

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE
TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

***ANÁLISIS DEL IMPACTO DEL RUIDO
DE LOS CARGADORES DE VEHÍCULOS
ELÉCTRICOS EN LAS COMUNICACIONES
NB-PLC SEGÚN EL ESTÁNDAR PRIME***

Alumno/Alumna: García Esquina, Ainhoa

Director/Directora: Angulo Pita, Itziar

Curso: 2018-2019

Fecha: 17/07/2019

Contenido

Resumen.....	5
Abstract	5
Laburpena.....	6
Palabras clave	6
Lista de tablas	7
Lista de figuras	8
Lista de acrónimos	10
1. Introducción.....	11
2. Contexto y antecedentes.....	13
2.1. PRIME.....	13
2.2. Perturbaciones en la banda NB-PLC	15
3. Objetivos y alcance.....	16
4. Beneficios.....	17
4.1. Beneficios técnicos	17
4.2. Beneficios sociales y económicos.....	17
5. Análisis de alternativas.....	18
5.1. Evaluación in situ frente a evaluación en laboratorio	18
5.2. Sistema hardware frente a sistema software	18
6. Selección/descripción de la solución propuesta	19
7. Plan de trabajo	21
7.1. Equipo de trabajo	21
7.2. Definición de paquetes de trabajo y tareas	22
7.3. Diagrama de Gantt	27
8. Medios y técnicas básicas.....	28
8.1. Hardware	28
8.2. Software.....	28
9. Presupuesto del proyecto.....	29
9.1. Precios unitarios	29
9.1.1. Precios de recursos humanos.....	29

9.1.2.	Precios unitarios de material.....	29
9.1.2.1.	Amortizable	29
9.1.2.2.	Fungible.....	30
9.2.	Presupuesto de recursos humanos	30
9.3.	Presupuesto de amortizaciones	30
9.4.	Presupuesto total	31
10.	Análisis de riesgos.....	31
10.1.	Descripción de riesgos	32
10.1.1.	Mala elección de los equipos (R1)	32
10.1.2.	Mal funcionamiento de los equipos (R2)	32
10.1.3.	Mala realización de las medidas (R3).....	33
10.2.	Matriz probabilidad – impacto	33
11.	Metodología.....	34
11.1.	Sistema de medidas.....	34
11.1.1.	ATMEL ATPL230A-EK.....	34
11.1.2.	PicoScope 5444B.....	39
11.1.3.	Generador Agilent 33220A.....	43
11.2.	Ruidos de los cargadores de vehículos eléctricos.....	44
12.	Validación de la metodología.....	48
13.	Resultados y análisis	51
13.1.	Análisis de los ruidos del cargador de VE.....	51
13.1.1.	Ruido del Renault ZOE	51
13.1.1.1.	16 A (carga a 16.3 A)	52
13.1.1.2.	10 A (carga a 9.3 A)	53
13.1.1.3.	6 A (carga a 7 A)	54
13.1.2.	Ruido del Hyundai KONA.....	56
13.1.2.1.	16 A (carga a 14.4 A y 3.19 kW)	56
13.1.2.2.	10 A (carga a 8.5 A y 1.9 kW).....	57
13.1.2.3.	6 A (carga a 6.2 A y 1.38 kW).....	59
13.1.3.	Selección de ruidos	60

13.1.4.	Comparación con la bibliografía existente.....	64
13.2.	Curvas FER frente a SNR.....	65
13.2.1.	Renault ZOE – 16 A	65
13.2.2.	Hyundai KONA – 10 A.....	67
13.3.	Renault ZOE frente a Hyundai KONA	70
14.	Conclusiones	72
15.	Bibliografía	73

Resumen

Este proyecto tiene como objetivo analizar el impacto del ruido que introducen los cargadores de vehículo eléctrico (VE) a las comunicaciones NB-PLC (NarrowBand PowerLine Communication) según el estándar PRIME (PowerLine Intelligent Metering Evolution). La motivación principal de la realización de este análisis es el aumento, en los últimos años, del número de dispositivos conectados a la red eléctrica que son susceptibles de introducir interferencias y degradar las comunicaciones PLC, en particular, de los cargadores de VE. Para lograr este objetivo, se ha realizado un análisis de las características temporales y frecuenciales de ruidos procedentes de cargadores de VE. Por otra parte, ha sido necesario definir y validar un sistema de medidas para la transmisión y recepción de tramas PRIME que permita introducir los diferentes ruidos de vehículos eléctricos que van a ser evaluados. Mediante este sistema de medidas se representan las curvas de FER (Frame Error Rate) frente a SNR (Signal to Noise Ratio) para cada rango frecuencial de la banda NB-PLC con el fin de analizar el impacto del ruido y definir qué banda de frecuencias es más adecuada para las comunicaciones PLC.

Abstract

The aim of this project is to analyze the impact of the noise that the electric vehicle (EV) chargers introduce to NB-PLC (NarrowBand PowerLine Communications) according to PRIME standard (PowerLine Intelligent Metering Evolution). The main motivation for carrying out this analysis is the increase, in the recent years, in the number of devices connected to the electrical network that are susceptible to introducing interferences and degrading PLC communications, in particular, the EV chargers. To achieve this objective, an analysis of the time and frequency characteristics of noises from chargers of EV has been carried out. On the other hand, it has been necessary to define and validate a measurement system for the transmission and reception of PRIME frames that allows introducing the different noises of EVs that are going to be evaluated. By means of this measurement system, the FER (Frame Error Rate) versus SNR (Signal to Noise Ratio) curves are represented for each frequency range of the NB-PLC band in order to analyze the noise impact and define which frequency band is more suitable for PLC communications.

Laburpena

Proiektu honen helburua, ibilgailu elektrikoek kargagailuek NB-PLC (NarrowBand PowerLine Communications) komunikazioetan sartzen duten zarataren eragina aztertzea da, PRIME (PowerLine Intelligent Metering Evolution) estandarraren arabera. Azken urteotan sare elektrikora konektatzen diren gailuen hazkundea gertatu da, honek interferentzien handitzea eragin dezake, PLC komunikazioak degradatuz. Lan honetan, bereziki, ibilgailu elektrikoek handitzea da kontutan hartuko dena. Eragina aztertzeko, ibilgailu-ekonomien kargagailuek sortzen duten zarataren denbora eta maiztasun ezaugarriak aztertu dira. Bestalde, PRIME tramen igortze eta jasotzea ahalbidetzen duen neurketa sistema bat zehaztea eta balidatzea beharrezkoa izan da. Sistema honek, ibilgailu-ekonomi bat konektatzean sarean sartu litezkeen zaratak sartzea ahalbidetu beharko du. Neurketa sistema honen bidez, FERa (Frame Error Rate) SNRarekiko (Signal to Noise Ratio) kurbak irudikatzen dira NB-PLC bandaren frekuentzia tarte bakoitzerako. Honela, zarataren eragina aztertu daiteke eta PLC komunikazioetarako zein maiztasun-banda den egokiena zehaztuko da.

Palabras clave

Banda de frecuencias, comunicaciones, emisiones no deseadas, espectrograma, FER, NarrowBand PLC, PLC, PRIME, red eléctrica, respuesta frecuencial, señal de ruido, Smart Metering, SNR, trama, vehículo eléctrico.

Lista de tablas

Tabla 1: Tabla de selección de alternativas ruidos grabados vs ruidos reales.	19
Tabla 2: Tabla de selección de alternativas sistema hardware vs sistema software.	19
Tabla 3: Integrantes del proyecto.	21
Tabla 4: Paquete de trabajo de pruebas previas.	22
Tabla 5: Paquete de trabajo de definición y validación de la metodología.	23
Tabla 6: Paquete de trabajo de análisis del ruido de los cargadores.	24
Tabla 7: Paquete de trabajo de curvas FER frente a SNR.	25
Tabla 8: Paquete de trabajo de gestión y documentación.	26
Tabla 9: Medios hardware empleados en el proyecto.	28
Tabla 10: Medios software empleados en el proyecto.	28
Tabla 11: Precios unitarios de recursos humanos.	29
Tabla 12: Precios unitarios del material amortizable.	29
Tabla 13: Precios del material fungible.	30
Tabla 14: Presupuesto de recursos humanos.	30
Tabla 15: Presupuesto de recursos materiales.	30
Tabla 16: Presupuesto total del proyecto.	31
Tabla 17: Clasificación de riesgos.	31
Tabla 18: Probabilidad de ocurrencia e impacto del R1.	32
Tabla 19: Probabilidad de ocurrencia e impacto del R2.	32
Tabla 20: Probabilidad de ocurrencia e impacto del R3.	33
Tabla 21: Matriz probabilidad – impacto.	33
Tabla 22: Comparativa de los valores de SNR entre las curvas teóricas y las reales para un FER de 10^{-2}	49
Tabla 23: Comparativa de los valores de SNR entre las curvas reales del Canal 1 y los Canales 3-8 para un FER de 10^{-2}	51
Tabla 24: Comparativa entre las curvas de ruido blanco y las curvas del Renault ZOE para los Canales 1 y 3.	66
Tabla 25: Comparativa entre las curvas de ruido blanco y las curvas del Hyundai KONA para los Canales 1 y 3.	68
Tabla 26: Comparativa entre las curvas del Renault ZOE y el Hyundai KONA.	70

Lista de figuras

Figura 1: Asignación de los canales de frecuencia definidos en PRIME v1.4 y comparación de las bandas FCC, ARIB y CENELEC [3].	12
Figura 2: Trama PHY Tipo A.	14
Figura 3: Trama PHY Tipo B.	14
Figura 4: Diseño del sistema para la validación de la metodología.	20
Figura 5: Diseño del sistema para la representación de las curvas FER frente a SNR.	21
Figura 6: Diagrama de Gantt del proyecto.	27
Figura 7: Placas base ATPL230AMB y placas de acoplamiento ATPLCOUP001 v1 (fuera) y ATPLCOUP006 v2 (en la placa base).	35
Figura 8: Parámetros de transmisión del software "Atmel PHY Tester Tool".	36
Figura 9: Parámetros de recepción del software "Atmel PHY Tester Tool".	36
Figura 10: Parámetros de prueba de transmisión.	38
Figura 11: Ventana final de recepción de la simulación.	39
Figura 12: PicoScope 5444B, transformador (negro) y cable USB doble (azul).	40
Figura 13: Visualización de tramas PRIME en el canal A del PicoScope 5444B.	41
Figura 14: Ventana de opciones del modo generador de señales del PicoScope 5444B.	42
Figura 15: Ventana generador de señales arbitraria del PicoScope 5444B.	42
Figura 16: Cable BNC - 2 bananas.	43
Figura 17: Generador Agilent 33220A.	43
Figura 18: Renault ZOE y Hyundai KONA.	44
Figura 19: Cargador monofásico.	44
Figura 20: Cargador trifásico.	45
Figura 21: Espectrograma del ruido del cargador Hyundai KONA – 10A.	46
Figura 22: Respuesta temporal del ruido del cargador del Hyundai KONA.	46
Figura 23: Código de Matlab para la selección, normalización y exportación a CSV de los ruidos.	47
Figura 24: Ruido del Hyundai KONA introducido al PicoScope 5444B.	47
Figura 25: Relación FER-SNR para un canal plano AWGN con un mensaje de 256 bytes (teórico).	48
Figura 26: Relación FER-SNR para un canal plano AWGN con una carga de 256 bytes (real) en el Canal 1.	49
Figura 27: Relación FER-SNR para un canal plano AWGN con una carga de 256 bytes (real), en los Canales del 3 al 8.	50
Figura 28: Espectrograma del ruido del cargador Renault ZOE – 16A.	52
Figura 29: Respuesta frecuencial del cargador del Renault ZOE - 16 A.	52
Figura 30: Espectrograma del ruido del cargador Renault ZOE – 10A.	53
Figura 31: Respuesta frecuencial del cargador del Renault ZOE - 10 A.	54

Figura 32: Espectrograma del ruido del cargador Renault ZOE – 6A.	55
Figura 33: Respuesta frecuencial del cargador del Renault ZOE - 6 A.	55
Figura 34: Espectrograma del ruido del cargador Hyundai KONA – 16A.	56
Figura 35: Respuesta frecuencial del cargador del Hyundai KONA - 16 A.	57
Figura 36: Espectrograma del ruido del cargador Hyundai KONA – 10A.	58
Figura 37: Respuesta frecuencial del cargador del Hyundai KONA - 10 A.	58
Figura 38: Espectrograma del ruido del cargador Hyundai KONA – 6A.	59
Figura 39: Respuesta frecuencial del cargador del Hyundai KONA - 6 A.	60
Figura 40: Respuesta temporal del ruido del cargador del Renault ZOE.	61
Figura 41: Respuesta temporal del ruido del cargador del Hyundai KONA.	62
Figura 42: Respuesta frecuencial de las 49152 muestras seleccionadas del ruido del Renault ZOE.	63
Figura 43: Respuesta frecuencial de las 49152 muestras seleccionadas del ruido del Hyundai KONA.	63
Figura 44: Espectro de cuatro VEs diferentes hasta los 50 kHz (VE A, VE B, VE C, VE D).	64
Figura 45: Relación FER-SNR para un canal con el ruido del Renault ZOE con una carga de 256 bytes en el Canal 1.	65
Figura 46: Relación FER-SNR para un canal con el ruido del Renault ZOE con una carga de 256 bytes en el Canal 3.	66
Figura 47: Relación FER-SNR para un canal con el ruido del Hyundai KONA con una carga de 256 bytes en el Canal 1.	67
Figura 48: Relación FER-SNR para un canal con el ruido del Hyundai KONA con una carga de 256 bytes en el Canal 3.	68
Figura 49: Respuesta frecuencial del Renault ZOE y el Hyundai KONA.	71

Lista de acrónimos

ARIB	Association of Radio Industries and Businesses
BB-PLC	BroadBand PowerLine Communications
CENELEC	Comité Europeo de Normalización Electrotécnica
DBPSK	Differential Binary Phase Shift Keying
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying
D8PSK	Differential 8-Phase Shift Keying
FCC	Federal Communications Commission
FER	Frame Error Rate
MAC	Media Access Control
NB-PLC	NarrowBand PowerLine Communications
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PHY	Physical Layer
PPDU	Unidad de Datos de Protocolo de la capa Física
PRIME	Powerline Intelligent Metering Evolution
SNR	Signal to Noise Ratio
TSR	Tratamiento de la Señal y Radiocomunicaciones
UNB-PLC	UltraNarrowBand PowerLine Communications
VE	Vehículo Eléctrico

1. Introducción

PLC es la tecnología que emplea la red eléctrica como medio de comunicación. Esto se consigue sobreponiendo sobre la propia señal eléctrica, una señal de comunicaciones modulada. La principal razón por la que se elige utilizar esta tecnología en aplicaciones de Smart Metering es que se hace uso de la infraestructura ya existente, ahorrando el coste de desplegar un nuevo canal de comunicaciones. Sin embargo, la tecnología PLC presenta ciertas desventajas debido a que la red eléctrica no se diseñó con el objetivo de transmitir datos. Por esta razón existen, en este medio, problemas debido a la propagación y a las interferencias en las comunicaciones.

La tecnología PLC puede clasificarse en función del ancho de banda que se emplea, dividiéndose en los siguientes grupos: Banda ultra-estrecha o UNB-PLC (UltraNarrowband PLC), de 30 Hz a 3 kHz, banda estrecha o NB-PLC (Narrowband PLC), de 3 a 500 kHz y banda ancha o BB-PLC (Broadband PLC), de 1.8 a 250 MHz [1]. Este trabajo se centra en las tecnologías NB-PLC.

En Europa, CENELEC (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica) asigna a las aplicaciones NB-PLC el rango de frecuencias de 3 a 148.5 kHz, dentro de la cual se incluyen las siguientes sub-bandas: Banda A (3-95 kHz), Banda B (95-125 kHz), Banda C (125-140 kHz) y la Banda D (140-148.5 kHz) [2]. Para aplicaciones de Smart Metering se asigna la banda de frecuencias CENELEC A. Sin embargo, en otros países los rangos asignados a aplicaciones NB-PLC se extiende a frecuencias más altas. En Estados Unidos, FCC (Federal Communications Commission) es el organismo regulador correspondiente y asigna la banda frecuencial de 10 a 535 kHz. En Japón y China, ARIB (Association of Radio Industries and Businesses) asigna el rango de 10 a 450 kHz y de 3 a 500 kHz, respectivamente (ver Figura 1).

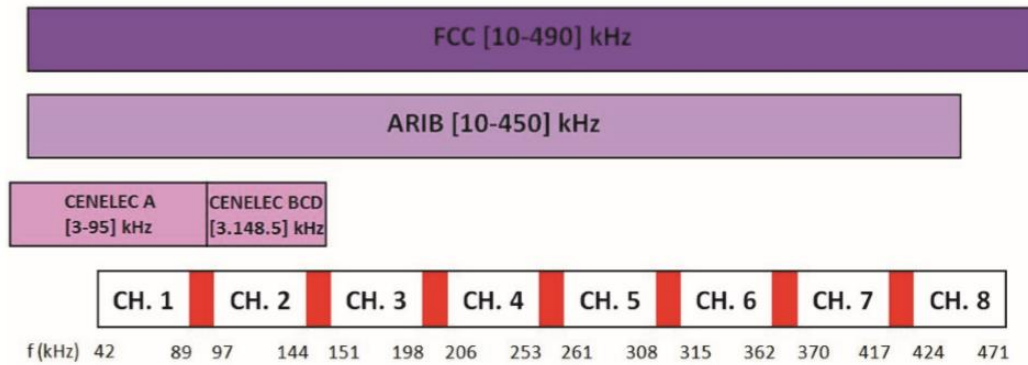


Figura 1: Asignación de los canales de frecuencia definidos en PRIME v1.4 y comparación de las bandas FCC, ARIB y CENELEC [3].

PRIME 1.3.6 (PowerLine Intelligent Metering Evolution) es un estándar basado en la multiplexación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) que define las capas inferiores, física y MAC (Media Access Control), para un sistema de transmisión de datos de banda estrecha de PLC a través de la red eléctrica. Esta versión está diseñada para la banda CENELEC-A y a día de hoy se ha desplegado en millones de contadores inteligentes (Smart Meters), incluyendo el despliegue en España a través de la red de Iberdrola. En muchos países regulados por CENELEC se ha adoptado exitosamente la tecnología PRIME. Esto, junto con el aumento de los problemas de comunicación debido a las emisiones no deseadas en la banda CENELEC-A y la necesidad de mayores anchos de banda para nuevos servicios, ha generado un interés creciente en Europa por extender el rango de frecuencia para NB-PLC hasta los 500 kHz, con la consiguiente evolución de la especificación.

La versión PRIME 1.4 es una extensión del estándar PRIME 1.3.6 que introduce nuevos modos más robustos y define ocho canales de transmisión entre 42 y 471 kHz (ver Figura 1).

En los últimos años, ha habido un aumento en la cantidad de dispositivos conectados a la red eléctrica que son susceptibles de introducir interferencias y deteriorar la calidad de las comunicaciones (emisiones no deseadas), como son los cargadores de vehículos eléctricos. Estos dispositivos pueden tener un impacto significativo en la red de distribución, introduciendo una serie de perturbaciones en el rango frecuencial para aplicaciones NB-PLC, tanto en el rango de 2-150 kHz, denominadas supraarmónicos, como en las frecuencias superiores. En este trabajo se va a analizar el impacto que tienen estos ruidos introducidos por los cargadores de vehículos eléctricos en las comunicaciones NB-PLC.

2. Contexto y antecedentes

Este trabajo pertenece a la línea de investigación de Smart Grids del grupo de investigación Tratamiento de la Señal y Radiocomunicaciones (TSR). Los estudios de este grupo están también orientados al análisis de PLC. Por un lado, estos estudios se basan en definir nuevas técnicas de modulación y codificación y de diseñar el sistema de transmisión-recepción con el objetivo de incrementar la capacidad y robustez ante las posibles interferencias. Por otro lado, se basan en analizar el rendimiento y la eficiencia de la tecnología en diferentes escenarios, con el objetivo de caracterizar las emisiones no deseadas y evaluar la degradación de la señal.

2.1. PRIME

El proyecto PRIME fue lanzado por Iberdrola con el fin de evaluar la idea, definir y probar un nuevo estándar abierto basado en PLC, que pueda cumplir los requisitos futuros de la red inteligente.

PRIME define las capas inferiores de un sistema de transmisión de datos PLC en la banda estrecha sobre la red eléctrica. Se creó con el fin de que fuese un sistema de bajo costo y alto rendimiento.

La capa física de PRIME está diseñada para transmitir y recibir datos sobre la red eléctrica que originalmente había sido ideada para la distribución de energía a 50-60Hz AC. Sin embargo, el uso de este medio a mayores frecuencias presenta ciertos inconvenientes:

- Las redes de distribución están formadas por una gran variedad de cargas de diferentes impedancias. Este tipo de red presenta una respuesta en amplitud y fase que varía de manera significativa con la frecuencia.
- Las interferencias también afectan a la red eléctrica. Los diferentes dispositivos electrónicos conectados a la red pueden producir ruido que puede degradar las señales de comunicación.

La elección de la banda de frecuencia para PRIME 1.3.6 se hizo con el fin de escoger la solución más barata posible, disponer de un comportamiento de canal aceptable para transmisión y recepción sobre la red eléctrica y que, en un futuro, la banda de frecuencias no se viese interferida por otros servicios. Teniendo en cuenta estos criterios, en Europa, se seleccionó la banda CENELEC-A que va desde los 3 kHz hasta los 95 kHz [3]. Concretamente, dentro de esta banda, el canal de comunicaciones PRIME 1.3.6 se define entre 42 y 89 kHz.

Esta versión de PRIME incluye los modos de transmisión D8PSK (Differential 8-Phase Shift Keying), DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying), DBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying) y los modos correspondientes con corrección de errores.

La versión PRIME 1.4 incluye mejoras tanto a nivel PHY (Physical Layer) como a nivel MAC con respecto a la versión PRIME 1.3.6. Además, introduce nuevos modos robustos de transmisión y extensión a las bandas FCC/ARIB, hasta los 500 kHz, consiguiendo que el ancho de banda sea ocho veces mayor al disponible en un primer momento, como se puede ver en la Figura 1. Estos dos nuevos modos de transmisión son Robust DBPSK y Robust DQPSK, que añaden cuatro repeticiones de los símbolos OFDM tras el codificador convolucional que ya se incluía en la versión 1.3.6 para conseguir una mayor robustez frente al ruido.

PRIME 1.4 define 2 tipos de tramas PHY, tipo A y tipo B. La trama tipo A corresponde a la unidad de datos de protocolo de la capa física (PPDU) definida en PRIME 1.3.6. La trama tipo B es un nuevo tipo de PPDU que incluye una cabecera diseñada con el fin de soportar modos más robustos de transmisión [4]. Incluye un preámbulo 8 veces mayor que la trama tipo A, 2 símbolos OFDM más en la cabecera y 4 veces más símbolos OFDM en los datos, como se puede ver en las Figuras 2 y 3. En este trabajo se van a utilizar únicamente tramas Tipo A con el fin de analizar el impacto del ruido en las diferentes frecuencias.

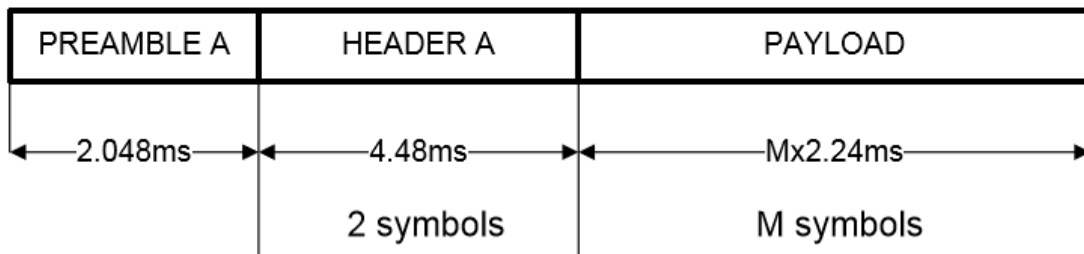


Figura 2: Trama PHY Tipo A.

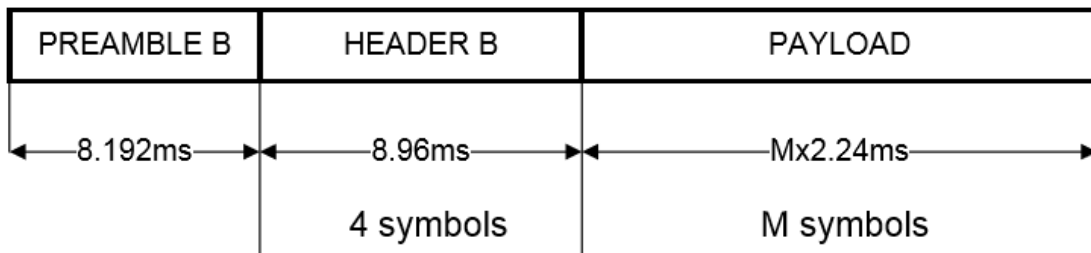


Figura 3: Trama PHY Tipo B.

2.2. Perturbaciones en la banda NB-PLC

La calidad de las transmisiones a través de la red eléctrica haciendo uso de la banda NB-PLC depende de la frecuencia, del tiempo, de la distancia y del número y localización de las cargas conectadas. Por lo tanto, los factores a tener en cuenta a la hora de analizar la calidad de estas transmisiones son la impedancia de la red eléctrica, la atenuación de las señales y el nivel de emisiones no deseadas que introducen los dispositivos que se encuentran conectados a la red [5]. Este trabajo se va a centrar en este último factor.

En los últimos años, el número de dispositivos conectados a la red eléctrica ha ido en aumento. Estos dispositivos introducen emisiones no deseadas a la red y es importante que su nivel sea menor que el nivel de las señales PLC para garantizar el correcto funcionamiento de las comunicaciones. Muchos de estos equipos operan con frecuencias de conmutación por encima de 2 kHz produciendo, de esta manera, emisiones no deseadas denominadas supraarmónicos (2-150 kHz). Algunos ejemplos son los dispositivos electrónicos, los dispositivos de iluminación, los inversores fotovoltaicos, las turbinas eólicas y los cargadores de vehículos eléctricos [6].

Las emisiones no deseadas pueden clasificarse en tres tipos:

- Ruido impulsivo: debido a la conmutación de los transistores de potencia empleados para la conversión DC/AC que generan señales impulsivas de gran amplitud sobre los 100 kHz y superiores.
- Armónicos de la frecuencia de conmutación: generados por los dispositivos de conmutación que generan señales indeseadas en múltiplos de la frecuencia de conmutación por encima de los 10 KHz.
- Ruido de fondo coloreado: normalmente mayor en frecuencias más bajas.

Se espera que el número de vehículos eléctricos continúe incrementándose de manera significativa. Estos vehículos emplean rectificadores de potencia electrónicos para cargar sus baterías. Este tipo de circuitos puede introducir supraarmónicos en la red eléctrica debido a la frecuencia de conmutación de los cargadores, degradando así las comunicaciones PLC [7]. Este trabajo se centra en las emisiones que introducen este tipo de cargadores a la red de distribución ya que pueden tener un impacto significativo en las comunicaciones y es un tema que está todavía sin analizar en las frecuencias superiores.

3. Objetivos y alcance

El objetivo principal de este trabajo es analizar el impacto del ruido introducido por sus cargadores en la red eléctrica según el estándar PRIME, tanto para la versión 1.3.6 como para la 1.4, cubriendo de esta manera el rango frecuencial NB-PLC. Para el cumplimiento de este objetivo principal, se plantean ciertos objetivos secundarios:

- Análisis de las características temporales y frecuenciales de los ruidos introducidos por los cargadores de vehículo eléctrico en las diferentes frecuencias de la banda NB-PLC hasta 500 kHz.
- Definición y validación de un sistema hardware y software de transmisión-recepción de tramas según el estándar PRIME que permita el análisis del impacto del ruido de los cargadores de vehículos eléctrico en las comunicaciones PLC según el estándar PRIME.
- Obtención de resultados significativos de la posible influencia de los ruidos debidos a los cargadores de vehículo eléctrico en las comunicaciones PRIME en los distintos canales de frecuencia.
- Análisis de los resultados obtenidos en diferentes frecuencias de la banda NB-PLC. De esta manera, se definirá en qué banda de frecuencias es más adecuado realizar la comunicación PLC cuando se ve interferida por las emisiones no deseadas que introducen los cargadores de vehículos eléctricos en la red.

4. Beneficios

En este apartado se exponen los diferentes beneficios que ofrece este trabajo, tanto a nivel técnico, como social y económico.

4.1. Beneficios técnicos

Los beneficios técnicos que supone este trabajo con respecto a la tecnología PLC se basan en los objetivos del mismo.

Por un lado, a partir de los resultados obtenidos, se podrá conocer en qué rango de frecuencias es menor el impacto del ruido introducido por los cargadores de los vehículos eléctricos en la red, debido a que las comunicaciones PLC sufrirán una menor atenuación y por lo tanto su calidad será mayor.

Por otro lado, se obtendrá información acerca del ruido que introducen estos cargadores, no solo en la banda de 2 a 150 kHz, en la cual existen más estudios acerca de estas perturbaciones, sino también en la banda hasta los 500 kHz. En este rango se dispone de menos información acerca de las emisiones no deseadas introducidas por los diferentes dispositivos y, más concretamente, de las introducidas por este tipo de cargadores. Estos resultados tienen una relevancia significativa dado que se espera que el número de vehículos eléctricos aumente a lo largo de los próximos años.

4.2. Beneficios sociales y económicos

En caso de determinar que las frecuencias más altas de la banda NB-PLC son más adecuadas para las comunicaciones PLC, se lograría que la red eléctrica fuese un medio seguro y fiable sin necesidad de buscar maneras de mitigar el ruido o incluso, de buscar alternativas para las comunicaciones en este tipo de aplicaciones. De esta manera, habría un menor número de pérdidas en las transmisiones logrando así, una mayor eficiencia y una mayor robustez frente a los ruidos que introducen los cargadores de vehículos eléctricos, que se espera que aumenten de manera significativa en los próximos años.

Además, podrían aumentar el número de aplicaciones que emplean la red de distribución como canal de comunicaciones debido a que se dispondrá de un mayor ancho de banda y se podrá soportar un mayor volumen de datos.

Derivado de esto, se produciría un beneficio económico al disponer de una red de distribución más monitorizada y por lo tanto más segura y fiable.

5. Análisis de alternativas

En este apartado se evalúan las alternativas para llevar a cabo este trabajo.

5.1. Evaluación in situ frente a evaluación en laboratorio

Los ruidos de cargadores de VE (vehículo eléctrico) que se analizan en este trabajo pueden ser introducidos directamente desde el punto de recarga donde se encuentran estos cargadores o grabados para analizarlos posteriormente en el laboratorio.

Por un lado, introducir el ruido directamente en el sistema de medidas tiene como ventaja que el ruido se introduce sin necesidad de modificarlo. Esto es debido a que no es necesario disponer de un equipo que genere el ruido grabado que implicaría adaptarse a las limitaciones que éste presente. Las desventajas que presenta esta alternativa pueden ser varias. En primero lugar, el desplazamiento hasta el lugar donde se encuentran los cargadores, lo que implica invertir mayor tiempo en la realización de las medidas y menor comodidad debido a tener que desplazar los equipos del sistema. En segundo lugar, la necesidad de un técnico que supervise la realización de las medidas. Por último, depender de la disponibilidad de los cargadores.

Por otro lado, grabar los ruidos con el fin de analizarlos en el laboratorio también presenta una serie de ventajas e inconvenientes. Esta alternativa proporciona una mayor comodidad debido a no ser necesario desplazarse hasta el punto de recarga cada vez que se vayan a realizar las mediciones y, por lo tanto, un ahorro de tiempo. Sin embargo, grabar los ruidos implica disponer de un equipo que los reproduzca posteriormente. Estos equipos presentan una serie de limitaciones que suponen modificar el ruido original y pueden no representar de una manera totalmente fiel el ruido real.

5.2. Sistema hardware frente a sistema software

El sistema de transmisión – recepción PRIME puede simularse mediante software o puede diseñarse con equipos hardware. Ambas alternativas presentan ciertas ventajas e inconvenientes.

Por un lado, simular el sistema completo mediante software implica el ahorro de los equipos hardware y evita depender de las limitaciones que éstos puedan presentar. Además, el sistema no presentaría pérdidas de implementación y supondría una mayor comodidad debido a que

no habría que realizar el montaje del sistema cada vez que vaya a emplearse. Sin embargo, habría que tener en cuenta los costes del diseño del sistema. Por último, las medidas y los resultados no serían totalmente representativos de un caso real debido a no emplear equipos reales en la realización del trabajo

Por otro lado, emplear equipos hardware en el diseño del sistema completo implica obtener un análisis del impacto de los ruidos más representativo ya que su comportamiento se asemeja más al de un canal de comunicaciones real. Sin embargo, supone un mayor coste debido a los equipos hardware, que además presentan ciertas limitaciones y una mayor dedicación de tiempo en la realización de las medidas.

6. Selección/descripción de la solución propuesta

En este apartado se presenta, en primer lugar, la selección de las alternativas expuestas en el apartado anterior, como se puede observar en las Tablas 1 y 2, en función de los diferentes criterios a tener en cuenta y su peso.

	Comodidad	Tiempo	Representatividad	
Peso %	60%	10%	30%	
Ruidos grabados	9	5	5	7,4
Ruidos reales	3	7	9	5,2

Tabla 1: Tabla de selección de alternativas ruidos grabados vs ruidos reales.

	Coste	Tiempo	Representatividad	
Peso %	30%	20%	50%	
Sistema hardware	5	6	9	7,2
Sistema software	6	7	6	6,2

Tabla 2: Tabla de selección de alternativas sistema hardware vs sistema software.

Teniendo en cuenta los resultados de las Tablas 1 y 2, se ha seleccionado para el desarrollo de este proyecto el empleo de ruidos grabados por la comodidad y el ahorro de tiempo que suponen en la realización de las medidas. Esto permite poder realizar todas las simulaciones en el laboratorio sin necesidad de desplazarse hasta los puntos de recarga. Además, se escoge emplear un sistema con equipos hardware debido a que los resultados que se obtienen representan de manera más representativa un sistema de comunicaciones real.

El sistema resultante, habiendo seleccionado las alternativas ya mencionadas, consiste en dos equipos ATMEL ATPL230A conectados mediante conexión directa a través de un canal sin distorsión, es decir, a través de una regleta no conectada a la red eléctrica. Uno de estos dispositivos trabajará como transmisor y otro como receptor y su manejo se hará mediante el software “Atmel PHY Tester Tool”. Además, a esta regleta estará también conectado el equipo que introduzca el ruido correspondiente. En el caso de la validación de la metodología este equipo es el generador Agilent 33220A (ver Figura 4) y en la representación de las curvas de FER frente a SNR para el caso del ruido de los cargadores de VE este equipo se trata del PicoScope 5444B, que se gestiona mediante el software PicoScope 6 (ver Figura 5).

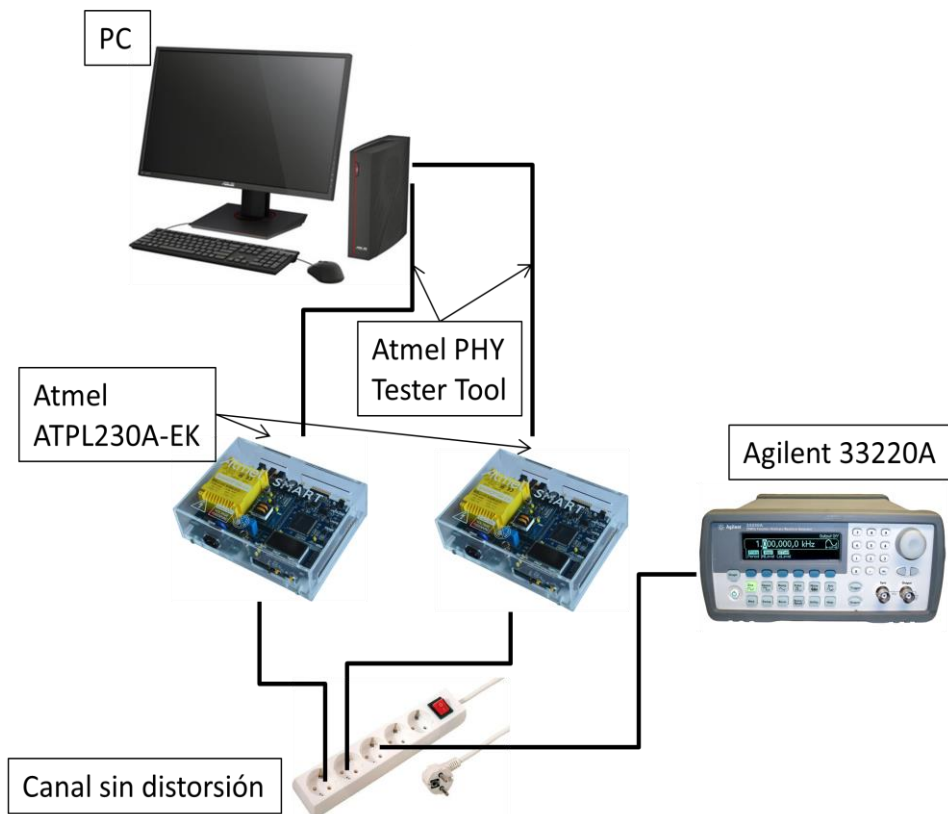


Figura 4: Diseño del sistema para la validación de la metodología.

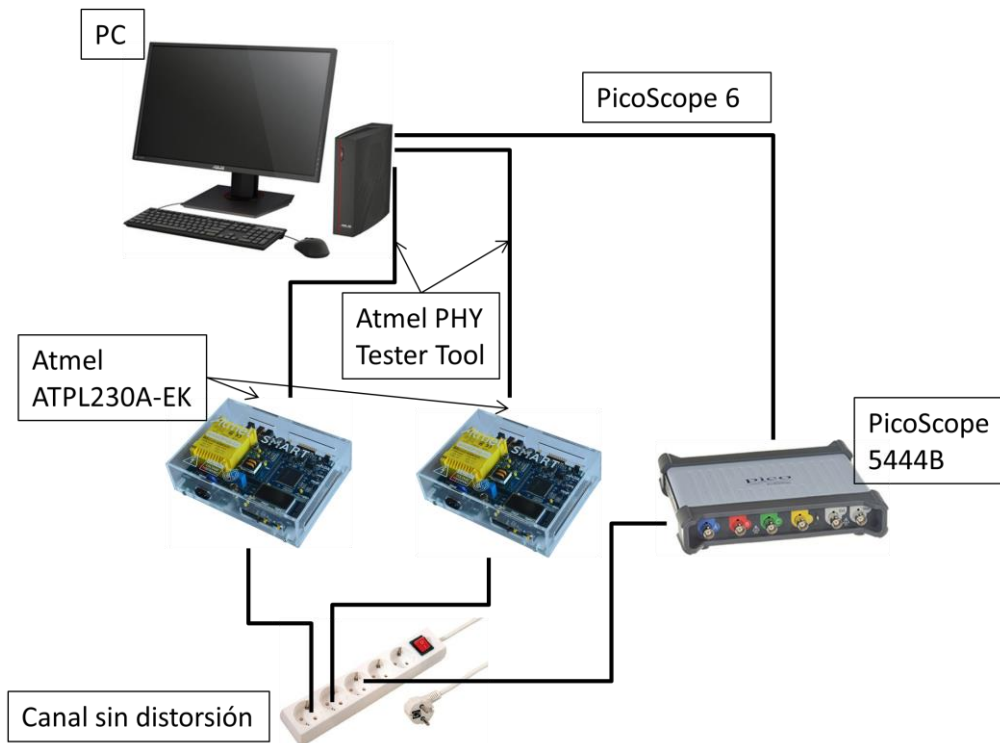


Figura 5: Diseño del sistema para la representación de las curvas FER frente a SNR.

7. Plan de trabajo

En este apartado se expone el plan de trabajo que se ha llevado a cabo para la realización de este TFG.

7.1. Equipo de trabajo

A continuación, en la Tabla 3, se indican los miembros del equipo de trabajo que han participado en la realización de este proyecto.

Nombre	Cargo
Itziar Angulo Pita	Ingeniera Sénior/Directora del TFG
Ainhoa García Esquina	Ingeniera Junior/Proyectista
Jon González Ramos	Ingeniero Junior/Proyectista

Tabla 3: Integrantes del proyecto.

La directora del TFG se encarga de plantear el proyecto y de gestionarlo, tomando las decisiones importantes para su correcto desarrollo y haciendo un seguimiento de las tareas que se van llevando a cabo.

Los proyectistas colaboran para llevar a cabo la realización de la primera parte del trabajo, la representación de las curvas de ruido blanco, ya que se trata de una tarea incluida en el trabajo de ambos. A partir de aquí cada uno trabaja en su TFG, siendo el de Jon González el análisis del impacto de los efectos de canal en las comunicaciones NB-PLC según el estándar PRIME y el de Ainhoa García, el análisis del impacto del ruido de los cargadores de vehículos eléctricos en estas mismas comunicaciones.

7.2. Definición de paquetes de trabajo y tareas

En este apartado se definen los paquetes de trabajo junto con sus tareas correspondientes.

P.T.1. Pruebas previas	Fecha inicio: 15/10/2018	Fecha fin: 21/11/2018
T.1.1. Pruebas ATMEL ATPL230A		
Primeras pruebas con los dispositivos ATMEL ATPL230A. <ul style="list-style-type: none"> • Fecha inicio: 15/10/2018 • Fecha fin: 21/12/2018 • Recursos técnicos: Ordenador, ATMEL ATPL230A, cable BNC – 2 bananas y regleta. • Carga de trabajo: 33h • Responsable: Proyectistas 		
T.1.2. Pruebas generador		
Primeras pruebas introduciendo ruido a las comunicaciones mediante el generador Agilent <ul style="list-style-type: none"> • Fecha inicio: 22/10/2018 • Fecha fin: 29/10/2018 • Recursos técnicos: Ordenador, ATMEL ATPL230A, generador Agilent cable BNC – 2 bananas y regleta. • Carga de trabajo: 5h • Responsable: Proyectistas 		
T.1.3. Pruebas PicoScope 5444B		
Familiarización, establecimiento de las limitaciones y primeras pruebas introduciendo ruido mediante el equipo PicoScope 5444B. <ul style="list-style-type: none"> • Fecha inicio: 30/10/2018 • Fecha fin: 21/11/2019 • Recursos técnicos: Ordenador, ATMEL ATPL230A, PicoScope 5444B, cable BNC – 2 bananas y regleta. • Carga de trabajo: 22h • Responsable: Proyectista principal 		
H.1. Fin de pruebas previas		

Tabla 4: Paquete de trabajo de pruebas previas.

P.T.2. Definición y validación metodología	Fecha inicio: 22/11/2018	Fecha fin: 21/12/2018
T.2.1. Definición de la metodología		
Definición de la metodología a emplear en la ejecución del proyecto. <ul style="list-style-type: none"> • Fecha inicio: 22/11/2018 • Fecha fin: 28/11/2018 • Recursos técnicos: Ordenador • Carga de trabajo: 8h • Responsable: Proyectista principal 		
T.2.2. Simulaciones con ruido blanco y representación de resultados del canal 1.		
Se simulan las curvas de ruido blanco mediante el sistema de medidas planteado y se representan los resultados obteniéndose las curvas de FER frente a SNR para cada esquema de modulación en el canal 1 de la banda NB-PLC. <ul style="list-style-type: none"> • Fecha inicio: 29/11/2018 • Fecha fin: 07/12/2018 • Recursos técnicos: Ordenador, ATMEL ATPL230A, generador Agilent cable BNC – 2 bananas y regleta. • Carga de trabajo: 24h • Responsable: Proyectistas 		
T.2.3. Simulaciones con ruido blanco y representación de resultados de los canales altos.		
Se simulan las curvas de ruido blanco mediante el sistema de medidas planteado y se representan los resultados obteniéndose las curvas de FER frente a SNR para cada esquema de modulación en los canales 3-8 de la banda NB-PLC. <ul style="list-style-type: none"> • Fecha inicio: 10/12/2018 • Fecha fin: 19/12/2018 • Recursos técnicos: Ordenador. • Carga de trabajo: 24h Responsable: Proyectistas		
T.2.4. Comparación de las curvas		
Comparación de las curvas obtenidas mediante el sistema de medidas propuesto con los resultados teóricos de [8]. <ul style="list-style-type: none"> • Fecha inicio: 20/12/2018 • Fecha fin: 21/12/2018 • Recursos técnicos: Ordenador • Carga de trabajo: 4h • Responsable: Proyectistas 		
H.2. Fin de la validación de la metodología		

Tabla 5: Paquete de trabajo de definición y validación de la metodología.

P.T.3. Análisis del ruido de los cargadores		Fecha inicio: 28/01/2019	Fecha fin: 04/03/2019
T.3.1. Selección de los ruidos			
Selección de los ruidos de los cargadores de vehículos eléctricos que se van a analizar en el proyecto (Renault ZOE y Hyundai KONA) <ul style="list-style-type: none"> • Fecha inicio: 28/01/2019 • Fecha fin: 28/01/2019 • Recursos técnicos: Ordenador. • Carga de trabajo: 2h • Responsable: Proyectista principal 			
T.3.2. Procesado de las señales de ruido de los cargadores de los vehículos eléctricos			
Tratamiento del ruido de los 2 cargadores de vehículos eléctricos (Renault ZOE y Hyundai KONA) mediante Matlab con el fin de evaluar las características temporales y frecuenciales del mismo y posteriormente introducirlo de manera adecuada en el software del PicoScope. <ul style="list-style-type: none"> • Fecha inicio: 29/01/2019 • Fecha fin: 05/02/2019 • Recursos técnicos: Ordenador. • Carga de trabajo: 4h • Responsable: Proyectista principal 			
T.3.3. Análisis de las características de los ruidos de los cargadores de vehículos eléctricos			
Evaluación de los ruidos que se van a analizar y comparativa con la bibliografía existente. <ul style="list-style-type: none"> • Fecha inicio: 06/02/2019 • Fecha fin: 04/03/2019 • Recursos técnicos: Ordenador • Carga de trabajo: 15h • Responsable: Proyectista principal 			

Tabla 6: Paquete de trabajo de análisis del ruido de los cargadores.

P.T.4. Curvas FER frente a SNR	Fecha inicio: 05/03/2019	Fecha fin: 17/06/2019
T.4.1. Simulaciones con el ruido de los cargadores de vehículos eléctricos.		
<p>Se simulan las curvas de ruido de los cargadores de VE tanto para el canal 1 como para el canal 3 de la banda NB-PLC.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fecha inicio: 04/03/2019 • Fecha fin: 13/05/2019 • Recursos técnicos: Ordenador, ATMEL ATPL230A, PicoScope 5444B, cable BNC – 2 bananas y regleta. • Carga de trabajo: 52h • Responsable: Proyectista principal 		
T.4.2. Representación de resultados		
<p>Representación de los resultados obteniéndose las curvas de FER frente a SNR para los ruidos de los cargadores de vehículos eléctricos, tanto para el canal 1 como para el canal 3 de la banda NB-PLC.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fecha inicio: 11/03/2019 • Fecha fin: 13/05/2019 • Recursos técnicos: Ordenador • Carga de trabajo: 1h • Responsable: Proyectista principal 		
T.4.3. Análisis de resultados		
<p>Análisis de los resultados obtenidos para los ruidos de ambos cargadores y obtención de conclusiones.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fecha inicio: 14/05/2019 • Fecha fin: 12/07/2019 • Recursos técnicos: Ordenador • Carga de trabajo: 24h • Responsable: Proyectista principal 		

Tabla 7: Paquete de trabajo de curvas FER frente a SNR.

P.T.5. Gestión y documentación	Fecha inicio: 10/09/2018	Fecha fin: 19/07/2019
T.5.1. Gestión del proyecto		
Gestión de las tareas que van realizándose a lo largo de la ejecución del proyecto, incluyendo las reuniones de los proyectistas con la directora del proyecto y la supervisión de los resultados. <ul style="list-style-type: none"> • Fecha inicio: 10/09/2018 • Fecha fin: 19/07/2019 • Recursos técnicos: Ordenador • Carga de trabajo: 10h • Responsable: Directora del proyecto 		
T.5.2. Documentación		
Lectura de bibliografía, documentación de los resultados parciales obtenidos a lo largo del proyecto y redacción del TFG. <ul style="list-style-type: none"> • Fecha inicio: 15/10/2018 • Fecha fin: 19/07/2019 • Recursos técnicos: Ordenador • Carga de trabajo: 72h • Responsable: Proyectista principal 		
H.5. Fin del proyecto		

Tabla 8: Paquete de trabajo de gestión y documentación.

7.3. Diagrama de Gantt

En la Figura 6 se muestra el diagrama de Gantt de los paquetes de trabajo y las tareas correspondientes especificadas en el apartado anterior.

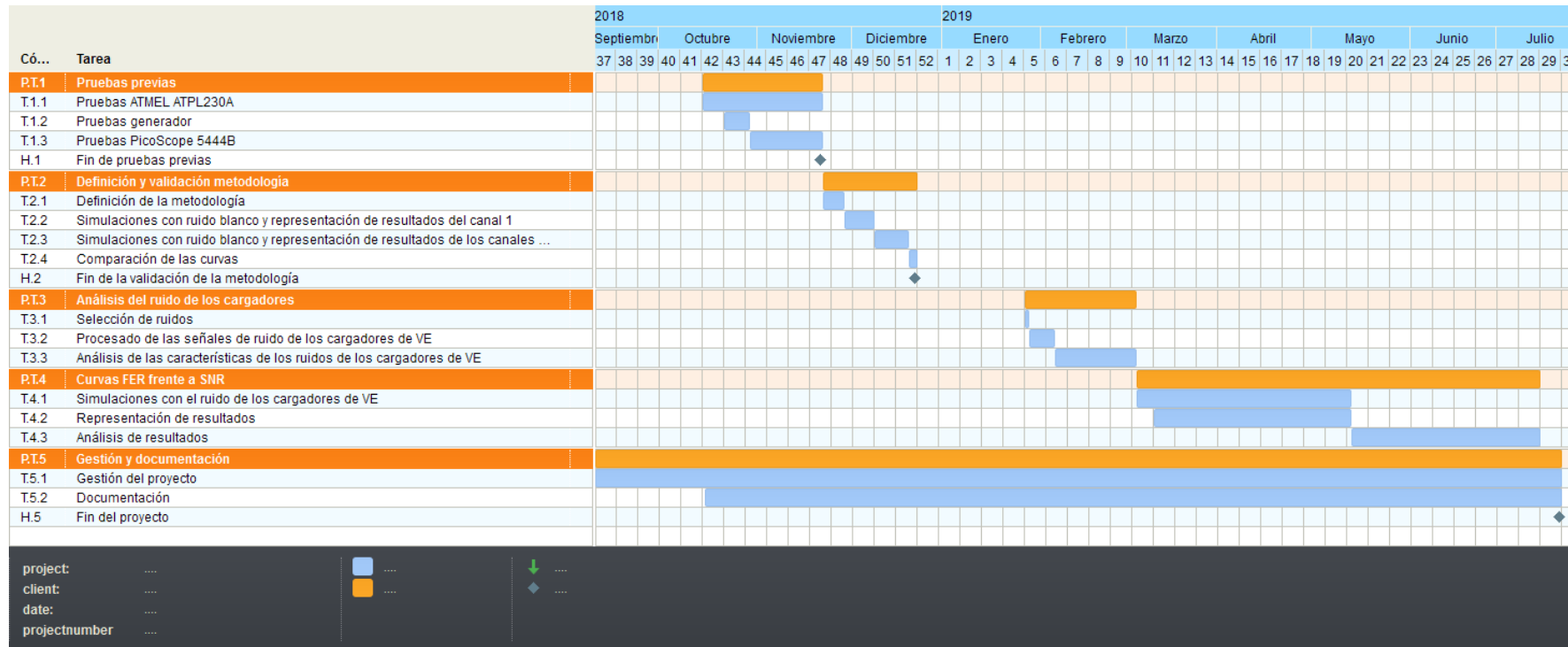


Figura 6: Diagrama de Gantt del proyecto.

8. Medios y técnicas básicas

En este apartado se enumeran el equipamiento tanto hardware como software necesario para llevar a cabo la realización de este trabajo (ver Tablas 9 y 10).

8.1. Hardware

Equipamiento hardware
Kit Atmel ATPL230A-EK
PicoScope 5444B
Generador Agilent 33220A
Regleta
Cables BNC - 2 bananas

Tabla 9: Medios hardware empleados en el proyecto.

8.2. Software

Software
Atmel PHY Tester Tool
PicoScope 6
Matlab
Office 365

Tabla 10: Medios software empleados en el proyecto.

9. Presupuesto del proyecto

En este apartado se expone el desglose de las diferentes partidas del presupuesto del trabajo llevado a cabo.

9.1. Precios unitarios

9.1.1. Precios de recursos humanos

A continuación, se especifican los costes unitarios de cada participante de este trabajo.

Nombre	Cargo	Coste horario (€/h)
Itziar Angulo Pita	Directora del TFG	60
Ainhoa García Esquina	Proyectista	30
Jon González Ramos	Proyectista	30

Tabla 11: Precios unitarios de recursos humanos.

9.1.2. Precios unitarios de material

En este subapartado se especifican los precios unitarios del material empleado en este trabajo. Por un lado, se enumeran los materiales amortizables que son aquellos de los que ya se disponía en el laboratorio de TSR y que podrán seguir utilizándose una vez terminado este proyecto. Por otro lado, los materiales fungibles son aquellos que sirven únicamente para este proyecto, lo que se conoce como gastos.

9.1.2.1. Amortizable

Concepto	Precio (€)	Unidades	Vida útil (h)	Coste unitario (€/h)
Ordenadores	900,00	3	2000	0,45
PicoScope 5444B	2375,00	1	9000	0,26
Kit Atmel ATPL230A-EK	486,20	1	5000	0,10
Licencia Matlab	750,00	1	1800	0,42
Generador Agilent 33220A	2290,00	1	9000	0,25
Office 365	105,00	1	9000	0,01

Tabla 12: Precios unitarios del material amortizable.

9.1.2.2. Fungible

Concepto	Coste (€)
Material de oficina	12,00
Conexión a Internet	50,00
Luz	50,00
Subtotal gastos	112,00

Tabla 13: Precios del material fungible.

9.2. Presupuesto de recursos humanos

A continuación, se muestra el presupuesto de recursos humanos según el tiempo invertido por cada participante en el desarrollo de este proyecto (ver Tabla 14).

RECURSOS HUMANOS				
Concepto	Nº de personas	Coste horario (€/h)	Número de horas	Total (€)
Ingeniero sénior	1	60	36	2160
Proyectista principal	1	30	300	8100
Proyectista secundario	1	30	90	2700
Subtotal recursos humanos				12960

Tabla 14: Presupuesto de recursos humanos.

9.3. Presupuesto de amortizaciones

A continuación, se muestra el presupuesto de los recursos materiales amortizables empleados en este proyecto.

AMORTIZACIONES					
Concepto	Precio (€)	Unidades	Vida útil (h)	Horas	Coste (€)
Ordenadores	900,00	3	2000	250	337,50
PicoScope 5444B	2375,00	1	9000	80	21,11
Kit Atmel ATPL230A-EK	486,20	1	5000	120	11,67
Licencia Matlab	750,00	1	1800	10	4,17
Generador Agilent 33220A	2290,00	1	9000	40	10,18
Office 365	105,00	1	9000	300	3,50
Subtotal amortizaciones					388,12

Tabla 15: Presupuesto de recursos materiales.

9.4. Presupuesto total

Finalmente, se muestra en el resumen de gastos total del proyecto. Además, se incluyen unos costes indirectos del 5%.

Concepto	Coste (€)
Recursos humanos	12960,00
Recursos materiales	388,12
Gastos	112,00
Subtotal	13460,12
Costes indirectos (5%)	673,01
TOTAL	14133,13

Tabla 16: Presupuesto total del proyecto.

De esta manera, el presupuesto final para la realización de este proyecto asciende a 14133,13€ (ver Tabla 16).

10. Análisis de riesgos

En este apartado se enumeran los diferentes riesgos a los que está expuesto este proyecto y que pueden repercutir de manera negativa en su ejecución. Se propone, por lo tanto, una solución a cada riesgo identificado y se hace un análisis mediante la representación de dichos riesgos en una matriz probabilidad – impacto. La clasificación de los posibles riesgos se hace de la siguiente manera:

Probabilidad de ocurrencia (Po)	Impacto del riesgo (Ir)
Rara vez (0,1)	Muy bajo (0,1)
Poco probable (0,3)	Bajo (0,3)
Probable (0,5)	Moderado (0,5)
Bastante probable (0,7)	Alto (0,7)
Casi seguro (0,9)	Muy alto (0,9)

Tabla 17: Clasificación de riesgos.

10.1. Descripción de riesgos

En este apartado se enumeran los diferentes riesgos a los que se encuentra expuesta la realización de este proyecto.

10.1.1. Mala elección de los equipos (R1)

Este riesgo surge debido a la incorrecta elección de los equipos a la hora de diseñar el sistema de medidas empleado en este proyecto.

Solución: Realizar un estudio previo de la metodología para validar que los equipos que se van a emplear son adecuados y realizar pruebas previas a la ejecución del proyecto.

Po	Ir
0,3	0,3

Tabla 18: Probabilidad de ocurrencia e impacto del R1.

10.1.2. Mal funcionamiento de los equipos (R2)

Este riesgo surge debido al mal funcionamiento de los equipos que forman el sistema de medidas a emplear en este proyecto.

Solución: Realizar pruebas previas a la ejecución del proyecto para comprobar el correcto funcionamiento de estos. En caso de que los equipos no funcionen correctamente, sustituirlos por unos que desempeñen su función de manera adecuada.

Po	Ir
0,5	0,7

Tabla 19: Probabilidad de ocurrencia e impacto del R2.

10.1.3. Mala realización de las medidas (R3)

Este riesgo surge debido a no realizar correctamente las medidas. Esto puede deberse a la interrupción de las simulaciones, elección errónea de los parámetros de simulación o incorrecta obtención de los datos.

Solución: Asegurar que el sistema de medidas está correctamente colocado, que los parámetros son los correctos y los datos corresponden con la simulación que se está realizando, repitiendo las medidas en caso de ser necesario.

Po	Ir
0,7	0,1

Tabla 20: Probabilidad de ocurrencia e impacto del R3.

10.2. Matriz probabilidad – impacto

A continuación, se representan en la matriz los diferentes riesgos descritos en el apartado anterior, teniendo en cuenta su probabilidad de aparición y el impacto que tendrían en el proyecto en caso de ocurrir. Habrá que dar mayor importancia a los riesgos más probables y con un impacto mayor en el proyecto. Este es el caso del mal funcionamiento de los equipos (R2), como se puede observar en la Tabla 21.

		IMPACTO				
		Muy bajo (0,1)	Bajo (0,3)	Moderado (0,5)	Alto (0,7)	Muy alto (0,9)
PROBABILIDAD	Casi seguro					
	Bastante probable (0,7)	R3				
	Probable (0,5)				R2	
	Poco probable (0,3)		R1			
	Rara vez (0,1)					

Tabla 21: Matriz probabilidad – impacto.

11. Metodología

La metodología para llevar a cabo este proyecto consiste en conectar los equipos que van a trabajar como transmisor y receptor de las tramas PRIME (kit de evaluación ATMEL ATPL230A-EK), a través de un canal sin distorsión. Para ello, se conectarán ambos dispositivos a una regleta mediante conexión eléctrica directa. Esta regleta no estará conectada a la red eléctrica para evitar interferencias externas, es decir, se hará de manera offline y a ella se conectará el dispositivo que introduzca el ruido correspondiente. Mediante este sistema se pretende obtener las curvas de FER frente a SNR. El FER, Frame Error Rate, se trata del ratio de tramas recibidas con errores con respecto del total de tramas recibidas. El SNR, Signal to Noise Ratio, se define como la relación entre la potencia de señal recibida y la potencia del ruido. La representación de las curvas que relacionan ambos parámetros sirve para determinar la calidad de las comunicaciones PLC. Estas curvas se obtienen variando el nivel de SNR y calculando los valores de FER correspondientes. Pueden obtenerse, por lo tanto, o bien atenuando la señal, o bien aumentando el ruido. Para la evaluación de la degradación que pueden introducir en las comunicaciones los ruidos, se toma como referencia el valor umbral de SNR correspondiente a un FER de 10^{-2} .

Por un lado, la validación de la metodología propuesta se hará introduciendo ruido blanco al sistema mediante un generador de funciones Agilent 33220A, también conectado a la regleta. Por otro lado, para la evaluación de la influencia del ruido de los vehículos eléctricos, el ruido de estos se reproducirá mediante un PicoScope 5444B.

A continuación, se detallan los equipos que forman el sistema de medidas empleado y su configuración necesaria para desarrollar el trabajo.

11.1. Sistema de medidas

11.1.1. ATMEL ATPL230A-EK

La realización de este trabajo se ha llevado a cabo empleando el kit de evaluación ATMEL ATPL230A, que se trata de un transceptor PLC según el estándar PRIME.

Este kit consta de dos placas base ATPL230AMB, dos placas de acoplamiento adecuadas para la transmisión y recepción en la banda de frecuencia CENELEC-A (ATPLCOUP001 v1) y dos placas de acoplamiento adecuadas para la transmisión y recepción en las bandas de frecuencia FCC (ATPLCOUP006 v2). Además, dispone de dos cables tipo micro A/B a USB, dos cables de

alimentación (IEC320-C8) y un set de puentes para configurar la placa (230/100 VAC selection and ERASE).

En este trabajo se va a utilizar una de las placas base como transmisor y la otra como receptor, con sus correspondientes placas de acoplamiento en la banda CENELEC-A y en las bandas FCC (ver Figura 7).



Figura 7: Placas base ATPL230AMB y placas de acoplamiento ATPLCOUP001 v1 (fuera) y ATPLCOUP006 v2 (en la placa base).

El control del equipo se realiza mediante el software “Atmel PHY Tester Tool” que permite configurar ciertos parámetros de transmisión y recepción (ver Figuras 8 y 9).

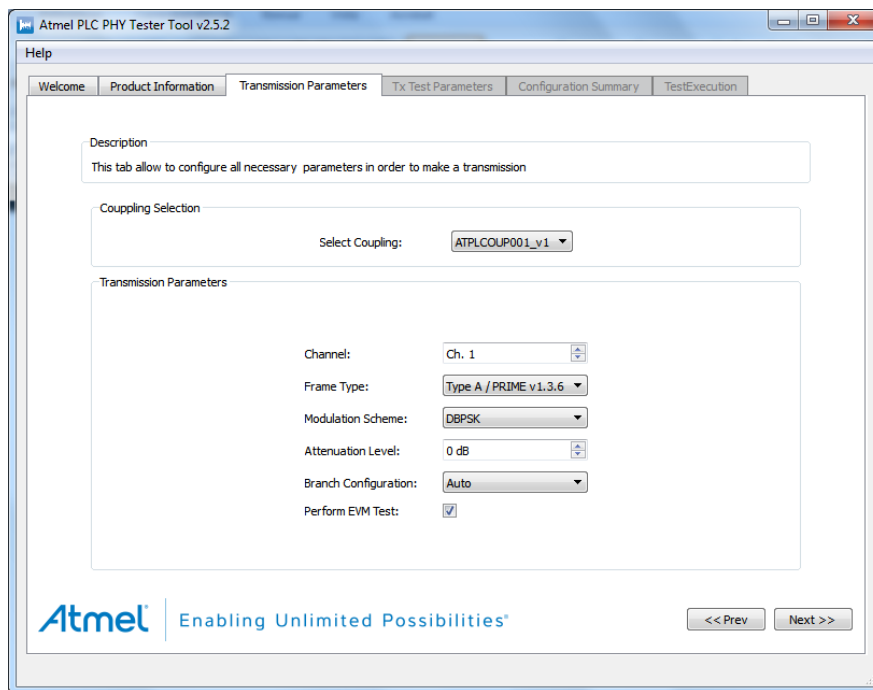


Figura 8: Parámetros de transmisión del software "Atmel PHY Tester Tool".

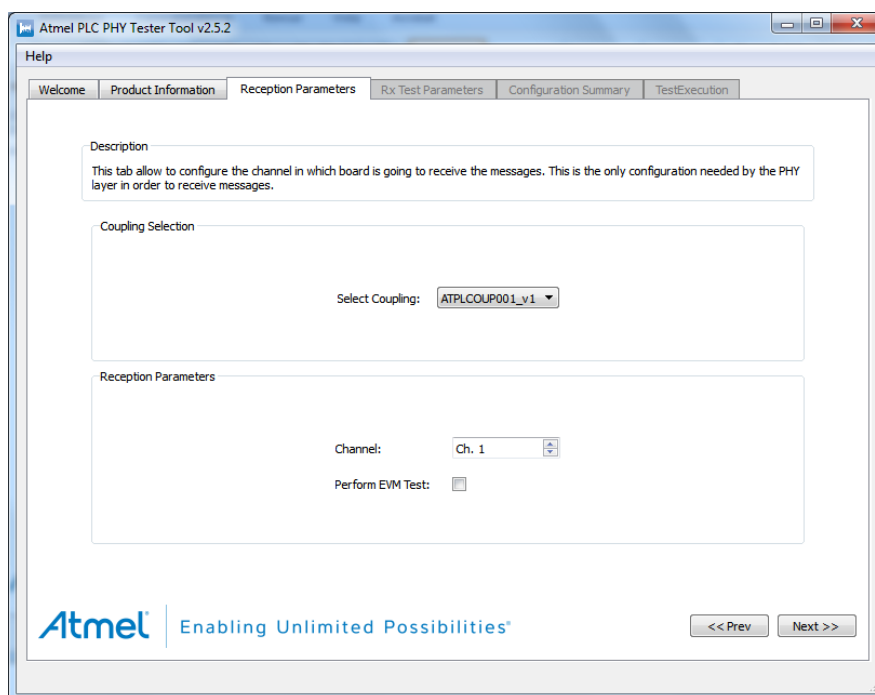


Figura 9: Parámetros de recepción del software “Atmel PHY Tester Tool”.

En transmisión se debe escoger el módulo que se ha colocado en la placa base dependiendo de si se va a trabajar en la banda CENELEC-A o en los canales superiores. Se utiliza, por lo tanto, el módulo ATPLCOUP001_v1 si se va a trabajar en el canal 1, como se puede ver en la Figura 8. Para el resto de canales hay que colocar el módulo ATPLCOUP006 v2 y seleccionar el canal en el que se quiera trabajar, del 3 al 8. El módulo no permite utilizar el canal 2. En recepción hay que seleccionar el mismo módulo y canal, como se puede observar en la Figura 9. Además, se permite configurar los siguientes parámetros de transmisión:

- Frame Type
 - Se escoge la trama Type A/PRIME v1.3.6 tanto para la banda CENELEC-A como para los canales superiores ya que se pretende analizar la diferencia existente entre los diferentes canales de frecuencia.
- Modulation Scheme
 - Modulaciones posibles: D8PSK, DQPSK, DBPSK, D8PSK_C, DQPSK_C, DBPSK_C.
- Attenuation Level
 - Valores de atenuación posibles: 0-21 dB. Este parámetro se modifica para disminuir el nivel de señal transmitida y obtener valores de SNR menores.
- Branch Configuration
 - Opciones de impedancia de salida: Very Low, Low, Auto y High. La opción Auto escoge la impedancia de salida de manera automática obteniéndose los valores más altos de SNR posibles para esa comunicación. Los valores obtenidos con una impedancia de salida Very Low o Low no difieren significativamente de los obtenidos con la opción Auto. Sin embargo, la elección de una impedancia de salida High atenúa la señal obteniéndose valores menores de SNR. Estas opciones se pueden utilizar para disminuir el nivel de señal transmitida en la obtención de las curvas de FER frente a SNR.

Una vez seleccionados los parámetros de transmisión adecuados se seleccionan los parámetros de prueba de transmisión, como se puede ver en la Figura 10. Estos parámetros deben ser los mismos en recepción.

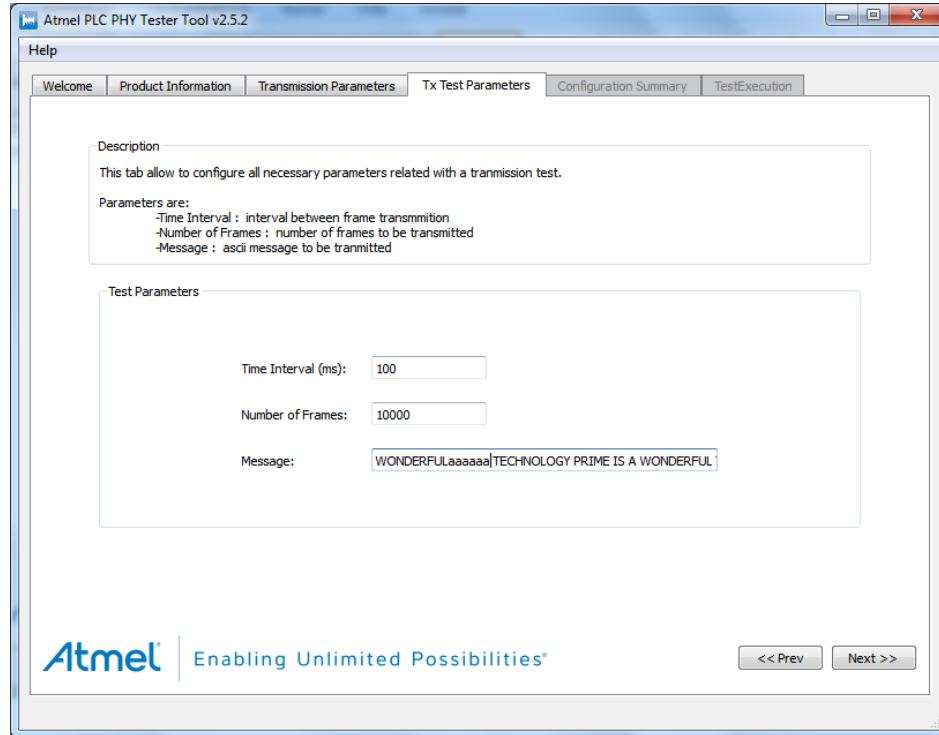


Figura 10: Parámetros de prueba de transmisión.

- Time Interval (ms)
 - Tiempo de transmisión entre tramas. En todas las simulaciones de este trabajo se ha escogido un tiempo de 100 ms. Este parámetro es más crítico cuando existen múltiples equipos transmitiendo tramas en la misma red. Para las pruebas a realizar, se elige un valor lo suficientemente pequeño para que el tiempo de simulación no se alargue, pero a la vez evite problemas de recepción por limitaciones del buffer.
- Number of frames
 - Para alcanzar un FER (Frame Error Rate) de 10^{-3} en todas las simulaciones se han enviado un total de 10000 tramas, debido a que las curvas obtenidas van a compararse con las curvas de FER frente a SNR de [8] donde se representan hasta valores de FER de 10^{-3} .
- Message
 - Se han escogido mensajes de 256 bytes para poder hacer la validación de la metodología mediante la representación de las curvas de ruido blanco incluidas en [8].

Durante la simulación se muestran ciertos parámetros de recepción que ofrecen información acerca de la calidad de la comunicación, como se puede ver en la Figura 11. El parámetro RSSI, Received Signal Strength Indicator, indica la intensidad de la señal recibida en dBuV. Los

parámetros SNR y EVM, Error Vector Magnitude, se calculan según la especificación PRIME. SNR es el parámetro que se tiene en cuenta para la representación de las curvas FER frente a SNR y, por lo tanto, para el análisis de la calidad de las comunicaciones. Este parámetro puede estimarse como el inverso del EVM más 3 dB debido a la decodificación diferencial [10].

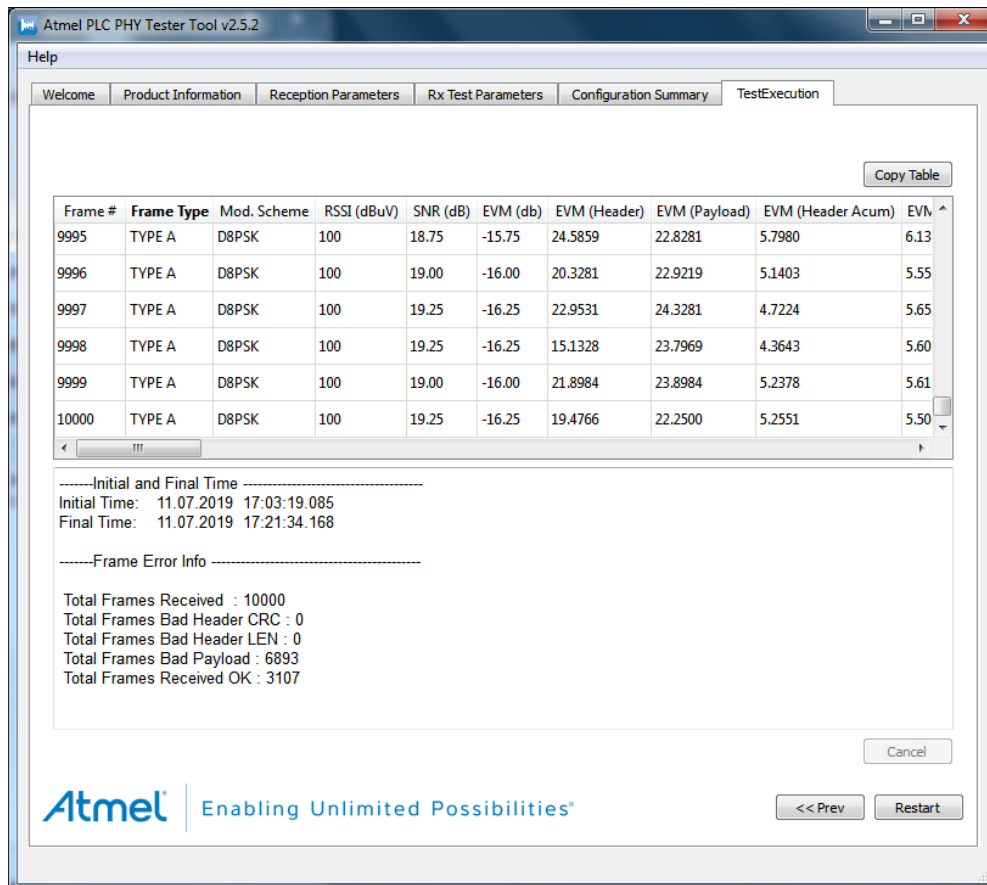


Figura 11: Ventana final de recepción de la simulación.

11.1.2. PicoScope 5444B

El dispositivo PicoScope 5444B se trata de un osciloscopio portátil para PC con un ancho de banda de hasta 200 MHz. Además, este equipo también dispone de un modo de generador de señales. El control de estas aplicaciones se hace mediante el uso del software PicoScope 6.

Este equipo dispone de dos opciones de alimentación. Por un lado, un transformador conectado a la red eléctrica y, por otro lado, un cable USB doble conectado al ordenador en el que se disponga del software PicoScope 6, como se puede ver en la Figura 12. Una de las

entradas del cable USB doble se emplea para la alimentación del dispositivo y la otra para su control mediante el software mencionado. Debido a que todas las simulaciones realizadas en este trabajo se realizan en un laboratorio sin necesidad de mover los equipos, se emplean ambas opciones para alimentar el dispositivo, tanto el transformador como el cable USB doble.



Figura 12: PicoScope 5444B, transformador (negro) y cable USB doble (azul).

El PicoScope 5444B dispone de cuatro canales de entrada, A, B, C y D, por lo que permite analizar 4 señales simultáneamente. En este trabajo solo será necesario emplear uno de ellos con el fin de verificar que las tramas están enviándose correctamente. En la Figura 13 se puede observar la recepción de dos tramas PRIME en el canal A.

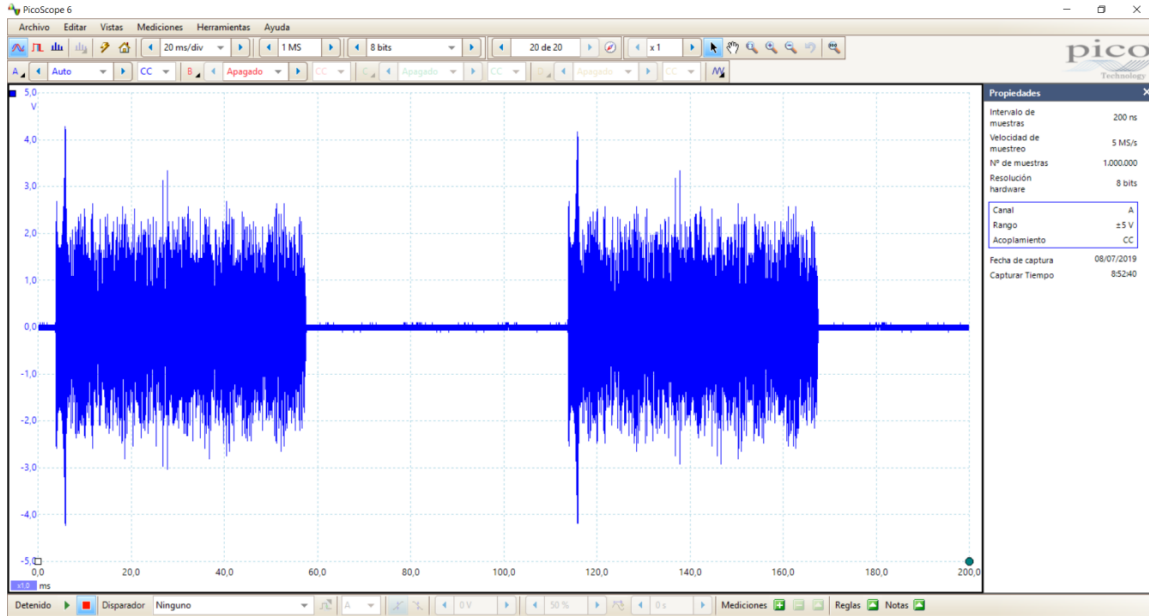


Figura 13: Visualización de tramas PRIME en el canal A del PicoScope 5444B.

Sin embargo, la función de este equipo que se va a emplear principalmente en el desarrollo de este trabajo es la de generación de señales. Se utiliza este modo para generar el ruido de los cargadores de vehículos eléctricos grabados y poder introducirlos en el sistema de transmisión-recepción. De esta manera se podrá llevar a cabo la evaluación de la influencia del ruido de estos vehículos. En la Figura 14 se puede observar la pestaña de opciones del modo generador de señales. Debido a que el ruido que se va a introducir es uno previamente grabado, se debe seleccionar la opción *Arbitrario*. La frecuencia de inicio se calcula como el inverso de la duración total de visualización.

$$f_i = \frac{1}{\text{Duración total visualización}}$$

Esta duración total de visualización se define como el número de muestras que se quiere reproducir por el intervalo entre dichas muestras. El equipo limita el número de muestras máximas a reproducir a 49152. Las medidas de cargadores de VE disponibles tienen una duración de 5 segundos, y un número determinado de muestras según la frecuencia de muestreo utilizada para su digitalización. De esta manera, el resultado final de la frecuencia de inicio que se va a emplear es el siguiente:

$$f_i = \frac{1}{49152 \text{ muestras} \cdot \frac{5 \text{ s}}{4464289 \text{ muestras}}} = 181,65 \text{ Hz}$$

El parámetro *Amplitud* corresponde con la amplitud de la forma de onda medida de cresta a cresta y admite valores de hasta 2 V. Se variará este parámetro para aumentar el nivel de ruido

y obtener las curvas de FER frente a SNR. El parámetro *Desplazamiento* corresponde al valor medio de la señal, por lo tanto, este valor será 0 V en todas nuestras simulaciones.

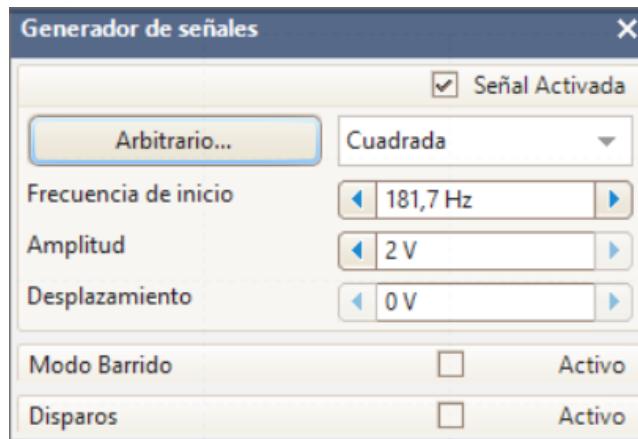


Figura 14: Ventana de opciones del modo generador de señales del PicoScope 5444B.

Al seleccionar la opción *Arbitrario*, aparece una ventana como la que se puede observar en la Figura 15, e importar el archivo del ruido que se quiera introducir. Este archivo debe estar en formato CSV (Comma-Separated Values), los valores deben estar normalizados entre -1 y +1 y el número máximo de muestras que soporta es 49152.

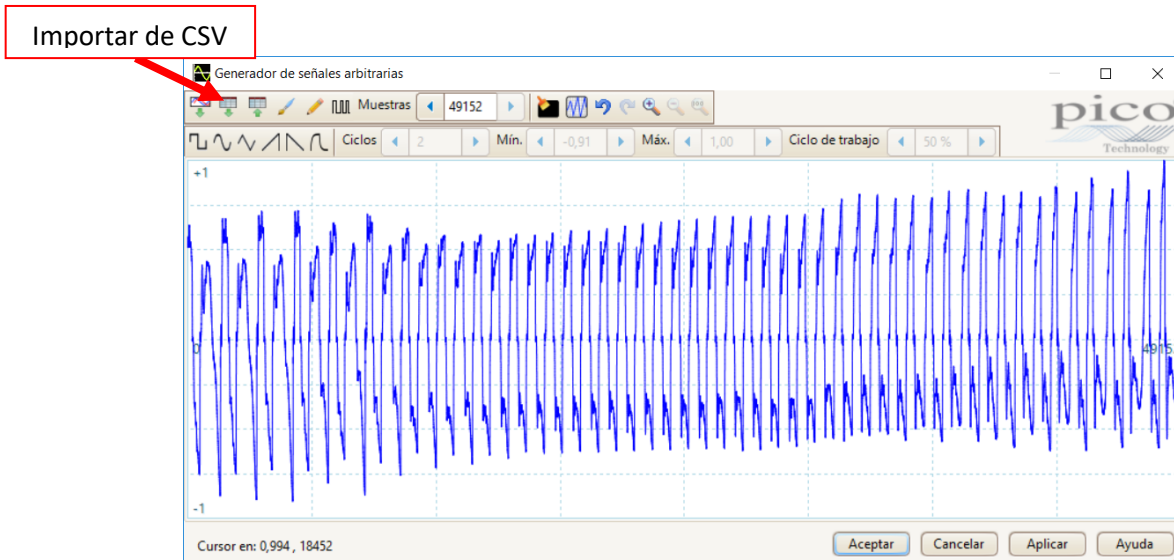


Figura 15: Ventana generador de señales arbitraria del PicoScope 5444B.

Para introducir el ruido, la salida del generador irá conectada a la regleta mediante un cable BNC a dos bananas (ver Figura 16).



Figura 16: Cable BNC - 2 bananas.

11.1.3. Generador Agilent 33220A

El generador Agilent 33220A se trata de un generador de función/forma de onda arbitraria con un ancho de banda de 20 MHz. Este equipo se va a emplear para introducir ruido blanco en el sistema de transmisión-recepción en la fase del trabajo de la validación de la metodología mediante la representación de las curvas de ruido blanco. Esto se hará mediante la opción Noise del dispositivo, como se puede ver en la Figura 12. Permite valores de ruido de 0 a 10 Vpp, por lo que para los modos de transmisión más robustos, éste no será suficiente para degradar la señal y obtener los valores más bajos de SNR.

Este dispositivo se conectará a la regleta, al igual que el PicoScope 5444B, mediante un cable BNC a dos bananas.



Figura 17: Generador Agilent 33220A.

11.2. Ruidos de los cargadores de vehículos eléctricos

Para la realización de este análisis se han empleado los ruidos medidos en la recarga de dos tipos de vehículos eléctricos: Renault ZOE y Hyundai KONA (ver Figura 18).



Figura 18: Renault ZOE y Hyundai KONA.

Estas mediciones se realizaron en los cargadores que se encuentran en el parking del BEC de la empresa IBIL el 25 de febrero de 2019 (ver Figuras 19 y 20).



Figura 19: Cargador monofásico.



Figura 20: Cargador trifásico.

El modo de recarga de todos los vehículos se corresponde con el Modo 3, es decir, el vehículo lleva incorporado el convertidor en su interior y está definido por el estándar IEC61851-1.

Ambos casos de medición han sido realizados con el sistema de medidas del grupo de investigación TSR de la UPV/EHU, compuesto por un filtro paso bajo y una sonda de tensión, mientras que para captar la señal se ha empleado un osciloscopio digital, utilizando cables de 2 m de longitud con terminaciones en banana [9].

Una vez obtenidas las muestras del ruido, mediante el software Matlab se representa su respuesta tanto temporal, como frecuencial (ver Figuras 21 y 22) con el fin de analizar sus características y determinar qué ruidos pueden ser más críticos.

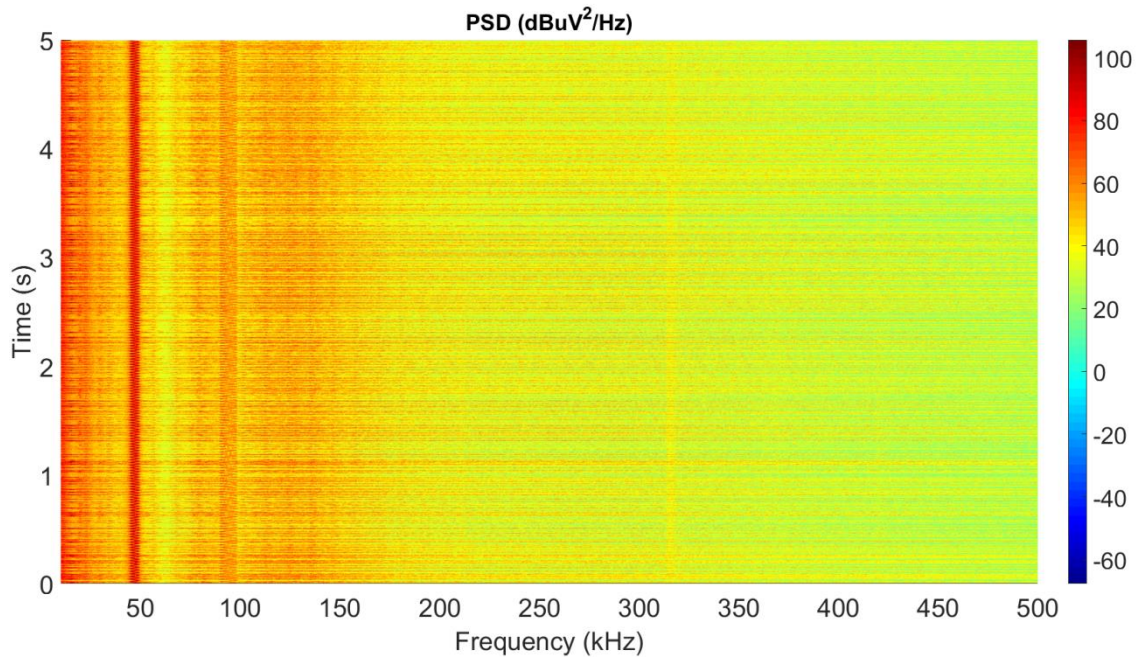


Figura 21: Espectrograma del ruido del cargador Hyundai KONA – 10A.

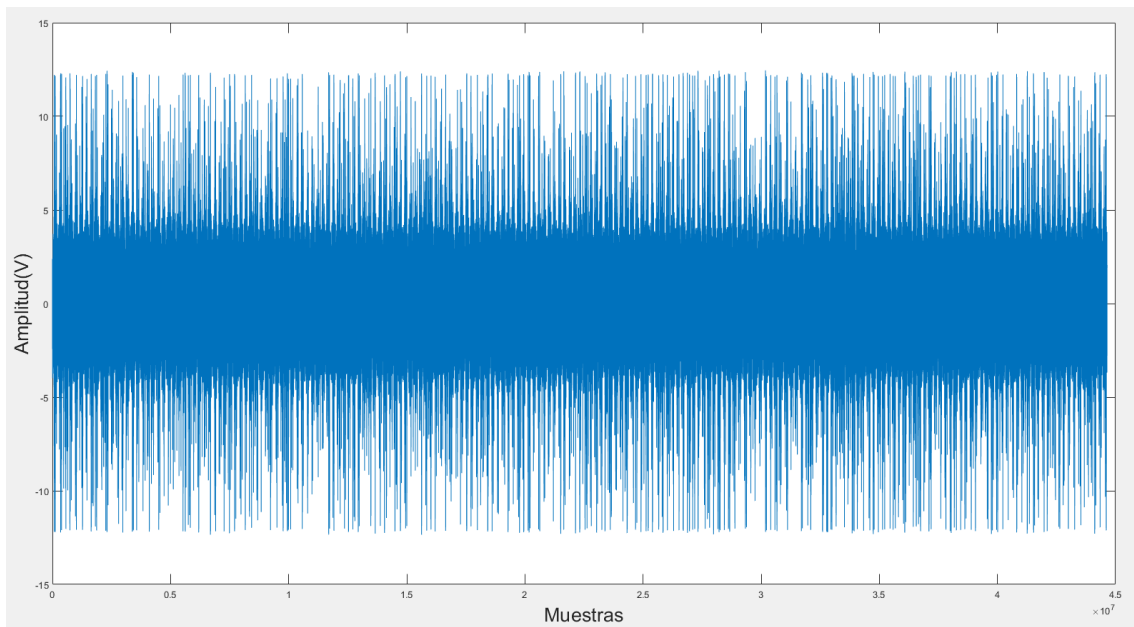


Figura 22: Respuesta temporal del ruido del cargador del Hyundai KONA.

Como ya se ha mencionado anteriormente, el PicoScope 5444B solo permite introducir ruidos de hasta 49152 muestras y con una amplitud de entre -1 y +1. Por lo tanto, es necesario

seleccionar este número de muestras de cada ruido y normalizarlo. La selección de estas muestras se hace siguiendo ciertos criterios. En primer lugar, se deben escoger, en caso de que las hubiese, fragmentos del ruido que no contengan tramas PRIME debido a que el objetivo es analizar únicamente el impacto del ruido de los cargadores de VE. En segundo lugar, se deben seleccionar partes significativas del ruido, es decir, fragmentos en los que se alcancen los valores de amplitud máximos de dicho ruido.

Además, hay que hacer la conversión del fragmento seleccionado a formato CSV. Estas tareas se harán mediante el software Matlab mediante el código de la Figura 23.

```
load('NIE_ZOE1.mat');  
figure();  
D=A(260000:309151);  
G=max(abs(D));  
E = D/G;  
H=max(abs(E));  
xlswrite('ZOE1_norm.xlsx',E,'Hoja1','A1');
```

Figura 23: Código de Matlab para la selección, normalización y exportación a CSV de los ruidos.

De esta manera, el ruido resultante que se introducen al sistema se puede observar en la Figura 24.

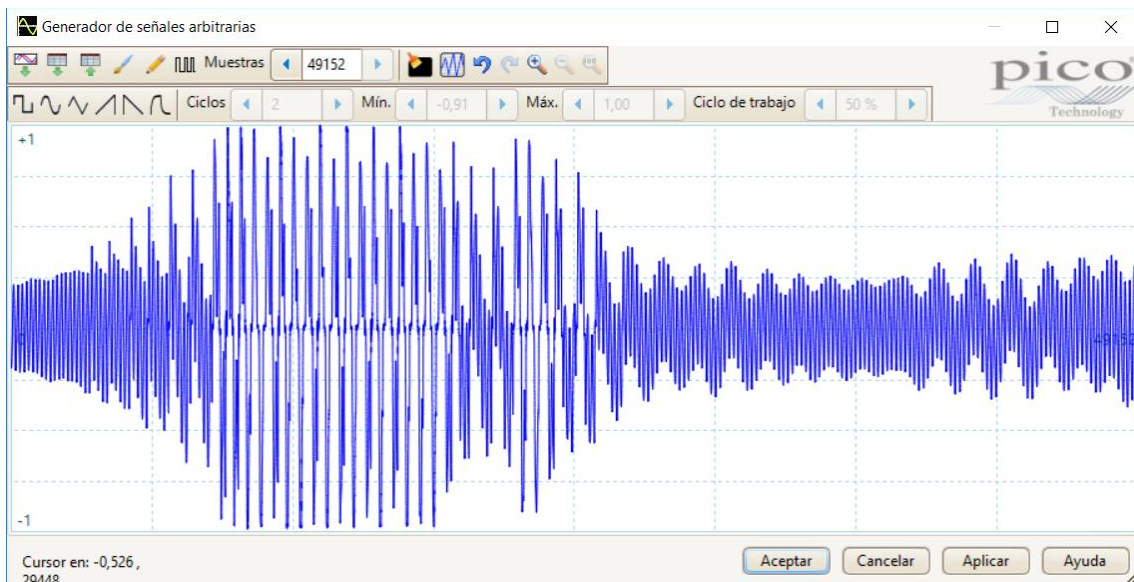


Figura 24: Ruido del Hyundai KONA introducido al PicoScope 5444B.

12. Validación de la metodología

La validación de la metodología propuesta se hace mediante la representación de las curvas de FER frente a SNR para un canal plano al que se le añade ruido blanco AWGN (Additive White Gaussian Noise) por cada esquema de modulación, con y sin corrección de errores. Como referencia para validar la metodología, se toman las curvas publicadas en [8]. Esta gráfica se puede ver en la Figura 25.

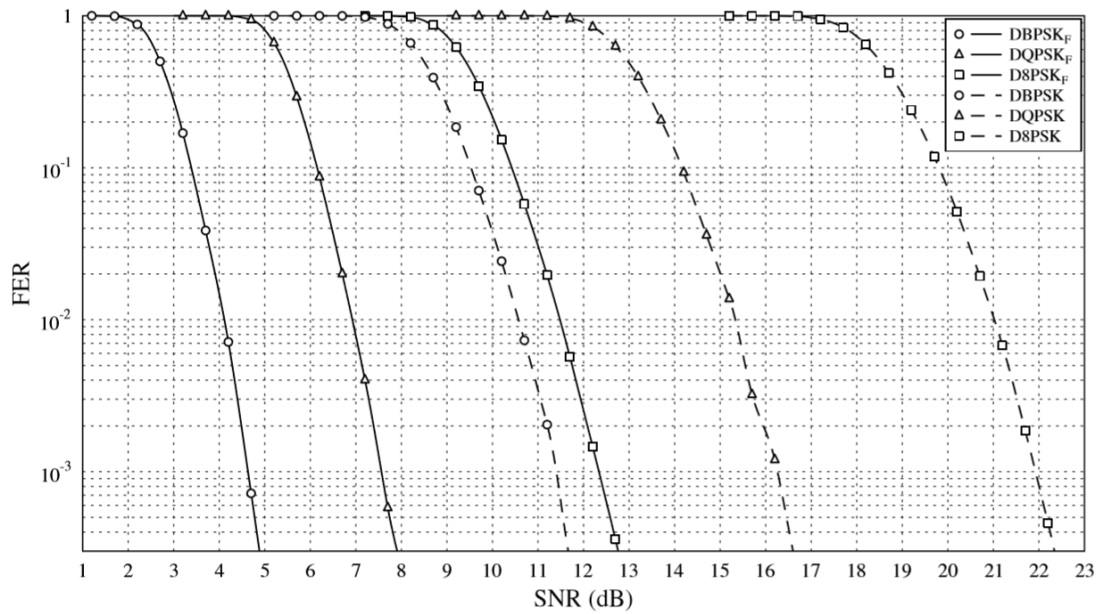


Figura 25: Relación FER-SNR para un canal plano AWGN con un mensaje de 256 bytes (teórico).

Las simulaciones para la representación de estas curvas se han realizado mediante los dispositivos mencionados previamente en la metodología. Los resultados obtenidos una vez representadas las curvas de FER frente a SNR para cada modulación se muestran en la Figura 26.

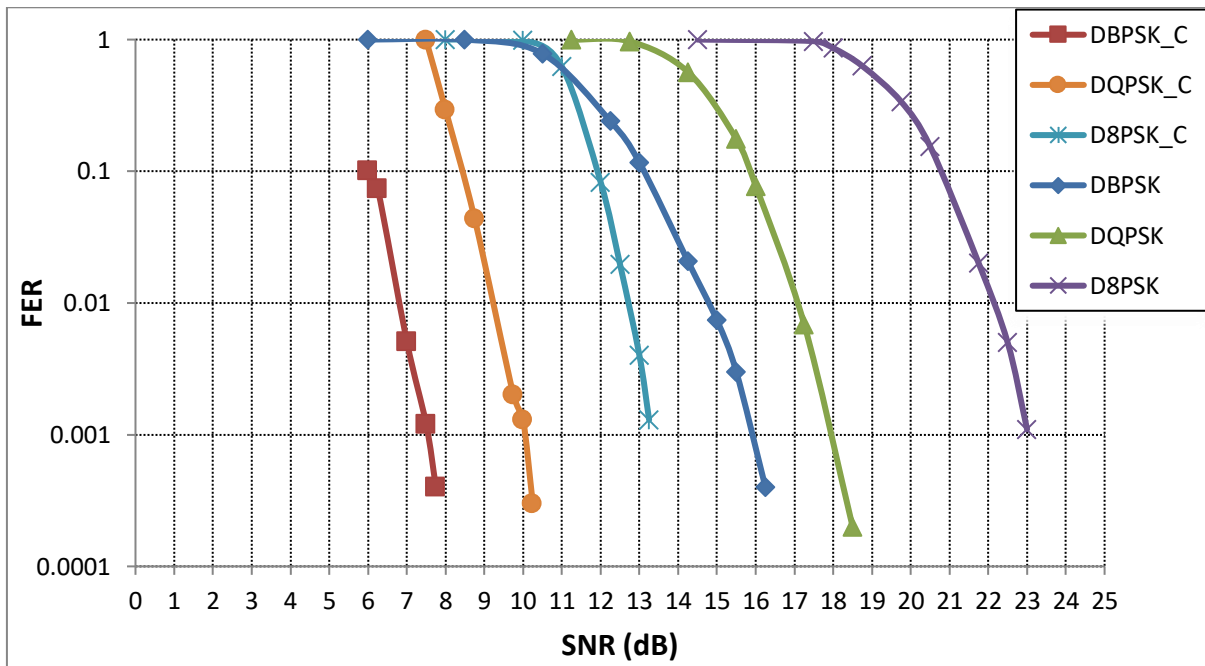


Figura 26: Relación FER-SNR para un canal plano AWGN con una carga de 256 bytes (real) en el Canal 1.

Se puede observar en la Tabla 22, comparando ambas gráficas, que existe una diferencia de hasta 4,5 dB (en la modulación DBPSK) en los valores de SNR para cada modulación. Esta comparación se ha hecho para un valor de FER de 10⁻².

Modulación	Curvas teóricas		Curvas reales	
	FER	SNR (dB)	FER	SNR (dB)
DBPSK_C	10 ⁻²	4,1	10 ⁻²	6,9
DQPSK_C	10 ⁻²	6,9	10 ⁻²	9,3
D8PSK_C	10 ⁻²	11,5	10 ⁻²	12,8
DBPSK	10 ⁻²	10,3	10 ⁻²	14,8
DQPSK	10 ⁻²	15,3	10 ⁻²	17,1
D8PSK	10 ⁻²	21,1	10 ⁻²	22,2

Tabla 22: Comparativa de los valores de SNR entre las curvas teóricas y las reales para un FER de 10⁻².

En las curvas reales es necesario un SNR mayor para un mismo FER en comparación con las curvas teóricas. Esta diferencia entre los valores de las curvas reales frente a los obtenidos en las teóricas se debe a que éstas últimas han sido obtenidas mediante simulaciones software.

Sin embargo, en el caso de este trabajo, la realización de las medidas se ha hecho mediante dispositivos hardware que no son ideales, donde puede haber ciertas pérdidas y desadaptaciones que produzcan estas diferencias. Las pérdidas de implementación se suelen estimar en un margen de 2 a 3 dB, lo que coincide con los resultados obtenidos. Además, debido a que el generador Agilent 33220A solamente permite introducir un valor máximo de ruido blanco de 10 Vpp, en las modulaciones más robustas no es posible degradar lo suficiente la comunicación para alcanzar los valores más altos de FER.

El ruido blanco tiene una densidad espectral de potencia plana, es decir, todas las frecuencias contienen la misma potencia. Por esta razón, las curvas obtenidas de ruido blanco deberían ser válidas para todos los canales, tanto para el canal 1 como para los canales superiores, del 3 al 8. Sin embargo, se ha comprobado que las curvas obtenidas las frecuencias altas son algo distintas a las obtenidas para el canal 1. Por esta razón se han realizado las simulaciones correspondientes para obtener las curvas en los canales altos (Figura 27).

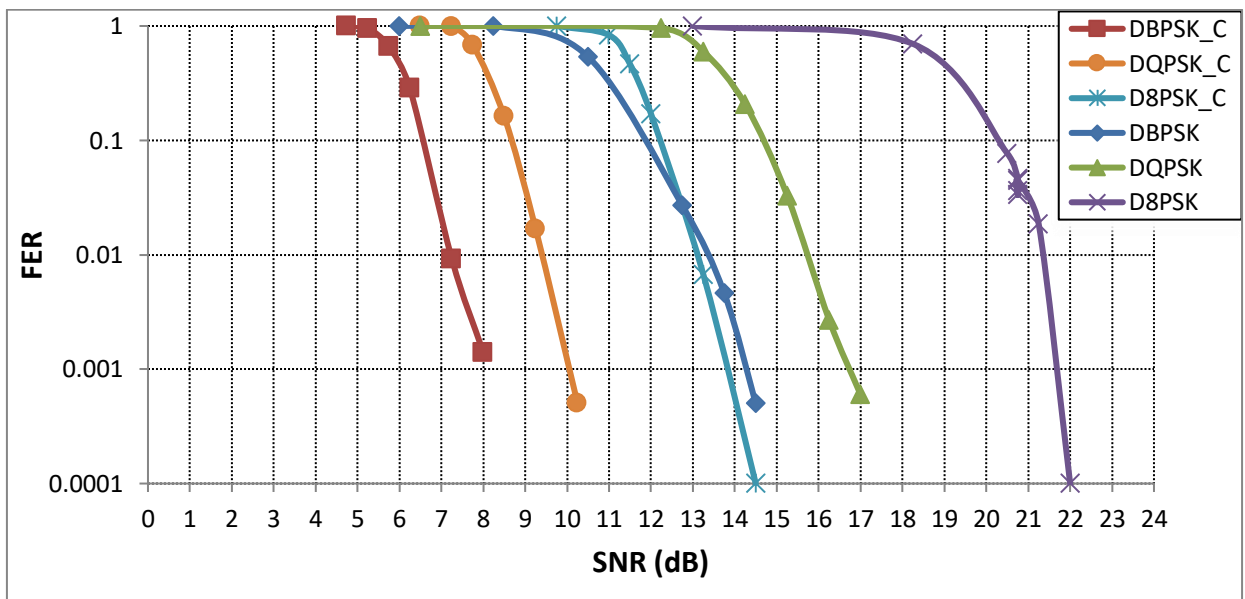


Figura 27: Relación FER-SNR para un canal plano AWGN con una carga de 256 bytes (real), en los Canales del 3 al 8.

En la Tabla 23, se comparan los valores de SNR obtenidos en las curvas teóricas, las curvas para el Canal 1 y para los Canales del 3 al 8. Comparando los valores con los de las curvas teóricas, se puede observar que para las modulaciones con corrección de errores se obtienen mayores diferencias en los Canales 3-8. Sin embargo, para las modulaciones sin corrección de errores los valores difieren más significativamente para el Canal 1. Estas diferencias pueden deberse a no linealidades en la etapa de salida del transmisor, teniendo en cuenta que el módulo hardware es diferente para el Canal 1 y para los Canales 3 y 8

Modulación	Curvas teóricas		Canal 1		Canales 3-8	
	FER	SNR (dB)	FER	SNR (dB)	FER	SNR (dB)
DBPSK_C	10^{-2}	4,1	10^{-2}	6,9	10^{-2}	7,3
DQPSK_C	10^{-2}	6,9	10^{-2}	9,3	10^{-2}	9,5
D8PSK_C	10^{-2}	11,5	10^{-2}	12,8	10^{-2}	13,1
DBPSK	10^{-2}	10,3	10^{-2}	14,8	10^{-2}	13,4
DQPSK	10^{-2}	15,3	10^{-2}	17,1	10^{-2}	15,8
D8PSK	10^{-2}	21,1	10^{-2}	22,2	10^{-2}	21,5

Tabla 23: Comparativa de los valores de SNR entre las curvas reales del Canal 1 y los Canales 3-8 para un FER de 10^{-2} .

De esta manera, a pesar de que haber una diferencia de algún dB en las curvas reales respecto a las curvas teóricas debido a emplear equipos hardware, se puede decir que esta metodología es válida para la medición del impacto de diferentes factores que pueden afectar a las comunicaciones PLC.

13. Resultados y análisis

13.1. Análisis de los ruidos del cargador de VE

En este apartado se va a hacer un análisis de los diferentes ruidos grabados en la campaña de medidas IBIL con el fin de evaluar sus características temporales y frecuenciales y determinar cuáles pueden ser más críticos. De esta manera, posteriormente, se analizará el impacto que tienen los ruidos seleccionados en las comunicaciones PLC.

Los diferentes ruidos analizados pertenecen a los cargadores de los vehículos ya mencionados previamente, Renault ZOE y Hyundai KONA.

13.1.1. Ruido del Renault ZOE

El vehículo estaba con un 34% de batería y cargador con conector trifásico, pero se ha utilizado en modo monofásico.

Se grabaron varios ruidos para diferentes niveles de carga. Para analizar sus características se calcula, por una parte, el espectrograma, que muestra la densidad espectral de potencia en función del tiempo de medida y la frecuencia. Por otra parte, se evalúa la respuesta frecuencial del ruido, para poder evaluar la amplitud de las componentes espectrales de cada señal.

13.1.1.1. 16 A (carga a 16.3 A)

Las Figuras 28 y 29 muestran el espectrograma y la respuesta frecuencial de las emisiones de cargador del VE para un nivel de carga de 16 A.

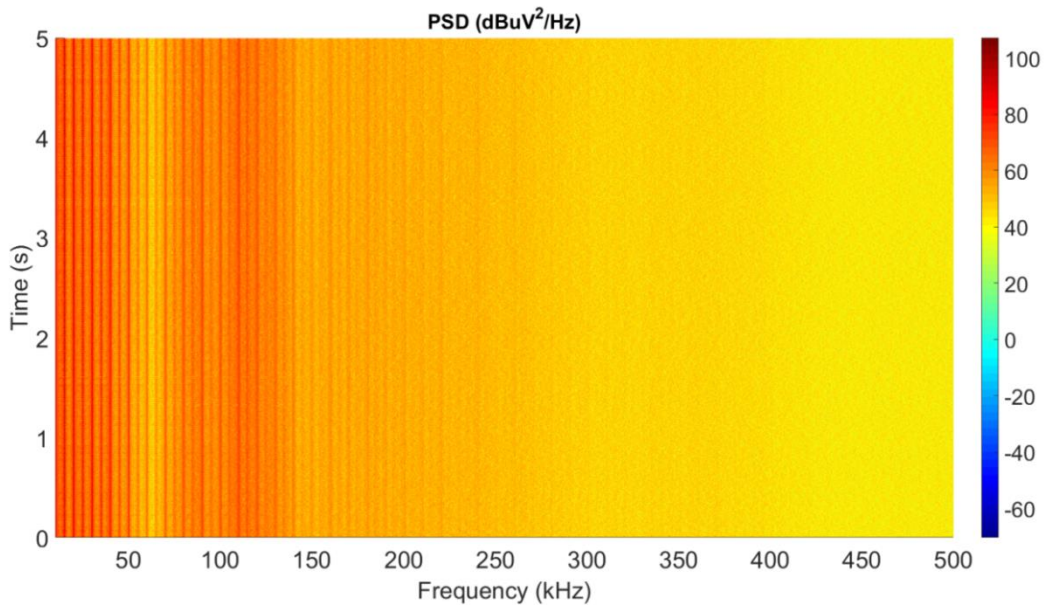


Figura 28: Espectrograma del ruido del cargador Renault ZOE – 16A.

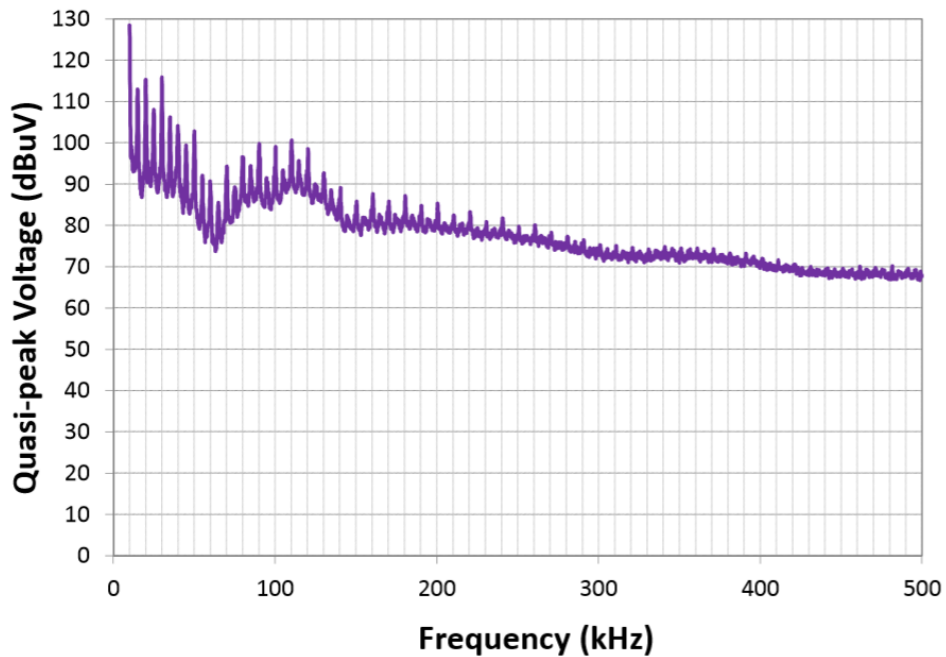


Figura 29: Respuesta frecuencial del cargador del Renault ZOE - 16 A.

En este caso, se observan niveles de ruido elevados en armónicos de una frecuencia en torno a 5 kHz, de amplitud decreciente con la frecuencia. Además, las componentes ruidosas de banda estrecha se presentan sobre ruido coloreado (ver Figuras 28 y 29). Estas componentes tonales no se aprecian a partir de aproximadamente 150 kHz, observándose un ruido de fondo de amplitud decreciente con la frecuencia hasta los 500 kHz. Tal y como se aprecia en la Figura 28, las componentes tonales de las frecuencias bajas se mantienen constantes a lo largo de los 5 segundos de medida.

13.1.1.2. 10 A (carga a 9.3 A)

Las Figuras 30 y 31 muestran el espectrograma y la respuesta frecuencial de las emisiones del cargador de VE para un nivel de carga de 10 A.

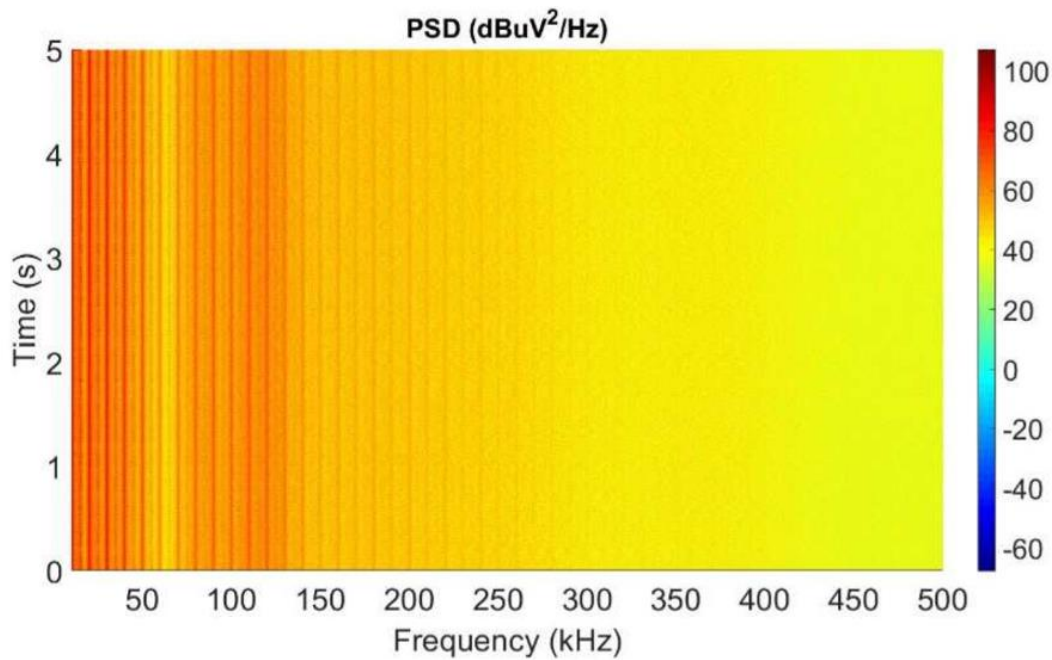


Figura 30: Espectrograma del ruido del cargador Renault ZOE – 10A.

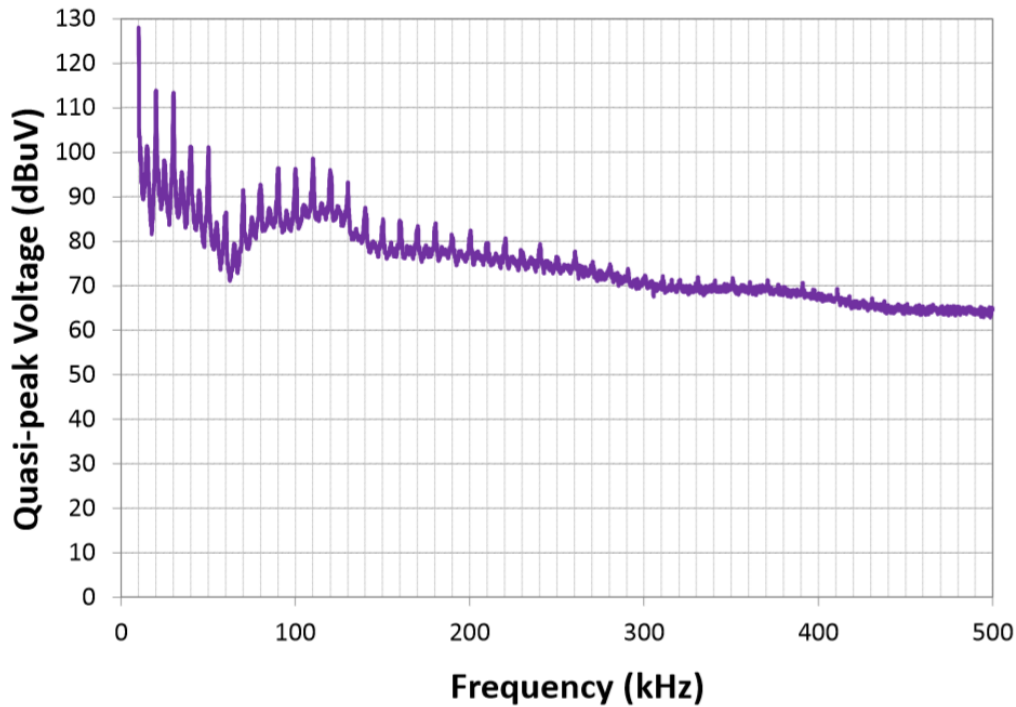


Figura 31: Respuesta frecuencial del cargador del Renault ZOE - 10 A.

En este caso la respuesta es similar a la obtenida para un nivel de carga de 16 A. Presenta también niveles de ruido elevados en una frecuencia en torno a 5 kHz y en sus múltiplos. Sin embargo, estos niveles de ruido son ligeramente menores con respecto al caso anterior. Las componentes ruidosas de banda estrecha se presentan sobre ruido coloreado (ver Figuras 30 y 31). Al igual que en el caso anterior, se observa un ruido de fondo de amplitud decreciente con la frecuencia desde 150 hasta 500 kHz, y no se detectan variaciones temporales del ruido a lo largo de la medida.

13.1.1.3. 6 A (carga a 7 A)

Las Figuras 32 y 33 muestran el espectrograma y la respuesta frecuencial de las emisiones del cargador del VE para un nivel de carga de 6 A.

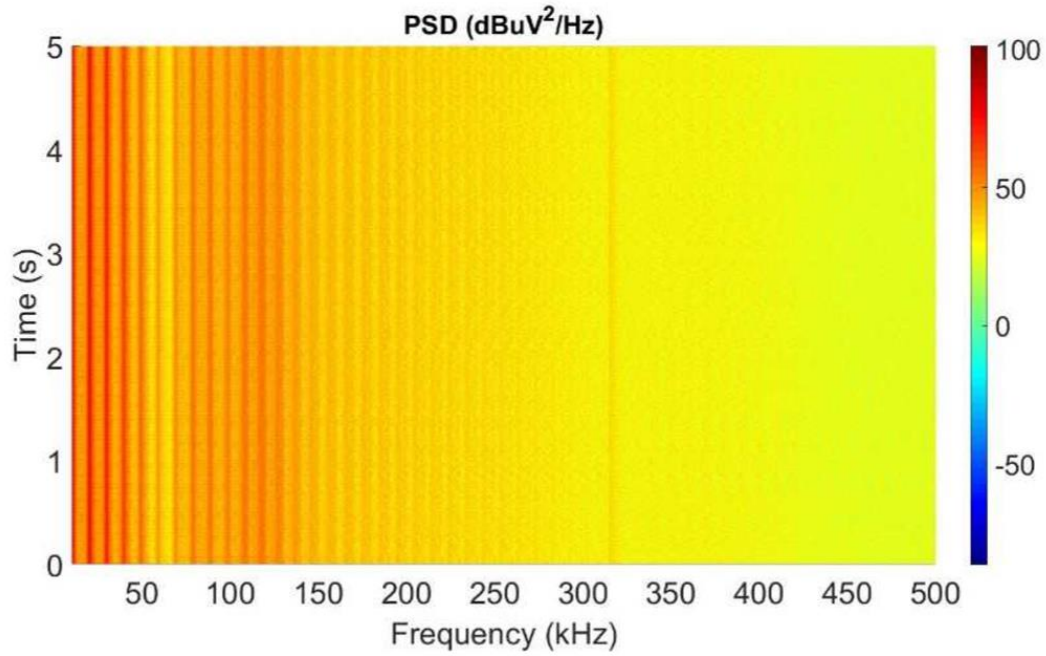


Figura 32: Espectrograma del ruido del cargador Renault ZOE – 6A.

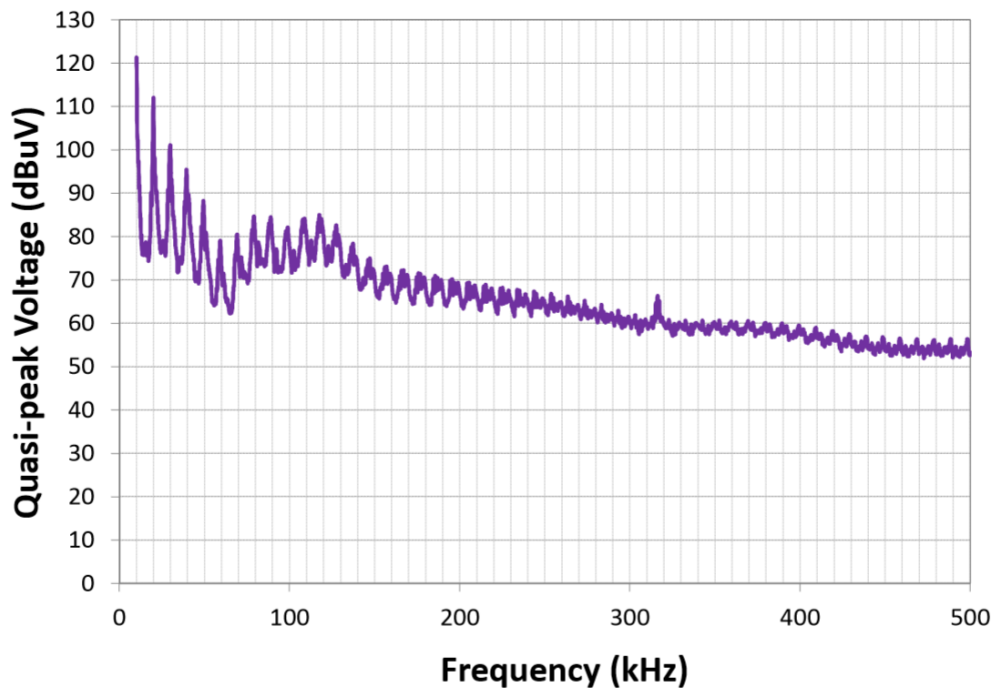


Figura 33: Respuesta frecuencial del cargador del Renault ZOE - 6 A.

Para un nivel de carga de 6 A se observan niveles de ruido elevados en armónicos de una frecuencia en torno a 10 kHz, pero desaparecen las componentes tonales en los múltiplos

impares de 5 kHz (15 kHz, 25 kHz...). Además, estos niveles de ruido son algo menores que los correspondientes a los niveles de carga de 16 y 10 A. Al igual que en los casos anteriores, las componentes ruidosas de banda estrecha se presentan sobre ruido coloreado, y a partir de 150 kHz la amplitud del ruido de fondo es decreciente con la frecuencia (ver Figuras 32 y 33).

13.1.2. Ruido del Hyundai KONA

El vehículo estaba con un 19% de batería y cargador con conector trifásico, pero se ha utilizado en modo monofásico.

Al igual que en el caso del vehículo Renault ZOE, se grabaron varios ruidos para diferentes niveles de carga. A continuación, se pueden observar los espectrogramas y las respuestas frecuenciales de cada ruido, lo que nos permite evaluar su comportamiento tanto en tiempo como en frecuencia.

13.1.2.1. 16 A (carga a 14.4 A y 3.19 kW)

Las Figuras 34 y 35 muestran el espectrograma y la respuesta frecuencial de las emisiones del cargador del Hyundai KONA para un nivel de carga de 16 A.

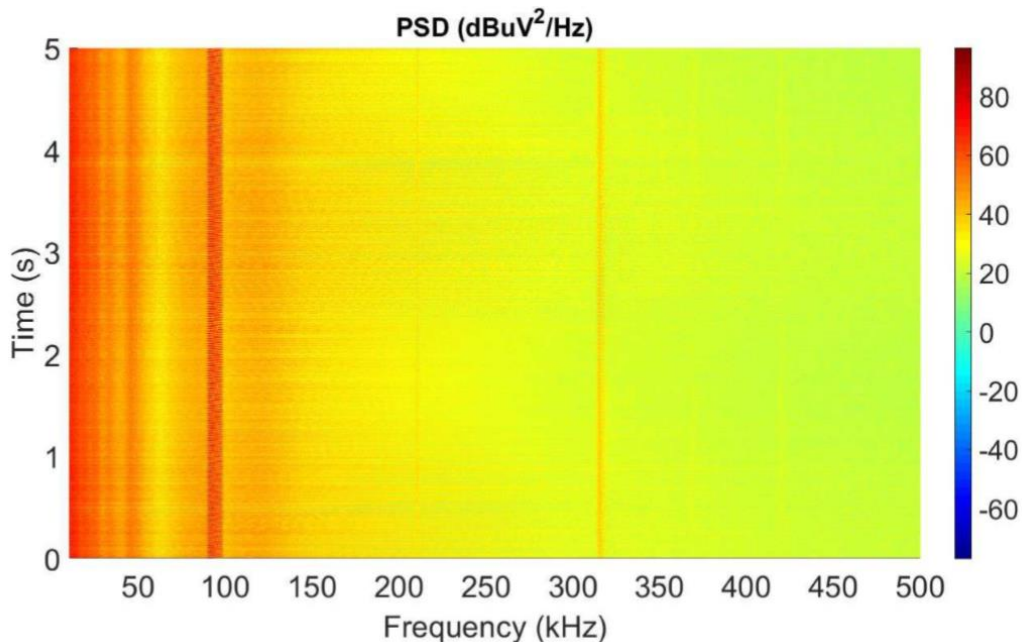


Figura 34: Espectrograma del ruido del cargador Hyundai KONA – 16A.

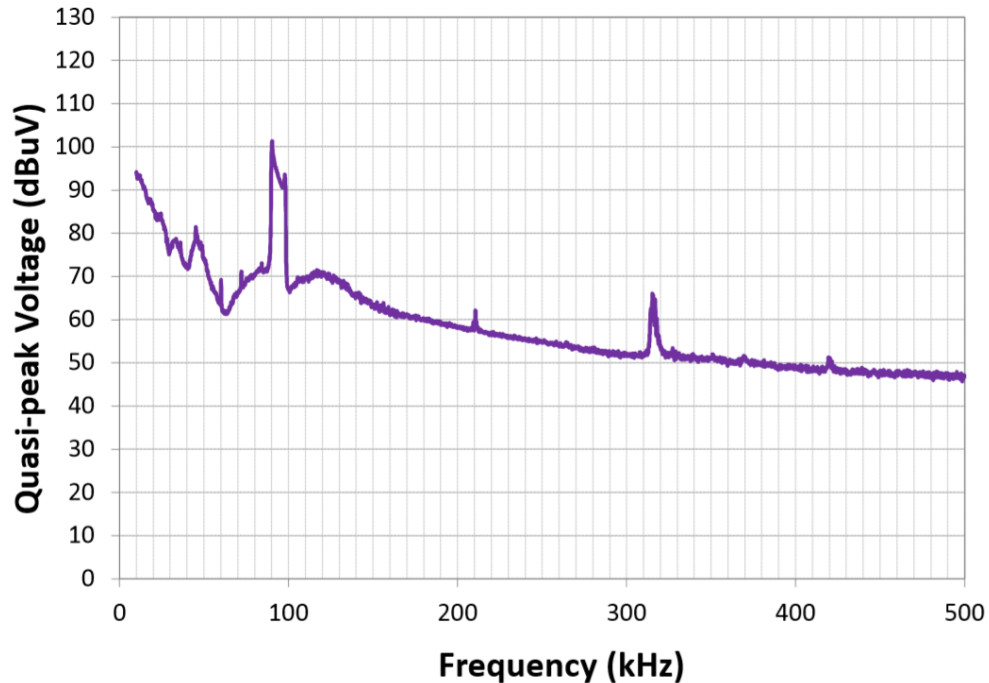


Figura 35: Respuesta frecuencial del cargador del Hyundai KONA - 16 A.

En este caso, para un nivel de carga de 16 A se observa un ruido de fondo decreciente con la frecuencia entre 10 y 70 kHz. Aparece una fuerte componente ruidosa de banda estrecha en torno a 90 y 100 kHz. A partir de los 120 kHz el ruido de fondo también es decreciente con la frecuencia, salvo que se observa una componente unos 15 dB superior al ruido de fondo en 310-320 kHz (ver Figuras 34 y 35). Además, se puede observar en el espectrograma que no hay variaciones temporales significativas en las componentes de ruido.

13.1.2.2. 10 A (carga a 8.5 A y 1.9 kW)

Las Figuras 36 y 37 muestran el espectrograma y la respuesta frecuencial de las emisiones del cargador del Hyundai KONA para un nivel de carga de 10 A.

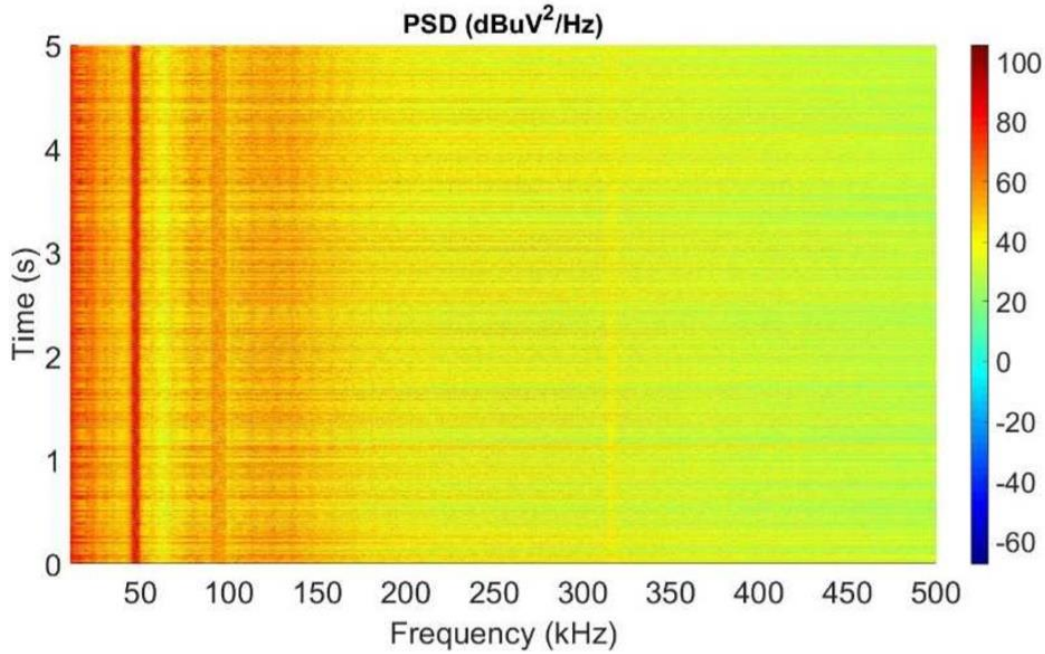


Figura 36: Espectrograma del ruido del cargador Hyundai KONA – 10A.

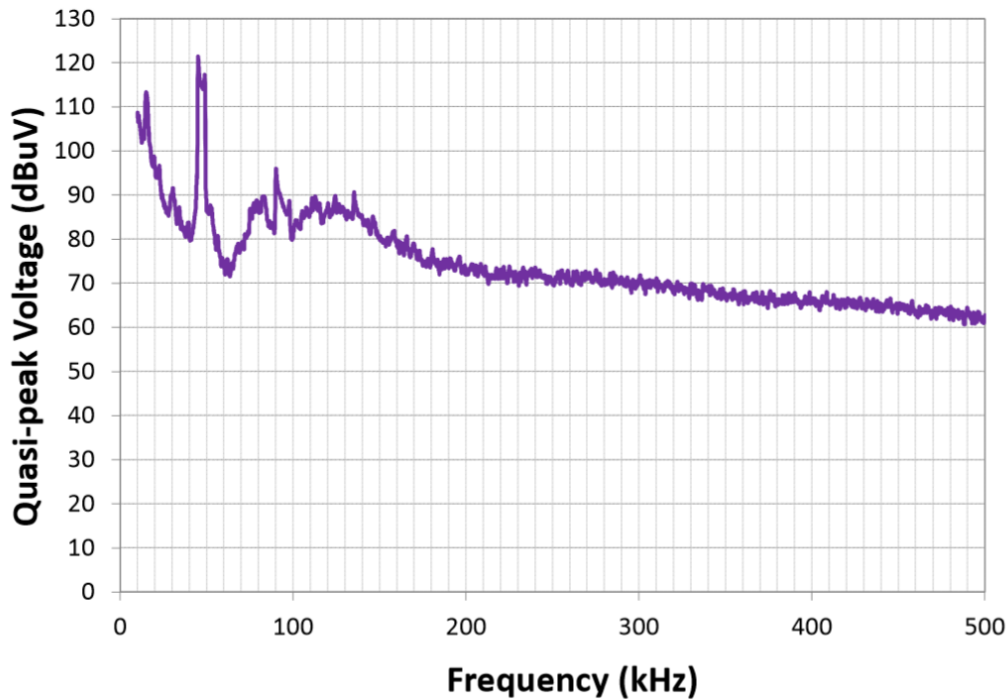


Figura 37: Respuesta frecuencial del cargador del Hyundai KONA - 10 A.

En este caso, para un nivel de carga de 10 A, aparece una fuerte componente ruidosa de banda estrecha en torno a 40 y 50 kHz. Esta componente parece tener un armónico de menor

amplitud en una frecuencia en torno a 90-100 kHz. Además, a partir de los 150 kHz el ruido de fondo es decreciente con la frecuencia (ver Figuras 36 y 37). Se puede observar en el espectrograma que no hay variaciones temporales significativas en las componentes de ruido.

13.1.2.3. 6 A (carga a 6.2 A y 1.38 kW)

Las Figuras 38 y 39 muestran el espectrograma y la respuesta frecuencial de las emisiones del cargador del Hyundai KONA para un nivel de carga de 6 A.

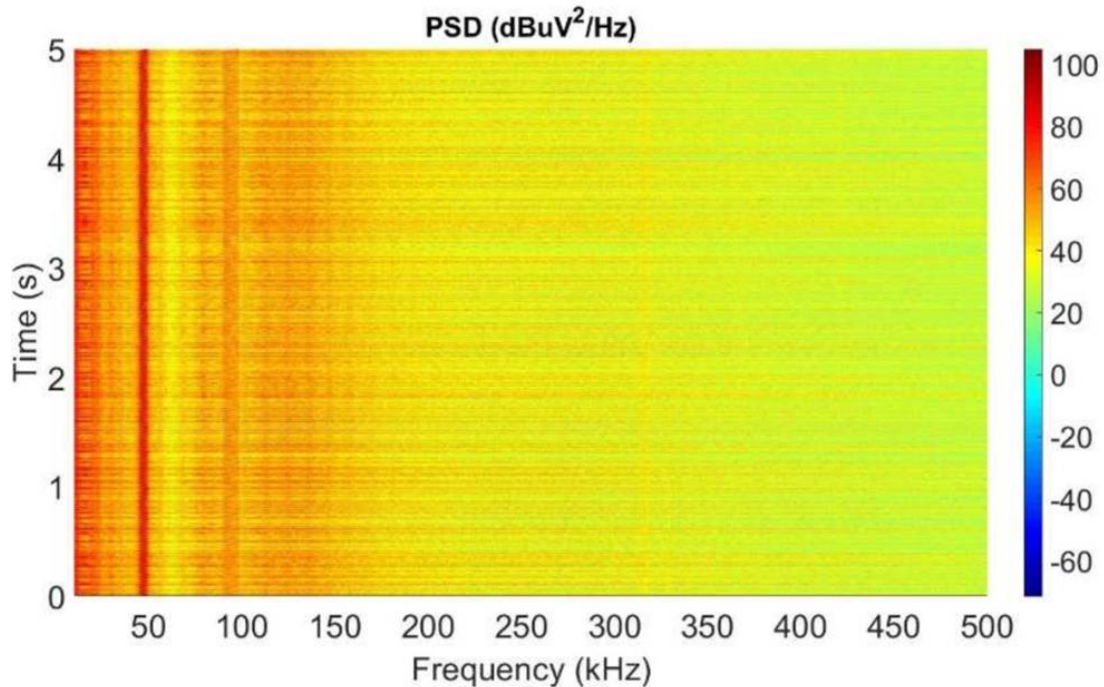


Figura 38: Espectrograma del ruido del cargador Hyundai KONA – 6A.

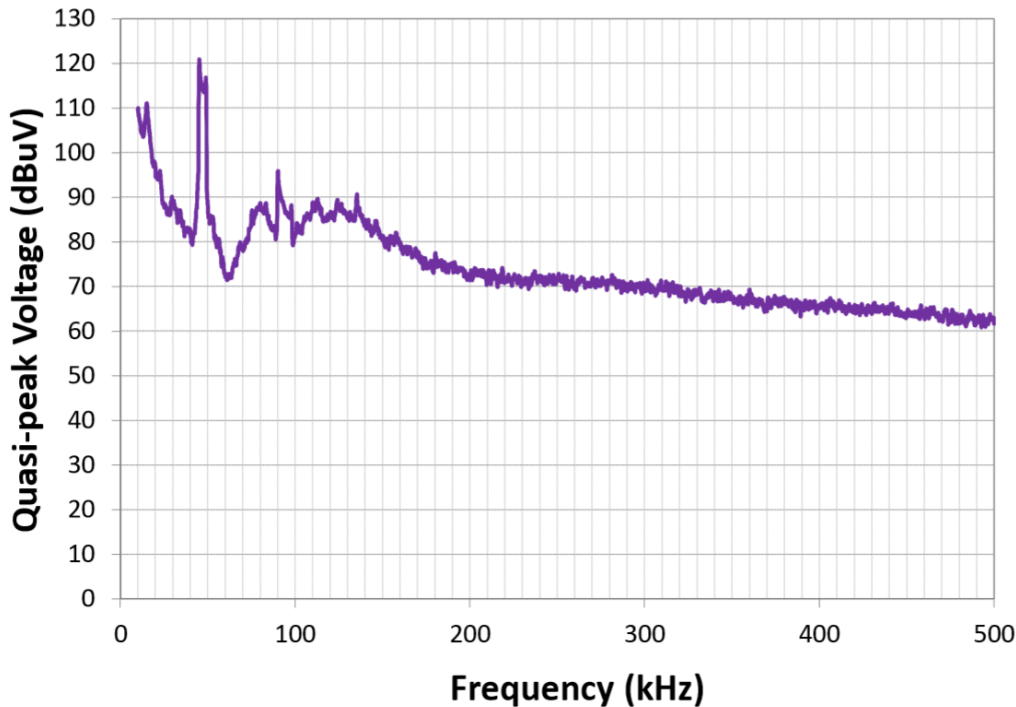


Figura 39: Respuesta frecuencial del cargador del Hyundai KONA - 6 A.

En este caso, para un nivel de carga de 6 A se observa un ruido de fondo decreciente con la frecuencia entre 10 y 40 kHz. Aparece una fuerte componente ruidosa de banda estrecha en torno a 40 y 50 kHz. Esta componente parece tener un armónico en torno a 90-100 kHz. A partir de los 140 kHz el ruido de fondo también es decreciente con la frecuencia (ver Figuras 38 y 39). Además, se puede observar en el espectrograma que no hay variaciones temporales significativas en las componentes de ruido.

13.1.3. Selección de ruidos

En función de las características de los ruidos de los apartados anteriores, se deduce que el ruido más crítico para el modelo Renault ZOE podría ser el correspondiente a un nivel de carga de 16 A. Esto se debe a que presenta armónicos de una frecuencia en torno a 5 kHz. El ruido correspondiente a los otros dos niveles de carga (10 A y 6 A) presentan armónicos de una frecuencia en torno a 10 kHz, por lo tanto, aparecen la mitad de frecuencias múltiples de la frecuencia fundamental en todo el rango frecuencial. Además, se alcanzan valores mayores de tensión en el ruido correspondiente a un nivel de carga de 16 A, que corresponden a los armónicos de la frecuencia en torno a 5 kHz.

En el caso del modelo de VE Hyundai KONA, el ruido correspondiente a un nivel de carga de 16 A presenta una componente ruidosa de banda estrecha en torno a 90 y 100 kHz. Los

correspondientes a los niveles de carga de 10 y 6 A presentan una componente ruidosa en torno a 40 y 50 kHz. El nivel de tensión de estos dos últimos es significativamente mayor que el correspondiente al nivel de carga de 16 A, alcanzando valores de 120 dB μ V y 100 dB μ V, respectivamente. Además, aunque los ruidos para los niveles de carga de 10 y 6 A sean semejantes, se puede observar en las Figuras 36 y 38 que en algunos puntos el ruido correspondiente a un nivel de carga de 10 A alcanza valores ligeramente mayores. Este es el caso de la frecuencia en torno a 10 y 20 kHz en la que, en este caso, se alcanzan valores de tensión alrededor de 115 dB μ V mientras que para un nivel de carga de 6 A este nivel es aproximadamente de 110 dB μ V. Por esta razón se ha seleccionado como ruido más crítico el correspondiente a un nivel de carga de 10 A para el modelo de vehículo Hyundai KONA.

Se ha representado la respuesta temporal de los ruidos de ambos vehículos con el fin de observar que comportamiento tienen en este dominio (ver Figuras 40 y 41).

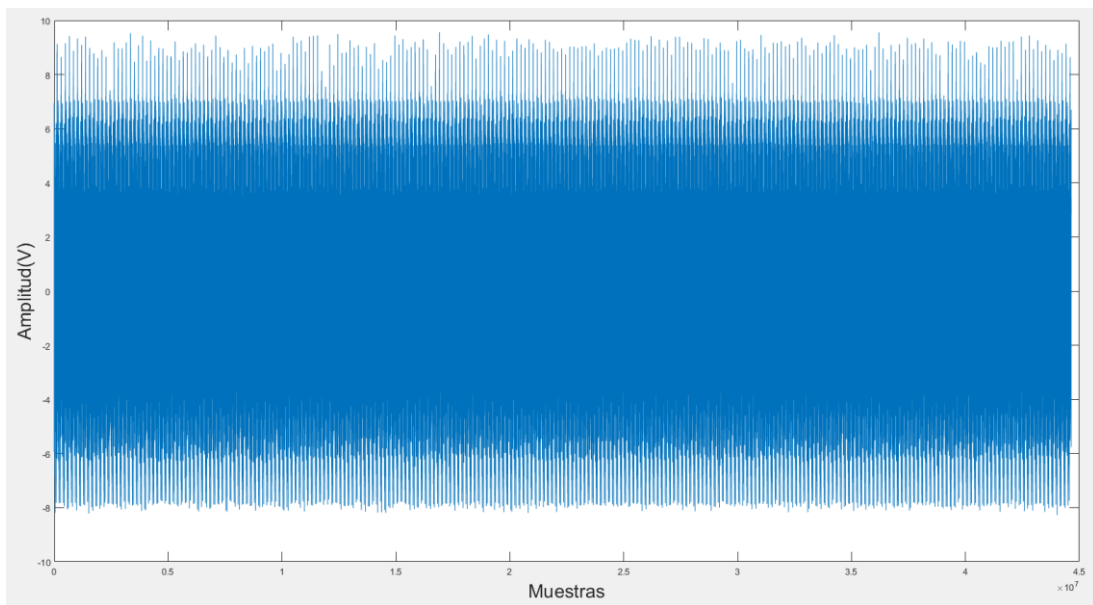


Figura 40: Respuesta temporal del ruido del cargador del Renault ZOE.

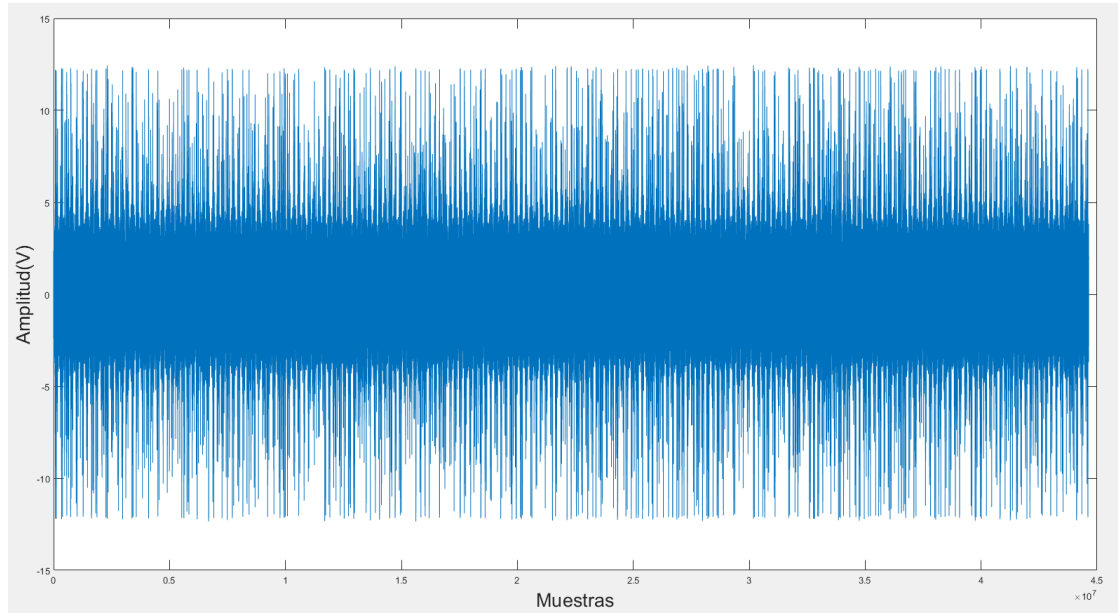


Figura 41: Respuesta temporal del ruido del cargador del Hyundai KONA.

Se puede observar en las gráficas anteriores que ambos ruidos tienen una respuesta temporal bastante constante. Las muestras de la señal de ruido del Renault ZOE alcanzan valores de tensión menores que la correspondiente al Hyundai KONA. Sin embargo, el promedio del nivel que alcanzan estas muestras es mayor en el Renault ZOE ya que un mayor número de muestras alcanzan valores más elevados de tensión.

Debido a que el PicoScope 5444B solo permite generar señales de ruido de hasta 49152 muestras, se han seleccionado tramos de cada señal de ruido seleccionada de este tamaño. Además, se ha representado su respuesta frecuencial en función del voltaje para comprobar que sigue el mismo patrón que la respuesta del ruido original.

En primer lugar, se representa la respuesta frecuencial del ruido del Renault ZOE (ver Figura 42). Se observa que, al igual que el ruido del ruido original (ver Figura 29), presenta niveles de ruido elevados en torno a una frecuencia en torno a 5 kHz.

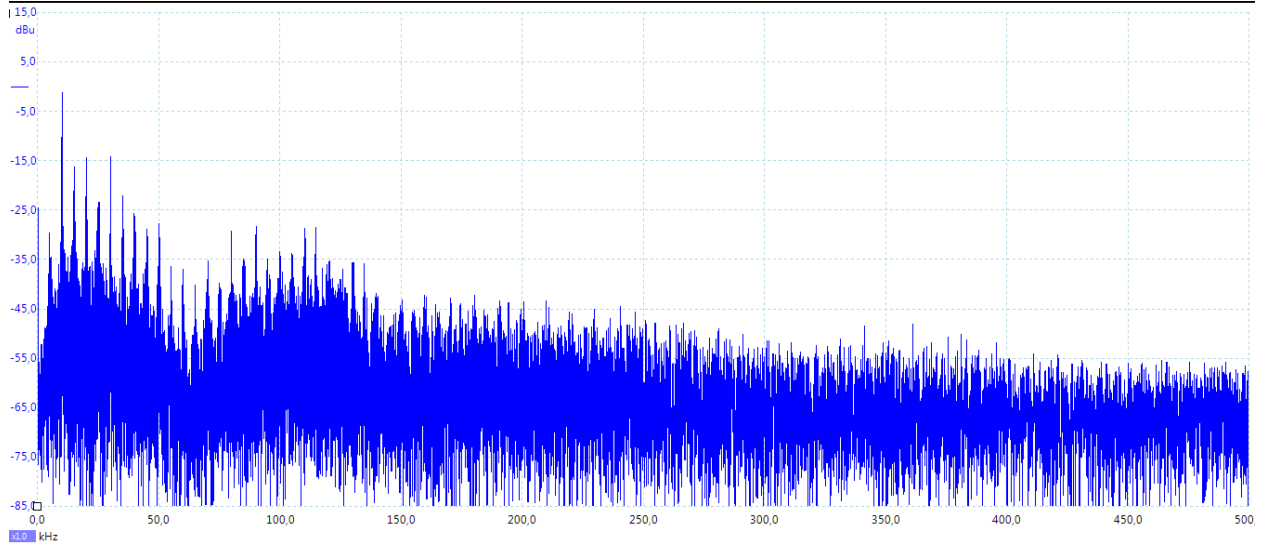


Figura 42: Respuesta frecuencial de las 49152 muestras seleccionadas del ruido del Renault ZOE.

Se sigue el mismo procedimiento para el ruido del Hyundai KONA con un nivel de carga de 10 A. La respuesta frecuencial del fragmento de la señal de ruido seleccionado (ver Figura 43), presenta al igual que el ruido original (ver Figura 37), una fuerte componente ruidosa de banda estrecha en torno a 40 y 50 kHz sobre ruido coloreado.

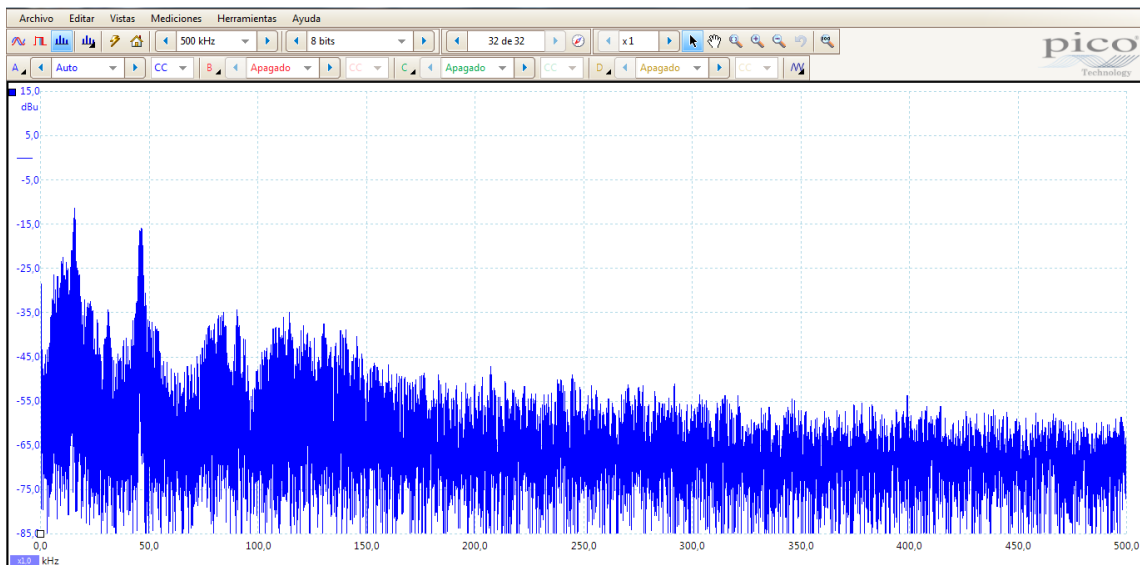


Figura 43: Respuesta frecuencial de las 49152 muestras seleccionadas del ruido del Hyundai KONA.

13.1.4. Comparación con la bibliografía existente

Existen artículos que analizan las emisiones de supraharmónicos de diferentes modelos de VE. En [7] se realiza un análisis de 4 tipos de vehículos eléctricos donde se representa el espectro de corriente entre 2 y 50 kHz (ver Figura 44). Estos mismos resultados aparecen en [11].

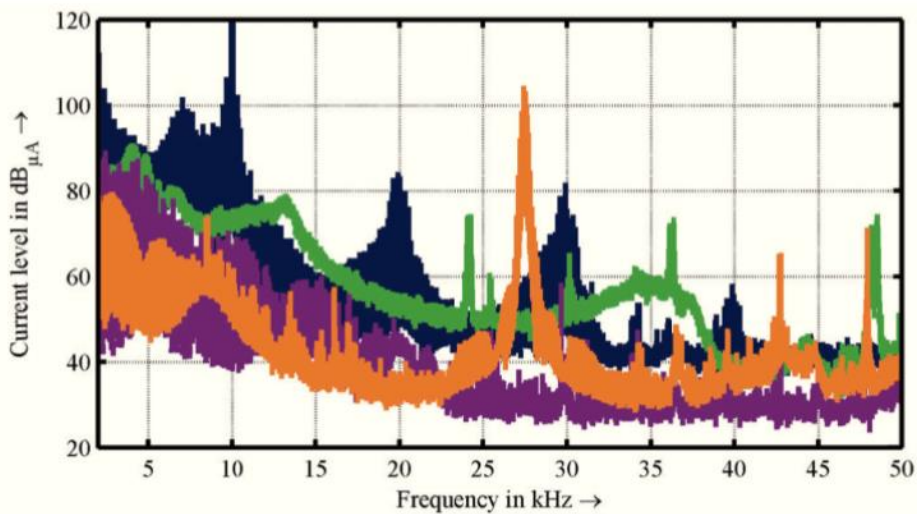


Figura 44: Espectro de cuatro VEs diferentes hasta los 50 kHz (VE A, VE B, VE C, VE D).

El vehículo C presenta un pico en su frecuencia de conmutación a 27 kHz. En el caso del VE D, la frecuencia de conmutación (10 kHz) y sus armónicos en 20 kHz, 30 kHz y 40 kHz, decrecientes con la frecuencia, pueden apreciarse claramente. En el caso de los vehículos A y B la frecuencia de conmutación no puede diferenciarse claramente.

Comparando estos resultados con los obtenidos para los vehículos analizados en este trabajo puede considerarse que el ruido del Renault ZOE sigue con comportamiento similar al VE D. La frecuencia de conmutación del Renault ZOE se encuentra en torno a los 5 kHz y presenta armónicos decrecientes con la frecuencia.

La señal de ruido del Hyundai KONA, presenta un pico en una frecuencia en torno a 40-50 kHz que se trataría de su frecuencia de conmutación y un armónico de menor amplitud en torno a los 90-100 kHz. Este comportamiento también se asemejaría a lo mencionado anteriormente.

13.2. Curvas FER frente a SNR

En este apartado se muestra la representación de las curvas de FER frente a SNR para los ruidos de los dos cargadores de VE seleccionados.

13.2.1. Renault ZOE - 16 A

En primer lugar, se muestra la gráfica de las curvas del modelo de vehículo Renault ZOE para un nivel de carga de 16 A (ver Figura 45) para el Canal 1.

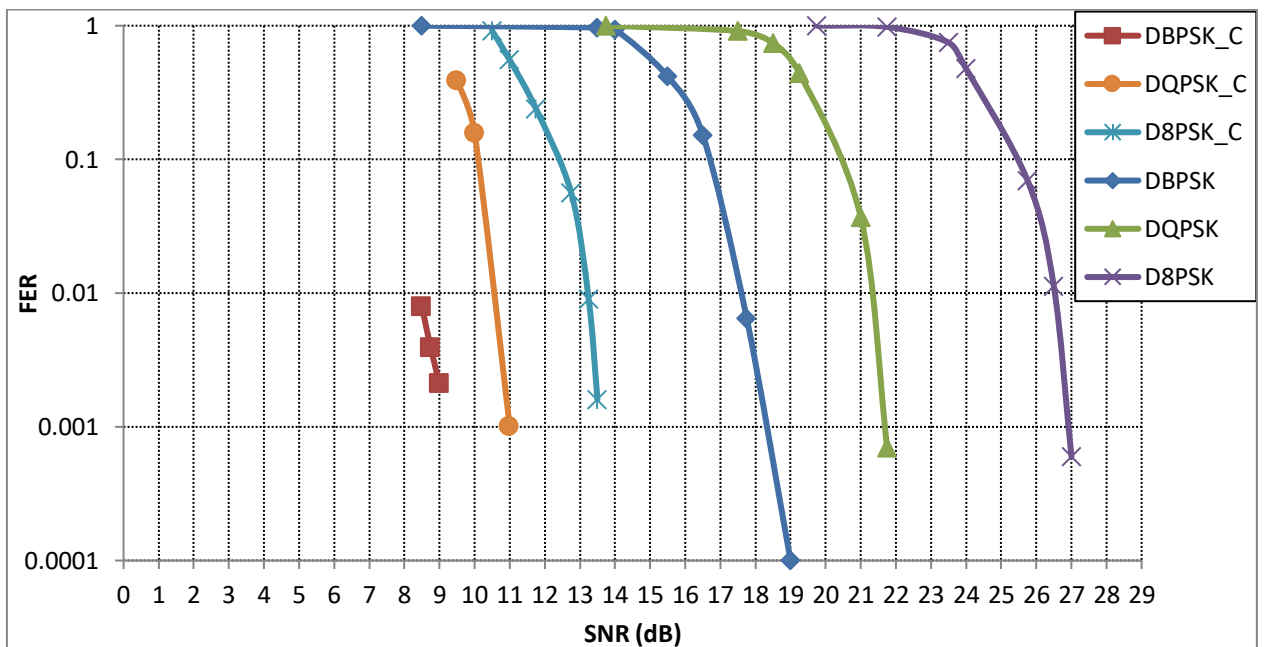


Figura 45: Relación FER-SNR para un canal con el ruido del Renault ZOE con una carga de 256 bytes en el Canal 1.

Los resultados obtenidos en el Canal 1 se van a comparar con las curvas de FER frente a SNR obtenidas para el mismo ruido en el Canal 3, que pueden observarse en la Figura 46. Se ha seleccionado el del Canal 3 para hacer la comparación debido a que es el canal de las frecuencias superiores que más se ve afectado por el ruido del cargador de VE (ver Figuras 28 y 29).

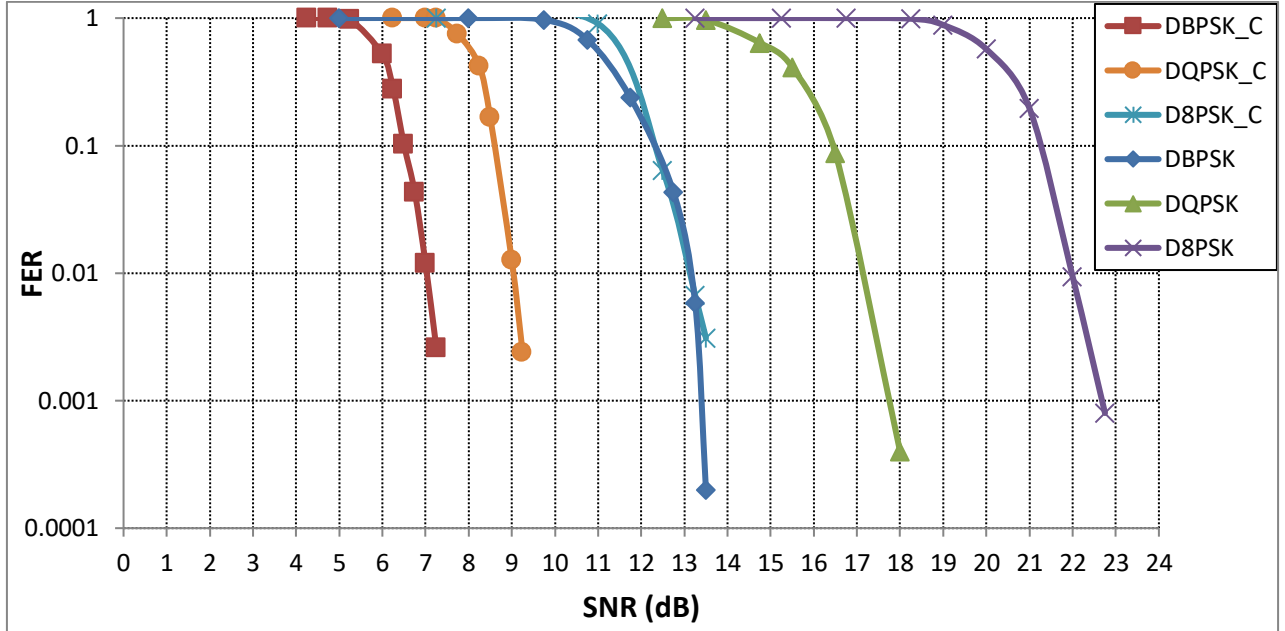


Figura 46: Relación FER-SNR para un canal con el ruido del Renault ZOE con una carga de 256 bytes en el Canal 3.

Los resultados de los valores umbrales de SNR para un FER de 10^{-2} en ambos canales se han comparado con los valores de las curvas de ruido blanco para los canales correspondientes y entre ellos, como se puede observar en la Tabla 24.

Modulación	Curvas ruido blanco Canal 1		Renault ZOE Canal 1		Curvas ruido blanco Canales 3-8		Renault ZOE Canal 3	
	FER	SNR (dB)	FER	SNR (dB)	FER	SNR (dB)	FER	SNR (dB)
DBPSK_C	10^{-2}	6,9	10^{-2}	8,2	10^{-2}	7,3	10^{-2}	7
DQPSK_C	10^{-2}	9,3	10^{-2}	10,6	10^{-2}	9,5	10^{-2}	9
D8PSK_C	10^{-2}	12,8	10^{-2}	13,2	10^{-2}	13,1	10^{-2}	13,2
DBPSK	10^{-2}	14,8	10^{-2}	17,6	10^{-2}	13,4	10^{-2}	13,2
DQPSK	10^{-2}	17,1	10^{-2}	21,2	10^{-2}	15,8	10^{-2}	17,2
D8PSK	10^{-2}	22,2	10^{-2}	26,5	10^{-2}	21,5	10^{-2}	22

Tabla 24: Comparativa entre las curvas de ruido blanco y las curvas del Renault ZOE para los Canales 1 y 3.

En primer lugar, comparando las curvas del Renault ZOE en el Canal 1 con las correspondientes de ruido blanco, se observa que para todas las modulaciones es necesaria una SNR mayor para un mismo FER (ver Tabla 24). Es decir, el canal se ve afectado por el ruido introducido por el este vehículo. Este impacto del ruido para las modulaciones más robustas es pequeño ya que el sistema de corrección de errores es capaz de corregir degradaciones introducidas en la señal debidas al ruido. Al presentar muchos armónicos a lo largo de todo el espectro, el promedio se asemejaría al de ruido blanco. Las modulaciones que se ven más afectadas son las menos robustas, siendo necesarios hasta 4,3 dB más para la obtención de un FER de 10^{-2} en la modulación D8PSK.

Sin embargo, en el Canal 3, todos los valores de SNR obtenidos para un FER de 10^{-2} , tanto para las curvas de ruido blanco como para las del Renault ZOE, son similares. Es decir, el canal no se ve apenas afectado por el ruido de este VE en el Canal 3, que se asemejaría al ruido blanco. Por lo tanto, en los canales superiores, donde la señal de ruido alcanza valores todavía menores, el ruido introducido por el Renault ZOE tampoco afectaría.

A la hora de comparar los resultados obtenidos para las curvas del Renault ZOE en ambos canales, se puede observar que para las modulaciones con corrección de errores los valores de SNR obtenidos para un FER de 10^{-2} son similares, siendo algo menores en el Canal 3. Sin embargo, para las modulaciones sin corrección de errores la SNR necesaria se reduce aproximadamente 4 dB en el Canal 3 con respecto al Canal 1 (ver Tabla 24).

Por lo tanto, los niveles de SNR necesarios en el Canal 3 son menores que los niveles necesarios en el Canal 1.

13.2.2. Hyundai KONA - 10 A

A continuación, se realiza el mismo análisis para el ruido correspondiente al Hyundai KONA para un nivel de carga de 10 A. Los resultados de las curvas de FER frente a SNR de este vehículo en el Canal 1 se observan en la Figura 47.

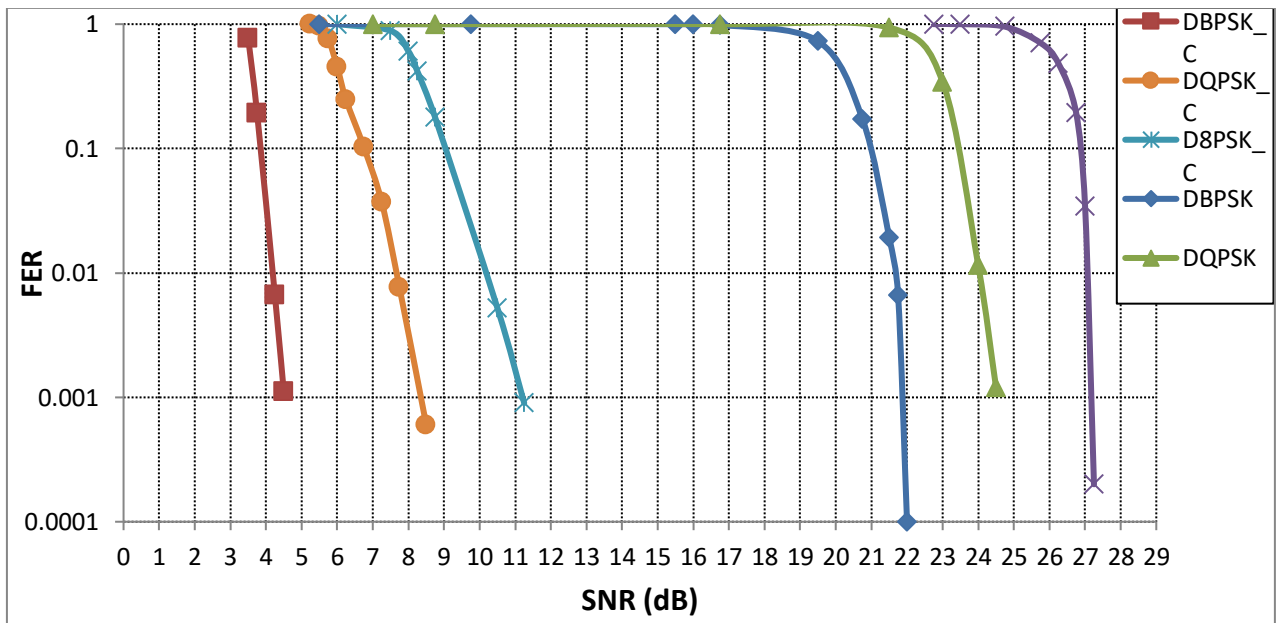


Figura 47: Relación FER-SNR para un canal con el ruido del Hyundai KONA con una carga de 256 bytes en el Canal 1.

Los resultados en el Canal 1 se van a comparar con los obtenidos en el Canal 3 ya que, al igual que en el caso del Renault ZOE, se trata del canal de las frecuencias superiores al que más puede afectar el ruido de este VE (ver Figuras 36 y 37). Los resultados en este Canal se muestran en la Figura 48.

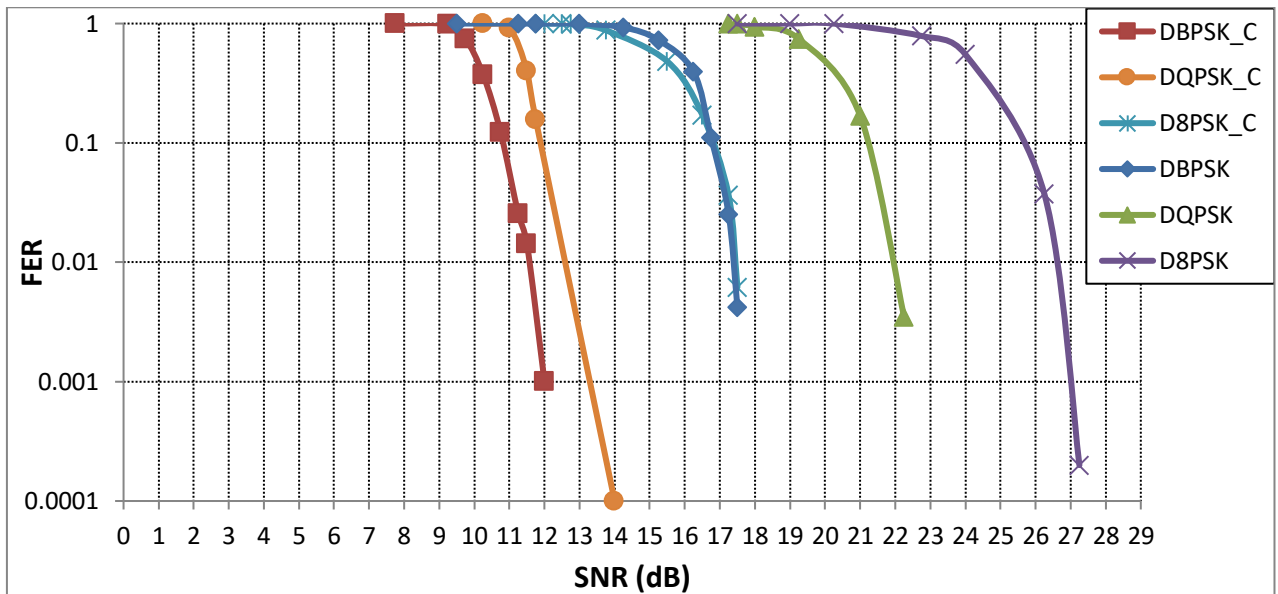


Figura 48: Relación FER-SNR para un canal con el ruido del Hyundai KONA con una carga de 256 bytes en el Canal 3.

Los resultados en ambos canales se han comparado con los valores de las curvas de ruido blanco para los canales correspondientes y entre ellos, como se puede observar en la Tabla 25.

Modulación	Curvas ruido blanco Canal 1		Hyundai KONA Canal 1		Curvas ruido blanco Canales 3-8		Hyundai KONA Canal 3	
	FER	SNR (dB)	FER	SNR (dB)	FER	SNR (dB)	FER	SNR (dB)
DBPSK_C	10 ⁻²	6,9	10 ⁻²	4,2	10 ⁻²	7,3	10 ⁻²	11,6
DQPSK_C	10 ⁻²	9,3	10 ⁻²	7,7	10 ⁻²	9,3	10 ⁻²	12,6
D8PSK_C	10 ⁻²	12,8	10 ⁻²	10,2	10 ⁻²	13,1	10 ⁻²	17,4
DBPSK	10 ⁻²	14,8	10 ⁻²	21,8	10 ⁻²	13,4	10 ⁻²	17,4
DQPSK	10 ⁻²	17,1	10 ⁻²	24	10 ⁻²	15,8	10 ⁻²	22
D8PSK	10 ⁻²	22,2	10 ⁻²	27	10 ⁻²	21,5	10 ⁻²	26,5

Tabla 25: Comparativa entre las curvas de ruido blanco y las curvas del Hyundai KONA para los Canales 1 y 3.

En primer lugar, se comparan las curvas de ruido blanco y las del ruido del Hyundai KONA en el Canal 1. Los valores de SNR necesarios en las modulaciones con corrección de errores son alrededor de 2 dB menores que los correspondientes en las curvas de ruido blanco. Sin embargo, en las modulaciones sin corrección de errores, la SNR necesaria para obtener un FER de 10⁻² aumenta de manera significativa para las curvas del Hyundai KONA en el Canal 1.

Esta diferencia en el comportamiento entre los modos de transmisión con y sin corrección de errores se debe a la utilización de OFDM en el estándar PRIME. Este tipo de multiplexación es apropiada para corregir errores que afectan a pocas portadoras, ya que el impacto del ruido se distribuye a lo largo de varios símbolos. Las modulaciones con corrección de errores están especialmente adaptados para corregir este tipo de situaciones. Sin embargo, para las modulaciones sin corrección, si el nivel de señal no es mayor al nivel de ruido en todas las portadoras, se considerará la trama como errónea. Debido a que la componente ruidosa que presenta la respuesta frecuencial del ruido del Hyundai KONA (ver Figuras 36 y 37) se trata de una componente estrecha y solamente afecta a pocas portadoras, las modulaciones con corrección de errores corrigen los posibles errores en la trama. Es por esta razón que la SNR necesaria es baja, mientras que las modulaciones sin corrección de errores, si esta componente ruidosa hace que falle parte del mensaje, toman la trama como errónea. Por lo tanto, la SNR necesaria es mayor ya que tiene que ser suficiente como para que no se vea afectada por el nivel de dicha componente ruidosa.

Para el caso del Canal 3, comparando las curvas del ruido del Hyundai KONA con las curvas de ruido blanco correspondientes, se observa que para todas las modulaciones el valor de SNR necesario es significativamente mayor en el caso del ruido del VE. En este caso las modulaciones con y sin corrección de errores no tienen un comportamiento distinto, como en el Canal 1, debido a que en el rango frecuencial del Canal 3 no aparece ninguna componente ruidosa de banda estrecha. El ruido en este canal se asemeja a un ruido coloreado y, por lo tanto, los errores afectan de manera similar a ambos tipos de modulaciones, obteniéndose mayores umbrales que los correspondientes al ruido blanco.

Por último, se comparan las curvas del ruido de este VE en ambos canales. Se observa que en el Canal 1, como contiene la componente ruidosa de banda estrecha, los valores necesarios de SNR son significativamente menores para las modulaciones con corrección de errores ya que estos modos de transmisión corrigen dichos errores que afectan a pocas portadoras. Sin embargo, en el Canal 3, como la respuesta frecuencial del ruido podría considerarse como ruido coloreado, la SNR en estas modulaciones es mayor. En el caso de las modulaciones sin corrección de errores, los niveles de SNR necesarios para el Canal 3 son ligeramente menores debido a que el promedio del nivel de ruido es algo menor en este canal.

Por lo tanto, los niveles de SNR necesarios en el Canal 3 son menores en el caso de las modulaciones sin corrección de errores y mayores para las de corrección de errores.

13.3. Renault ZOE frente a Hyundai KONA

A continuación, se compara el comportamiento de las señales de ruido de ambos vehículos, el Renault ZOE para un nivel de carga de 16 A y el Hyundai KONA para un nivel de carga de 10 A. Esta comparativa se hace tanto en el Canal 1 como en el 3, como se puede ver en la Tabla 26.

Modulación	Renault ZOE Canal 1		Hyundai KONA Canal 1		Renault ZOE Canal 3		Hyundai KONA Canal 3	
	FER	SNR (dB)	FER	SNR (dB)	FER	SNR (dB)	FER	SNR (dB)
DBPSK_C	10 ⁻²	8,2	10 ⁻²	4,2	10 ⁻²	7	10 ⁻²	11,6
DQPSK_C	10 ⁻²	10,6	10 ⁻²	7,7	10 ⁻²	9	10 ⁻²	12,6
D8PSK_C	10 ⁻²	13,2	10 ⁻²	10,2	10 ⁻²	13,2	10 ⁻²	17,4
DBPSK	10 ⁻²	17,6	10 ⁻²	21,8	10 ⁻²	13,2	10 ⁻²	17,4
DQPSK	10 ⁻²	21,2	10 ⁻²	24	10 ⁻²	17,2	10 ⁻²	22
D8PSK	10 ⁻²	26,5	10 ⁻²	27	10 ⁻²	22	10 ⁻²	26,5

Tabla 26: Comparativa entre las curvas del Renault ZOE y el Hyundai KONA.

En el Canal 1, en las modulaciones con corrección de errores, es necesario un menor nivel de SNR para el Hyundai KONA debido a que ese ruido presenta una componente ruidosa estrecha, como ya se ha mencionado previamente. Estas modulaciones corrigen los errores de las tramas que se ven afectadas por esta componente ya que afectan a pocas portadoras. Sin embargo, esto no ocurre en las modulaciones sin corrección de errores, y el nivel de SNR aumenta. Los valores de SNR necesarios en este caso, son mayores en el Hyundai KONA ya que esta componente ruidosa afecta de manera más significativa que los armónicos presentes en la señal de ruido del Renault ZOE.

En el Canal 3 no aparece ninguna componente ruidosa en ninguno de los casos y, por lo tanto, no existe esta diferencia entre los comportamientos de las modulaciones con y sin corrección de errores. Los valores de SNR necesarios en el caso del Hyundai KONA son aproximadamente 4 dB superiores en todas las modulaciones, debido a que la variación de la potencia de ruido dentro del Canal 3 es mayor para el caso del ruido del Hyundai KONA. En la Figura 49 se puede apreciar como el ruido del Hyundai KONA tiene mayor variación de pendiente en este canal.

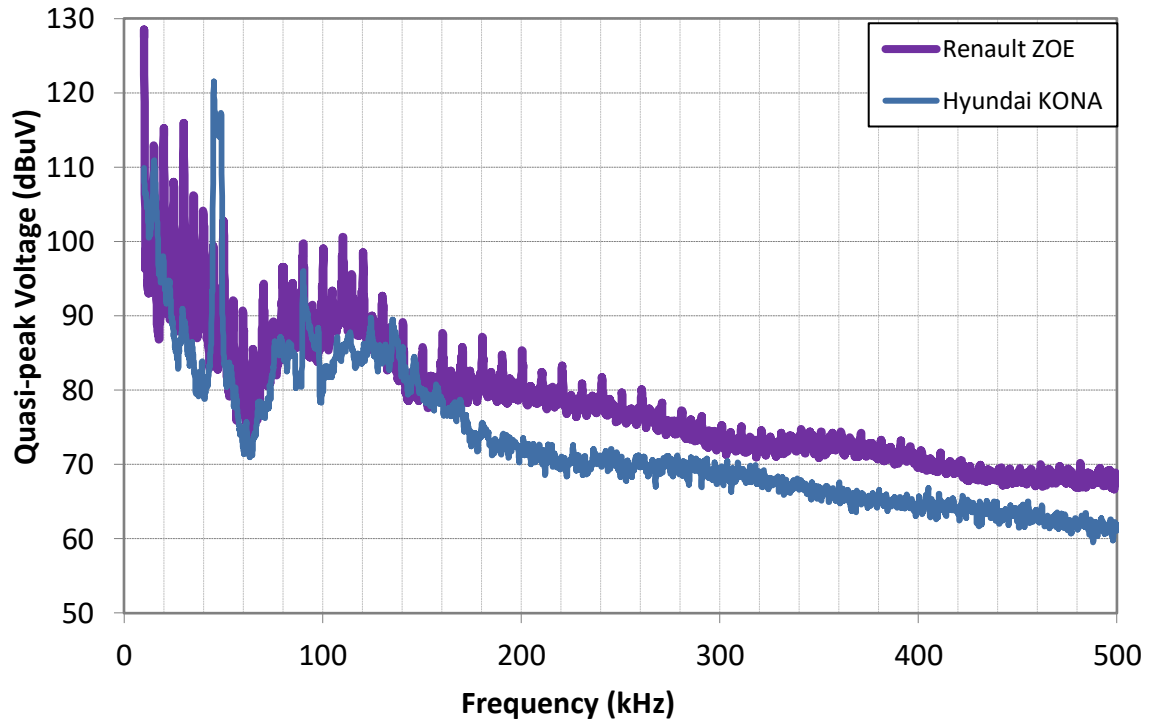


Figura 49: Respuesta frecuencial del Renault ZOE y el Hyundai KONA.

14. Conclusiones

En este trabajo se ha definido y validado un sistema de medidas con el fin de analizar el impacto de los ruidos de VE en las comunicaciones NB-PLC. Por un lado, se ha analizado qué ruidos de los correspondientes a los dos modelos de VE, Renault ZOE y Hyundai KONA, pueden ser más críticos y, por lo tanto, afectar en mayor medida a las comunicaciones. Por otro lado, haciendo uso del sistema de medidas, se han representado las curvas de FER frente a SNR de los ruidos seleccionados, tanto en el Canal 1 como en el 3, y se han comparado con las curvas de ruido blanco obtenidas en la validación de la metodología. Además, se ha hecho una comparación entre el comportamiento del ruido de ambos vehículos en los dos canales de frecuencias analizados.

Es importante mencionar, que los ruidos que más pueden afectar a las comunicaciones NB-PLC se trata de aquellos que tienen una respuesta en frecuencia relativamente plana, es decir, que afecte a muchas portadoras. Esto es debido al empleo de OFDM en el estándar PRIME, junto los códigos de corrección de errores. En el caso de que el ruido que se introduzca a las comunicaciones presente una componente de muy elevada tensión, si esta componente es estrecha y afecta a muy pocas portadoras, las modulaciones con corrección de errores podrán corregir estos errores. Sin embargo, si el ruido, como ya se ha mencionado, presenta una respuesta frecuencial que puede considerarse como plana o ruido coloreado y, por lo tanto, afecta a muchas portadoras, no se podrán corregir los errores y la SNR necesaria aumentará considerablemente.

Este hecho hace que no se pueda generalizar sobre qué banda de frecuencias sería más aconsejable para la transmisión de datos según el estándar PRIME en presencia de cargadores de VE, ya que dependiendo del modelo, la respuesta frecuencial del ruido introducido será diferente y por lo tanto tendrá una afección distinta sobre las comunicaciones.

15. Bibliografía

- [1] N. Uribe, “Análisis de la capacidad de PRIME para gestión de red en entornos con generación distribuida y sistemas de almacenamiento”.
- [2] N. Andreadou, M.O. Guardiola, G. Fulli, “Telecommunication Technologies for Smart Grid Projects with Focus on Smart Metering Applications”.
- [3] PRIME Proyect, “PRIME Technology whitepaper, PHY, MAC and Convergence layers”.
- [4] PRIME Alliance Technical Working Group, “PRIME v1.4 White Paper”.
- [5] L. Capponi, I. Fernández, D. Roggo, A. Arrinda, I. Angulo, D. De la Vega, “Comparison of measurement methods of grid impedance for Narrow Band-PLC up to 500 kHz”.
- [6] I. Fernandez, N. Uribe-Pérez, I. Eizmendi, I. Angulo, D. de la Vega, A. Arrinda, T. Arzuaga. “Characterization of non-intentional emissions from distributed energy resources up to 500 kHz: a case study in Spain”.
- [7] J. Meyer, S. Mueller, S. Ungethuem, X. Xiao, A. Collin, S. Djokic, “Harmonic and Supraharmonic Emission of On-Board Electric Vehicle Charges”.
- [8] A. Llano, I. Angulo, P. Angueira, T. Arzuaga, D. de la Vega, “Analysis of the Channel Influence to Power Line Communications Based on ITU-T G.9904 (PRIME)”.
- [9] Campaña de medidas IBIL 25-02-2019.
- [10] PRIME Alliance Technical Group, “Specification for PowerLine Intelligent Metering Evolution”.
- [11] S. Schöttke, J. Meyer, P. Schegner, S. Bachmann, “Emission in the Frequency Range of 2 kHz to 150 kHz caused by electrical vehicle charging”.