada, el alumbrado público, los vehículos eléctricos enchufables, etc. [18]

Teniendo en cuenta el campo de aplicación de cada una de las tecnologías PLC y estando el alcance y objeto de este trabajo relacionado con el VE, AMI y las redes SG, es la banda NB-PLC la que se ha estudiado más a fondo.

3.2.2. NB-PLC

Los productos PLC deben ser compatibles y poder trabajar en sincronía con las normas generales de regulación internacional, así como las especificaciones que establecen los diferentes organismos reguladores. El rango de frecuencias de la Narrowband PLC varía dependiendo de la localización geográfica:

- En Estados Unidos lo regula el organismo FCC, (*Federal Communications Commission*), este organismo especifica un rango de frecuencias de entre 10 kHz y 490 kHz.
- En Asia lo regula el organismo ARIB, (*Association of Radio Industries and Bussines*), el cual define y especifica los rangos de entre 10 kHz hasta 450 kHz en Japón y desde los 3 kHz hasta los 500 kHz en China.
- En Europa el organismo regulador CENELEC, (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica), según la norma EN50065-1, asigna el rango de frecuencia de entre 3 kHz a 148.5 kHz. Esta banda está a su vez dividida en cuatro subbandas, como se puede apreciar en la Figura 23:
 - CENELEC A: (3-95 kHz) Reservado para compañías eléctricas.
 - CENELEC B: (95-125 kHz) Interiores o uso doméstico sin protocolo de acceso.
 - CENELEC C: (125-140 kHz) Aplicaciones en redes domésticas con protocolo de acceso.
 - CENELEC D: (140-148.5 kHz) Alarmas y sistemas de seguridad.

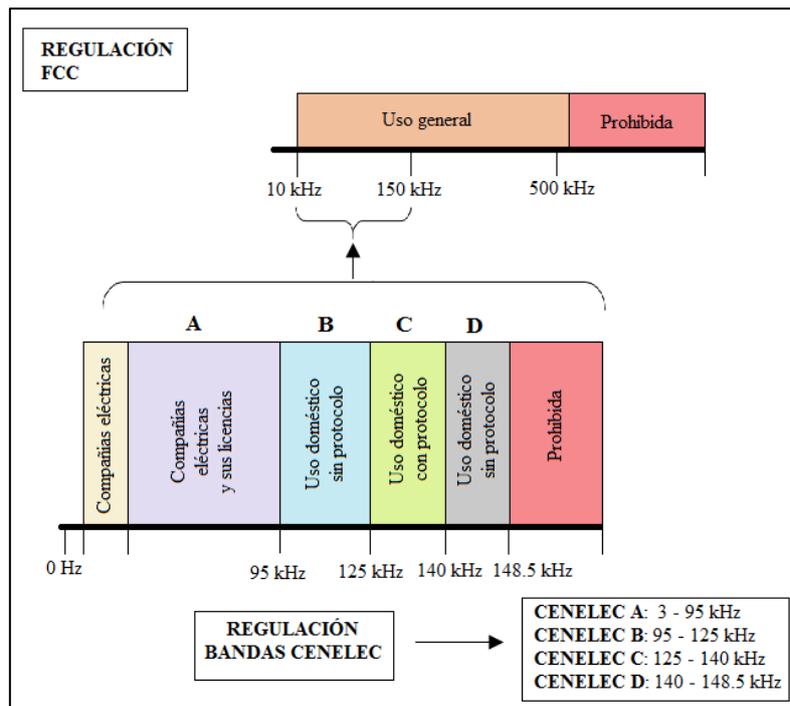


Figura.23. Especificación bandas CENELEC en Europa y FCC en Estados Unidos [14] [17]

3.2.2.1. PRIME v1.4

La alianza PRIME (*Powerline Intelligent Metering Evolution*) busca una solución, abierta y pública, que aparte de soportar tanto el “*Smart Metering*”, facilite la conexión completa de aparatos a través de la red eléctrica. Para lograr esto, la tecnología PLC es la más adecuada en comunicaciones de gran densidad de nodos y enlaces eléctricos.

PRIME es un proyecto que describe las capas MAC y física según lo asignado por la IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), para proporcionar un canal de comunicaciones y aplicaciones AMR. [17]

La PHY de PRIME especificó originalmente un esquema de modulación OFDM en la banda A del CENELEC (3 kHz hasta 95 kHz), que está destinado a las operaciones de la red de distribución según la norma EN 50065-1. La exitosa adopción de la tecnología PRIME en muchos países regulados por el CENELEC ha provocado una creciente demanda fuera de Europa con la consiguiente evolución de la especificación.

PRIME v1.4 extiende la banda del sistema hasta 500 kHz, multiplicando por ocho el ancho de banda originalmente disponible. El uso de esta gama de frecuencias extendida está sujeto a las regulaciones locales aplicables.

La especificación PRIME v1.4 PHY utiliza la banda de frecuencias de 42 kHz a 472 kHz. Este rango se divide en ocho canales, que pueden ser usados como canales independientes únicos o como una banda única de transmisión/recepción. La Figura 24 muestra la asignación de canales de PRIME v1.4.

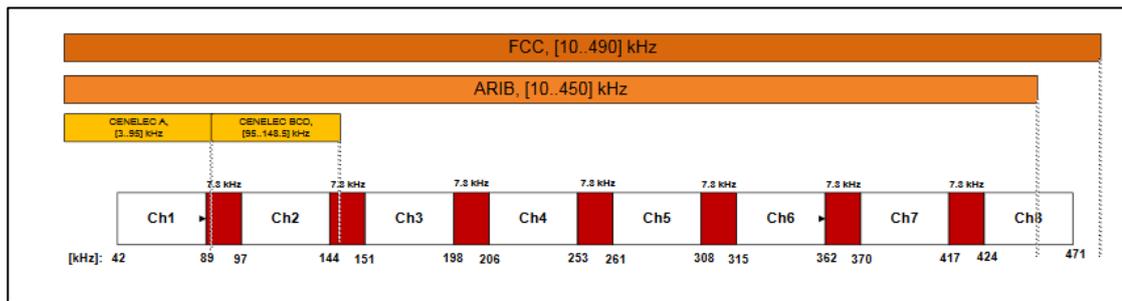


Figura.24. Bandas de extensión de frecuencia PRIME v1.4 /FCC/ARIB [19]

La modulación OFDM se especifica en cada canal, con la señal de datos cargada en 97 subportadoras igualmente espaciadas, transmitidas en símbolos de 2240us, de los cuales 192us están compuestos por un prefijo cíclico corto. Los canales adyacentes están siempre separados por intervalos de guarda de quince subportadoras (7,3 kHz). La nueva capa PRIME v1.4 PHY se refiere al encabezamiento PRIME v1.3.6 como "Tipo A", ampliando el concepto de este encabezamiento para la extensión de la banda mediante la inclusión de más bytes MPDU en los dos símbolos de encabezamiento que se transmiten en los canales adicionales disponibles. [20]

3.3. REDES DE DISTRIBUCIÓN COMO CANAL DE COMUNICACIÓN

Las redes eléctricas son completamente diferentes a los medios de comunicación en aspectos tales como, la topología, propiedades físicas y función de transferencia.

El rendimiento de la red eléctrica de baja tensión (red de distribución) como medio de transmisión es variable en cuanto a la frecuencia, el tiempo y altamente dependiente del número y la ubicación de las cargas conectadas en un momento determinado [21].

Para evaluar de manera efectiva el rendimiento de las tecnologías de comunicación en términos de capacidad, cobertura, velocidad de datos y robustez, es necesaria una caracterización detallada de este medio de transmisión. Para lograr este objetivo, deben analizarse tres aspectos clave para toda la gama de frecuencias: la impedancia de la red eléctrica, la atenuación de las señales transmitidas a medida que se propagan y el nivel de emisiones no intencionales de los dispositivos conectados a la red. [22] [23] [24]

En los últimos años se ha incrementado en gran escala el número de dispositivos conectados a la red eléctrica. Este tipo de dispositivos introducen emisiones no deseadas a la red, cuyo nivel tiene que mantenerse en un nivel inferior al de las señales PLC para garantizar el correcto funcionamiento de las comunicaciones. En condiciones normales de funcionamiento estos equipos suelen operar con frecuencias de conmutación por encima de 2 kHz, produciendo emisiones no deseadas denominadas supraarmónicos (2-150 kHz). Entre este tipo de equipos se pueden encontrar dispositivos de iluminación, inversores fotovoltaicos, turbinas eólicas y cargadores de vehículos eléctricos. Siendo este último dispositivo, el campo de estudio de este trabajo. Los vehículos eléctricos emplean rectificadores de potencia electrónicos para cargar sus baterías. Este tipo de dispositivos y circuitos puede introducir supraarmónicos en la red eléctrica debido a la frecuencia de conmutación de los cargadores.

3.3.1. TOPOLOGÍA DE LA RED PLC

Una red PLC interna consta de un bus troncal con una distribución de ramas a partir de este bus troncal, uniendo los externos de transmisor y receptor. A causa de su estructura, el ancho de banda del que dispone la red se comparte con todos los puntos conectados a esta red. Un canal de

comunicación PLC se puede representar mediante un modelo de línea de transmisión. Cualquier medio de comunicación vía cableado, cuenta con un transmisor y un receptor colocados en los diferentes extremos de la línea.

Para saber si la red eléctrica que se va usar como canal de comunicación es adecuada para tal fin, es necesario analizar tres parámetros característicos de la red. Por un lado interesa que la NIE (V) sea lo menor posible, que los parámetros de impedancia Z (V, I) sean los más adecuados y que la atenuación de las señales sea pequeña.

Al conectar un medidor inteligente, va a generar una señal para poder recibir y enviar sus lecturas y el equipo también tiene una impedancia. Para que la señal sea óptima, Z_g y Z_{red} tienen que ser complejas conjugadas dando pie al teorema de máxima potencia. Por tanto, es importante conocer la impedancia de la red para poder así adaptar a un valor óptimo la impedancia del equipo de medición.

3.3.2. IMPEDANCIA DE LA RED ELÉCTRICA

En una frecuencia determinada el valor de una impedancia se calcula mediante la relación entre una señal de tensión, aplicada sobre la impedancia a dicha frecuencia, y la señal de corriente que se produce. Cuando se trata de caracterizar la impedancia de la red eléctrica funcionando como canal de comunicación, se desea caracterizar la impedancia que ve el transmisor para una banda de frecuencia concreta. Esto se realiza inyectando una señal que lleva a cabo un barrido de frecuencia y a la vez realiza una medición de las señales de tensión y corriente, las cuales posteriormente se procesan de manera digital para así calcular la impedancia reflejada por el acoplador, y así poder obtener la impedancia de carga que hay en el punto de conexión a la red eléctrica. [16]

Para poder caracterizar la impedancia de la red entre los dos puntos en los que se va a conectar el vehículo eléctrico son necesarias dos sondas, una sonda de tensión y otra de corriente.

3.3.3. ATENUACIÓN DE LAS SEÑALES TRANSMITIDAS

La atenuación significa pérdida de energía. Cuando una señal viaja a través de un medio de transporte, va perdiendo energía debido a las imperfecciones o a las características del medio de transporte.

En líneas de transmisión de cobre, como es la red eléctrica, la pérdida de energía se da debido a la resistencia eléctrica que tienen los conductores. Para mantener la energía de la señal se utilizan amplificadores o repetidores. La atenuación en dB de una señal está relacionada con la expresión (1):

$$A = 10 \log_{10} \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \quad (1)$$

Donde,

A: Atenuación de la señal en dB.

P_1 : Potencia de entrada en W.

P_2 : Potencia de salida en W.

El dB queda definido como una relación de dos potencias. El valor de A es negativo si se ha atenuado, y positivo si se ha amplificado.

Hay que tener en cuenta las pérdidas, ya que una pérdida de 3 dB en una línea, entre un transmisor y su antena, significa que solo la mitad de la potencia de la señal llega del transmisor a la antena. El resto de la potencia se pierde por la línea en forma de calor. [25]

3.3.4. NIVEL DE EMISIONES NO INTENCIONADAS

Las NIEs son ruidos o señales no intencionadas que generan los dispositivos conectados a la red. Los dispositivos electrónicos tales como inversores, rectificadores o fuentes de alimentación son los dispositivos que en mayor medida causan este tipo de emisiones. Los ruidos que emiten estos dispositivos obstaculizan en mayor o menor medida las comunicaciones que quieren mandarse a través de la red eléctrica..

Las emisiones no intencionales se han clasificado principalmente en tres tipos diferentes [23], [26]:

- **Ruido impulsivo:** El ruido impulsivo puede considerarse una perturbación momentánea de poca duración de forma que, habitualmente la duración de este tipo de ruido es inferior a 100µs. El procedimiento de conmutación de los transistores de potencia utilizados para la conversión DC/AC genera señales impulsivas de gran amplitud alrededor de 100 kHz y más.
 - **Ruido impulsivo periódico sincrónico con la red.** Este tipo de ruido impulsivo suele ser creado por dispositivos no lineales que incluyen circuitos de alimentación y dispositivos para el control de motores. Es un ruido cicloestacionario sincronizado con la señal de 50 Hz.
 - **Ruido impulsivo periódico asíncrono con la red.** Este tipo de ruido impulsivo suele ser creado por las fuentes de alimentación conmutadas. Presentan tasas de repetición de entre 50 y 200 kHz.
 - **Ruido impulsivo asíncrono.** Este tipo de ruido ocurre de manera aleatoria y suele ser creado a causa de los transitorios que se dan en la red, provocados por la conexión y desconexión de aparatos. Son de naturaleza esporádica y por ello no son estacionarios.
- **Armónicos de la frecuencia de conmutación:** los dispositivos de conmutación generan señales espurias en múltiplos de la frecuencia de conmutación, que suele ser superior a 10 kHz, o en otros casos incluso superior a 20 kHz para ser inaudible.
- **Interferencias de banda estrecha:** este tipo de interferencias se acoplan a los cables que hay en la red eléctrica por medio de la radiación. Por lo general suele tratarse de perturbaciones casi estacionarias, aunque cuando se trata de equipos domésticos sus características cambian según la utilización de los aparatos.
- **Ruido de fondo coloreado:** este tipo de ruido suele ser mayor en las frecuencias más bajas y puede caracterizarse por varias fuentes de ruido blanco en bandas de frecuencia no superpuestas. Representa el resto de ruido que provienen de las demás fuentes no localizadas. Sus orígenes pueden estar en la red eléctrica general y se considera estacionario. Disminuye a la vez que baja el nivel de actividad de los usuarios de la red.

4. METODOLOGIA

4.1. PROCESADO DE SEÑAL

El objetivo de este proyecto es llevar a cabo la caracterización de las NIEs en el dominio de la frecuencia, para ello se busca caracterizar la V_{red} mediante la transformada de Fourier (FT). El espectro de frecuencias de una señal en un tiempo determinado nos da información acerca de esta señal y establece una relación biunívoca. Es decir, asocia cada elemento de un conjunto con un único elemento de otro conjunto. Mediante su espectro se consigue otra forma de ver la señal y es de gran interés para poder analizar los aspectos que se buscan en este proyecto. El primer paso será conseguir un espectrograma de las señales para diferentes situaciones de carga y señales transmitidas.

Como se puede observar en la Figura 25, en un eje está el valor de la señal en el dominio del tiempo y en el otro eje se puede observar la amplitud de la señal en el dominio de la frecuencia.

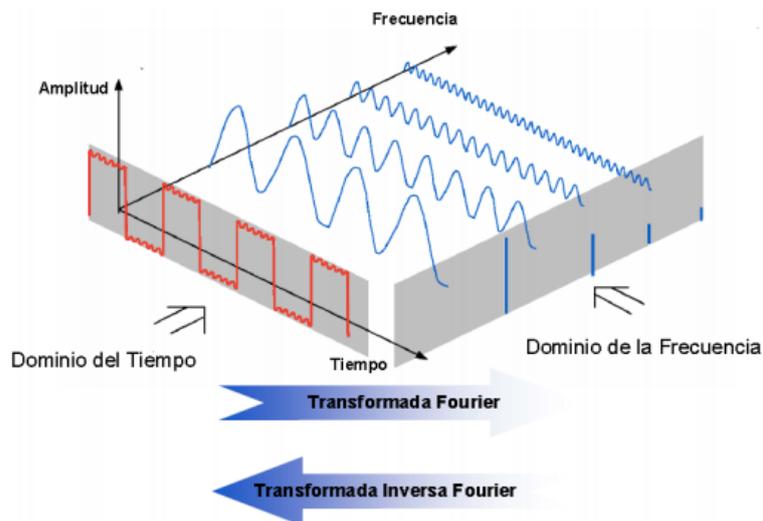


Figura.25. Espectro de una señal en dominio del tiempo y dominio de la frecuencia

Las aplicaciones típicas de estas técnicas son medir la potencia de un canal, medir los armónicos, ruido, modulaciones, señales acústicas, señales mecánicas, señales biomédicas, etc. En este caso, este proyecto se centra en la medición de ruidos y armónicos.

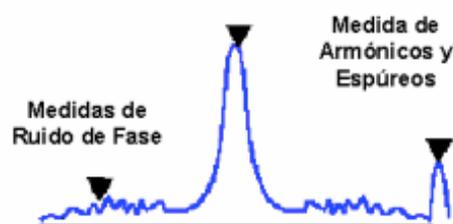


Figura.26. Medidas de ruido y armónicos

Los parámetros principales a tener en cuenta en esta metodología son los siguientes:

- Rango de frecuencia
- Rango de amplitud
- Resolución de la frecuencia

- Tiempo de barrido

Al hablar del analizador de espectros, hay que destacar que esta máquina representa las componentes espectrales de una señal medida, en este caso una señal eléctrica. Mediante este procedimiento se podrán visualizar parámetros que pueden ser obviados trabajando con un osciloscopio que solo trabaja en el dominio del tiempo.

Para cualquier señal $x(t)$ se puede obtener su espectro $X(\omega)$, para ello la señal $x(t)$ tiene que ser conocida y su espectro se obtiene mediante la denominada transformada directa de Fourier $X(\omega)$. De la misma manera pero a la inversa, conociendo el espectro $X(\omega)$ se puede obtener $x(t)$ mediante la transformada de Fourier inversa. Se definen mediante las expresiones (2) y (3):

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt \quad \text{Ecuación de análisis: espectro continuo } X(\omega). \quad (2)$$

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega)e^{j\omega t} d\omega \quad \text{Ecuación de síntesis: señal continua } x(t). \quad (3)$$

Mediante las expresiones anteriores se determina el espectro de algunas funciones $x(t)$ conocidas matemáticamente y usuales en caracterización de sistemas electrónicos. Estas señales son sinusoidales, pulsos, cuadráticas, triangulares, exponenciales, etc. En la figura 27 se pueden observar los espectros de estas señales en el dominio de la frecuencia.

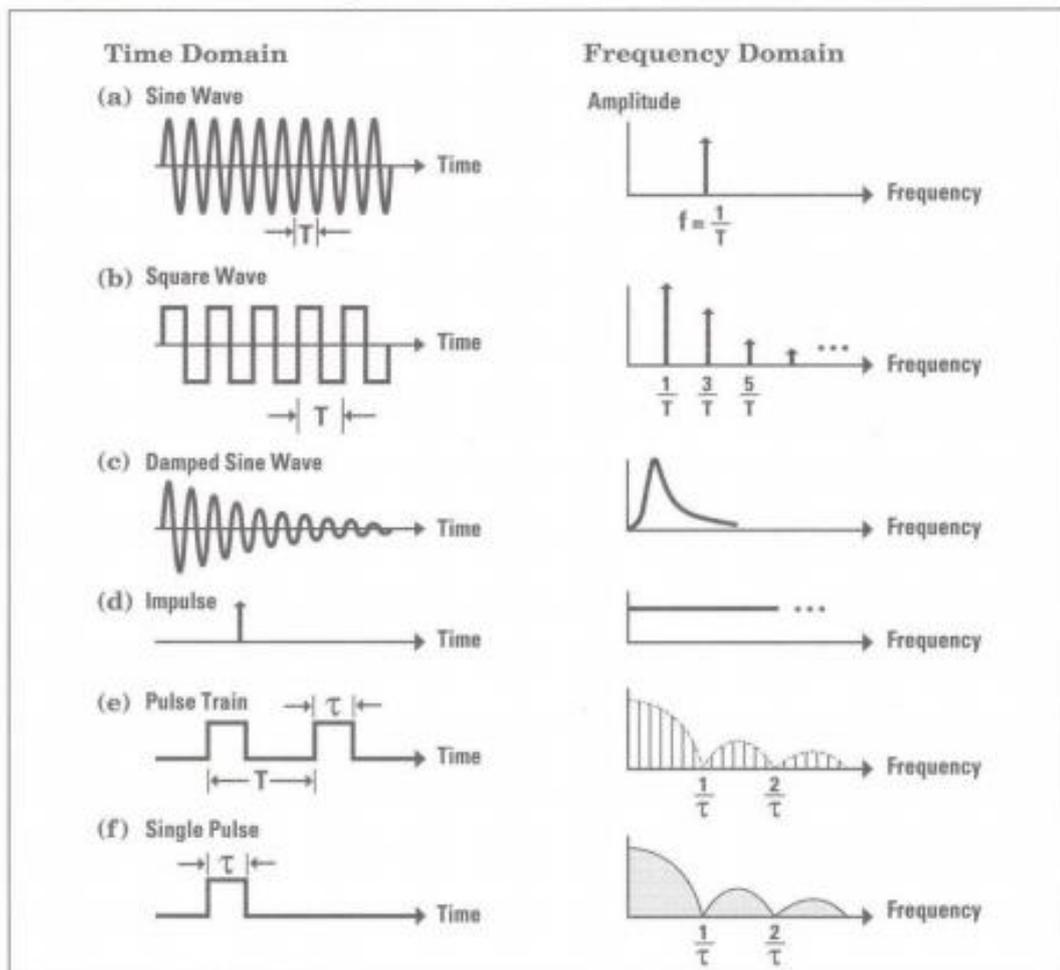


Figura.27. Transformada de Fourier en el dominio de la frecuencia de señales habituales [27]

Al llevar a cabo la FT de la tensión de red, V_{red} , la primera señal que se va a apreciar es la señal eléctrica de 50 Hz. Esta señal eléctrica es de tipo coseno y es conocida como un tono, con una determinada fase inicial. La FT de este tipo de señales, tanto como de las señales de tipo seno, son una delta (δ), esto equivale a un pico espectral (Figuras 28 y 29). [28]

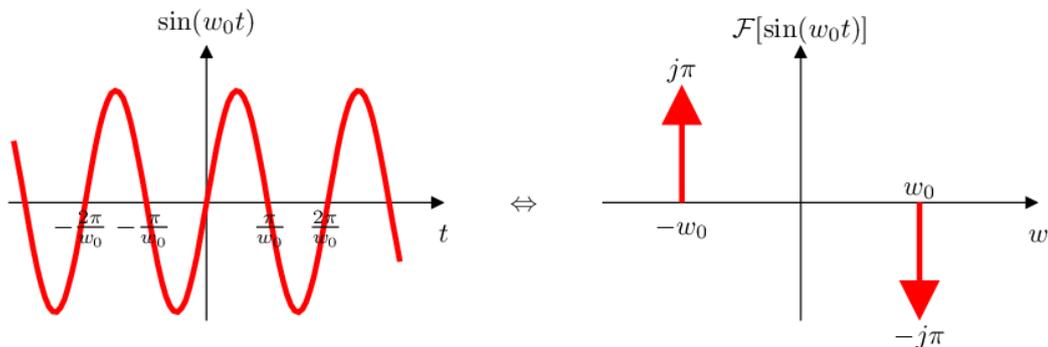


Figura.28. Transformada de Fourier del seno [28]

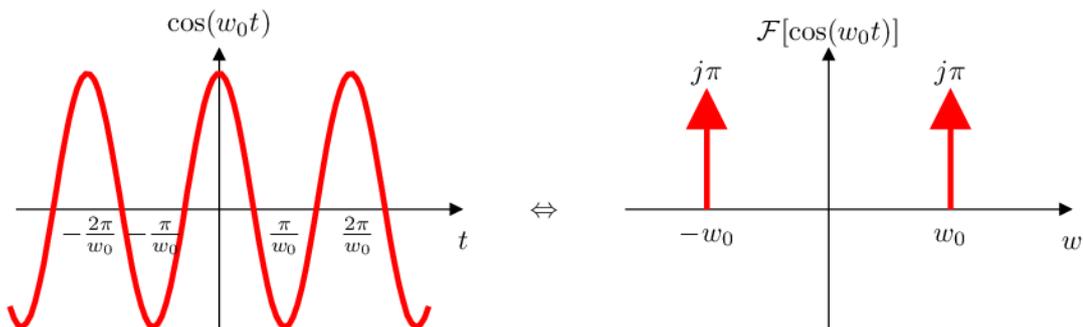


Figura.29. Transformada de Fourier del coseno [28]

Como la señal de la red eléctrica es de una tensión ($V_{\text{pico}}=220 \cdot \sqrt{2}$ V), al transformarla en un impulso, se trata de un impulso de valor muy alto.

El espectro de la señal se obtiene de dos maneras. Cuando se trabaja a alta frecuencia se utiliza un filtro paso banda y modula la señal a banda base, luego pasa por un filtro de resolución, llamado filtro RBW, muy fino para detectar la potencia de cada componente. Cuando se trabaja con frecuencias bajas, se utiliza un osciloscopio con el método matemático de Fourier para transformar una señal en el dominio del tiempo al de la frecuencia y viceversa. La amplitud de la señal en dB se representa en la pantalla en el eje Y, mientras que la frecuencia se representa en el eje X.

El CISPR16, es una especificación en la que mediante sus 16 publicaciones se especifican equipos y métodos para medir perturbaciones y su inmunidad a frecuencias superiores a 9 kHz. El CISPR 16, establece ciertas especificaciones que hay que cumplir a la hora de hacer mediciones. Se utilizan diferentes RBW, uno para el rango entre 9-150 kHz (en este caso será de 200 Hz) y otro para el rango de frecuencias de entre 150-500 kHz (en este caso será de 9 kHz). Considerando que la señal que se quiere caracterizar es la señal de la red eléctrica, hay señales que hay en la propia red, como la señal eléctrica de 50 Hz, que no interesa que se cuele en las mediciones. Para llevar a cabo estas mediciones se ha utilizado un osciloscopio como se muestra en la Figura 30.

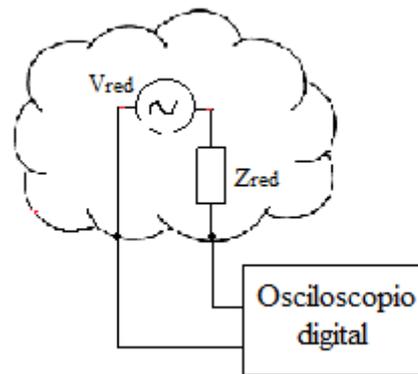


Figura.30. Conexión del osciloscopio a la red

Hay que tener en cuenta que el osciloscopio utilizado, como la mayoría de ellos, está limitado en el rango dinámico de voltaje, en un valor de ± 20 V. Todo lo que supere ese nivel de tensión no podrá reflejarse en la pantalla del osciloscopio puesto que saldrá de la pantalla y satura el osciloscopio. Como hay posibilidades de que el osciloscopio se estropee al saturarse no se recomienda que la señal de 220 V entre al osciloscopio. Como la señal que interesa es la que va a partir de los 9 kHz, todas las señales por debajo de esa frecuencia van a eliminarse puesto que no tiene interés caracterizarlas.

El procedimiento que se va a llevar a cabo es el siguiente: la sonda será la encargada de filtrar la señal que se quiere medir y dejar fuera las señales que no interesen o puedan crear problemas (Figura 31).

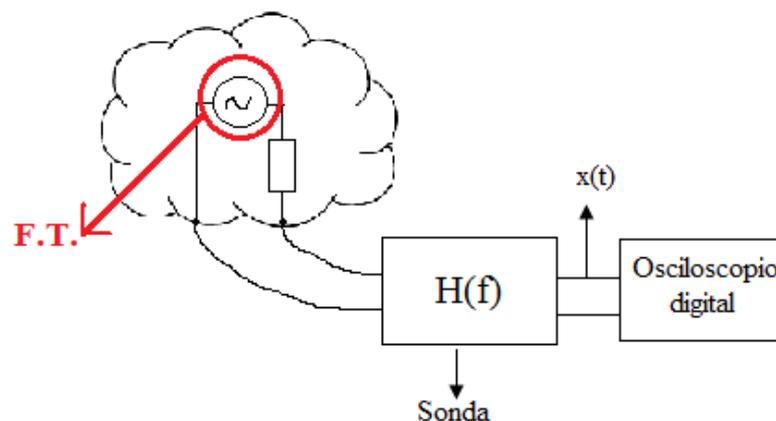


Figura.31. Conexión de la sonda y el osciloscopio

La sonda tiene tres funciones:

- Por un lado, eliminar las frecuencias inferiores a la frecuencia de corte. Para esto utiliza un filtro paso alto (HPF), que multiplica por cero esas frecuencias que son inferiores a la frecuencia de corte, en este caso la frecuencia será de 9 kHz. Así todas las frecuencias inferiores a ésta serán multiplicadas por 0, mientras que las que sean superiores se multiplicarán por 1 y así pasarán.
- La segunda función es aislar galvánicamente la red de los equipos, para ello utiliza un transformador.
- La tercera función de la sonda es dejar pasar toda frecuencia hasta otra determinada frecuencia de corte, para ello se utiliza un filtro de paso de banda (BPF). Este filtro de

paso de banda tendrá una frecuencia de corte de 4,4 MHz. Uniendo estos dos filtros se obtiene un delimitado rango de frecuencias que se dejan pasar al osciloscopio.

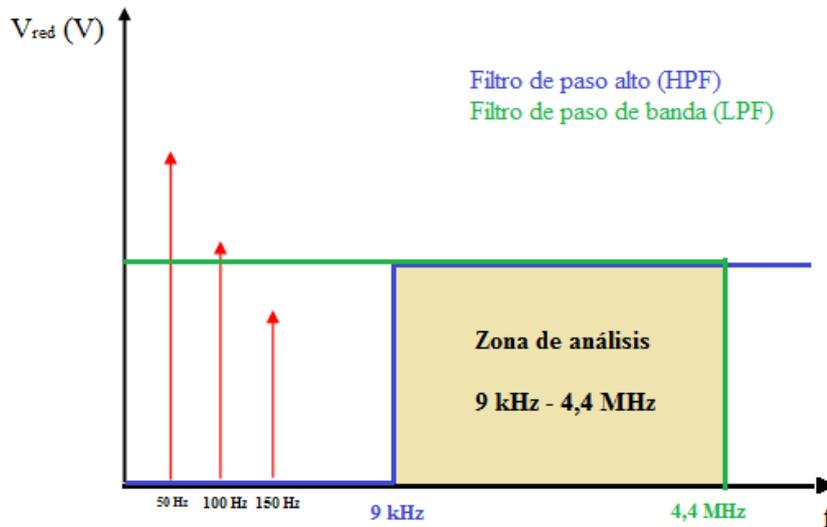


Figura.32. Filtro de la sonda de paso alto y paso de banda

La Figura 32 representa como sería el funcionamiento de un filtro ideal. En realidad los filtros utilizados no son ideales y la realidad difiere del gráfico. La respuesta real que da el filtro es más suavizada, no tiene cambios tan abruptos, es decir en los 9 kHz no hace una selección tan exacta, a medida que va acercándose al valor de corte el filtro de paso alto empieza a curvarse y en el punto exacto de la frecuencia de corte, en este caso 9 kHz, se da una resonancia. Esa resonancia que se da no siempre es igual, es muy dependiente de la impedancia de la red, y puede hacer que los ruidos que se dan en esa frecuencia tengan un valor falseado, apareciendo en los resultados ruidos mayores a los que realmente hay.

El filtro de paso de banda tiene el mismo problema, al no ser abrupto al llegar a la frecuencia de corte no lo hace de manera brusca. Llegan a colarse señales de frecuencias mucho más altas.

Lo que se consigue de manera efectiva es que la señal de 50 Hz que predomina sea eliminada. En este caso la onda que se obtiene ya no va ser un coseno como el que se ha visto anteriormente. La señal que se obtendrá ahora será una señal compuesta por los ruidos y emisiones no intencionadas que se quieren analizar. También se representarán los canales de comunicación de PRIME.

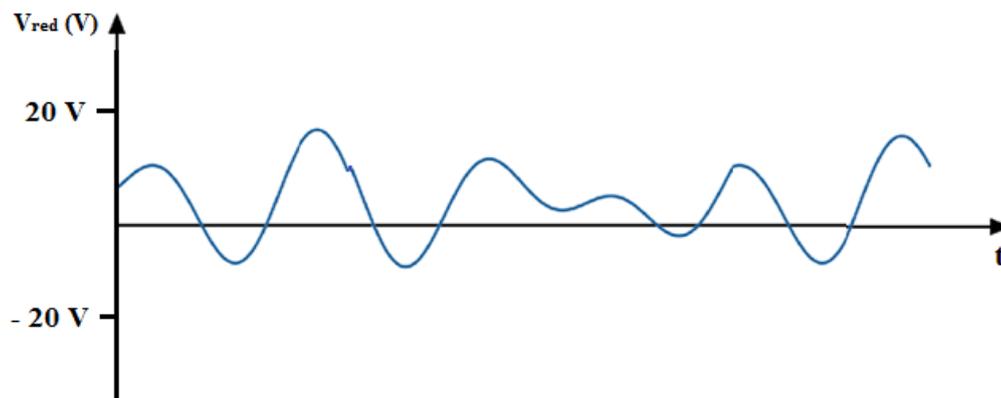


Figura.33. Señal filtrada por la sonda

En la figura 33 se puede observar una aproximación de la señal obtenida. Hay que tener en cuenta que esta señal es analógica, y que la señal se va guardar de manera digital.

Para poder seguir con la caracterización de la señal el siguiente paso es digitalizar la señal analógica obtenida. Es decir se van a tomar muestras, y guardar tales muestras para representar la señal obtenida. La señal analógica tiene infinitos instantes de tiempo con infinitos valores de amplitud. Cuantas más muestras se cojan, con más fiabilidad estará representada la señal analógica, pero habrá que guardar más información de manera digital. Se van a tomar diferentes muestras separadas entre sí en el dominio del tiempo por un periodo de muestreo (T_s), que se ha obtenido como la inversa de la frecuencia de muestreo (f_s) (Figura 34).

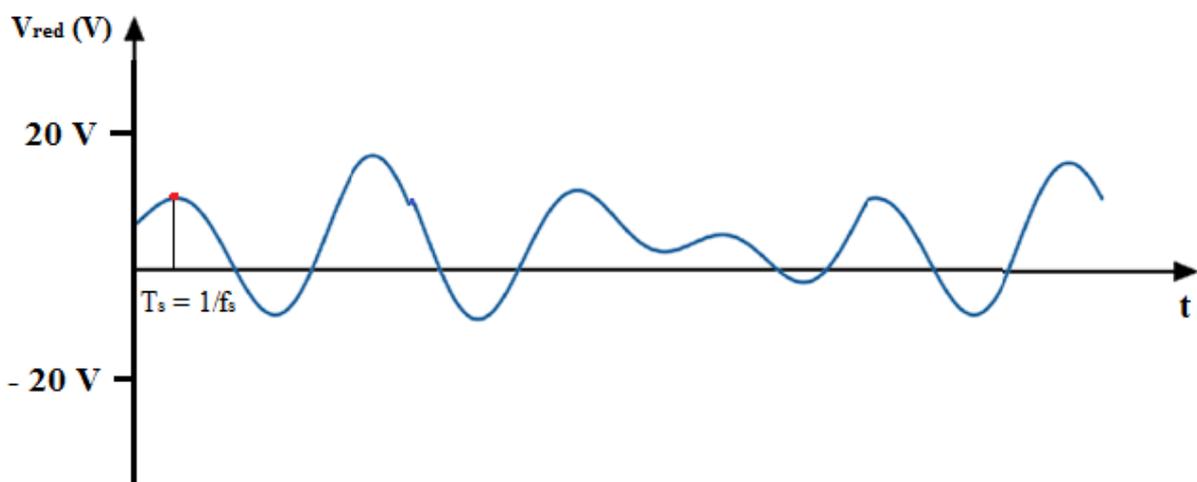


Figura.34. Digitalización de la señal analógica con un tiempo de muestreo

Para obtener el valor de la frecuencia de muestreo se ha seguido el teorema de muestreo de Nyquist, en el que se establece que la frecuencia de muestreo tiene que ser mayor que dos veces el ancho de banda de $x(t)$ tal como se indica en la expresión (4). Se sigue el teorema de Nyquist porque si se cumple la condición que establece dicho teorema se evita un fenómeno llamado *aliasing*. Este efecto perjudicial hace que existan frecuencias cuyo muestreo coincidirá con otras.

$$f_s \geq 2 \cdot BW \quad (4)$$

En este caso el ancho de banda de la señal $x(t)$ es de 4,4 MHz. Por tanto la frecuencia de muestreo será igual o mayor a 8,8 MHz, tal como se indica en la expresión (5).

$$f_s \geq 2 \cdot 4,4 \text{ MHz} \rightarrow f_s \geq 8,8 \cdot 10^6 \text{ muestras/seg} \quad (5)$$

En base a los valores obtenidos, se ha decidido que la frecuencia de muestreo sea de 8,92 MHz. Se utilizarán 16 bits para así poder obtener numerosos puntos.

Resumiendo lo visto hasta ahora, hay que tener en cuenta que cuando se digitaliza una señal se pierde su originalidad. La señal analógica que se tiene en un principio se pierde, y su información se guarda en forma de muestras o bits. Se busca en todo momento que esas muestras sean una representación fiel de la señal analógica para que ésta pueda ser reconstruida. Para que este objetivo se cumpla con mayor eficiencia, en el osciloscopio hay que configurar dos factores

importantes que se han estudiado anteriormente, la frecuencia de muestreo (f_s) y el número de bits que se utilizan por muestra. El número de bits ya viene determinado y es de 16 bits.

Los bits obtenidos se guardan en un archivo .MAT generado por el propio osciloscopio. Estas muestras obtenidas se procesan por medio de un programa de MATLAB. Estas muestras se procesan según lo que establece las especificaciones del CISPR 16. Estas especificaciones se van a resumir a continuación.

Se cogerán partes de la señal, que se denominan ventanas. Consiste en multiplicar la señal que se tiene por un escalón en el dominio del tiempo. A las muestras de la señal en ventanas se le realiza la Transformada Rápida de Fourier.

De esta manera se irán obteniendo de esta manera valores de la señal en el tiempo. Se irán obteniendo valores de $y_1(t)$, $y_2(t)$... y así sucesivamente (Ver Figura 35 y 36). Para ello se va multiplicando la señal $x(t)$ por diferentes ventanas de $w(t)$. Así, se obtiene una combinación de los espectros para obtener los resultados adecuados, como se muestra en la figura 37.

$$x(t) \cdot w_1(t) = y_1(t)$$

$$x(t) \cdot w_2(t) = y_2(t)$$

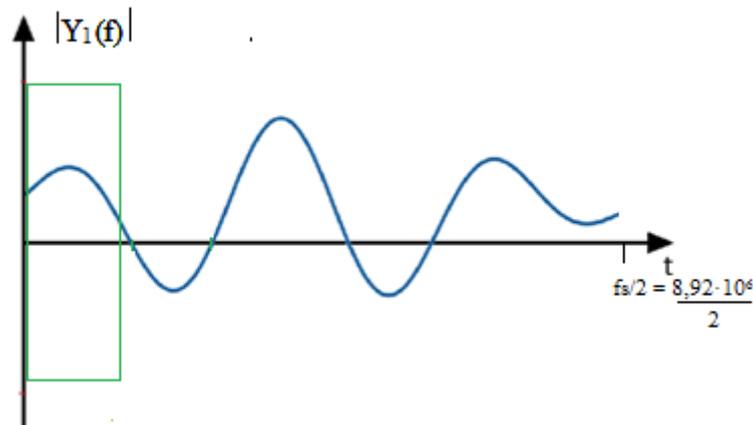


Figura.35. Obtención de $y_1(t)$

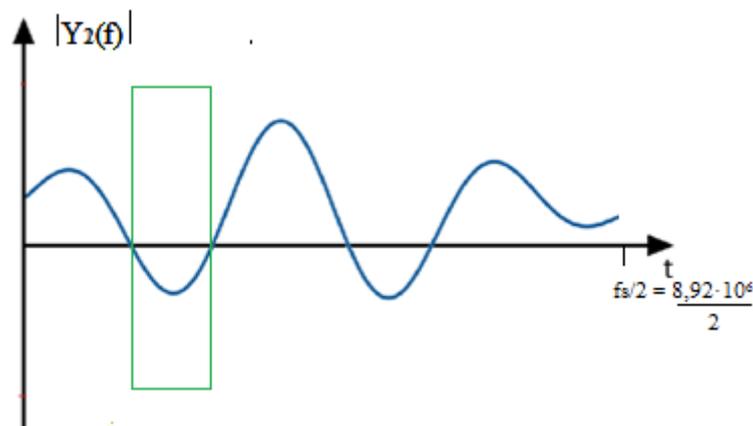


Figura.36. Obtención de $y_2(t)$

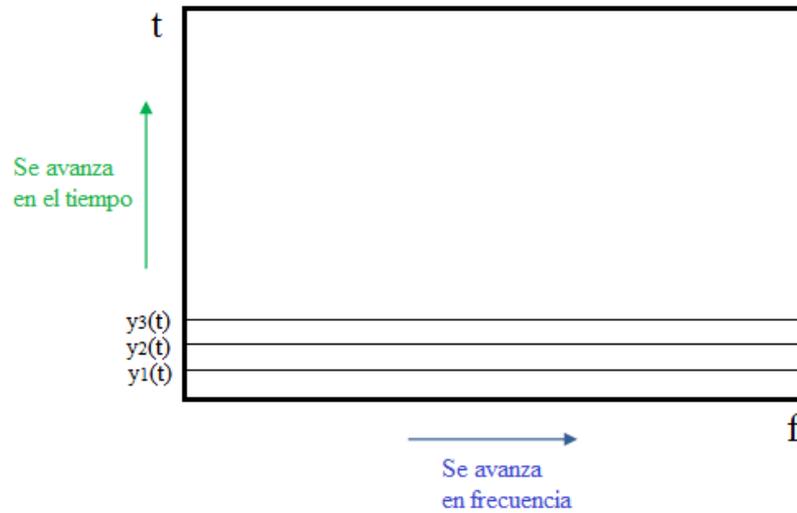


Figura.37. Obtención de la señal

Las representaciones de las figuras 35 y 36 no son del todo exactas. El CISPR 16 establece que las ventanas que hay que utilizar no sean rectangulares sino gaussianas, como se muestra en la figura 38. De esta forma, una vez establecida la forma de la ventana hay que ir moviéndola poco a poco hacia adelante en el dominio del tiempo, empezando por el primer instante. La ventana que recomienda el CISPR 16 está orientada a lograr una ventana gaussiana con un ancho de banda de 200 Hz, y un solapamiento temporal superior al 75%, para asegurar que los ruidos impulsivos rápidos son eliminados o altamente atenuados en este paso. Es decir, hay que moverla de manera que la siguiente ventana coja un 75% de la ventana anterior, así se consigue que la muestra de la señal se coja por completo, como se muestra en la figura 39.

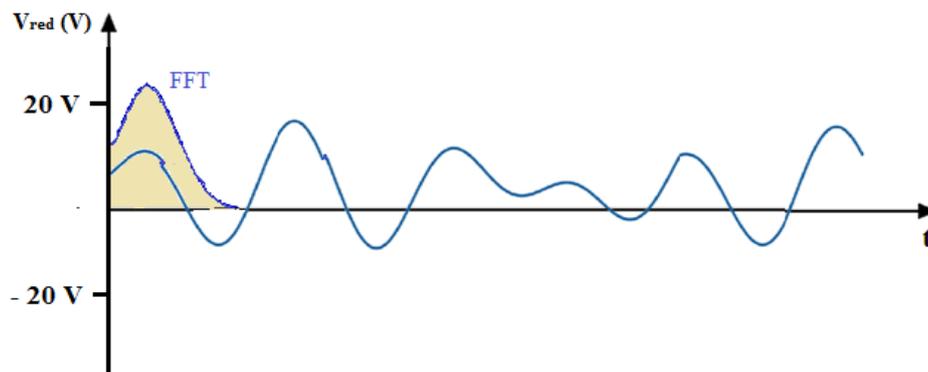


Figura.38. Señal con ventana gaussiana

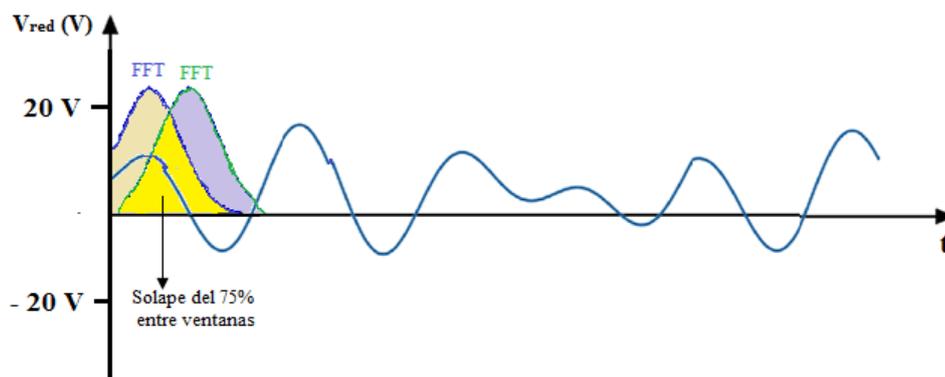


Figura.39. Señal con ventanas gaussianas con un 75% de solape

Sumando las señales obtenidas de cada muestra procesada se obtiene un espectrograma, que consiste en una representación en frecuencia y tiempo del contenido de todas las ventanas.

El CISPR 16 establece que hay que diferenciar dos bandas, la que va de los 9-150 kHz y la que va de los 150-500 kHz. Hay que usar un ancho de banda de resolución de 200 Hz para banda baja (9-150 kHz) y un ancho de banda de resolución de 9 kHz para la banda alta (150-500 kHz).

Para el ancho de banda de resolución de 200 Hz (9-150 kHz) en el dominio de la frecuencia la ventana tiene que ser estrecha, mientras que en el dominio del tiempo es más ancha. Para el ancho de banda de resolución de 9 kHz (150 kHz-500 kHz) se da la situación contraria, en el dominio del tiempo la ventana tiene que ser estrecha para que en el rango de la frecuencia sea ancha.

Siguiendo con las especificaciones del CISPR 16, establece que no hay que representar la evolución instantánea de la señal de 200 Hz. Establece dos valores diferentes el valor *Average* y el valor *Quasi-Peak*.

El valor *Average* es el valor promedio, se hace mediante un filtrado. El valor *Quasi-Peak* es un valor ligeramente más pequeño que el valor de pico de la señal, y se obtiene mediante un determinado filtrado con coeficientes de carga y descarga de condensadores. Para el rango de 9-150 kHz solo es necesario representar el valor *Quasi-Peak*, mientras que para el rango de 150-500 kHz hay que representar los valores *Average* y *Quasi-Peak*.

4.2. METODOLOGIA DE MEDIDAS PARA CARACTERIZACIÓN DE NIE

A diferencia de lo que ocurre por debajo de 2 kHz, las metodologías de medición en el rango de 2-500 kHz están sólo parcialmente definidas. Para comparar las diferentes mediciones, es esencial que se aplique el mismo método de medición. Actualmente se dispone de múltiples enfoques (por ejemplo, IEC 61000-4-7, IEC 61000-4-30, CISPR 16), que se aplican a las bandas de frecuencias diurnas y pueden dar lugar a considerables resultados para la misma señal. Dependiendo de la forma de filtrar la señal, la longitud y el número de huecos en la medición, el ancho de banda y el método de agregación, se pueden obtener diferencias significativas en los resultados obtenidos [29] [19] [30].

En la norma IEC 61000-4-7 se propone un método para la medición de emisiones entre 2 y 9 kHz. En la norma CISPR 16 se propone un método para frecuencias por encima de 9 kHz para la emisión de dispositivos en condiciones de laboratorio. La IEC 61000-4-30 propone un tercer método para el rango de 9 a 150 kHz, pero no tan detallado como las especificaciones CISPR 16. Por lo tanto, queda en evidencia que no existe un método normativo para medir los niveles de emisión reales para el rango de frecuencias de entre 20 kHz a 500 kHz. [31]

Las medidas para la caracterización de los NIE, se han llevado a cabo mediante el método de medidas desarrollado por el departamento de telecomunicaciones de la UPV/EHU “*Measurement method for the characterization of NIE of LV networks for the frequency range for NB-PLC up to 500 kHz*”. Mediante este método se lleva a cabo la caracterización de ruido y NIE presentes en la red eléctrica de BT. El método consiste en diferentes apartados, en primer lugar, se registran los valores de tensión en un punto concreto de la red y, después, se procesa la señal de los valores registrados. Así, se busca obtener una caracterización del NIE en los dominios del tiempo y frecuencia utilizando las diferentes tecnologías de NB-PLC: 20 kHz a 500 kHz. En el apartado anterior este método se explica de manera más detallada.

Este sistema de medidas, Figura 40, se basa en las mediciones de alta resolución (en tiempo y en amplitud) de los valores de tensión para frecuencias de hasta 500 kHz.

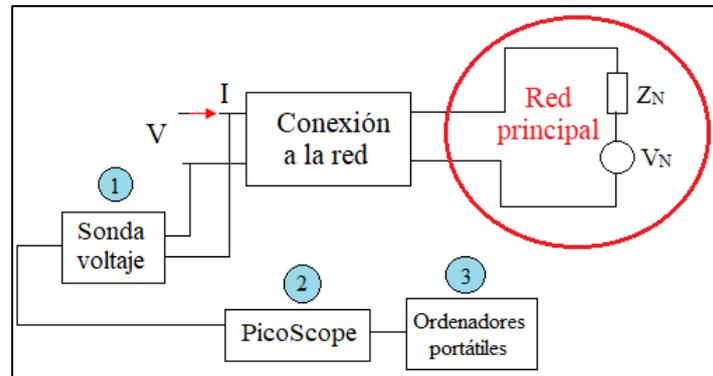


Figura.40. Esquema sistema de medidas NIE [30]

Los Elementos principales del sistema de medida son:

- **1. Sonda de tensión:** Una sonda de tensión, para leer los niveles de ruido y niveles de NIE.
 - Proporciona aislamiento galvánico.
 - Ha sido diseñado e implementado específicamente para estas mediciones.
 - Mejora las protecciones contra transiciones de alto nivel.
- **2. PicoScope: (Osciloscopio):** Registra con gran precisión las señales que presenta la red.
 - Digitaliza los valores de tensión.
 - Frecuencia de muestreo > 8 Muestras/s.
 - Resolución CAD: 16 bits.
- **3. Ordenadores portátiles (+ Software de control):**
 - Mediante el ordenador se configura el osciloscopio.
 - Automatiza las mediciones.
 - Registra los archivos de medición.

Además, como se ha explicado en el apartado de procesado de señal, los registros de las mediciones se procesan para obtener los valores NIE en los dominios del tiempo y la frecuencia.

El procesamiento de datos definido en las especificaciones del CISPR 16 se puede ver resumido en la Figura 41. Consiste, primero, en una ventana temporal al conjunto de datos, y luego, en un análisis de Fourier. La ventana de tiempo recomendada por el CISPR 16 está orientada a lograr una ventana gaussiana con un ancho de banda de 200 Hz, y un solapamiento temporal superior al 75%, para asegurar que los ruidos impulsivos rápidos sean eliminados o altamente atenuados en este paso. [30]

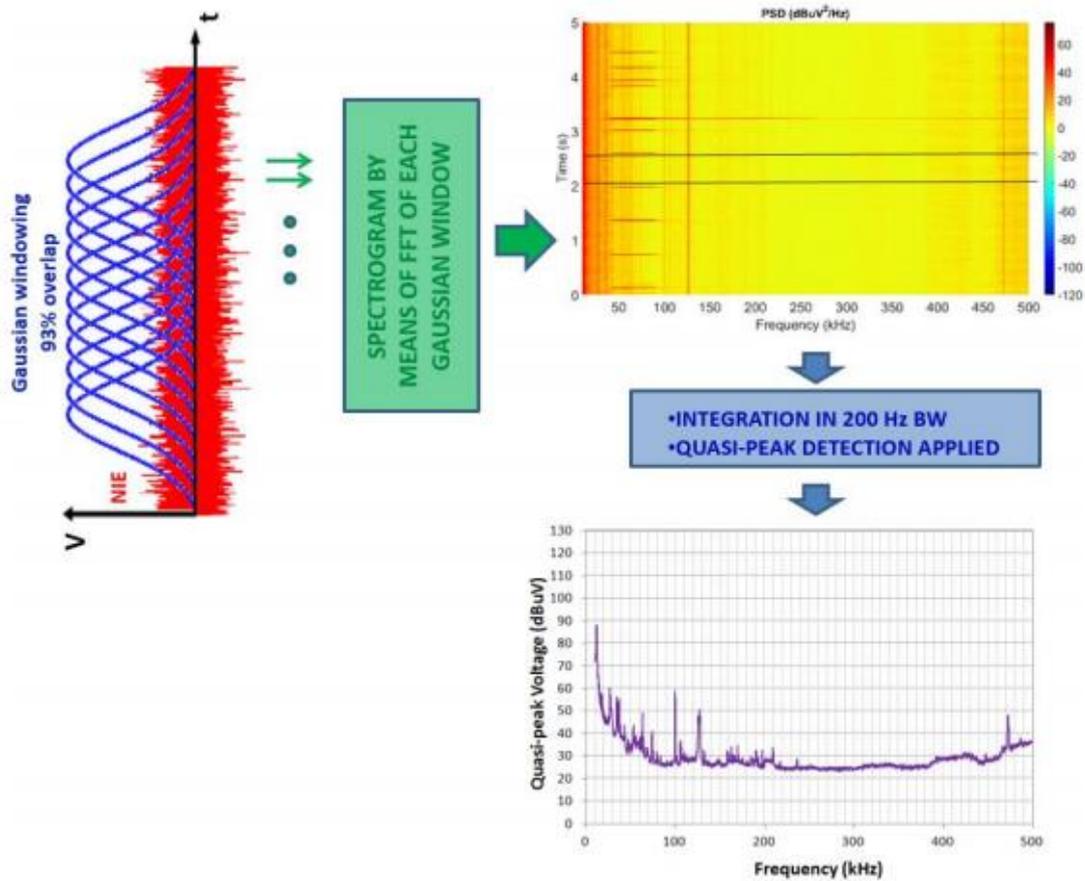


Figura.41. Esquema del procesado de resultados mediante las especificaciones del CISPR 16 [30]

4.3. EQUIPO DE MEDIDAS

El equipo de medidas se ha instalado en las instalaciones de la empresa IBIL, situadas en el aparcamiento del Bilbao Exhibition Centre. La descripción de los equipos utilizados para la campaña de mediciones se muestra en la Figura 42 e incluye los siguientes elementos:



Figura.42. Equipos de medida utilizados en IBIL

- 1. Atenuadores
- 2. Transductores. (Receptor + emisor)
- 3. Transformador + filtro
- 4. LISN (ZIV + TSR)
- 5. Generador de ruido
- 6. Ordenadores portátiles
- 7. Osciloscopio PicoScope

- ATENUADORES

Se han utilizado dos atenuadores, uno de ellos con valores decimales que podrá atenuar entre 0 y 1 en saltos de 0.1 y otro de mayor atenuación en la que los saltos se dan por unidad. Los atenuadores se han utilizado para bajar la potencia de la señal.

- TRANSDUCTORES

Se han utilizado dos transductores del equipo de TSR, el uso de estas dos placas hace posible la comunicación, se ha usado uno de estos dispositivos como transmisor y otro como receptor y su manejo se hará mediante el software "Atmel PHY Tester Tool".

- TRANSFORMADOR

Es un transformador de aislamiento monofásico, de tipo seco. Su principal función es adaptar tensiones en aplicaciones de maniobra y control. En este caso ofrece un aislamiento galvánico de instalaciones, por seguridad, así como la generación de neutros referenciados a tierra. Posee una potencia de 4 kVA, las tensiones de entrada pueden ser de 230/400/460 V, mientras que las de salida son de 115/230 V. Funciona tanto en 50 Hz como en 60 Hz.

- FILTRO

Se ha utilizado un filtro de paso bajo, ha sido necesaria la utilización de este filtro para las mediciones de NIE, para evitar las interferencias producidas por la banda de FM. La frecuencia de corte establecida es de unos 4 MHz.

- LISN

La *Line Impedance Stabilisation Network (LISN)* es una red de estabilización de impedancia de línea. Mide las emisiones que se dan en las líneas eléctricas, y para ello coge la energía de la toma de corriente y alimenta el equipo bajo prueba. Su función principal es proporcionar una impedancia estable y normalizada en la línea de alimentación a través de la toma de corriente, puesto que dependiendo de los equipos conectados en cada momento la impedancia de la línea puede variar mucho. También se encarga de aislar el ruido externo que puede estar presente en la línea eléctrica.

- GENERADOR DE RUIDO

El generador de ruido Agilent 33220A es un generador de función/forma de onda arbitraria. Este equipo se va a emplear para introducir ruido blanco en el sistema de transmisión-recepción. Permite valores de ruido de 0 a 10 Vpp.

- ORDENADORES

Se ha utilizado un ordenador portátil para la realización de medidas, utilizándolo para la configuración y control de los equipos utilizados en el sistema de medidas. Estos equipos requieren de software especializado, el PicoScope para poder realizar las mediciones con el osciloscopio.

Se ha utilizado un ordenador de sobremesa para el procesado de los archivos. Este ordenador cuenta con el programa MATLAB, siendo este el software utilizado para obtener los resultados necesarios.

- OSCILOSCOPIO PICOSCOPE

El osciloscopio PicoScope posee un ancho de banda de 200 MHz. Tiene una resolución flexible, ya que ofrece una opción de resoluciones de 8 a 16 bits. Es capaz de almacenar 4 señales distintas simultáneamente de acuerdo a los 4 canales de entrada que posee.

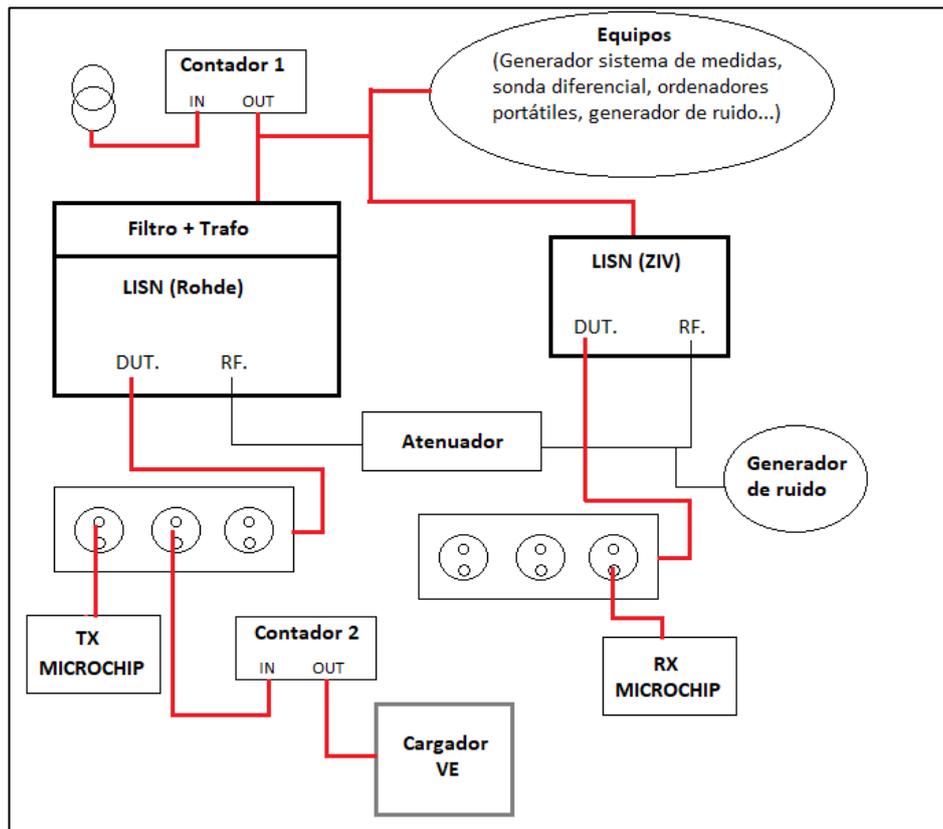


Figura.43. Equipos del sistema de medidas (Montaje 2 LISN)

Se ha utilizado el esquema de la Figura 43, para medir diferentes situaciones tanto de carga como de conexión de equipos. Los diferentes escenarios analizados y el código que representara el escenario en los siguientes resultados puede observarse en la tabla III:

Tabla III. Escenarios de medidas

ESCENARIO	COCHE	IMPEDANCIAS	RUIDOS (NIE)	DESCRIPCION
1	J 011 KONA	IMP1	NIE1	- LISN ZIV - Ninguna carga
2	J 011 KONA	IMP2	NIE2	- LISN ZIV - Transmisor conectado (Sin transmitir) - Sin VE
3A	J 011 KONA	IMP3A	NIE3A	- LISN ZIV - Transmisor conectado (Sin transmitir) - Con VE (Sin cargar)
3B	J 011 KONA	IMP3B	NIE3B	- LISN ZIV - Transmisor conectado (Sin transmitir) - Con VE (Cargando a 9A)

4A	J 011 KONA	IMP4A	NIE4A	- En recepción - LISN ZIV - Transmisor conectado (Sin transmitir) - Con VE (Sin cargar)
4B	J 011 KONA		NIE4B	- En recepción - LISN ZIV - Transmisor conectado (Transmitiendo) - Con VE (Cargando a 9A)

Tabla IV. Lista de medidas en orden cronológico

IMPEDANCIAS	NIE
IMP1	
IMP2	
IMP3A_CH1	NIE3A_CH1
IMP3B_CH1	NIE3B_CH1
IMP4A_CH1	NIE4A_CH1
	NIE4B_CH1
CH1 SNR y FER	
CH4 SNR y FER	
IMP3B_CH4	NIE3B_CH4
IMP4A_CH4	NIE4A_CH4
	NIE4B_CH8
CH8 SNR y FER	
CH6 SNR y FER	
IMP4A_CH6_CH2	NIE4A_CH6_CH2
	NIE4B_CH6
	NIE4B_CH2
IMP3B_CH6_CH2	NIE3B_CH6_CH2
CH2 SNR y FER	
CH3 SNR y FER	
IMP4A_CH3_CH5	NIE4A_CH3_CH5
	NIE4B_CH3
	NIE4B_CH5
IMP3B_CH3_CH5	NIE3B_CH3_CH5
CH5 SNR y FER	
CH7 SNR y FER	
IMP4A_CH7	NIE4A_CH7
	NIE4B_CH7
IMP3B_CH7	NIE3B_CH7

5. ANALISIS DE RESULTADOS

En este apartado se presentan los resultados obtenidos una vez procesadas las mediciones realizadas. Estos resultados están divididos en tres partes, siendo el análisis de las NIE el objetivo principal de este proyecto. Además, de los resultados de ruidos, también se incluyen los

resultados obtenidos de la medición de las impedancias en cada uno de los escenarios analizados y los resultados obtenidos de las comunicaciones realizadas.

5.1. IMPEDANCIAS

5.1.1. RESULTADOS OBTENIDOS

Las medidas de impedancias llevadas a cabo se pueden observar en la tabla V. En esta tabla se indica el coche o cargador usado en las medidas, el montaje utilizado y la identificación de la medida. A la derecha de la tabla se encuentran los resultados de magnitud de la impedancia, a la izquierda se encuentran los resultados obtenidos de las fases de la impedancia. En ambas graficas se puede observar el cambio de dichas variables en el rango de la frecuencia en el tiempo.

Tabla V. Medidas impedancias

CARGADOR MODO DE CARGA	MONTAJE	Att	NOISE	IDENTIFICACIÓN MEDIDAS Z
J 011 KONA	2 LISN	2 + 0	OFF	IMP 1
J 011 KONA	2 LISN	2 + 0	OFF	IMP 2
J 011 KONA	2 LISN	2 + 0	OFF	IMP 3A
J 011 KONA	2 LISN	2 + 0	OFF	IMP 3B
J 011 KONA	2 LISN	2 + 0	OFF	IMP 4A
J 011 KONA	2 LISN	7 + 0.5	OFF	IMP 3B CH4
J 011 KONA	2 LISN	7 + 0.5	OFF	IMP 4A CH4
J 011 KONA	2 LISN	7 + 0.5	OFF	IMP 4A CH6/CH2
J 011 KONA	2 LISN	7 + 0.5	OFF	IMP 3B CH6/CH2
J 011 KONA	2 LISN	8 + 0	OFF	IMP 4A CH3/CH5
J 011 KONA	2 LISN	8 + 0.2	OFF	IMP 4A CH7
J 011 KONA	2 LISN	8 + 0.2	OFF	IMP 3B CH7

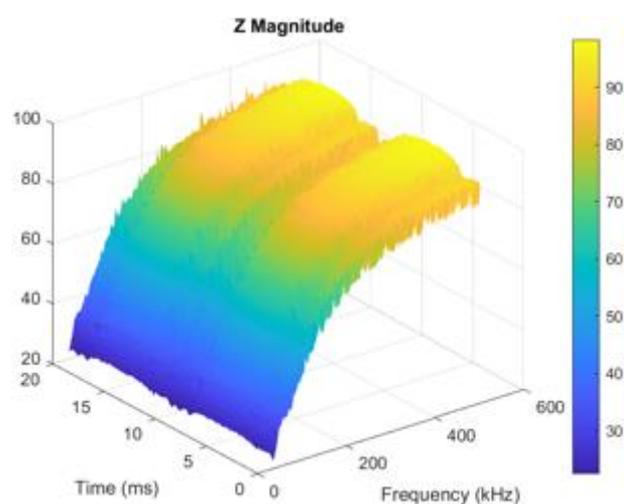


Figura.44. Magnitud de impedancia medida IMP1

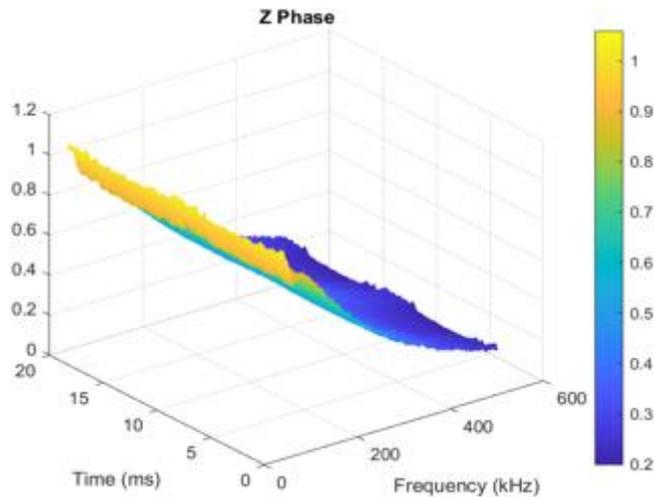


Figura.45. Fase de impedancia medida IMP1

Se han analizado los valores de la magnitud de la impedancia en los casos de las diferentes mediciones. Se observa lo siguiente, en los valores de impedancia de los escenarios 1 y 2 (Figuras 44 y 46) la magnitud de la impedancia en los puntos medidos comienza en 30 para frecuencias bajas y va aumentando hasta los 90 en las frecuencias más altas de 500 kHz. Hay que tener en cuenta que esta es la impedancia medida entre los dos puntos cuando no hay nada conectado, el vehículo eléctrico no está conectado. En este caso el valor de la impedancia aumenta de una manera exponencial.

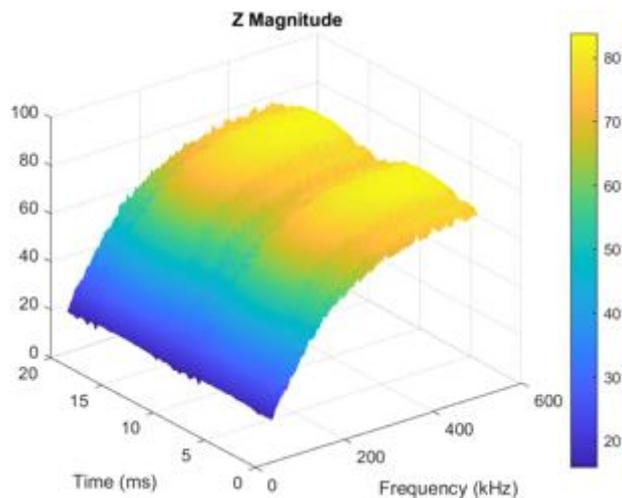


Figura.46. Magnitud de impedancia medida IMP2

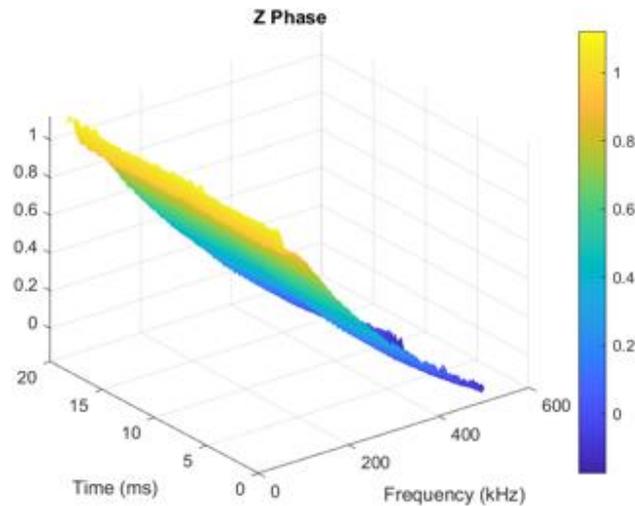


Figura.47. Fase de impedancia medida IMP2

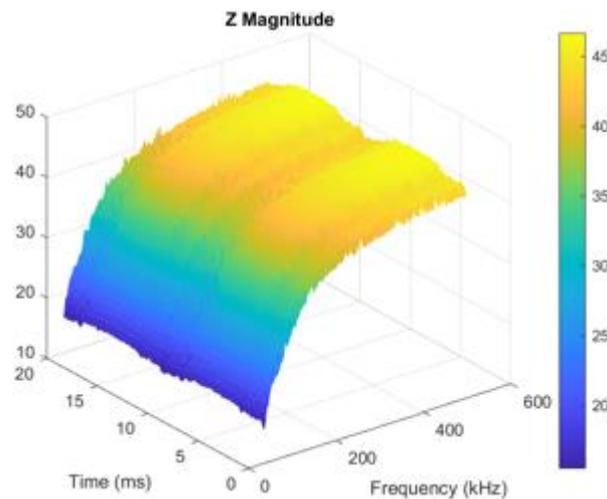


Figura.48. Magnitud de impedancia medida IMP3A

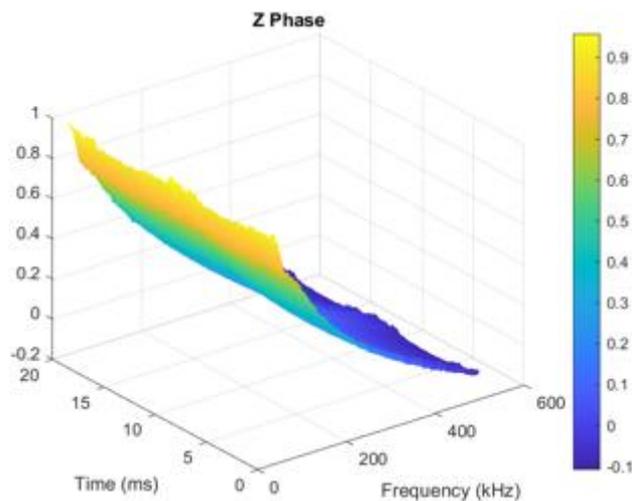


Figura.49. Fase de impedancia medida IMP3A

En el escenario 3A (Figura 48) en la que tenemos el coche eléctrico conectado, pero no está cargando, se aprecia que el valor de la impedancia desciende. En este caso para frecuencias muy bajas la magnitud de la impedancia medida es de 20 y a medida que va subiendo las frecuencias el valor acaba rondando el valor de 45 cuando alcanza la frecuencia de 500 kHz. Se puede

observar que en comparación con el escenario anterior, aunque al aumentar la frecuencia el valor de la impedancia ha ido también en aumento, este aumento ha sido mucho menor. Al igual que en el escenario anterior el aumento de la impedancia se hace de una manera exponencial.

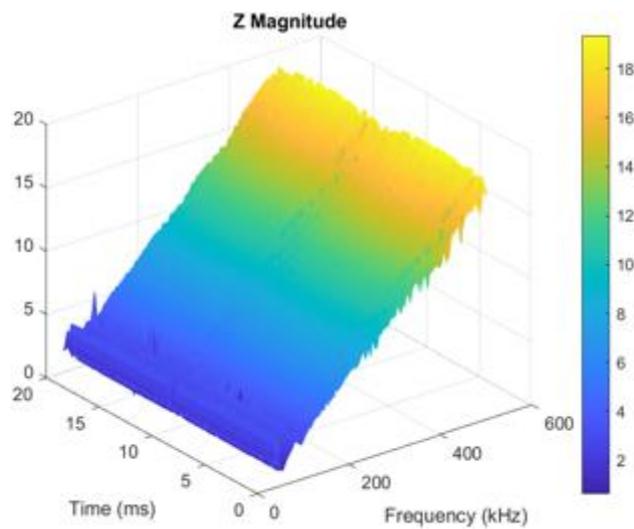


Figura.50. Magnitud de impedancia medida IMP3B CH1

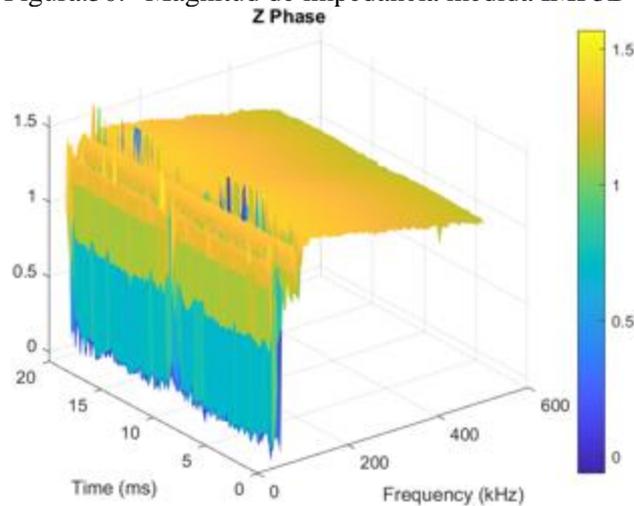


Figura.51. Fase de impedancia medida IMP3B CH1

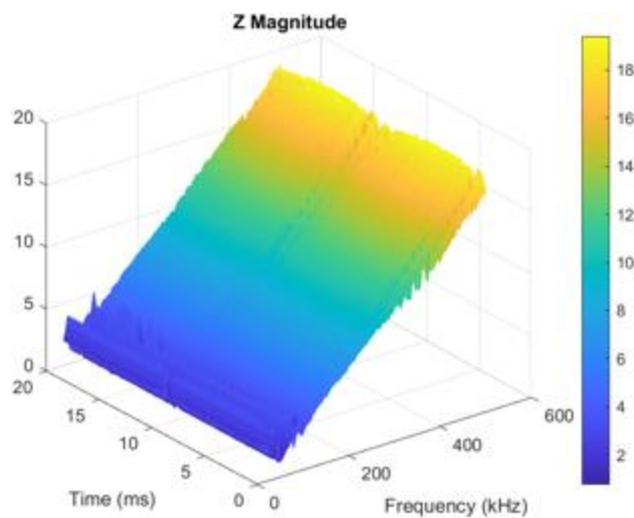


Figura.52. Magnitud de impedancia medida IMP3B CH3/CH5

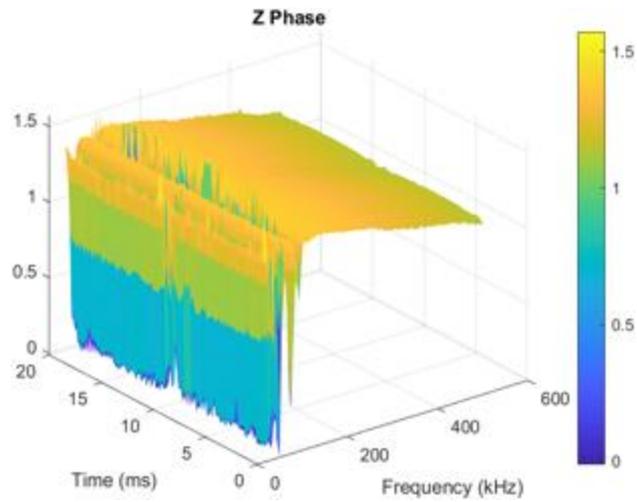


Figura.53. Fase de impedancia medida IMP3B CH3/CH5

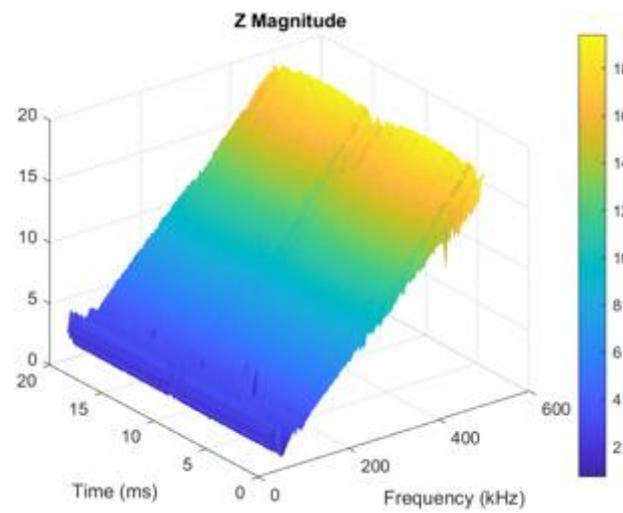


Figura.54. Magnitud de impedancia medida IMP3B CH4

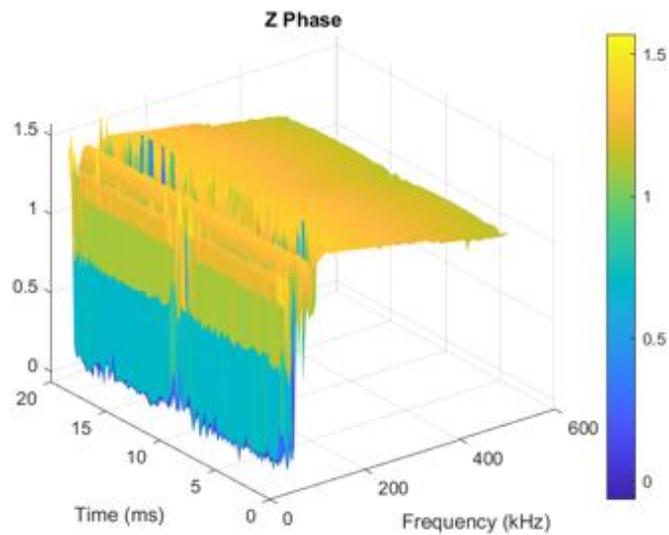


Figura.55. Fase de impedancia medida IMP3B CH4

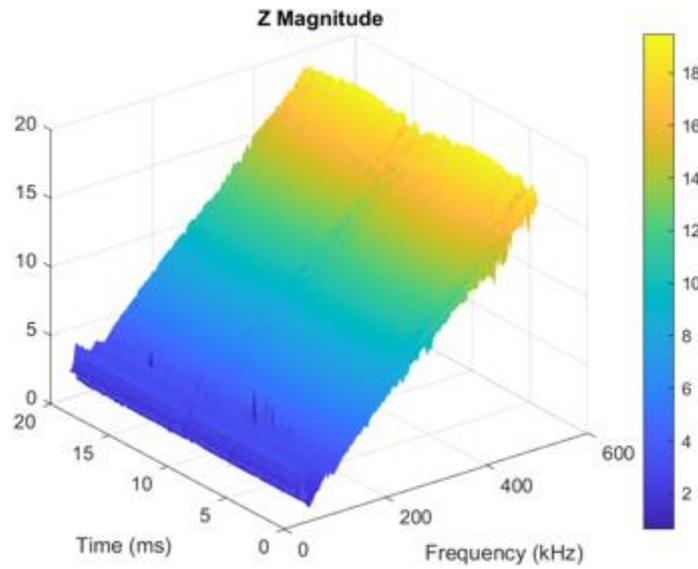


Figura.56. Magnitud de impedancia medida IMP3B CH6/CH2

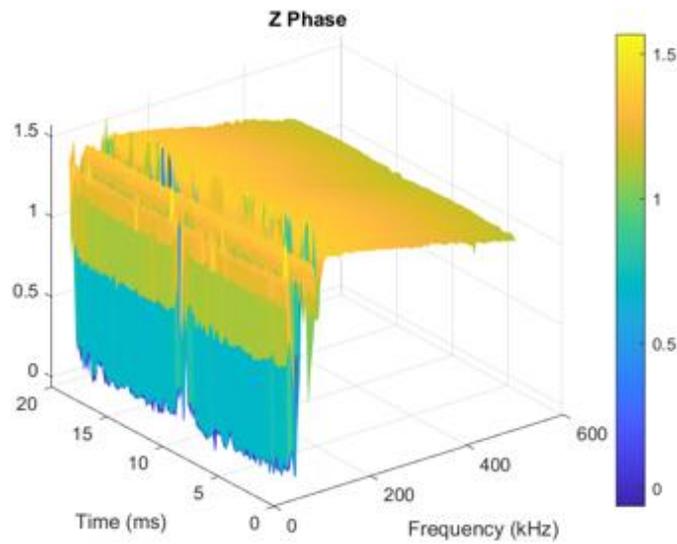


Figura.57. Fase de impedancia medida IMP3B CH6/CH2

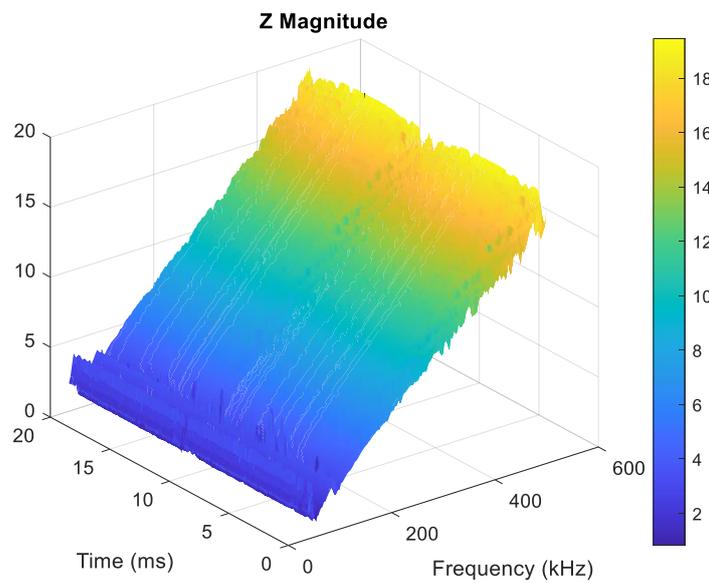


Figura.58. Magnitud de impedancia medida IMP3B CH7

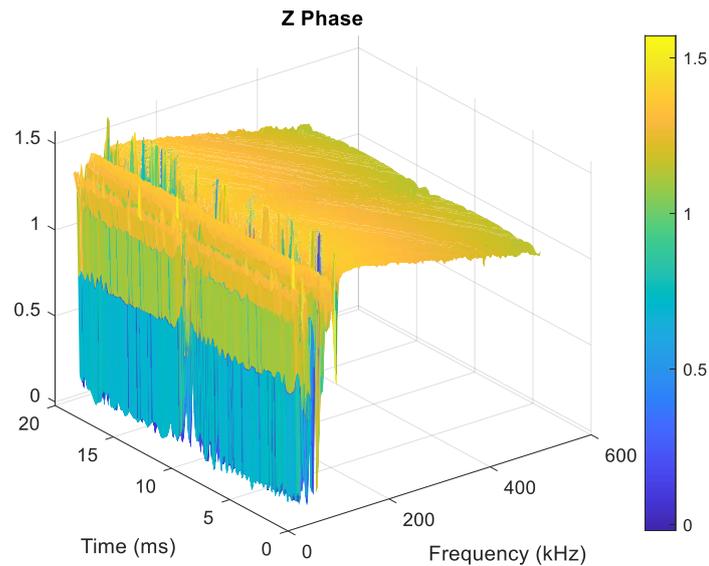


Figura.59. Fase de impedancia medida IMP3B CH7

Analizando el escenario 3B (Figuras 50, 52, 54, 56 y 58) se mantiene el mismo patrón para las mediciones en los diferentes canales. En todos los casos el valor de la impedancia tiene un valor mucho menor que en los dos escenarios anteriores. En este caso para las frecuencias bajas la magnitud de la impedancia es de valor 2 y a la vez que la frecuencia va en aumento la impedancia también aumenta hasta alcanzar el valor de 18 al alcanzar las frecuencias cercanas a los 500 kHz. En este escenario el aumento de la impedancia se hace de manera lineal.

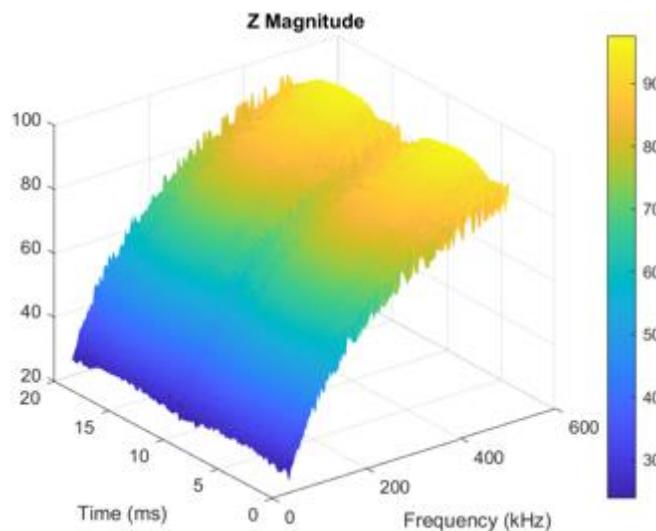


Figura.60. Magnitud de impedancia medida IMP4A CH1

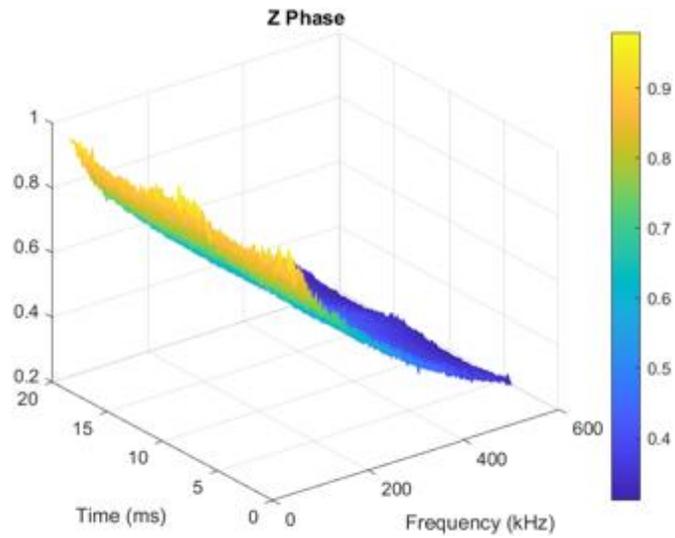


Figura.61. Fase de impedancia medida IMP4A CH1

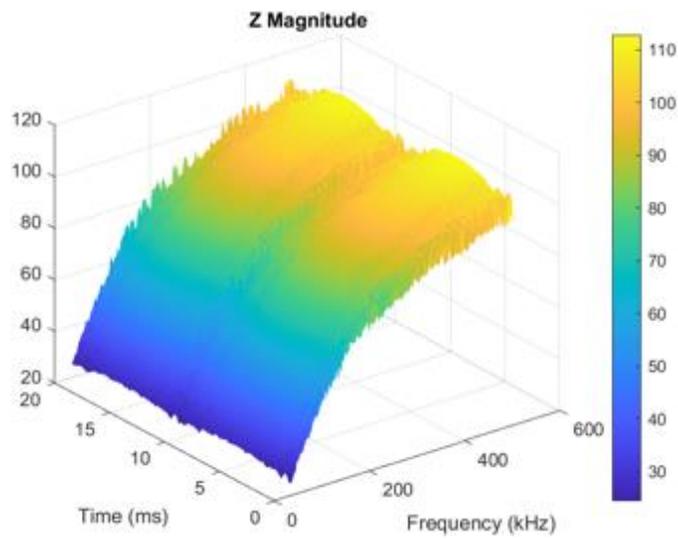


Figura.62. Magnitud de impedancia medida IMP4A CH3/CH5

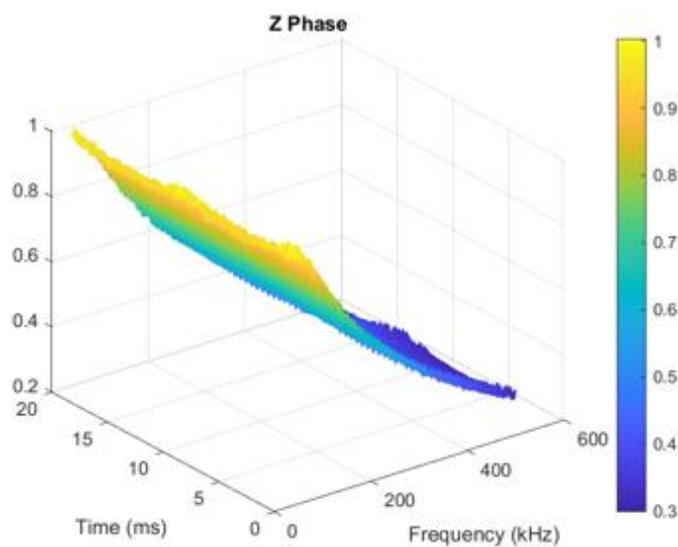


Figura.63. Fase de impedancia medida IMP4A CH3/CH5

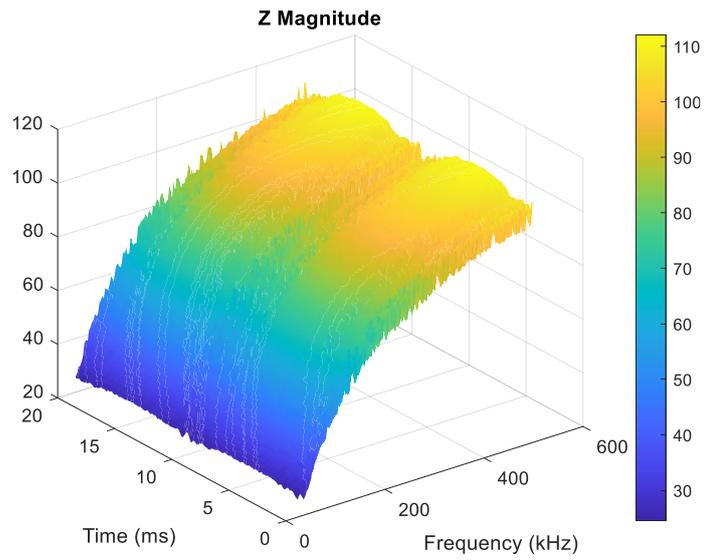


Figura.64. Magnitud de impedancia medida IMP4A CH4

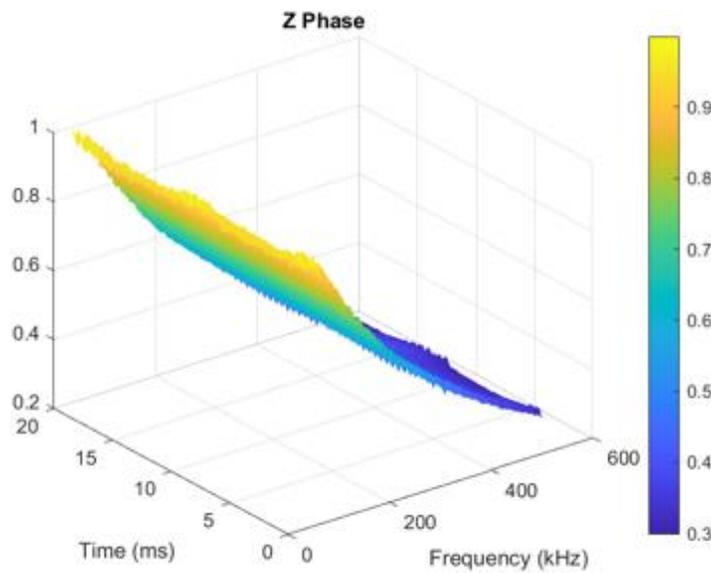


Figura.65. Fase de impedancia de medida IMP4A CH4

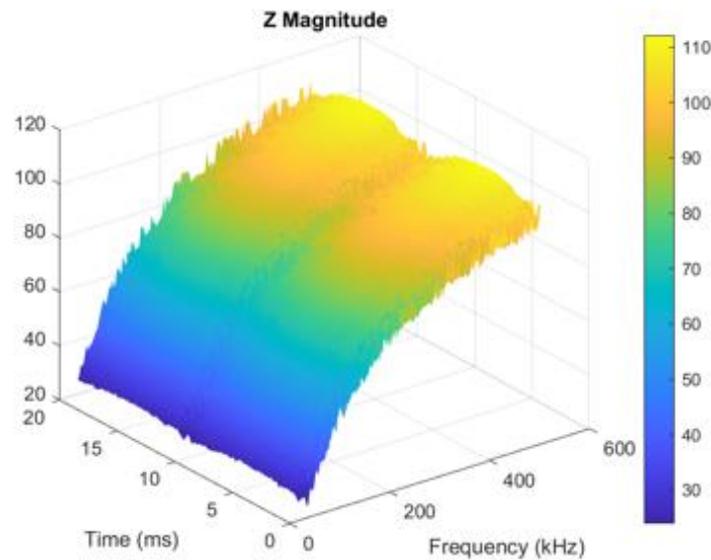


Figura.66. Magnitud de impedancia medida IMP4A CH6/CH2

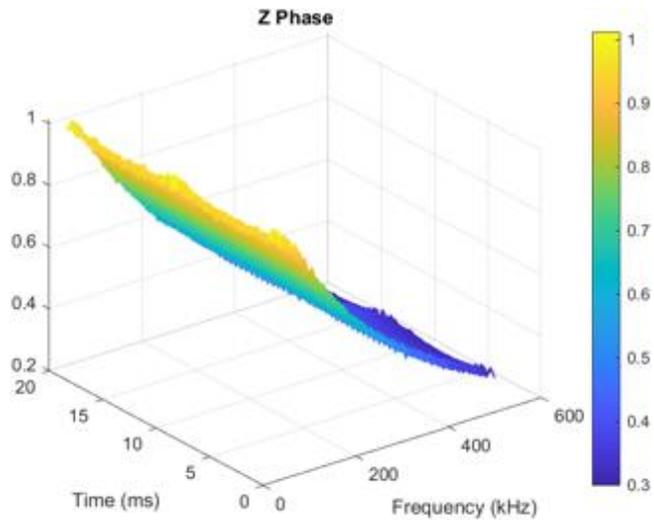


Figura.67. Fase de impedancia medida IMP4A CH6/CH2

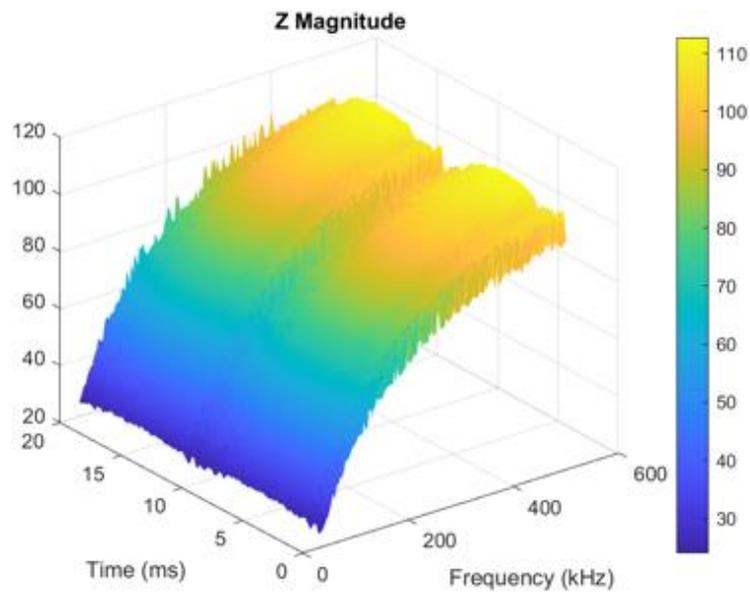


Figura.68. Magnitud de impedancia medida IMP4A CH7

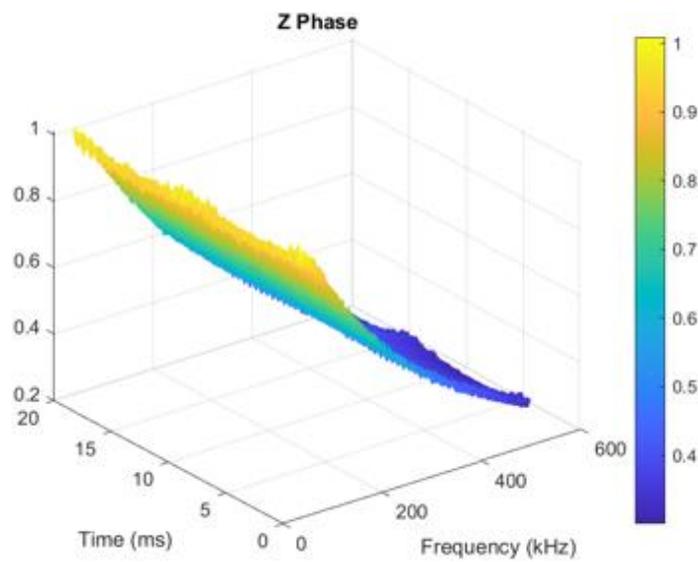


Figura.69. Fase de impedancia medida IMP4 CH7

En el escenario 4A (Figuras 60, 62, 64, 66 y 68) el coche eléctrico vuelve a estar conectado, pero sin cargar, en este caso la medición de impedancia se hace en la regleta en la que está conectado el microchip de recepción. Las mediciones obtenidas son prácticamente iguales a las obtenidas en el escenario 3A.

5.1.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los resultados se pueden resumir de la siguiente manera, en todos los casos el carácter de la impedancia medida es inductivo. Puesto que en mayor o menor medida el valor de la impedancia sube a medida que va subiendo el valor de la frecuencia.

La subida de impedancia acorde con la frecuencia es mucho mayor en las situaciones en las que el vehículo eléctrico no está cargando. Cuando el vehículo eléctrico está conectado pero sin cargar los valores obtenidos son muy parecidos a los obtenidos cuando el vehículo eléctrico no está conectado. Puede darse por hecho que conectar el vehículo eléctrico mientras no esté en estado de carga no supone un cambio de impedancia en el lugar de la medición.

Analizando los resultados en el dominio del tiempo, se observa que en todos los resultados obtenidos entre los 5 ms y los 10 ms, hay un instante que luego se repite entre los 10 ms y los 15 ms en los que el valor de la impedancia baja. Esta bajada no es muy alta y vuelve al valor anterior en un periodo de tiempo muy corto. Esto se puede dar por culpa de conmutación de algún elemento electrónico.

5.2. NIE

5.2.1. RESULTADOS OBTENIDOS

Se han obtenido dos tipos de resultados para cada escenario analizado:

- Se han obtenido los espectrogramas de cada escenario analizado, estos espectrogramas muestran la evolución en el tiempo de los valores de densidad espectral (PSD) de NIE y se han representado mediante una escala de colores, todo ello en un rango de frecuencias de 20-500 kHz y un período de tiempo de 5s. Mediante los espectrogramas se permite la caracterización del comportamiento tanto espectral como temporal de NIE en cada punto de medición.
- También se han obtenido los valores de amplitud cuasi punta del NIE, esto se ha llevado a cabo mediante la metodología de evaluación de la CISPR 16, de esta manera se ha proporcionado una clara representación de la forma espectral y de la relevancia de los diferentes tipos de NIE.

En la tabla VI. se pueden observar todas las mediciones llevadas a cabo, con la atenuación utilizada para cada una de ellas.

Tabla VI. Medidas NIE

CARGADOR MODO DE CARGA	MONTAJE	Att	NOISE	MEDIDAS NIE
J 011 KONA	2 LISN	2 + 0	OFF	NIE 1
J 011 KONA	2 LISN	2 + 0	OFF	NIE 2

J 011 KONA	2 LISN	2 + 0	OFF	NIE 3A CH1
J 011 KONA	2 LISN	2 + 0	OFF	NIE 3B
J 011 KONA	2 LISN	8 + 0	OFF	NIE 3B CH3/CH5
J 011 KONA	2 LISN	7 + 0.5	OFF	NIE 3B CH4
J 011 KONA	2 LISN	7 + 0.5	OFF	NIE 3B CH6/CH2
J 011 KONA	2 LISN	8 + 0.2	OFF	NIE 3B CH7
J 011 KONA	2 LISN	2 + 0	OFF	NIE 4A CH1
J 011 KONA	2 LISN	8 + 0	OFF	NIE 4A CH3/CH5
J 011 KONA	2 LISN	7 + 0.5	OFF	NIE 4A CH4
J 011 KONA	2 LISN	7 + 0.5	OFF	NIE 4A CH6/CH2
J 011 KONA	2 LISN	8 + 0.2	OFF	NIE 4A CH7
J 011 KONA	2 LISN	2 + 0	OFF	NIE 4B CH1
J 011 KONA	2 LISN	7 + 0.5	OFF	NIE 4B CH2
J 011 KONA	2 LISN	8 + 0	OFF	NIE 4B CH3
J 011 KONA	2 LISN	7 + 0.5	OFF	NIE 4B CH4
J 011 KONA	2 LISN	8 + 0	OFF	NIE 4B CH5
J 011 KONA	2 LISN	7 + 0.5	OFF	NIE 4B CH6
J 011 KONA	2 LISN	8 + 0.2	OFF	NIE 4B CH7
J 011 KONA	2 LISN	7 + 0.5	OFF	NIE 4B CH8

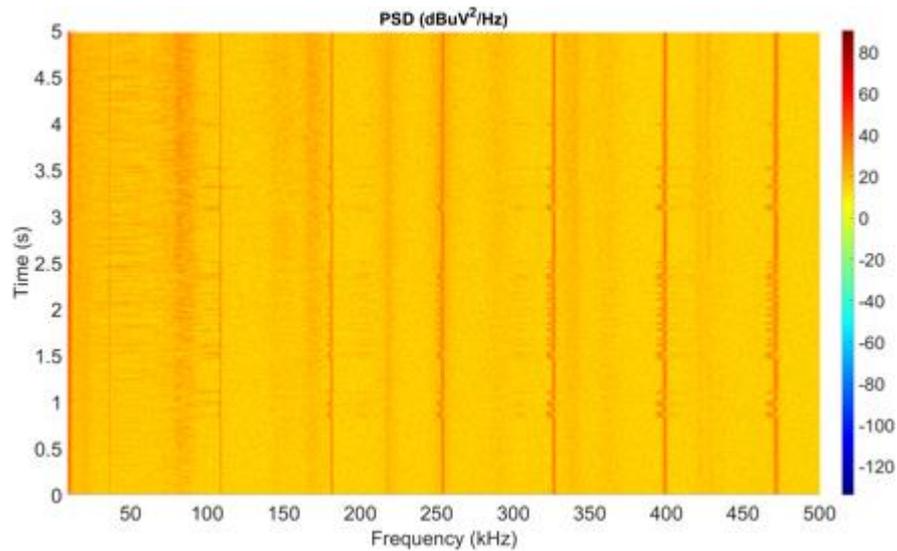


Figura.70. Espectrograma medición NIE 3A CH1

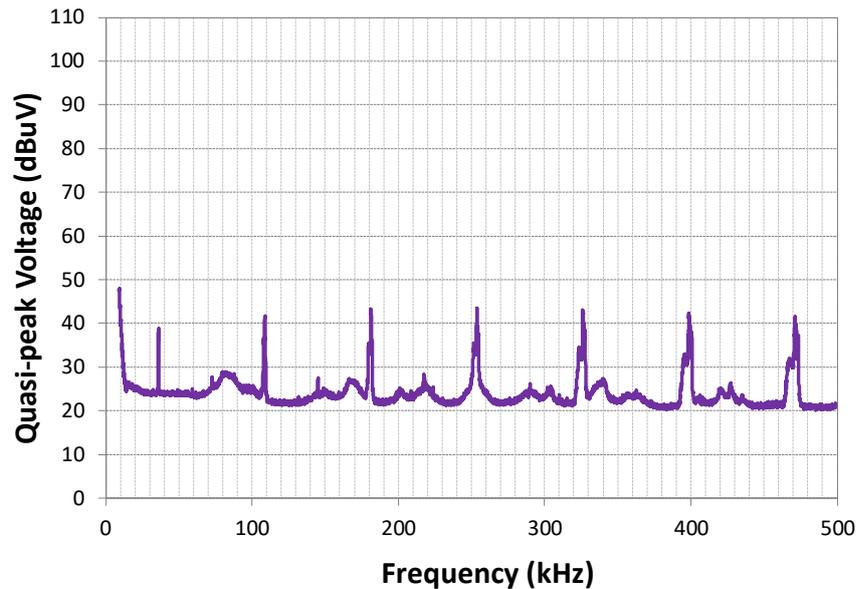


Figura.71. Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 3A CH1

En las Figuras 70 y 71, se observa un ruido de fondo bastante lineal para todos los rangos de frecuencia de entre 20 a 30 dB μ V. Se observa como para frecuencias puntuales como son 10 kHz, 110 kHz, 180 kHz, 250 kHz, 330 kHz, 400 kHz y 470 kHz el ruido aumenta hasta alcanzar los 40 dB μ V.

Análisis del escenario 3B: Coche conectado y cargando, mediciones en la regleta del microchip de transmisión.

En las Figuras 72 y 73, se observa un ruido del orden de 90 dB μ V para la frecuencia de 10 kHz, a medida que la frecuencia asciende el ruido va descendiendo hasta rondar los 63 dB μ V para una frecuencia que ronda los 40 kHz. Entre los 40 y 50 kHz el ruido vuelve a ascender hasta el valor de 80 dB μ V. A partir de esa frecuencia el ruido vuelve a ser descendiente, hasta llegar a los 100 kHz donde se observa el ruido de mayor valor de 100 dB μ V. Superada esa frecuencia el ruido descendiente hasta mantenerse entre los 35 y 40 kHz.

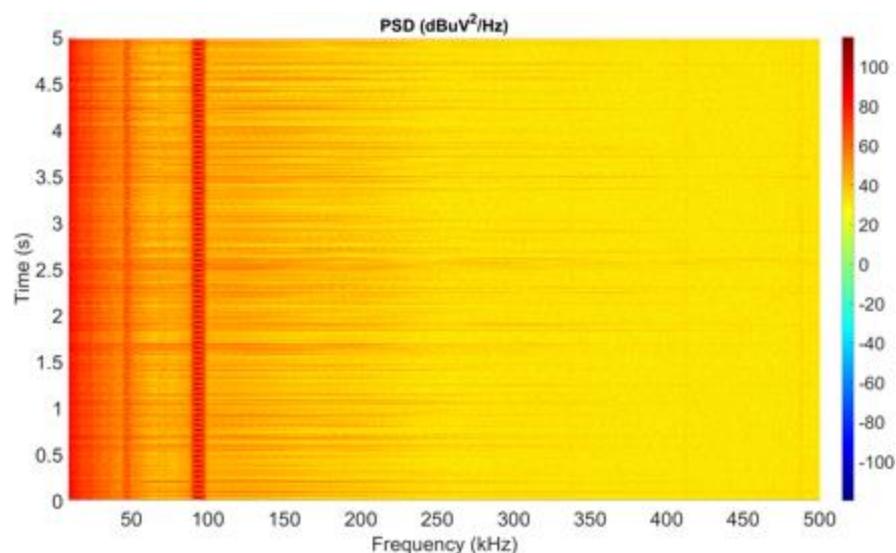


Figura.72. Espectrograma medición NIE 3B CH1

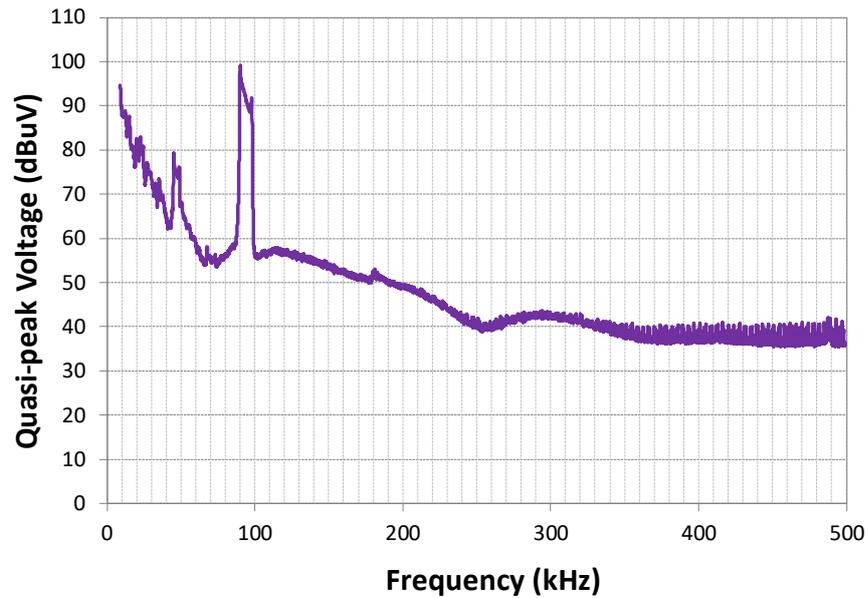


Figura.73. Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 3B CH1

Análisis del escenario 3B: Coche conectado y cargando, mediciones hechas en la regleta del microchip de transmisión.

En la Figura 74 y 75, se observa un valor de ruido cercano a los 90 dB μ V para la frecuencia inicial de 10 kHz. A medida que la frecuencia va aumentando el valor del ruido va descendiendo. Al llegar al valor de 40 kHz, se aprecia un ruido de banda estrecha entre 40 y 50 kHz, llegando a alcanzar un ruido de 79 dB μ V. Pasados los 50 kHz, el ruido vuelve a ser decreciente, hasta rondar los 90 kHz donde se aprecia otro ruido de banda estrecha, entre los 90 y 100 kHz, de valor muy superior a los ruidos en otras frecuencias, llegando a rondar los 100 dB μ V. Al superar esa frecuencia el ruido disminuye y se mantiene entre 35 y 40 dB μ V para todas las frecuencias superiores.

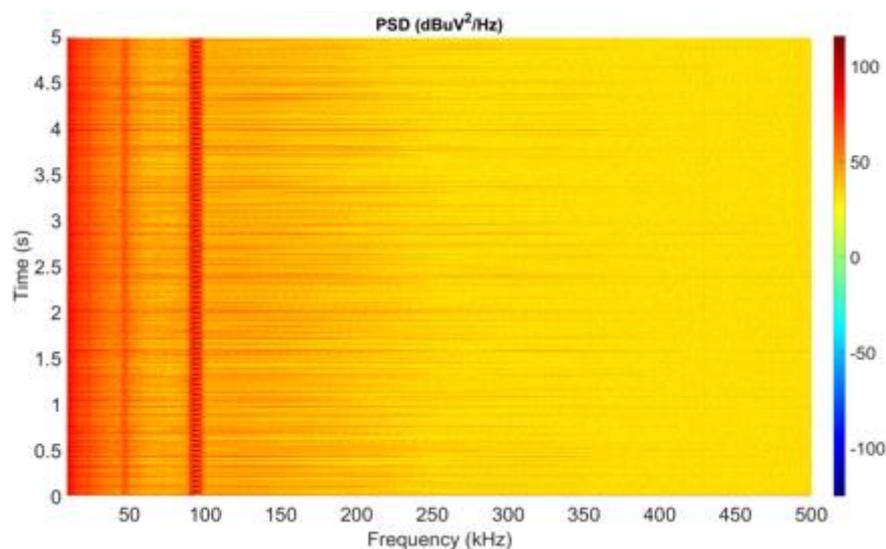


Figura.74. Espectrograma medición NIE 3B CH3-CH5

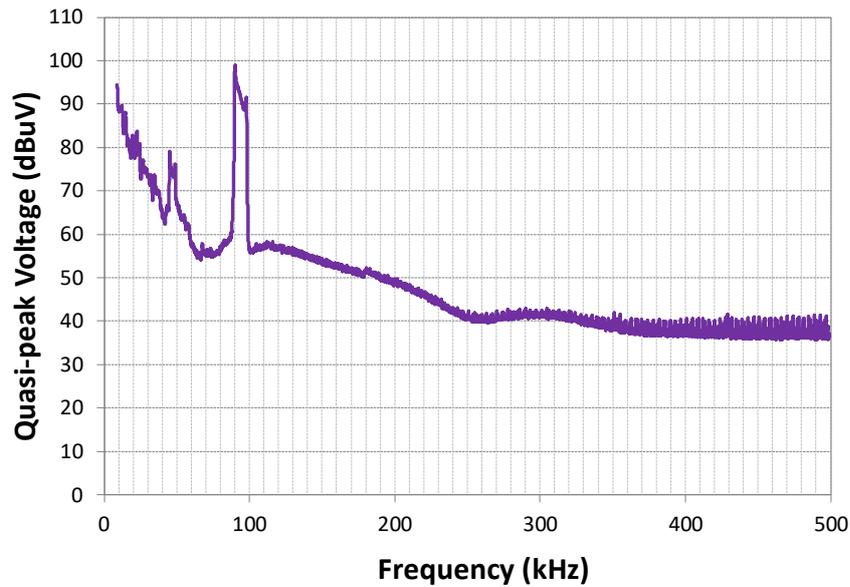


Figura.75. Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 3B CH3-CH5

Los resultados obtenidos en las Figuras 76, 77, 78, 79, 80 y 81 son similares a los analizados en las Figuras 74 y 75. Destacando como mayor diferencia el ruido que se observa en las frecuencias inferiores de la Figura 78, donde el ruido es más alto que en las otras medidas.

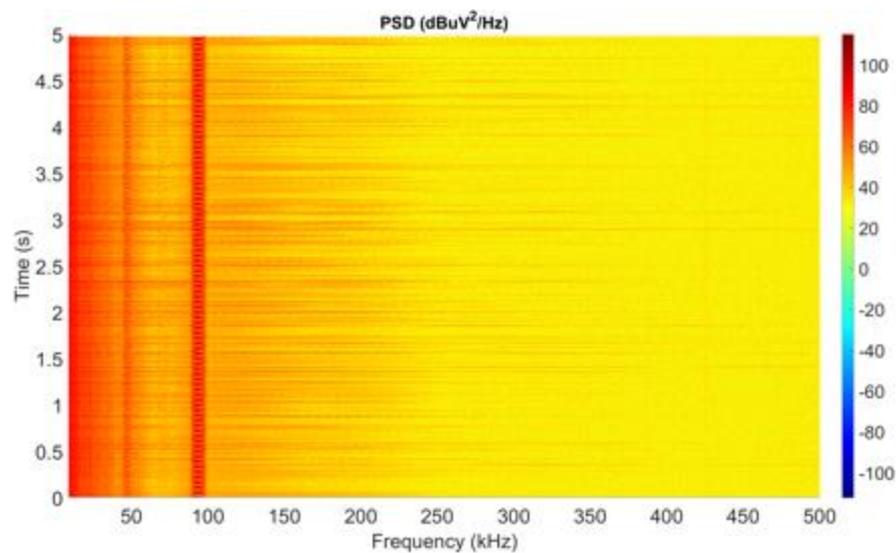


Figura.76. Espectrograma medición NIE 3B CH4

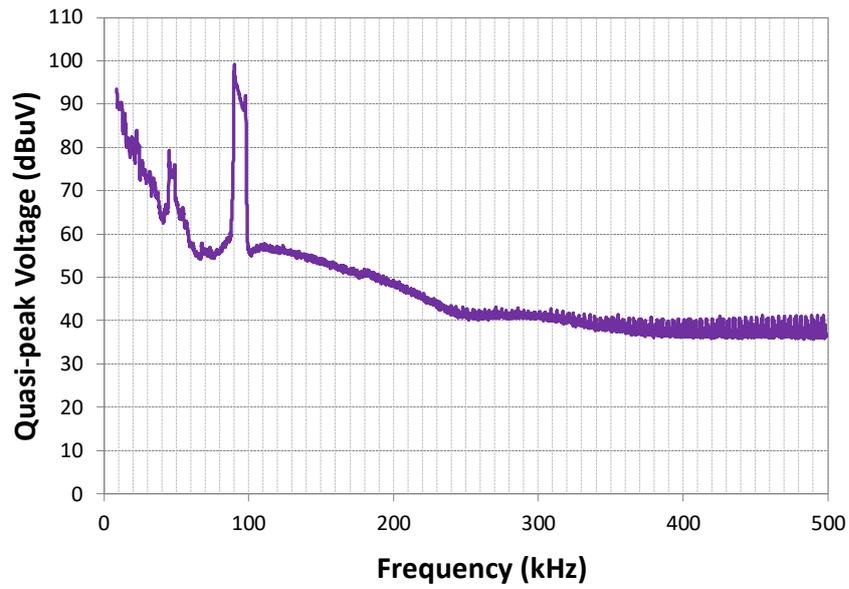


Figura.77. Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 3B CH4

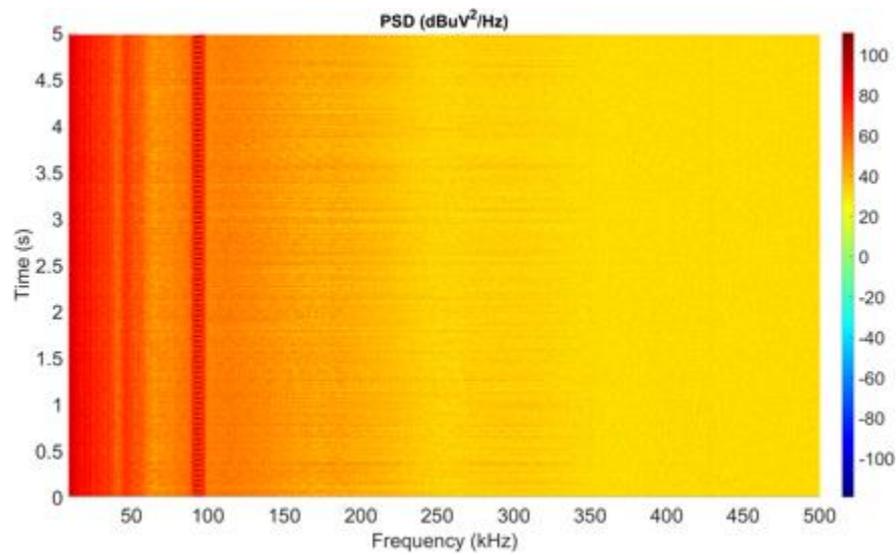


Figura.78. Espectrograma medición NIE 3B CH6-CH2

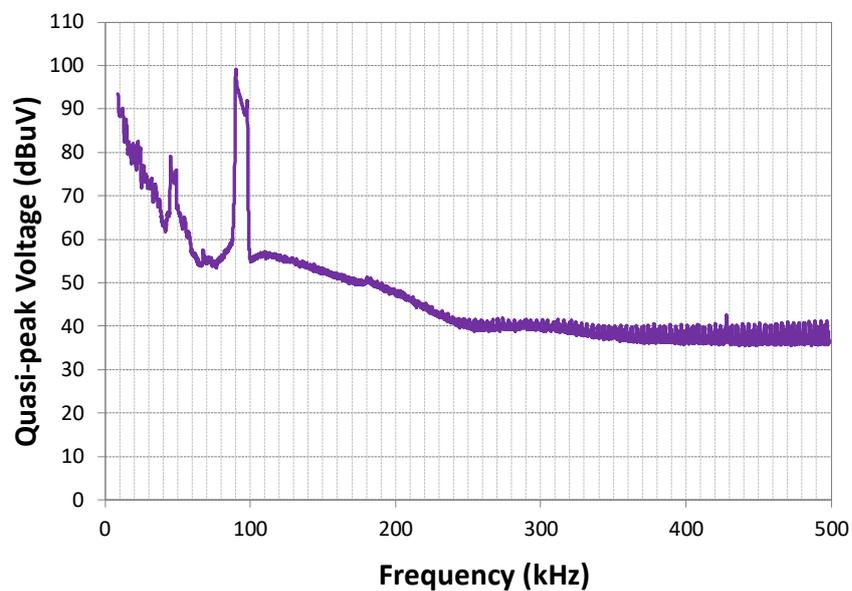


Figura.79. Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 3B CH6-CH2

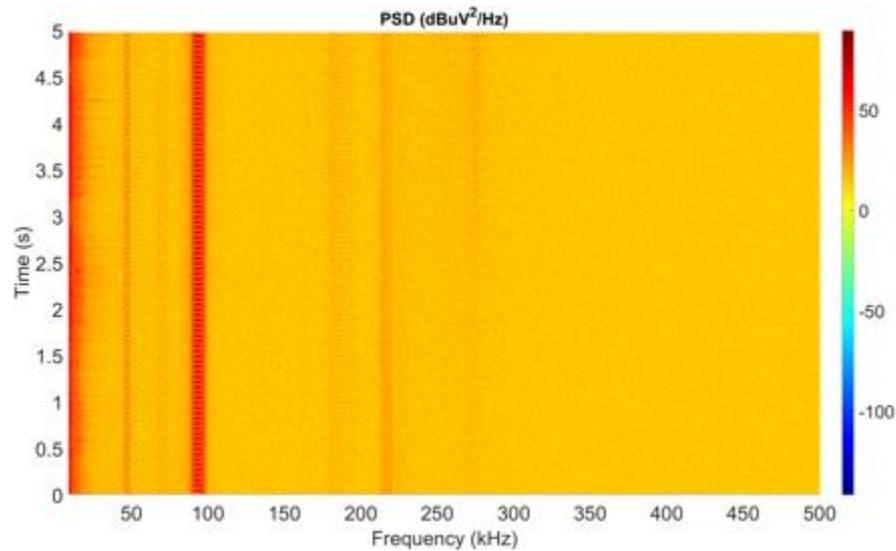


Figura.80. Espectrograma medición NIE 3B CH7

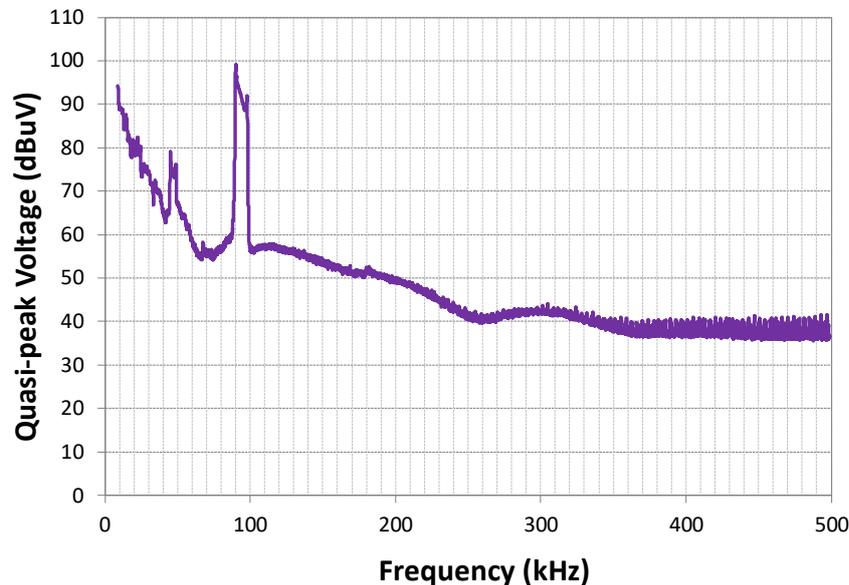


Figura.81. Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 3B CH7

Análisis del escenario 4A: Coche conectado sin cargar, mediciones en la regleta del receptor transmisor sin transmitir.

En las Figuras 82 y 83, se observa un ruido de fondo decreciente con gran pendiente a medida que la frecuencia aumenta, entre los 9 kHz y los 45 kHz. El valor de ruido inicial ronda los 65 dB μ V para una frecuencia de 9 kHz. A medida que aumentan los valores de frecuencia este ruido desciende hasta rondar los 26 dB μ V para una frecuencia de 45 kHz. Al llegar al valor de 45 kHz, se aprecia un ruido de banda estrecha entre 45 y 50 kHz, llegando a alcanzar un ruido de 46 dB μ V. Pasados los 50 kHz, el ruido vuelve a mantenerse rondando los 25 dB μ V. Al llegar al valor de 65 kHz, se aprecia un ruido de banda estrecha entre 65 y 75 kHz, llegando a alcanzar un ruido de 35 dB μ V. Al alcanzar los 90 kHz el valor del ruido vuelve a subir logrando en esta frecuencia el máximo nivel de ruido, 80 dB μ V. Se puede observar que, en valores de frecuencia mayores, el ruido emitido por la comunicación tiene replicas entre las frecuencias de 170-200 kHz y entre 200-230 kHz, estos niveles de ruido rondan los 35 dB μ V.

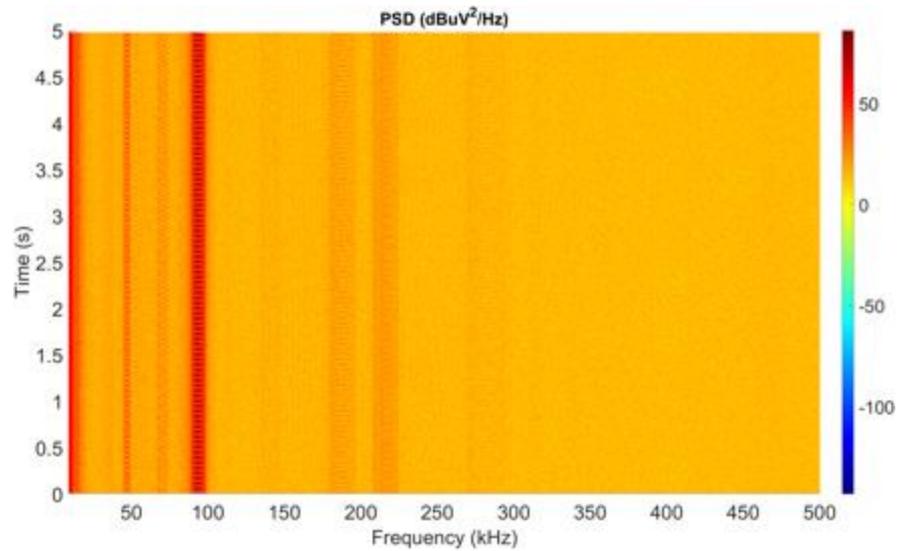


Figura.82. Espectrograma medición NIE 4A CH1

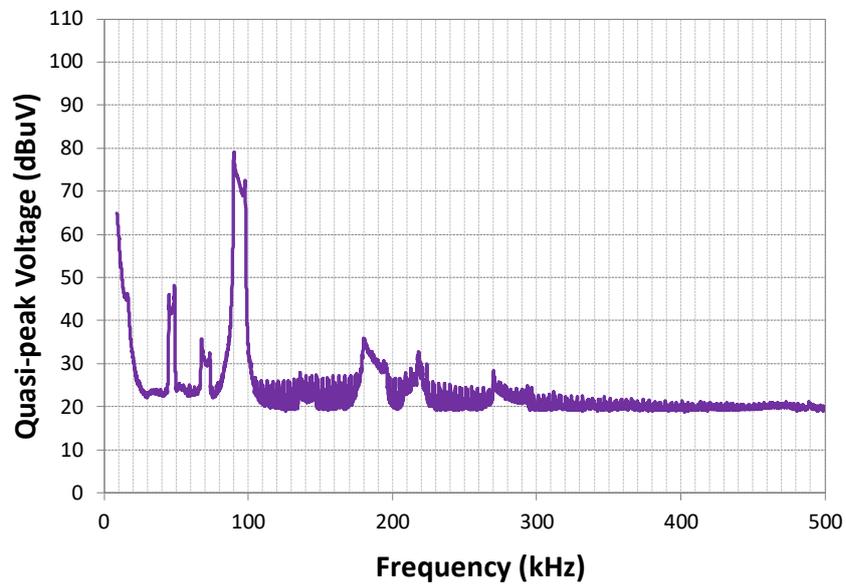


Figura.83. Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 4A CH1

Al igual que ocurre en los resultados del escenario anterior, en las Figuras 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90 y 91 los resultados obtenidos son muy parecidos a los obtenidos en las Figuras 82 y 83.

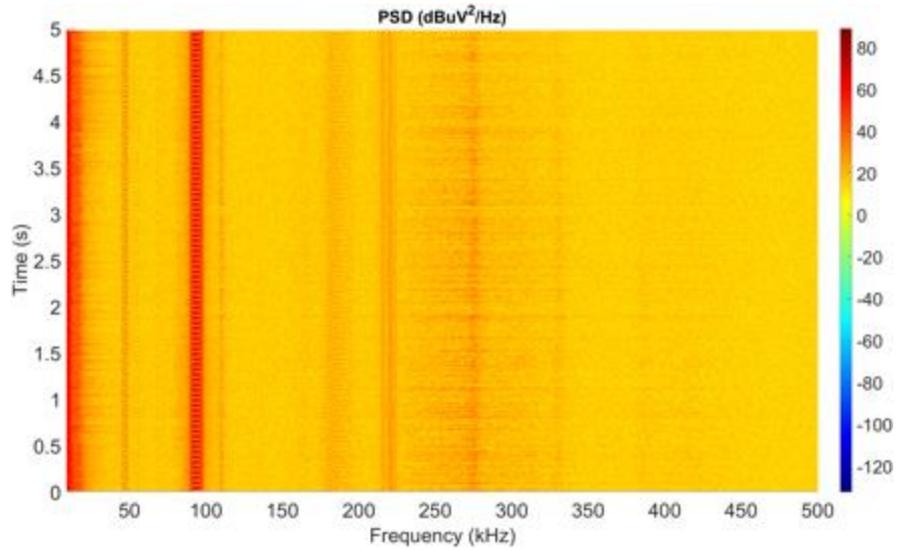


Figura.84. Espectrograma medición NIE 4A CH3-CH5

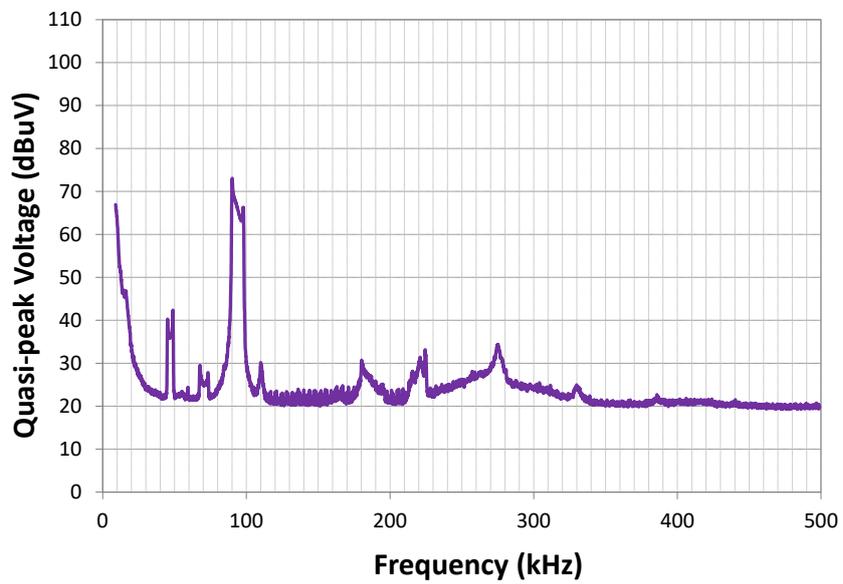


Figura.85. Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 4A CH3-CH5

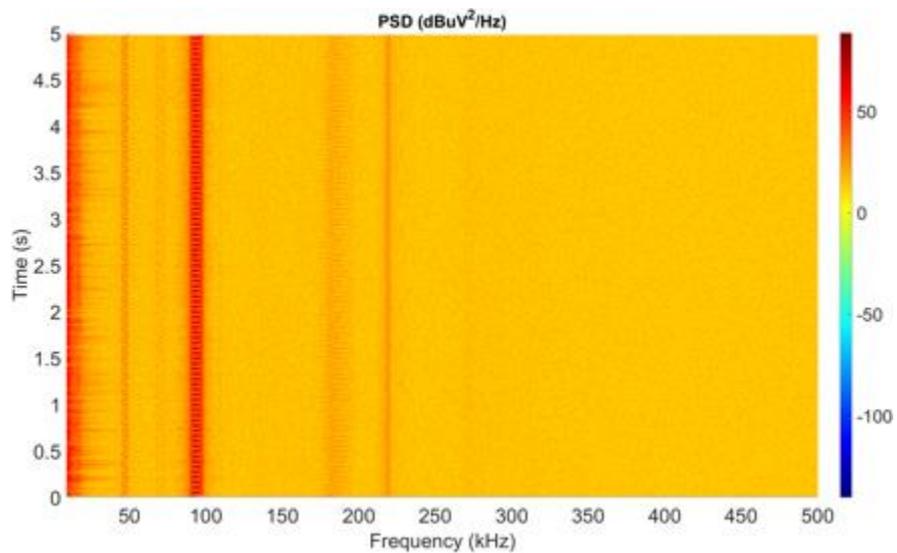


Figura.86. Espectrograma medición NIE 4A CH4

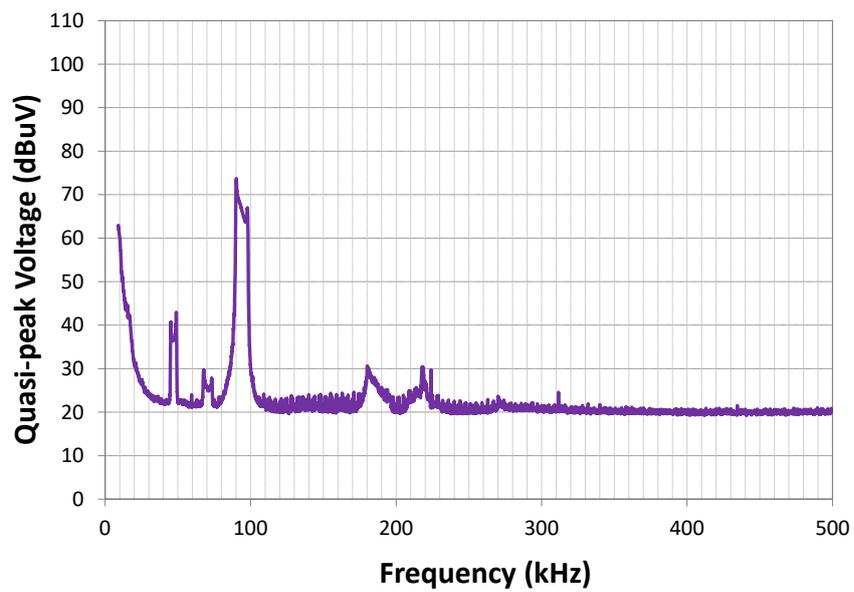


Figura.87. Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 4A CH4

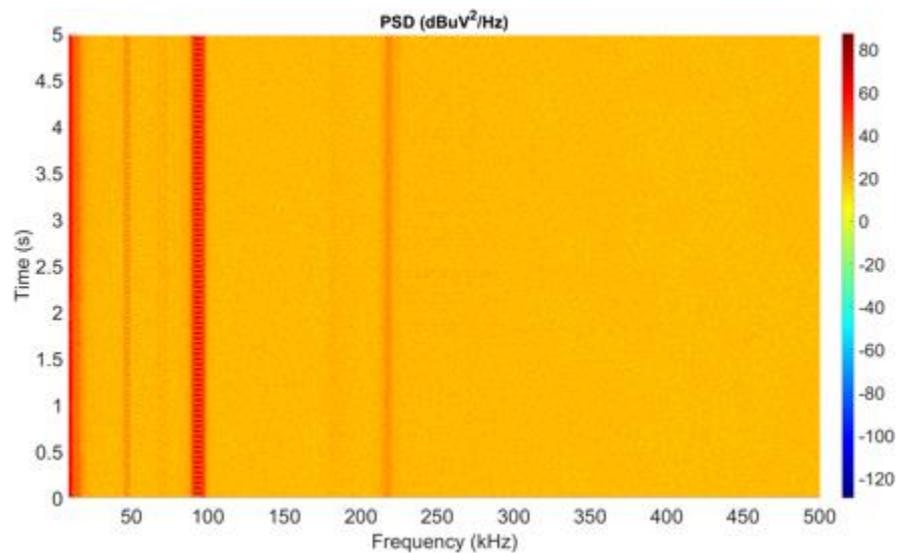


Figura.88. Espectrograma medición NIE 4A CH6-CH2

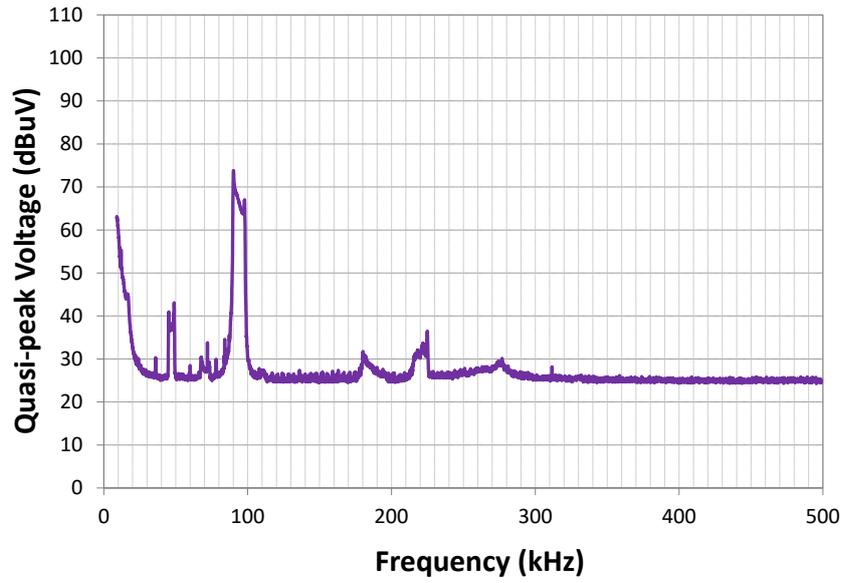


Figura.89. Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 4A CH6-CH2

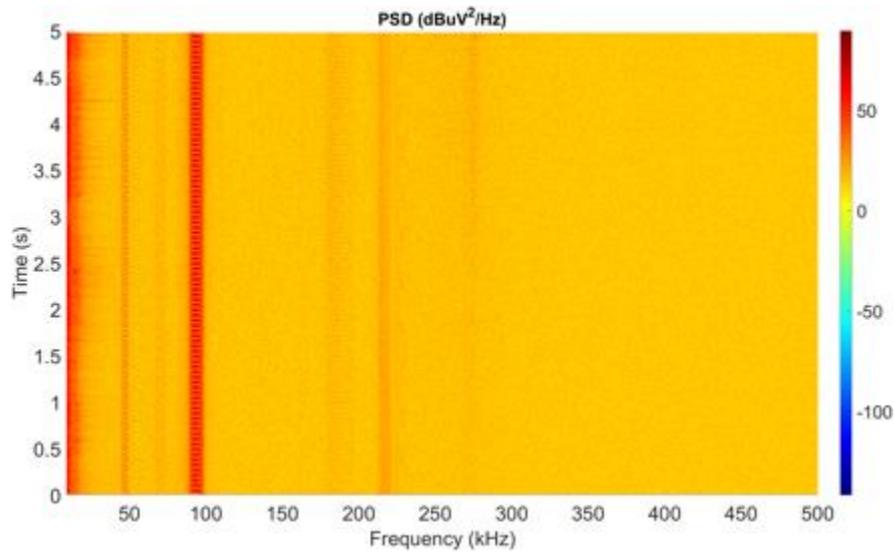


Figura.90. Espectrograma medición NIE 4A CH7

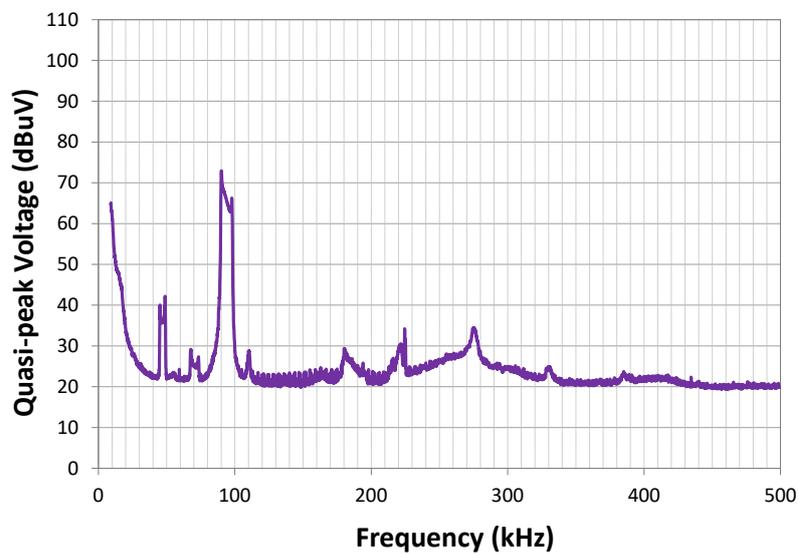


Figura.91. Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 4A CH7

Análisis del escenario 4B: Coche conectado sin cargar, mediciones en la regleta del receptor, transmisor transmitiendo.

En la Figura 92 y 93 se observa como el ruido en los 10 kHz ronda los 60 dB μ V y desciende hasta el valor de 20 dB μ V al llegar a la frecuencia de 40 kHz. Al superar esta frecuencia el ruido vuelve a ser ascendente hasta alcanzar el ruido el valor de 50 dB μ V. En los 100 kHz se da el ruido de mayor valor que alcanza los 80 dB μ V. Este ruido desciende hasta mantenerse entre los 20 y 25 dB μ V para las frecuencias más altas.

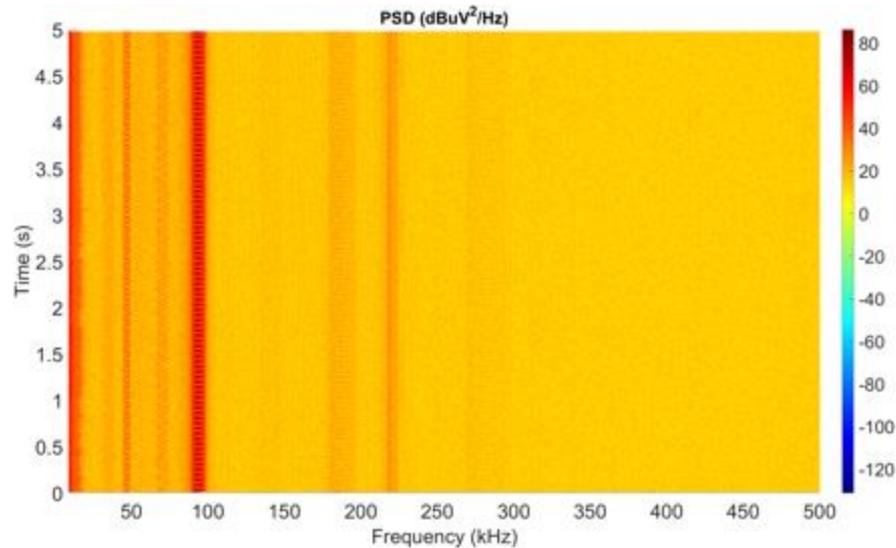


Figura.92. Espectrograma medición NIE 4B

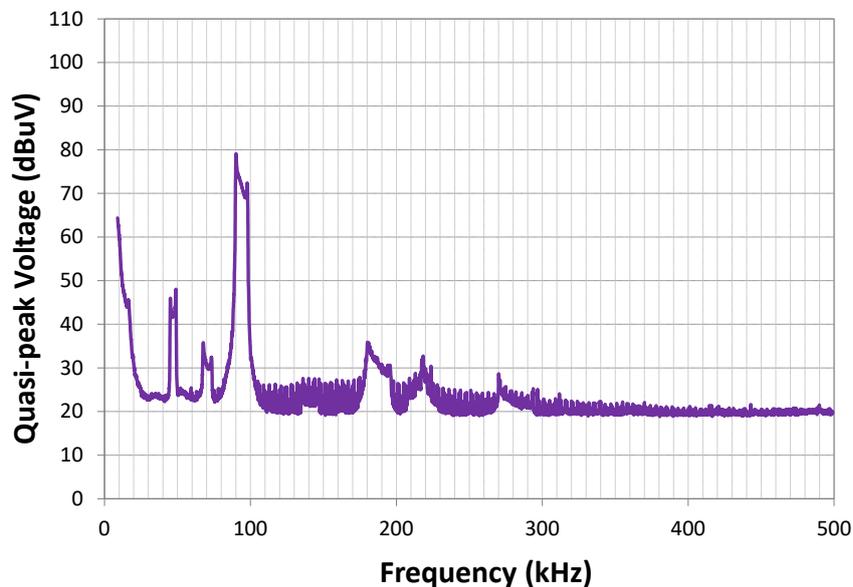


Figura.93. Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 4B

En la Figura 94 y 95 se observa como el ruido en los 10 kHz ronda los 60 dB μ V y desciende hasta llegar a la frecuencia de 40 kHz. Al superar esta frecuencia el ruido vuelve a ser ascendente hasta alcanzar el ruido máximo de 80 dB μ V en los 150 kHz. Este ruido desciende hasta mantenerse entre los 40 y 50 dB μ V para las frecuencias más altas. El ruido más alto de este

escenario se observa entre los 100 y 150 kHz, que es el rango de frecuencia que corresponde al canal 2.

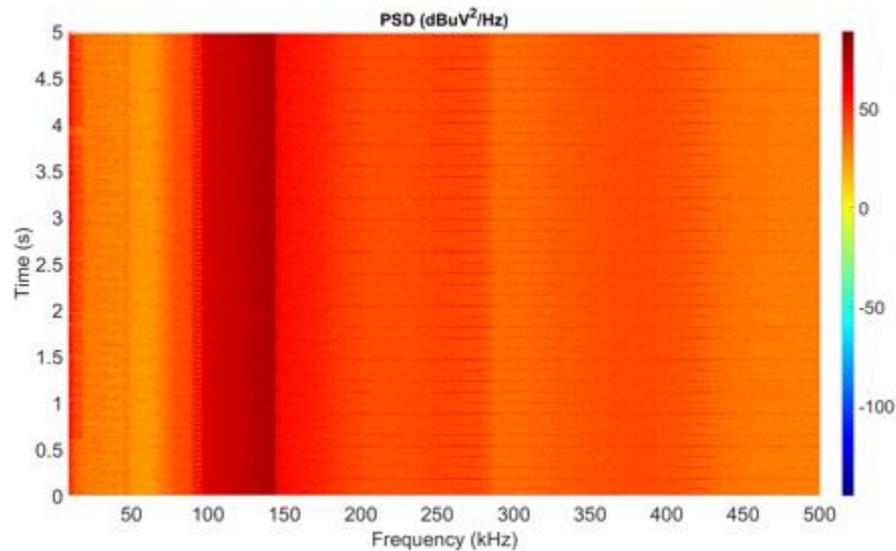


Figura.94. Espectrograma medición NIE 4B CH2

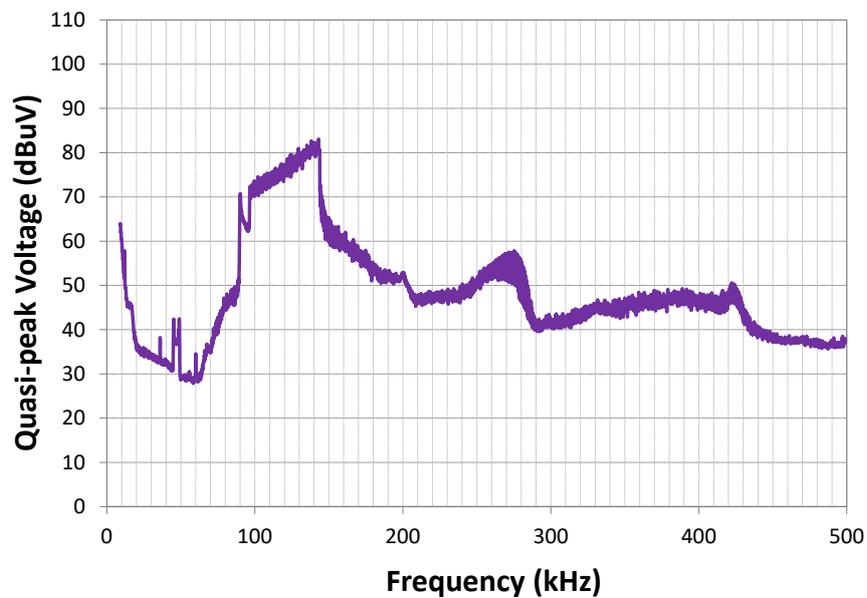


Figura.95. Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 4B CH2

En la Figura 96 y 97 se observa como el ruido en los 10 kHz ronda los 60 dB μ V y desciende hasta llegar a la frecuencia de 40 kHz. Al superar esta frecuencia el ruido vuelve a ser ascendente hasta alcanzar el ruido máximo de 80 dB μ V entre los 150 y 200 kHz. Este ruido desciende hasta mantenerse entre los 40 y 50 dB μ V para las frecuencias más altas. El ruido más alto de este escenario se observa entre los 150 y 200 kHz, que es el rango de frecuencia que corresponde al canal 3.

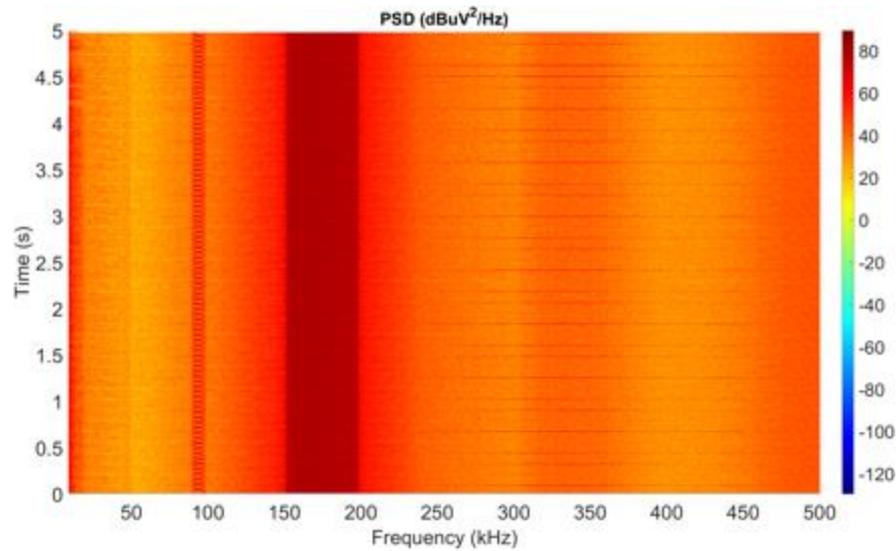


Figura.96. Espectrograma medición NIE 4B CH3

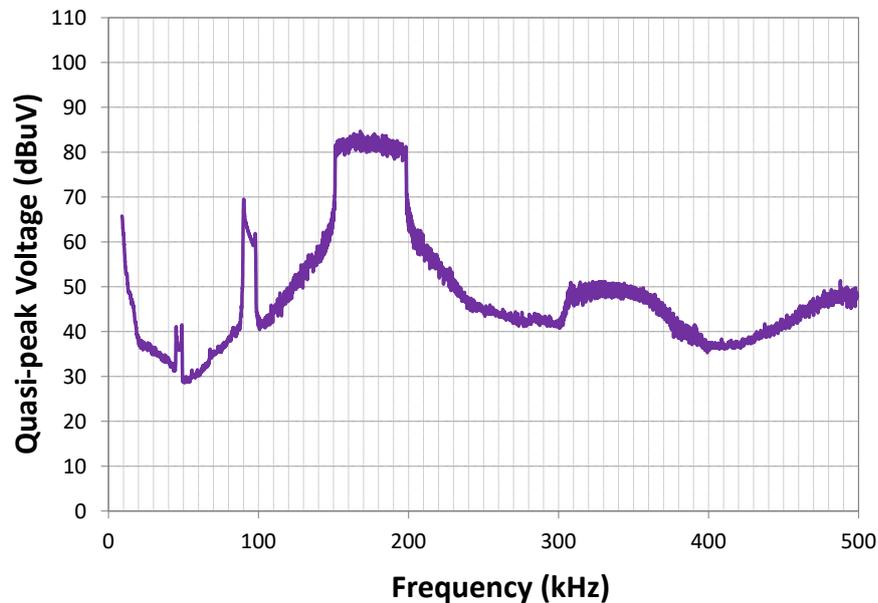


Figura.97. Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 4B CH3

En la Figura 98 y 99 se observa como el ruido en los 10 kHz ronda los 60 dB μ V y desciende hasta llegar a la frecuencia de 40 kHz. Al superar esta frecuencia el ruido vuelve a ser ascendente hasta alcanzar un ruido de 70 dB μ V al llegar a los 100 kHz. Entre los 200 y 250 kHz se da el ruido de valor máximo que alcanza los 80 dB μ V. Este ruido desciende hasta mantenerse entre los 35 y 45 dB μ V para las frecuencias más altas. El ruido más alto de este escenario se observa entre los 200 y 250 kHz, que es el rango de frecuencia que corresponde al canal 4.

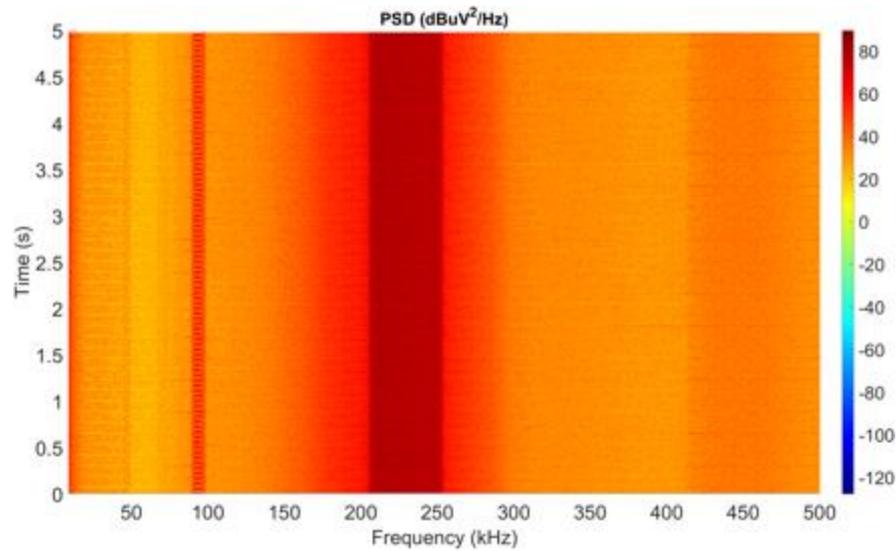


Figura.98. Espectrograma medición NIE 4B CH4

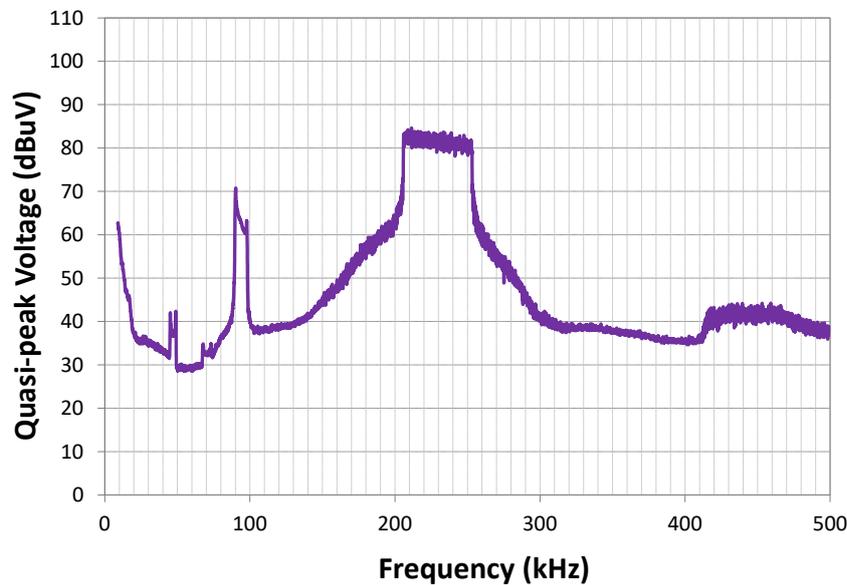


Figura.99. Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 4B CH4

En la Figura 100 y 101 se observa como el ruido en los 10 kHz ronda los 60 dB μ V y desciende hasta llegar a la frecuencia de 40 kHz. Al superar esta frecuencia el ruido vuelve a ser ascendente hasta alcanzar un ruido de 70 dB μ V al llegar a los 100 kHz. Entre los 250 y 300 kHz se da el ruido de valor máximo que alcanza los 80 dB μ V. Este ruido desciende hasta mantenerse en los 35 dB μ V para las frecuencias más altas. El ruido más alto de este escenario se observa entre los 250 y 300 kHz, que es el rango de frecuencia que corresponde al canal 5.

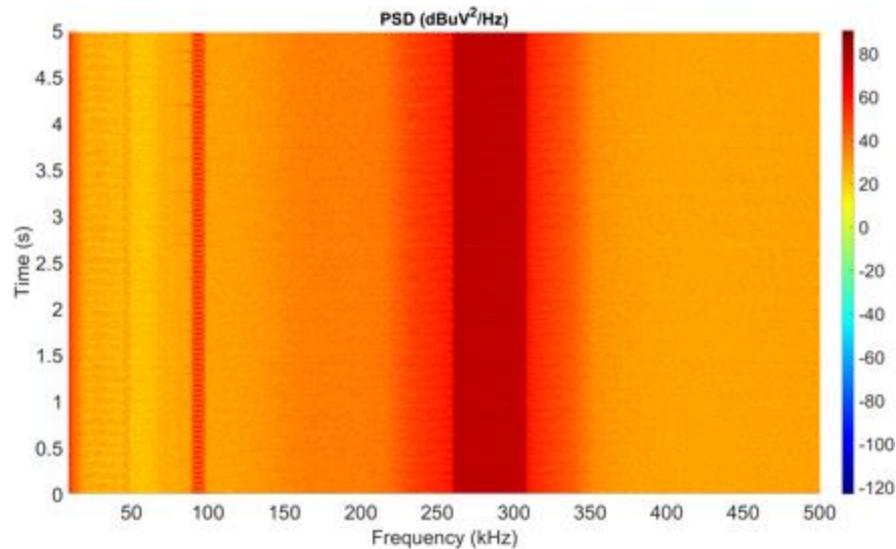


Figura.100. Espectrograma medición NIE 4B CH5

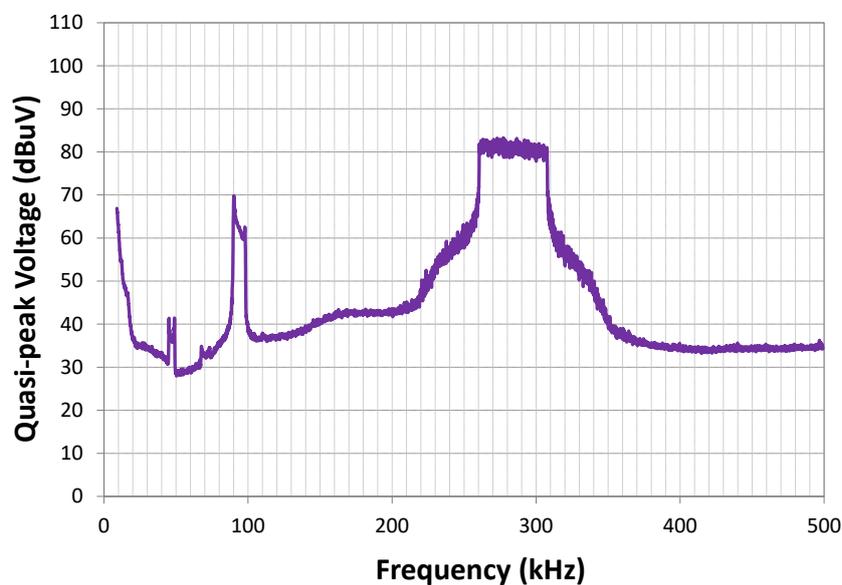


Figura.101. Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 4B CH5

En la Figura 102 y 103 se observa como el ruido en los 10 kHz ronda los 60 dB μ V y desciende hasta llegar a la frecuencia de 40 kHz. Al superar esta frecuencia el ruido vuelve a ser ascendente hasta alcanzar un ruido de 70 dB μ V al llegar a los 100 kHz. Entre los 330 y 360 kHz se da el ruido de valor máximo que alcanza los 80 dB μ V. Este ruido desciende hasta mantenerse en los 35 dB μ V para las frecuencias más altas.

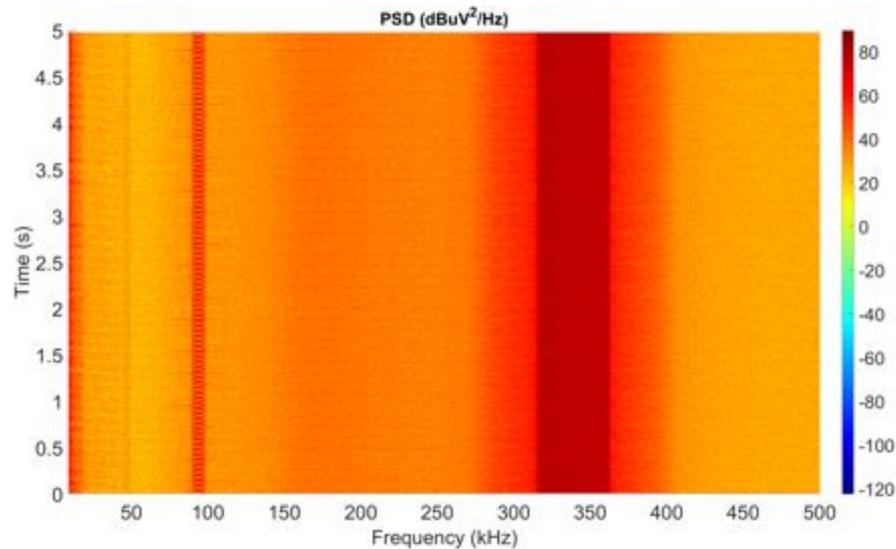


Figura.102. Espectrograma medición NIE 4B CH6

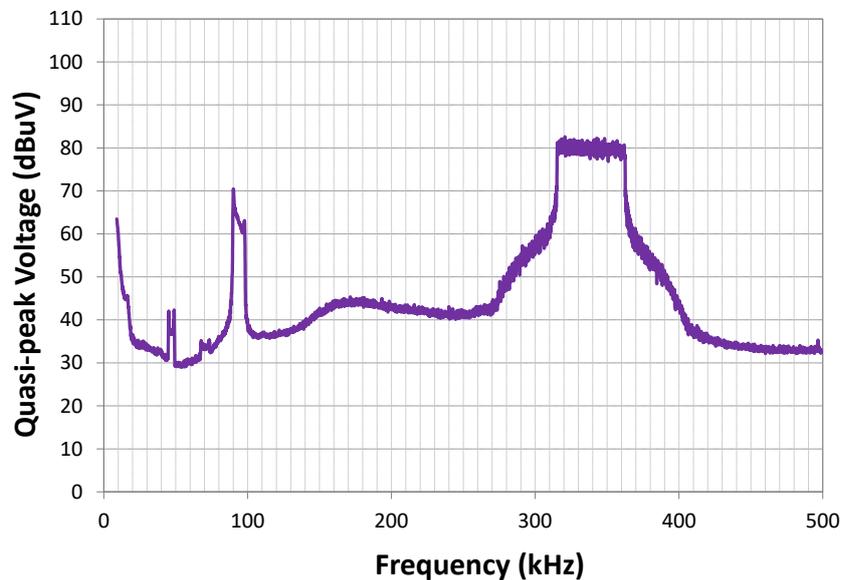


Figura.103. Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 4B CH6

En la Figura 104 y 105 se observa como el ruido en los 10 kHz ronda los 60 dB μ V y desciende hasta llegar a la frecuencia de 40 kHz. Al superar esta frecuencia el ruido vuelve a ser ascendente hasta alcanzar un ruido de 70 dB μ V al llegar a los 100 kHz. Entre los 360 y 420 kHz se da el ruido de valor máximo que alcanza los 80 dB μ V. Este ruido desciende hasta mantenerse en los 40 dB μ V para las frecuencias más altas.

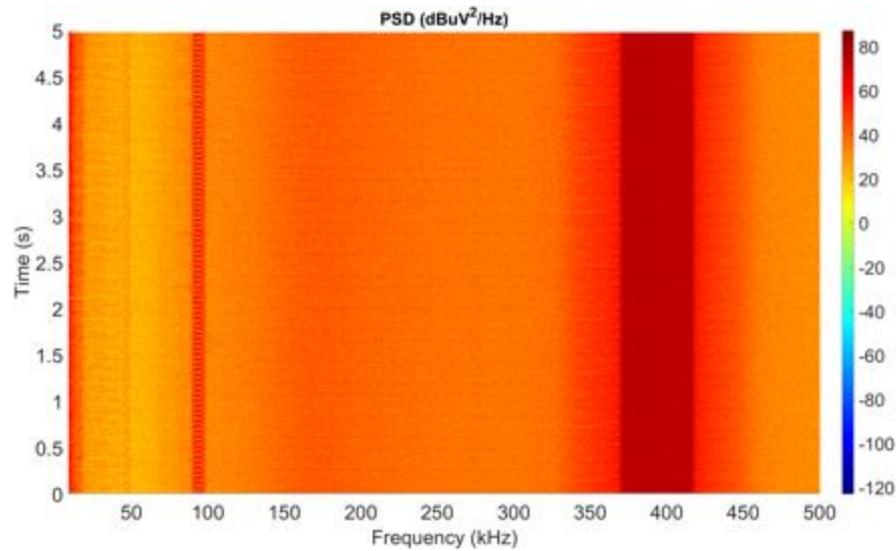


Figura.104. Espectrograma medición NIE 4B CH7

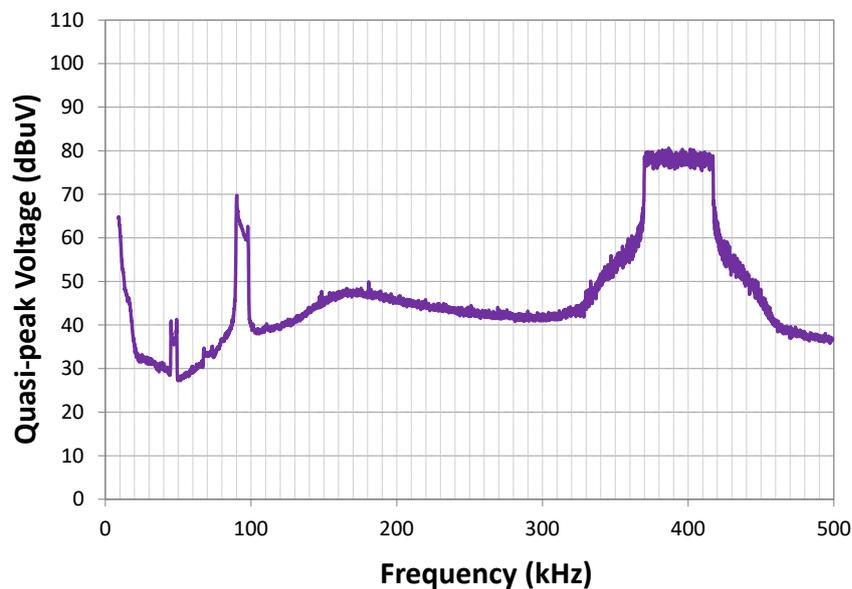


Figura.105. Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 4B CH7

En la Figura 106 y 107 se observa como el ruido en los 10 kHz ronda los 60 dB μ V y desciende hasta llegar a la frecuencia de 40 kHz. Al superar esta frecuencia el ruido vuelve a ser ascendente hasta alcanzar un ruido de 70 dB μ V al llegar a los 100 kHz. El ruido desciende hasta alcanzar los 40 dB μ V. Al llegar a la frecuencia de 430 kHz hasta los 470 kHz se da el ruido de valor máximo que alcanza los 80 dB μ V. Este ruido desciende hasta mantenerse en los 40 dB μ V para las frecuencias más altas.

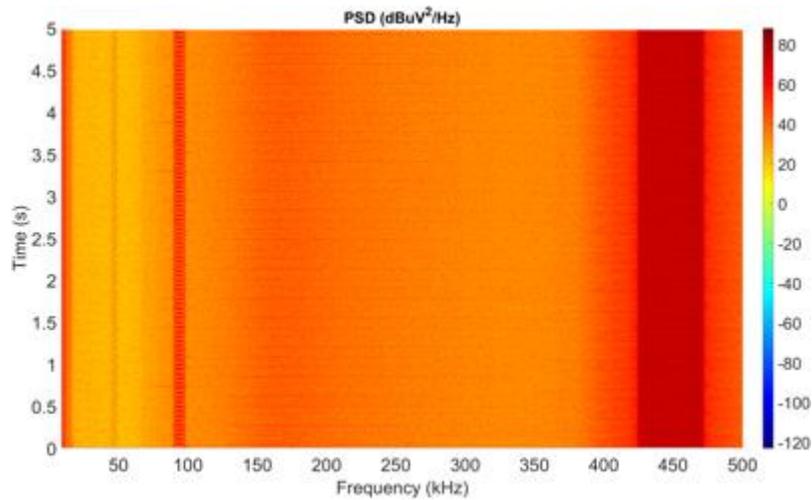


Figura.106. Espectrograma medición NIE 4B CH8

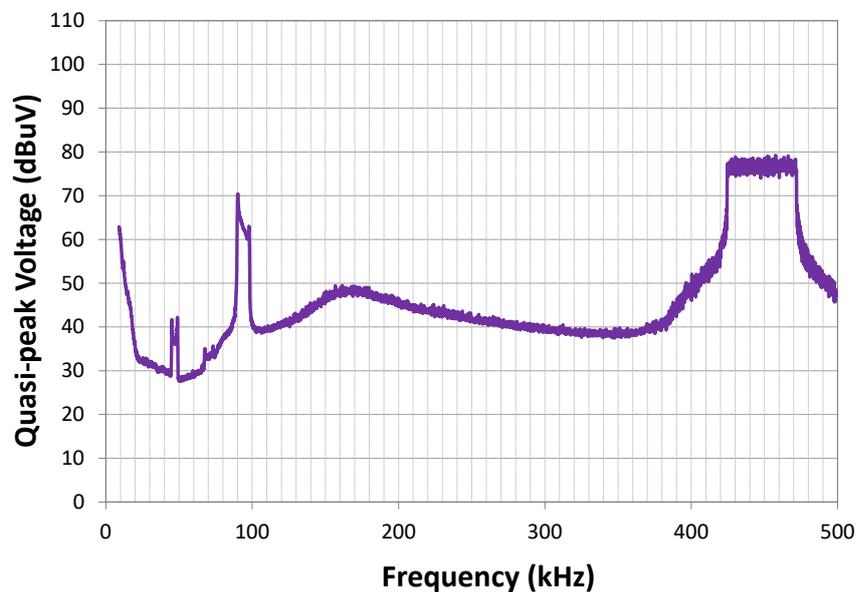


Figura.107. Quasi-peak Voltage (dBuV) medición NIE 4B CH8

5.2.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE NIE

Dividendo los resultados por escenarios se puede observar lo siguiente:

- Las medidas realizadas en el escenario 3A en el que el coche estaba conectado, pero no estaba cargando y el transmisor no transmitía (Figura 70) el ruido más característico que se aprecia es el que se da en 36 kHz y sus múltiplos.

- Las medidas realizadas en el escenario 3B en el que el coche estaba conectado y cargando, mientras que el transmisor no transmite (Figuras 72, 74, 76, 78 y 80) se mantiene un patrón entre ellas aunque tengan alguna diferencia. En todos los espectrogramas podemos visualizar un ruido muy superior al que hay en las otras frecuencias entre los 90-100 kHz. Para frecuencias más bajas se aprecia que el ruido de fondo es parecido en todas las mediciones. En todas ellas a la vez que se va aumentando en frecuencia se observa que el ruido de fondo se hace inferior. El ruido que se da en frecuencias inferiores parece ser bastante menor a los otros casos en la Figura 80, cuando está conectado al canal 7.

- Las medidas realizadas en el escenario 4A en el que el coche estaba conectado, pero no estaba cargando y el transmisor no transmitía en este caso haciendo las mediciones en la regleta en la que está conectado el receptor (Figuras 82, 84, 86, 88 y 90) los resultados obtenidos son muy parecidos tanto en forma como en valor a los resultados obtenidos en el escenario anterior. Se mantiene el mismo ruido que se da en un rango de frecuencias entre los 90-100 kHz. Para frecuencias más bajas hay menos ruido que en el escenario anterior, el ruido de fondo es inferior, pero los múltiplos de la frecuencia que se ha mencionado, la que ronda los 90-100 kHz, se reproducen con mayor intensidad. Es decir sus armónicos crean un ruido que antes no creaban. Cuando se va aumentando en frecuencia el ruido va desapareciendo hasta desaparecer casi por completo en los rangos de frecuencias más altos. Teniendo en cuenta que con la situación anterior el coche estaba cargando y en esta no, se puede apreciar que en el escenario en el que el coche se cargaba aparece un ruido de fondo mayor.

- Las medidas realizadas en el escenario 4B en el que el coche estaba conectado y cargando y el transmisor estaba transmitiendo por los diferentes canales de PRIME (Figuras 92, 94, 96, 98, 100, 102, 104 y 106) se puede observar que el ruido aumenta considerablemente. En cada uno de los resultados un rango de frecuencias, las que pertenecen al canal el que está siendo transmitido en cada uno de ellos presentan un ruido muy elevado a los demás, cosa que es normal puesto que se reflejan todas las comunicaciones y ruidos que se transportan por dicho canal. En las frecuencias inferiores sigue apareciendo el mismo ruido en el intervalo de frecuencias entre 90-100 kHz. A medida que va aumentando en valor el canal por el que se retransmite el ruido puede disminuir un poco. De todas maneras, este escenario es el que valores de ruido más altos representa.

En los niveles de frecuencia inferior se pueden apreciar los ruidos mencionados en todos los escenarios analizados, tanto cuando el coche eléctrico estaba cargando como cuando no, esto puede asegurar que el coche este cargando no influye en esos niveles de ruido.

5.3. COMUNICACIONES

Utilizando los diferentes canales de comunicación, se ha enviado un mensaje en las diferentes situaciones de carga y jugando con el valor de la atenuación para analizar cómo afecta el ruido en las comunicaciones.

El ruido en las comunicaciones puede definirse de manera simple como cualquier energía eléctrica no deseada que aparece en la frecuencia de la señal deseada e interfiere con ella perturbando la comunicación.

Es importante definir la relación señal a ruido (SNR) y el ratio error de tramas (FER). La SNR medida en dB, representa cuántos dB es mayor la señal de la potencia que desea enviarse en comparación con el ruido. El FER, se calcula como el número de tramas erróneas entre en número de tramas totales. Para representar las curvas FER, se varía el valor de SNR. Esto se puede hacer de dos maneras diferentes, se puede modificar la potencia de la señal, atenuándola, o, se puede modificar la potencia del ruido, aumentándola. [32]

El indicador de intensidad de señal recibida (RSSI), es una medida estimada de lo bien que un dispositivo puede oír, detectar y recibir señales desde cualquier punto de acceso o de un router específico. Este valor ayuda a determinar y saber si una señal es suficiente para establecer una conexión inalámbrica. [33]

5.3.1. RESULTADOS DE COMUNICACIONES

En la tabla VII, se observan las mediciones realizadas. Se han llevado a cabo mediciones en los diferentes canales, para ello, ajustando los diferentes valores de ruido y atenuación, se han medido de 1000 mensajes enviados, cuantos se han recibido correctamente, cuantos no se han recibido correctamente y cuantos no se han llegado a recibir. Se observa que las comunicaciones por el canal 3 son las que más problemas han tenido, puesto que en la mayoría de los casos no se han recibido los 1000 mensajes enviados. Se observa en los resultados analizados de los diferentes canales que al subir la atenuación los mensajes que no se han recibido correctamente aumentan. Lo mismo ocurre con el valor del FER, al tratarse de la relación entre las tramas que llegan correctamente y las que no, este valor aumenta al aumentar la atenuación del canal. Puesto que atenuando la señal se interfiere en las comunicaciones los resultados obtenidos son lógicos.

Tabla VII. Mediciones comunicaciones

CARGADOR MODO DE CARGA	MONTAJE	CH	Att	NOISE	SNR	FER	RSSI	OK	NO OK	TOT.
J011 KONA (9A)	2 LISN	1	8 + 0	0.1 Vpp	15.58	8.59%	88.01	830	78	908
J011 KONA (9A)	2 LISN	1	3 + 0.5	1 Vpp	7.17	1 %	93	990	10	1000
J011 KONA (9A)	2 LISN	1	4 + 0	1 Vpp	7.47	1.5 %	93	985	15	1000
J011 KONA (9A)	2 LISN	1	4 + 0.5	1 Vpp	7.13	3.3 %	92.88	967	33	1000
J011 KONA (9A)	2 LISN	1	5 + 0.5	1 Vpp	6.46	35 %	92	650	350	1000
J011 KONA (9A)	2 LISN	1	5 + 0	1 Vpp	6.76	11 %	92	890	110	1000
J011 KONA (9A)	2 LISN	4	6 + 0	2.5 Vpp	5.54	5.3 %	102	947	53	1000
J011 KONA (9A)	2 LISN	4	5 + 0.5	2.5 Vpp	5.84	1.1 %	103	989	11	1000
J011 KONA (9A)	2 LISN	4	6 + 0.5	2.5 Vpp	5.26	16.8 %	102	832	168	1000
J011 KONA (9A)	2 LISN	4	6 + 0.2	2.5 Vpp	5.42	9.5 %	102	905	95	1000
J011 KONA (9A)	2 LISN	4	7 + 0.5	2.5 Vpp	4.77	12.6 %	101	872	126	998
J011 KONA (9A)	2 LISN	8	7 + 0	2.5 Vpp	5.21	10.3%	102	897	103	1000
J011 KONA (9A)	2 LISN	8	6 + 0.5	2.5 Vpp	5.46	3.3%	102	966	33	999
J011 KONA (9A)	2 LISN	8	6 + 0.7	2.5 Vpp	5.31	5.1%	102	949	51	1000
J011 KONA (9A)	2 LISN	8	7 + 0.5	2.5 Vpp	4.96	39.2%	101	607	392	999
J011 KONA (9A)	2 LISN	8	6 + 0	2.5 Vpp	5.73	0.1%	102	998	1	999
J011 KONA (9A)	2 LISN	6	6 + 0	2.5 Vpp	5.65	1.5%	103	985	15	1000
J011 KONA (9A)	2 LISN	6	6 + 0.5	2.5 Vpp	5.35	8.3%	102.5	914	86	1000
J011 KONA (9A)	2 LISN	6	6 + 0.3	2.5 Vpp	5.48	4%	103	958	40	998
J011 KONA (9A)	2 LISN	6	7 + 0	2.5 Vpp	5.1	23.8%	102	760	238	998
J011 KONA (9A)	2 LISN	6	7 + 0.5	2.5 Vpp	4.88	37.6%	102	622	376	998
J011 KONA (9A)	2 LISN	2	2 + 0.5	2.5 Vpp	6.1	5.7%	101.3	942	57	999
J011 KONA (9A)	2 LISN	2	2 + 0	2.5 Vpp	6.46	1.4%	102	986	14	1000
J011 KONA (9A)	2 LISN	2	3 + 0	2.5 Vpp	5.84	15.2%	101	848	152	1000
J011 KONA (9A)	2 LISN	2	3 + 0.5	2.5 Vpp	5.56	39.6%	101	604	396	1000
J011 KONA (9A)	2 LISN	3	7 + 0	2.5 Vpp	5.35	6.2%	101.1	937	62	999
J011 KONA (9A)	2 LISN	3	6 + 0.5	2.5 Vpp	5.62	1.2%	102	987	12	999
J011 KONA (9A)	2 LISN	3	7 + 0.5	2.5 Vpp	5.08	25.5%	101	744	255	999
J011 KONA (9A)	2 LISN	3	7 + 0.2	2.5 Vpp	5.25	11.1%	101	886	111	997
J011 KONA (9A)	2 LISN	3	8 + 0	2.5 Vpp	4.82	72.1%	101	279	721	1000
J011 KONA (9A)	2 LISN	5	7 + 0	2.5 Vpp	5.17	17.3%	102	827	173	1000

J011 KONA (9A)	2 LISN	5	6 + 0.5	2.5 Vpp	5.32	5.5%	102	945	55	1000
J011 KONA (9A)	2 LISN	5	6 + 0	2.5 Vpp	5.56	1%	102.87	990	10	1000
J011 KONA (9A)	2 LISN	5	7 + 0.5	2.5 Vpp	4.79	70%	101.9	700	300	1000
J011 KONA (9A)	2 LISN	5	6 + 0.7	2.5 Vpp	5.22	24.5%	102	855	145	1000
J011 KONA (9A)	2 LISN	7	6 + 0.7	2.5 Vpp	5.4	1.2%	102	987	12	999
J011 KONA (9A)	2 LISN	7	7 + 0.7	2.5 Vpp	4.92	32.8%	101.7	670	328	998
J011 KONA (9A)	2 LISN	7	7 + 0	2.5 Vpp	5.25	4.8%	102	951	48	999
J011 KONA (9A)	2 LISN	7	7 + 0.3	2.5 Vpp	5.08	11.3%	102	886	113	999
J011 KONA (9A)	2 LISN	7	8 + 0.2	2.5 Vpp	4.58	91.3%	101	87	913	1000

6. CONCLUSIONES

En general, para buscar una comunicación adecuada por la línea de PLC hay que tener en cuenta que los ruidos (producidos por aparatos conectados a la red, como puede ser el VE), cambian con el tiempo y pueden ser muy variables a lo largo del día. Pueden ser muy superiores en momentos de mucha actividad. Los estudios de valores de ruido y frecuencia aportan mucha información y facilitan el saber si las comunicaciones pueden producirse de manera efectiva en una situación concreta. Lo difícil es caracterizar todas las situaciones que pueden darse.

El ruido creado por los componentes de los vehículos eléctricos y sus postes de recarga pueden afectar a las comunicaciones, pudiendo hacer que fallen las comunicaciones entre el vehículo eléctrico y el poste de recarga, lo que supondría un peligro para la seguridad. También pueden afectar a las comunicaciones en las que están relacionados los medidores inteligentes puesto que los ruidos que crean no solo afectan al propio vehículo, sino que se pueden colar en la red eléctrica.

El objetivo principal de este proyecto ha sido caracterizar el ruido y las emisiones no intencionadas creadas por diferentes vehículos eléctricos en diferentes situaciones de carga y así poder establecer un rango de frecuencia adecuado para llevar a cabo las comunicaciones de una manera efectiva.

Por problemas sanitarios, que se han dado a lo largo de este año, ha sido imposible realizar medidas con diferentes vehículos eléctricos y en diferentes situaciones de carga como era el objetivo inicial. Solo se han podido caracterizar los ruidos de un único vehículo y en un único estado de carga produce. Ha sido imposible determinar en qué rangos de frecuencias son adecuadas las comunicaciones puesto que los resultados obtenidos no pueden interpolarse a diferentes vehículos o diferentes estados de carga.

Por otra parte, las comunicaciones por medio de la línea eléctrica están evolucionando y los problemas que crean pueden evitarse mediante metodología e investigación.

Basándose en los resultados obtenidos en un único vehículo eléctrico, para la caracterización de las NIEs y no pudiendo asegurar que siempre ocurra de esta manera, en este caso se puede decir que al cargar el coche, mientras los transmisores no transmitían el ruido producido en la red, es mayor en las frecuencias más bajas sin llegar a ser muy alto. Por el contrario, en las frecuencias superiores en casi todos los resultados obtenidos se ha podido apreciar que el ruido de fondo y el que aparece es mínimo.

Respecto a los resultados obtenidos en la parte de las comunicaciones, se puede observar que han sido necesarios valores muy pequeños de atenuación para hacer fallar las comunicaciones. Atenuaciones mínimas han hecho que las comunicaciones fallen de una manera muy considerable.

Sin poder haber obtenido más datos de diferentes vehículos y situaciones, de una manera general se puede controlar el ruido de diferentes maneras. Mediante un estudio se puede caracterizar el ruido que hay en la red bajo diferentes circunstancias y sacar patrones que establezcan en que momentos la red tiene menos ruido. Así, se podrían usar esos momentos en los que el ruido es menor para llevar a cabo las comunicaciones.

Otra opción posible es que se coloque un filtro en esos equipos, como pueden ser los postes de recarga de vehículos eléctricos. Para esto será necesario una investigación mayor y más detallada de cada uno de los tipos de cargadores y vehículos para poder caracterizar los ruidos asociados a cada uno de ellos.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Fernandez Palomeque y M. Coello, «El Vehículo Eléctrico Análisis de su Infraestructura de Carga y su Integración a una Smart Grid,» de *Centro de Investigación y desarrollo ERGON*, Cuenca Ecuador, 2015.
- [2] Energía y sociedad, «Las claves del sector energético. Historia de la electricidad en España,» [En línea]. Available: <http://www.energiaysociedad.es/manenergia/1-2-historia-de-la-electricidad-en-espana/>.
- [3] A. C. Díaz Mendoza, M. Larrea Basterra , E. Álvarez Pelegry y C. Mosácula Atienza , «De la liberalización (Ley 54/1997) a la reforma (IEY 24/2013) del sector eléctrico español,» Orkestra. Instituto vasco de competitividad, fundación Deusto. , Bilbao, 2015.
- [4] «Las claves del sector energético,» *Energía y sociedad*, 2019.
- [5] F. Cayón García, «Electricidad e historia: la perspectiva de un siglo.,» *Tst: Transportes, Servicios y telecomunicaciones*, vol. 1, pp. 113-133, 2001.
- [6] J. Santamaria, «El futuro del automóvil es eléctrico,» *Técnica Industrial* 281, pp. 26-35, 2009.
- [7] J. M. Miranda Hernández y N. Iglesias González, «Las infraestructuras de recarga y el despegue del vehículo eléctrico,» *Observatorio Medioambiental* , vol. 18, p. 57, 2015.
- [8] A. Gómez Expósito y J. M. Maza Ortega, «Sistema de recarga de vehículos eléctricos: revisión tecnológica e impacto en el sistema eléctrico,» *Economía Industrial*, nº 411, pp. 35-44, 2019.
- [9] C. E. EXPERTS, «Crea ENERGY EXPERTS,» 29 noviembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.crea.es/actualidad/velocidades-de-carga-de-un-vehiculo-electrico>. [Último acceso: 15 abril 2020].
- [10] D. Tobón-Ramírez y J. Restrepo-Laverde, «Desarrollo de estación de carga de vehículos eléctricos,» *Lámpsakos* , vol. 1, nº 19, pp. 22-29, 2018.
- [11] Circutor, «Preses de terra, masses, i equipotencialitats,» de *IV Jornadas sobre Power Quality*, 2017.
- [12] T. Bohn y H. Chaundhry, «Overview of SAE standars for plug-in electric vehicle,» *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*, pp. 1-7, 2012.
- [13] M. A. Patiño y F. Garcia, «Expansión. Energía. La batalla del enchufe para coche eléctrico,» 3 Diciembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.expansion.com/empresas/energia/2018/12/03/5c043814e2704ec8798b45ff.html>. [Último acceso: 2020].
- [14] N. Uribe Pérez, *Análisis de la capacidad de PRIME para gestión de red en entornos con generación distribuida y sistemas de almacenamiento*, UPV/EHU, 2017.
- [15] Sector de Radiocomunicaciones de la UIT, «Nomenclatura de las bandas de frecuencias y de longitudes de onda empleadas en telecomunicaciones,» *Unión Internacional de Telecomunicaciones*, vol. V, 2015.
- [16] A. de la Fuente, *Sistema PLC de banda angosta para la caracterización de la impedancia de la red eléctrica*, Argentina: Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Mar del Plata, 2018.
- [17] V. H. Serna, «Comunicaciones a través de la red eléctrica PLC.,» *Comunicaciones: Maxim FRANCE Smart Grid*, pp. 62-65, Marzo 2011.
- [18] B. Baraboi, «Narrowband Powerline Communication-Applications and Challenges - Part I,» *EDN (Formato digital)*, 2013.
- [19] PRIME Alliance Technical Working Group, *PRIME v1.4 White Paper*, PRIME ALLIANCE, 2020.

- [20] A. Sendin, I. H. Kim, S. Bois, A. Munoz y A. Llano, «PRIME v1.4 evolution: A future proof of reality beyond metering,» *2014 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)*, pp. 332-337, 2014.
- [21] S. K. Rönnberg, M. H. Bollen, G. W. Chang, I. Y. Gu, . Ł. H. Kocewiak y J. Desmet, « On waveform distortion in the frequency range of 2 kHz–150 kHz—Review and research challenges,» *Electric Power Systems Research*, n° 150, pp. 1-10, 2017.
- [22] M. Zimmermann y K. Dostert, «Analysis and modeling of impulsive noise in broad-band powerline communications,» *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 44, n° 1, pp. 249-258, Feb. 2002.
- [23] I. Fernandez, N. Uribe-Pérez, I. Angulo, D. de la Vega, A. Arrinda y T. Arzuaga, «Characterization of non-intentional emissions from distributed energy resources up to 500 kHz: A case study in Spain,» *Electrical Power and Energy Systems*, n° 105, pp. 549-563, 2019.
- [24] L. Capponi, I. Fernandez, D. Roggo, A. Arrinda, I. Angulo y D. De la Vega, «Comparación de métodos de medición de impedancia de red para PLC de banda estrecha hasta 500 kHz,» *IEEE 9th International Workshop on Applied Measurements for Power Systems (AMPS)*, pp. 1-6, 2018.
- [25] E. Coimbra, «Atenuación, distorsión y ruido en la transmisión,» 8 Agosto 2015. [En línea].
- [26] F. J. Cañete Corripio, *Caracterización y Modelado de Redes Eléctricas Interiores como Medio de Trasmisión de Banda Ancha*, 2005.
- [27] Departamento de Electricidad-Electrónica. Centro Integrado de Formación Profesional Número Uno de Santander, «Análisis de Fourier para electrónica,» 8 Octubre 2018. [En línea]. Available: www.cifpn1.com/electronica/?p=4037. [Último acceso: 2020].
- [28] J. F. Rodriguez Herrera y V. Gonzalez Ruiz, «Teoría de Señales,» 14 Octubre 2014. [En línea]. Available: <https://w3.ual.es/~vruiz/Docencia/Apuntes/Signals/Theory/index.html>. [Último acceso: 2020].
- [29] P. Kotsampopoulos, A. Rigas, J. Kirchhof, G. Messinis, A. Dimeas, N. Hatzargyriou y K. Andreadis, «EMC issues in the interaction between smart meters and power-electronic interfaces,» *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 32, n° 2, pp. 822-831, 2016.
- [30] I. Fernández, D. de la Vega, A. Arrinda, I. Angulo, N. Uribe-Pérez y A. Llano, « Field Trials for the Characterization of Non-Intentional Emissions at Low-Voltage Grid in the Frequency Range Assigned to NB-PLC Technologies,» *Electronics*, vol. 8, n° 9, p. 1044, 2019.
- [31] I. F. D. D. I. V. A. A. I. A. N. U.-P. y A. L. , «Field Trials for the Characterization of Non-Intentional Emissions at Low-Voltage Grid in the Frequency Range Assigned to NB-PLC Technologies,» *Electronics*, vol. 8, n° 9, p. 1044, 2019.
- [32] J. Gonzalez Ramos, *Trabajo fin de grado. Análisis del impacto de los efectos de canal en las comunicaciones narrowband PLC según el estándar PRIME*, España: UPV/EHU, 2018.
- [33] metageek, «Understanding RSSI,» [En línea]. Available: <https://www.metageek.com/training/resources/understanding-rssi.html>.