

TRABAJO FINAL DE GRADO

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

ACREDITACIÓN DE LA NORMATIVA FMC 1278 (FORD) PARA LABORATORIO DE EMC.



Memoria y Anexos

Autor: Sergi Manchón Sánchez
Director: Francisco Bogónez Franco
Co-Director: Gerard Costa Godó
Convocatòria: Enero 2020



Resum

En aquest projecte es presenta el treball final de grau sobre l'acreditació de la normativa Ford FMC1278:2018 per a un laboratori de EMC. Es descriu de manera ordenada els diferents assajos que conformen la normativa i els requisits necessaris per a poder acreditar cadascun d'ells, mitjançant el calibratge i verificació de tots els paràmetres.

Per a poder fer una classificació més fàcil, es distingeixen dos grans grups d'assajos que s'ha d'acreditar: assajos d'emissions i assajos d'immunitat. Per a poder realitzar cadascun d'aquests assajos s'hauran de configurar a través del programari EMC32, on s'introduiran tots els límits i nivells. També, aquest programari serà el nostre sistema d'adquisició de dades per a poder reportar els resultats obtinguts.

Finalment, una gran part del projecte es realitza amb l'ús de l'oscil·loscopi com a eina de calibratge, pel fet que alguns dels assajos són en el domini del temps i no en el domini freqüencial.

Una vegada obtinguda l'acreditació de la normativa Ford FMC1278:2018, Applus Laboratories estarà capacitada per a poder realitzar els assajos tal com estipula la normativa i poder obrir-se al mercat de noves empreses que desitgin validar els seus equips en les instal·lacions d'Applus.

Resumen

En este proyecto se presenta el trabajo final de grado sobre la acreditación de la normativa Ford FMC1278:2018 para un laboratorio de EMC. Se describe de manera ordenada los diferentes ensayos que conforman la normativa y los requisitos necesarios para poder acreditar cada uno de ellos, mediante la calibración y verificación de todos los parámetros.

Para poder hacer una clasificación más fácil, se distinguen dos grandes grupos de ensayos que se debe acreditar: ensayos de emisiones y ensayos de inmunidad. Para poder realizar cada uno de estos ensayos se deberán configurar a través del software EMC32, donde se introducirán todos los límites y niveles. También, este software será nuestro sistema de adquisición de datos para poder reportar los resultados obtenidos.

Por último, una gran parte del proyecto se realiza con el uso del osciloscopio como herramienta de calibración, debido a que algunos de los ensayos son en el dominio del tiempo y no en el dominio frecuencial.

Una vez obtenida la acreditación de la normativa Ford FMC1278:2018, Applus Laboratories estará capacitado para poder realizar los ensayos tal y como estipula la normativa y poder abrirse al mercado de nuevas empresas que deseen validar sus equipos en las instalaciones de Applus.

Abstract

This project presents the final undergraduate thesis on the accreditation of the Ford FMC1278: 2018 standard for an EMC laboratory. The different tests that make up the regulations and the requirements necessary to be able to accredit each of them are described in an orderly way, by means of the calibration and verification of all the parameters.

The student, in order to have an optimised classification of the trials needed to certify, two big groups of trials were distinguished: emissions and immunity trials. One of the main tools of the current Project, is the EMC32 software, which is used to perform each of the trials and also, as data acquisition software to report the results obtained.

Finally, a large part of the project is carried out with the use of the oscilloscope as a calibration tool, since some of the tests are in the time domain and not in the frequency domain.

Once the accreditation of the Ford FMC1278: 2018 standard has been obtained, Applus Laboratories will be able to carry out the tests as stipulated in the regulations and be able to open up to the market of new companies that wish to validate their equipment at Applus facilities.

Agradecimientos

En primer lugar, querría agradecer a mi tutor, Francisco Bogónez por su ayuda y sus consejos a la hora de elaborar el proyecto.

También, agradecer a mis compañeros de trabajo la ayuda necesaria para poder solucionar las dudas técnicas que han ido apareciendo a lo largo del trabajo.

Glosario

Acoplador direccional: Dispositivos pasivos que muestrean las potencias de las líneas de transmisión. Permiten obtener la potencia reverse y la forward de los amplificadores.

ALSE: Absorber-Lined Shielded Enclosure. Recinto apantallado con revestimiento de absorción.

AM: Amplitud Modulada.

BCI: Método para acoplar corriente de RF en el cableado de los equipos a través de una pinza de corriente.

Cable coaxial: Cable utilizado para transportar señales eléctricas de alta frecuencia.

Cámara apantallada: Cámara blindada contra perturbaciones electromagnéticas externas.

Cámara semi-anecóica: Sala diseñada para absorber las reflexiones producidas por ondas electromagnéticas a través de los absorbentes colocados en el techo y paredes. A demás, aislada de perturbaciones externas. La combinación de estos factores implica la simulación de campo libre.

CBCI: Modo común de ensayo de BCI.

CE: Emisiones conducidas. Perturbaciones generadas por el equipo bajo ensayo a través del cableado.

CI: Inmunidad conducida. Inyección de perturbaciones al equipo para comprobar su nivel de inmunidad a través del cableado.

CW: Señal sinusoidal continua, sin modulación.

DBCi: Modo diferencial de ensayo de BCI.

EMC: Compatibilidad electromagnética. Estudia la generación, propagación y recepción inintencionada de energía electromagnética, así como los efectos no deseados de esa energía.

EMI: Interferencia electromagnética. Perturbación que ocurre en cualquier sistema eléctrico o electrónico causada por una fuente de radiación electromagnética externa o interna.

EMS: Susceptibilidad electromagnética. Capacidad de un dispositivo para funcionar sin degradación en presencia de una perturbación electromagnética.

ESD: Descarga electrostática. corriente eléctrica no deseada, repentina y muy rápida entre dos objetos a diferente potencial eléctrico.

EUT: Equipo bajo ensayo.

LISN: Red de estabilización de impedancia de la línea. Dispositivo utilizado para los ensayos de emisiones e inmunidad en radiofrecuencia conducidas y radiadas para crear una impedancia conocida y proporcionar un puerto de medida de ruido. Además, es un filtro paso bajo entre la fuente y el EUT para aislar las señales de RF no deseadas de la fuente de alimentación.

Plano de masa: Superficie eléctricamente conductora conectada a la tierra eléctrica. Además, sirve como superficie reflectante para las ondas de RF.

PM: Señal sinusoidal pulsada con un periodo fijo.

Potencia forward: Potencia generada a una antena a través de líneas de transmisión.

Potencia reverse: Potencia reflejada que están volviendo debido a una falta de coincidencia en la impedancia de la línea de transmisión entre la salida del generador y la antena.

Power Meter: Medidor de potencia.

RE: Emisiones radiadas.

RF: Radiofrecuencia. Aplicaciones de ondas electromagnéticas de alta frecuencia.

RI: Inmunidad radiada.

Test Plan: Plan de ensayo elaborado para poder validar un equipo donde se indican las características técnicas necesarias para poderlo.

Test setup: Disposición del equipo bajo ensayo en el plano de masa para poder realizar un ensayo normativo.

Tiempo de bajada: Tiempo entre el 90% y el 10% del valor pico a pico de la señal.

Tiempo de subida: Tiempo entre el 10% y el 90% del valor pico a pico de la señal.

Índice

RESUM	II
RESUMEN	III
ABSTRACT	IV
AGRADECIMIENTOS	V
GLOSARIO	VI
1. PREFACIO	1
1.2. Origen del trabajo y motivación	1
1.3. Requisitos previos	1
2. INTRODUCCIÓN	3
2.1. Objetivos del trabajo	5
2.2. Alcance del trabajo	5
3. ENSAYOS DE EMISIONES	7
3.1. RE 310: Emisiones radiadas	7
3.1.1. Motivación	7
3.1.2. Requerimientos de la normativa FMC1278	7
3.1.3. Detalles del ensayo y características técnicas.....	11
3.1.4. Verificación del ensayo y Test setup	12
3.1.5. Niveles de ambiente	15
3.1. RE 330: Emisiones Radiadas en baja frecuencia	16
3.1.1. Motivación	16
3.1.2. Requerimientos de la normativa Ford FMC1278.....	16
3.1.3. Detalles del ensayo y características técnicas.....	17
3.1.4. Verificación del ensayo y Test setup	18
3.1.5. Niveles de ambiente	19
3.2. CE 420: Emisiones Conducidas en RF.....	20

3.2.1.	Objetivo	20
3.2.2.	Requerimientos de la normativa Ford FMC1278.....	20
3.2.3.	Detalles del ensayo y características técnicas.....	21
3.2.4.	Verificación del ensayo y test setup.....	21
3.2.5.	Niveles de ambiente	22
3.3.	CE 421: Emisiones Conducidas en baja frecuencia.....	23
3.3.1.	Objetivo.....	23
3.3.2.	Requerimientos de la normativa Ford FMC1278.....	23
3.3.3.	Detalles del ensayo y características técnicas.....	24
3.3.4.	Verificación del ensayo y test setup.....	25
3.3.5.	Niveles de ambiente	26
3.4.	CE 410: Emisiones Transitorias.....	27
3.4.1.	Objetivo.....	27
3.4.2.	Requerimientos de la normativa Ford FMC1278.....	27
3.4.3.	Detalles del ensayo y características técnicas.....	28
3.4.4.	Verificación del ensayo y test setup.....	29
4.	ENSAYOS DE INMUNIDAD	31
4.1.	RI 112: Inmunidad de excitación de cableado (BCI)	31
4.1.1.	Objetivo.....	31
4.1.2.	Requerimientos de la normativa Ford FMC1278.....	31
4.1.3.	Detalles del ensayo y características técnicas.....	33
4.1.4.	Verificación del ensayo y test setup.....	34
4.1.5.	Calibración del ensayo.....	36
4.2.	RI 114: Inmunidad radiada.....	37
4.2.1.	Objetivo.....	37
4.2.2.	Requerimientos de la normativa Ford FMC1278.....	37
4.2.3.	Detalles del ensayo y características técnicas.....	39
4.2.4.	Verificación del ensayo y Test setup	40

4.2.5.	Calibración del ensayo.....	43
4.3.	RI 115: Inmunidad a transmisores portátiles.....	44
4.3.1.	Objetivo.....	44
4.3.2.	Requerimientos de la normativa Ford FMC1278.....	44
4.3.3.	Detalles del ensayo y características técnicas.....	45
4.3.4.	Verificación del ensayo y test setup.....	46
4.3.5.	Calibración del ensayo.....	48
4.4.	RI 140: Inmunidad de campo magnético.....	49
4.4.1.	Objetivo.....	49
4.4.2.	Requerimientos de la normativa Ford FMC1278.....	49
4.4.3.	Detalles del ensayo y características técnicas.....	52
4.4.4.	Verificación del ensayo y test setup.....	53
4.4.5.	Calibración del ensayo.....	53
4.5.	RI 130: Inmunidad transitoria acoplada.....	54
4.5.1.	Objetivo.....	54
4.5.2.	Requerimientos de la normativa Ford FMC1278.....	54
4.5.3.	Verificación del ensayo y test setup.....	56
4.5.4.	Calibración del ensayo.....	57
4.6.	RI 150: Inmunidad acoplada.....	58
4.6.1.	Objetivo.....	58
4.6.2.	Requerimientos de la normativa Ford FMC1278.....	58
4.6.3.	Verificación del ensayo y test setup.....	59
4.6.4.	Calibración del ensayo.....	60
4.7.	CI 210: Inmunidad contra perturbaciones continuas de las líneas de alimentación.....	61
4.7.1.	Objetivo.....	61
4.7.2.	Requerimientos de la normativa Ford FMC1278.....	61
4.7.3.	Verificación del ensayo y test setup.....	63

4.7.4.	Calibración del ensayo.....	63
4.8.	CI 220: Inmunidad contra perturbaciones transitorias de 12 V	64
4.8.1.	Objetivo.....	64
4.8.2.	Requerimientos de la normativa Ford FMC1278.....	64
4.8.3.	Verificación del ensayo y test setup.....	65
4.8.4.	Calibración del ensayo.....	66
4.9.	CI 221: Inmunidad contra perturbaciones transitorias de 24 V	67
4.9.1.	Objetivo.....	67
4.9.2.	Requerimientos de la normativa Ford FMC1278.....	67
4.9.3.	Verificación del ensayo y test setup.....	68
4.9.4.	Calibración del ensayo.....	68
4.10.	CI 222: Inmunidad contra descarga de carga (Load Dump)	69
4.10.1.	Objetivo.....	69
4.10.2.	Requerimientos de la normativa Ford FMC1278.....	69
4.10.3.	Verificación del ensayo y test setup.....	70
4.10.4.	Calibración del ensayo.....	71
4.11.	CI 230: Inmunidad contra ciclos de arranque a 12 VDC.....	72
4.11.1.	Objetivo.....	72
4.11.2.	Requerimientos de la normativa Ford FMC1278.....	72
4.11.3.	Verificación del ensayo y Test setup	73
4.11.4.	Calibración del ensayo.....	73
4.12.	CI 231: Inmunidad contra ciclos de arranque a 24 VDC.....	74
4.12.1.	Objetivo.....	74
4.12.2.	Requerimientos de la normativa Ford FMC1278.....	74
4.12.3.	Verificación del ensayo y test setup.....	75
4.12.4.	Calibración del ensayo.....	75
4.13.	CI 260: Inmunidad contra caídas de voltaje	76
4.13.1.	Objetivo.....	76

4.13.2. Requerimientos de la normativa Ford FMC1278.....	76
4.13.3. Verificación del ensayo y test setup.....	76
4.13.4. Calibración del ensayo.....	79
4.14. CI 280: Descargas electrostáticas (ESD).....	80
4.14.1. Objetivo.....	80
4.14.2. Requerimientos de la normativa Ford FMC1278.....	80
4.14.3. Verificación del ensayo y test setup.....	82
ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL	85
CONCLUSIONES	87
PRESUPUESTO ECONÓMICO	89
BIBLIOGRAFIA	91
ANEXO A. EMISIONES RADIADAS (RE 310)	93
A.1. Test setup según la normativa CISPR25: 2008.....	93
A.2. Medidas de ambiente según la normativa Ford FMC1278: 2018.....	97
ANEXO B. EMISIONES RADIADAS EN BAJA FRECUENCIA (RE 330)	107
B.1. Test setup según la normativa Ford FMC1278: 2018.....	107
B.2. Medidas de ambiente según la normativa Ford FMC1278: 2018.....	107
ANEXO C. EMISIONES CONDUCCIDAS EN BAJA FRECUENCIA (CE 420)	110
C.1. Test setup según la normativa Ford FMC1278: 2018.....	110
C.2. Medidas de ambiente según la normativa Ford FMC1278: 2018.....	111
ANEXO D. EMISIONES CONDUCCIDAS EN BAJA FRECUENCIA (CE 421)	114
D.1. Test setup según la normativa Ford FMC1278: 2018.....	114
D.2. Medidas de ambiente según la normativa Ford FMC1278: 2018.....	114
ANEXO E. EMISIONES TRANSITORIAS (CE 410)	116
E.1. Test setup según la normativa Ford FMC1278: 2018.....	116
ANEXO F. INMUNIDAD DE EXCITACIÓN DE CABLEADO (RI 112)	117

F.1. Test setup según la normativa Ford FMC1278: 2018.....	117
F.2. Calibración del ensayo según la normativa Ford FMC1278: 2018.....	117
ANEXO G. INMUNIDAD RADIADA (RI 114) _____	120
G.1. Test setup según la normativa Ford FMC1278: 2018.....	120
G.2. Calibración del ensayo según la normativa Ford FMC1278: 2018.....	122
ANEXO H. INMUNIDAD A TRANSMISORES PORTÁTILES (RI 115) _____	128
H.1. Test setup según la normativa Ford FMC1278: 2018.....	128
H.2. Calibración del ensayo según la normativa Ford FMC1278: 2018.....	129
ANEXO I. INMUNIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO (RI 140) _____	131
I.1. Test setup según la normativa Ford FMC1278: 2018.....	131
I.2. Calibración del ensayo según la normativa Ford FMC1278: 2018.....	131
I.3. Verificación de corriente del ensayo a través de osciloscopio.....	135
ANEXO J. INMUNIDAD TRANSITORIA ACOPLADA (RI 130) _____	138
J.1. Test setup según la normativa Ford FMC1278: 2018.....	138
J.2. Accesorio de pruebas de acoplamiento.....	139
J.3. Parámetros y forma de onda.....	139
J.4. Verificación del ensayo a través de osciloscopio.....	140
ANEXO K. INMUNIDAD TRANSITORIA ACOPLADA (RI 130) _____	144
K.1. Test setup según la normativa Ford FMC1278: 2018.....	144
K.2. Calibración del ensayo según la normativa Ford FMC1278: 2018.....	144
ANEXO L. INMUNIDAD CONTRA PERTURBACIONES CONTINUAS DE LAS LÍNEAS DE ALIMENTACIÓN (CI 210) _____	148
L.1. Test setup según la normativa Ford FMC1278: 2018.....	148
L.2. Calibración del ensayo según la normativa Ford FMC1278: 2018.....	148
ANEXO M. INMUNIDAD CONTRA PERTURBACIONES TRANSITORIAS DE 12V Y 24 V153	
M.1. Test setup según la normativa Ford FMC1278: 2018.....	153

M.2. Parámetros y forma de onda	154
M.3. Calibración del ensayo según la normativa Ford FMC1278: 2018 a 12 V.....	158
M.4. Calibración del ensayo según la normativa Ford FMC1278: 2018 a 24 V.....	161
ANEXO N. INMUNIDAD CONTRA DESCARGA DE CARGA (CI 222) _____	176
N.1. Test setup según la normativa Ford FMC1278: 2018.....	176
N.2. Parámetros y forma de onda	176
N.3. Calibración del ensayo según la normativa Ford FMC1278: 2018	177
ANEXO O. INMUNIDAD CONTRA CICLOS DE ARRANQUE _____	182
O.1. Test setup según la normativa Ford FMC1278: 2018.....	182
O.2. Parámetros y forma de onda	183
O.3. Calibración del ensayo según la normativa Ford FMC1278: 2018 a 12 V.....	183
O.4. Calibración del ensayo según la normativa Ford FMC1278: 2018 a 24 V.....	188
ANEXO P. INMUNIDAD CONTRA CAÍDAS DE VOLTAJE (CI 260) _____	193
P.1. Test setup según la normativa Ford FMC1278: 2018	193
P.2. Parámetros y forma de onda.....	194
P.3. Calibración del ensayo según la normativa Ford FMC1278: 2018.....	196
ANEXO Q. DESCARGAS ELECTROSTÁTICAS _____	199
Q.1 Test setup según la normativa Ford FMC1278	199

1. Prefacio

1.2. Origen del trabajo y motivación

El proyecto surgió por la motivación de ampliar la oferta de ensayos que Applus Laboratories ofrece. Por este motivo, desde la empresa, me ofrecieron realizar este proyecto. A partir de ese momento, se tuvo que verificar que el laboratorio disponía de todas las instalaciones y equipos necesarios para llevar a cabo todos los ensayos que la normativa Ford FMC1278 pide.

Otro motivo fue el poder ampliar los conocimientos en EMC, ya que a la hora de realizar el proyecto sería necesario conocer todos los tipos de ensayo que se realizan en el laboratorio y sus características.

1.3. Requisitos previos

Para llevar a cabo este proyecto es necesario un conocimiento en compatibilidad electromagnética e instrumentación electrónica. Además, a parte del conocimiento teórico necesario para poder realizar el proyecto, es necesario el conocimiento de las herramientas y de la normativa utilizadas en el sector de EMC para el desarrollo de ensayos. Se deben destacar dos de las herramientas utilizadas para desarrollar este proyecto: la primera es el software EMC32 (Rohde & Schwarz), programa utilizado para poder controlar toda la instrumentación de las cámaras semi-anecóicas. Por otro lado, el osciloscopio, utilizado para poder realizar las calibraciones de los ensayos conducidos en tensión.

2. Introducción

La compatibilidad electromagnética (EMC) es la disciplina que garantiza la compatibilidad del equipo en entornos perturbados por interferencias electromagnéticas, además de garantizar la no generación de interferencias en ese entorno.

La compatibilidad electromagnética la podemos resumir en dos grandes bloques:

- **EMI (Electromagnetic Interference) o Emisiones electromagnéticas:** Es el nivel de interferencia que un dispositivo introduce en el entorno como consecuencia de su funcionamiento. Este hecho no hace que el equipo funcione incorrectamente, sino que puede interferir a otros dispositivos cercanos.
- **EMS (Electromagnetic Susceptibility) o Inmunidad electromagnética:** Es la capacidad de un dispositivo electrónico de funcionar correctamente en un entorno con un nivel de perturbación electromagnética. Esta perturbación puede ser radiada, si se aplica a través de una antena, o conducida, si se inyecta por medio de cables conectados a los circuitos del equipo bajo ensayo.

Dentro de estos dos grandes bloques, la manera en que un equipo puede emitir o ser inmune a las interferencias electromagnéticas puede variar. Puede ser de manera radiada o de manera conducida. De manera radiada, el equipo emite o es inmune a través de ondas de radiofrecuencia. De manera conducida, el equipo emite o es inmune a las interferencias que se propagan por los diferentes cables a los que están conectados los diferentes equipos.

A día de hoy, todos los productos eléctricos o electrónicos deben cumplir una serie de normas para que puedan comercializarse en el mercado. Estas normativas definen unas directrices concretas y tienen en cuenta los niveles necesarios para que el producto sea compatible electromagnéticamente y no perturbe a otros elementos, o no sea susceptible a variaciones indebidas, y que su correcto comportamiento no se vea afectado.

Hablando en el ámbito europeo, para acceder al mercado, las empresas deben garantizar la compatibilidad electromagnética de cualquier equipo electrónico y asegurar su conformidad con la Directiva 2014/030/UE, donde se establecen los requisitos esenciales para que un equipo pueda ser comercializado y poder obtener el marcado CE.

Además de cumplir esta directiva, muchos fabricantes realizan sus propias normativas para que el cumplimiento sea mucho más estricto y restrictivo y así, asegurar un mejor funcionamiento.

Estas normativas están basadas en normas internacionales donde se especifican los niveles y requisitos mínimos que debe cumplir un equipo para que pueda ser homologado.

En el caso concreto de automoción, para los diferentes tipos de ensayos de compatibilidad electromagnética, cada uno de ellos tiene unas normativas internacionales que se deben seguir

- Inmunidad y emisiones conducidas: ISO 7637, ISO 16750, SAE J1113.
- Inmunidad a descargas electroestáticas: ISO 110605, SAE J1113.
- Emisiones radiadas: CISPR12, CISPR25.
- Inmunidad radiada: ISO 11451, ISO 11452, SAE J555, SAE J1113.

Para poder realizar estos ensayos y que el producto pueda ser homologado tienen que realizarse en laboratorios especializados con instalaciones acreditadas, es decir, instalaciones que cumplen los requisitos indicados en las normativas.

Una de las instalaciones más importantes para poder realizar los ensayos de EMC son las cámaras semi-anecoicas. Estas salas están diseñadas para absorber las reflexiones producidas por ondas electromagnéticas y, además, están totalmente aisladas de cualquier perturbación externa. Esta combinación simula las condiciones de campo libre y de jaula de Faraday.

La cámara semi-anecoica ideal sería aquella que anula totalmente el rebote y la interferencia del espectro electromagnético. Para poder lograr este efecto y poder simular las condiciones de campo libre se requieren materiales específicos. Se deberá distinguir entre materiales aislantes electromagnéticos para el recubrimiento exterior (Jaula de Faraday) y materiales absorbentes para el recubrimiento interior.

El material aislante electromagnético escogido para realizar el recubrimiento exterior de las cámaras semi-anecoicas fue el hierro galvanizado, por su bajo coste y por su durabilidad. Por otro lado, el material absorbente interior debe ser de un material dieléctrico debido a su no conductividad para poder absorber las ondas electromagnéticas que provengan del interior.

En la Figura 2.1 se puede observar un ejemplo de una cámara semi-anecoica utilizada durante la acreditación de la normativa Ford FMC1278.



Figura 2.1 Cámara semi-aneecóica (SAC-7)

Dentro de la cámara se ubicarán todos aquellos equipos necesarios para poder realizar los ensayos de compatibilidad electromagnética. Fuera de ella, los equipos de medida y generadores de onda, ya que es necesario el máximo aislamiento electromagnético dentro de la cámara para que todas las medidas sean lo más precisas posibles y no intervengan interferencias del exterior.

2.1. Objetivos del trabajo

El objetivo del trabajo es poder acreditar la normativa Ford FMC1278 en los laboratorios de Applus Laboratories y ampliar el conocimiento en compatibilidad electromagnética.

2.2. Alcance del trabajo

El alcance del trabajo es poder acreditar todos los ensayos que ofrece la normativa Ford FMC1278: 2018 en las instalaciones de Applus Laboratories y poder dar soporte en la realización de procedimientos internos para que los técnicos de ensayo puedan realizar de manera satisfactoria los ensayos descritos en este trabajo.

3. Ensayos de emisiones

3.1. RE 310: Emisiones radiadas

3.1.1. Motivación

Los ensayos de Emisiones Radiadas tratan de evaluar el nivel de las perturbaciones radiadas en radio frecuencia de los equipos eléctricos y electrónicos destinados a ser utilizados en cualquier equipo eléctrico o electrónico que se venda.

3.1.2. Requerimientos de la normativa FMC1278

Para poder realizar los ensayos de emisiones radiadas según RE 310 se debe cumplir que el rango de frecuencias ensayado cubra el margen de frecuencia de los 0,53 MHz hasta los 5925 MHz.

La normativa Ford FMC1278 se aplica a todos los componentes eléctricos y electrónicos embarcados en cualquier automóvil fabricado por Ford Motor Company. Esta normativa hace referencia a dos niveles de emisiones que el equipo debe cumplir. Estos requerimientos están directamente vinculados a las bandas de servicio de RF específicas.

El nivel 1 está basado en los límites de emisiones de RF definidos en la Regulación ECE 10.05 de 2014 de la UE. Este nivel consta de dos límites que se deben cumplir:

- Límite A se basa en el uso del detector de promedio (AVG).
- Límite B se basa en el uso del detector de cuasi pico (QP).

El nivel 2 está basado en requisitos específicos del cliente.

- El límite A se basa en el uso de la detección de pico y la detección de promedio para cada banda de frecuencia excepto las basadas en la Tabla 3.2.
- El límite B se basa en la detección de cuasi pico.
- Dentro de los requerimientos de nivel 2 se debe tener en cuenta que los equipos que operen con una duración intermitente no podrán verificarse a partir del límite promedio (AVG). Para poder validarse debe ser aceptado por el departamento de EMC de Ford FMC.

Tabla 3.1. RE 310 Requerimientos nivel 1

Banda #	Rango de frecuencia [MHz]	Límites (dBuA/m)	
		Límite A [AVG] ^(1,2)	Límite B [QP] ⁽¹⁾
M1	30 – 75	$52 - 25,13 \cdot \log\left(\frac{f}{30}\right)$	$62 - 25,13 \cdot \log\left(\frac{f}{30}\right)$
M2	75 – 400	$4 + 15,13 \cdot \log\left(\frac{f}{75}\right)$	$52 + 15,13 \cdot \log\left(\frac{f}{75}\right)$
M3	400 - 1000	53	63

1 f= Medida de frecuencia en MHz

2 Límite A se basa en el uso de un ancho de banda de 120 kHz (MBW) utilizando la detección promedio (AVG).

Tabla 3.2. RE 310 Requerimientos nivel 2

Banda #	Región	Servicio RF (Bandas usadas en MHz)	Rango de frecuencia [MHz]	Límites (dBuA/m)		
				Límite A		Límite B
				[PK]	[AVG]	[QP]
G1	Global	AM	0,53 – 1,7	-	24 (40)	42 (58)
NA1	América del Norte	DOT 1 (45,68 – 47,34)	45 – 48	20	12	24
SA1	América del Sud	FM 1 (75 – 90)	75 – 91	20	12	24
G3	Global	FM 2 (87,5 – 108)	86 – 109	20	12	24

G4	Global	2 Meter (142 – 175)	140 – 176	20	12	24
G5	Global	DAB (174,1 – 240)	172 – 242	20	12	24
G6a	Global	RKE, TPMS 1	310 – 320	20	14	30
G6b	Global	RKE, TPMS 2	429 – 439	25	19	30
G6c	Global	RKE	868 – 870	30	24	
G6d	Global	RKE	902 – 904	30	24	
G7	Europa	Tetra	380 – 430	20	14	30
G8a	Global	BEIDOU BDS B1I	1531 – 1559		$19 - 1905,74 \cdot \log\left(\frac{f}{1531}\right)$	
			1559 – 1563		4	
			1563 – 1591		$4 + 1945,22 \cdot \log\left(\frac{f}{1563}\right)$	
G8b	Global	GPS L1 BEIDOU BDS B1C	1567 – 1574		$44 - 20664 \cdot \log\left(\frac{f}{1567}\right)$	
			1574 – 1576		4	
			1576 - 1583		$4 + 20782 \cdot \log\left(\frac{f}{1576}\right)$	
G8c	Global	GNSS	1598 – 1605		20	
G9a	Global	WiFi	2400 – 2490		Solo Información	

G9b	Global	WiFi	5170 – 5290		
G9c	Global	DSRC	5850 – 5925		

Tabla 3.3. RE 310 Requisitos de medida para todas las bandas (excepto M1, M2, M3, G1)

Parámetros	Límite A	Límite B
Método de detección	PK o AVG	QP
Ancho de banda {MBW} (kHz)	9/10; 1 ⁽¹⁾	120
Salto de frecuencia (kHz)	0,5*MBW	60
Tiempo de medida (s)	≥ 0,005	1

1. Solo se utiliza 1 kHz de MBW para las bandas G8 y G9. Desviación respecto la normativa CISPR 16-1-1.

Tabla 3.4. RE 310 Requisitos de medida para la Banda G1

Parámetros	Límite A	Límite B
Método de detección	AVG	QP
Ancho de banda {MBW} (kHz)	9/10	9
Salto de frecuencia (kHz)	0,5*MBW	4,5
Tiempo de medida (s)	≥ 1	1

Tabla 3.5. RE 310 Requisitos de medida para las bandas M1, M2 y M3

Parámetros	Límite A	Límite B
Método de detección	AVG	QP
Ancho de banda {MBW} (kHz)	120	120

Salto de frecuencia (kHz)	60	60
Tiempo de medida (s)	≥ 0,005	1

3.1.3. Detalles del ensayo y características técnicas

3.1.3.1. Procedimiento

Antes de realizar cualquier medida de emisiones radiadas del equipo (EUT), se deben comprobar los niveles ambiente y que este nivel este 6dB por debajo del límite establecido. Si este requisito no se cumple, el EUT no puede ser ensayado hasta que el problema este solventado y los niveles de ambiente estén 6dB por debajo del límite y así asegurar una incertidumbre menor.

Para medir los niveles de ambiente se debe usar un ancho de banda de resolución (RBW) de 9 ó 10 kHz con la detección de pico, excepto en las bandas G1, G8 y EU4. En la banda G1 se utilizará el mismo RBW y las detecciones de pico y promedio. Para las bandas G8 y EU4 se requiere un RBW de 1 kHz con la detección promedio.

Para todas las medidas de ambiente solo se utilizará la polarización vertical de la antena.

Una vez comprobado que los niveles de ambiente de la instalación están 6dB por debajo del límite, el siguiente paso es realizar todas las medidas del EUT según las Tablas 3.1 y 3.2 del apartado de 3.1.2 de Requerimientos.

Se debe tener en cuenta la utilización de las diferentes antenas para los diferentes rangos de frecuencia:

- Desde 150 kHz hasta 30 MHz. Se utilizará la antena monopolo, en posición vertical.
- De 30 MHz a 200 MHz se utilizará la antena bicónica.
- De 200 MHz a 1000 MHz se utilizará la antena Logoperiódica.
- A partir de 1000 MHz se utilizará la antena Horn.

A partir de los 30 MHz, las medidas del EUT se realizarán en dos posiciones de antena, vertical y horizontal.

A partir de 1000 MHz, las emisiones del equipo se verificarán en 3 posiciones ortogonales, a menos que el Test Plan indique lo contrario.

Para reducir tiempos, costes y poder optimizar los recursos del laboratorio, las medidas se realizarán usando 120 kHz de RBW con los límites de PK y AVG con sus respectivos sistemas de medida indicados en la Tabla 1.5. Si el nivel medido está por debajo de los límites A y límites B para los dos niveles, se dará como resultado

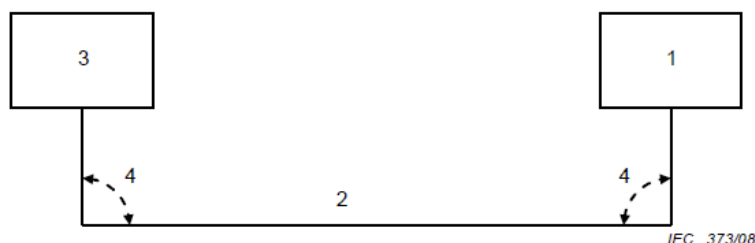
final. Excepto para la banda G1 y G8 que deberá seguirse estrictamente lo marcado en el sistema de medida indicado en la Tabla 3.3 y 3.4.

Si durante la medida de emisiones se detecta que uno de los dos valores, tanto de PK como de AVG, sobrepasan su límite correspondiente, se deberá realizar la medida en el rango de frecuencias fallido según los parámetros de las tablas 3.4 y 3.5.

3.1.4. Verificación del ensayo y Test setup

A la hora de realizar el ensayo, se debe tener en cuenta el montaje del equipo y las posiciones de las antenas, Figura 3.1.

3.1.4.1. Posición del EUT y cableado



Key

- 1 EUT
- 2 Test harness
- 3 Load simulator
- 4 Angle $(90 +45/0)$ degrees

Figura 3.1 Esquema del EUT en el plano de masa según la normativa FMC1278

El EUT se debe situar sobre un material no conductor de permitividad relativa baja ($\epsilon_r \leq 1.4$) a 50 ± 5 mm por encima del plano de masa.

El chasis del EUT no debe conectarse al plano de masa a menos que esté previsto simular la configuración real del vehículo.

La cara del EUT que esté más cerca del borde frontal del plano de masa, debe situarse a una distancia de 200 ± 10 mm del borde del plano de masa.

Salvo que se especifique otra cosa en el Plan de Ensayo (Test Plan), la longitud del cableado entre el conector del EUT y simulador de carga debe tener una longitud de 2.000 mm.

La longitud del cableado de ensayo paralelo a la parte frontal del plano de masa debe ser de 1.500 ± 75 mm y debe situarse paralela al borde del plano de masa enfrentada a la antena a una distancia de 100 ± 10 mm del borde.

El cableado, debe estar en línea recta sobre el material no conductor y a 50 mm por encima del plano de masa.

La posición del EUT y del simulador de carga requiere que el ángulo de doblado del cableado debe ser de $90 +45$ grados como se especifica en la Figura 3.2.

Con toda la información detallada, el último paso es realizar el montaje del equipo en la cámara semi-aneecóica.

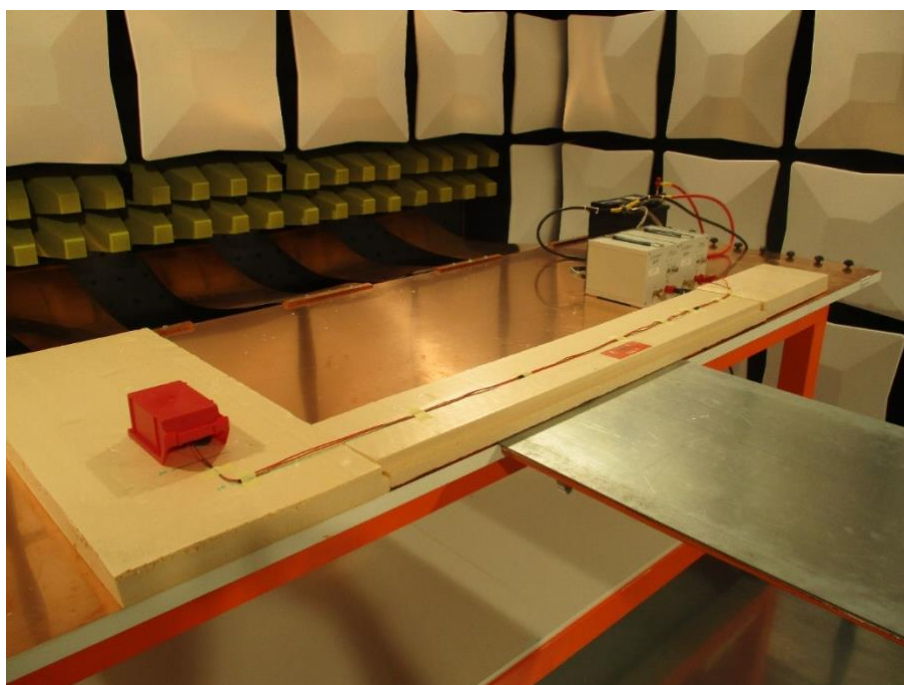


Figura 3.2 Disposición del EUT en el plano de masa según normativa CISPR25.

3.1.4.2. Posición de la antena de medida

Para realizar el ensayo de emisiones radiadas debemos seguir el Anexo 1 de la normativa CISPR25. Esta normativa describe cuatro montajes diferentes para realizar el ensayo, según el rango de frecuencias utilizado y la posición de la antena. Como se ha comentado en el apartado 3.1.3.1, para los diferentes rangos de frecuencia se utilizarán antenas diferentes.

Los siguientes montajes hacen referencia al Anexo A de la memoria.



Figura 3.3 Antena monopolo utilizada en el ensayo de 150 kHz a 30 MHz.

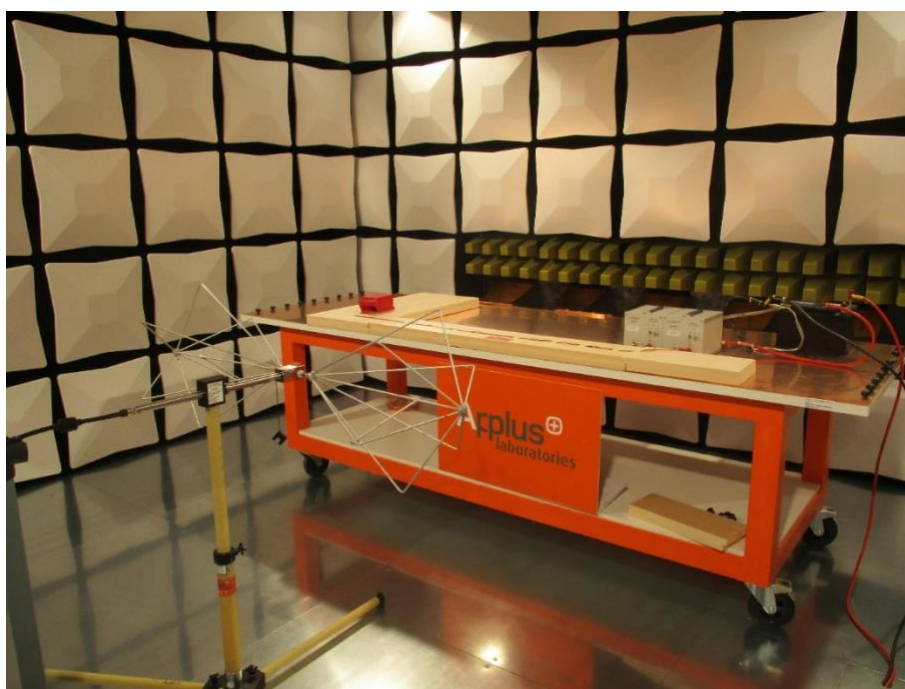


Figura 3.4 Antena bicónica utilizada en el ensayo de 30 MHz a 200 MHz.

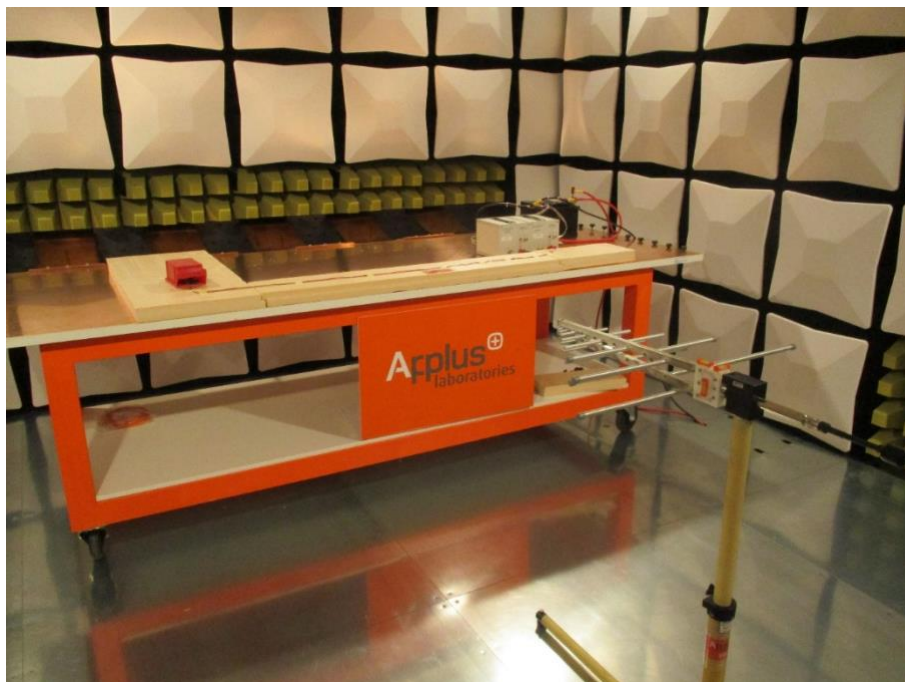


Figura 3.5 Antena Logoperiódica utilizada en el ensayo de 200 MHz a 1000 MHz.

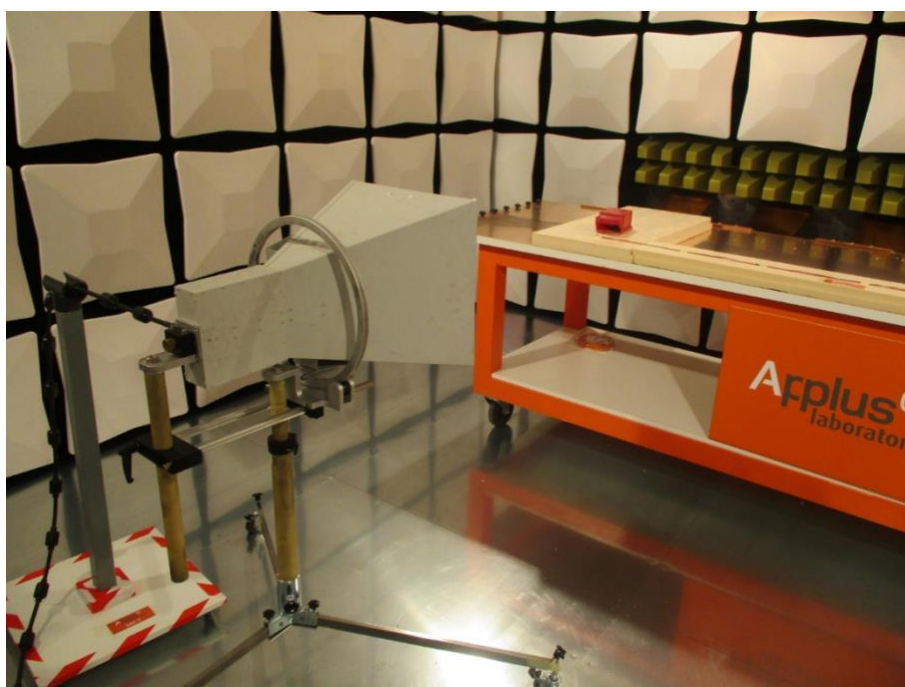


Figura 3.6 Antena Horn utilizada en el ensayo a frecuencias superiores a 1000 MHz.

3.1.5. Niveles de ambiente

Las medidas de los niveles de ambiente se pueden consultar en el Anexo A de la memoria.

3.1. RE 330: Emisiones Radiadas en baja frecuencia

3.1.1. Motivación

Este ensayo hace referencia a las emisiones radiadas de campo magnético que se generan de equipos de alta tensión. Por este motivo, los equipos de baja tensión están exentos de realizar este ensayo.

3.1.2. Requerimientos de la normativa Ford FMC1278

El ensayo RE 330 de emisiones radiadas de campo magnético se debe realizar en el rango de frecuencias de los 150 kHz hasta los 30 MHz. En la Figura 3.7. se muestra el límite de emisiones definido por la norma Ford FMC1278:2018 a una distancia de 1 metro del equipo bajo ensayo. Este límite está definido a partir de la tabla 3.6 donde se hace referencia a los rangos de frecuencia y los límites aplicables.

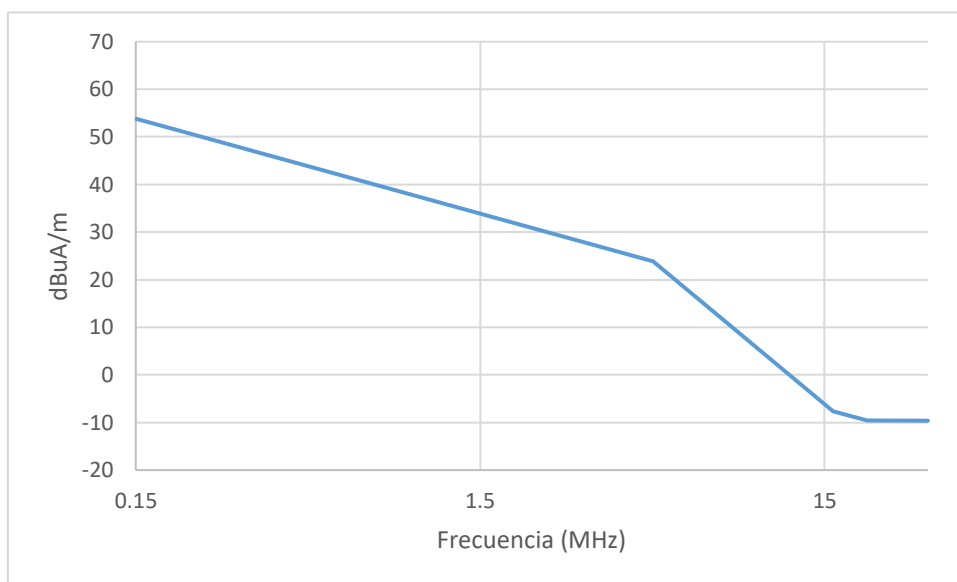


Figura 3.7. Gráfica del límite de emisiones radiadas de campo magnético.

Tabla 3.6. RE 330 Requisitos de Emisiones Radiadas en LF

Rango de frecuencia (MHz)	Límite (dBuA/m)*
0,15 – 4,77	$37,36 - 20 * \text{Log}(f)$
4,77 – 15,92	$64,52 - 60 * \text{Log}(f)$
15,92 – 20	$16,45 - 20 * \text{Log}(f)$
20 – 30	- 9,57

*f =frecuencia en MHz

En la tabla 3.7. se muestra el sistema de medida utilizado para realizar el ensayo de emisiones radiadas de campo magnético en baja frecuencia.

Tabla 3.7. RE 330 Requisitos del sistema de medida

Parámetros	Límite A
Método de detección	Pico
Ancho de banda {MBW} (kHz)	9/10
Salto de frecuencia (kHz)	0,5*MBW
Tiempo de medida (s)	≥ 1

3.1.3. Detalles del ensayo y características técnicas

3.1.3.1. Procedimiento

Antes de realizar cualquier medida del equipo bajo ensayo (EUT), se deben comprobar los niveles de ambiente y que este nivel este 6dB por debajo del límite permitido. Si este requisito no se cumple, el EUT no puede ser ensayado hasta que el problema este solventado y los niveles de ambiente estén 6dB por debajo del límite y así asegurar incertidumbre menor.

Para medir los niveles de ambiente se usarán los valores establecidos en las tablas 3.6 y 3.7 del apartado 3.1.2.

Una vez comprobado que los niveles de ambiente de la instalación cumplen el requisito. El siguiente paso es realizar todas las medidas del EUT según la Tabla 3.6 del apartado 3.1.2.

A diferencia del ensayo de Emisiones Radiadas, donde se utilizan diferentes antenas para medir las emisiones del equipo bajo ensayo, en Emisiones Radiadas de campo magnético solo se utilizará una antena circular de 60 cm de diámetro. Las medidas de emisiones se tomarán en dos posiciones: tanto en el centro del cableado como en el punto central del equipo bajo ensayo.

3.1.4. Verificación del ensayo y Test setup

Cuando se hayan realizado los niveles de ambiente del ensayo y, se haya verificado que están 6dB por debajo del límite que se indica en la tabla 3.6 se procederá a montar el EUT.

3.1.4.1. Posición del EUT y cableado

El EUT se debe situar sobre un material no conductor de permitividad relativa baja ($\epsilon_r \leq 1.4$) a 50 ± 5 mm por encima del plano de masa.

El chasis del EUT se debe conectarse al plano de masa tal y como se indica en la Figura B1 del anexo B de este documento.

La cara del EUT que esté más cerca del borde frontal del plano de masa, debe situarse a una distancia de 200 ± 10 mm del borde del plano de masa.

La longitud del cableado de ensayo paralelo a la parte frontal del plano de masa debe ser de 1.500 ± 75 mm y debe situarse paralela al borde del plano de masa enfrentada a la antena a una distancia de 100 ± 10 mm del borde.

El cableado, debe estar en línea recta sobre el material no conductor y a 50 mm por encima del plano de masa.

Entre el cableado de alta tensión (HV) y el cableado de baja tensión (LV) debe haber una separación de 100 ± 10 mm.

En la figura 3.8 se muestra la disposición del equipo según la figura B1 del anexo B de este documento.

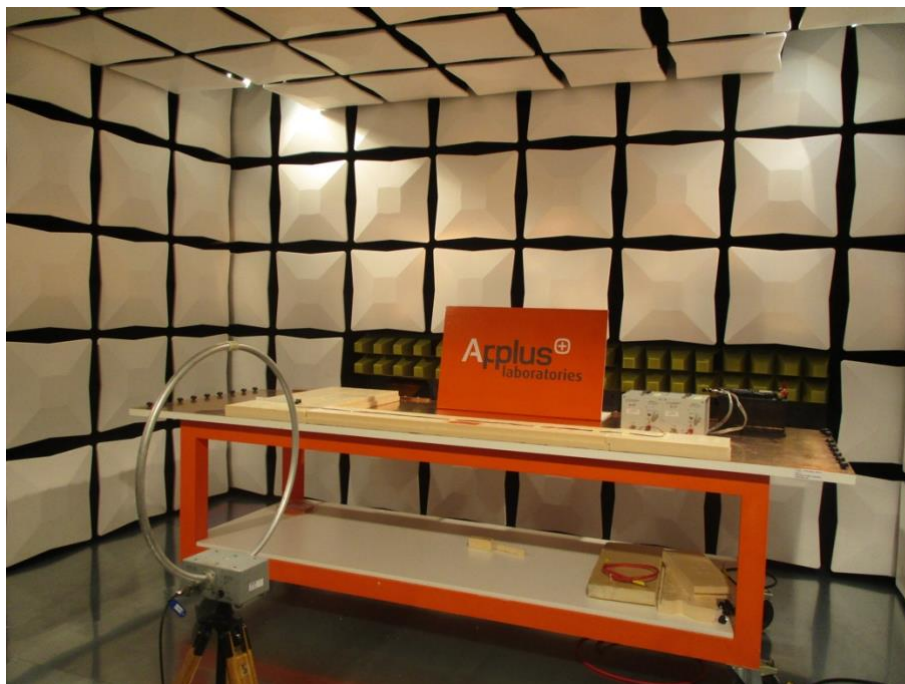


Figura 3.8 Disposición del EUT en el plano de masa según normativa FMC1278.

3.1.5. Niveles de ambiente

Las medidas de los niveles de ambiente se pueden consultar en el Anexo B de la memoria.

3.2. CE 420: Emisiones Conducidas en RF

3.2.1. Objetivo

Los ensayos de Emisiones Conducidas tratan de evaluar los niveles de emisiones conducidas por radiofrecuencia (RF) no intencionados que producen los equipos cuando están alimentados a través de una fuente de alimentación.

3.2.2. Requerimientos de la normativa Ford FMC1278

Para poder realizar los ensayos de emisiones conducidas se debe cumplir que el rango de frecuencias ensayado cubra de los 0,53 MHz hasta los 108 MHz.

Las Emisiones Conducidas en RF de los equipos se deben verificar tanto en las líneas de alimentación como en las líneas de retorno (o GND) y no deben exceder los niveles de la Tabla 3.8. Este ensayo se limita a las bandas de AM y FM. Las frecuencias de AM están comprendidas en el rango de frecuencias de 0,53 MHz a 1,605 MHz y las frecuencias de radio FM que van desde 75 MHz hasta los 108 MHz.

Tabla 3.8. CE 420 Requisitos de Emisiones Conducidas en RF

Banda #	Servicio de RF	Rango de frecuencia [MHz]	Límites (dBuV)	
			AVG	QP
G1	AM	0,53 – 1,7	48	66 (76) ¹
M0	n/a	20 – 30		36 (52) ¹
M1	n/a	30 – 75		36 (52) ¹
SA1	FM 1	75 – 90		36 (52) ¹
G3	FM 2	87,5 – 108		36 (52) ¹

1 El nivel más elevado solo aplica para bobinas de encendido.

3.2.3. Detalles del ensayo y características técnicas

3.2.3.1. Procedimiento

Antes de realizar cualquier medida del equipo bajo ensayo (EUT), se deben comprobar los niveles de ambiente y que este nivel este 6dB por debajo del límite permitido. Si este requisito no se cumple, el EUT no puede ser ensayado hasta que el problema este solventado y los niveles de ambiente estén 6dB por debajo del límite y así asegurar incertidumbre menor.

Para medir los niveles de ambiente se usarán los valores establecidos en las tablas 3.3, 3.4 y 3.5 del apartado 1.1.2.

Una vez comprobado que los niveles de ambiente de la instalación cumplen el requisito. El siguiente paso es realizar todas las medidas del EUT según la Tabla 3.8 del apartado 3.2.2.

A diferencia del ensayo de Emisiones Radiadas, donde se utilizan diferentes antenas para medir las emisiones del equipo bajo ensayo, en Emisiones Conducidas de RF se utilizará el puerto de medida de RF de las LISN (red de estabilización de impedancia de la línea). Este elemento es clave a la hora de realizar ensayos de Emisiones Conducidas ya que crea una impedancia conocida para poder medir los niveles de ruido del EUT.

Este ensayo se realizará por cada línea de alimentación y retorno que tenga el equipo.

3.2.4. Verificación del ensayo y test setup

Cuando se hayan realizado los niveles de ambiente del ensayo y, se haya verificado que están 6dB por debajo del límite que se indica en la tabla 3.8 se procederá a montar el EUT.

3.2.4.1. Posición del EUT y cableado

El EUT se debe situar sobre un material no conductor de permitividad relativa baja ($\epsilon_r \leq 1.4$) a 50 ± 5 mm por encima del plano de masa.

El chasis del EUT no debe conectarse al plano de masa a menos que esté previsto simular la configuración real del vehículo.

La longitud del cableado entre el conector del EUT y la LISN debe ser de 200 ± 50 mm.

Tanto la fuente de alimentación como las LISN utilizadas durante el ensayo deberán estar conectadas al plano de masa del ensayo.

Se deberá utilizar una LISN por cada línea de alimentación y retorno que tenga el equipo bajo ensayo y se deberán medir las emisiones por separado.

Las líneas que no estén bajo ensayo deberán estar conectadas a LISN cargadas con 50 ohms.

La figura 3.9. se basa en la disposición del equipo según el diagrama del Anexo C.

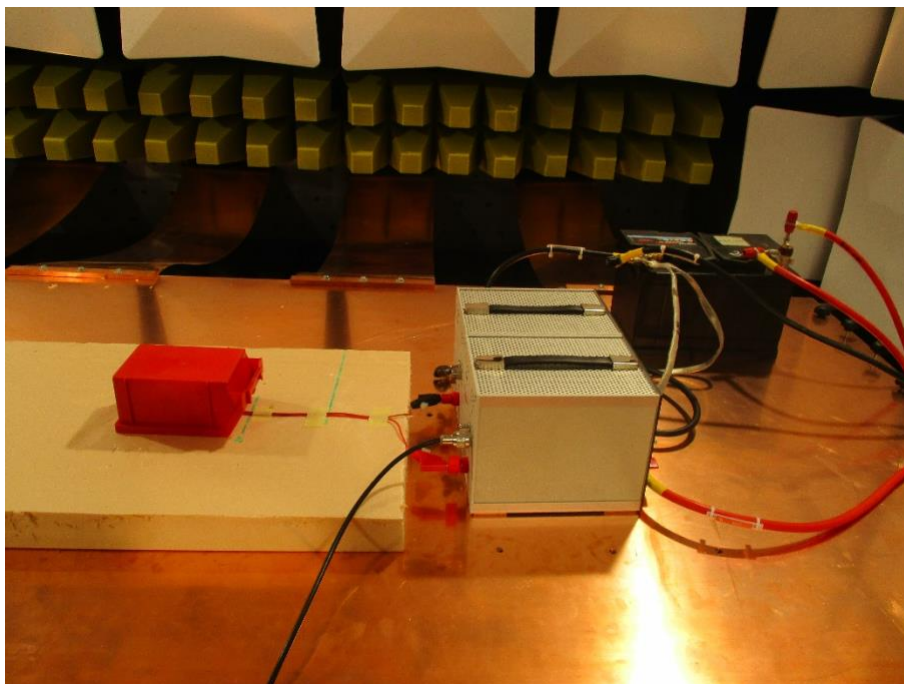


Figura 3.9 Disposición del EUT en el plano de masa según normativa FMC1278.

3.2.5. Niveles de ambiente

Las medidas de los niveles de ambiente se pueden consultar en el Anexo C de la memoria.

3.3. CE 421: Emisiones Conducidas en baja frecuencia

3.3.1. Objetivo

Los ensayos de Emisiones Conducidas tratan de evaluar los niveles de emisiones conducidas de baja frecuencia (LF) no intencionados que producen los equipos cuando están alimentados a través de una fuente de alimentación.

3.3.2. Requerimientos de la normativa Ford FMC1278

El ensayo de emisiones conducidas FMC1278 se debe realizar en el rango de frecuencias de los 10 kHz hasta los 150 kHz. En la Figura 3.9 se puede apreciar el límite de emisiones definido por la norma Ford FMC1278. La Tabla 3.10 define los límites de emisiones para cada banda ensayada.

Las emisiones conducidas en LF de los equipos bajo ensayo se deben medir a línea a línea a través de una pinza de corriente que cubra, como mínimo, de los 100 Hz hasta los 100 MHz.

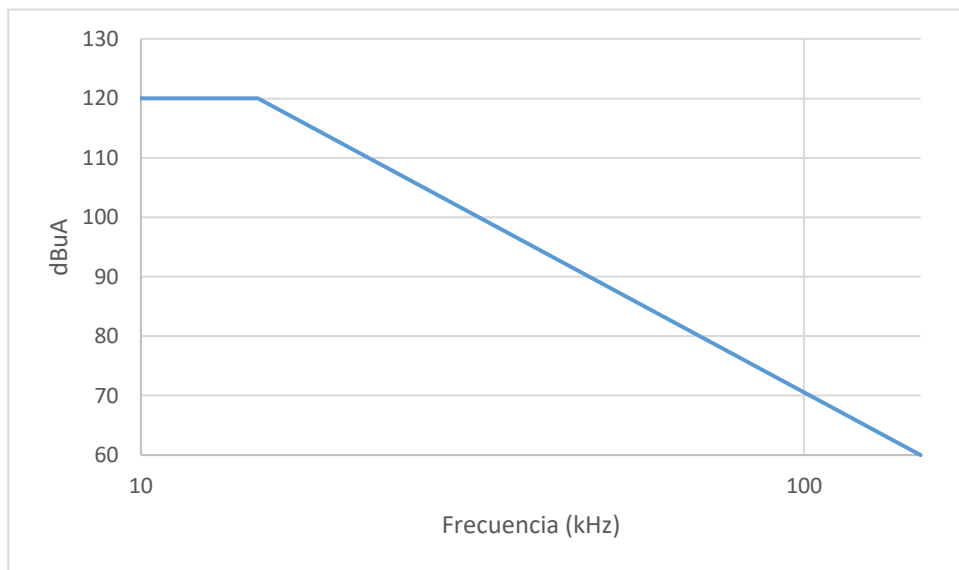


Figura 3.9. CE 421 Requisitos de Emisiones Conducidas en LF

Tabla 3.10. CE 421 Requisitos de Emisiones Conducidas en LF

Rango de frecuencia (kHz)	Límite (dBuA)*
10 – 15	120

15 – 150	$120 - 60 \cdot \log\left(\frac{f}{15}\right)$
----------	--

*f =frecuencia en kHz

Tabla 3.11. CE 421 Requisitos del sistema de medida de Emisiones Conducidas en LF

Rango de frecuencia (kHz)	Detector	Ancho de Banda (MBW) [kHz]	Paso de frecuencia (kHz)	Mínimo tiempo de medida (ms)
10 – 150	Pico	2 – 5	0,5*MBW	100

3.3.3. Detalles del ensayo y características técnicas

3.3.3.1. Procedimiento

Para realizar este ensayo se utilizará una pinza de corriente de lectura. La curva de impedancia de la pinza no debe superar los 1,5 ohm, tal como se indica en la siguiente Figura 3.10.

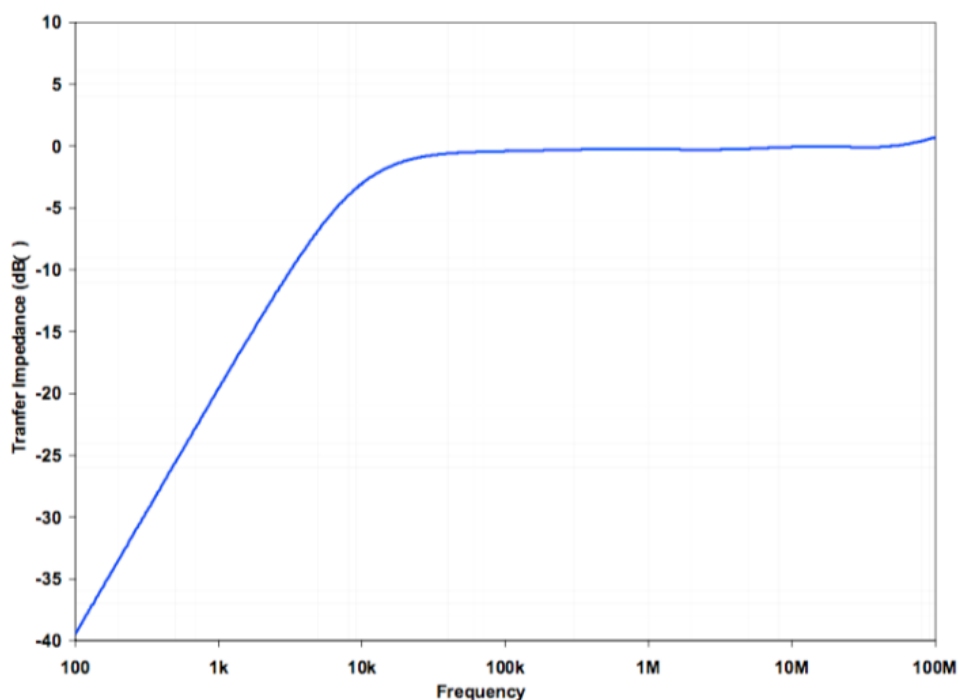


Figura 3.10 CE 421 Curva de impedancia de la pinza de corriente.

Antes de realizar cualquier medida del equipo bajo ensayo (EUT), se deben comprobar los niveles de ambiente y que este nivel este 6dB por debajo del límite permitido. Si este requisito no se cumple, el EUT no puede ser ensayado hasta que el problema este solventado y los niveles de ambiente estén 6dB por debajo del límite y así asegurar una incertidumbre menor.

Para medir los niveles de ambiente se usarán los valores establecidos en la tabla 3.11 donde nos indica el ancho de banda, el paso y el tiempo mínimo de medida para cada frecuencia.

Una vez comprobado que los niveles de ambiente de la instalación cumplen el requisito. El siguiente paso es realizar todas las medidas del EUT según la Tabla 3.10 del apartado 3.2.2 de Requerimientos del ensayo.

3.3.4. Verificación del ensayo y test setup

Cuando se hayan realizado los niveles de ambiente del ensayo y, se haya verificado que están 6dB por debajo del límite que se indica en la tabla 3.10 se procederá a montar el EUT.

3.3.4.1. Posición del EUT y cableado

El EUT se debe situar sobre un material no conductor de permitividad relativa baja ($\epsilon_r \leq 1.4$) a 50 ± 5 mm por encima del plano de masa.

El chasis del EUT no debe conectarse al plano de masa a menos que esté previsto simular la configuración real del vehículo.

La longitud del cableado entre el conector del EUT y la LISN debe ser de 200 ± 50 mm.

Tanto la fuente de alimentación como las LISN utilizadas durante el ensayo deberán estar conectados al plano de masa del ensayo.

La LISN durante el ensayo deberá tener su terminación de lectura en circuito abierto.

La figura 3.11 muestra la disposición del equipo en el plano de masa según el esquema del Anexo D de este documento.



Figura 3.11 Disposición del EUT en el plano de masa según normativa FMC1278.

3.3.5. Niveles de ambiente

Las medidas de los niveles de ambiente se pueden consultar en el Anexo D de la memoria.

3.4. CE 410: Emisiones Transitorias

3.4.1. Objetivo

Los ensayos de Emisiones Transitorias simulan la conmutación de líneas de alimentación de los equipos bajo ensayo. Este nivel de emisión, a diferencia de los ensayos en RF, tiene la peculiaridad que se realiza en el dominio temporal y se observa la respuesta en tensión del equipo.

Se debe medir y evaluar los transitorios que genera el EUT a través de las líneas de alimentación mediante la activación y desactivación de un interruptor para evaluar cómo puede afectar a otros dispositivos conectados en la misma línea de alimentación.

3.4.2. Requerimientos de la normativa Ford FMC1278

Los transitorios en tensión no deben exceder los límites de la tabla 3.12 y la Figura 3.12.

Tabla 3.12. CE 410 Límites de las Emisiones Transitorias en tensión

Polaridad de la amplitud	Sistemas de 12 V	Sistemas de 24 V
Negativa (U_{S1})	- 100 V	- 450 V
Positiva (U_{S2})	+ 75 V	+ 150 V

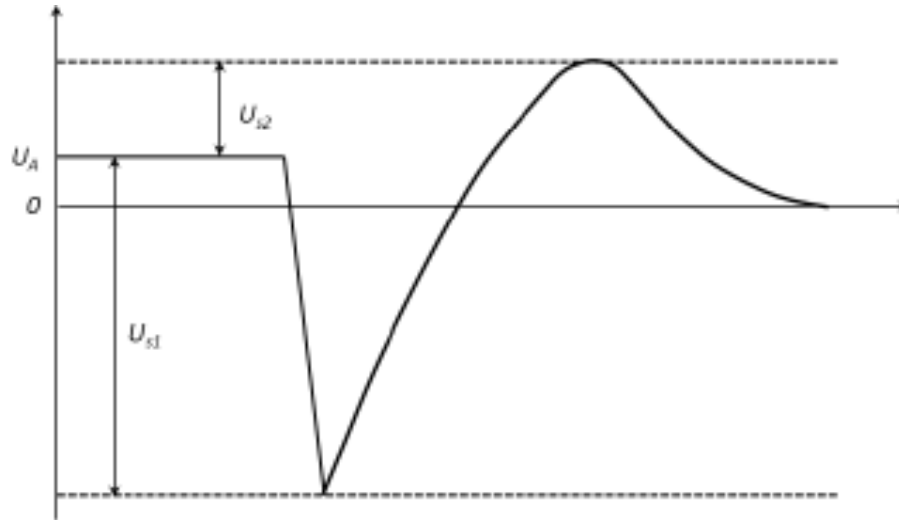


Figura 3.12 CE 410 Límites de las Emisiones Transitorias en tensión

Para poder realizar este ensayo se debe utilizar un interruptor electrónico que cumpla las siguientes características.

Tabla 3.13. CE 410 Características del interruptor electrónico

Características	12 VDC	24 VDC
Protección de transitorios en tensión	> 200 V	> 500 V
Tiempo de conmutación	< 400 ns	
Consumo de corriente	> 60 A	
Caída de tensión	< 3 V	

3.4.3. Detalles del ensayo y características técnicas

3.4.3.1. Procedimiento

Para medir las emisiones transitorias, el EUT se conecta y desconecta mediante un switch (Interruptor) para generar perturbaciones a lo largo de la línea de alimentación.

Los transitorios de voltaje que genera el EUT, se miden utilizando la LISN para asegurar una condición de carga de impedancia conocida para el EUT.

Se debe utilizar un osciloscopio digital con un muestreo mayor a 1GS/s y un tamaño mínimo de memoria de 2048 muestras. Además, su ancho de banda debe ser mayor a 100 MHz. La sonda de tensión utilizada debe tener una atenuación de 1:100 y una capacidad asociada mejor de 4 pF.

Si el equipo bajo ensayo es un motor o un actuador, se debe ensayar la condición de encendido permanente, es decir, verificar que los transitorios generados durante el modo de funcionamiento no superan los límites establecidos de la normativa Ford FMC1278.

3.4.4. Verificación del ensayo y test setup

3.4.4.1. Posición del EUT y cableado

El equipo bajo ensayo se colocará sobre un material no conductor de permitividad relativa baja ($\epsilon_r \leq 1.4$) a 50 ± 5 mm por encima del plano de masa.

La distancia entre el equipo y la LISN debe ser de 200 ± 50 mm y entre la LISN y punto de ensayo debe ser de 100 ± 25 mm.

Todos los equipos para realizar el ensayo (batería, LISN, interruptor) deben ir conectados al plano de masa tal como indica la Figura E.1 del anexo de este documento.

La figura 3.13. se basa en la disposición del equipo del diagrama del anexo E.

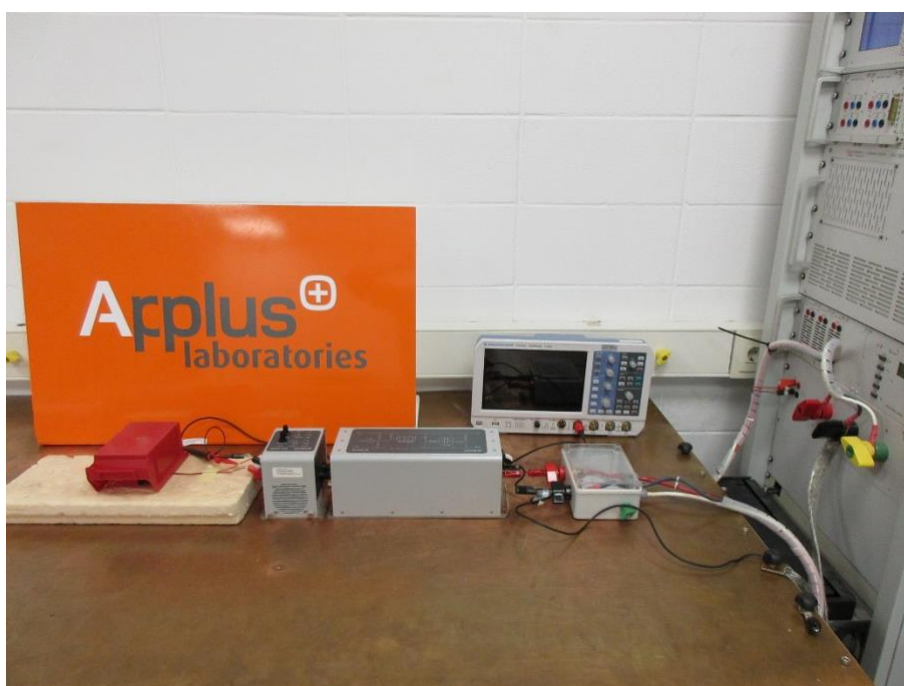


Figura 3.13 Disposición del EUT en el plano de masa según normativa FMC1278.

4. Ensayos de inmunidad

4.1. RI 112: Inmunidad de excitación de cableado (BCI)

4.1.1. Objetivo

Los ensayos de inmunidad de excitación de cableado consisten en introducir perturbaciones electromagnéticas directamente en el cableado a través de una pinza de inyección de corriente dentro de una cámara apantallada (Jaula de Faraday). Estas perturbaciones simulan señales generadas por fuentes que se pueden acoplar al sistema eléctrico.

4.1.2. Requerimientos de la normativa Ford FMC1278

Para poder realizar los ensayos de BCI se debe cumplir que el rango de frecuencias ensayado cubra desde 1 MHz hasta los 400 MHz. En la Figura 4.1 se muestran los niveles de severidad del ensayo RI 112 en función de la frecuencia.

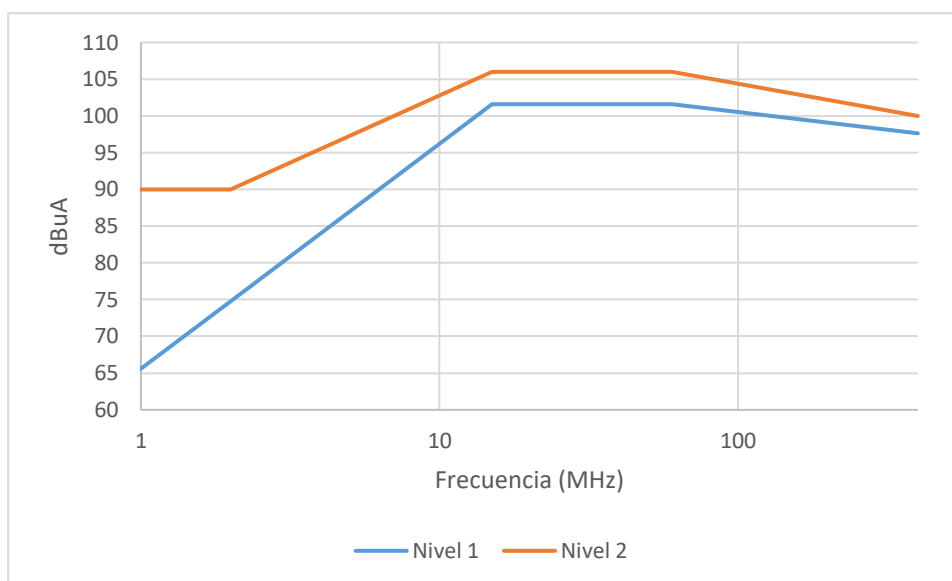


Figura 4.1 RI 112 Niveles de severidad para el ensayo RI 112.

La tabla 4.1. muestra las bandas aplicadas durante el ensayo y los tipos de modulación que se aplican a cada severidad.

Tabla 4.1. RI 112 Requisitos del nivel de inmunidad de BCI

Banda	Rango de frecuencia (MHz)	Nivel 1 (dBuA)	Nivel 2 (dBuA)	Modulación
1	1 – 2	65,6 – 74,8	90	CW, AM 80%
2	2 – 15	74,8 – 101,6	90 – 106	CW, AM 80%
3	15 – 60	101,6	106	CW, AM 80%
4	60 – 400	101,6 – 97,6	106 – 100	CW, AM 80%

Hay dos tipos de modulación que se deben ensayar:

- CW (*Continuous Wave*) u Onda continua: Señal sinusoidal sin modular.
- AM (Amplitud modulada): Señal donde se transmite la información a partir de variaciones de la amplitud de la portadora.

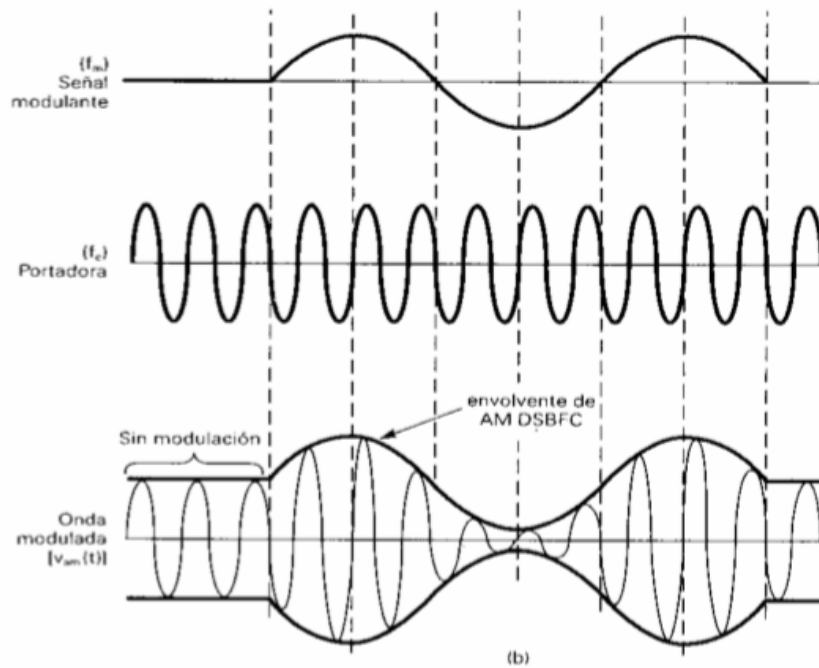


Figura 4.2 Modulación de una señal AM.

4.1.3. Detalles del ensayo y características técnicas

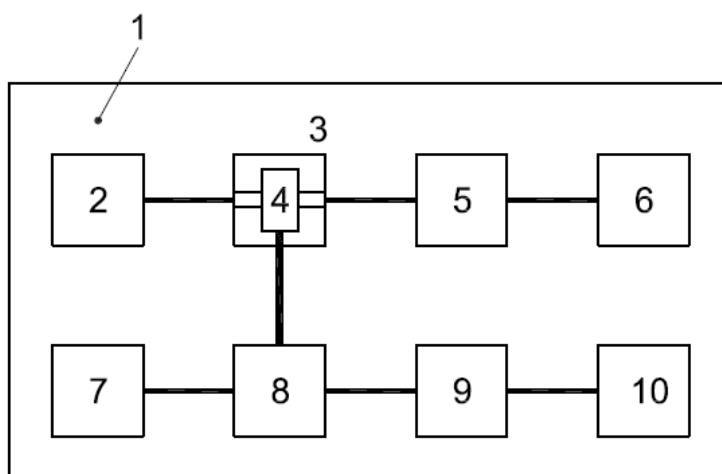
4.1.3.1. Procedimiento

En el presente ensayo se introducen señales de perturbación directamente en el cableado por medio de una pinza de inyección de corriente. La pinza de inyección es un transformador de corriente a través del cual se pasan los cables del equipo bajo ensayo.

Se utiliza el método de sustitución acorde a la ISO 11452-4:2011. Este método consiste en someter al equipo bajo ensayo al nivel de severidad indicado en la tabla 4.1. En cada frecuencia, se aumenta el nivel de campo progresivamente hasta el nivel de severidad elegido. Después, se mantiene el nivel de campo durante el tiempo de respuesta mínimo necesario para que el equipo bajo ensayo haya hecho un ciclo completo de trabajo (el tiempo de exposición debe ser de 1 s como mínimo). Por último, se disminuye el nivel de campo en, al menos, 20dB antes de pasar a la siguiente frecuencia.

Para poder utilizar este método, antes de realizar el ensayo se debe calibrar a partir de la potencia forward inyectada. El nivel de severidad se mide de forma indirecta sobre una carga de 50 Ω. A diferencia del ensayo que se inyectan dos señales distintas (AM y CW), para la calibración del ensayo solo se debe calibrar a partir de una onda sinusoidal no modulada (CW).

La Figura 4.3 muestra el esquema de calibración del ensayo RI 112.



Key

- | | |
|-------------------------------------|--|
| 1 shielded enclosure | 7 RF power level measuring device |
| 2 50 Ω coaxial load, VSWR 1,2:1 max | 8 RF 50 Ω dual directional coupler (with 30 dB minimum decoupling coefficient) |
| 3 calibration fixture | 9 broadband amplifier with 50 Ω output impedance |
| 4 injection probe | 10 RF signal generator |
| 5 50 Ω attenuator | |
| 6 spectrum analyser or equivalent | |

Figura 4.3 Esquema de la calibración del nivel de forward según la normativa ISO 11452-4 de 2011.

Una vez montado el sistema, hay que hacer barrido en frecuencia con los niveles de severidad de la tabla 4.1 y registrar la potencia de Forward necesaria para alcanzar dicha corriente. Las calibraciones del ensayo están incluidas en el apartado 4.15. Calibración del ensayo.

4.1.4. Verificación del ensayo y test setup

Para poder realizar este ensayo se deben realizar dos montajes según el diagrama del Anexo F de este documento.

- **(a) BDCI.** El retorno del cableado debe conectarse directamente al plano de masa con una distancia de 200 ± 50 mm. Tal como ilustra el esquema de la Figura D.1 del Anexo D. Este método contempla diversas distancias entre la pinza de inyección de corriente y el equipo bajo ensayo, 150 mm y 450 mm, entre 1 a 60 MHz.
- **(b) CBCI.** Todo el cableado debe pasar a través de la pinza de corriente. Este método se debe realizar entre 60 y 400 MHz a dos distancias entre la pinza de inyección y el EUT, 450 mm y 750 mm.

El EUT se debe situar sobre un material no conductor de permitividad relativa baja ($\epsilon_r \leq 1.4$) a 50 ± 5 mm por encima del plano de masa.

El chasis del EUT no debe conectarse al plano de masa a menos que esté previsto simular la configuración real del vehículo.

La cara del EUT debe estar ubicada al menos a 100 mm del borde del plano de masa.

Debe haber una distancia de al menos 500 mm entre el EUT y cualquier parte metálica, como las paredes de la cámara apantallada, con la excepción del plano de masa en el que se coloca el EUT.

La longitud del cableado debe ser de 1700 mm con un máximo de 2000 mm.

La Figura 4.4 corresponde al test setup de BDCI montado sobre plano de masa en una cámara apantallada.

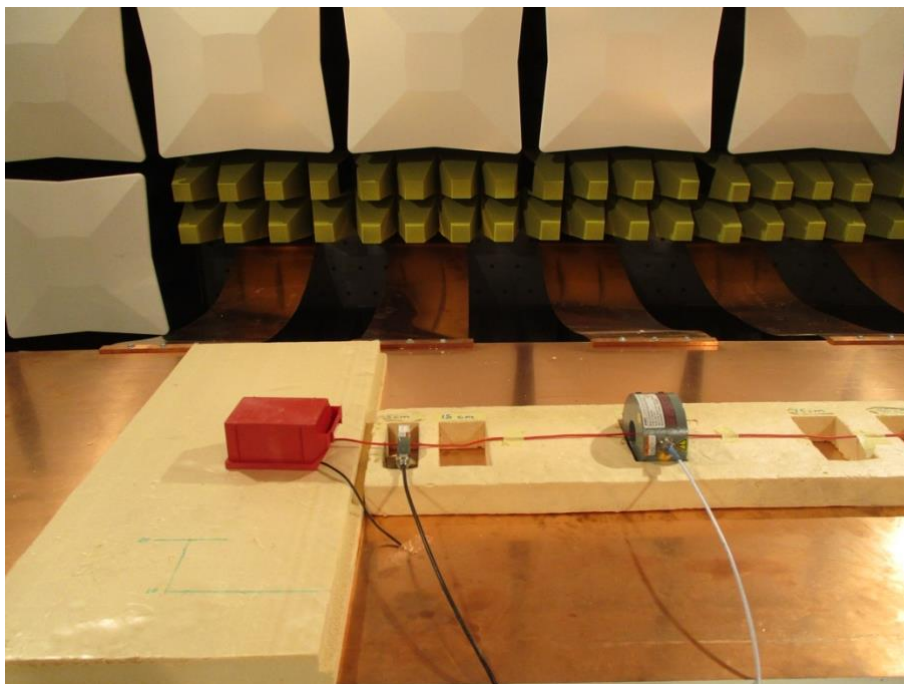


Figura 4.4 Disposición del EUT en el plano de masa según normativa FMC1278. Método BDCI.

La Figura 4.5 corresponde al test setup de CBCI montado sobre plano de masa en una cámara apantallada.



Figura 4.5 Disposición del EUT en el plano de masa según normativa FMC1278. Método CBCI.

4.1.5. Calibración del ensayo

Las medidas de las potencias del ensayo se pueden consultar en el Anexo F de la memoria.

4.2. RI 114: Inmunidad radiada

4.2.1. Objetivo

Los ensayos de inmunidad radiada pretenden simular las interferencias y perturbaciones que recibe el equipo bajo ensayo de otros elementos externos, como pueden ser: radios, teléfonos móviles, radares, etc... De esta manera, poder evaluar el funcionamiento del equipo mientras está bajo perturbaciones electromagnéticas dentro de una cámara semi-anecóica.

4.2.2. Requerimientos de la normativa Ford FMC1278

Para poder realizar los ensayos de inmunidad radiada se debe cumplir que el rango de frecuencias ensayado cubra des de 360 MHz hasta los 3100 MHz. En la tabla 4.2 se muestra los niveles de severidad del ensayo RI 114 en función de la frecuencia y la modulación que aplica en cada banda.

Tabla 4.2. RI 114 Requisitos del nivel de inmunidad radiada

Banda	Rango de frecuencia (MHz)	Nivel 1 (V/m)	Nivel 2 (V/m)	Modulación
5	360 – 806	60	100	CW, AM 80% PM ¹ PRR= 18 Hz, PD = 28 ms ²
6	806 – 2000	60	n/a	CW, PM PRR= 217 Hz, PD = 576 us
7	1200 – 1400	n/a	300 600 ³	PM PRR= 300 Hz, PD= 3 us
8	2700 – 3100	n/a	300 600 ³	

Nota 1. PM = La señal pulsada hace referencia a un sistema en el que la portadora de radiofrecuencia se modula con un periodo fijo y una secuencia de ciclo de trabajo fija tal y como se indica en la Figura 4.6.

Nota 2. La modulación pulsada se aplica entre 400 – 470 MHz solamente. La modulación CW y AM se aplica en toda la banda (360 – 806 MHz).

Nota 3. La potencia de 600 V/m solo aplica a equipos específicos como, por ejemplo, sensores exteriores.

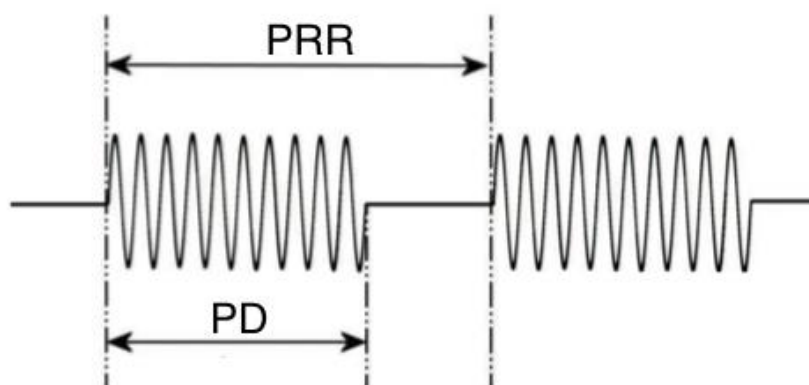


Figura 4.6 Modulación de una señal PM.

4.2.3. Detalles del ensayo y características técnicas

4.2.3.1. Procedimiento

En el presente ensayo se radia al equipo bajo ensayo a través de las antenas Logoperiódica y Horn que cubren las bandas indicadas en la tabla 4.2.

El presente ensayo se realizará con el método de sustitución, que se basa en el uso de la potencia forward como el parámetro de referencia utilizado para la calibración y durante el ensayo.

Este método se realiza en dos fases:

1. Calibración de campo electromagnético. Se debe realizar con la cámara semi-aneecóica vacía, es decir, sin el equipo bajo ensayo, ni cableado y ningún dispositivo periférico.

Para realizar la calibración, el nivel de severidad (en V/m) de la potencia forward será registrado para poder reproducir el mismo valor de campo durante el ensayo. Este nivel de intensidad se medirá con una sonda de campo para cada frecuencia de ensayo.

Se coloca el centro de fase de la sonda de campo a 150 ± 10 mm sobre el plano masa y a una distancia de 100 ± 10 mm desde el borde frontal del plano de masa.

Para frecuencias de 360 MHz a 1 000 MHz, el centro de fase de la sonda de campo estará alineado con el centro de la parte longitudinal (1500 mm de longitud) de la posición del cableado.

Para frecuencias superiores a 1 000 MHz, el centro de fase de la sonda de campo debe estar en línea con la posición EUT.

Se coloca la antena (dispositivo generador de campo) a una distancia de 1000 ± 10 mm del centro fase de la sonda de campo.

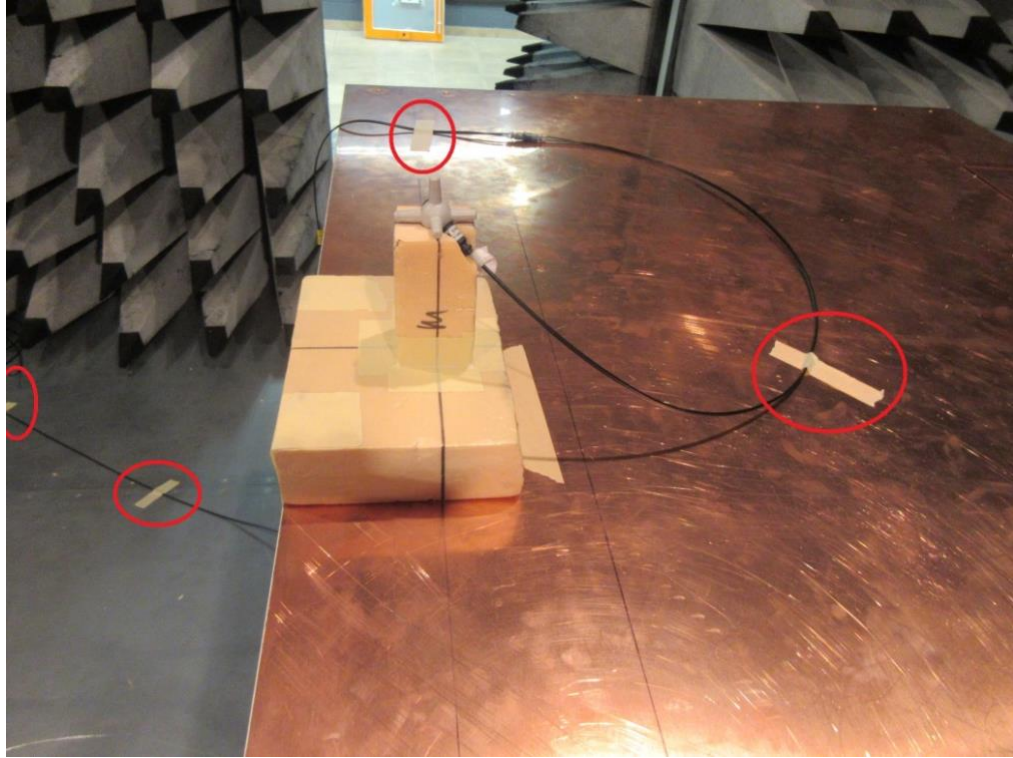


Figura 4.7 Ejemplo de la colocación de la sonda de campo según la normativa Ford FMC1278.

2. Ensayo del EUT con el cableado y los dispositivos periféricos conectados.

Consiste en someter al equipo bajo ensayo al nivel de severidad indicado en la tabla 4.2. En cada frecuencia, se aumenta el nivel de campo progresivamente hasta el nivel de severidad elegido. Después, se mantiene el nivel de campo durante el tiempo de respuesta mínimo necesario para que el equipo bajo ensayo haya hecho un ciclo completo de trabajo (el tiempo de exposición debe ser de 1 s como mínimo). Por último, se disminuye el nivel de campo en, al menos, 20dB antes de pasar a la siguiente frecuencia.

Para frecuencias de 360 MHz a 1000 MHz, la antena se debe colocar en la posición central del cableado y para frecuencias por encima de los 1000 MHz se debe situar directamente apuntando al equipo bajo ensayo, tal y como se indica en la Figura G.1 del Anexo G.

4.2.4. Verificación del ensayo y Test setup

La normativa Ford FMC1278 hace una diferenciación a la hora de realizar el ensayo entre las bandas 5 y 6 y las bandas 7 y 8.

Para realizar el ensayo en las bandas 5 y 6 se hace acorde a la Figura G.1 del Anexo G. Esta disposición del equipo es muy similar al del ensayo de emisiones radiadas ([Verificación del ensayo y Test setup](#)) a diferencia de la utilización de una única LISN.

La Figura 4.8 corresponde al test setup del ensayo de inmunidad radiada RI 114. Se muestra la disposición del equipo sobre el plano de masa y la posición de la antena Logoperiódica según indica la normativa Ford FMC1278.

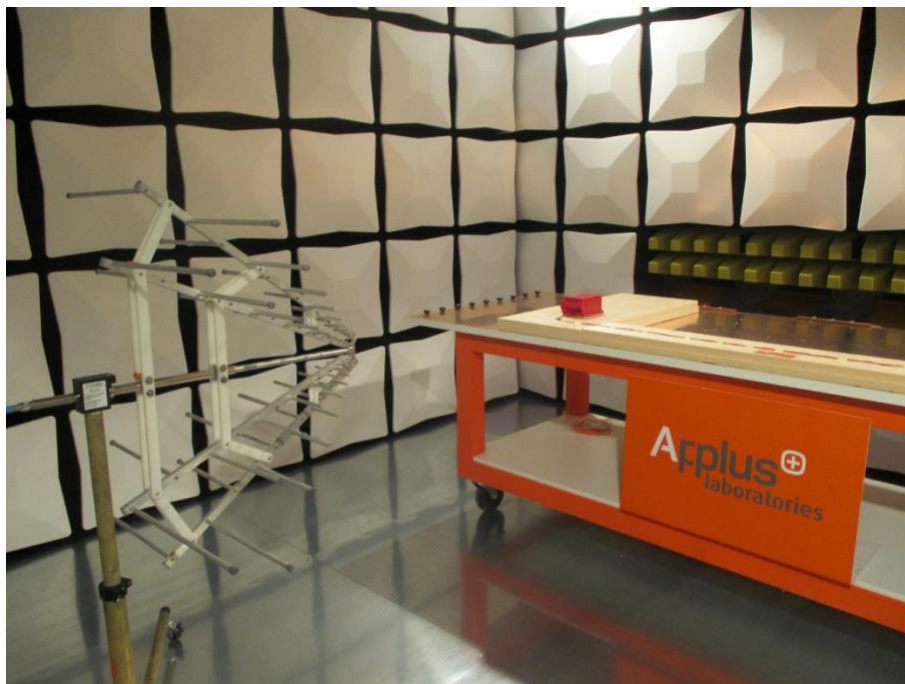


Figura 4.8 Disposición del EUT en el plano de masa según normativa FMC1278. Bandas 5 y 6. Antena Logoperiódica

La Figura 4.9. corresponde al test setup del ensayo de inmunidad radiada RI 114. Se muestra la disposición del equipo sobre el plano de masa y la posición de la antena Horn según indica la normativa Ford FMC1278.

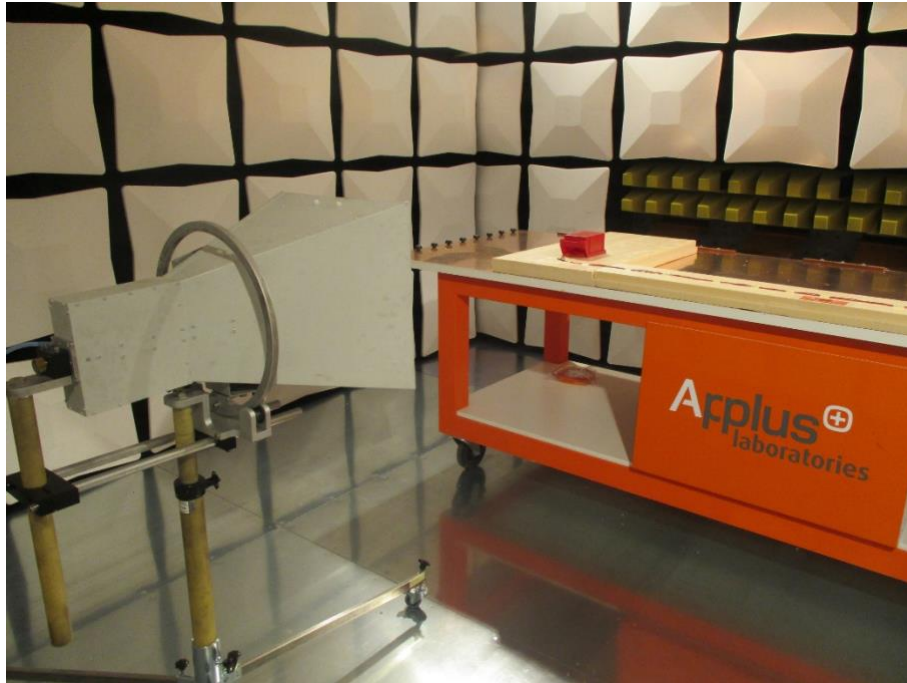


Figura 4.9 Disposición del EUT en el plano de masa según normativa FMC1278. Bandas 5 y 6. Antena Horn.

Para realizar el ensayo en las bandas 7 y 8 se hace acorde a la Figura G.2 del Anexo G. El equipo se debe situar sobre un material no conductor de permitividad relativa baja ($\epsilon_r \leq 1.4$) a 1000 ± 50 mm del suelo.

Tal y como indica la Figura G2 no se debe utilizar LISN, es decir, el equipo bajo ensayo se debe conectar directamente a los terminales de la batería.

La Figura 4.10. corresponde al test setup de las bandas 7 y 8 de la normativa Ford FMC1278. Tal y como indica la normativa Ford FMC1278 no se utiliza el plano de masa sino una mesa aislante donde se colocará el equipo bajo ensayo.

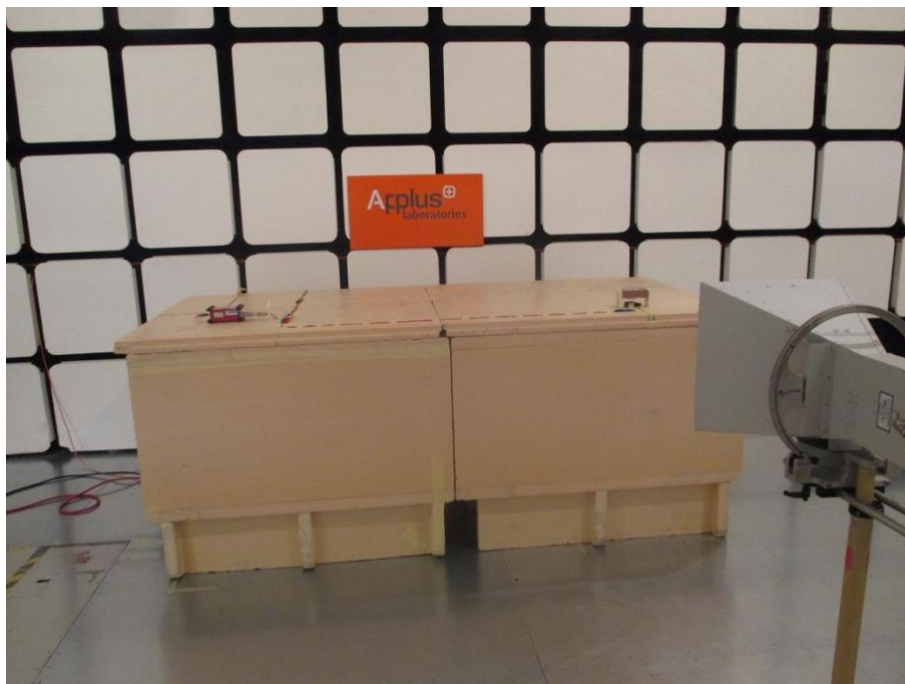


Figura 4.10 Disposición del EUT en el plano de masa según normativa FMC1278. Bandas 7 y 8.

4.2.5. Calibración del ensayo

Las medidas de las potencias del ensayo se pueden consultar en el Anexo G de la memoria.

4.3. RI 115: Inmunidad a transmisores portátiles

4.3.1. Objetivo

Los ensayos de inmunidad a transmisores portátiles pretenden simular la perturbación generada por fuentes dentro o fuera del vehículo que se pueden acoplar al equipo bajo ensayo, lo que afecta al funcionamiento normal del dispositivo.

4.3.2. Requerimientos de la normativa Ford FMC1278

En el presente ensayo se radia al equipo bajo ensayo a través de la antena de banda ancha a partir de una onda sinusoidal no modulada (CW). Se debe cumplir que el rango de frecuencias ensayadas cubra desde los 360 MHz hasta 2700 MHz.

En la tabla 4.3. se muestra la relación de las bandas de frecuencia, niveles de potencia y tipo de modulación de onda.

Tabla4.3. RI 115 Requisitos del nivel de inmunidad a transmisores portátiles

Banda	Rango de frecuencia (MHz)	Nivel 1 (W)	Nivel 2 (W)	Modulación
9	360 – 480	4,5	9,0	PM PRR= 18 Hz, PD = 28 ms
10	800 – 1000	7,0	14,0	PM PRR= 217 Hz, PD = 576 us
11	1600 – 1950	1,5	3,0	PM PRR= 217 Hz, PD = 576 us
12	1950 – 2200	0,75	1,5	PM PRR= 217 Hz, PD = 576 us
13	2400 – 2500	0,1	0,2	PM PRR= 1600 Hz, PD = 313 us
14	2500 – 2700	0,25	0,5	PM PRR= 217 Hz, PD = 576 us

Los niveles de severidad del presente ensayo se basan en la potencia neta entregada a la antena. Esto se diferencia de los anteriores ensayos que el nivel de severidad cogía de referencia la potencia forward del generador.

4.3.3. Detalles del ensayo y características técnicas

4.3.3.1. Procedimiento

Antes de realizar el ensayo, se debe comprobar que el nivel de campo electromagnético generado en la antena, por potencia neta, corresponde a los niveles de la tabla 4.56. Este proceso de calibración se realiza a partir de una onda sinusoidal no modulada (CW).

Para realizar este proceso, se debe situar la antena a una distancia mínima de 1000 mm del EUT, plano de masa y de la pared de la cámara semi-anechoica. También debe estar a más de 500 mm de cualquier absorbente. En la Figura 4.11. se muestra la disposición de la antena para poder calibrar la potencia neta indicada.

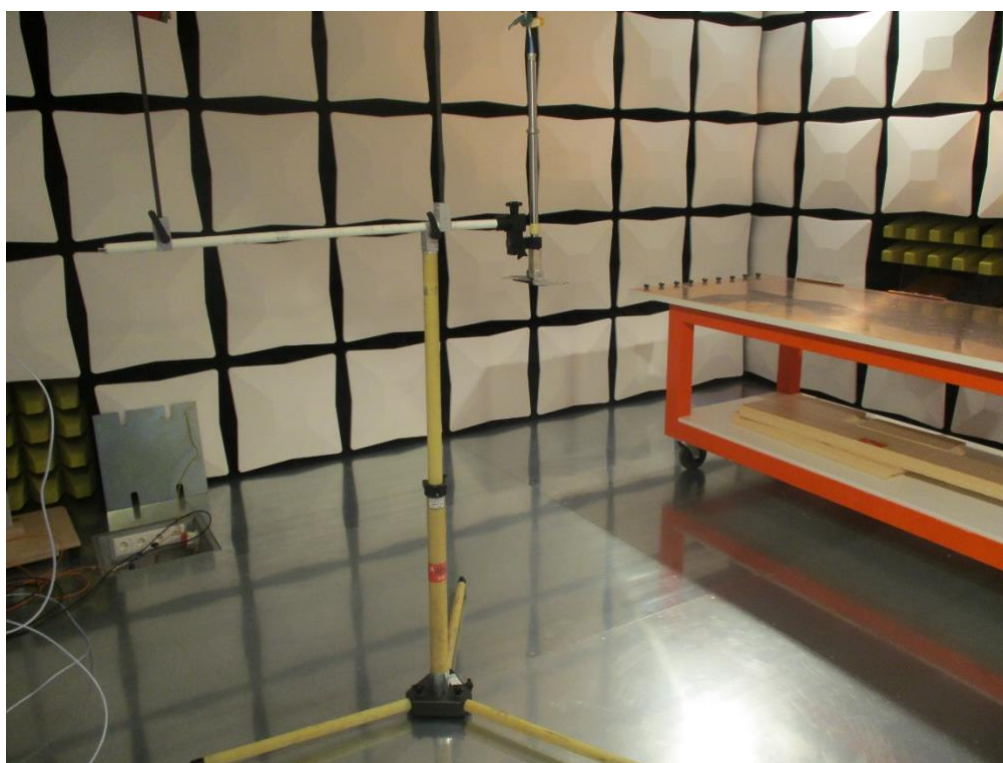


Figura 4.11 Situación de la antena para realizar la calibración por potencia neta (W).

Para realizar el ensayo se debe tener en cuenta que, debido al diseño de la antena, al ser de un tamaño reducido, para poder ensayar de una manera óptima el equipo bajo ensayo, todas las superficies del EUT que se van a ensayar se dividirán en celdas cuadradas de 100 x 100 mm para establecer así todos los puntos de ensayo.

Se coloca la antena con su centro a una distancia de 50 mm de cada uno de los puntos definidos. En estos puntos, se tendrán que realizar las exposiciones mostradas en la Figura 4.12.

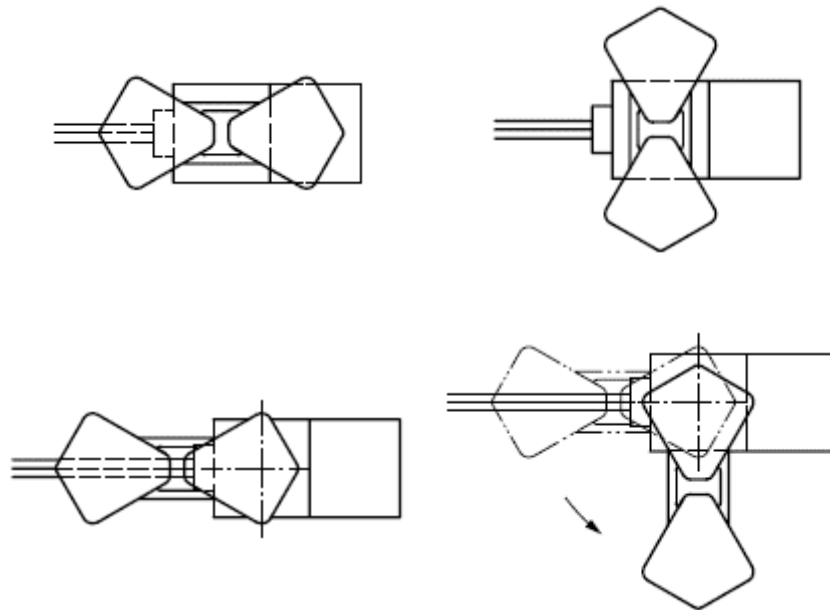


Figura 4.12 Disposiciones de la antena en el EUT para cubrir todos los puntos de ensayo.

Además de radiar sobre el equipo bajo ensayo, según la normativa Ford FMC1278, se debe radiar sobre el conector y el cableado, pero solamente los primeros 300 mm. Se debe situar la antena paralela al cableado y situarla en tres distancias: a 100 mm, 200 mm y 300 mm del conector.

4.3.4. Verificación del ensayo y test setup

Para realizar el ensayo se hace acorde a la Figura H.1 del Anexo H.

La Figura 4.13. corresponde al test setup del ensayo de inmunidad a transmisores portátiles. Se muestra la disposición del equipo sobre el plano de masa y la posición de la antena según indica la normativa Ford FMC1278.

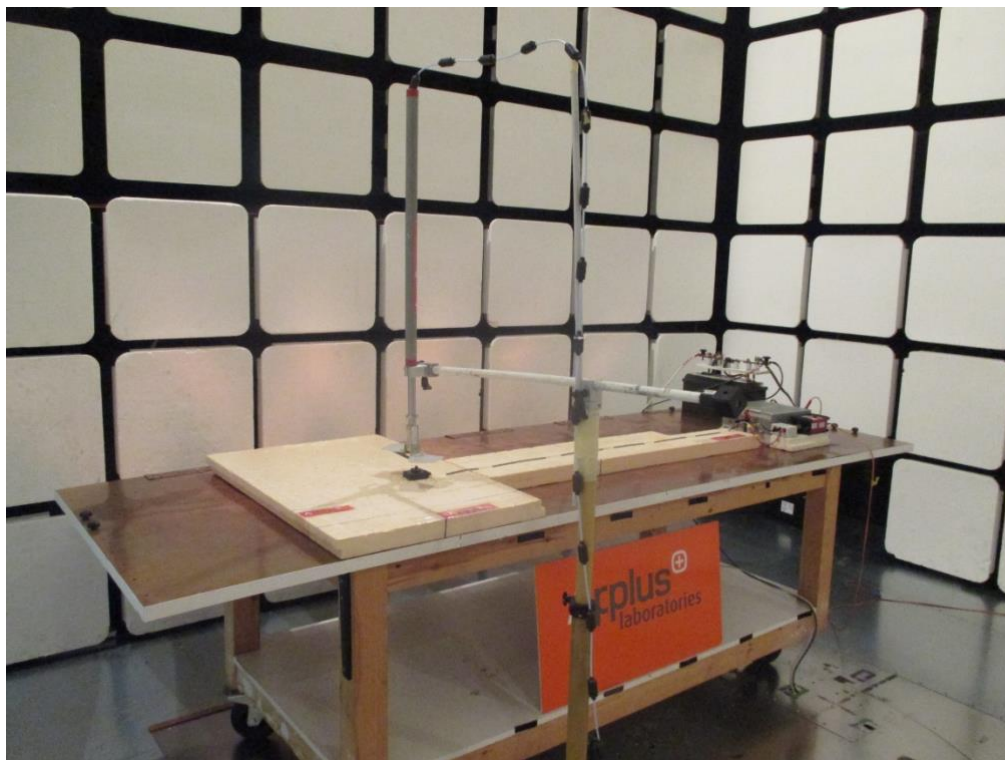


Figura 4.13 Disposición del EUT en el plano de masa según normativa FMC1278.

El EUT se debe situar sobre un material no conductor de permitividad relativa baja ($\epsilon_r \leq 1.4$) a 50 ± 5 mm por encima del plano de masa.

El chasis del EUT no debe conectarse al plano de masa a menos que esté previsto simular la configuración real del vehículo.

La cara del EUT que esté más cerca del borde frontal del plano de masa, debe situarse a una distancia mínima de 100 mm del borde del plano de masa.

La longitud del cableado entre el conector del EUT y simulador de carga debe tener una longitud mínima de 1700 mm y máxima de 2000 mm.

El cableado se debe situar sobre un material no conductor de permitividad relativa baja ($\epsilon_r \leq 1.4$) a 50 ± 5 mm por encima del plano de masa y a una distancia mínima de 200 mm del borde del plano de masa.

4.3.5. Calibración del ensayo

Las medidas de las potencias del ensayo se pueden consultar en el Anexo H de la memoria.

4.4. RI 140: Inmunidad de campo magnético

4.4.1. Objetivo

Los ensayos de inmunidad de campo magnético pretenden simular la perturbación generada por fuentes internas del vehículo, por ejemplo, motores electromecánicos, actuadores, etc. También, por fuentes de campo magnético externo, líneas de transmisión de energía, estaciones generadoras, etc. Y, así, poder evaluar el funcionamiento del equipo bajo perturbaciones electromagnéticas.

4.4.2. Requerimientos de la normativa Ford FMC1278

Para poder realizar los ensayos de inmunidad de campo magnético se debe cumplir que el rango de frecuencias ensayadas cubra desde los 0,001 kHz hasta los 100 kHz.

La normativa Ford FMC1278 define dos métodos de ensayo para realizar la inmunidad de campo magnético:

- El método de “**Loop Radiado**” se puede aplicar a equipos pequeños o equipos con dimensiones más grandes ubicando la antena en diferentes posiciones.
- El método de “**Bobina Helmholtz**” se utiliza, a veces, como un método alternativo ya que está limitada por la relación entre el tamaño del EUT y el tamaño de las bobinas que se usen.



Figura 4.14. Loop Antena.

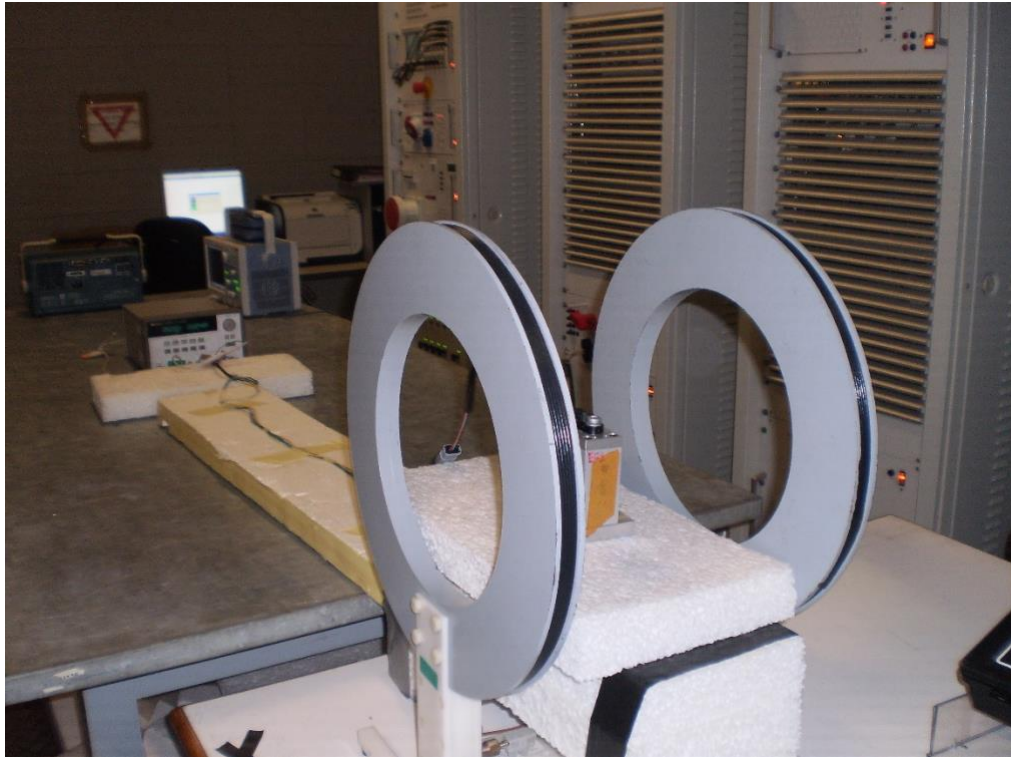


Figura 4.15. Bobina Helmholtz.

Los niveles de campo magnético que se define la normativa Ford FMC1278 son los indicados en la tabla 4.4 donde se expresa el nivel de campo en función de la frecuencia. Teniendo en cuenta también, a la hora de realizar el ensayo, el paso de frecuencia, indicado en la tabla 4.5.

Tabla 4.4. RI 140 Nivel de inmunidad de campo magnético

Frecuencia (kHz)	Nivel 1 (dBpT rms)	Nivel 2 (dBpT rms)
0,001 – 0,005		186
0,05 – 1	$165 - 20 \cdot \log \left(\frac{f}{0,05} \right)$	
1 – 10	140	
10 – 100	$139 - 20 \cdot \log \left(\frac{f}{10} \right)$	

f = frecuencia en kHz.

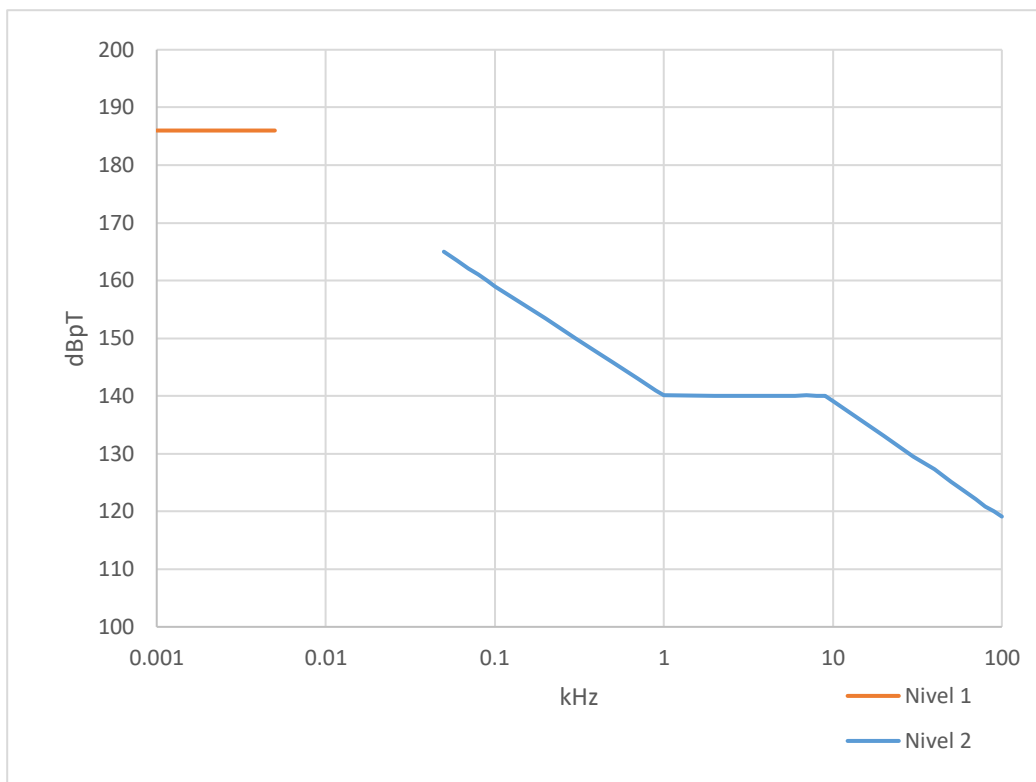


Figura 4.16. Gráfica del nivel de de campo magnético aplicado al EUT.

Tabla 4.5. RI 140 Paso de frecuencia

Rango de frecuencia [kHz]	Paso de frecuencia [kHz]
0,001 – 0,005	0,001
0,05 – 1	0,05
1 – 10	0,5
10 – 100	5
Tiempo de permanencia (s)	2

4.4.3. Detalles del ensayo y características técnicas

4.4.3.1. Procedimiento

Antes de realizar el ensayo, se debe comprobar que el nivel de campo aplicado es el que especifica la normativa.

Utilizando el método de “**Loop Radiado**” se recomienda la utilización de una antena de acuerdo a la norma ISO 11452-8: 2007.

- Diámetro: 120 mm
- Número de vueltas: 20
- Diámetro hilo aproximado de 2,0 mm

La Intensidad de Campo Magnético (H) que genera la loop a **50 mm** del bobinado viene dada por la siguiente fórmula:

$$H_{50mm} = 75,6I \quad (\text{Eq. 4.1})$$

Donde:

- H es el campo magnético en A/m que se genera a 50 mm de la bobina.
- I es la corriente en Amperios que circula por la bobina.

El campo que se genera, depende únicamente de la geometría, el número de vueltas y la corriente que circula por la antena.

A partir de la ecuación 1 se puede calcular la corriente necesaria para poder generar el campo magnético que nos indica la tabla 4.4.

Utilizando el método de “**Bobimas Helmholtz**” se debe tener en cuenta que la intensidad de campo magnético (H) que se genera en el centro de las bobinas depende de la distancia entre las dos bobinas y su forma geométrica.

$$H = \frac{0,7155NI}{R} \quad (\text{Eq. 4.2})$$

Donde:

- H es el campo magnético en A/m que se genera en el centro de las bobinas.
- I es la corriente en Amperios que circula por la bobina.
- N es el número de espiras de la bobina.
- R es el radio de la bobina en metros.

Como pasa con el método de la Loop Antena, el campo que se genera, depende únicamente de la geometría, el número de vueltas y la corriente que circula.

Como, independientemente del método utilizado, el campo magnético generado es proporcional a la corriente que circula por la bobina, se debe verificar la corriente a cada frecuencia para verificar que el campo que se está aplicando es el adecuado. Por este motivo, se utiliza una pinza de corriente con suficiente ancho de banda. La normativa Ford FMC1278 no permite utilizar una resistencia shunt para poder obtener la corriente de ensayo.

4.4.4. Verificación del ensayo y test setup

El EUT se debe situar sobre un material no conductor de permitividad relativa baja ($\epsilon_r \leq 1.4$) alejado del plano de masa a una distancia mínima de 1 metro de cualquier superficie metálica.

La bobina debe estar a una distancia de 50 mm del centro de cada una de las áreas definidas donde se aplicará el campo magnético.

Si se requiere se debe utilizar plano de masa donde se colocarán todos los periféricos y cargas que tenga el equipo bajo ensayo.

4.4.5. Calibración del ensayo

Las medidas de calibración del ensayo se pueden consultar en el Anexo I de la memoria.

4.5. RI 130: Inmunidad transitoria acoplada

4.5.1. Objetivo

Los ensayos de inmunidad de transitorios acoplados pretenden simular la perturbación acoplada de manera inductiva de un cable paralelo a otro cable. Estas perturbaciones se originan por la conmutación de cargas inductivas.

4.5.2. Requerimientos de la normativa Ford FMC1278

Para poder generar estos transitorios la fuente debe tener las siguientes características para simular la conmutación de cargas inductivas. En la Figura 4.17 se puede apreciar el setup de medida.

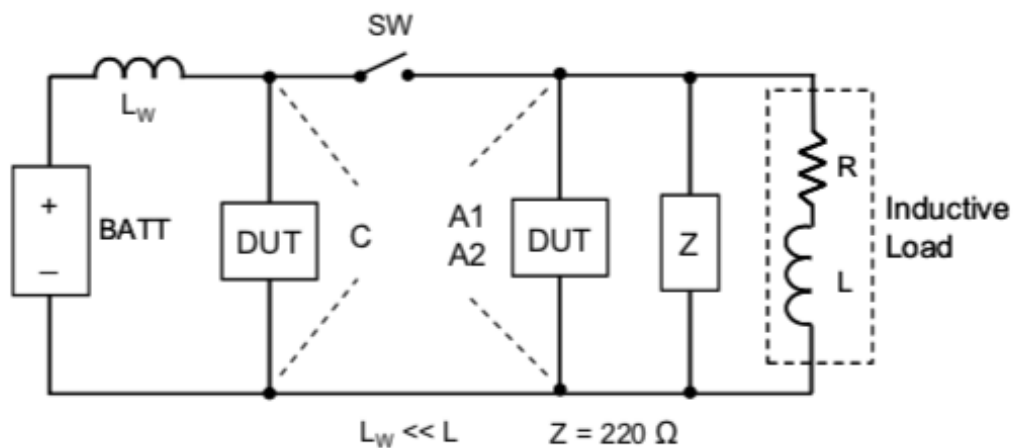


Figura 4.17. Esquema del generador de transitorios.

Los transitorios que se generan se inyectaran a través de un cable coaxial a un accesorio de pruebas de acoplamiento. Ver Anexo J para ver las características. En la Tabla 4.6 se definen los transitorios generados en los diferentes modos.

Los modos de operación y los transitorios que especifica la normativa Ford FMC1278 son los indicados en la tabla 4.6.

Tabla 4.6. RI 130 Transitorios generados

Modos	Pulsos
2	A2-1
	A2-2
3	A2-1
	A2-2

Tanto el modo 2 como el modo 3 representa una condición en la que los pulsos de prueba se aplican usando una secuencia de temporización pseudoaleatoria. A partir de estas secuencias se generar los transitorios A2-1 y A2-2. Ver Anexo J para ver las características de la conmutación pseudoaleatoria.

Los transitorios generados A2-1 y A2-2 representan el voltaje transitorio producido durante la conmutación de una carga inductiva de corriente baja (< 1 A) que comparte el mismo circuito con el equipo bajo prueba. Las características de los pulsos A2-1 y A2-2 se diferencian significativamente dependiendo de la impedancia de las otras cargas que comparten el mismo circuito que el DUT. Dada esta dependencia el pulso A2-1 se produce cuando el circuito consta solo del DUT y la carga inductiva conmutada. El pulso A2-2 se produce cuando el circuito incluye otras cargas eléctricas que comparten el mismo circuito que el DUT y la carga inductiva conmutada. Las otras cargas eléctricas son predominantemente capacitivas. (Por ejemplo, el condensador del filtro del motor del limpiaparabrisas).

Las formas de onda de los transitorios generados por el pulso A2-1 son las indicadas en el anexo J.

Tabla 4.7. Rango de valores de los pulsos A2-1 y A2-2.

Pulsos	Parámetros	Valores
A2-1	Pico positivo de tensión	Entre +100 V y +300 V
	Pico negativo de tensión	Entre -280 V y 500 V
A2-2	Corriente pico a pico	30 A

4.5.3. Verificación del ensayo y test setup

El EUT se debe situar sobre un material no conductor de permitividad relativa baja ($\epsilon_r \leq 1.4$) alejado del plano de masa a una distancia mínima de 1 metro de cualquier superficie metálica.

El equipo bajo ensayo debe estar separado como mínimo 100 mm de cualquier borde del plano de masa.

Los cables que no se están ensayando deben ir sobre plano de masa a una distancia mayor de 200 mm del accesorio de pruebas de acoplamiento tal como se indica en el test setup de la Figura J.1 del anexo de este documento.



Figura 4.18 Disposición del EUT en el plano de masa según la normativa Ford FMC1278.

4.5.4. Calibración del ensayo

Para poder calibrar los pulsos A2-1 y A2-2 es necesario un osciloscopio digital con las siguientes características:

- Mínimo 1 Giga-muestra por segundo.
- Tamaño mínimo de memoria de 8 Mega-muestras.

También, la sonda de tensión debe tener una atenuación de 100:1 y una capacidad asociada menor de 4 pF. La sonda de corriente debe tener un ancho de banda mayor de 10 MHz y un valor de lectura en RMS mínimo de 30 A).

Las calibraciones se pueden consultar en el Anexo J de este documento.

4.6. RI 150: Inmunidad acoplada

4.6.1. Objetivo

Los ensayos de inmunidad de transitorios acoplados pretenden simular las perturbaciones continuas no intencionadas. Estas perturbaciones se pueden originar en puentes PWM de alta corriente y en el sistema de carga e ignición del vehículo.

4.6.2. Requerimientos de la normativa Ford FMC1278

Las perturbaciones se simularán con una señal sinusoidal que su valor pico a pico en corriente debe tener el nivel indicado en la tabla 4.8. En la Figura 4.19 se puede ver el nivel de corriente aplicado.

Tabla 4.8. RI 150 Requerimiento de la inmunidad acoplada

Frecuencia (kHz)	Nivel de corriente (I_{p-p})
1 – 10	6
10 – 100	$6 - 5,4 \cdot \log\left(\frac{f}{10}\right)$

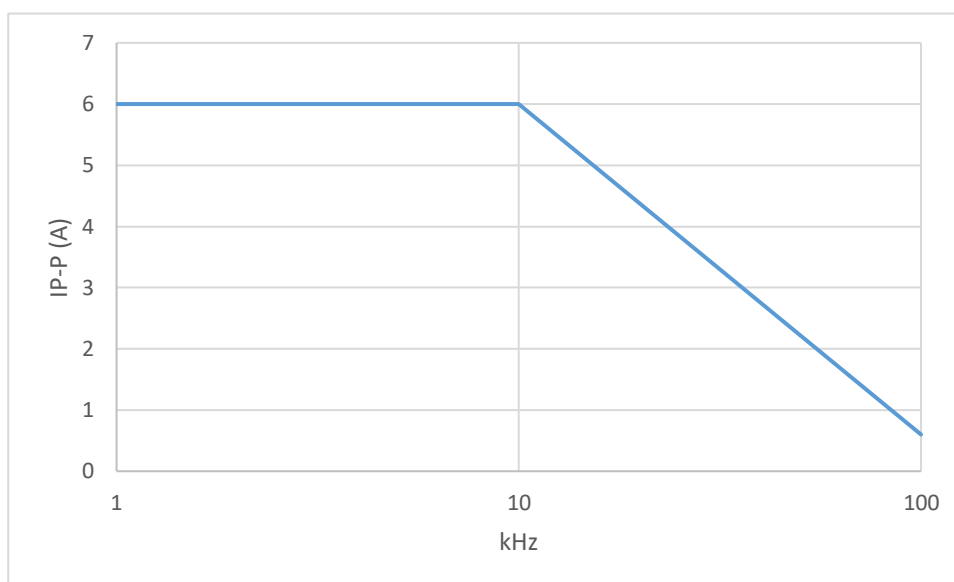


Figura 4.19 Gráfica del nivel de corriente pico a pico en función de la frecuencia en kHz.

Tabla4.9. RI 150 Requisitos de Inmunidad acoplada

Rango de frecuencia (kHz)	Paso de frecuencia (kHz)
1 – 10	0,5
10 – 100	5
Tiempo de permanencia (s)	10

4.6.3. Verificación del ensayo y test setup

El EUT se debe situar sobre un material no conductor de permitividad relativa baja ($\epsilon_r \leq 1.4$) alejado del plano de masa a una distancia mínima de 1 metro de cualquier superficie metálica.

El equipo bajo ensayo debe estar separado como mínimo 100 mm de cualquier borde del plano de masa.

Los cables que no se están ensayando deben ir sobre plano de masa a una distancia mayor de 200 mm del accesorio de pruebas de acoplamiento tal como se indica en el test setup de la Figura K.1.

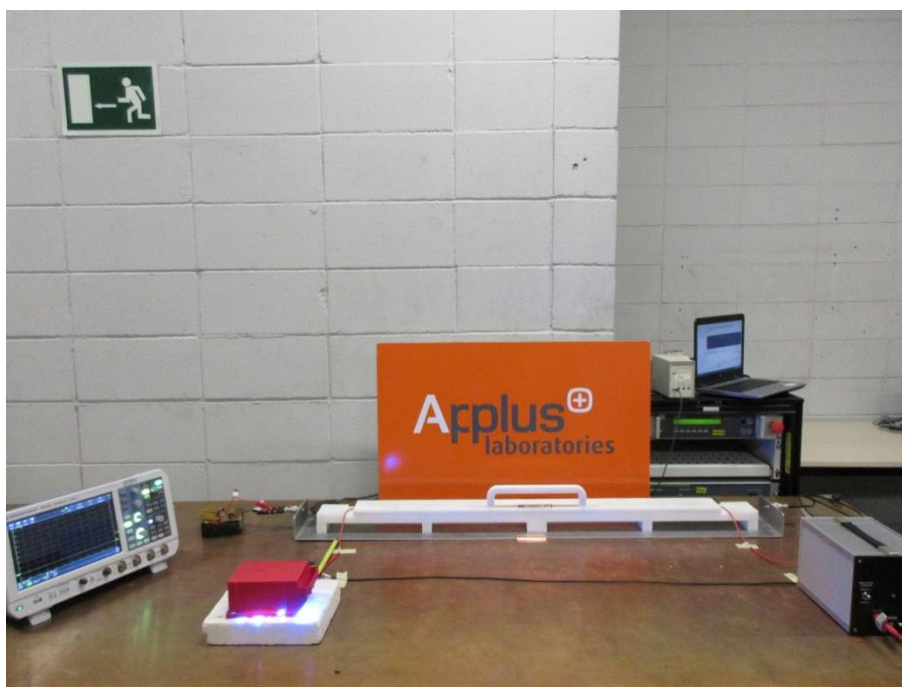


Figura 4.20 Disposición del EUT en el plano de masa según la normativa Ford FMC1278.

4.6.4. Calibración del ensayo

Las calibraciones se pueden consultar en el Anexo K de este documento.

4.7. CI 210: Inmunidad contra perturbaciones continuas de las líneas de alimentación

4.7.1. Objetivo

Los ensayos de inmunidad contra perturbaciones continuas de las líneas de alimentación pretenden simular las perturbaciones generadas a través del alternador o cualquier elemento conectado a la red de alimentación del vehículo.

4.7.2. Requerimientos de la normativa Ford FMC1278

Las perturbaciones se simularán con una señal sinusoidal que su valor pico a pico en tensión debe seguir la característica de la tabla 4.10, esta tabla hace referencia al nivel de tensión aplicado pico a pico que se debe aplicar al equipo bajo ensayo a través de su alimentación. La Figura 4.21. muestra, de manera gráfica, el nivel de tensión en función de la frecuencia que hay que aplicar según el nivel de severidad del ensayo.

Tabla 4.10. RI 150 Requerimiento de la inmunidad acoplada

Nivel	Rango de frecuencia (kHz)	Nivel de tensión (U_{p-p})
1	0,01 – 1	0,2
	1 – 10	$0,2 \cdot f$
	10 - 100	2.
2	0,01 – 10	2

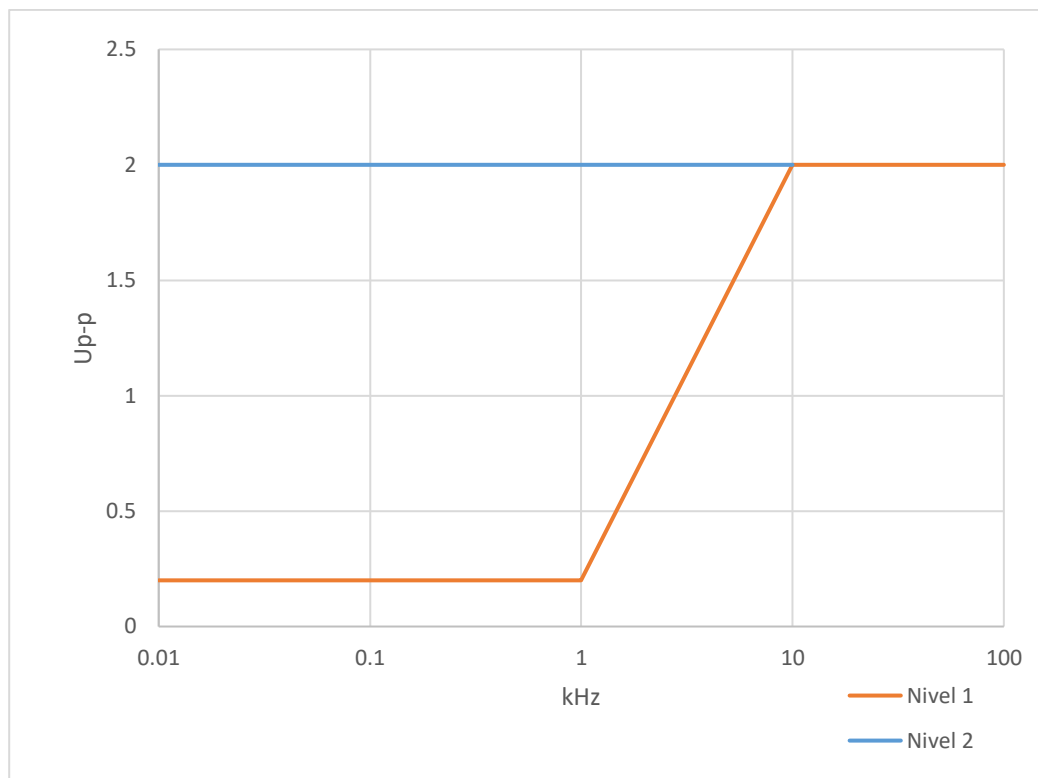


Figura 4.21 Gráfica del nivel de corriente pico a pico en función de la frecuencia en kHz.

Tabla4.11. RI 150 Requisitos de Inmunidad acoplada

Rango de frecuencia (kHz)	Paso de frecuencia (kHz)
0,01 – 0,05	0,01
0,05 – 1	0,05
1 – 10	0,5
10 – 100	5
Tiempo de permanencia (s)	2

4.7.3. Verificación del ensayo y test setup

El EUT se debe situar sobre un material no conductor de permitividad relativa baja ($\epsilon_r \leq 1.4$) alejado del plano de masa a una distancia mínima de 1 metro de cualquier superficie metálica.

Se debe utilizar una sonda de tensión con una capacidad asociada menor a 10 pF.

La distancia entre el generador y el equipo bajo ensayo no se tiene en cuenta para este ensayo, se puede utilizar el cableado real del vehículo.

La Figura 4.22 muestra la disposición del equipo en el plano de masa siguiendo el esquema del Anexo L de este documento.

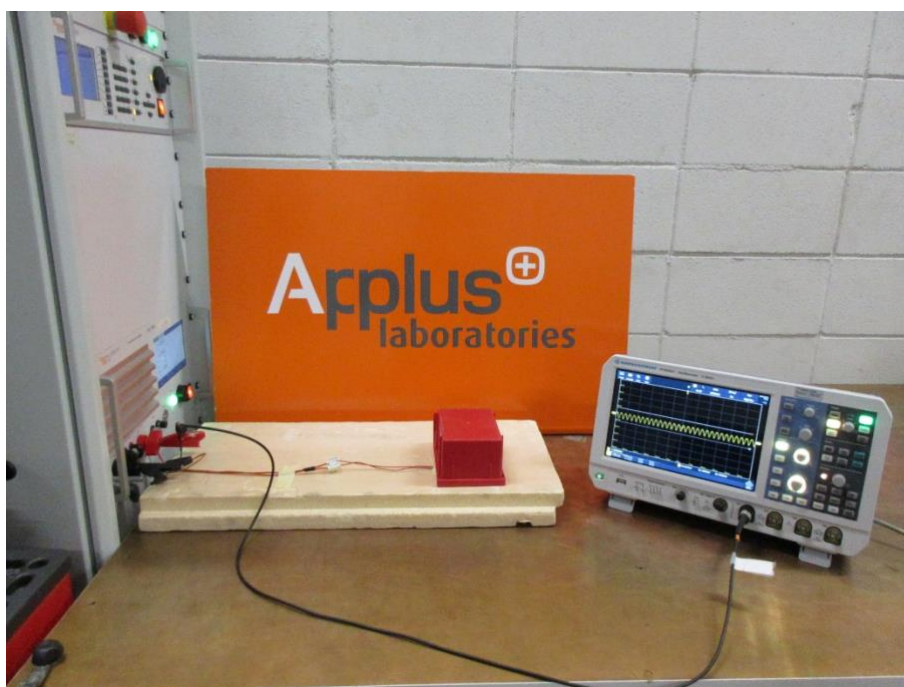


Figura 4.22 Disposición del EUT en el plano de masa según la normativa Ford FMC1278.

4.7.4. Calibración del ensayo

Las calibraciones se pueden consultar en el Anexo L de este documento.

4.8. CI 220: Inmunidad contra perturbaciones transitorias de 12 V

4.8.1. Objetivo

Los ensayos de inmunidad contra perturbaciones transitorias a través de las líneas de alimentación del equipo bajo ensayo. También, contra las perturbaciones generadas en los circuitos de control conectados directamente a batería o indirectamente, a través de un interruptor o una carga.

4.8.2. Requerimientos de la normativa Ford FMC1278

Cada uno de los transitorios descritos en la tabla 4.12. se definen debido a perturbaciones generadas por la conmutación de cargas contactadas a la misma red del equipo bajo ensayo. A continuación, se define con detalle el motivo de la aplicación de cada uno de los transitorios:

- El **pulso 1** representa el voltaje transitorio producido durante la conmutación de una carga inductiva de corriente más elevada (> 5 amperios) que comparte el mismo circuito que el equipo bajo prueba. El transitorio también puede ocurrir en circuitos con altas cargas capacitivas (> 2 uF).
- El **pulso A1** representa el voltaje transitorio producido durante la conmutación de cargas inductivas de corrientes altas (entre 1 y 5 amperios) que comparten el mismo circuito del equipo bajo ensayo. Este transitorio es muy similar al pulso 1 pero con la diferencia que el pulso A1 simula la desconexión de cargas inductivas con menos consumo de corriente.
- El **pulso A2-1** y el **pulso A2-2**, como se explicó en el ensayo RI 130 de inmunidad transitoria acoplada, es debido a la conmutación de una carga inductiva de corriente baja (< 1 amperio) que comparte el mismo circuito con el equipo bajo prueba. Las características de los pulsos A2-1 y A2-2 se diferencian significativamente dependiendo de la impedancia de las otras cargas que comparten el mismo circuito que el DUT. Dada esta dependencia el pulso A2-1 se produce cuando el circuito consta solo del DUT y la carga inductiva conmutada. El pulso A2-2 se produce cuando el circuito incluye otras cargas eléctricas que comparten el mismo circuito que el DUT y la carga inductiva conmutada. Las otras cargas eléctricas son predominantemente capacitivas. (Por ejemplo, el condensador del filtro del motor del limpiaparabrisas).
- El **pulso C** representa el voltaje transitorio producido como resultado del arco de contacto del interruptor y el rebote del contacto durante el cambio de una carga inductiva.

Tabla 4.12. CI 220 Requerimiento de la inmunidad contra perturbaciones transitorias

Pulso transitorio	Repeticiones o duración del ensayo	Repeticiones o duración del ensayo	Parámetros
ISO Pulso 1	Líneas de alimentación y circuitos de control de más de 5 Amperios	24 pulsos	Ver Anexo M ¹
Pulso A1	Líneas de alimentación y circuitos de control de más de 5 Amperios	120 s	
	Circuitos de control	20 s	
Pulso A2-1 Pulso A2-2	Líneas de alimentación y circuitos de control de más de 5 Amperios	120 s	
	Circuitos de control	20 s	
Pulso C-1 Pulso C-2	Líneas de alimentación y circuitos de control.	20 s	

1 En el Anexo M están disponibles todos los parámetros necesarios para verificar los niveles de ensayo de cada uno de los transitorios que define la normativa Ford FMC1278.

4.8.3. Verificación del ensayo y test setup

El EUT se debe situar sobre un material no conductor de permitividad relativa baja ($\epsilon_r \leq 1.4$) alejado del plano de masa a una distancia mínima de 1 metro de cualquier superficie metálica.

Se debe utilizar una sonda de tensión con una capacidad asociada menor a 10 pF.

El cableado utilizado durante el ensayo debe ser inferior a 2m de longitud.

Se deben respetar todas las conexiones al plano de masa, tal y como indica en el test setup del Anexo M.

La distancia entre la fuente de alimentación y el generador de transitorios debe ser inferior a 20 cm.

La Figura 4.23. muestra la disposición del equipo en el plano de masa siguiendo el esquema del Anexo M de este documento.



Figura 4.23 Disposición del EUT en el plano de masa según la normativa Ford FMC1278.

4.8.4. Calibración del ensayo

Las calibraciones se pueden consultar en el Anexo M.3 de este documento.

4.9. CI 221: Inmunidad contra perturbaciones transitorias de 24 V

4.9.1. Objetivo

Los ensayos de inmunidad contra perturbaciones transitorias a través de las líneas de alimentación del equipo bajo ensayo. También, contra las perturbaciones generadas en los circuitos de control conectados directamente a batería o indirectamente, a través de un interruptor o una carga.

4.9.2. Requerimientos de la normativa Ford FMC1278

Cada uno de los transitorios descritos en la tabla 4.13. se definen debido a perturbaciones generadas por la conmutación de cargas contactadas a la misma red del equipo bajo ensayo. A continuación, se define con detalle el motivo de la aplicación de cada uno de los transitorios:

- El **pulso 1** representa el voltaje transitorio producido durante la conmutación de una carga inductiva de corriente más elevada (> 5 amperios) que comparte el mismo circuito que el equipo bajo prueba. El transitorio también puede ocurrir en circuitos con altas cargas capacitivas (> 2 uF).
- El **pulso 2a** representa la interrupción de una corriente a través de una inductancia conmutada en serie con el equipo bajo ensayo.
- El **pulso 2b** simula la interrupción de la corriente del motor.
- El **pulso 3a y 3b** representan el voltaje resultante del rebote del contacto durante la conmutación de una carga inductiva.

Tabla 4.13. CI 221 Requerimiento de la inmunidad contra perturbaciones transitorias

Pulso transitorio	U_A^1 (V)	U_S^2 (V)	Número mínimo de repeticiones	Tiempo de repetición	Parámetros y forma de onda
1	27	-450	5000 pulsos	0,5 s	Ver Anexo M
2a	27	+ 37	5000 pulsos	0,2 s	
2b	27	+20	10 pulsos	0,5 s	
3a	27	-150	1 hora	90 ms	
3b	27	+ 150	1 hora	90 ms	

1 U_A : Tensión de alimentación.

2 U_S : Tensión de pico de ensayo.

4.9.3. Verificación del ensayo y test setup

La Figura N.1 muestra la disposición del equipo en el plano de masa según la normativa Ford FMC1278 y las conexiones a masa necesarias para realizar el ensayo.

El EUT se debe situar sobre un material no conductor de permitividad relativa baja ($\epsilon_r \leq 1.4$) alejado del plano de masa a una distancia mínima de 1 metro de cualquier superficie metálica.

El cableado utilizado durante el ensayo debe ser inferior a 50 cm de longitud cuando se apliquen los pulsos 3a y 3b y una longitud menor a 2m cuando se apliquen los restantes.

La distancia entre la fuente de alimentación y el generador de transitorios debe ser inferior a 20 cm.

La Figura 4.24 muestra la disposición real del equipo bajo ensayo durante el test según el esquema del Anexo M.

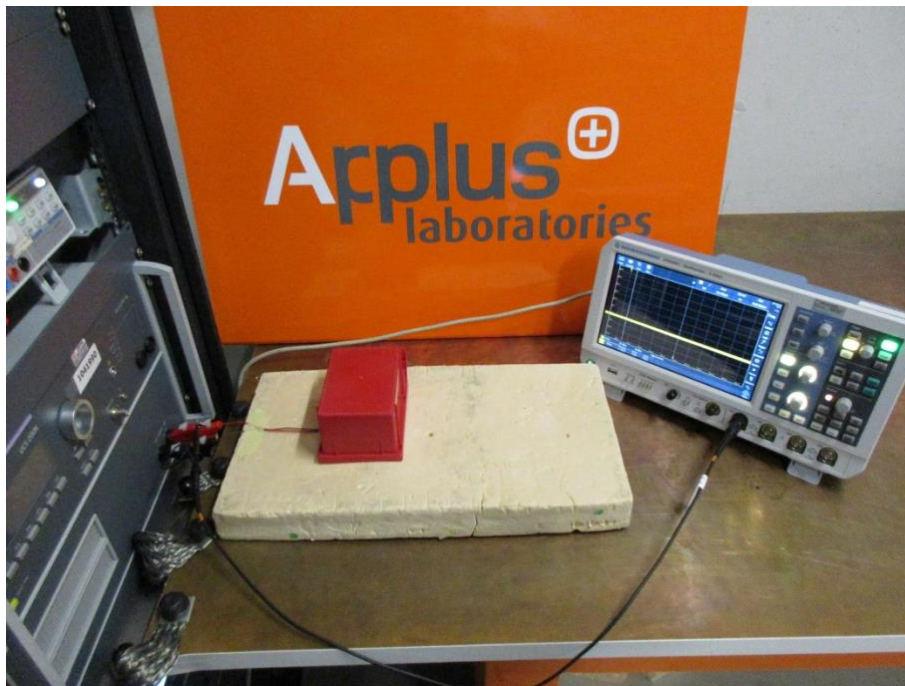


Figura 4.24 Disposición del EUT en el plano de masa según la normativa Ford FMC1278.

4.9.4. Calibración del ensayo

Las calibraciones se pueden consultar en el Anexo M.4 de este documento.

4.10. CI 222: Inmunidad contra descarga de carga (Load Dump)

4.10.1. Objetivo

Los ensayos de inmunidad contra descargas de carga o Load Dump hace referencia a la desconexión de la batería mientras el alternador está generando corriente a los equipos conectado a la red de alimentación del vehículo.

4.10.2. Requerimientos de la normativa Ford FMC1278

Los transitorios descritos en la tabla 4.14 y 4.15 se definen debido a la posibilidad de desconexión de la batería mientras el alternador está en funcionamiento. Este ensayo es altamente destructivo debido a la energía que se genera en las líneas de alimentación de los equipos conectados a la red eléctrica del vehículo. A continuación, se define con detalle el motivo de la aplicación de cada uno de los pulsos generados:

- El **pulso 5a** simula aplicaciones donde no está presente la protección contra descargas de cargas del alternador.
- El **pulso 5b** simula aplicaciones donde sí está presente la protección contra descargas de cargas del alternador.

Tabla 4.14. CI 222 Requerimiento de la inmunidad contra Load Dump a 12 V.

Pulso transitorio	U_A^1 (V)	U_S^2 (V)	U_S^{*3} (V)	Número mínimo de repeticiones	Tiempo de repetición	Parámetros y forma de onda
5a	13,5	+ 60	n/a	5 pulsos	60 s	Anexo N
5b	13,5	+ 37	+ 21,5 (-1/+0)	5 pulsos	60 s	

1 U_A : Tensión de alimentación.

2 U_S : Tensión de pico de ensayo.

3 U_S^* : Tensión recortada.

Tabla4.15. CI 222 Requerimiento de la inmunidad contra Load Dump a 24 V.

Pulso transitorio	U_A^1 (V)	U_S^2 (V)	U_S^{*3} (V)	Número mínimo de repeticiones	Tiempo de repetición	Parámetros y forma de onda
5a	27	+ 120	n/a	5 pulsos	60 s	Anexo N
5b	n/a					

1 U_A : Tensión de alimentación.

2 U_S : Tensión de pico de ensayo.

3 U_S^* : Tensión recortada.

Según la normativa Ford FMC1278 la aplicación de cada uno de los dos transitorios tiene que venir definida en el Test Plan según si el equipo bajo ensayo va instalado en un vehículo que incluya la protección contra descargas de carga del alternador o no.

4.10.3. Verificación del ensayo y test setup

El EUT se debe situar sobre un material no conductor de permitividad relativa baja ($\epsilon_r \leq 1.4$) alejado del plano de masa a una distancia mínima de 1 metro de cualquier superficie metálica.

El cableado utilizado durante el ensayo debe ser inferior a 2000 mm.

Se deben respetar todas las conexiones al plano de masa, como se indica en la Figura N.1.

El generador de transitorios se debe alimentar a través de una batería para poder simular de manera más precisa la desconexión de batería de un alternador.

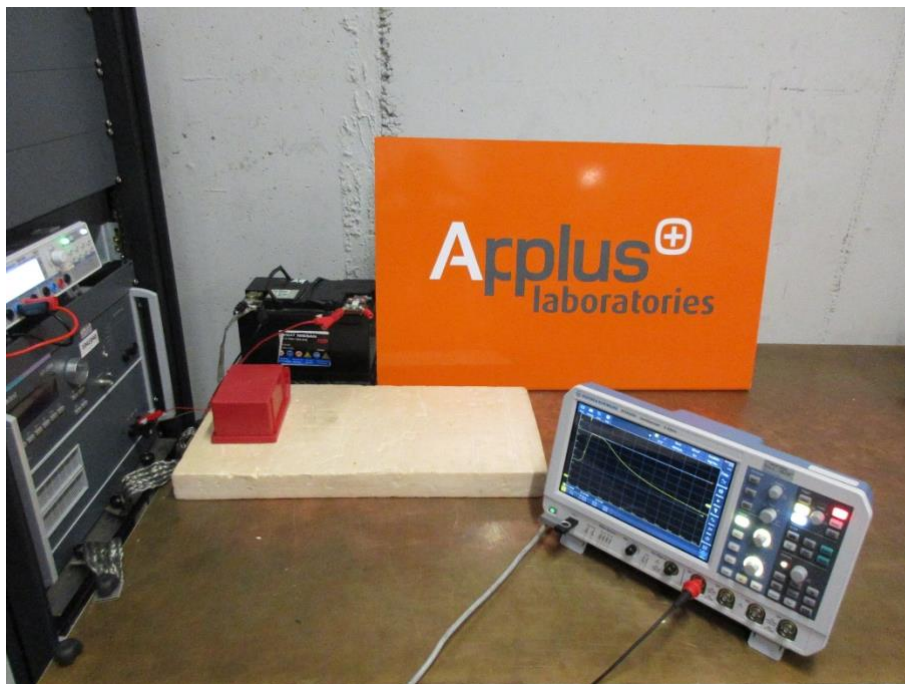


Figura 4.25 Disposición del EUT en el plano de masa según la normativa Ford FMC1278.

4.10.4. Calibración del ensayo

Las calibraciones se pueden consultar en el Anexo N de este documento.

4.11. CI 230: Inmunidad contra ciclos de arranque a 12 VDC

4.11.1. Objetivo

Los ensayos de inmunidad contra las variaciones de tensión que se producen durante el arranque inicial del motor en condiciones de frío. Este requisito está limitado solamente a aplicaciones de 12 VDC, sistemas de 24 VDC quedan excluidos.

4.11.2. Requerimientos de la normativa Ford FMC1278

Este tipo de arranque se describe en la Figura 4.26, donde se definen dos formas de onda diferentes dependiendo de su conexionado en el vehículo:

- **Forma de onda A:** Circuitos de alimentación y control que están activados durante el inicio y el arranque del motor.
- **Forma de onda B:** Circuitos de alimentación conectados directamente a batería.

Estas formas de onda se deben aplicar a todas las alimentaciones y circuitos de control a la vez, es decir, si el equipo bajo ensayo dispone de circuitos de control y alimentaciones que van directamente a batería se debe ensayar al mismo tiempo.

Antes de aplicar el ensayo se debe situar el equipo bajo ensayo en una cámara climática para acondicionar la temperatura a $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante un mínimo de 60 minutos. Una vez pasado el tiempo de acondicionamiento de la muestra, se debe aplicar las dos formas de onda al equipo bajo ensayo.

Una vez finalizado el ciclo de arranque se debe hacer una verificación del equipo para comprobar que no ha sufrido daños durante el ciclo de arranque en frío y volver a acondicionar la muestra durante, al menos, 60 minutos antes de volver a realizar los ciclos de arranque tal y como se define en la Figura 4.26.

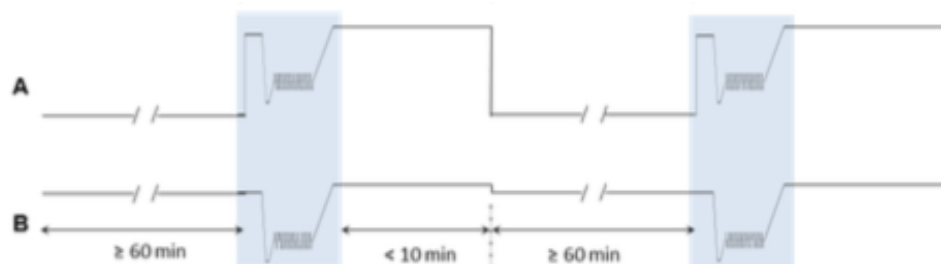


Figura 4.26 Proceso de acondicionamiento y aplicación del ensayo de la normativa Ford FMC1278.

Los parámetros y forma de onda de este ensayo está dispuesto en el Anexo O.

4.11.3. Verificación del ensayo y Test setup

El EUT se debe situar sobre un material no conductor de permitividad relativa baja ($\epsilon_r \leq 1.4$) dentro de una cámara climática. Este tipo de cámaras se utilizan para acondicionar el equipo bajo ensayo a la temperatura necesaria de ensayo. En este caso, como especifica la normativa, se debe ensayar en condiciones de frío a de -40°C (esta temperatura viene dada según las especificaciones del componente).

La Figura 4.27 sigue el esquema del Anexo O de este documento.



Figura 4.27 Disposición del EUT en el plano de masa según la normativa Ford FMC1278.

4.11.4. Calibración del ensayo

Las calibraciones se pueden consultar en el Anexo O.3 de este documento.

4.12. CI 231: Inmunidad contra ciclos de arranque a 24 VDC

4.12.1. Objetivo

Los ensayos de inmunidad contra las variaciones de tensión que se producen durante el arranque inicial del motor. Este requisito está limitado solamente a sistemas de 24 VDC.

4.12.2. Requerimientos de la normativa Ford FMC1278

Este tipo de arranque se describe en la Figura 4.28 donde se definen los parámetros de la forma de onda.

Se deben aplicar solamente dos ciclos separados por 1 minuto entre ellos. Este tiempo puede aumentar si el equipo bajo ensayo necesita más tiempo para volver al modo de operación de ensayo y poder restablecer su funcionalidad.

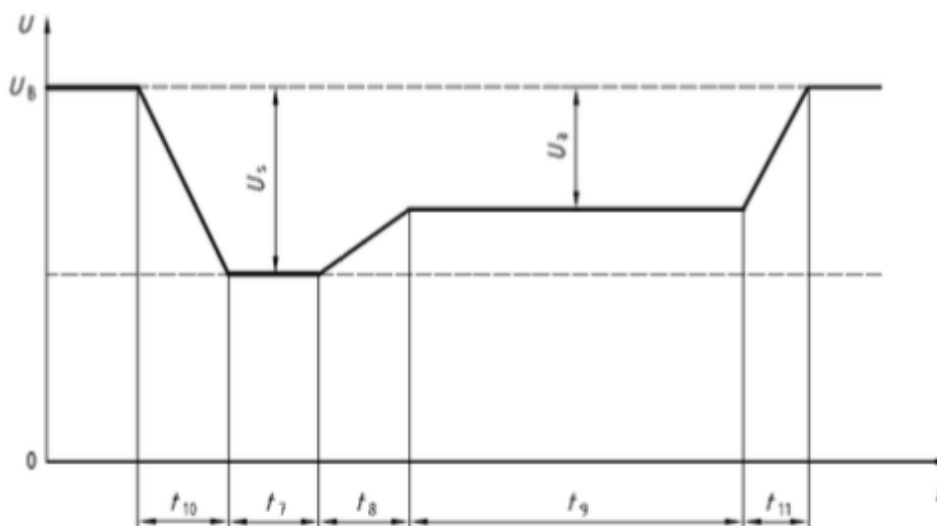


Figura 4.28 Forma de onda del arranque de vehículos de 24 VDC según la normativa Ford FMC1278.

Tabla 4.16. CI 222 Requerimiento de la inmunidad contra ciclos de arranque a 24 VDC.

Parámetros de ensayo		
$U_B = 24 \text{ V}$	$t_7 = 50 \text{ ms}$	$t_{10} = 10 \text{ ms}$
$U_S = -12 \text{ V}$	$t_8 < 50 \text{ ms}$	$t_{11} = 100 \text{ ms}$
$U_A = -7 \text{ V}$	$t_9 = 10 \text{ s}$	

4.12.3. Verificación del ensayo y test setup

El EUT se debe situar sobre un material no conductor de permitividad relativa baja ($\epsilon_r \leq 1.4$) a una distancia de 50 mm del plano de masa.

El cableado utilizado durante el ensayo debe ser inferior a 2000 mm.

En la Figura 4.29 se muestra la disposición real de ensayo del EUT.

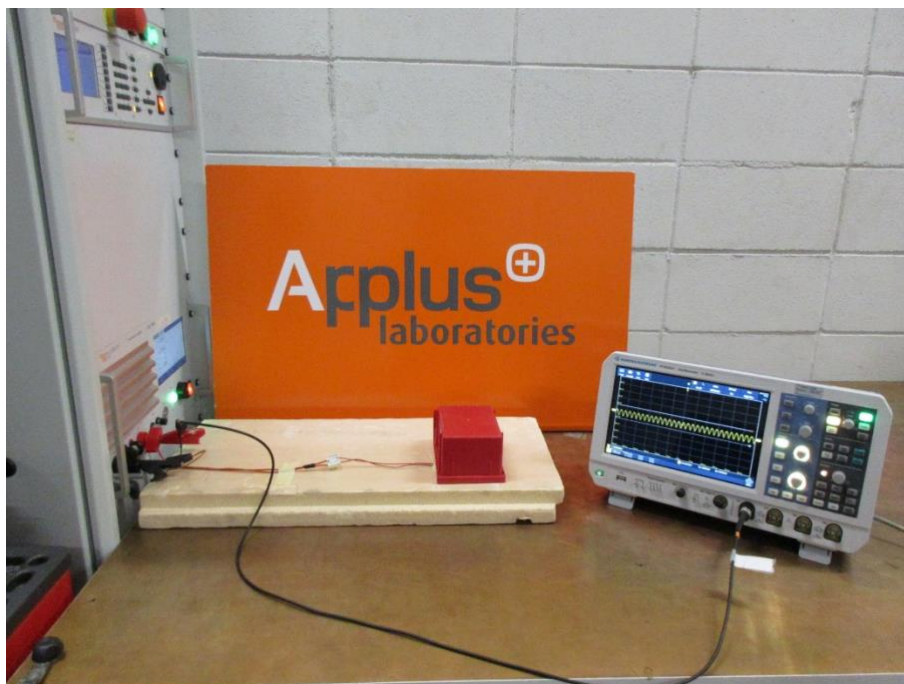


Figura 4.29 Disposición del EUT en el plano de masa según la normativa Ford FMC1278.

4.12.4. Calibración del ensayo

Las calibraciones se pueden consultar en el Anexo O.4 de este documento.

4.13. CI 260: Inmunidad contra caídas de voltaje

4.13.1. Objetivo

Los ensayos de inmunidad contra caídas de voltaje momentáneas hacen referencia a las situaciones reales que puede sufrir el equipo durante la vida útil del vehículo. El objetivo principal de este ensayo es la verificación de la recuperación de hardware y software de las interrupciones de tensión.

4.13.2. Requerimientos de la normativa Ford FMC1278

En la tabla 4.17 se muestran las diferentes formas de onda que aplican en este ensayo. Cada una de estas formas de onda simulan diferentes interrupciones de voltaje que pueden ocasionarse en el vehículo. La forma de onda A simula micro-interrupciones a un tiempo constante con diferentes tiempos de tensión de alimentación. La forma de onda B simula el caso contrario, manteniendo fijo el tiempo de encendido del equipo bajo ensayo, realiza diferentes interrupciones, variando el tiempo que está a 0 V. Por otro lado, la forma de onda C, simula diferentes micro-interrupciones (a 100 us, 300 us y a 500 us) y se espera que el equipo bajo ensayo no pierda su modo de operación al ser desconexiones tan rápidas. Por último, la forma de onda D simula interrupciones sin llegar a la desconexión total del equipo bajo ensayo.

Tabla 4.17. CI 260 Requerimiento de la inmunidad contra caídas de voltaje

Forma de onda	Duración	Nivel
A	3 ciclos separados por 20 s	Ver Anexo K
B	3 ciclos separados por 20 s	
C	3 ciclos separados por 20 s	
D	10 ciclos separados por 20 s	

4.13.3. Verificación del ensayo y test setup

El EUT se debe situar sobre un material no conductor de permitividad relativa baja ($\epsilon_r \leq 1.4$) a una distancia de 50 mm del plano de masa.

Para las formas de onda A, B y C se debe utilizar un sistema formado por un diodo y una resistencia de 2 ohmios. El diodo se dispondrá en serie al generador de funciones y la resistencia en paralelo al equipo bajo

ensayo. Este sistema protegerá el generador de las posibles descargas que pueda tener el equipo. Esto puede suceder cuando las etapas de entrada del equipo quedan cargadas y hay una diferencia de potencial con la tensión del generador. Esto ocasiona cuando el generador está a 0V una descarga de corriente a través de la resistencia gracias al bloqueo del diodo (D).

Como el valor óhmico de la resistencia utilizada en este ensayo viene dada por normativa. Debemos asegurar que cumple los requisitos de disipación de potencia ya al ser un valor pequeño (2Ω) el consumo para equipos alimentados a 12 V es de 6 A. Con estos valores, debemos asegurar que la potencia mínima necesaria de la resistencia debe ser de 72 W. Si el equipo bajo ensayo es un equipo alimentado a 24 V, la potencia mínima necesaria de disipación de 288 W. Por este motivo la resistencia utilizada para realizar este ensayo es la unión de dos resistencias en serie de 1Ω de 300 W cada una, tal y como se observa en la Figura 4.30.

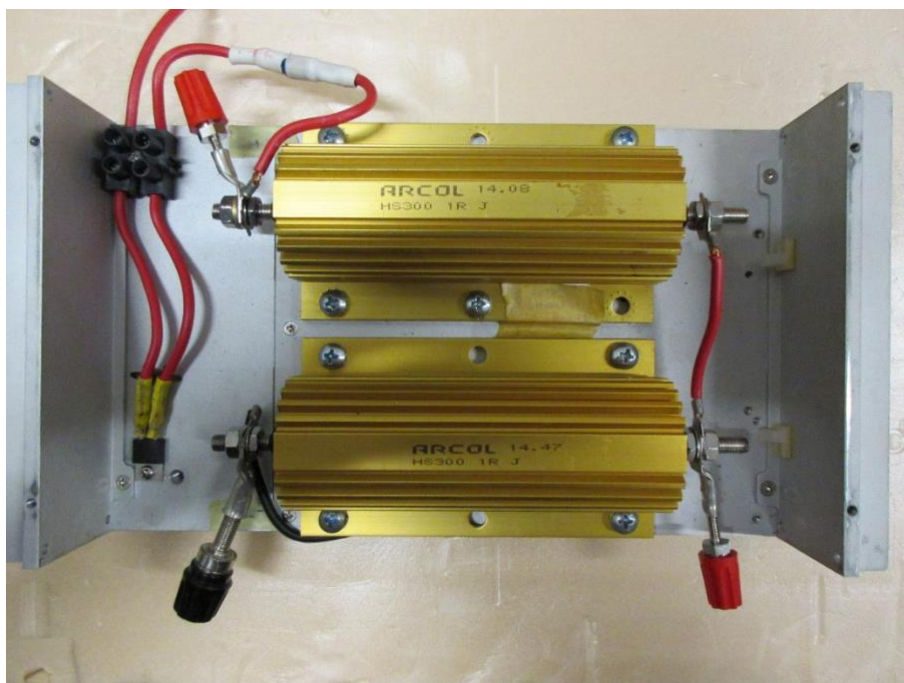


Figura 4.30 Detalle de la resistencia utilizada para el ensayo CI 260 de la normativa Ford FMC1278.

Por otro lado, la distancia entre el generador y el equipo bajo ensayo no influye para este ensayo, se puede utilizar el cableado real del vehículo.

La Figura 4.31 muestra la disposición del equipo en el plano de masa siguiendo el esquema del anexo K para las formas de onda A, B y C ya que incorpora la resistencia y diodo.

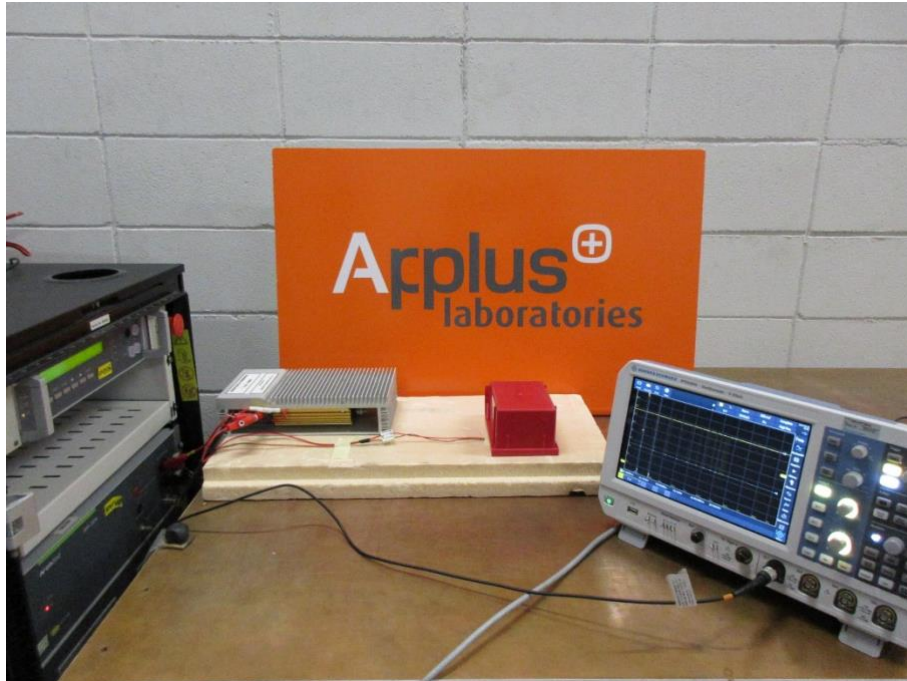


Figura 4.31 Disposición del EUT en el plano de masa según la normativa Ford FMC1278 de las formas de onda A, B y C.

La Figura 4.32. muestra la disposición del equipo en el plano de masa siguiendo el esquema del anexo K para la forma de onda D. Se observa que, a diferencia de la Figura 4.31, no incorpora la resistencia ni el diodo en serie para la realización del ensayo.

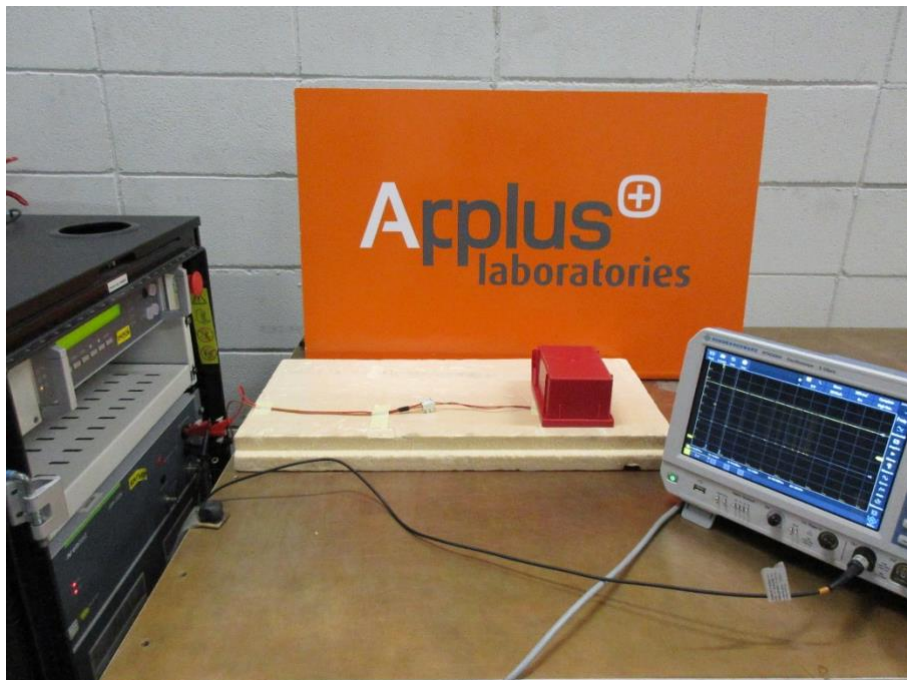


Figura 4.32 Disposición del EUT en el plano de masa según la normativa Ford FMC1278 de la forma de onda D.

4.13.4. Calibración del ensayo

Las calibraciones se pueden consultar en el Anexo K de este documento.

4.14. CI 280: Descargas electrostáticas (ESD)

4.14.1. Objetivo

Los ensayos de descargas electrostáticas simulan impulsos de alto potencial originados por campos estáticos. Estas descargas pueden afectar al correcto funcionamiento del sistema, incluso llegar a destruir circuitos debido a la gran velocidad, elevada corriente y alta tensión. Estos sucesos se pueden originar de dos maneras:

- Por **contacto**: Simulan la descarga electrostática del cuerpo humano al equipo bajo ensayo. Este suceso puede afectar a sistemas de lógica rápida debido a su alta velocidad de descarga.

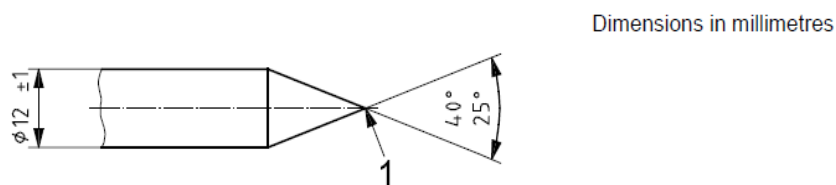


Figura 4.33 Características de la punta de descarga del generador de ESD. Punta de descarga por contacto.

- Por **aire**: Simula la descarga del equipo contra objetos cercanos a diferente potencial. Este tiempo de descarga es más severa que por contacto debido a que la curva generada es mayor que por descarga directa.

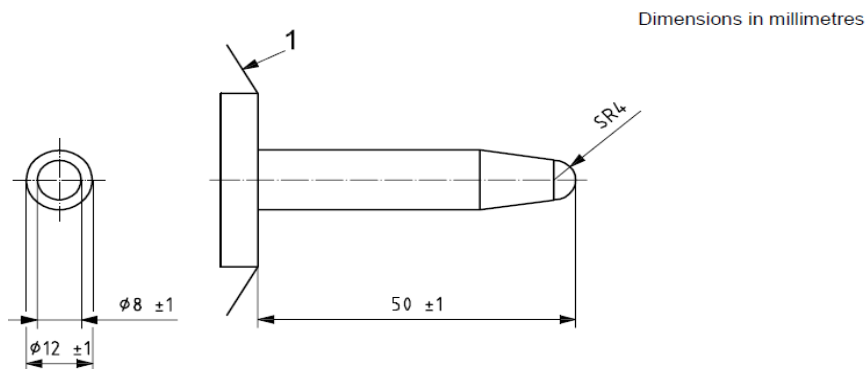


Figura 4.34 Características de la punta de descarga del generador de ESD. Punta de descarga por aire.

4.14.2. Requerimientos de la normativa Ford FMC1278

Según la normativa Ford FMC1278 para poder realizar los ensayos de descargas electrostáticas se debe realizar en la secuencia establecida en la tabla 4.18 y tabla 4.19. Teniendo en cuenta el tipo de descarga descrito anteriormente (contacto o aire) y el nivel de tensión aplicado.

Por otro lado, se definen dos tipos de ensayo:

- El equipo bajo ensayo sin alimentación (**Unpowered**). Se realizan las descargas de ESD con el equipo sin alimentación. Se debe comprobar su correcto funcionamiento antes y después de cada severidad para verificar que no se ha dañado por la descarga de ESD.
- El equipo bajo ensayo alimentado (**Powered**). Con el equipo alimentado a la tensión de operación se deben realizar las descargas de ESD en los puntos establecidos en el Test Plan para verificar que el funcionamiento del equipo es el correcto durante las descargas. Estas descargas deben realizarse directamente al dispositivo que estamos ensayando en los componentes metálicos, plásticos o pistas de circuito impreso.

En la tabla 4.18 se muestra la secuencia de ensayo del equipo bajo ensayo sin alimentación y el nivel de descarga aplicado. Para realizar este modo de ensayo se debe cargar la pistola de ESD con una carga de capacidad 150 pF y una resistencia de 2 kΩ.

Tabla 4.18. CI 280 Requerimiento contra descargas electrostáticas (ESD). EUT sin alimentación

Secuencia de ensayo	Tipo de descarga	Nivel de voltaje	Número mínimo de descarga
1	Contacto	± 4 kV	3
2	Contacto	± 6 kV	3
3	Aire	± 8 kV	3

En la tabla 4.19 se muestra la secuencia de ensayo del equipo alimentado y el nivel de severidad aplicado. Para realizar este modo de ensayo se debe cargar la pistola de ESD con una carga de capacidad 330 pF y una resistencia de 2 kΩ.

Tabla 4.19. CI 280 Requerimiento contra descargas electrostáticas (ESD). EUT alimentado.

Secuencia de ensayo	Tipo de descarga	Nivel de voltaje	Número mínimo de descarga
1	Aire	± 4 kV	3
2	Contacto	± 4 kV	3

3	Aire	± 6 kV	3
4	Contacto	± 6 kV	3
5	Aire	± 8 kV	3
6	Contacto	± 8 kV	3
7	Aire	± 15 kV	3
8	Aire	± 25 kV	3

4.14.3. Verificación del ensayo y test setup

4.14.3.1. Método Unpowered. EUT sin alimentación.

Tal y como se muestra en el anexo Q, el plano de masa se debe conectar directamente a la toma de tierra.

Se debe colocar el equipo bajo ensayo sobre el plano de masa.

Para la descarga directa (tanto por descarga por contacto como por aire) el cable de retorno de la pistola debe estar conectado al plano de masa.

Cuando la descarga se realiza a los pines del conector, el pin negativo debe ir conectado al plano de masa con una longitud de cable inferior a 20 cm.

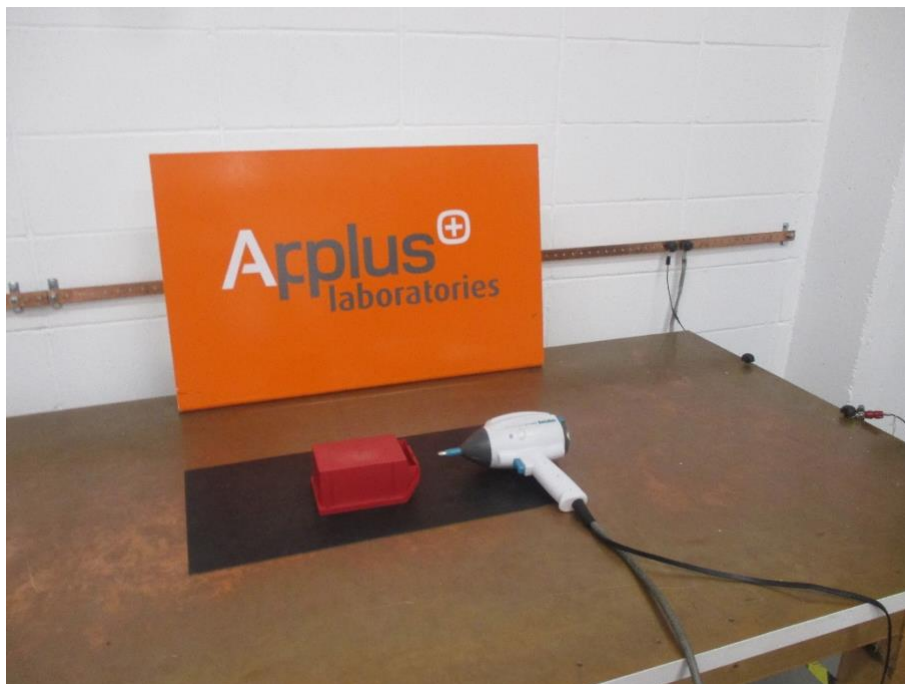


Figura 4.35 Disposición del EUT en el plano de masa según la normativa Ford FMC1278 para el método Unpowered.

4.14.3.2. Método Powered. EUT alimentado.

En este método, tal y como se muestra en el anexo Q., el equipo bajo ensayo debe situarse sobre un material no conductor de permitividad relativa baja ($\epsilon_r \leq 1.4$) a una distancia de 50 mm del plano de masa.

La distancia del cableado debe ser de 1700 mm, teniendo un máximo de longitud de 2000 mm.

Si el equipo tiene un panel de cargas asociado para obtener el modo de funcionamiento, este debe estar conectado al plano de masa. Por otro lado, si el EUT tiene una carcasa metálica debe situarse directamente sobre plano de masa. En este caso, si se desconoce la configuración del EUT en el vehículo, se debe ensayar en las dos configuraciones, tanto sobre plano de masa como sobre material no conductor.

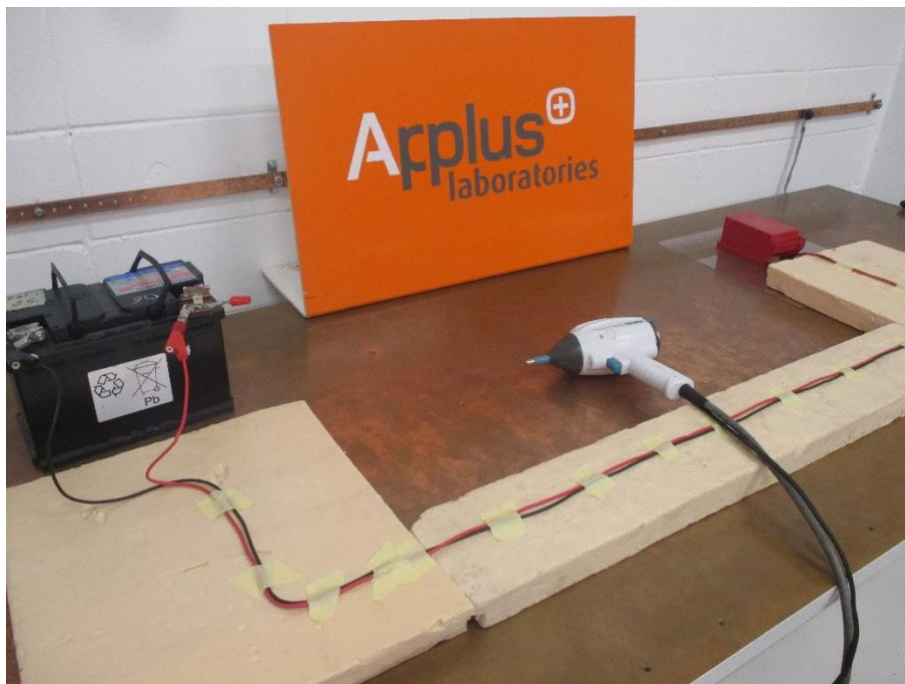


Figura 4.36 Disposición del EUT en el plano de masa según la normativa Ford FMC1278 para el método Powered.

Análisis del impacto ambiental

En el presente proyecto hay que tener en cuenta el uso de baterías de plomo para la realización de los ensayos ya que la normativa Ford FMC1278:2018 pide que para simular la tensión de alimentación del equipo bajo ensayo este alimentado a través de una batería. Por este motivo, se ha instaurado un sistema de reciclaje de baterías de plomo ya que este tipo de baterías son reciclables prácticamente al 100%.

Una vez recicladas estas baterías, se separan todos sus componentes y se reutilizan sus materiales para fabricar nuevas baterías y darles un nuevo uso. Esto es posible debido a que el material se puede aprovechar infinitas veces. Por estas razones, las baterías de plomo son el mejor ejemplo de economía circular y de reciclaje de calidad.

Por otro lado, se debe tener en cuenta el alto consumo eléctrico necesario para poder realizar los ensayos descritos en este documento, ya que los equipos utilizados para generar la energía pueden llegar a tener una potencia de 1 kW, en el caso de un amplificador de inmunidad radiada. Esto genera un aumento en la demanda de la red eléctrica del laboratorio.

Conclusiones

A lo largo del trabajo se desarrollan y describen cada uno de los ensayos realizados de la normativa Ford FMC1278, las verificaciones y calibraciones necesarias para poder acreditar los ensayos en los laboratorios de EMC de Applus.

En primer lugar, cabe destacar el conocimiento teórico necesario en EMC para poder desarrollar este trabajo y poder llevar a cabo todos los ensayos. Una vez adquirido los conocimientos necesarios en EMC se empezó a desarrollar el proyecto y a poner en práctica los conceptos.

Por un lado, la utilización del software EMC32 para poder realizar todos los ensayos de emisiones e inmunidad radiada facilitó el trabajo gracias a su interface intuitiva. Con este software se pudo controlar todos los equipos del laboratorio y poder adquirir los niveles de ambientes de las cámaras semi-aneecóicas y los niveles de potencia en los ensayos de inmunidad. Gracias a ello se pudo verificar que todos los equipos e instalaciones cumplían con los requisitos de la normativa Ford FMC1278.

Por otro lado, es necesario hacer énfasis en el uso del osciloscopio como herramienta esencial para poder realizar los ensayos eléctricos, ya que sin un conocimiento previo hubiera sido mucho más complejo realizar las calibraciones y el tiempo invertido hubiera sido mucho mayor.

Un punto negativo a la hora de desarrollar el proyecto ha sido la dificultad en la planificación de ensayos y el uso de material, debido a la alta producción que está teniendo el laboratorio y el uso compartido de equipos entre las diferentes salas de ensayo.

La realización de este proyecto ha permitido aumentar el conocimiento en el área de la compatibilidad electromagnética y del desarrollo de ensayos.

Presupuesto económico

En este apartado se contemplan los costes económicos que han implicado la realización de este proyecto. Por un lado, no se ha tenido que realizar ninguna inversión inicial debido a que todas las instalaciones, equipos utilizados y normativas ya estaban disponibles en el laboratorio antes de realizar el proyecto. Por este motivo no se incluyen en el presupuesto económico y solamente se contemplan las horas invertidas en la preparación y realización del proyecto.

Detalle	Horas (h)	Precio/hora (€/h)	Coste total (€)
Estudio inicial del proyecto	50	10	500
Preparación de ensayos	100		1000
Ejecución de ensayos	300		3000
Documentación	150		1500
TOTAL	600		6000

	PVP (€)	IVA 21% (€)	Coste total (€)
TOTAL	6000	1260	7260

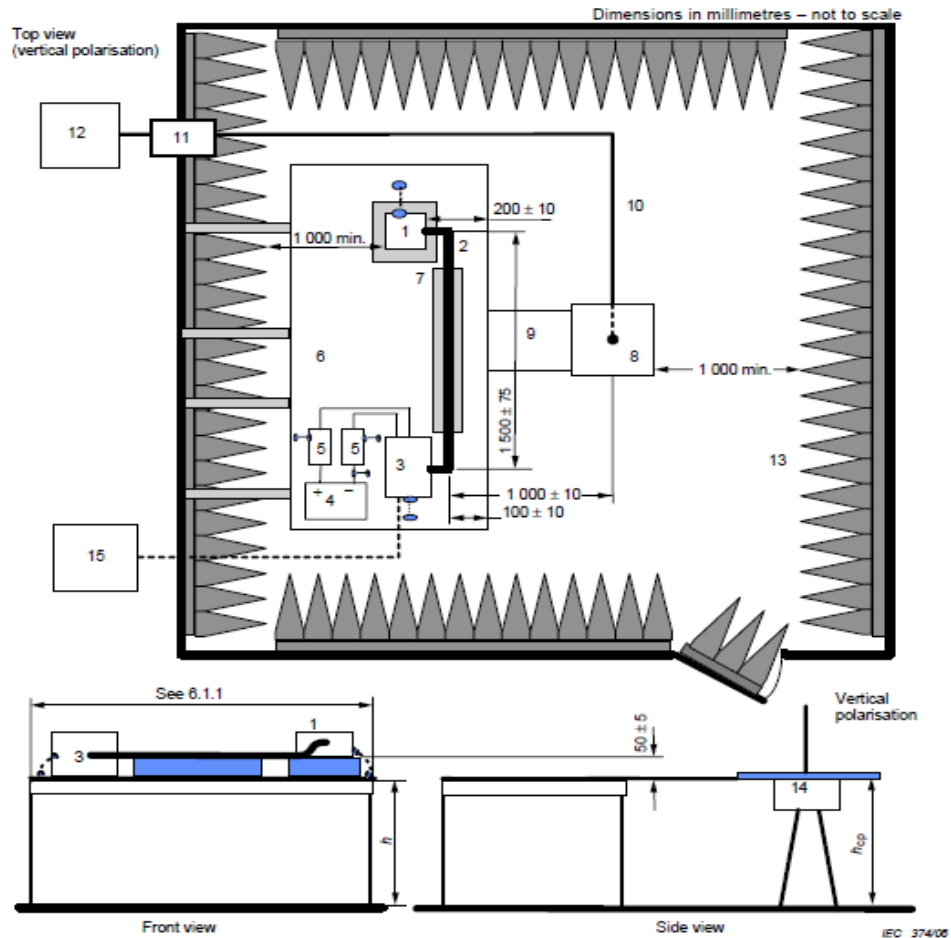
Bibliografia

- [1] Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques (2008). *Vehicles, boats and internal combustion engines - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement for the protection of on-board receivers*. CISPR25.
- [2] Ford Motor Company (2018). *Electromagnetic Compatibility Specification for Low and High Voltage Electrical/Electronic Components and Subsystems*. Ford FMC1278 (3rd Edition).
- [3] International Organization for Standardization (2004). *Road vehicles – Components test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy – Part 2: Absorber-lined shielded enclosure*. ISO 11452-2.
- [4] International Organization for Standardization (2011). *Road vehicles – Components test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy – Part 4: Harness excitation methods*. ISO 11452-4.
- [5] International Organization for Standardization (2011). *Road vehicles – Electrical disturbances from conduction and coupling – Part 2: Electrical transient conduction along supply lines only*. ISO 7637-2.
- [6] Organización Mundial de la Salud. Reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas. [Consulta: 28 de diciembre de 2019]. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/259444/WHO-FWC-PHE-EPE-17.02-spa.pdf;jsessionid=D3E81C98FD5BE60D2B43AF84A0784996?sequence=1>

Anexo A. Emisiones radiadas (RE 310)

A.1. Test setup según la normativa CISPR25: 2008

La Figura A.1 muestra el setup para el ensayo para la medida en la banda de frecuencia de 150 kHz a 30 MHz.



Key

- | | |
|---|--|
| 1 EUT (grounded locally if required in test plan) | 9 Grounding connection (full width bond between counterpoise and ground plane) |
| 2 Test harness | 10 High-quality coaxial cable e.g. double-shielded (50 Ω) |
| 3 Load simulator (placement and ground connection according to 6.4.2.5) | 11 Bulkhead connector |
| 4 Power supply (location optional) | 12 Measuring instrument |
| 5 Artificial network (AN) | 13 RF absorber material |
| 6 Ground plane (bonded to shielded enclosure) | 14 Antenna matching unit (the preferred location is below the counterpoise; if above the counterpoise then the base of the antenna rod shall be at the height of the ground plane) |
| 7 Low relative permittivity support ($\epsilon_r \leq 1,4$) | 15 Stimulation and monitoring system |
| 8 Rod antenna with counterpoise (dimensions: 600 mm by 600 mm typical) | |

$h = (900 \pm 100) \text{ mm}$
 $h_{cp} = h + (+10 / -20) \text{ mm}$

Figura A.1. Test setup para el ensayo en la frecuencia de 150 kHz a 30 MHz.

La Figura A.2 muestra el setup para el ensayo para la medida en la banda de frecuencia de 30 MHz a 200 MHz.

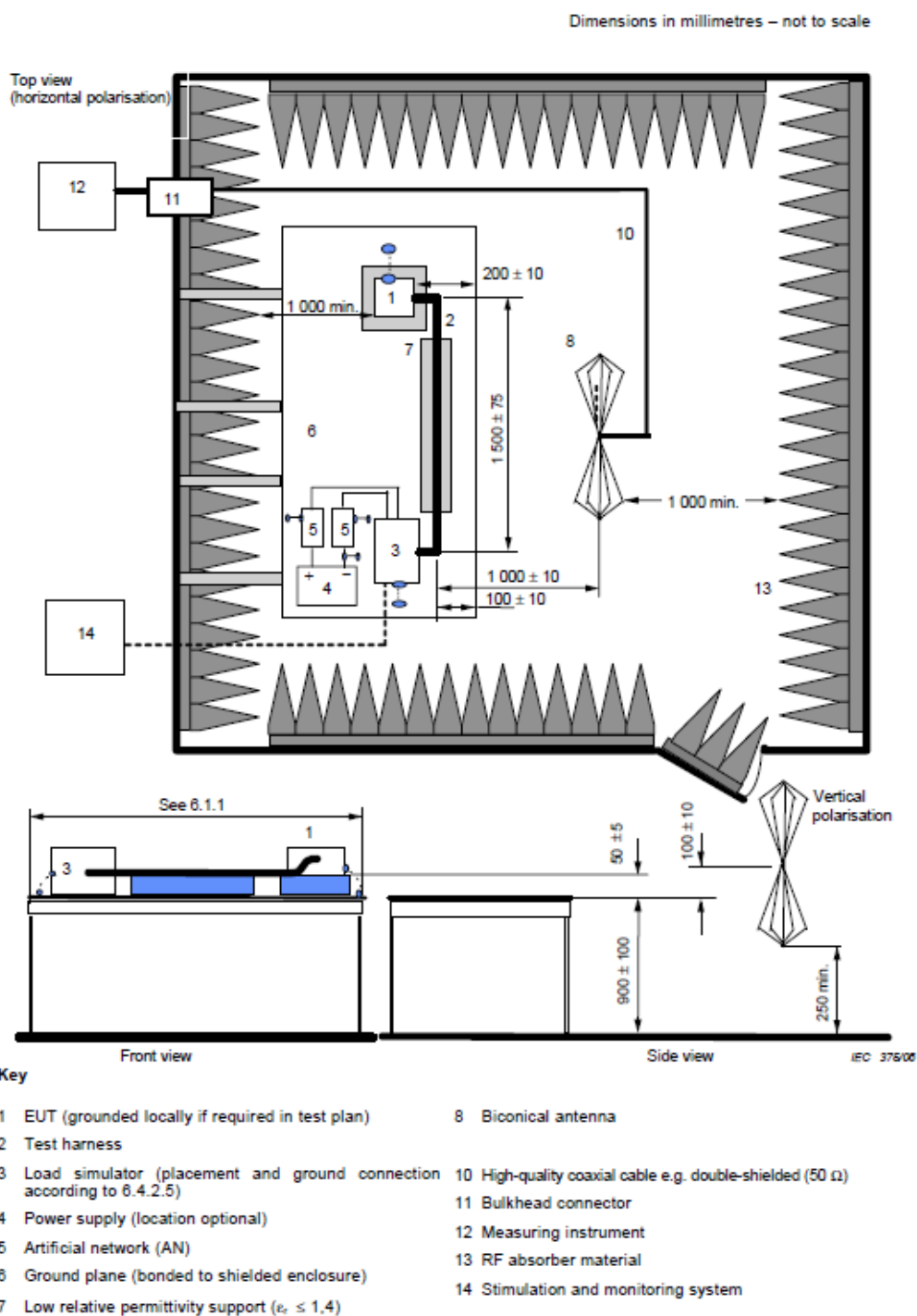


Figura A.2. Test setup para el ensayo en la frecuencia de 30 MHz a 200 MHz.

La Figura A.3 muestra el setup para el ensayo para la medida en la banda de frecuencia de 200 MHz a 1000 MHz.

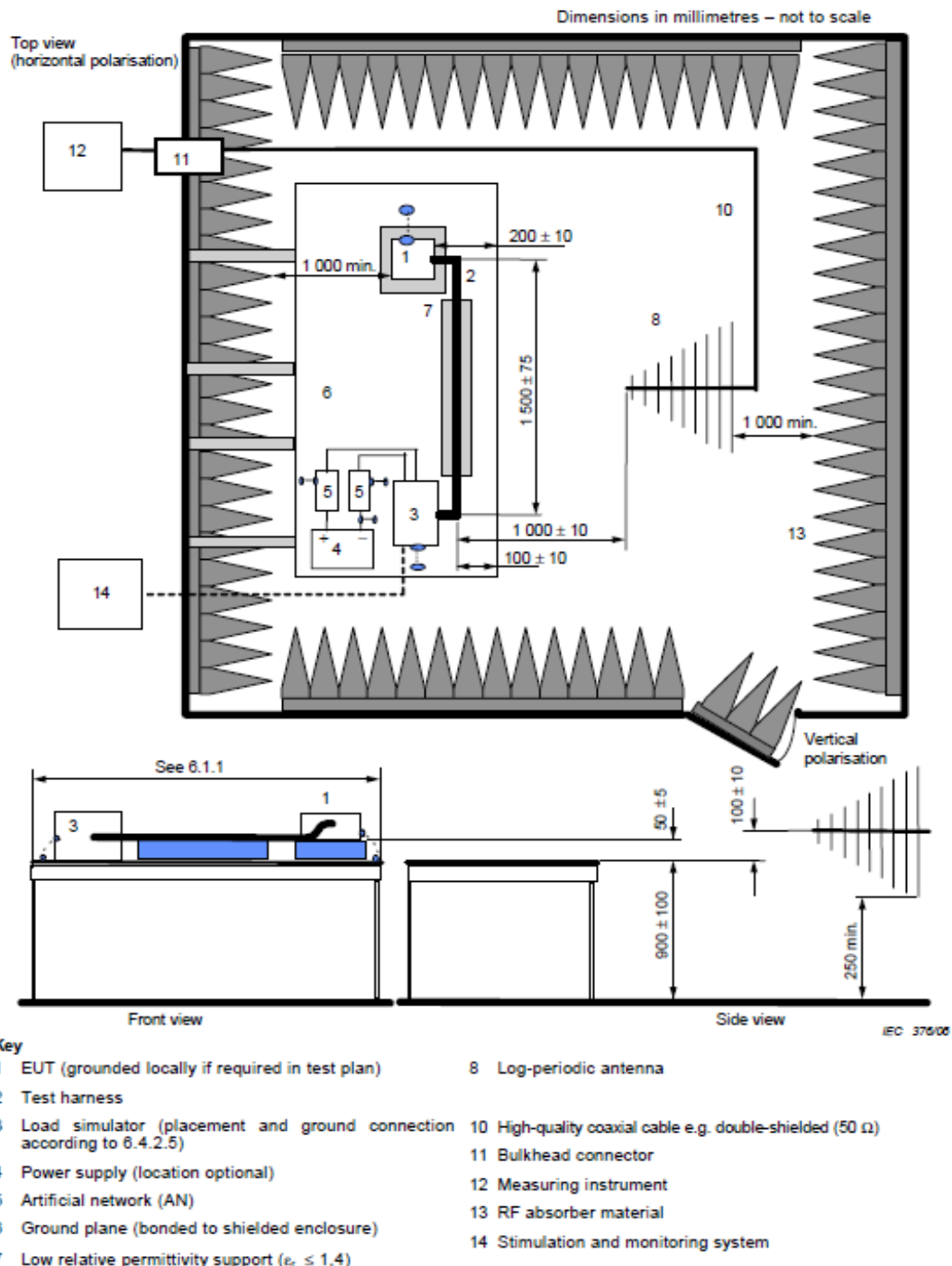
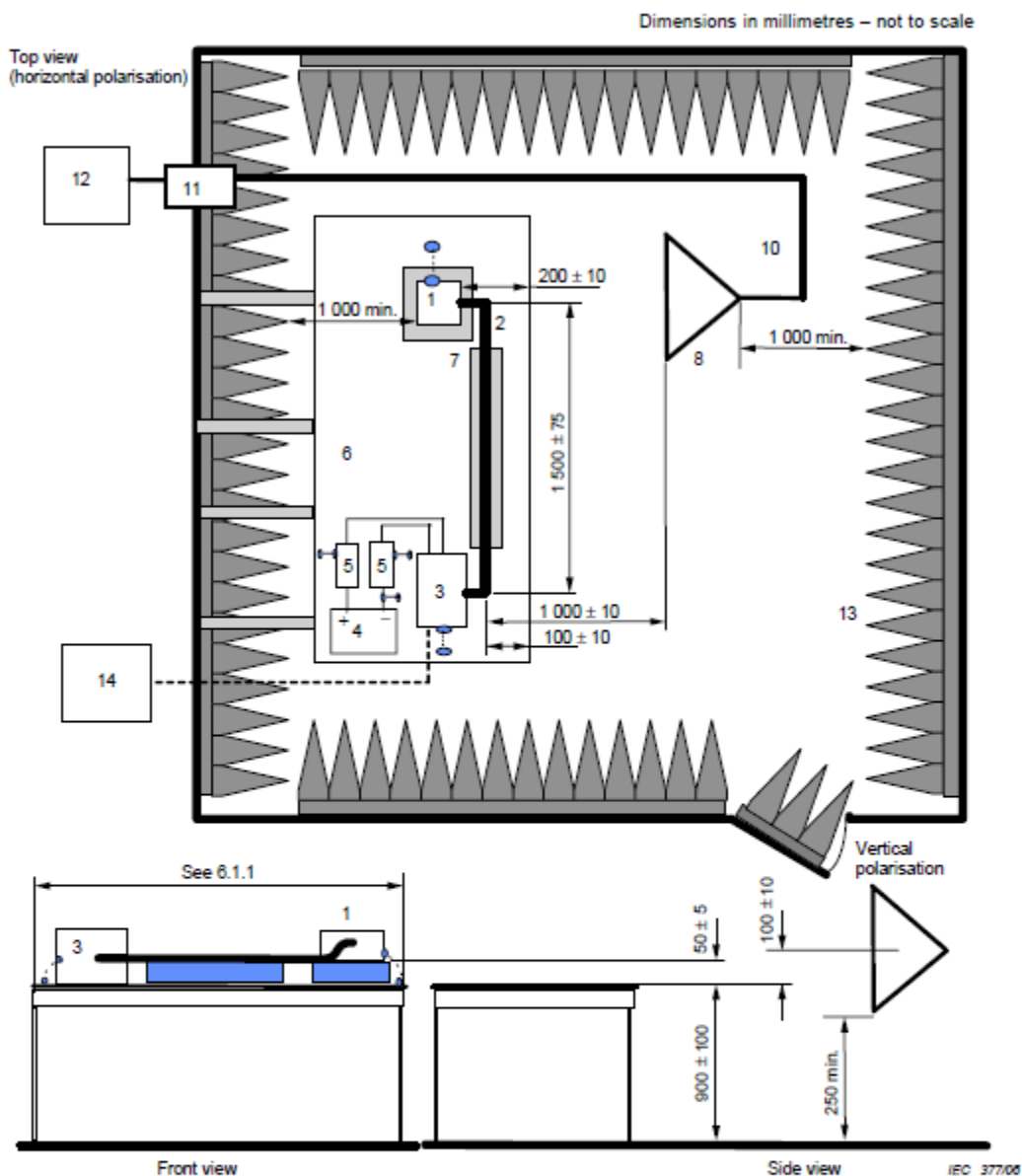


Figura A.3. Test setup para el ensayo en la frecuencia de 200 MHz a 1000 MHz.

La Figura A.4 muestra el setup para el ensayo para la medida a frecuencias superiores a 1000 MHz.



Key

- | | |
|---|---|
| 1 EUT (grounded locally if required in test plan) | 8 Horn antenna |
| 2 Test harness | |
| 3 Load simulator (placement and ground connection according to 6.4.2.5) | 10 High-quality coaxial cable e.g. double-shielded (50 Ω) |
| 4 Power supply (location optional) | 11 Bulkhead connector |
| 5 Artificial network (AN) | 12 Measuring instrument |
| 6 Ground plane (bonded to shielded enclosure) | 13 RF absorber material |
| 7 Low relative permittivity support ($\epsilon_r \leq 1,4$) | 14 Stimulation and monitoring system |

Figura A.4. Test setup para el ensayo a frecuencias superiores a 1000 MHz.

A.2. Medidas de ambiente según la normativa Ford FMC1278: 2018

En este apartado se adjuntan todos los niveles de ambiente correspondientes al ensayo de emisiones radiadas de la normativa Ford FMC1278 según los límites marcados en las tablas 3.1 y 3.2.

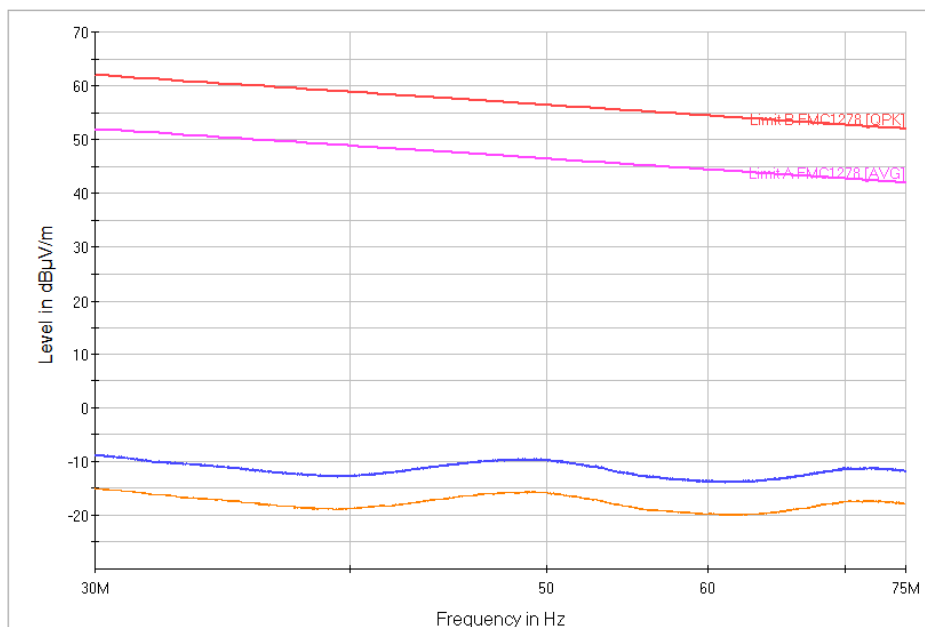


Figura A.5. RE 310: Gráfica de ambiente del nivel 1 de la banda M1 (30 – 70 MHz) con antena bicónica. Medida de pico (en azul) y medida promedio (en naranja).

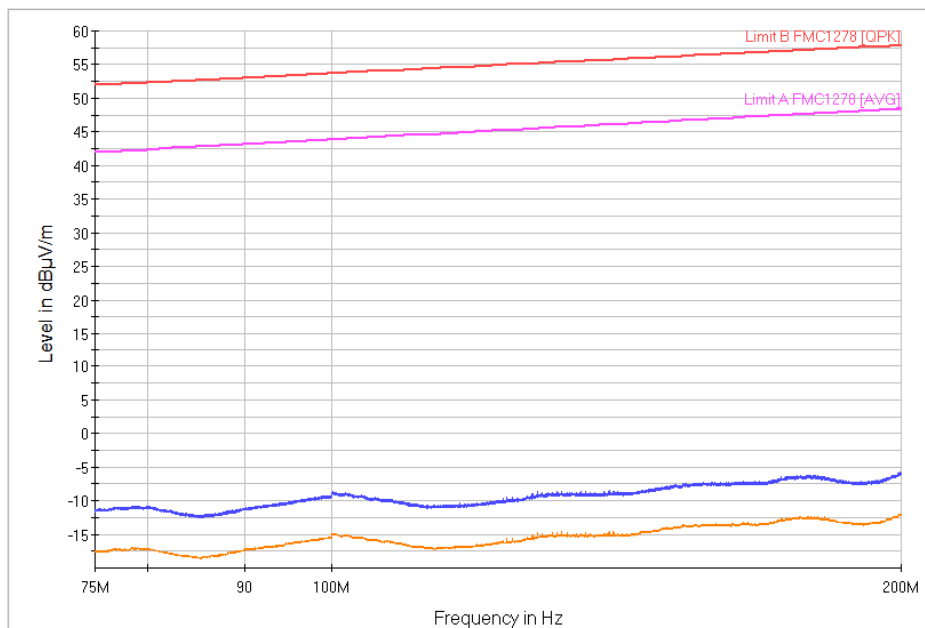


Figura A.6. RE 310: Gráfica de ambiente del nivel 1 de la banda M2 (75 – 200 MHz) con antena bicónica.

Medida de pico (en azul) y medida promedio (en naranja).

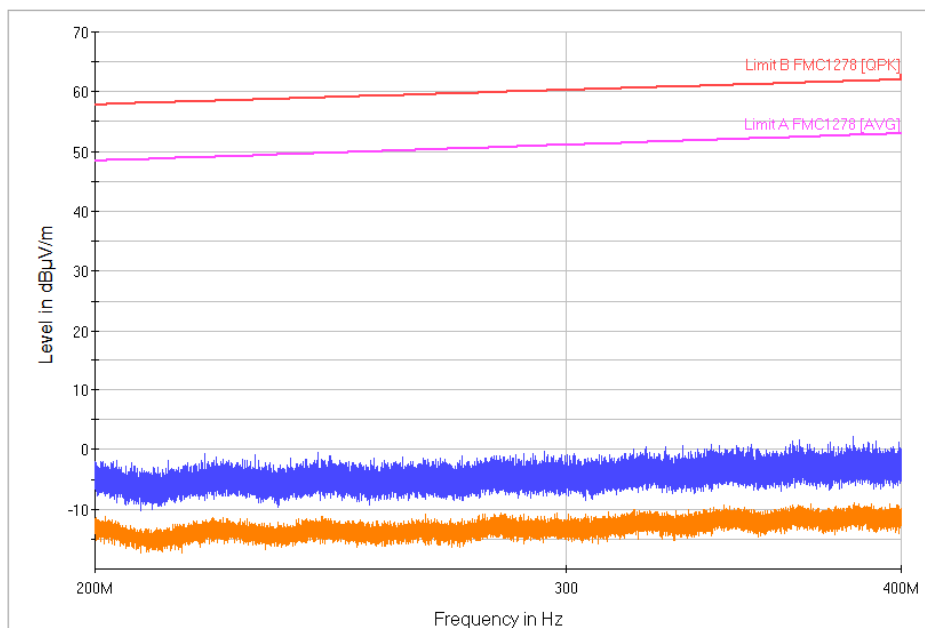


Figura A.7. RE 310: Gráfica de ambiente del nivel 1 de la banda M2 (200 – 400 MHz) con antena Logoperiódica.

Medida de pico (en azul) y medida promedio (en naranja).

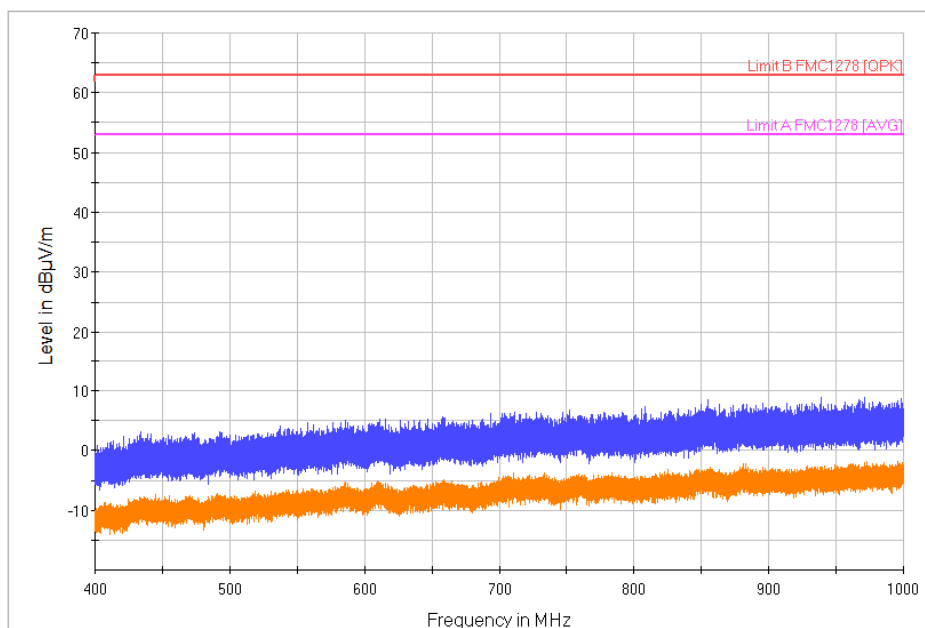


Figura A.8. RE 310: Gráfica de ambiente del nivel 1 de la banda M3 (400 – 1000 MHz) con antena Logoperiódica

Medida de pico (en azul) y medida promedio (en naranja).

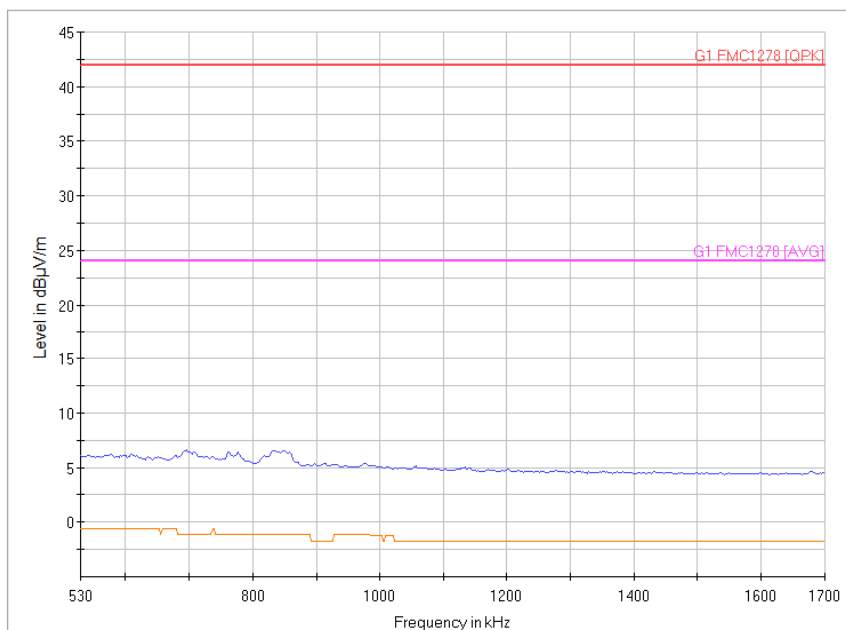


Figura A.9. RE 310: Gráfica de ambiente del nivel 2 de la banda G1 (0,53 – 1,7 MHz) con antena monopolo. Medida de cuasi pico (en azul) y medida promedio (en naranja).

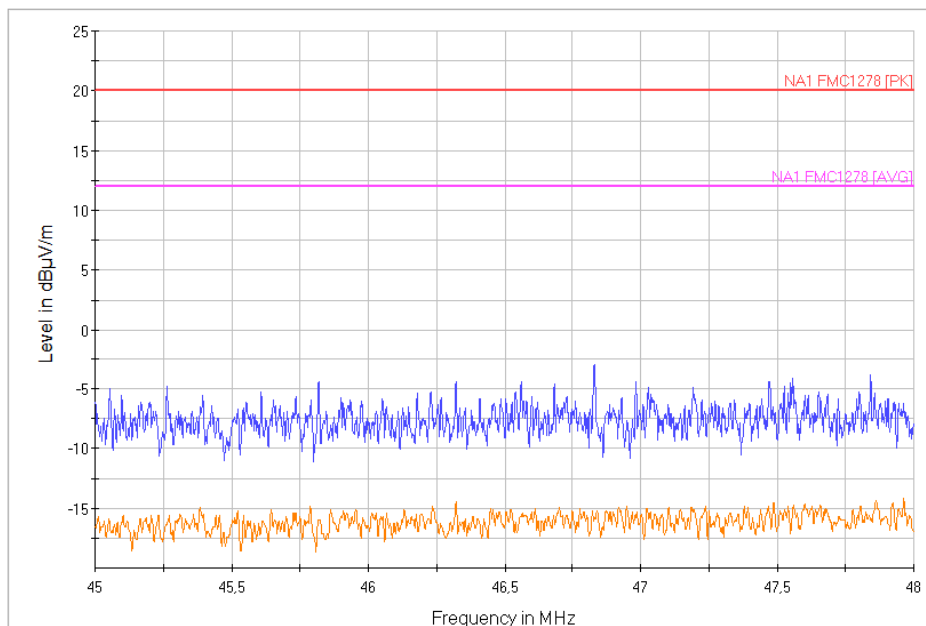
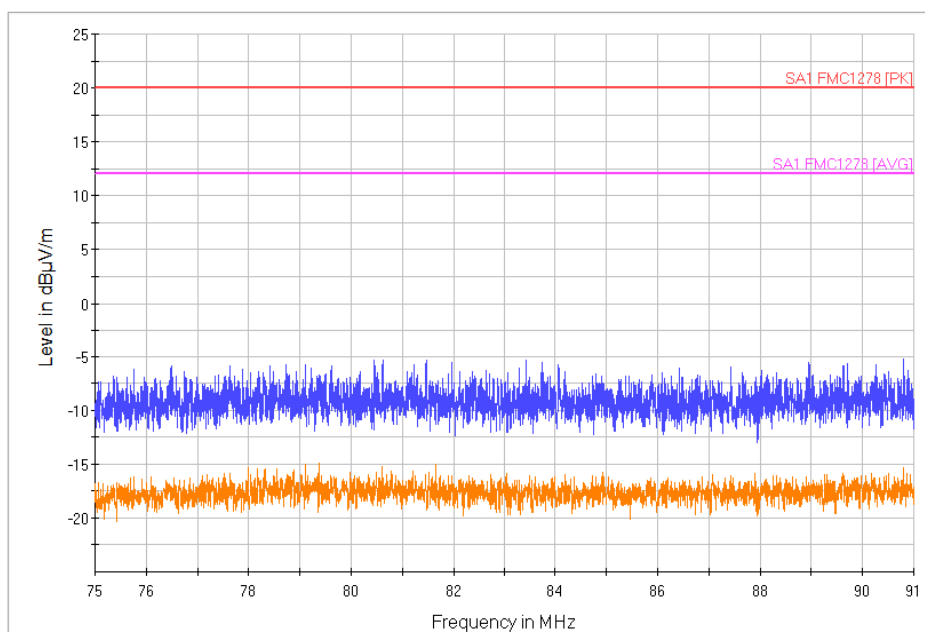
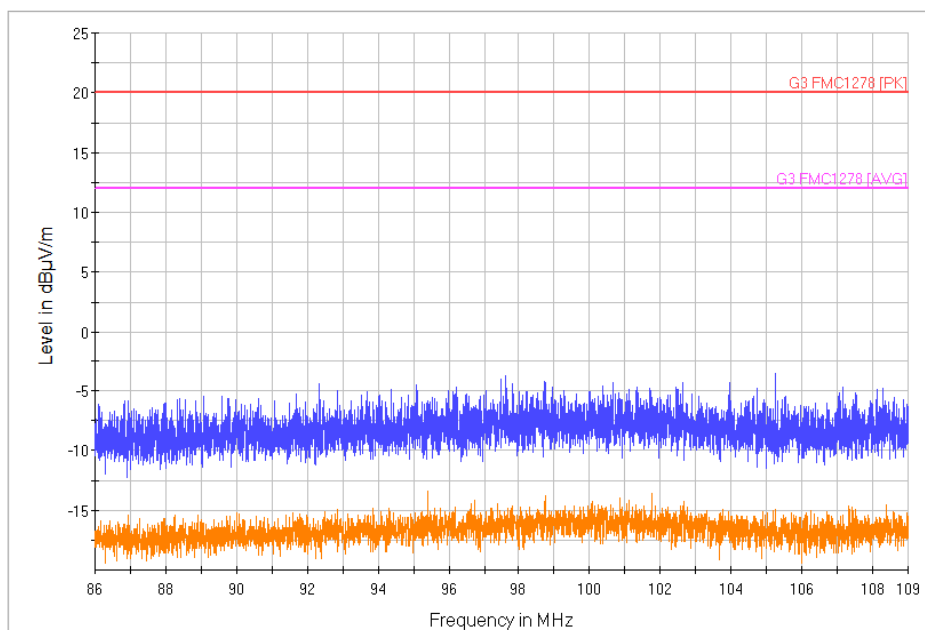


Figura A.10. RE 310: Gráfica de ambiente del nivel 2 de la banda NA1 (45 – 48 MHz) con antena bicónica. Medida de pico (en azul) y medida promedio (en naranja).



**Figura A.11. RE 310: Gráfica de ambiente del nivel 2 de la banda SA1 (75 – 91 MHz) con antena bicónica.
Medida de pico (en azul) y medida promedio (en naranja).**



**Figura A.12. RE 310: Gráfica de ambiente del nivel 2 de la banda G3 (86 – 109 MHz) con antena bicónica.
Medida de pico (en azul) y medida promedio (en naranja).**

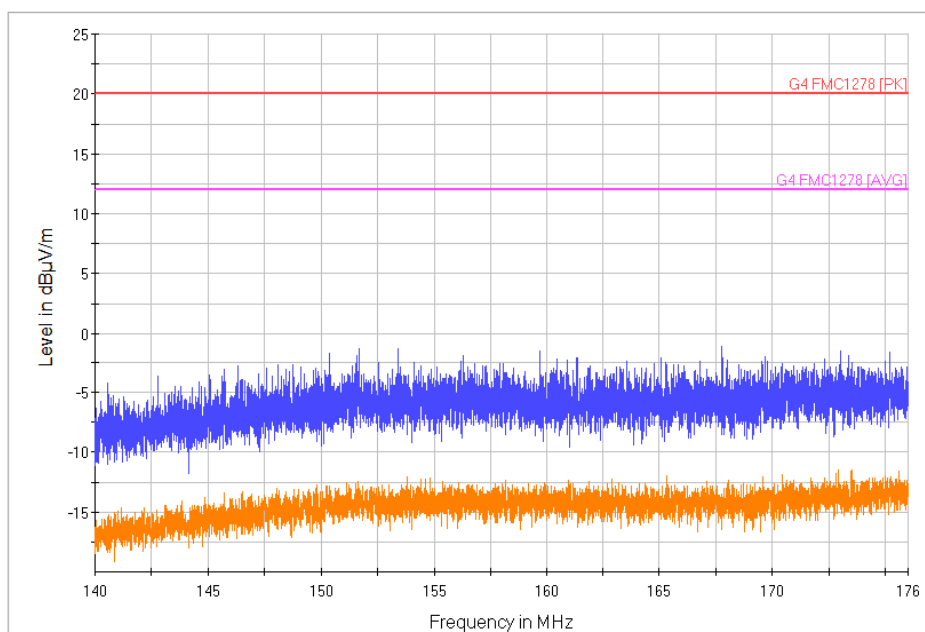


Figura A.13. RE 310: Gráfica de ambiente del nivel 2 de la banda G4 (140 – 176 MHz) con antena bicónica. Medida de pico (en azul) y medida promedio (en naranja).

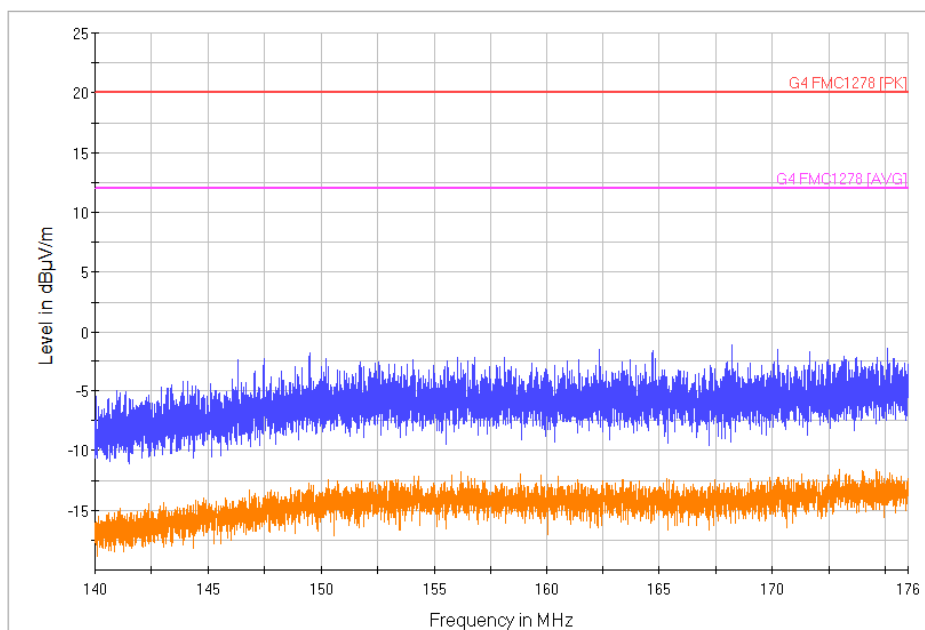


Figura A.14. RE 310: Gráfica de ambiente del nivel 2 de la banda G5 (172 – 200 MHz) con antena bicónica. Medida de pico (en azul) y medida promedio (en naranja).

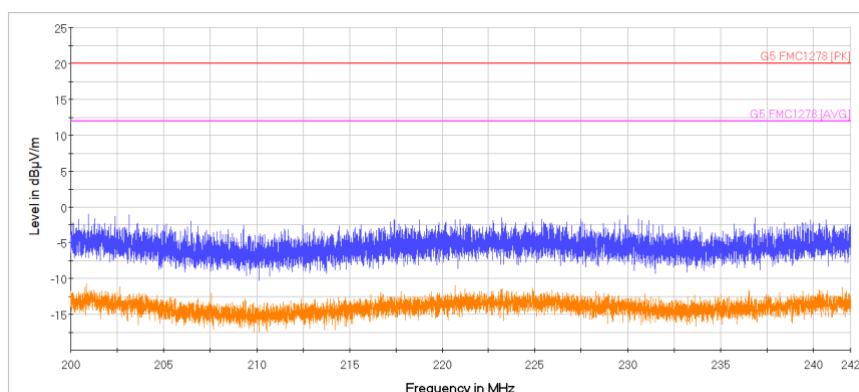


Figura A.15. RE 310: Gráfica de ambiente del nivel 2 de la banda G5 (200 – 242 MHz) con antena Logoperiódica. Medida de pico (en azul) y medida promedio (en naranja).

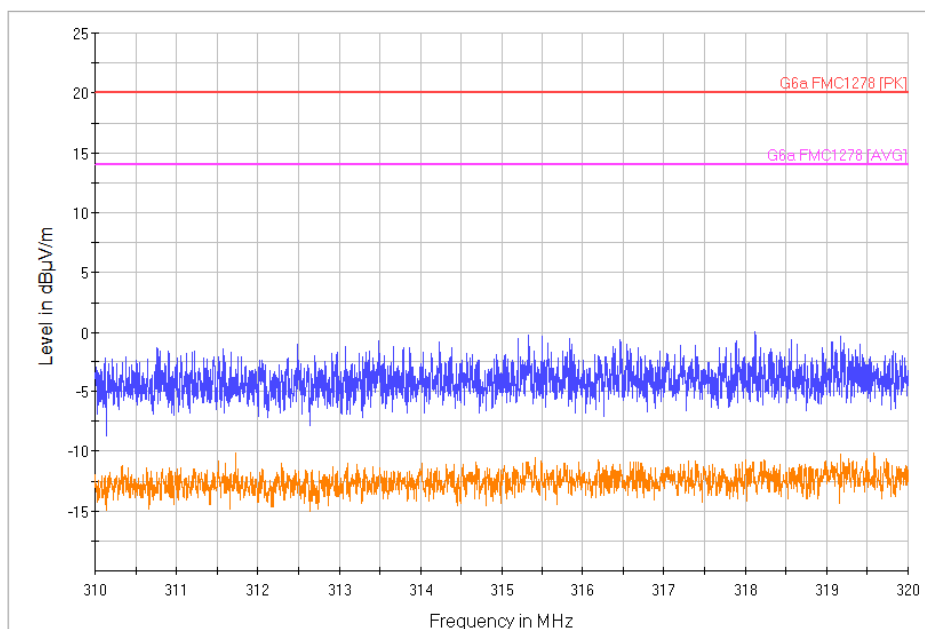


Figura A.16. RE 310: Gráfica de ambiente del nivel 2 de la banda G6a (310 – 320 MHz) con antena Logoperiódica. Medida de pico (en azul) y medida promedio (en naranja).

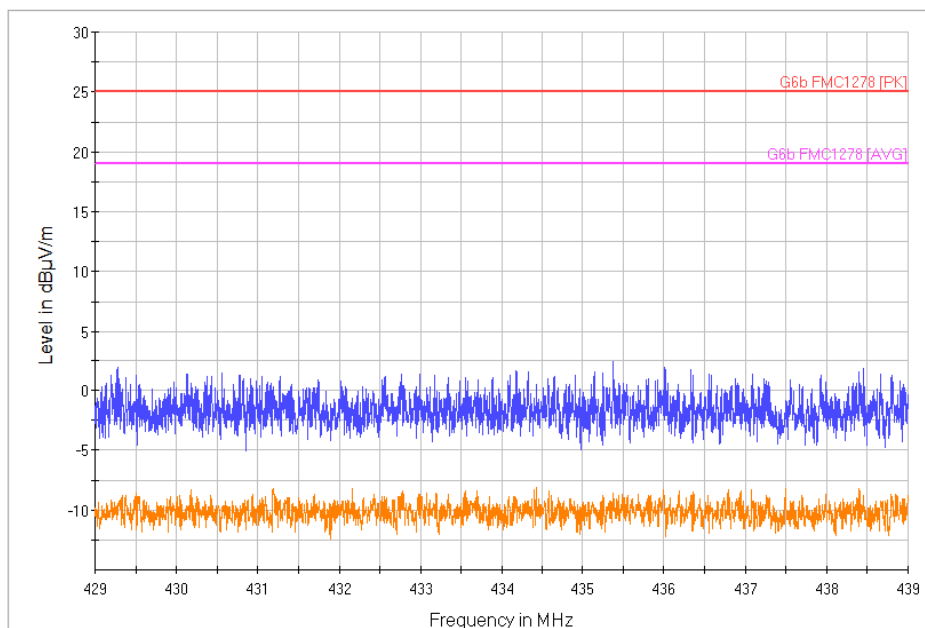


Figura A.17. RE 310: Gráfica de ambiente del nivel 2 de la banda G6b (429 – 439 MHz) con antena Logoperiódica. Medida de pico (en azul) y medida promedio (en naranja).

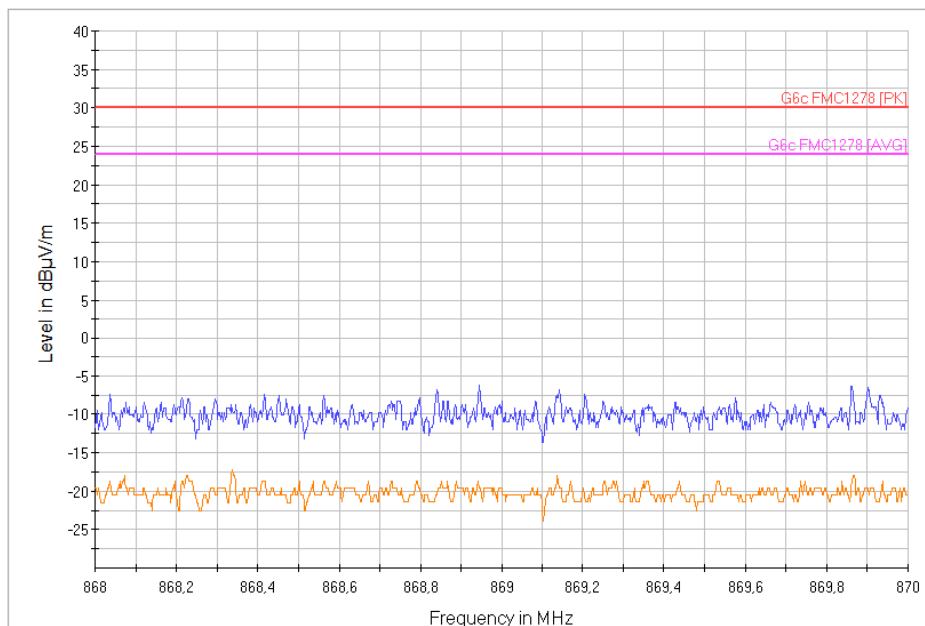
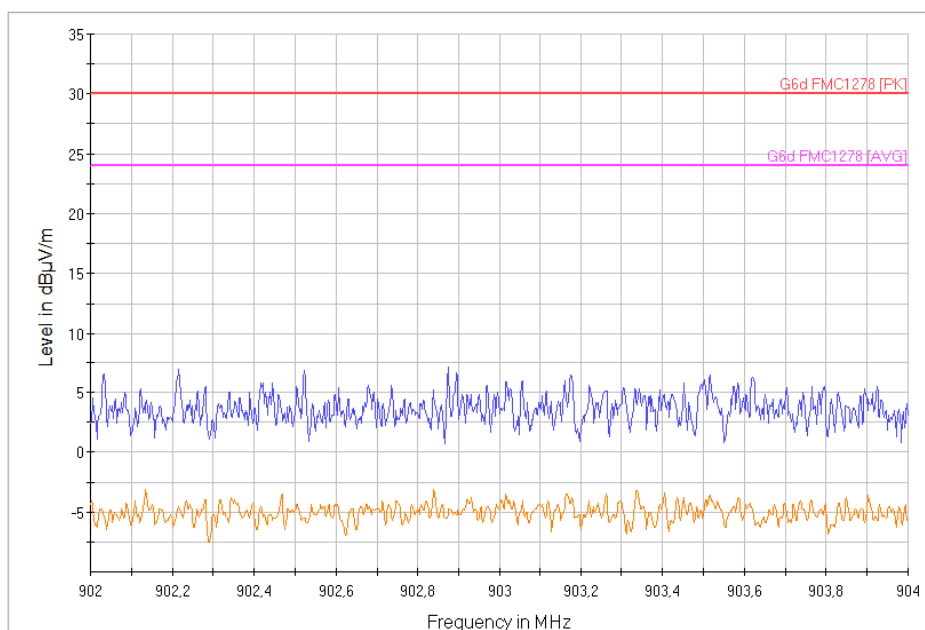
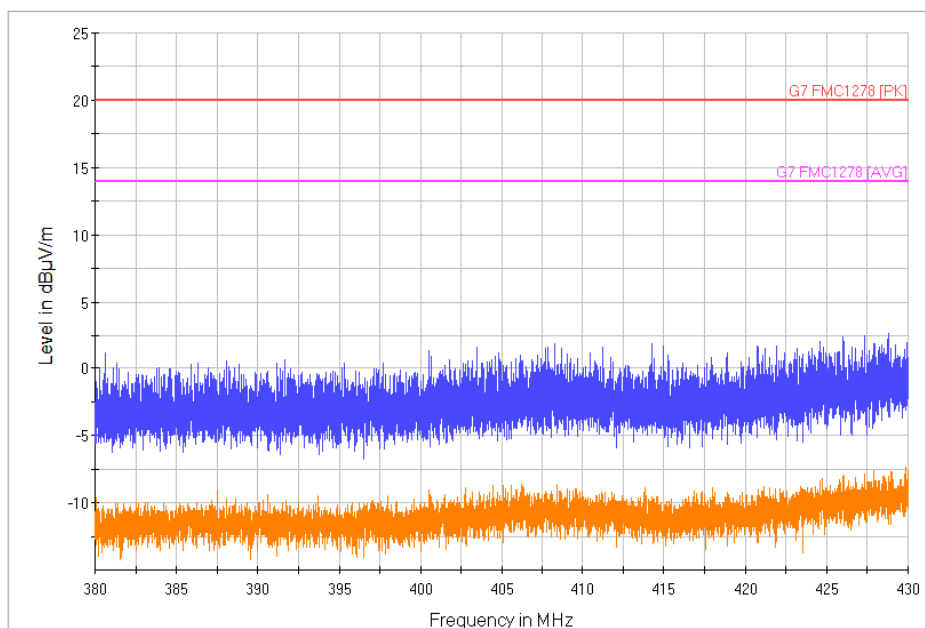


Figura A.18. RE 310: Gráfica de ambiente del nivel 2 de la banda G6c (868 – 870 MHz) con antena Logoperiódica. Medida de pico (en azul) y medida promedio (en naranja).



**Figura A.19. RE 310: Gráfica de ambiente del nivel 2 de la banda G6d (902 – 904 MHz) con antena Logoperiódica.
Medida de pico (en azul) y medida promedio (en naranja).**



**Figura A.20. RE 310: Gráfica de ambiente del nivel 2 de la banda G7 (380 – 430 MHz) con antena Logoperiódica.
Medida de pico (en azul) y medida promedio (en naranja).**

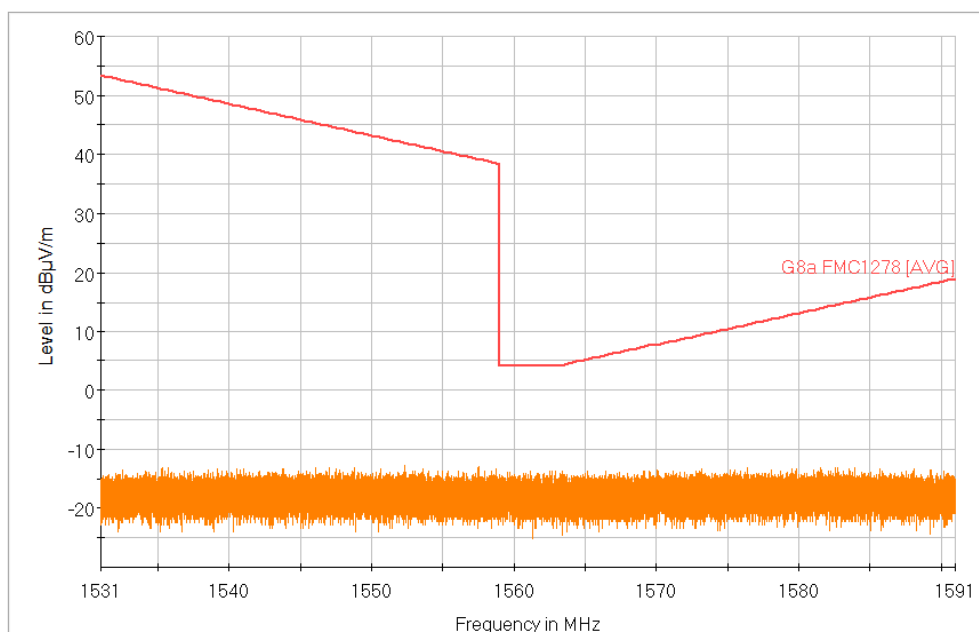


Figura A.21. RE 310: Gráfica de ambiente del nivel 2 de la banda G8a (1531 – 1591 MHz) con antena Horn. Medida promedio (en naranja).

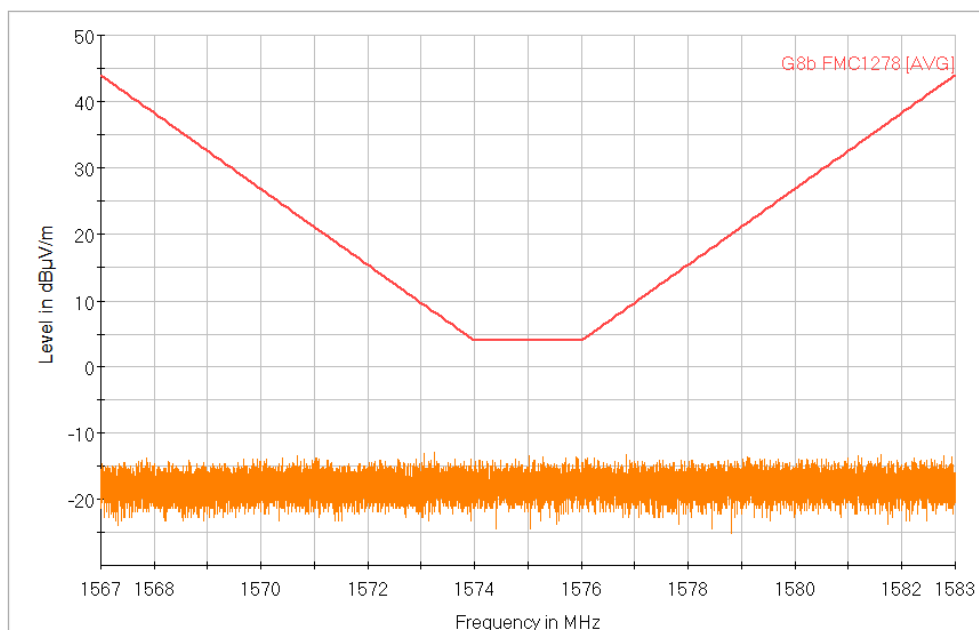


Figura A.22. RE 310: Gráfica de ambiente del nivel 2 de la banda G8b (1567 – 1583 MHz) con antena Horn. Medida promedio (en naranja).

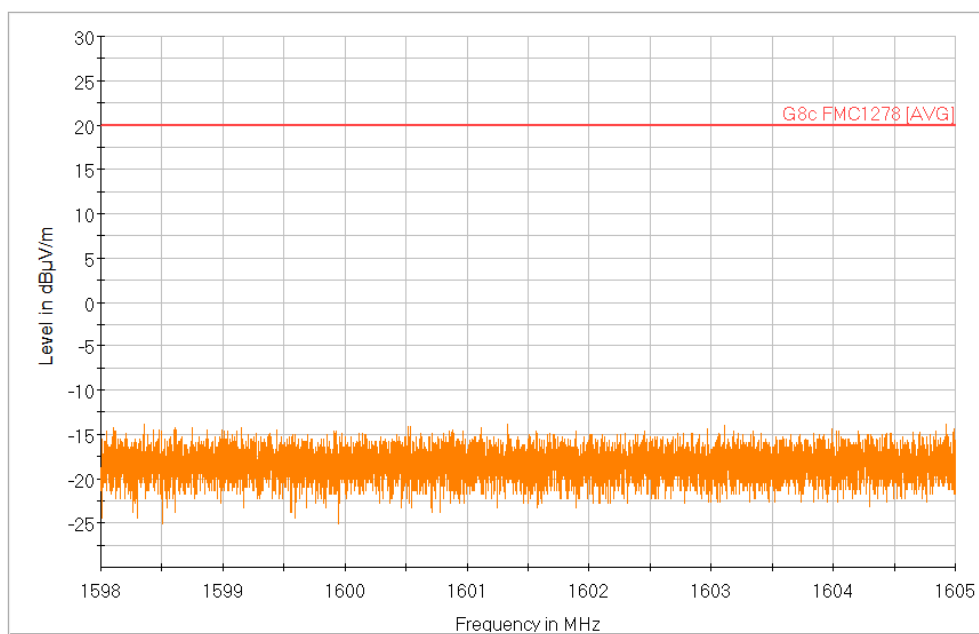
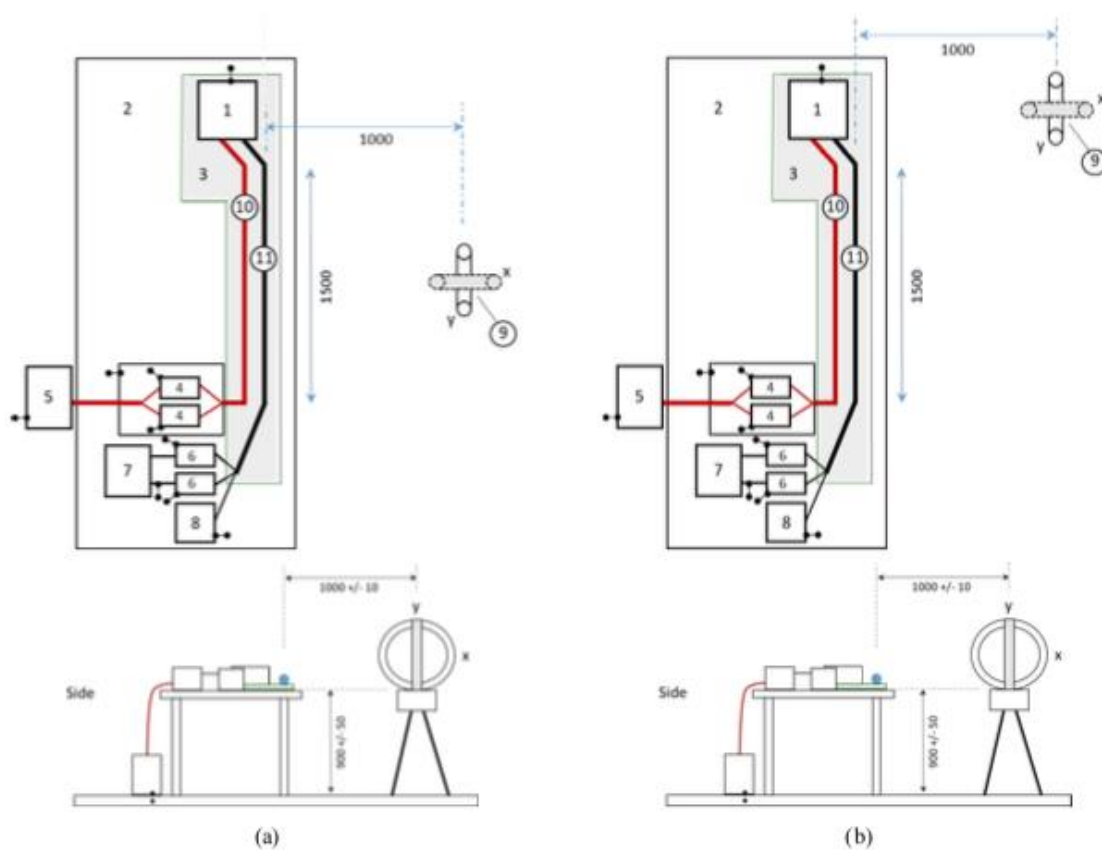


Figura A.23. RE 310: Gráfica de ambiente del nivel 2 de la banda G8c (1598 – 1605 MHz) con antena Horn. Medida promedio (en naranja).

Anexo B. Emisiones Radiadas en baja frecuencia (RE 330)

B.1. Test setup según la normativa Ford FMC1278: 2018

En la siguiente Figura B.1 se muestra la disposición del equipo bajo ensayo en plano de masa.



Key:

- | | |
|---|--|
| 1. DUT | 7. LV power supply (see section 5.5.4) |
| 2. Ground plane bench (bonded to wall of ALSE) | 8. LV Load Simulator |
| 3. Dielectric support ($\epsilon_r \leq 1.4$) 50 mm thick | 9. Measurement antenna |
| 4. HV ANs (contained within shielded enclosure) | 10. HV supply lines(HV+, HV-) |
| 5. HV power supply (see section 5.6.4) | 11. LV supply lines/LV signal lines |
| 12. LV ANs | |

Figura B.1. Test setup para el ensayo según la normativa Ford FMC1278.

B.2. Medidas de ambiente según la normativa Ford FMC1278: 2018

En este apartado se adjuntan todos los niveles de ambiente correspondientes al ensayo de emisiones radiadas en baja frecuencia de la normativa Ford FMC1278.

Como se puede observar, para todas las orientaciones y posiciones de la antena, el nivel de ambiente está más de 6dB por debajo del límite que se requiere.

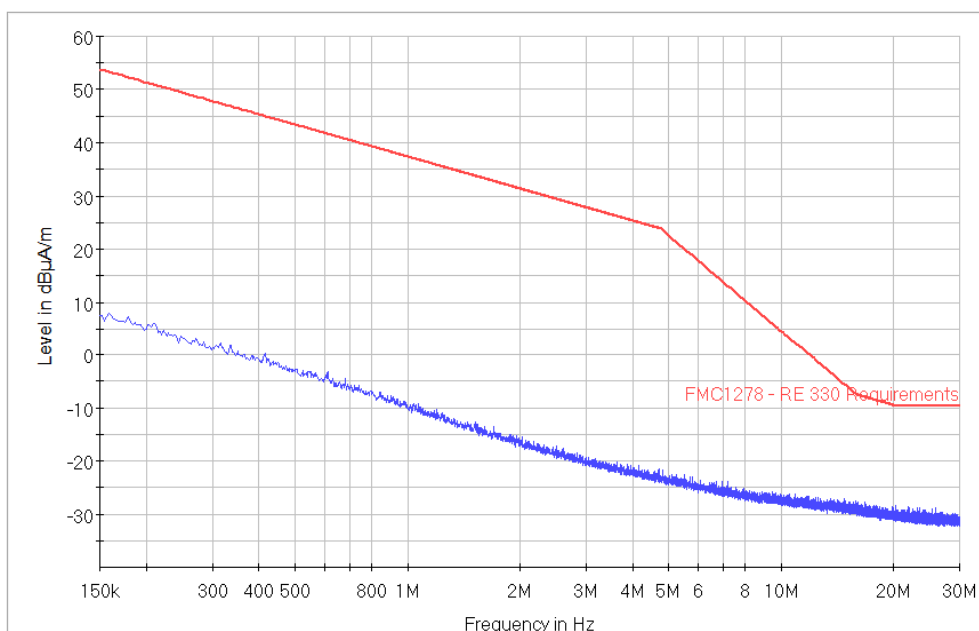


Figura B.2. RE 330: Gráfica de ambiente (0,15 – 30 MHz). Posición X de la antena frente el cableado. Medida de pico (en azul).

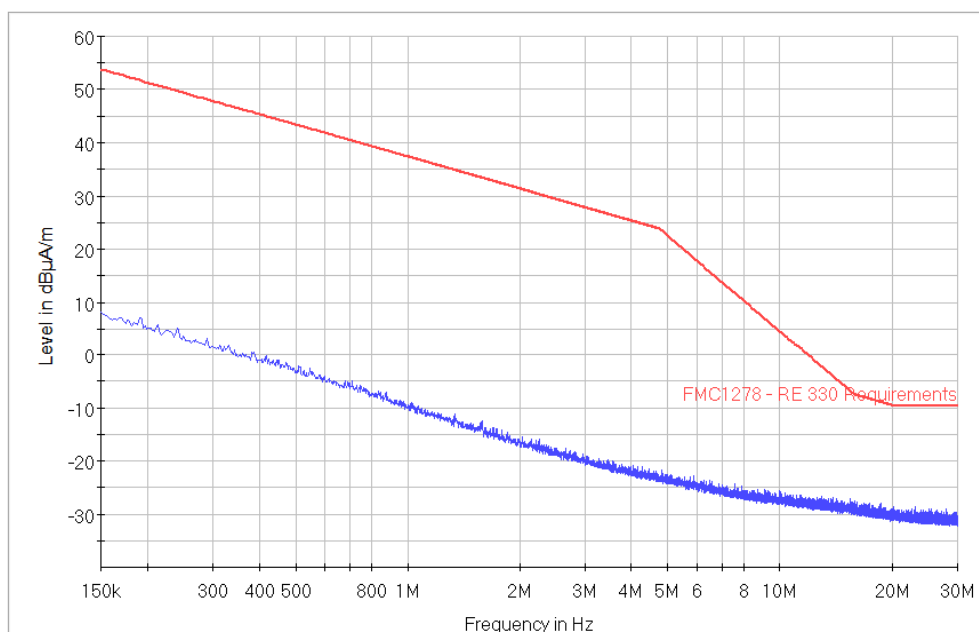


Figura B.3. RE 330: Gráfica de ambiente (0,15 – 30 MHz). Posición Y de la antena frente el cableado. Medida de pico (en azul).

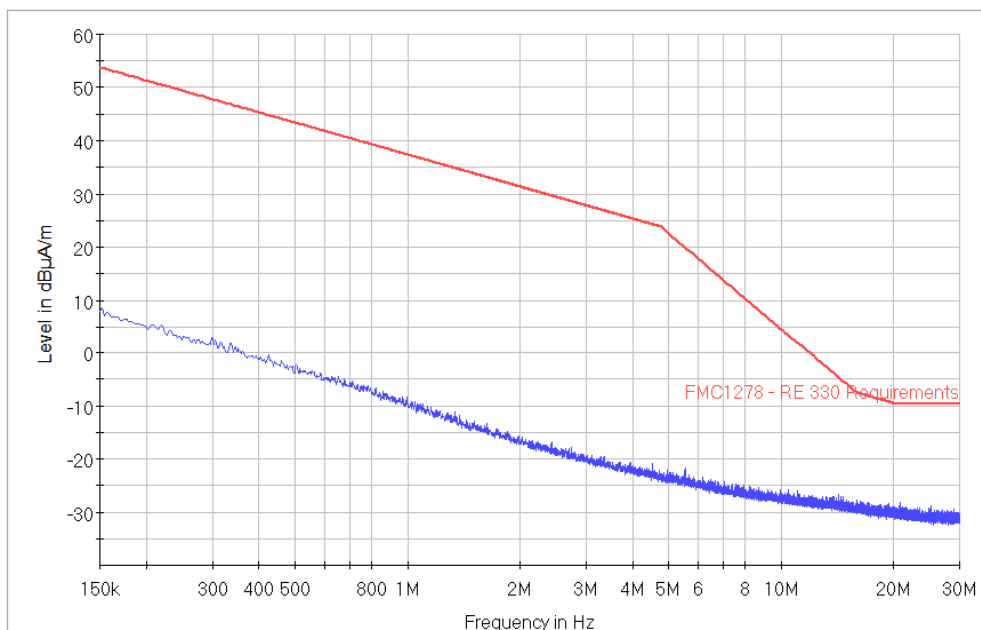


Figura B.4. RE 330: Gráfica de ambiente (0,15 – 30 MHz). Posición X de la antena frente el EUT. Medida de pico (en azul).

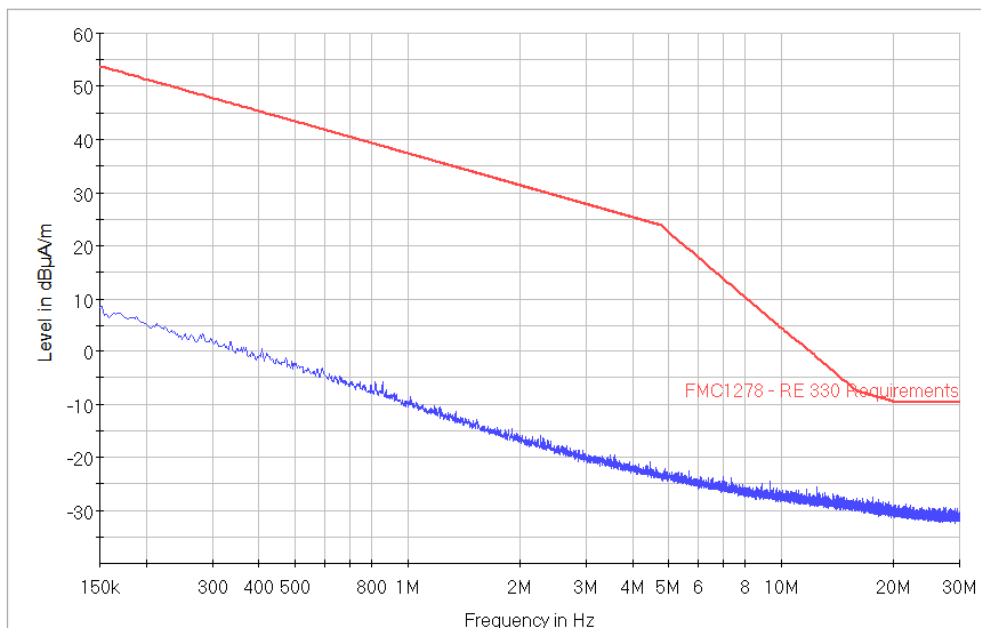
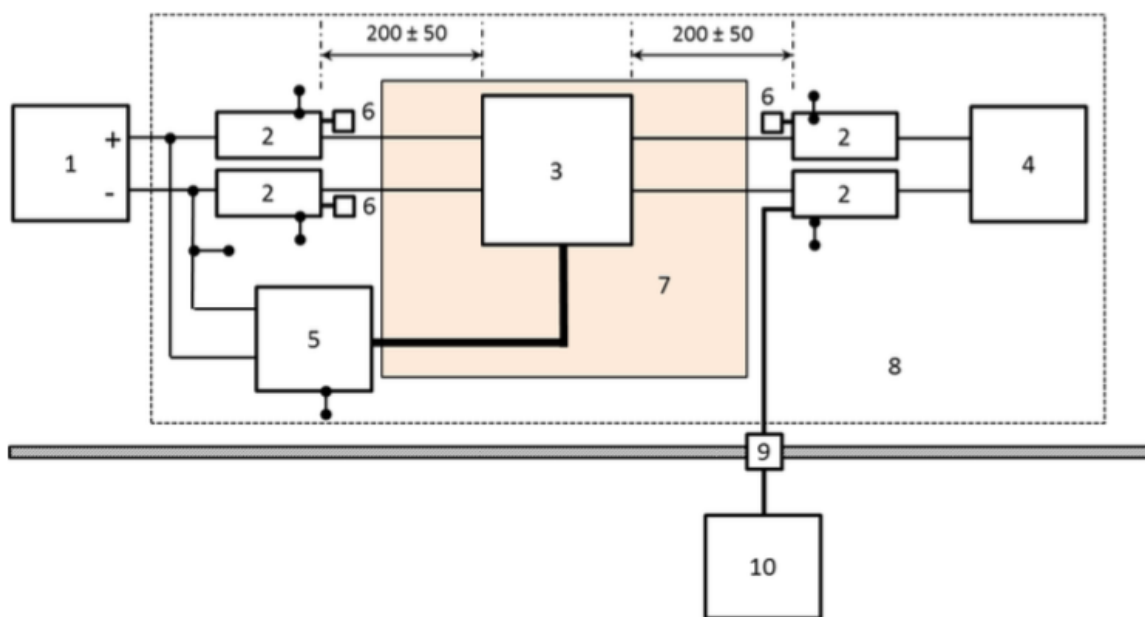


Figura B.5. RE 330: Gráfica de ambiente (0,15 – 30 MHz). Posición Y de la antena frente el EUT. Medida de pico (en azul).

Anexo C. Emisiones Conducidas en baja frecuencia (CE 420)

C.1. Test setup según la normativa Ford FMC1278: 2018

En la siguiente Figura C.1 se muestra la disposición del equipo bajo ensayo en plano de masa.



Key:

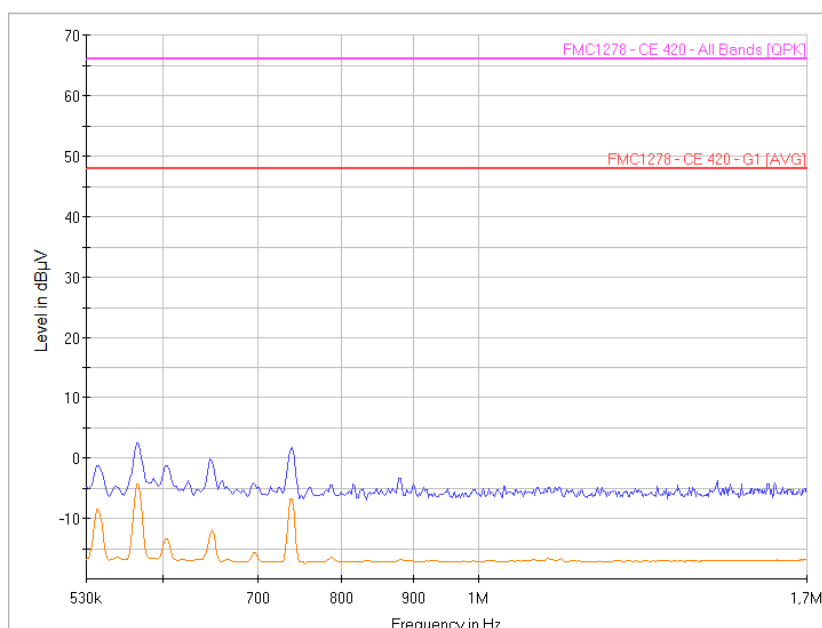
- | | |
|---|---|
| 1. Power Supply | 6. 50 ohm termination |
| 2. Artificial Network | 7. Dielectric Support ($\epsilon_r \leq 1.4$) |
| 3. DUT | 8. Ground Plane |
| 4. Resistive Load "R" (see section 9.2) | 9. RF bulk head connector (at shield room wall) |
| 5. Load Simulator | 10. Measurement Receiver |

Figura C.1. Esquema del EUT en el plano de masa según la normativa FMC1278

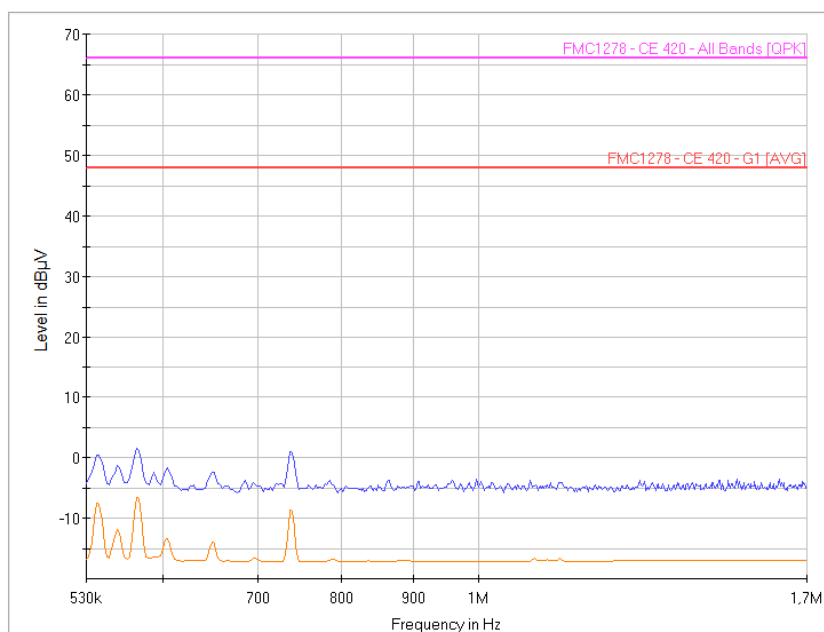
C.2. Medidas de ambiente según la normativa Ford FMC1278: 2018

En este apartado se adjuntan todos los niveles de ambiente correspondientes al ensayo de emisiones conducidas de la normativa Ford FMC1278.

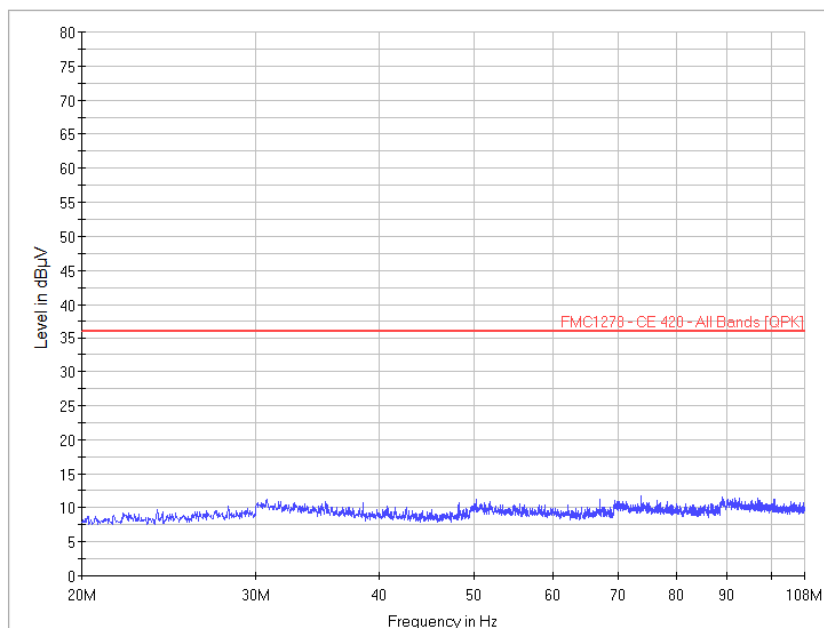
Como se puede observar en las gráficas, todos los niveles de ambiente están más de 6dB por debajo del límite que indica la tabla 4.56.



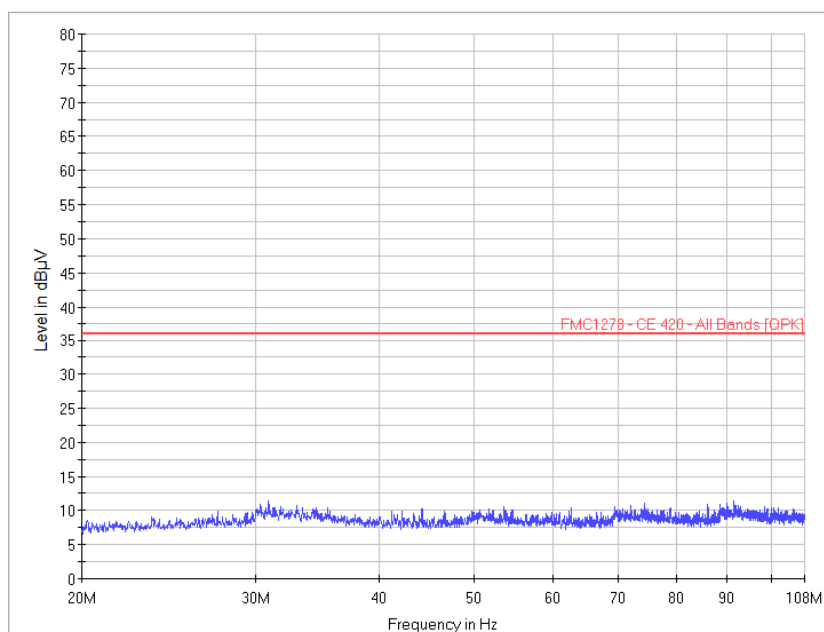
**Figura C.2. CE 420: Gráfica de ambiente de la banda G1 (0,53 – 1.7 MHz). Medida en línea de alimentación (Vcc).
Medida de pico (en azul) y medida promedio (en naranja).**



**Figura C.3. CE 420: Gráfica de ambiente de la banda G1 (0,53 – 1.7 MHz). Medida en línea de retorno (GND).
Medida de pico (en azul) y medida promedio (en naranja).**



**Figura C.4. CE 420: Gráfica de ambiente de la banda M0 a la G1 (20 – 108 MHz). Medida en línea de alimentación.
(Vcc).
Medida de pico (en azul).**

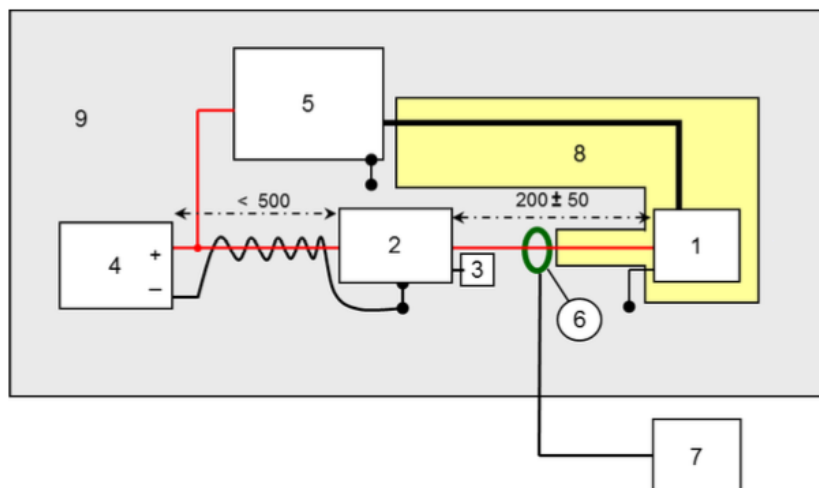


**Figura C.5. CE 420: Gráfica de ambiente de la banda M0 a la G1 (20 – 108 MHz). Medida en línea de retorno (GND).
Medida de pico (en azul),**

Anexo D. Emisiones Conducidas en baja frecuencia (CE 421)

D.1. Test setup según la normativa Ford FMC1278: 2018

En la siguiente Figura D.1 se muestra la disposición del equipo bajo ensayo en plano de masa.



Key:

- | | |
|-----------------------------|---|
| 1. DUT | 6. Current Probe (see Table 10-2) |
| 2. Artificial Network | 7. Measurement Receiver |
| 3. Open Circuit Termination | 8. Dielectric Support ($\epsilon_r \leq 1.4$) |
| 4. Power Supply | 9. Ground Plane |
| 5. Load Simulator | |

Figura D.1. Esquema del EUT en el plano de masa según normativa FMC1278.

D.2. Medidas de ambiente según la normativa Ford FMC1278: 2018

En este apartado se adjuntan todos los niveles de ambiente correspondientes al ensayo de emisiones conducidas de la normativa Ford FMC1278.

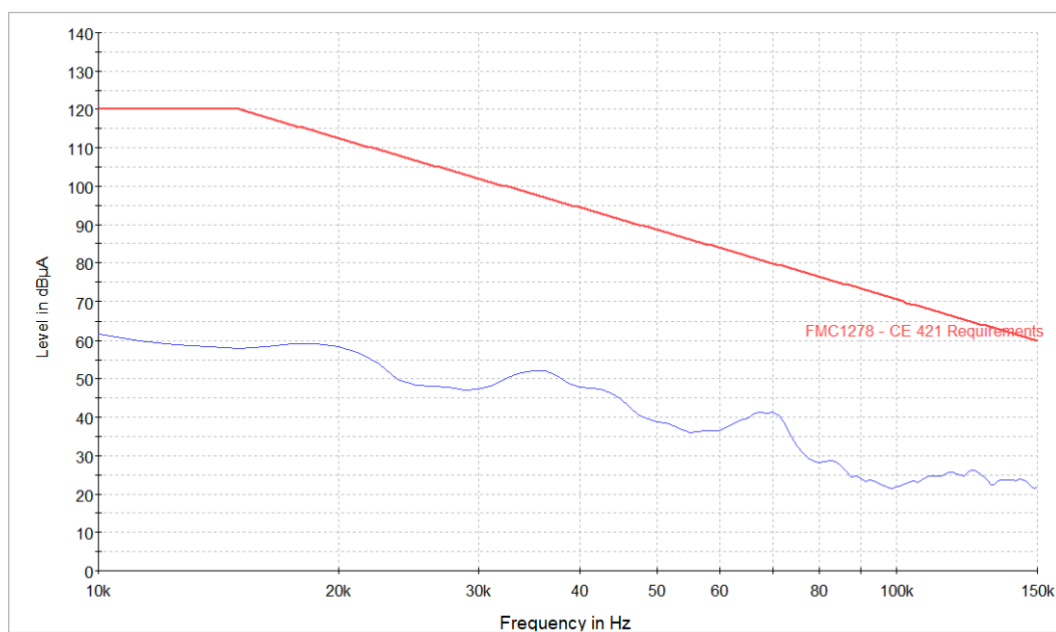


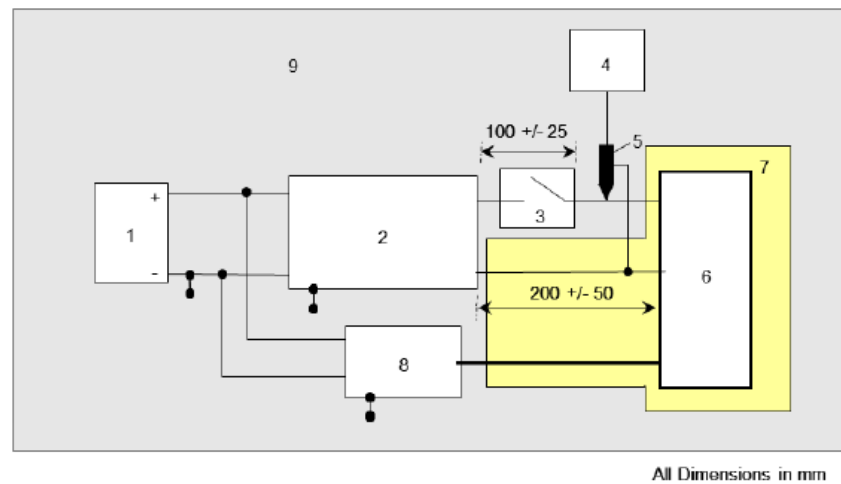
Figura D.2. CE 421: Gráfica de ambiente (0,53 – 1.7 MHz)

Medida de pico (en azul).

Anexo E. Emisiones Transitorias (CE 410)

E.1. Test setup según la normativa Ford FMC1278: 2018

En la siguiente Figura E.1 se muestra la disposición del equipo bajo ensayo en plano de masa.



Key:

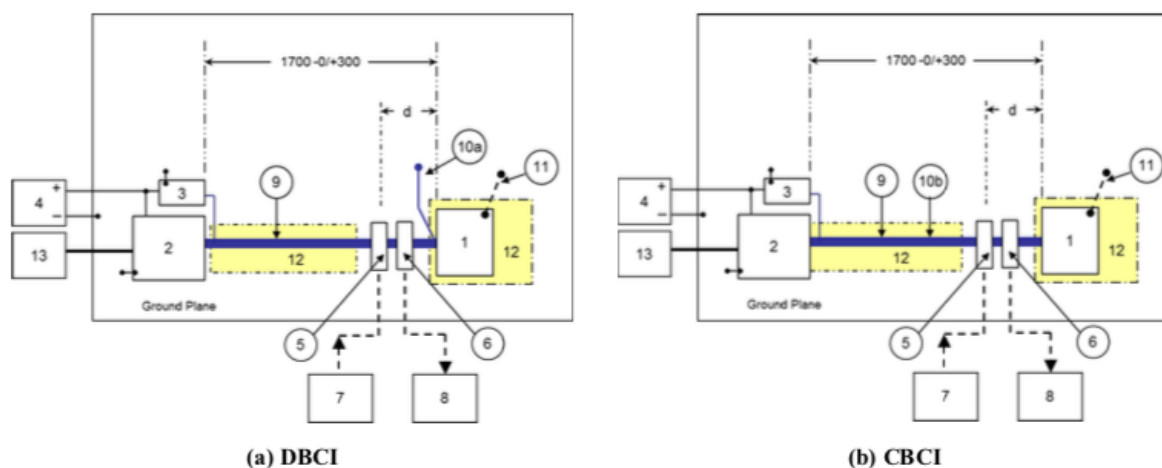
- | | |
|---|---|
| 1. Power Supply (see 11.2 for voltage setting) | 6. DUT |
| 2. Artificial Network (AN) | 7. Dielectric support ($\epsilon_r \leq 1.4$) |
| 3. Mechanical /Electromechanical Switch | 8. Load Simulator |
| 4. Digitizing Oscilloscope | 9. Ground Plane |
| 5. High Impedance Probe (1:100, $C < 4\text{pF}$
See ISO 7637-2) Example: Agilent 10076A | |

Figura E.1. Esquema del EUT en el plano de masa según la normativa FMC1278.

Anexo F. Inmunidad de excitación de cableado (RI 112)

F.1. Test setup según la normativa Ford FMC1278: 2018

En la siguiente Figura F.1 se muestra la disposición del equipo bajo ensayo en plano de masa.



Key:

- | | |
|--|--|
| 1. DUT | 8. Current Monitoring Equipment |
| 2. Load Simulator | 9. DUT Wire harness |
| 3. Artificial Network | 10a. DUT Power Return removed from wire harness and connected directly to sheet metal. Wire length is <200 mm. |
| 4. Power Supply | 10b. DUT Power Return included in DUT wire harness |
| 5. Injection Probe | 11. DUT Case Ground (see section 12.2) |
| 6. Monitor Probe (requires prior approval by FMC EMC approval to use). | 12. Dielectric Support ($\epsilon_r \leq 1.4$) |
| 7. RF Generation Equipment | 13. Support/Monitoring Equipment |
| d= Injection probe distance from DUT (see section 12.4.2) | |

Figura F.1. Esquema del EUT en el plano de masa según la normativa FMC1278.

F.2. Calibración del ensayo según la normativa Ford FMC1278: 2018

En este apartado se adjuntan todos los niveles de potencia correspondientes al ensayo de BCI de la normativa Ford FMC1278.

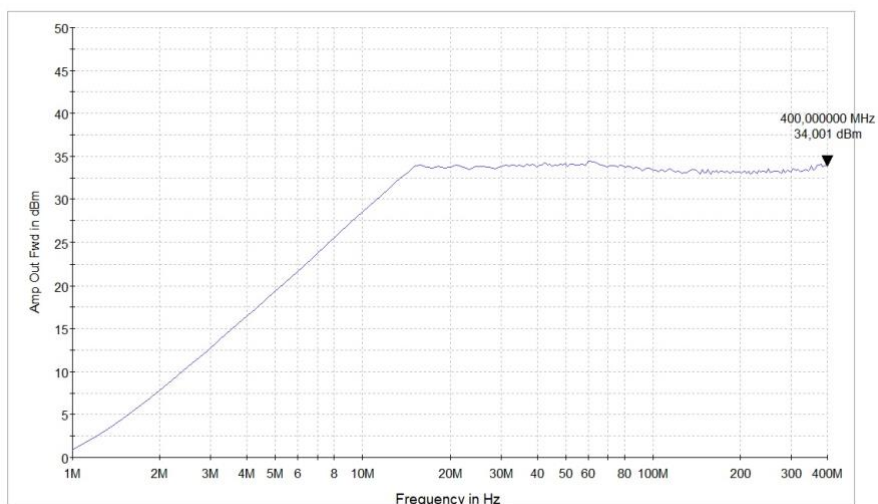


Figura F.2. RI 112 Calibración de la potencia forward del nivel 1. De las bandas 1 a la 4 de 1 a 400 MHz.

Potencia forward (en azul) en dBm.

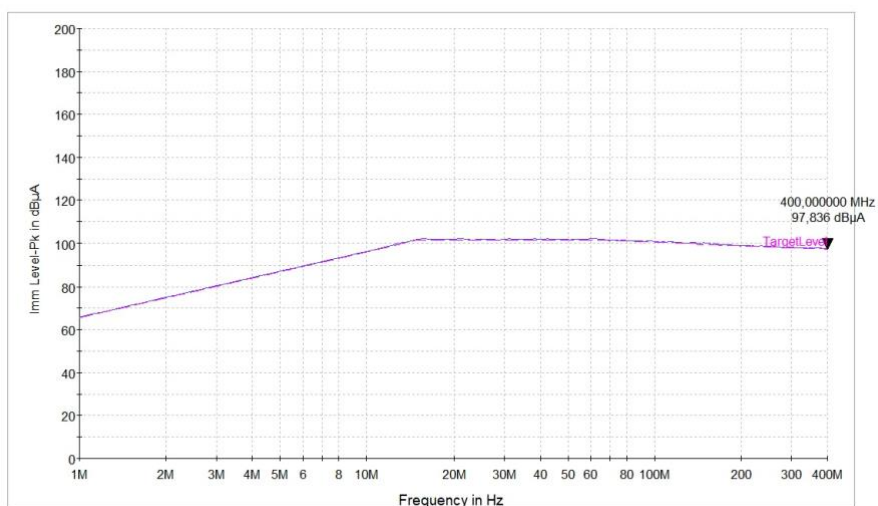


Figura F.3. RI 112 Calibración del nivel de inmunidad del nivel 1. De las bandas 1 a la 4 de 1 a 400 MHz.

Medida inmunidad (en azul) en dBuA.

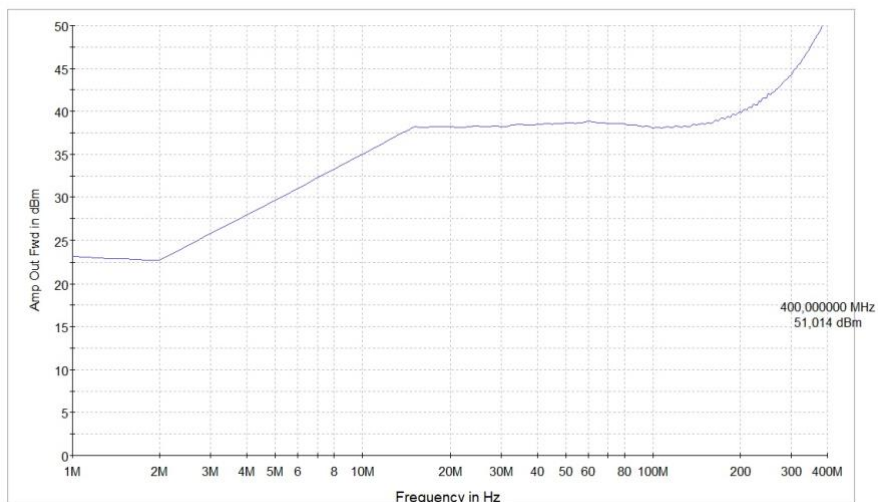


Figura F.4. RI 112 Calibración de la potencia forward del nivel 2. De las bandas 1 a la 4 de 1 a 400 MHz.

Potencia forward (en azul) en dBm.

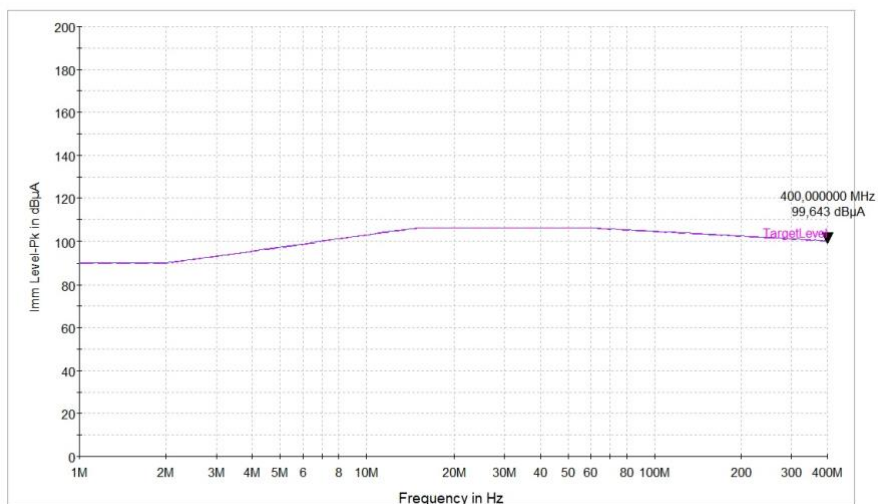


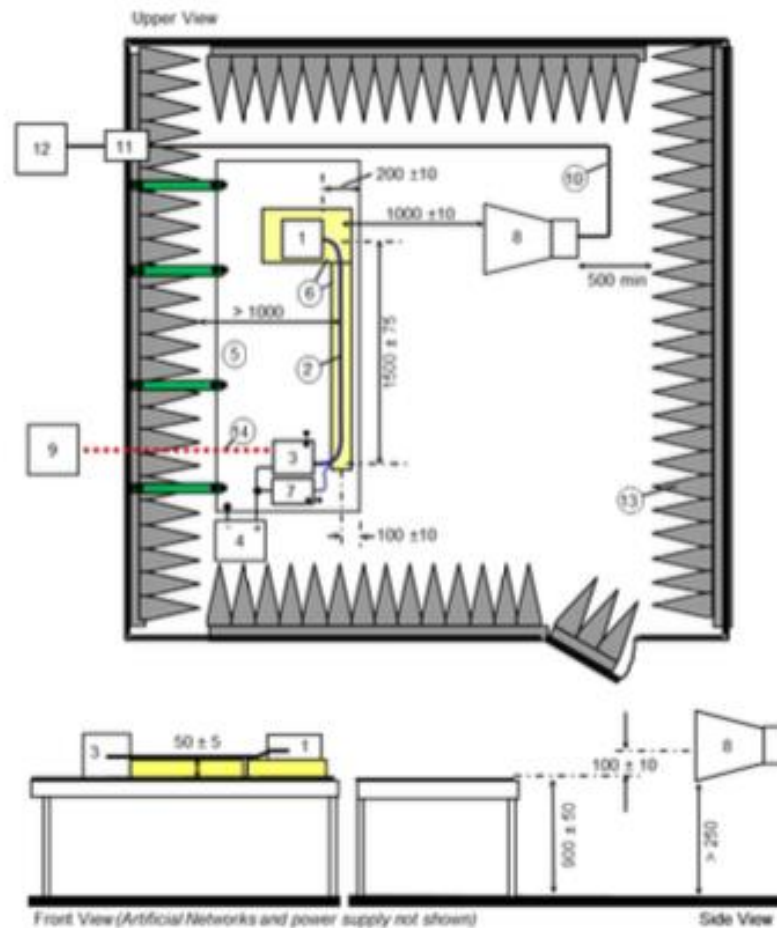
Figura F.5. RI 112 Calibración del nivel de inmunidad del nivel 2. De las bandas 1 a la 4 de 1 a 400 MHz.

Medida inmunidad (en azul) en dBuA.

Anexo G. Inmunidad Radiada (RI 114)

G.1. Test setup según la normativa Ford FMC1278: 2018

En la siguiente Figura G.1 se muestra la disposición del equipo bajo ensayo de las bandas 5 y 6.

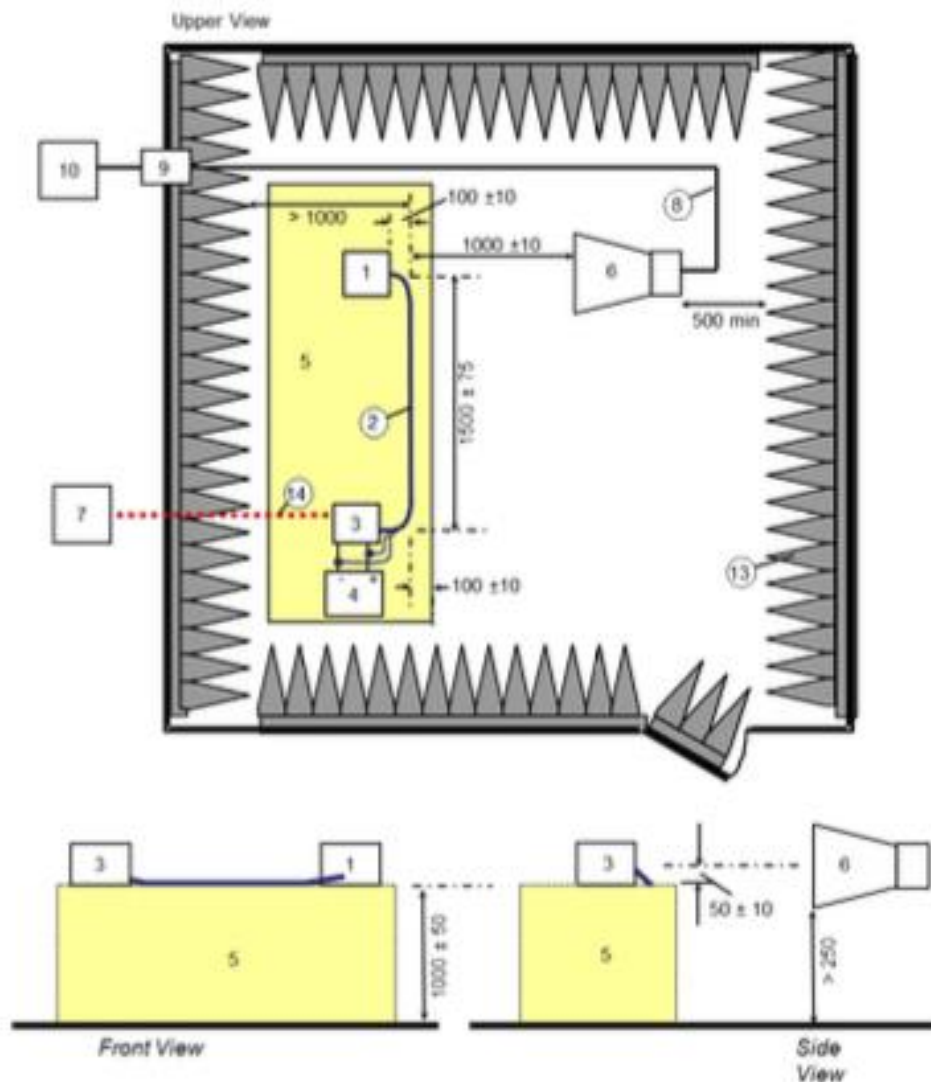


Key:

- | | |
|---|--|
| 1. DUT | 8. Transmitting Antenna |
| 2. Wire Harness | 9. Support/Monitoring Equipment |
| 3. Load Simulator | 10. Double Shielded Coaxial Cable (50 Ω) |
| 4. Power Supply | 11. Bulkhead Connector |
| 5. Ground Plane (bonded to shielded enclosure) | 12. RF Generation Equipment |
| 6. Dielectric Support ($\epsilon_r \leq 1.4$) | 13. RF Absorber Material |
| 7. Artificial Network | |

Figura G.1. Test setup para el ensayo de las bandas 5 y 6 de la normativa Ford FMC1278.

En la siguiente Figura G.2 se muestra la disposición del equipo bajo ensayo en las bandas 7 y 8.



Key:

- | | |
|---|--|
| 1. DUT | 7. Support Equipment |
| 2. Test Harness | 8. Double Shielded Coaxial Cable (e.g. RG 223) |
| 3. Load Simulator | 9. Bulkhead Connector |
| 4. Automotive Battery | 10. RF Generation Equipment |
| 5. Dielectric Support ($\epsilon_r \leq 1.4$) | 11. RF absorber Material |
| 6. Transmit Antenna | |

Figura G.2. Test setup para el ensayo de las bandas 7 y 8 de la normativa Ford FMC1278.

G.2. Calibración del ensayo según la normativa Ford FMC1278: 2018

En este apartado muestra las calibraciones del ensayo de inmunidad radiada a partir de la potencia forward (endBm) y el nivel de campo leído por el sensor (en V/m).

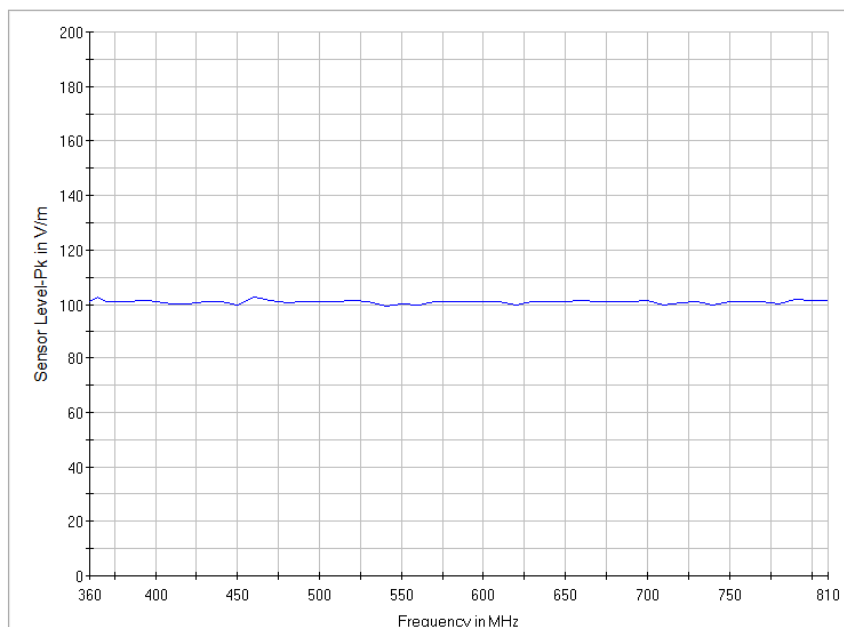
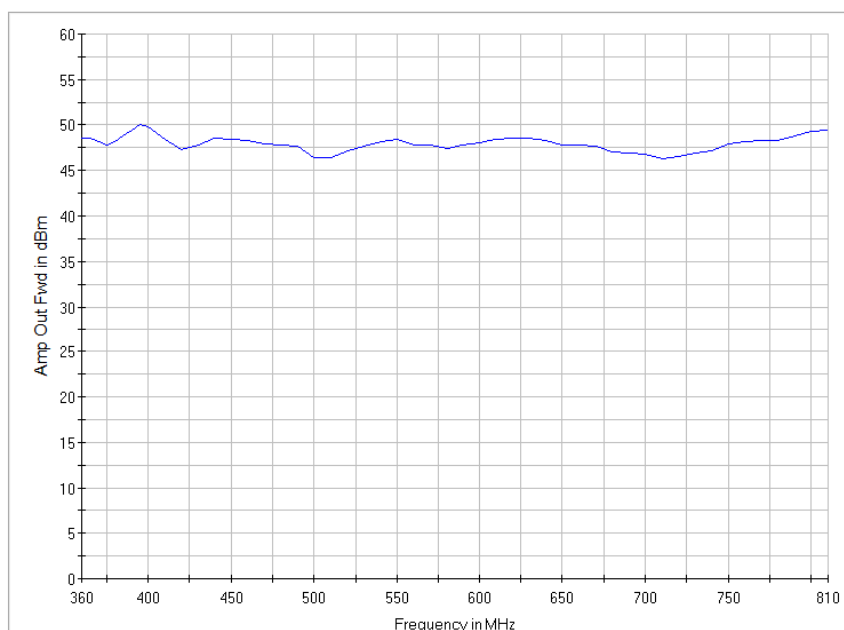
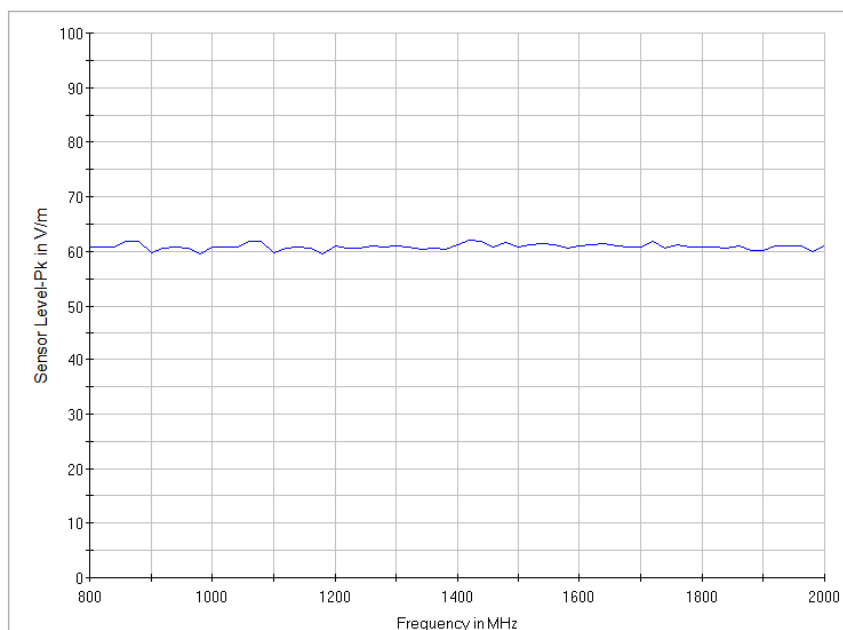


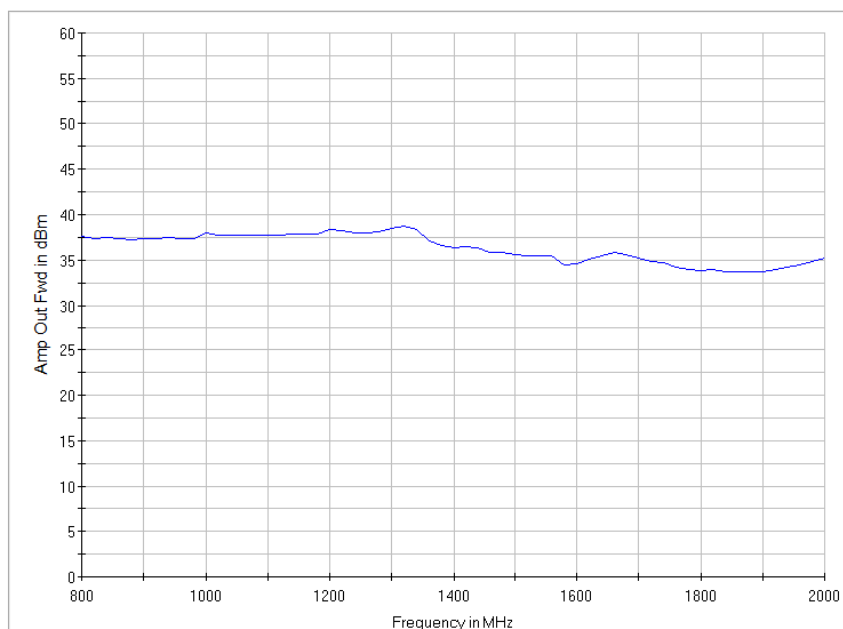
Figura G.3. RI 114 Calibración de la banda 5 (360 – 806 MHz). Nivel de severidad 2 (100 V/m)
Medida del sensor (en azul) en V/m.



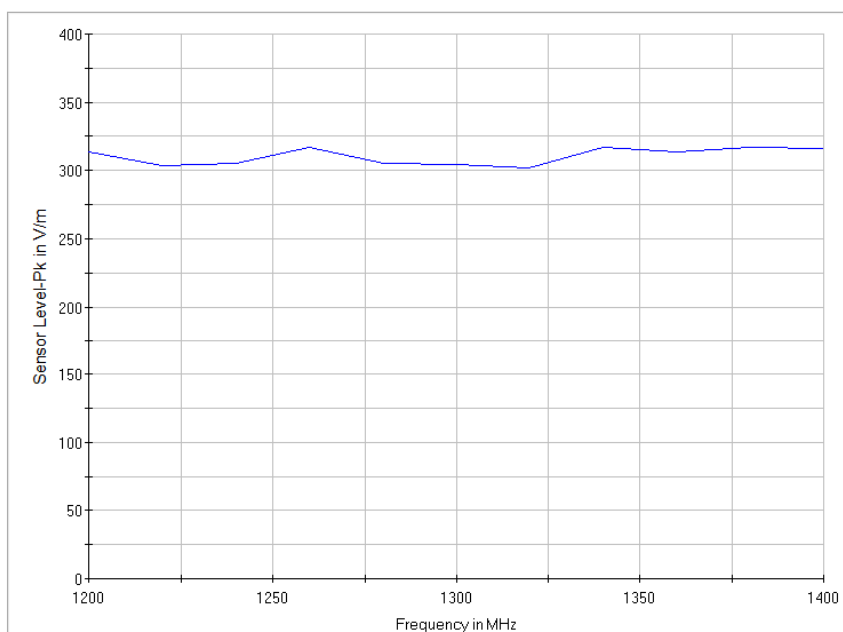
**Figura G.4. RI 114 Calibración de la banda 5 (360 – 806 MHz). Nivel de severidad 2 (100 V/m).
Potencia forward (en azul) en dBm.**



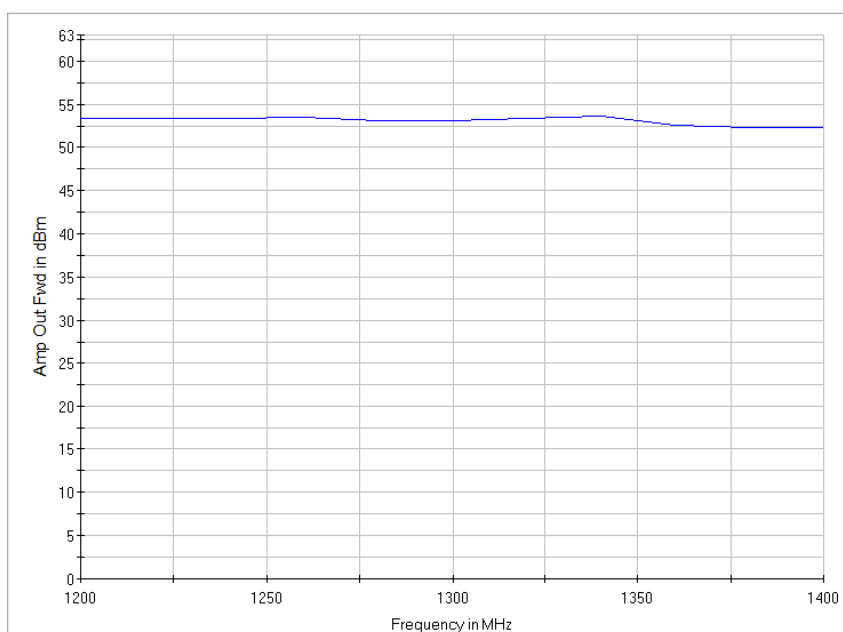
**Figura G.5. RI 114 Calibración de la banda 6 (806 – 2000 MHz). Nivel de severidad 1 (60 V/m).
Medida del sensor (en azul) en V/m.**



**Figura G.6. RI 114 Calibración de la banda 6 (806 – 2000 MHz). Nivel de severidad 1 (60 V/m).
Potencia forward (en azul) endBm.**



**Figura G.7. RI 114 Calibración de la banda 7 (1,2 – 1,4 GHz). Nivel de severidad 2 (300 V/m).
Medida del sensor (en azul) en V/m.**



**Figura G.8. RI 114 Calibración de la banda 7 (1,2 – 1,4 GHz). Nivel de severidad 2 (300 V/m).
Potencia forward (en azul) en dBm.**

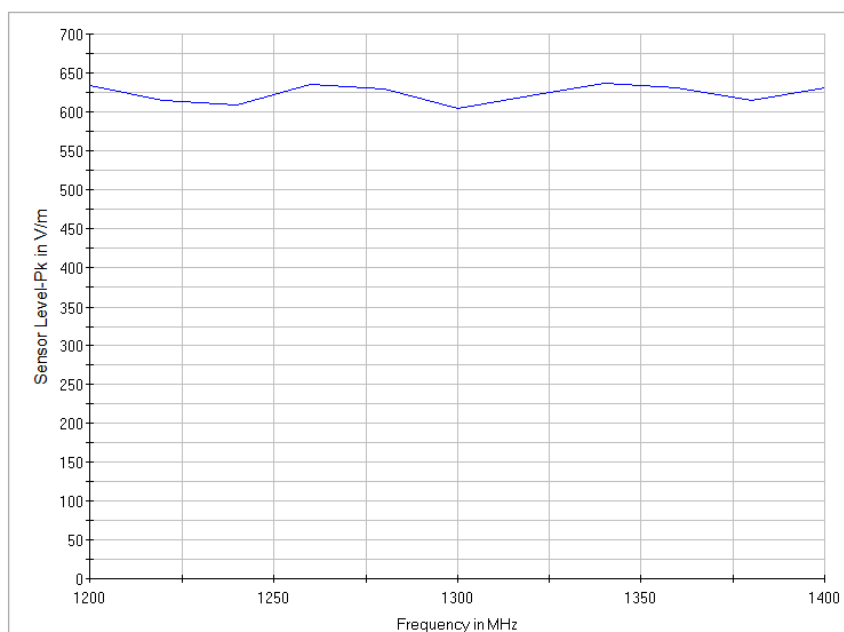


Figura G.9. RI 114 Calibración de la banda 7 (1,2 – 1,4 GHz). Nivel de severidad 2. (600 V/m)
Medida del sensor (en azul) en V/m.

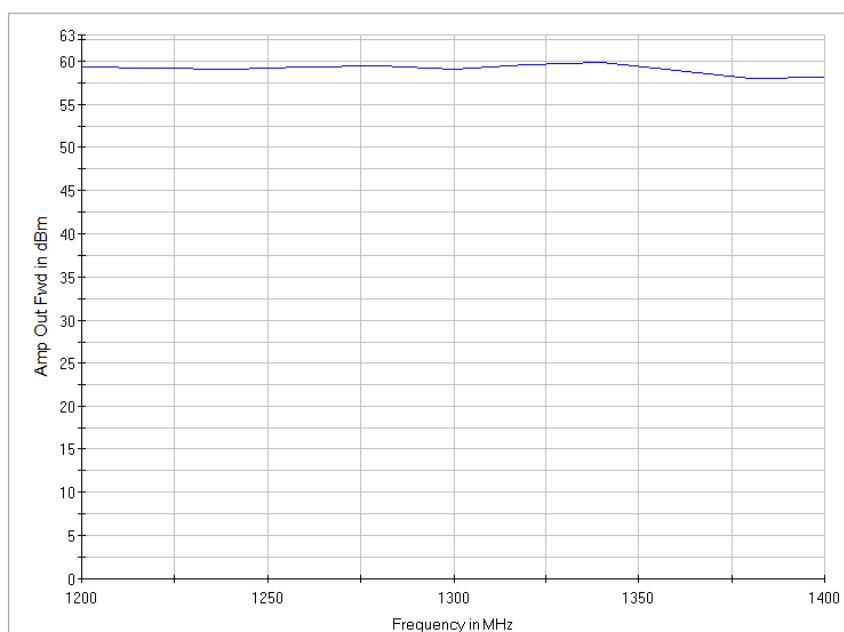
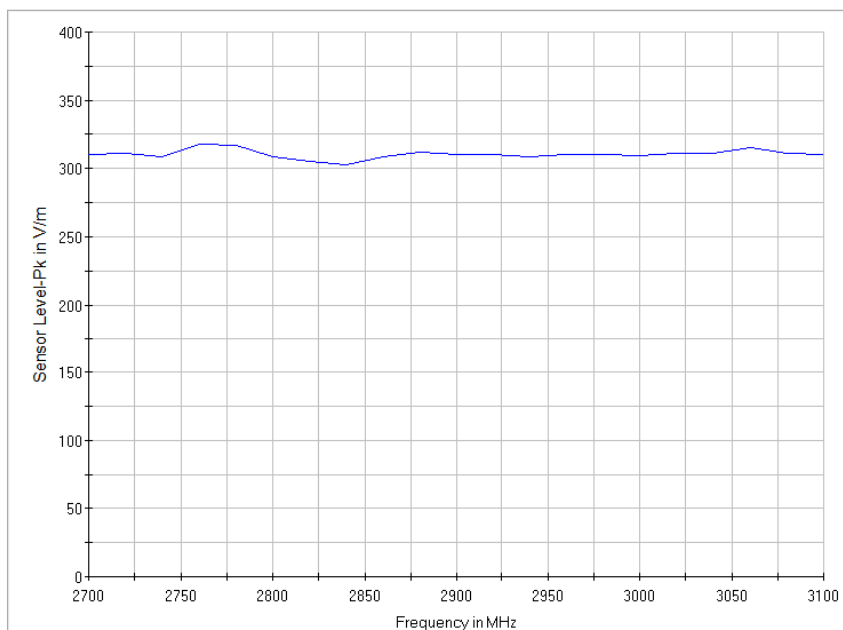
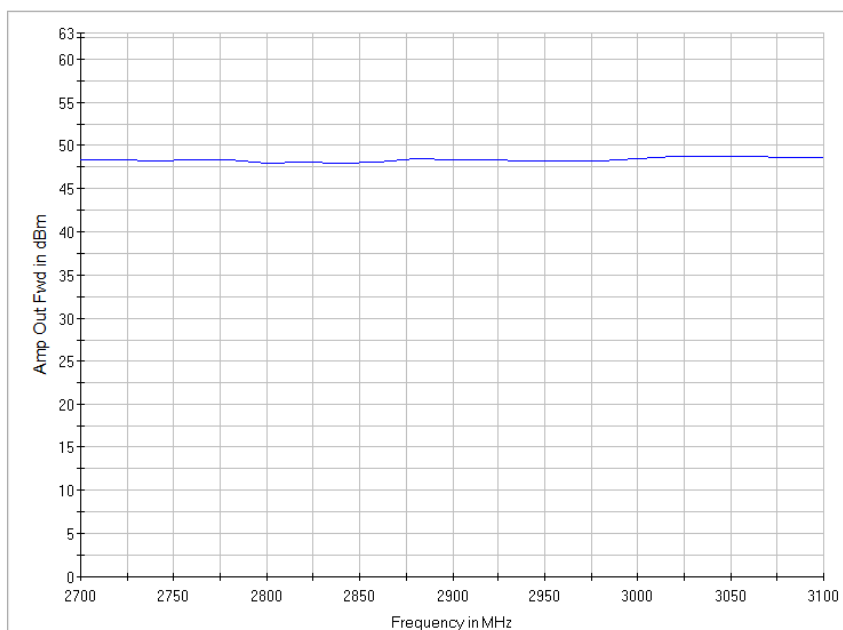


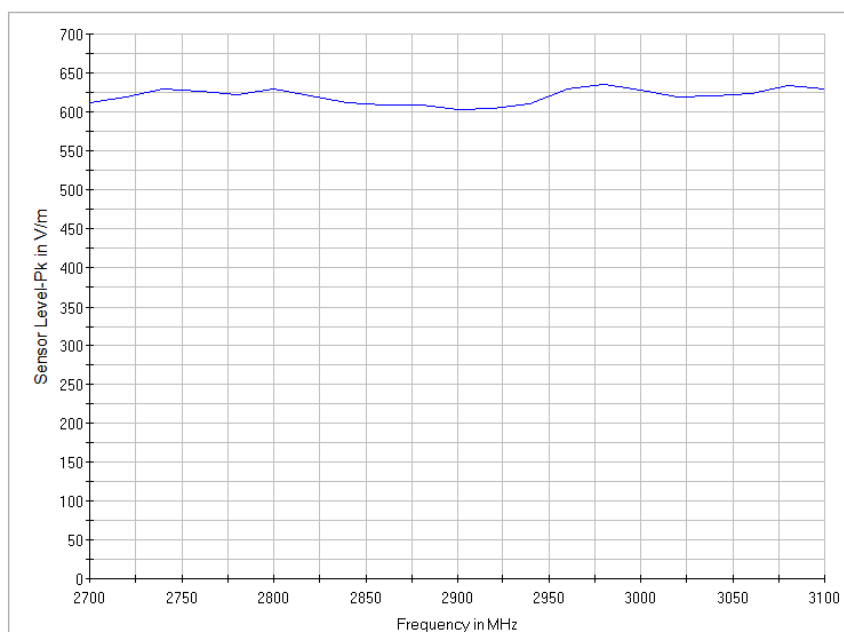
Figura G.10. RI 114 Calibración de la banda 7 (1,2 – 1,4 GHz). Nivel de severidad 2 (600 V/m).
Potencia forward (en azul) endBm.



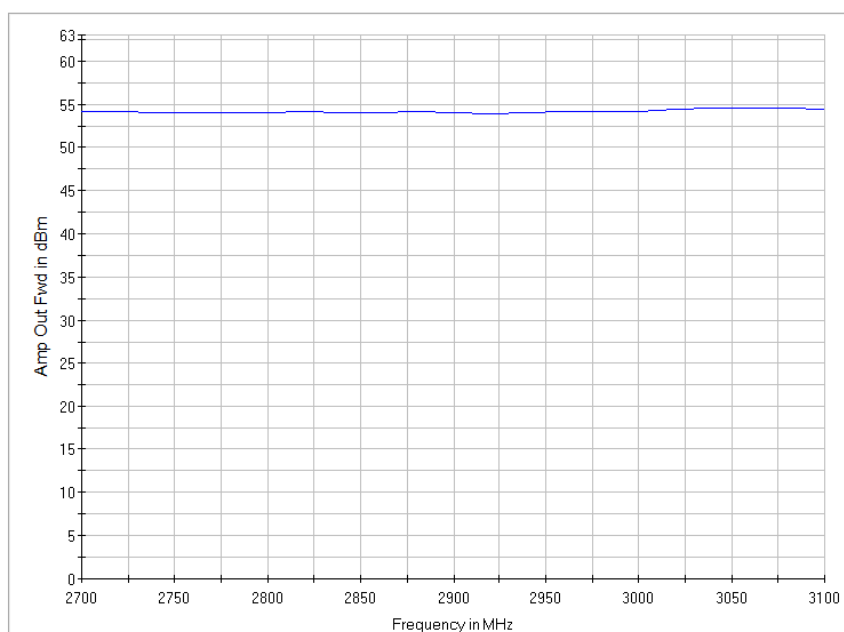
**Figura G.11. RI 114 Calibración de la banda 8 (2,7 – 3,1 GHz). Nivel de severidad 2 (300 V/m).
Medida del sensor (en azul) en V/m.**



**Figura G.12. RI 114 Calibración de la banda 8 (2,7 – 3,1 GHz). Nivel de severidad 2 (300 V/m).
Potencia forward (en azul) endBm.**



**Figura G.13. RI 114 Calibración de la banda 8 (2,7 – 3,1 GHz). Nivel de severidad 2 (600 V/m).
Medida del sensor (en azul) en V/m.**

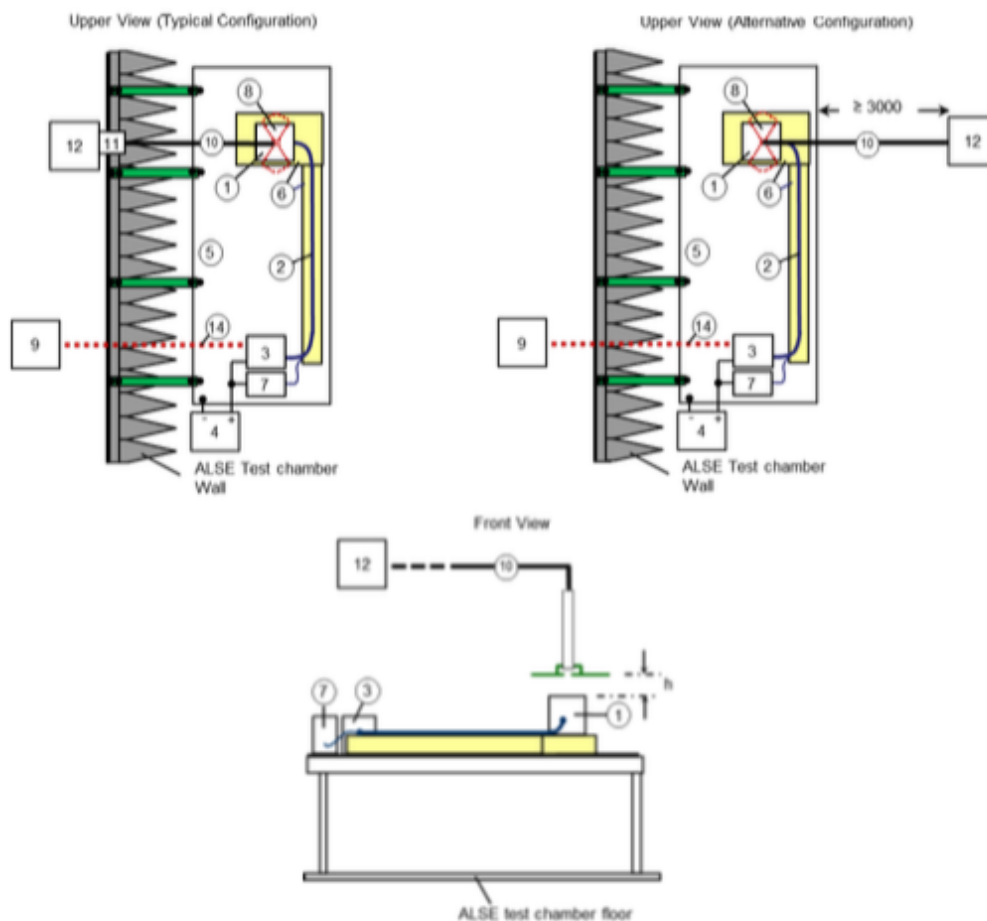


**Figura G.14. RI 114 Calibración de la banda 8 (2,7 – 3,1 GHz). Nivel de severidad 2 (600 V/m).
Potencia forward (en azul) endBm.**

Anexo H. Inmunidad a transmisores portátiles (RI 115)

H.1. Test setup según la normativa Ford FMC1278: 2018

En la siguiente Figura H.1 se muestra la disposición del equipo bajo ensayo en plano de masa y la posición de la antena.



Key:

- | | |
|---|---|
| 1. DUT | 7. Artificial Network |
| 2. Test Harness | 8. Test antenna (Schwarzbeck antenna SBA9113 with elements 420NJ) |
| 3. Load Simulator | 9. Support Equipment |
| 4. Power Supply | 10. Low loss coaxial cable assembly (See Annex C). Cable can be no closer than 1000 mm to antenna elements. |
| 5. Ground Plane | 11. Bulkhead RF Coaxial Connector |
| 6. Dielectric Support ($\epsilon_r \leq 1.4$) | 12. RF Generation Equipment |

Figura H.1. Test setup para el ensayo según la normativa Ford FMC1278.

H.2. Calibración del ensayo según la normativa Ford FMC1278: 2018

Los niveles de severidad del presente ensayo se basan en la potencia neta entregada a la antena. Esto se diferencia de los anteriores ensayos que el nivel de severidad cogía de referencia la potencia forward del generador.

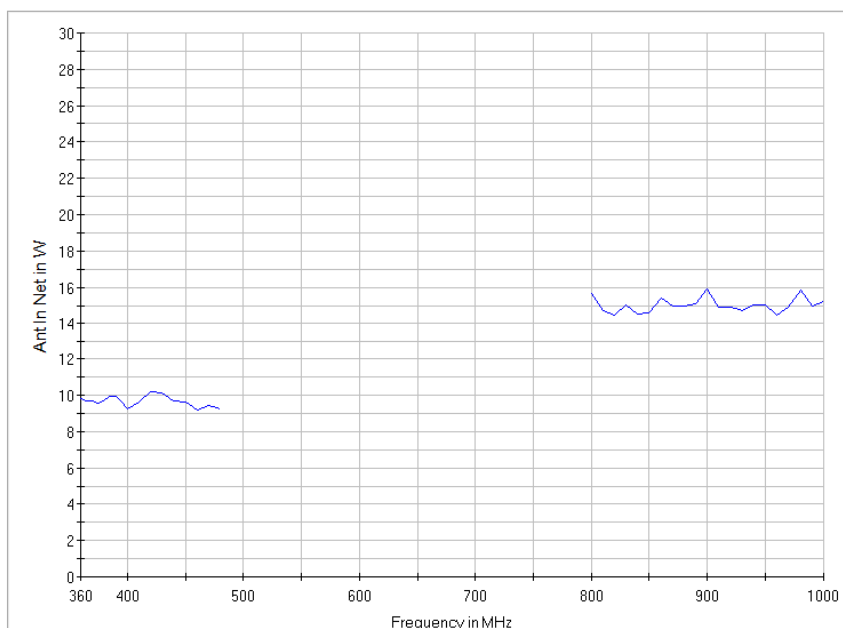


Figura H.2. RI 115 Calibración de la banda 8 (360 – 480 MHz) y banda 10 (800 – 1000 MHz). Nivel de severidad 2.
Potencia neta (en azul) en W.

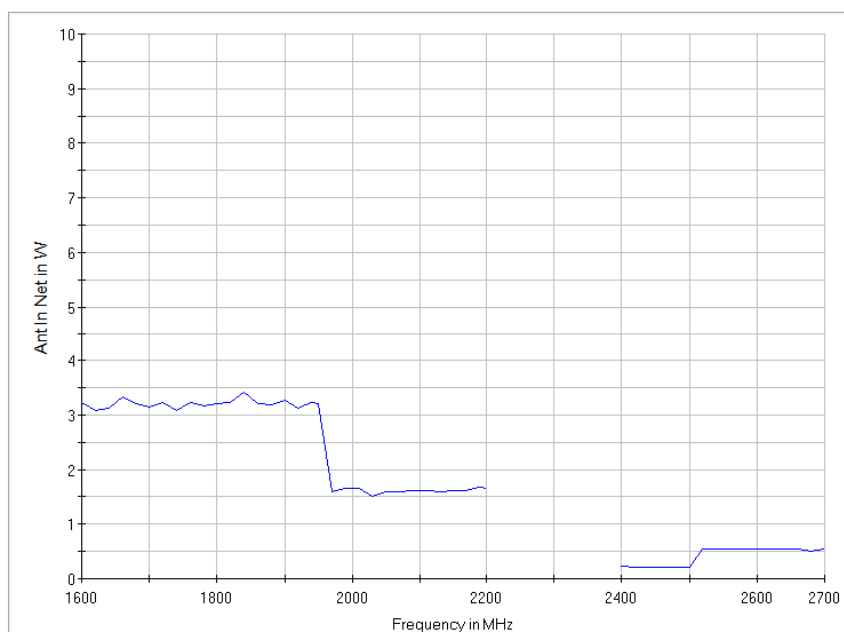
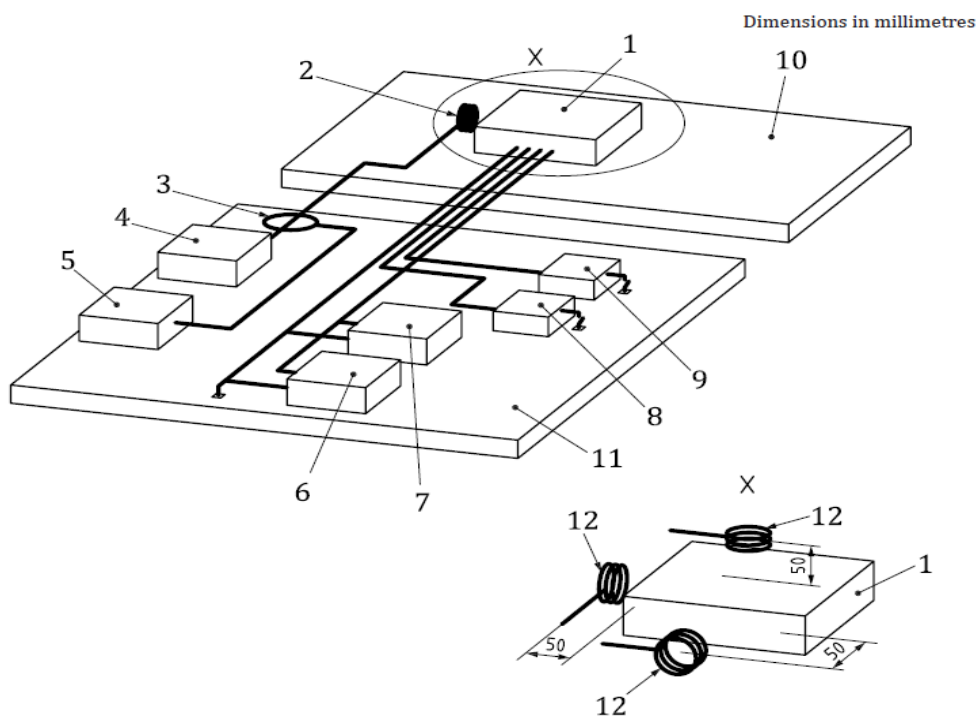


Figura H.3. RI 115 Calibración de la banda 11 hasta la banda 14 (1,6 – 2,7 GHz). Nivel de severidad 2.
Potencia neta (en azul) en W.

Anexo I. Inmunidad de campo magnético (RI 140)

I.1. Test setup según la normativa Ford FMC1278: 2018

En la siguiente Figura I.1 se muestra la disposición del equipo bajo ensayo en plano de masa.



- | | | | |
|---|---|----|---|
| 1 | DUT | 7 | battery |
| 2 | radiating loop | 8 | sensors |
| 3 | current probe | 9 | actuators |
| 4 | generator and amplifier/d.c. power supply | 10 | insulating support |
| 5 | oscilloscope | 11 | ground plane (if required in the test plan) |
| 6 | power supply | 12 | three orthogonal positions (see 8.3.1.3) |

Figura I.1. Disposición del EUT en el plano de masa según la normativa Ford FMC1278.

I.2. Calibración del ensayo según la normativa Ford FMC1278: 2018

En este apartado se muestran los niveles de corriente y de campo que se deben generar para realizar el ensayo tanto de forma tabulada como de forma gráfica. En la Tabla I.1 se puede observar la medida del nivel de campo magnético generado y corriente teórico y la corriente medida, con su error relativo.

Tabla I.1. RI 140 Niveles de campo magnético y de corriente teóricos y niveles medidos para cada frecuencia.

Frecuencia (kHz)	Nivel 1 (dBpT)	Nivel Medido (dBpT)	Nivel de corriente (mA)	Corriente medida (mA)	Error relativo en corriente (%)
0,05	165,00	165,01	1871,8	1873,4	0,08
0,06	163,42	163,48	1559,9	1572,2	0,79
0,07	162,08	162,07	1337,0	1336,6	-0,03
0,08	160,92	161,00	1169,9	1181,3	0,97
0,09	159,90	159,98	1039,9	1049,6	0,93
0,1	158,98	158,97	935,9	935,4	-0,06
0,2	152,96	153,40	468,0	492,6	5,27
0,3	149,44	149,95	312,0	331,0	6,10
0,4	146,94	147,26	234,0	242,8	3,77
0,5	145,00	145,09	187,2	189,1	1,02
0,6	143,42	143,78	156,0	162,6	4,24
0,7	142,08	142,43	133,7	139,2	4,11
0,8	140,92	141,18	117,0	120,6	3,09
0,9	139,90	140,12	104,0	106,7	2,61
1	140,00	140,09	105,3	106,3	0,99

2	140,00	140,08	105,3	106,2	0,89
3	140,00	140,02	105,3	105,5	0,23
4	140,00	140,03	105,3	105,6	0,32
5	140,00	140,02	105,3	105,5	0,23
6	140,00	140,01	105,3	105,4	0,13
7	140,00	140,11	105,3	106,6	1,27
8	140,00	140,01	105,3	105,4	0,13
9	140,00	140,02	105,3	105,5	0,23
10	139,00	139,08	93,8	94,7	0,94
10	132,98	133,05	46,9	47,3	0,84
20	129,46	129,55	31,3	31,6	1,05
30	126,96	127,01	23,5	23,6	0,62
50	125,02	125,08	18,8	18,9	0,73
60	123,44	123,47	15,6	15,7	0,41
70	122,10	122,16	13,4	13,5	0,73
80	120,94	120,84	11,7	11,6	-1,08
90	119,92	120,06	10,4	10,6	1,69
100	119,00	119,11	9,4	9,5	1,26

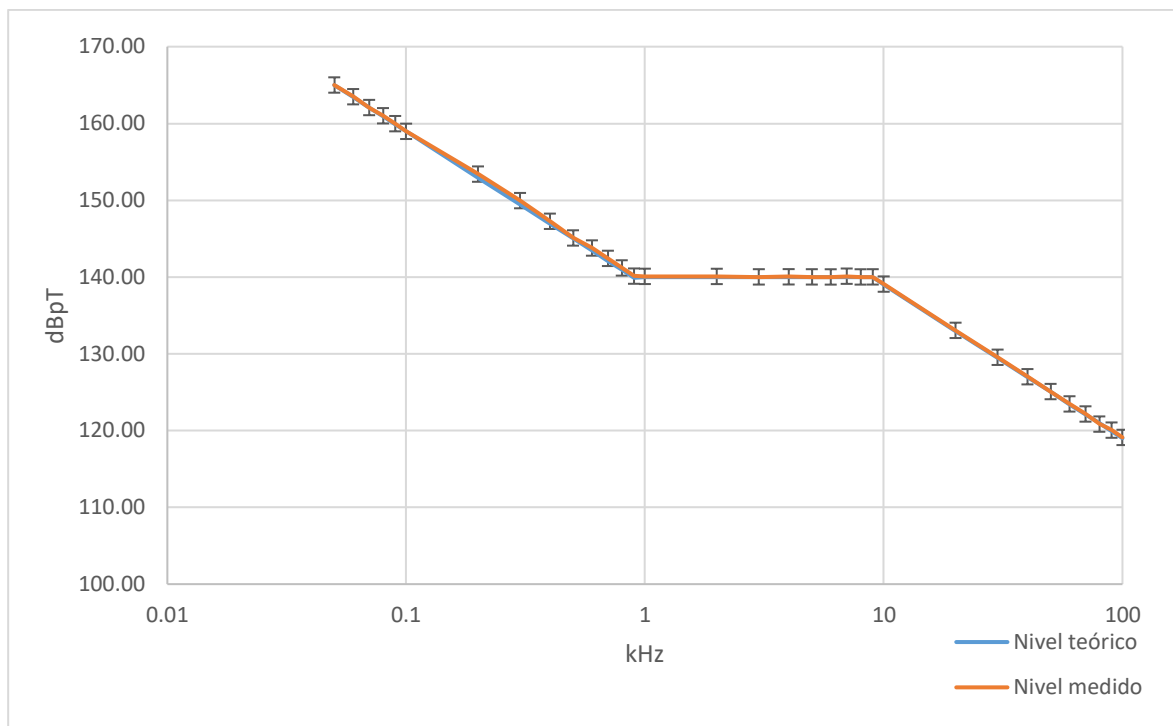


Figura I.2. Gráfica de nivel teórico (en azul) i nivel medido de campo magnético (en naranja) con la tolerancia de ± 1 dB

I.3. Verificación de corriente del ensayo a través de osciloscopio

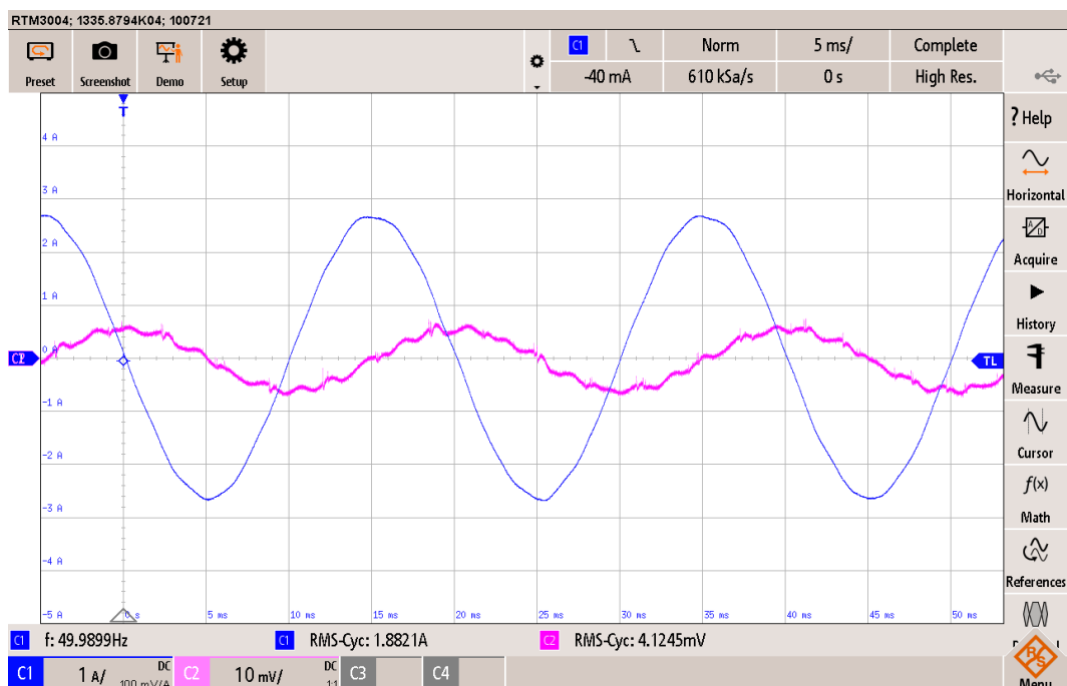


Figura I.3. RI 150: Captura de osciloscopia a una frecuencia de 50 Hz.

CH1 (en azul): Corriente inyectada (A). CH2 (en rosa): Tensión medida con el sensor de campo magnético.

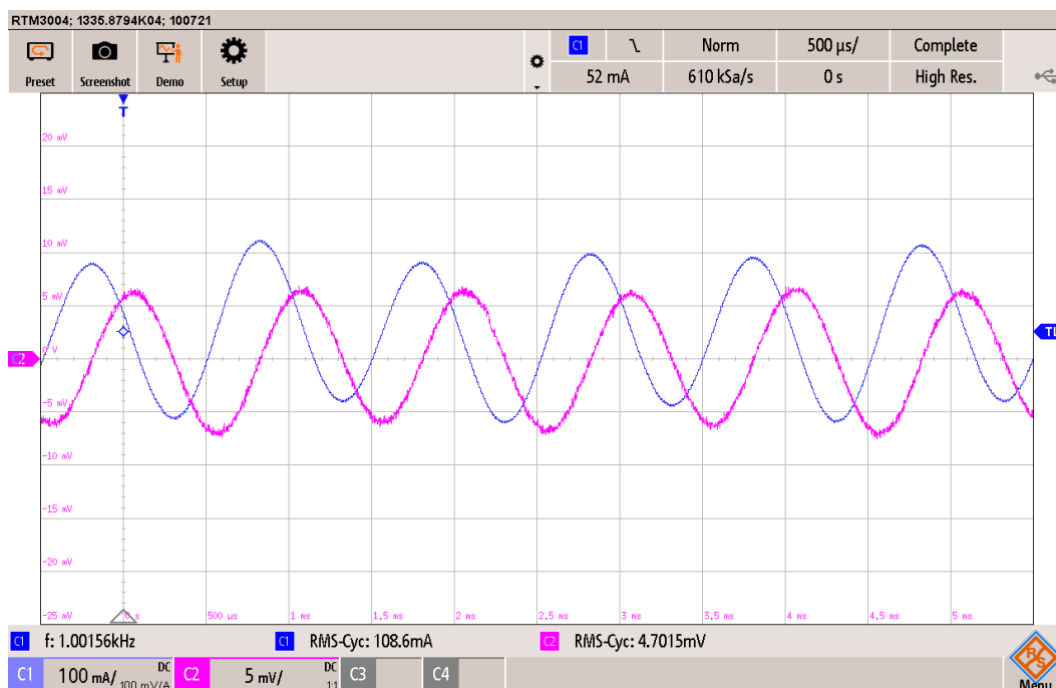


Figura I.4. RI 150: Captura de osciloscopia a una frecuencia de 1 kHz.

CH1 (en azul): Corriente inyectada (A). CH2 (en rosa): Tensión medida con el sensor de campo magnético.

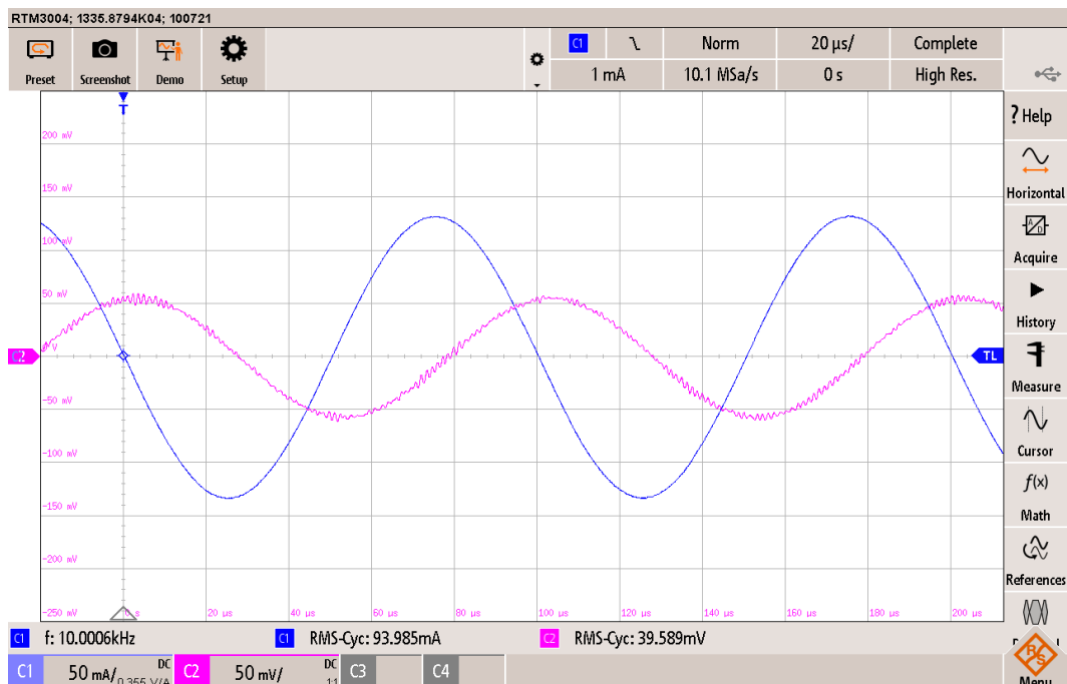


Figura I.5. RI 150: Captura de osciloscopio a una frecuencia de 10 kHz.

CH1 (en azul): Corriente inyectada (A). CH2 (en rosa): Tensión medida con el sensor de campo magnético.

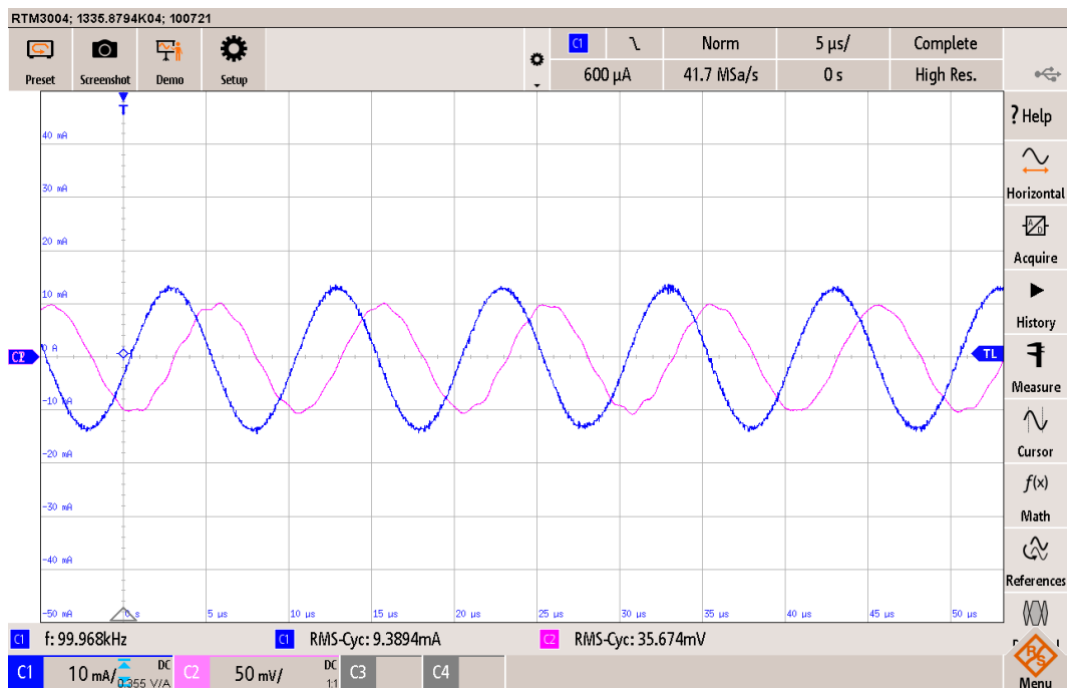


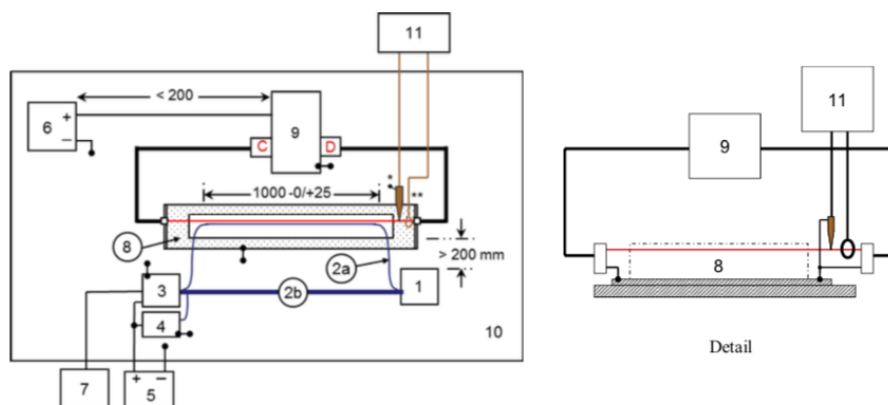
Figura I.6. RI 150: Captura de osciloscopio a una frecuencia de 10 kHz.

CH1 (en azul): Corriente inyectada (A). CH2 (en rosa): Tensión medida con el sensor de campo magnético.

Anexo J. Inmunidad transitoria acoplada (RI 130)

J.1. Test setup según la normativa Ford FMC1278: 2018

En la siguiente Figura J.1 se muestra la disposición del equipo bajo ensayo en plano de masa.



Key

- | | |
|----------------------------------|---|
| 1 DUT | 7 DUT Monitor/Support Equipment |
| 2a DUT Circuit Wire to be Tested | 8 Coupling Test Fixture |
| 2b DUT Wire Harness | 9 Transient Generator (see Annex E for details). Generator connected to Coupling test fixture via coaxial cable. Case of generator connected to the ground plane. |
| 3 Load Simulator | 10 Ground Plane |
| 4 Artificial Network | 11 Digital Oscilloscope (≥ 1 GS/sec, ≥ 8 Mega sample) |
| 5 Power supply | * 1:100 high impedance probe (C < 4 pf) per ISO 7637-2. Example: Agilent 10076A |
| 6 Automotive Battery | ** Current Probe (> 10 MHz, 30 A) Example: Agilent N2783A |

Figura J.1. Esquema del EUT en el plano de masa según la normativa Ford FMC1278.

J.2. Accesorio de pruebas de acoplamiento

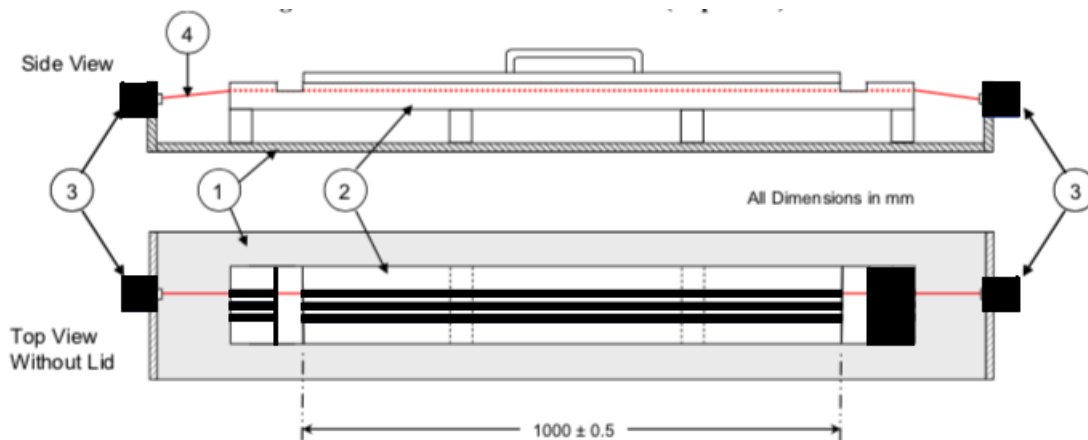


Figura J.2. Accesorio de acoplamiento transitorio.

J.3. Parámetros y forma de onda

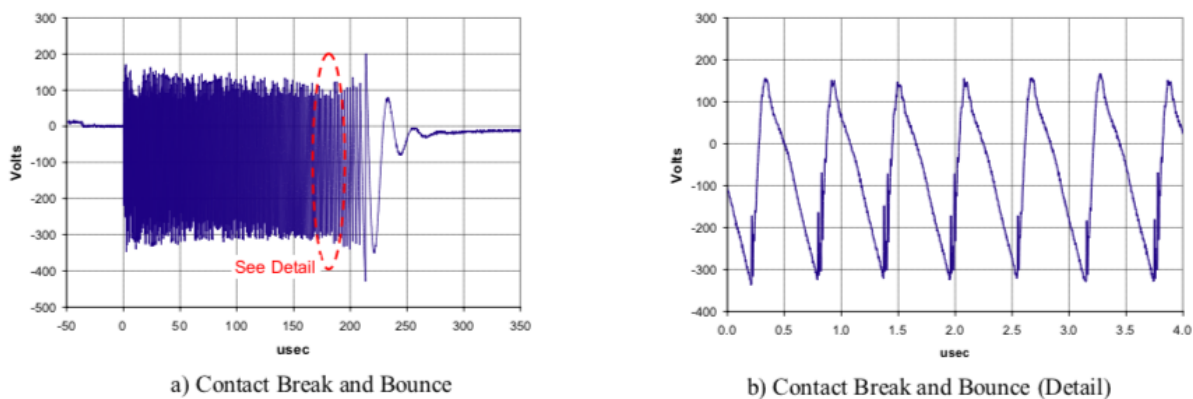


Figura J.3. Gráfica del pulso A2-1 con una base de tiempo de 50 μ s en la gráfica a) y el detalle a 0,5 μ s en la gráfica b).

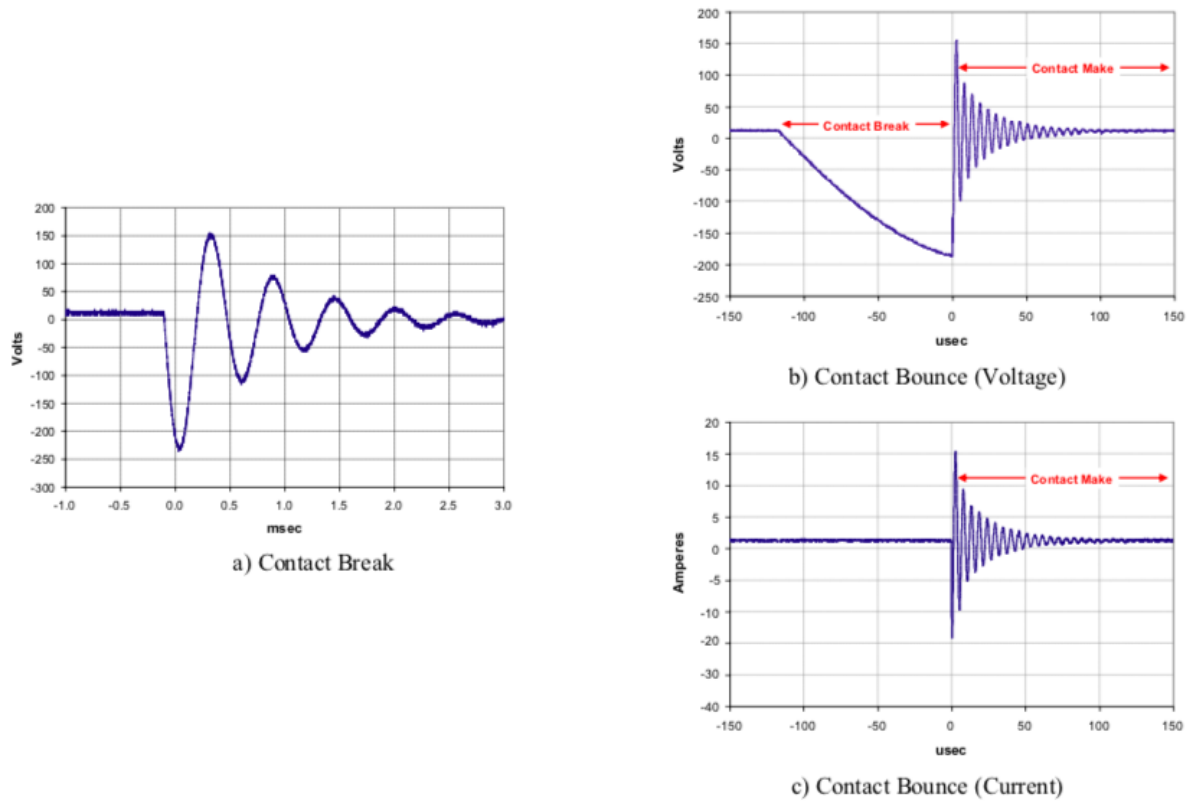


Figura J.4. Gráfica del pulso A2-2. En la gráfica a) Tensión del transitorio con una base de tiempo de 0,5 ms. En la gráfica b) Transitorio en tensión a 50 μ s. En la gráfica c) respuesta en corriente del transitorio a 50 μ s.

J.4. Verificación del ensayo a través de osciloscopio

En este apartado se muestran los niveles de corriente y de tensión de los transitorios A2-1 y A2-2, tal y como indica la normativa Ford FMC1278.

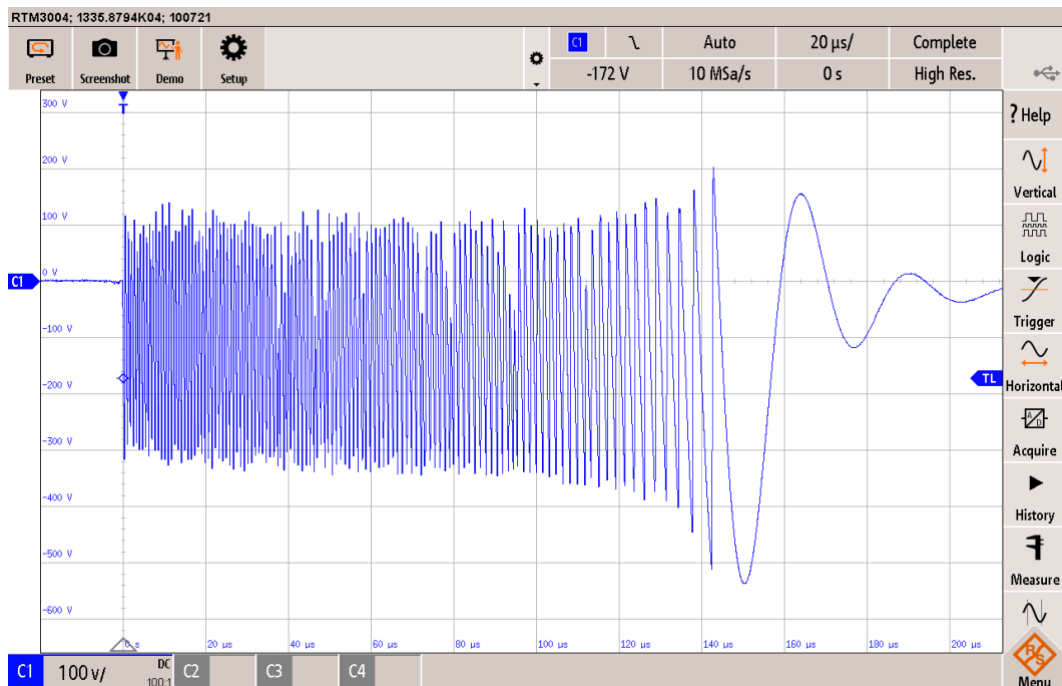


Figura J.5.Captura Pulso A2-1. Parámetro: tensión de pico a pico (Up-p)
CH1 (en azul): Tensión a 20 μs/DIV.

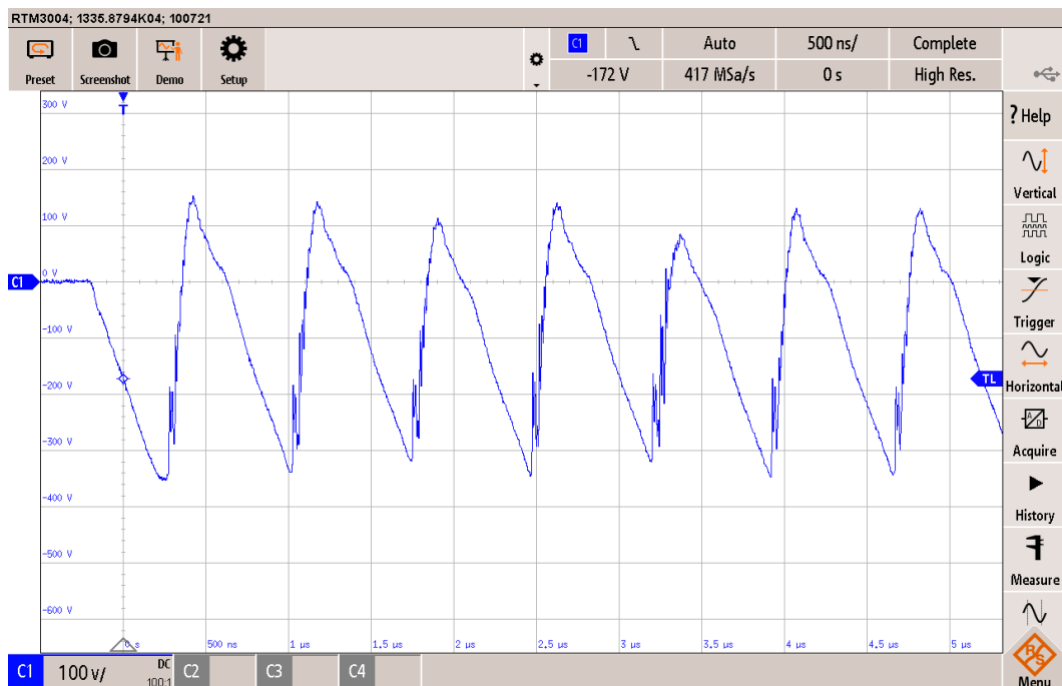


Figura J.6.Captura Pulso A2-1. Parámetro: tensión de pico a pico (Up-p)
CH1 (en azul): Tensión a 500 ns/DIV.

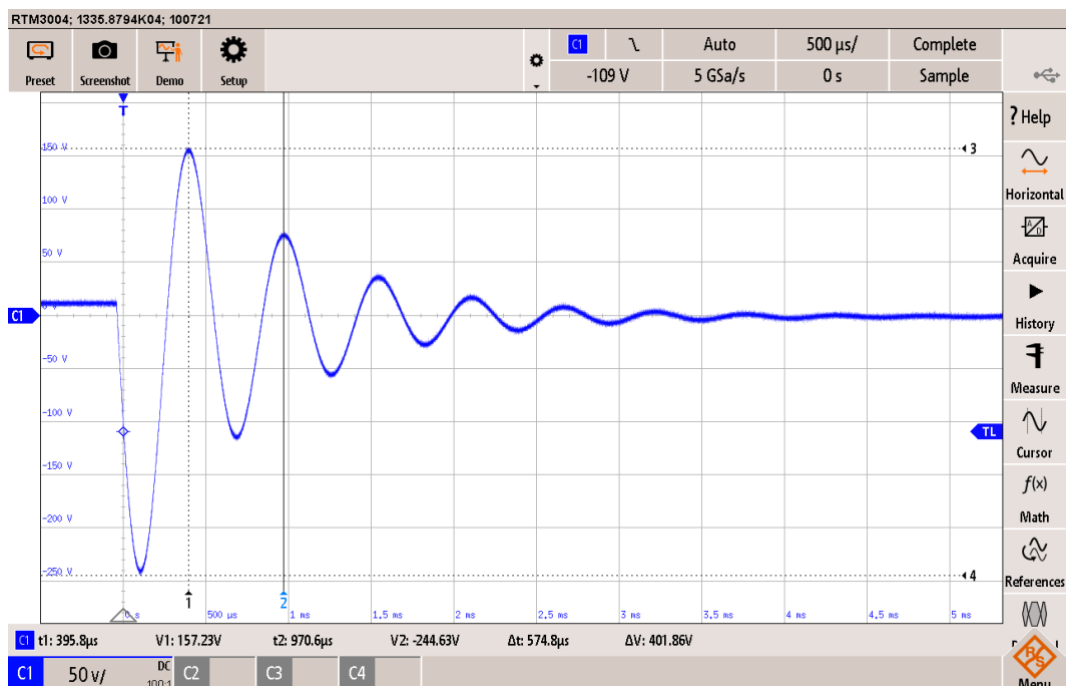


Figura J.7. Captura Pulso A2-2. Parámetro: tensión de pico a pico (Up-p)
CH1 (en azul): Tensión a 500 us/DIV.

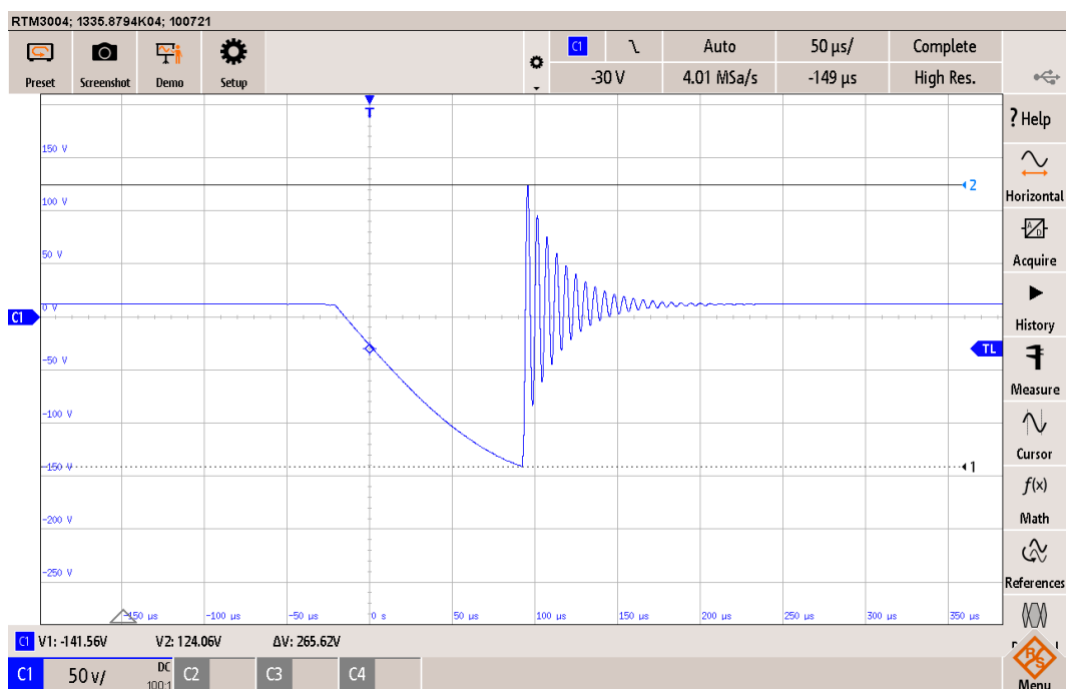


Figura J.8. Captura Pulso A2-2. Parámetro: tensión de pico a pico (Up-p)
CH1 (en azul): Tensión a 50 us/DIV.

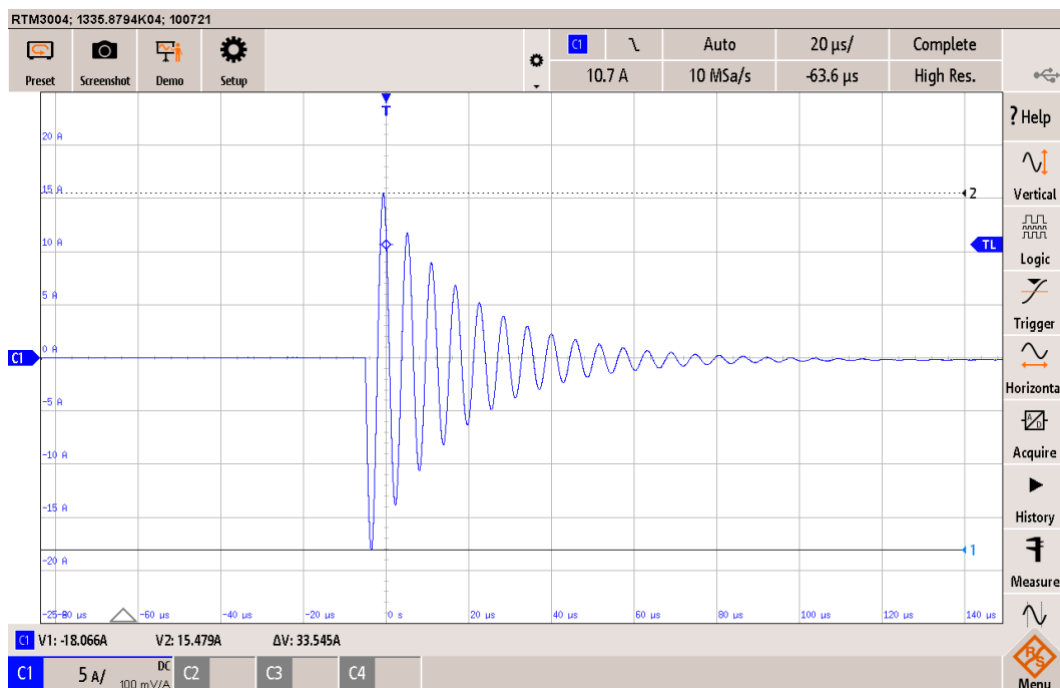


Figura J.9. Captura del pulso A2-2. Parámetro: Corriente de pico a pico (Ip-p)
CH1 (en azul): Corriente a 20 us/DIV.

Anexo K. Inmunidad transitoria acoplada (RI 130)

K.1. Test setup según la normativa Ford FMC1278: 2018

En la siguiente Figura se muestra la disposición del equipo bajo ensayo en plano de masa.

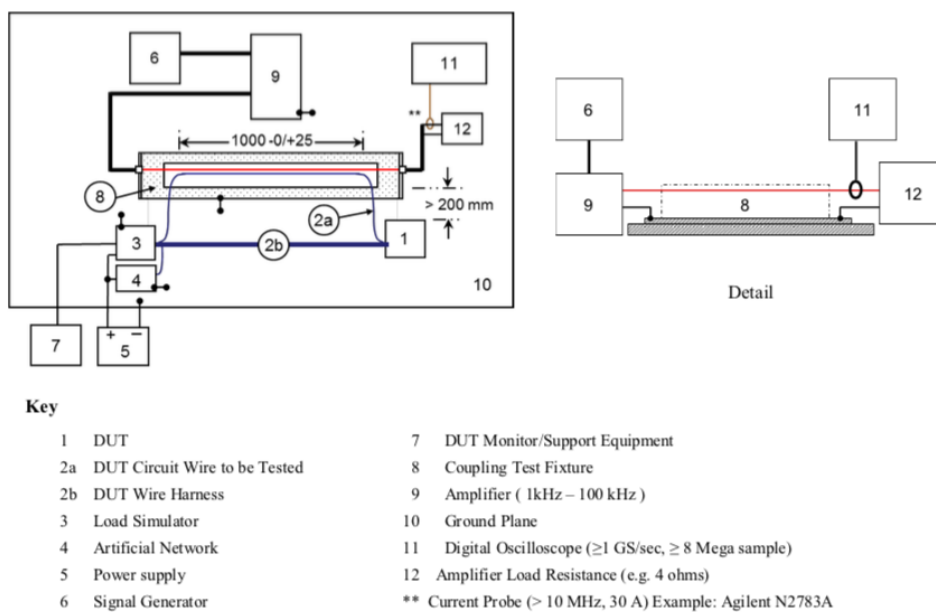


Figura K.1. Esquema del EUT en el plano de masa según la normativa Ford FMC1278.

K.2. Calibración del ensayo según la normativa Ford FMC1278: 2018

En este apartado se muestran los niveles de corriente pico a pico generada para realizar el ensayo, tanto de forma tabulada como de forma gráfica. La tabla K.1 muestra el nivel de corriente teórica en valor pico a pico, su valor de corriente medido y el error relativo. En la Figura K.2 se muestra de manera gráfica la corriente teórica y medida y su tolerancia máxima permitida.

Tabla K.1. RI 150 Nivel de corriente pico a pico según la normativa Ford FMC1278

Frecuencia (kHz)	I_{p-p} (A)	Corriente medida I_{p-p} (A)	Error relativo (%)
1	6,000	6,068	1,13
1,5	6,000	6,051	0,85

2	6,000	6,066	1,10
2,5	6,000	6,066	1,10
3	6,000	6,067	1,12
3,5	6,000	6,067	1,12
4	6,000	6,070	1,17
4,5	6,000	6,055	0,92
5	6,000	6,050	0,83
5,5	6,000	6,070	1,17
6	6,000	6,056	0,93
6,5	6,000	6,049	0,82
7	6,000	6,050	0,83
7,5	6,000	6,052	0,87
8	6,000	6,055	0,92
8,5	6,000	6,070	1,17
9	6,000	6,072	1,20
9,5	6,000	6,054	0,90
10	6,000	6,055	0,92
15	5,049	5,104	1,09
20	4,374	4,415	0,93
25	3,851	3,858	0,18

30	3,424	3,426	0,07
35	3,062	3,069	0,23
40	2,749	2,750	0,04
45	2,473	2,495	0,90
50	2,226	2,229	0,15
55	2,002	2,022	1,00
60	1,798	1,799	0,06
65	1,610	1,629	1,16
70	1,436	1,449	0,87
75	1,275	1,288	1,05
80	1,123	1,138	1,31
85	0,981	0,993	1,21
90	0,847	0,850	0,34
95	0,720	0,731	1,49
100	0,600	0,606	1,00

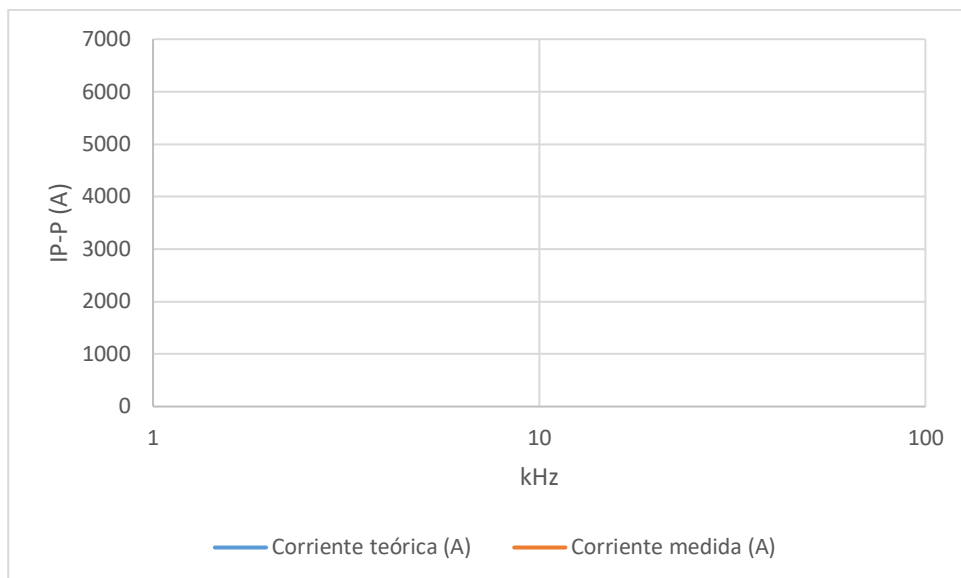


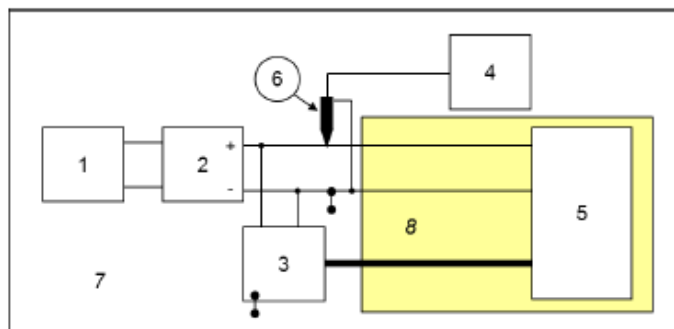
Figura K.2. Gráfica de nivel teórico (en azul) i nivel medido de corriente (en naranja) con la tolerancia de $\pm 10\%$

Tanto de forma gráfica como de forma tabulada se puede observar que el error relativo de la medida es menor al 10%. Los valores no sobrepasan la tolerancia descrita en la normativa Ford FMC1278.

Anexo L. Inmunidad contra perturbaciones continuas de las líneas de alimentación (CI 210)

L.1. Test setup según la normativa Ford FMC1278: 2018

La Figura L.1 muestra el setup del ensayo y las conexiones a plano de masa que deben realizarse.



Key

- | | |
|--|---|
| 1. Signal Source | 5. DUT |
| 2. Modulated Power Supply (<i>DC coupled Audio Amplifier with output impedance < 100 milliohms may be used</i>) | 6. Passive High Impedance Probe (>1Mohm, C< 10 pf) |
| 3. Load Simulator | 7. Ground Plane |
| 4. Oscilloscope | 8. Dielectric Support ($\epsilon_r \leq 1.4$) 50 mm thick |

Figura L.1. Esquema del EUT en el plano de masa según la normativa Ford FMC1278.

L.2. Calibración del ensayo según la normativa Ford FMC1278: 2018

Capturas de osciloscopio con los valores en tensión pico a pico. Estas capturas son las requeridas por la normativa Ford FMC1278 para poder acreditar el ensayo CI 210 de inmunidad contra perturbaciones continuas de las líneas de alimentación.

La Figura L.2 muestra la calibración de la tensión pico a pico generada a una frecuencia de 10 Hz del nivel 1 de severidad de ensayo.

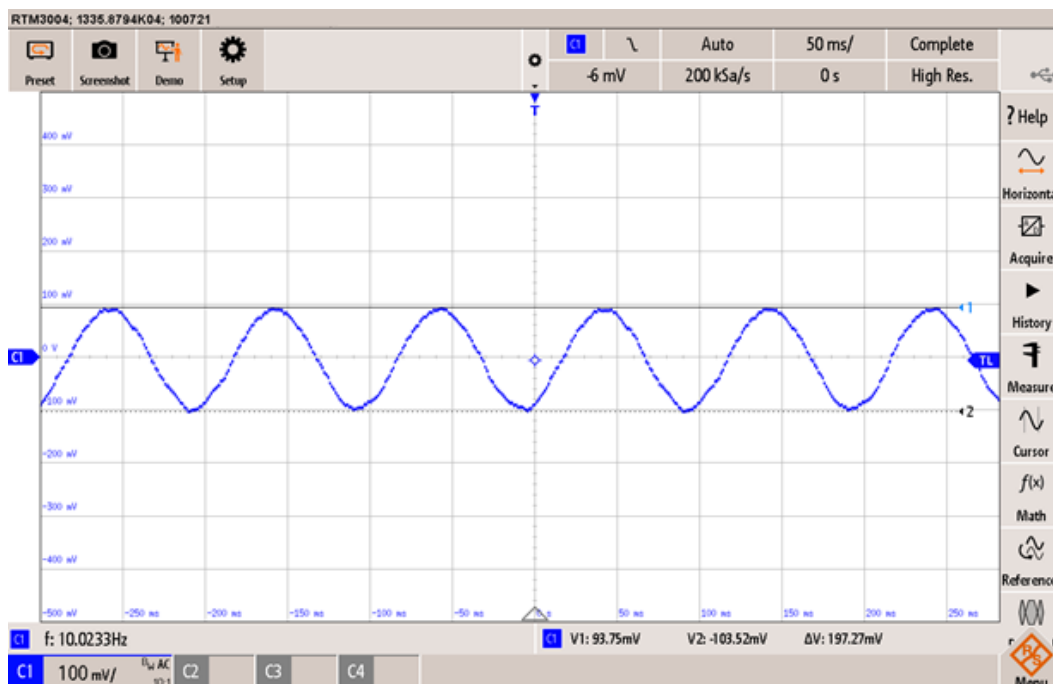


Figura L.2. Captura a 0,01 kHz del nivel 1. Parámetro: tensión de pico a pico (Up-p)
CH1 (en azul): Tensión a 50 ms/DIV.

La Figura L.3 muestra la calibración de la tensión pico a pico generada a una frecuencia de 1 kHz del nivel 1 de severidad de ensayo.

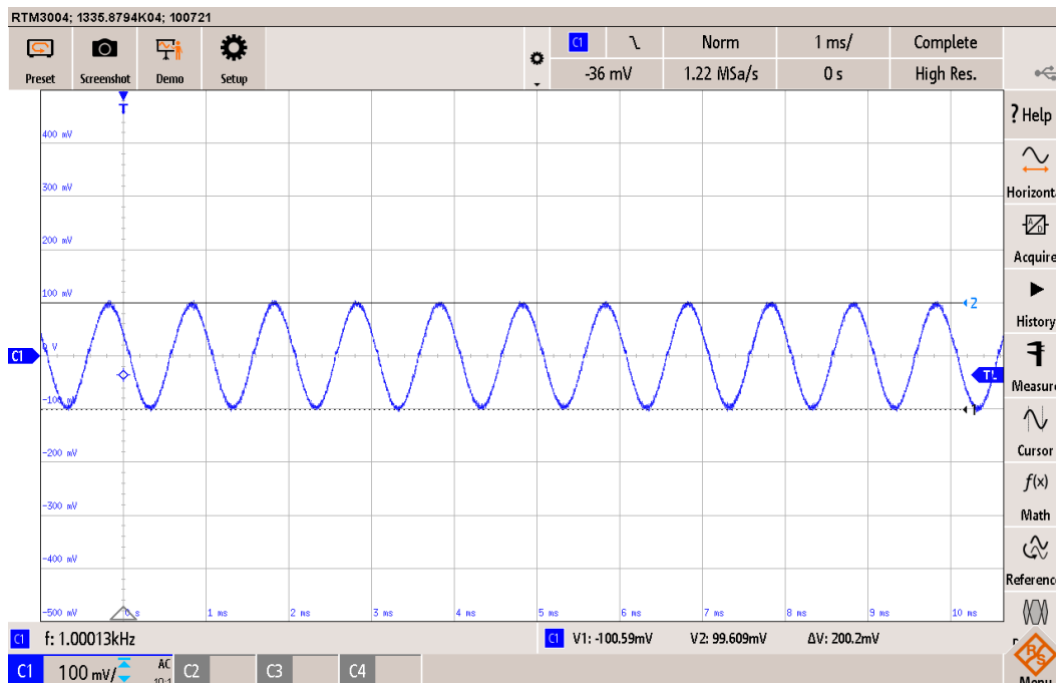


Figura L.3. Captura a 1 kHz del nivel 1. Parámetro: tensión de pico a pico (Up-p)
CH1 (en azul): Tensión a 1 ms/DIV.

La Figura L.4 muestra la calibración de la tensión pico a pico generada a una frecuencia de 10 kHz del nivel 1 de severidad de ensayo.

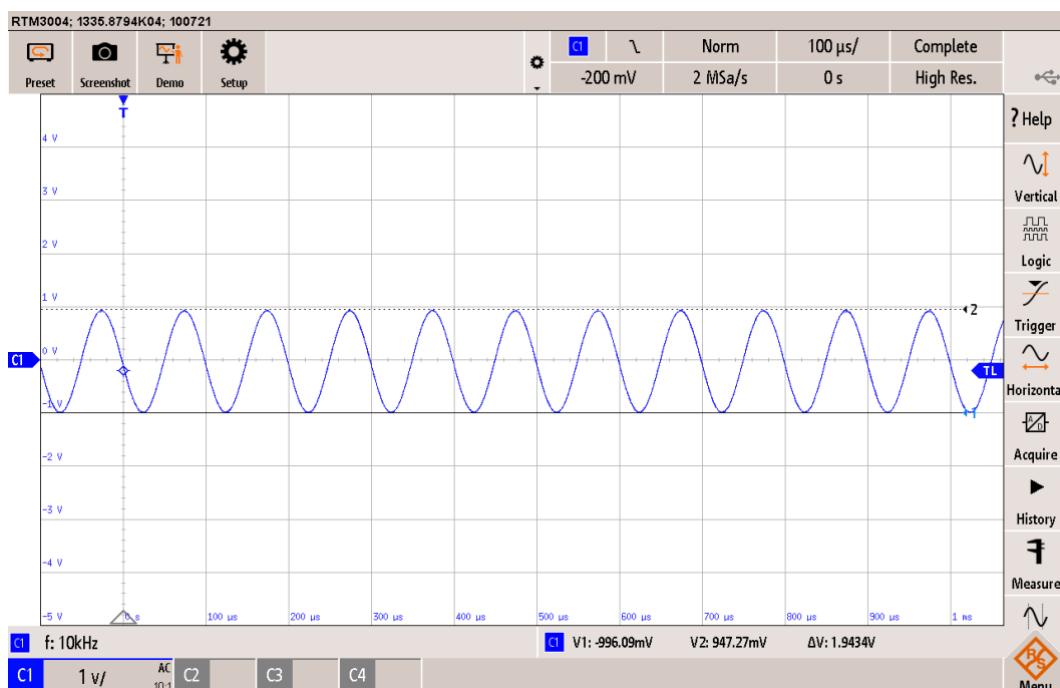


Figura L.4. Captura a 10 kHz del nivel 1. Parámetro: tensión de pico a pico (Up-p) CH1 (en azul): Tensión a 100 us/DIV.

La Figura L.5 muestra la calibración de la tensión pico a pico generada a una frecuencia de 100 kHz del nivel 1 de severidad de ensayo.

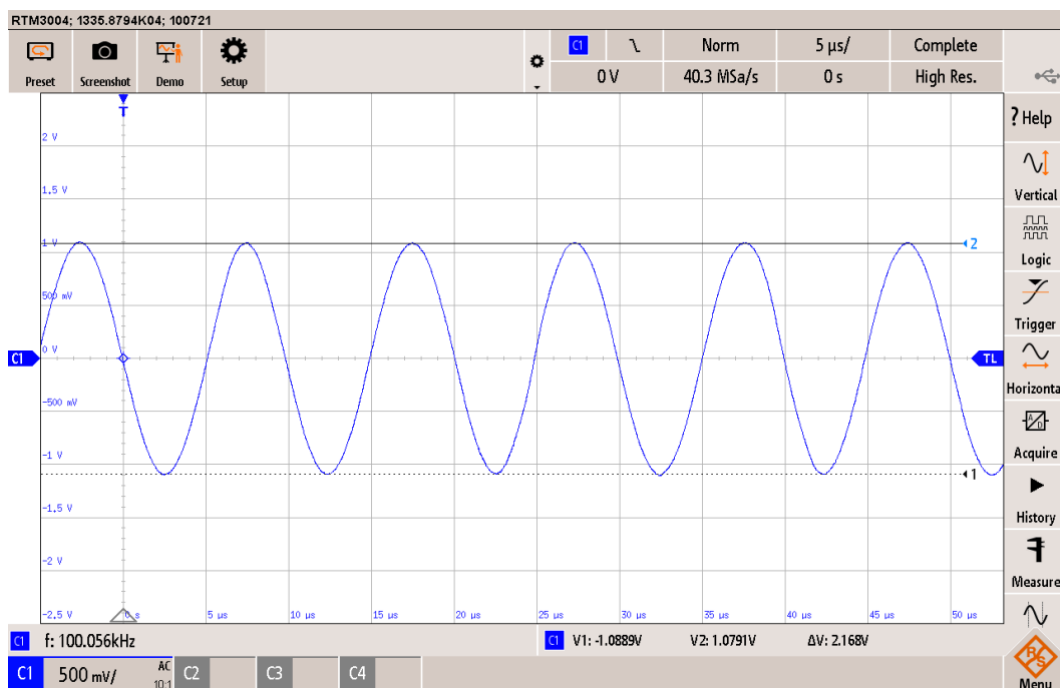


Figura L.5. Captura a 100 kHz del nivel 1. Parámetro: tensión de pico a pico (Up-p)

CH1 (en azul): Tensión a 5 us/DIV.

La Figura L.6 muestra la calibración de la tensión pico a pico generada a una frecuencia de 0,01 kHz del nivel 2 de severidad de ensayo.

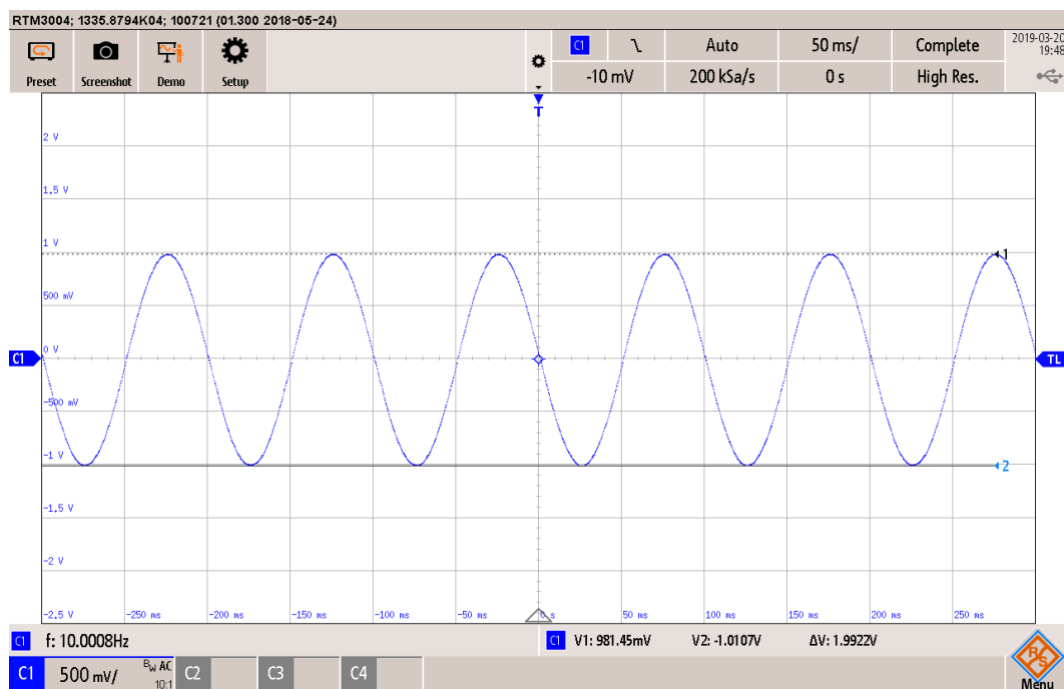


Figura L.6. Captura a 0,01 kHz del nivel 2. Parámetro: tensión de pico a pico (Up-p)

CH1 (en azul): Tensión a 50 ms/DIV.

La Figura L.7 muestra la calibración de la tensión pico a pico generada a una frecuencia de 10 kHz del nivel 2 de severidad de ensayo.

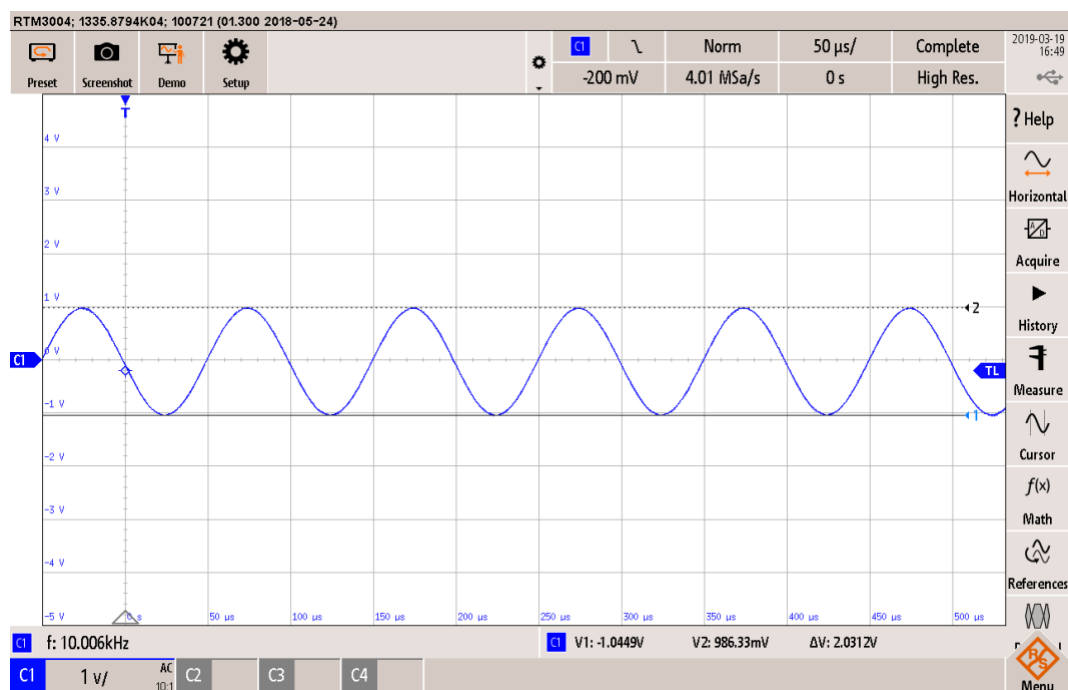


Figura L.7. Captura a 10 kHz del nivel 2. Parámetro: tensión de pico a pico (Up-p)
CH1 (en azul): Tensión a 50 ms/DIV.

Anexo M. Inmunidad contra perturbaciones transitorias de 12V y 24 V

M.1. Test setup según la normativa Ford FMC1278: 2018

En la siguiente Figura M.1 se muestra la disposición del equipo bajo ensayo en plano de masa.

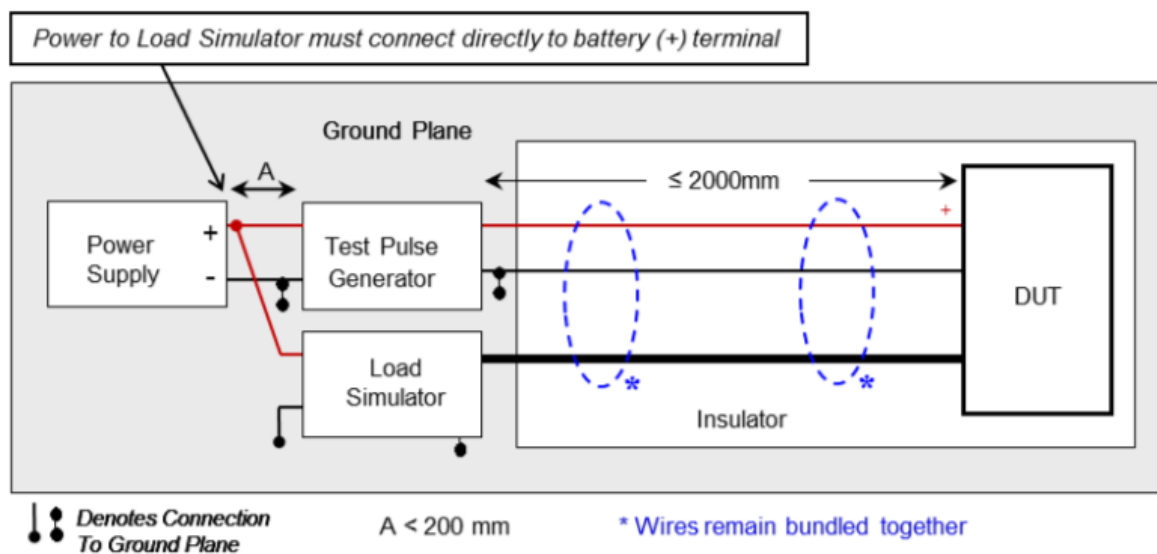


Figura M.1. Esquema del EUT en el plano de masa según la normativa Ford FMC1278.

M.2. Parámetros y forma de onda

Figure D-2: Pulse A1 Composite Waveform

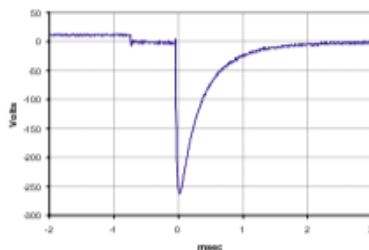


Figure D-3: Pulse A2-1 Pulse Characteristics

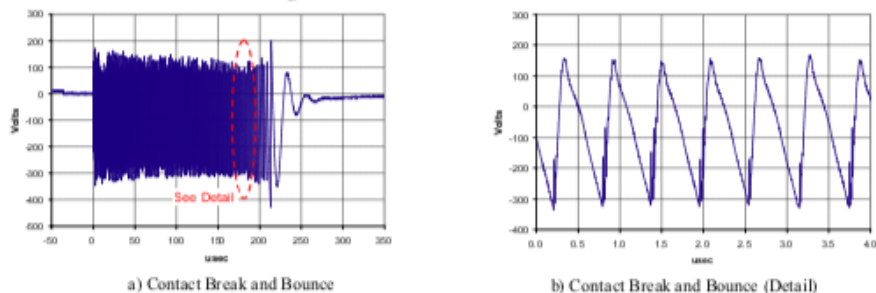


Figura M.2. Parámetros del pulso A1 y A2-1 según la normativa Ford FMC1278.

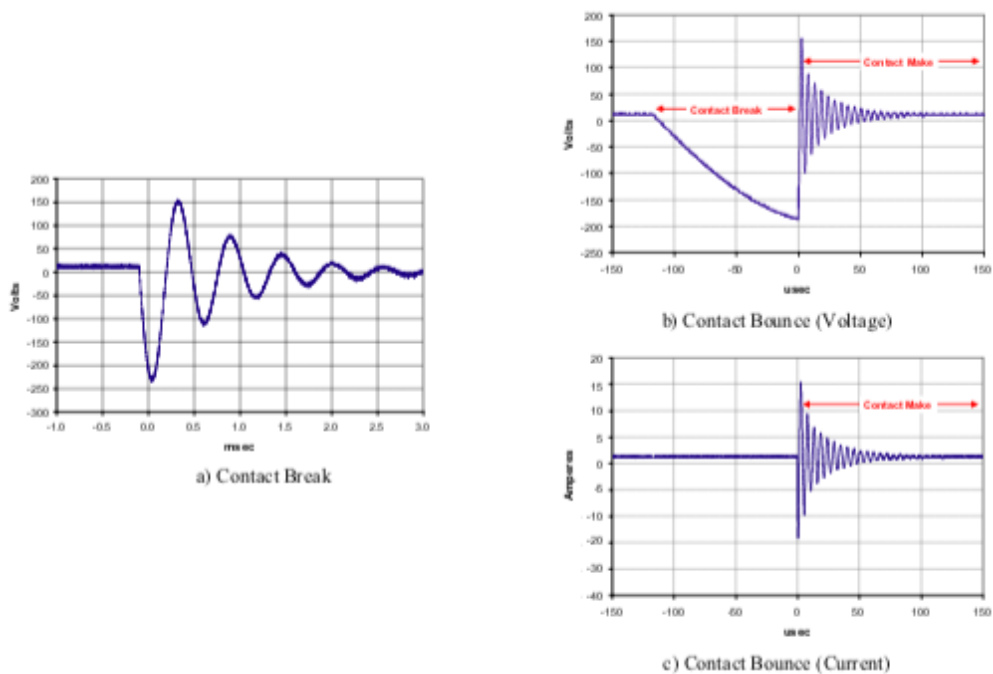


Figura M.3. Parámetros del pulso A2-2 según la normativa Ford FMC1278.

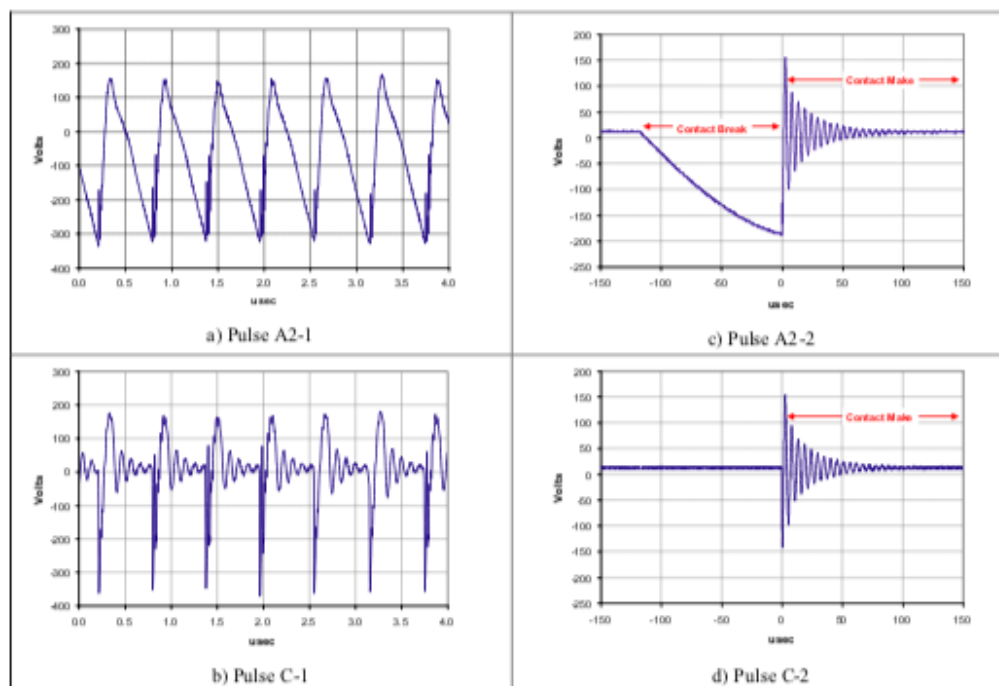


Figura M.4. Parámetros del pulso C según la normativa Ford FMC1278.

Pulse 1 – Parameters

U_A	13.5 VDC	27 VDC
U_B	See Tables 17-1 and 18-1	
R_1	10 Ω	50 Ω
t_d	2 ms	1 ms
t	1 (+0/-0.5) μ s	3 (+0/-1.5) μ s
t_1	0.5 s (≥ 30 s) ⁽¹⁾	
t_2	200 ms	
t_3	≤ 100 μ s	

(1) See Table 17-1.

Waveform voltage begins and ends at U_A

Parameters listed are for open circuit conditions.

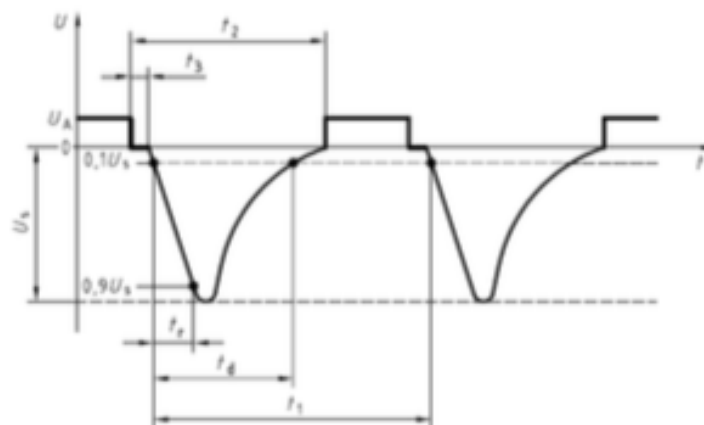


Figura M.5. Parámetros del pulso 1 según la normativa Ford FMC1278.

Pulse 2a - Parameters

U_A	13.5 VDC	27 VDC
U_s	See Table 18-1	
R	2 Ω	
t_d	0.05ms	
t_r	1 (+0/-0.5) μ s	
t_h	0.2 s	

Waveform voltage begins and ends at U_A

Parameters listed are for open circuit conditions.

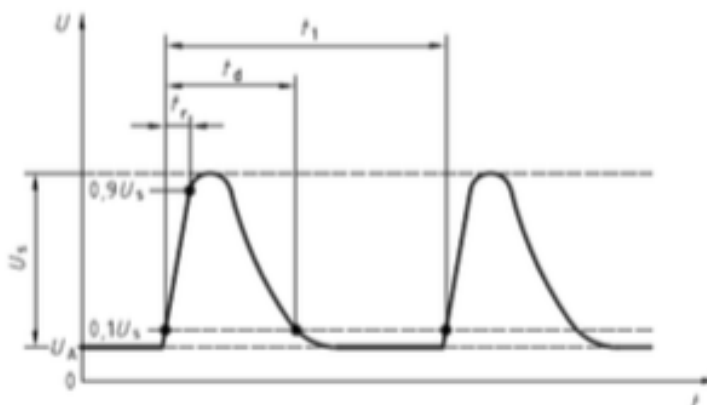


Figura M.6. Parámetros del pulso 2a según la normativa Ford FMC1278.

Pulse 2b - Parameters

U_A	13.5 VDC	27 VDC
U_s	See Table 18-1	
R	< 0.05 Ω	
t_d	0.2 – 2 s	
t_{12}	1 (\pm 0.5) ms	
t_r	1ms (\pm 0.5) ms	
t_f	1ms (\pm 0.5) ms	

Parameters listed are for open circuit conditions.

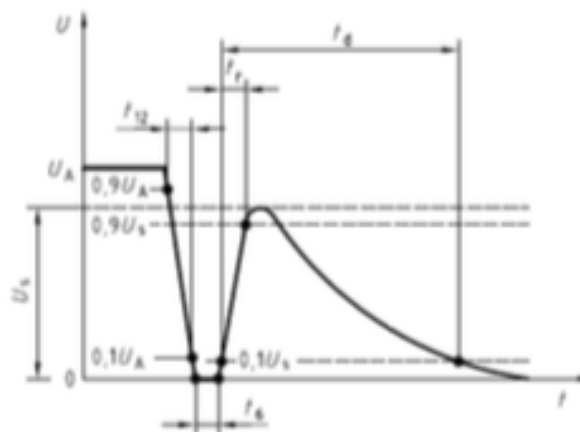


Figura M.7. Parámetros del pulso 2b según la normativa Ford FMC1278.

Pulse 3a - Parameters

U_A	13.5 VDC	27 VDC
U_s	See Table 18-1	
R	50 Ω	
t_d	150 (\pm 45) ns	
t_r	5 (\pm 1.5) ns	
t_f	100 μ s	
t_s	10 ms	
t_b	90 ms	

Parameters listed are for open circuit conditions.

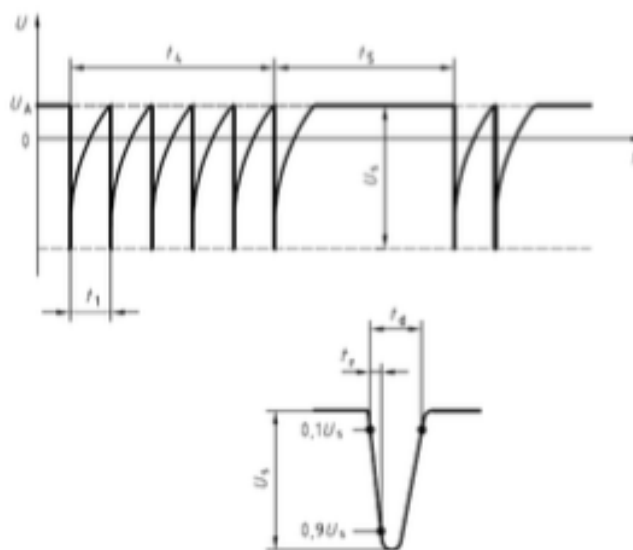


Figura M.8. Parámetros del pulso 3a según la normativa Ford FMC1278.

Pulse 3b - Parameters

U_A	13.5 VDC	27 VDC
U_s	See Table 18-1	
R	50 Ω	
t_d	150 (\pm 45) ns	
t_r	5 (\pm 1.5) ns	
t_f	100 μ s	
t_s	10 ms	
t_b	90 ms	

Parameters listed are for open circuit conditions.

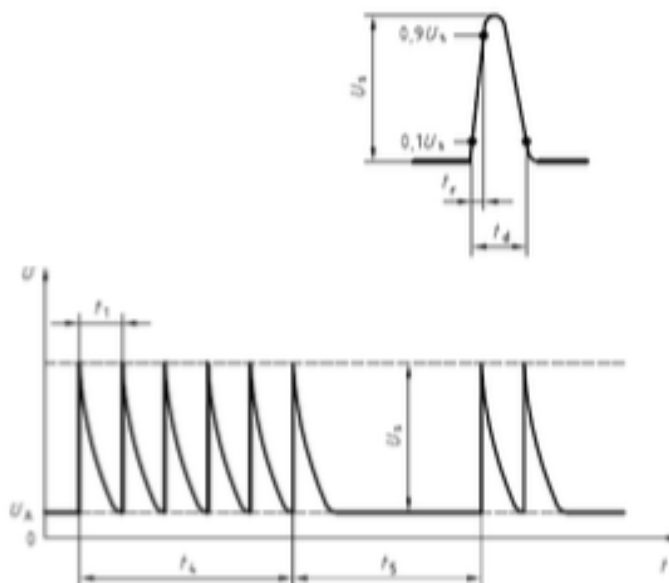


Figura M.9. Parámetros del pulso 3b según la normativa Ford FMC1278.

M.3. Calibración del ensayo según la normativa Ford FMC1278: 2018 a 12 V

La Figura M.10 muestra la calibración de la tensión pico y, también, el ancho del pulso.

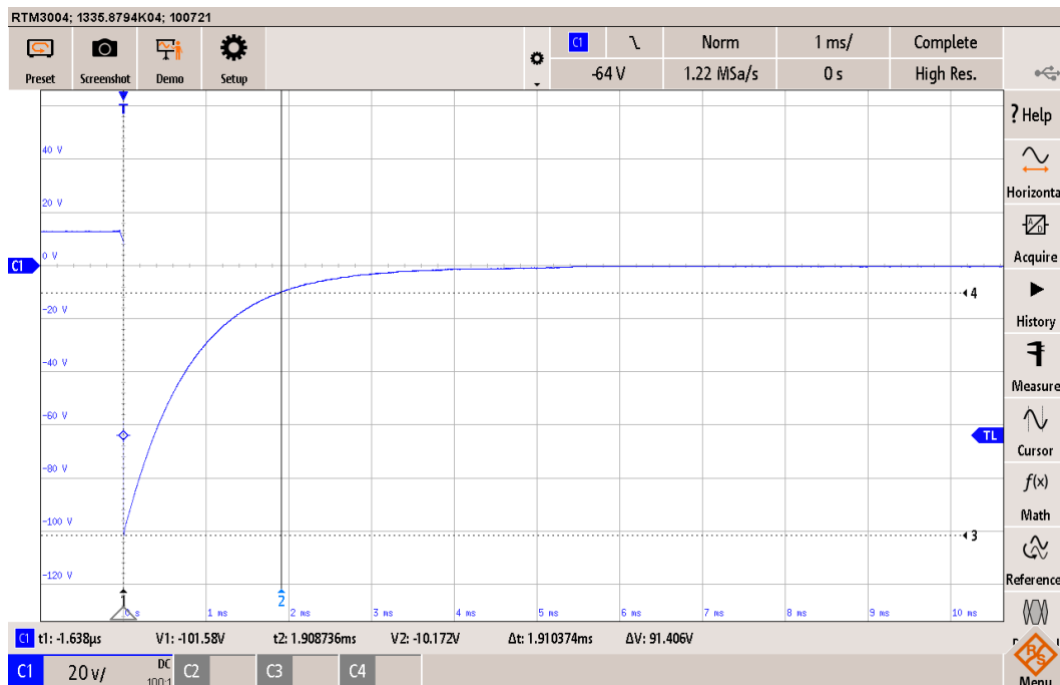


Figura M.10. Calibración ISO Pulso 1. Parámetro: ancho del pulso (td)

CH1 (en azul): Tensión a 50 ms/DIV.

La Figura M.11 muestra la calibración del tiempo entre pulsos. Este parámetro es el valor mínimo de tiempo, es decir, si el equipo bajo ensayo necesita un tiempo mayor para que pueda, este tiempo se puede aumentar para asegurar que el EUT recupera su modo de operación.

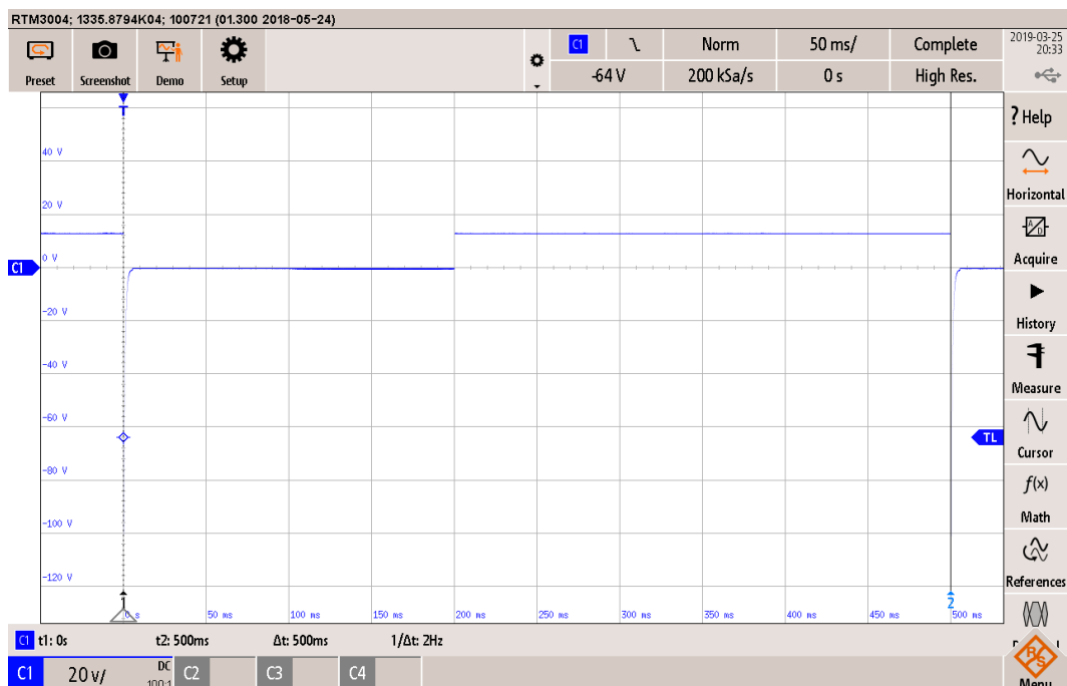


Figura M.11. Captura ISO Pulso 1. Parámetro: tiempo entre pulsos (t1).
CH1 (en azul): Tensión a 50 ms/DIV.

La Figura M.12 muestra la calibración del pulso 1, en concreto, el tiempo que debe estar en 0 V.

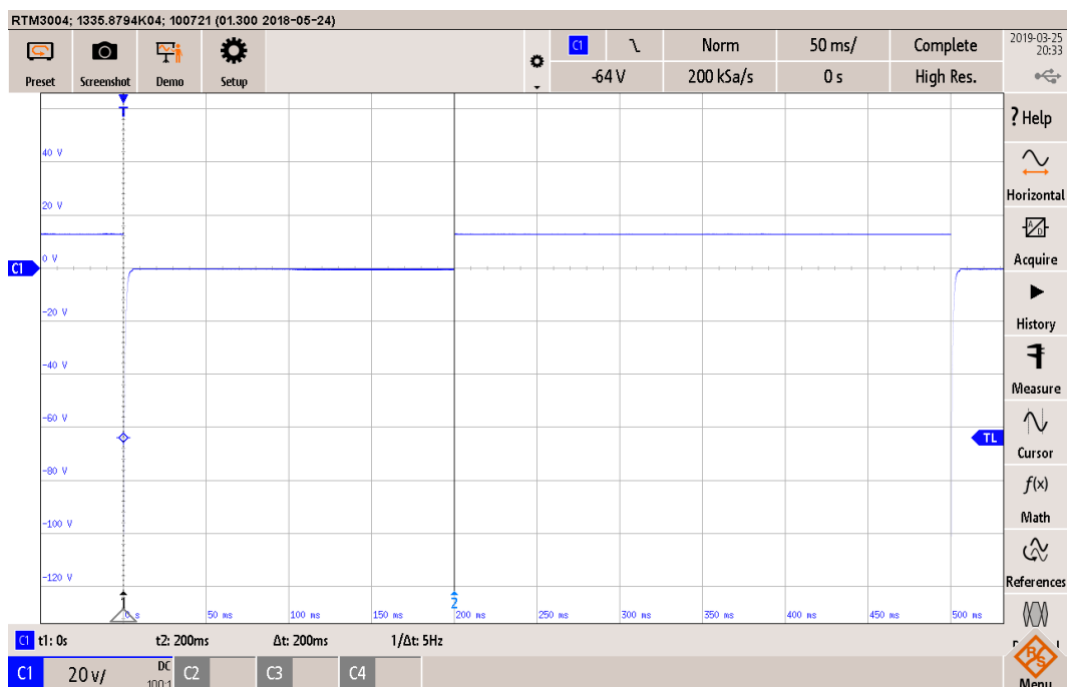


Figura M.12. Captura ISO Pulso 1. Parámetro: tiempo de apagado (t2)
CH1 (en azul): Tensión a 50 ms/DIV.

La Figura M.13 muestra la calibración del pulso A1, en concreto, la tensión de pico.

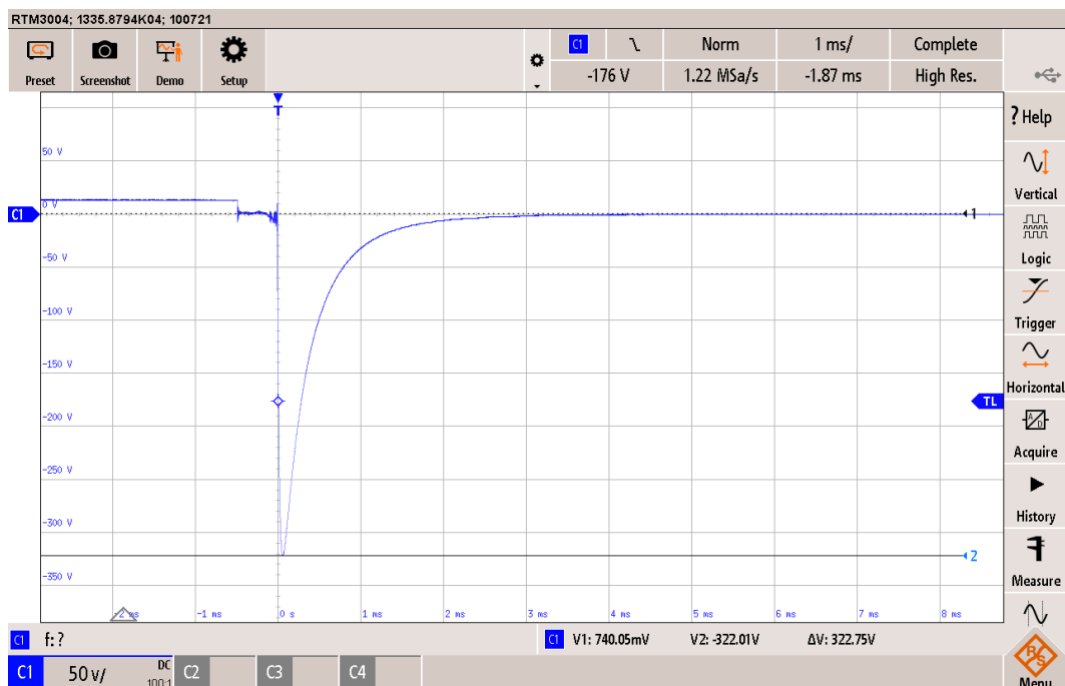


Figura M.13. Captura Pulso A1. Parámetro: tensión de pico (Up)

CH1 (en azul): Tensión a 50 ms/DIV.

La Figura M.14 muestra la calibración del pulso C1, en concreto, la tensión de pico a pico.

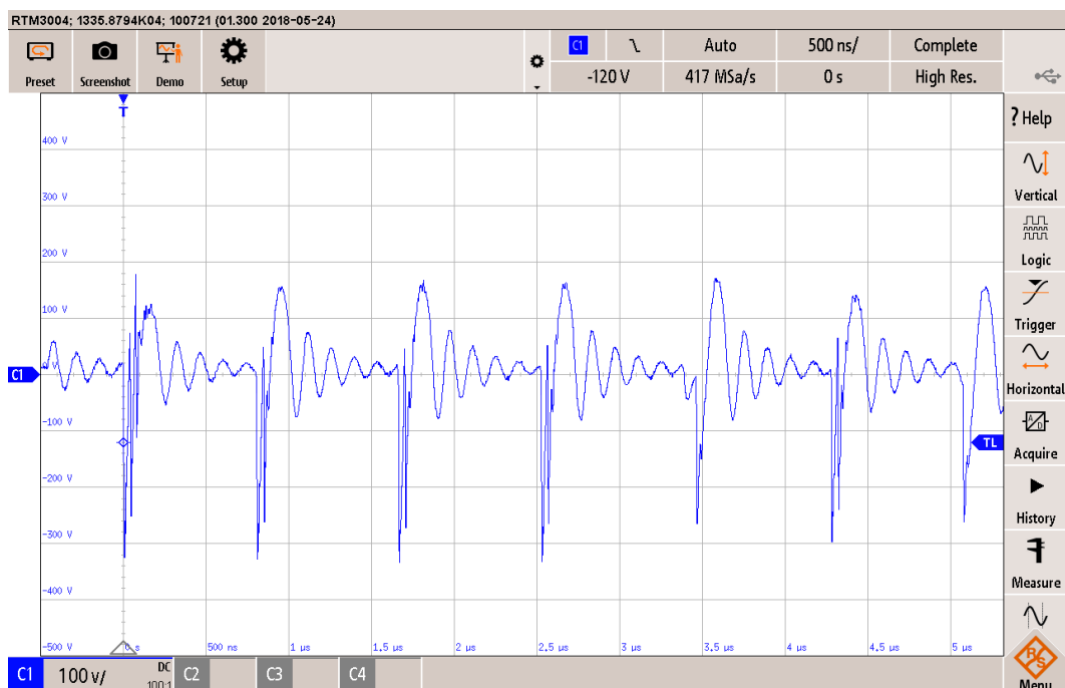


Figura M.14. Captura Pulso C1. Parámetro: tensión de pico a pico (Up-p)

CH1 (en azul): Tensión a 500 ns/DIV.

M.4. Calibración del ensayo según la normativa Ford FMC1278: 2018 a 24 V

Pulso 1

La Figura M.15 muestra la calibración del valor de pico de tensión del pulso 1.

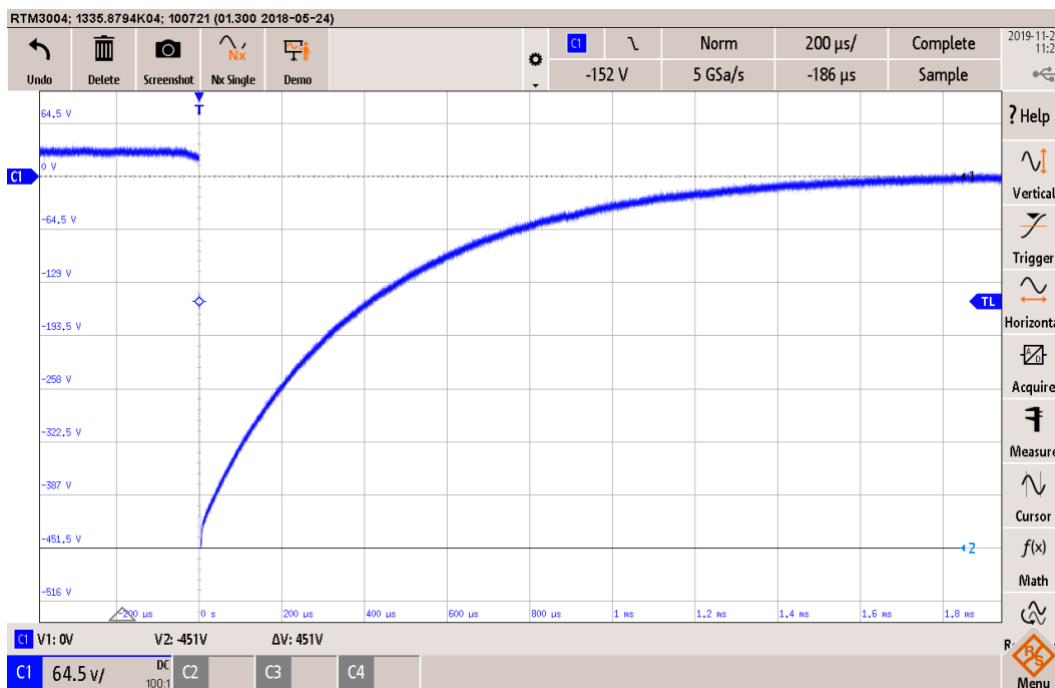


Figura M.15. Captura Pulso 1. Parámetro: Us (V)

CH1 (en azul): Tensión a 50 ms/DIV.

La Figura M.16 muestra la calibración del ancho del pulso 1.

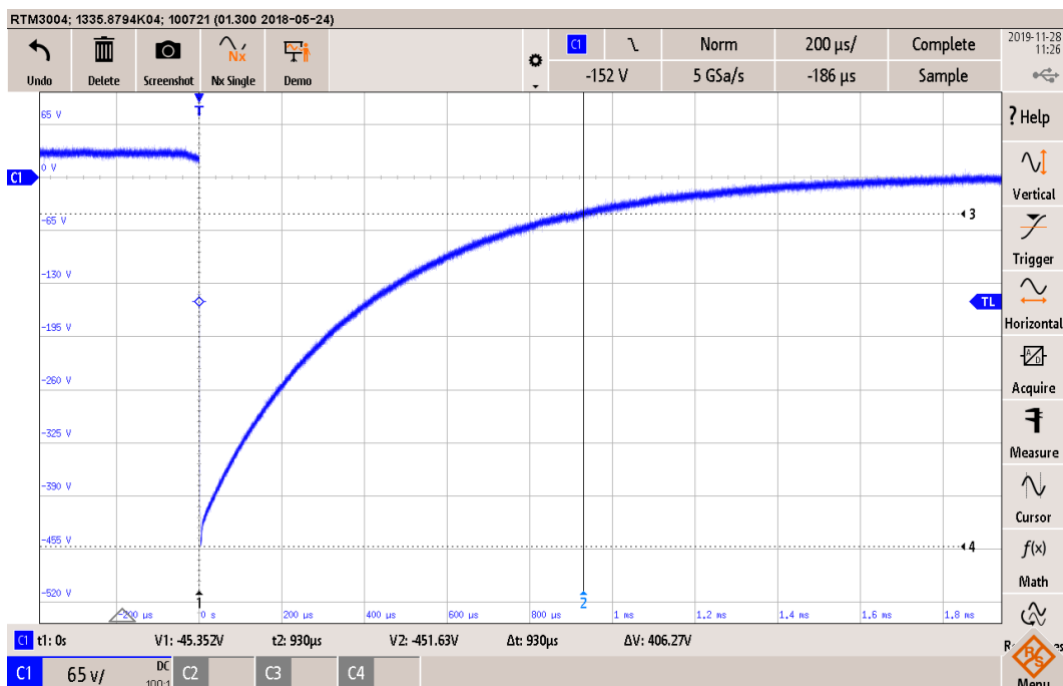


Figura M.16. Captura Pulso 1. Parámetro: ancho del pulso (td)
CH1 (en azul): Tensión a 50 ms/DIV.

La Figura M.17 muestra la calibración de bajada del pulso 1.

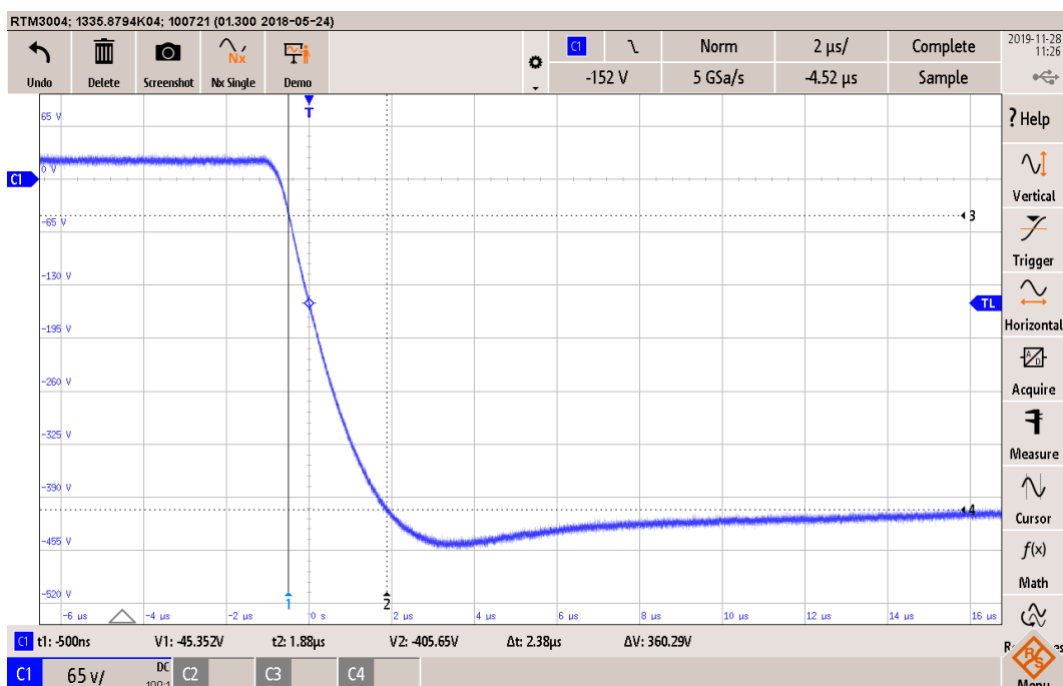


Figura M.17. Captura Pulso 1. Parámetro: tiempo de bajada (tr).
CH1 (en azul): Tensión a 50 ms/DIV.

La Figura M.18 muestra la calibración del tiempo entre pulsos.

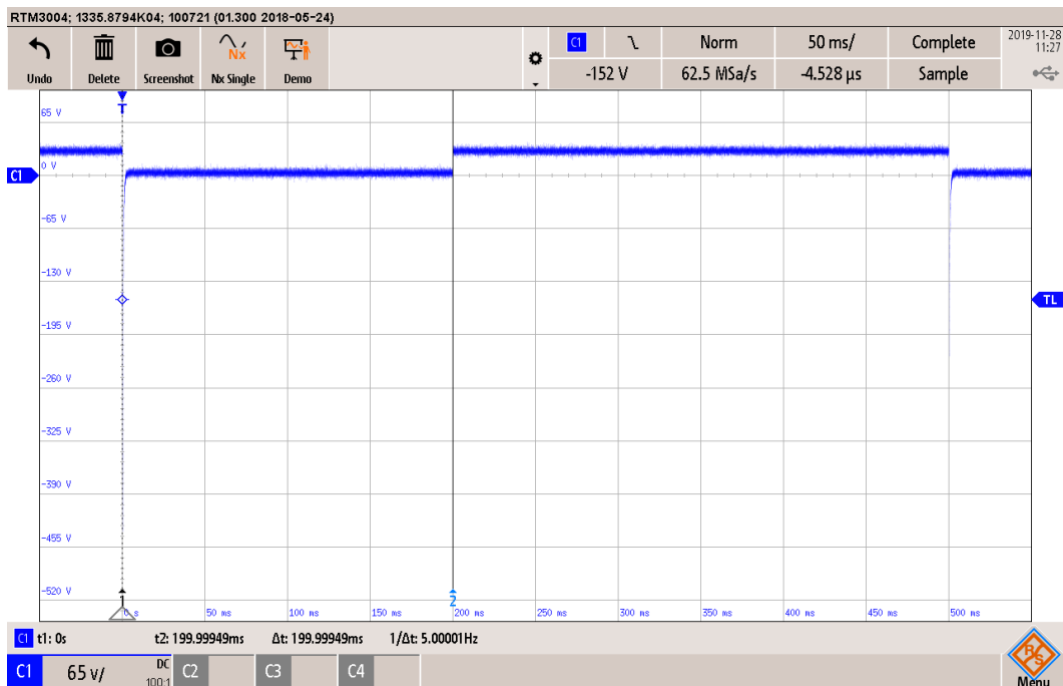


Figura M.18. Captura Pulso 1. Parámetro: tiempo entre pulsos (t1).
CH1 (en azul): Tensión a 50 ms/DIV.

La Figura M.19 muestra la calibración del tiempo de apagado a 0V.

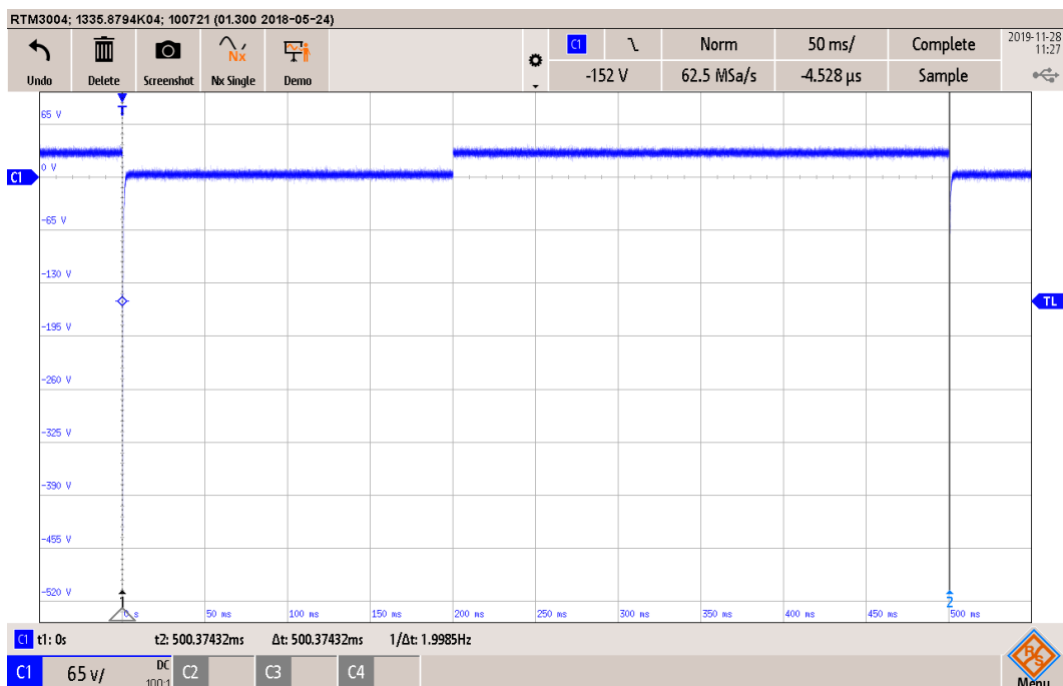


Figura M.19. Captura Pulso 1. Parámetro: tiempo de apagado (t2)
CH1 (en azul): Tensión a 50 ms/DIV.

Pulso 2a

La Figura M.20 muestra la calibración de la tensión de pico del pulso 2a.

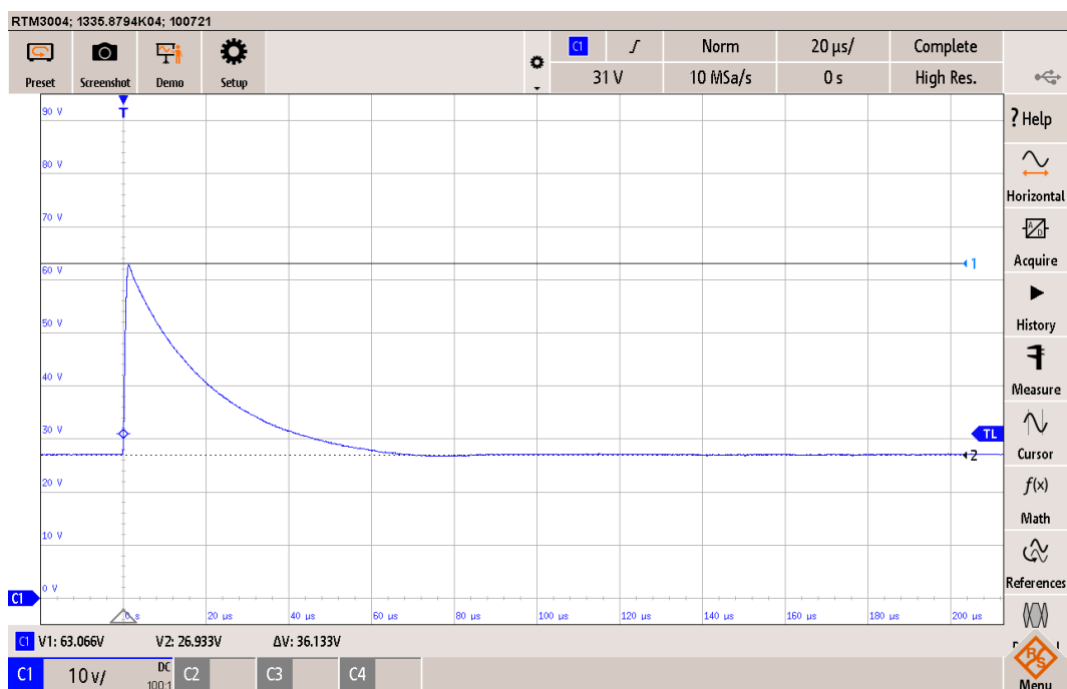


Figura M.20. Captura Pulso 2a. Parámetro: tensión de pico (US)
CH1 (en azul): Tensión a 20 us/DIV.

La Figura M.21 muestra la calibración del ancho del pulso 2a.

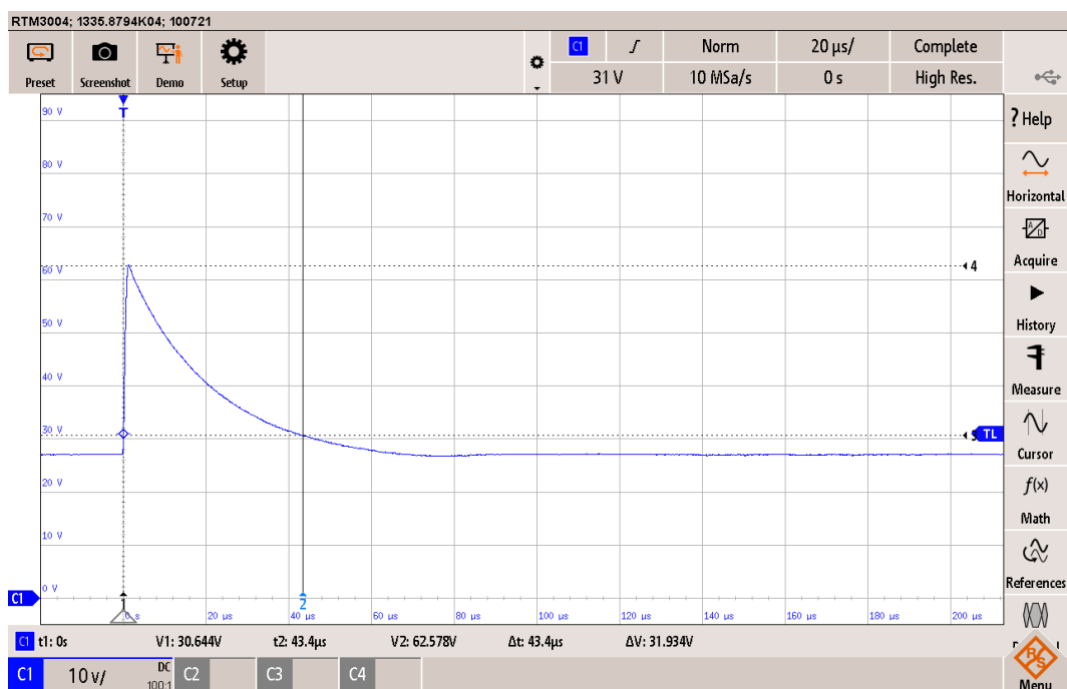


Figura M.21. Captura Pulso 2a. Parámetro: ancho del pulso (td)
CH1 (en azul): Tensión a 20 us/DIV.

La Figura M.22 muestra la calibración del tiempo entre pulsos.

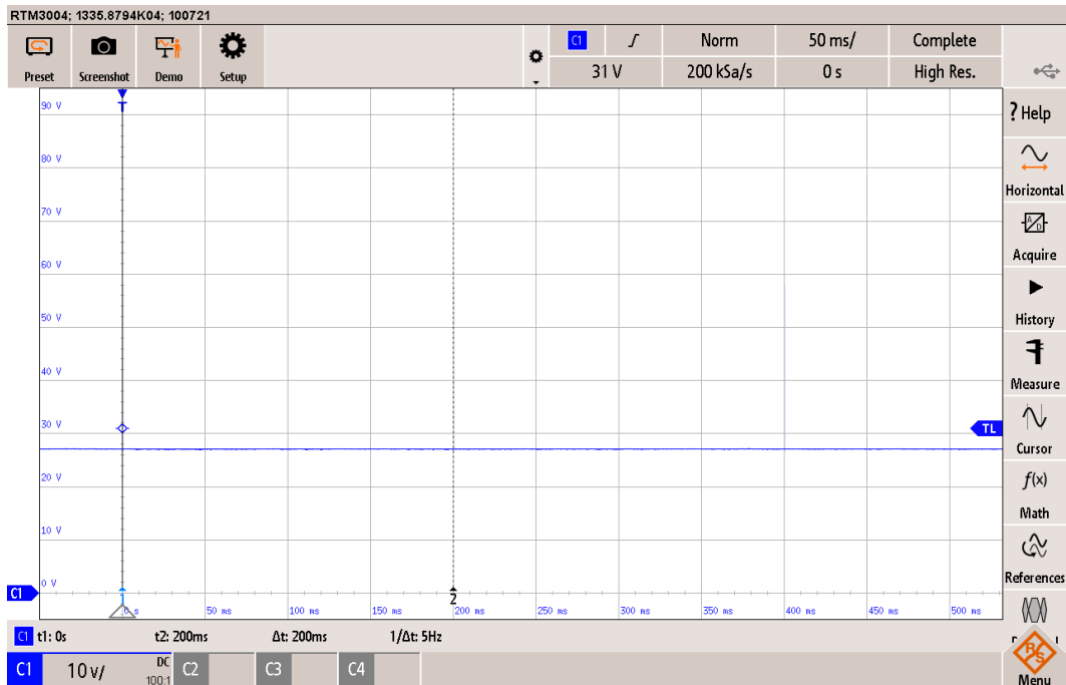


Figura M.22. Captura Pulso 2a. Parámetro: tiempo entre pulsos (t1).
CH1 (en azul): Tensión a 50 ms/DIV.

La Figura M.23 muestra la calibración del tiempo de subida (tr) del 90 % al 10 %.

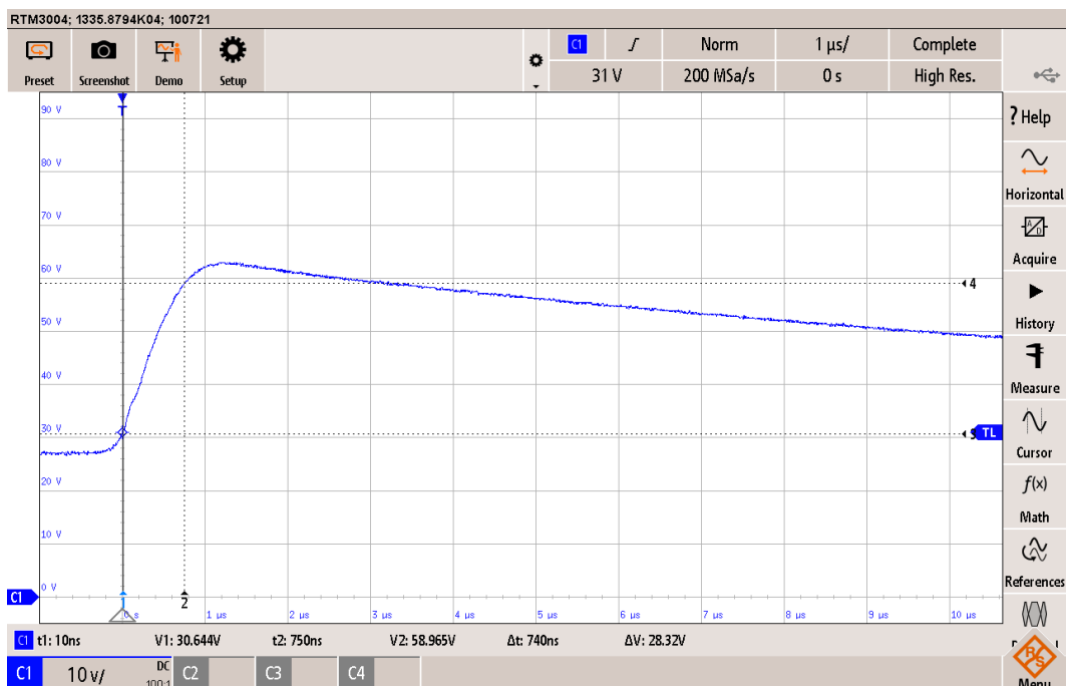


Figura M.23. Captura Pulso 2a. Parámetro: tiempo de subida (tr)

CH1 (en azul): Tensión a 1 us/DIV.

Pulso 2b

La Figura M.24 muestra la calibración de la tensión de pico del pulso 2b.

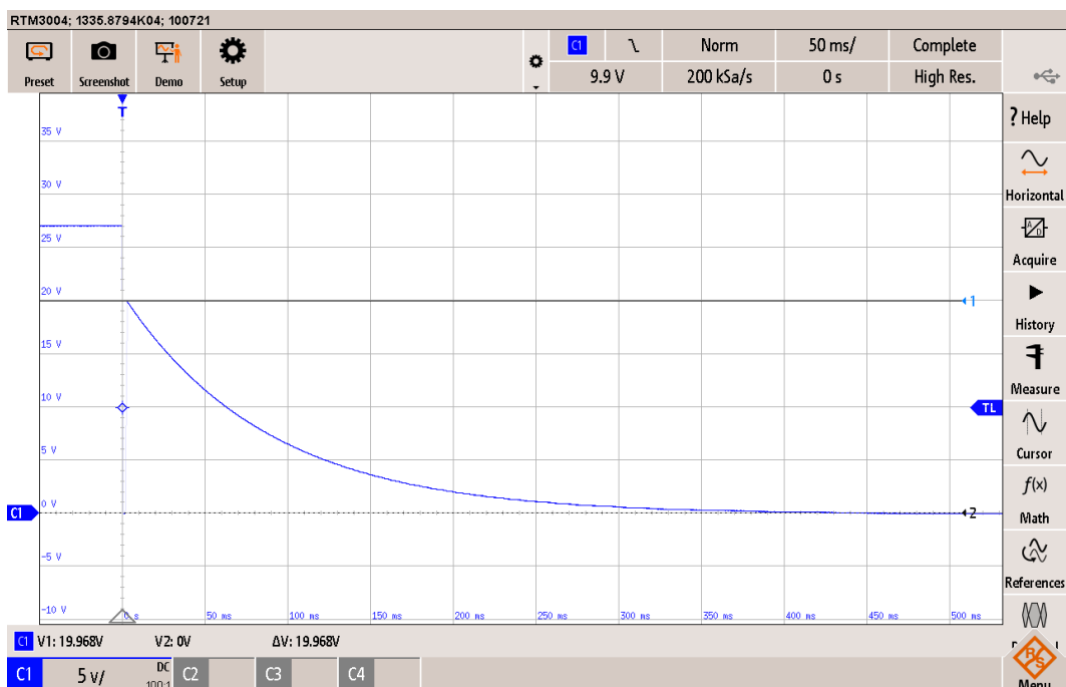


Figura M.24. Captura Pulso 2a. Parámetro: tensión de pico (US)

CH1 (en azul): Tensión a 50 ms/DIV.

La Figura M.25 muestra la calibración del ancho del pulso 2b.

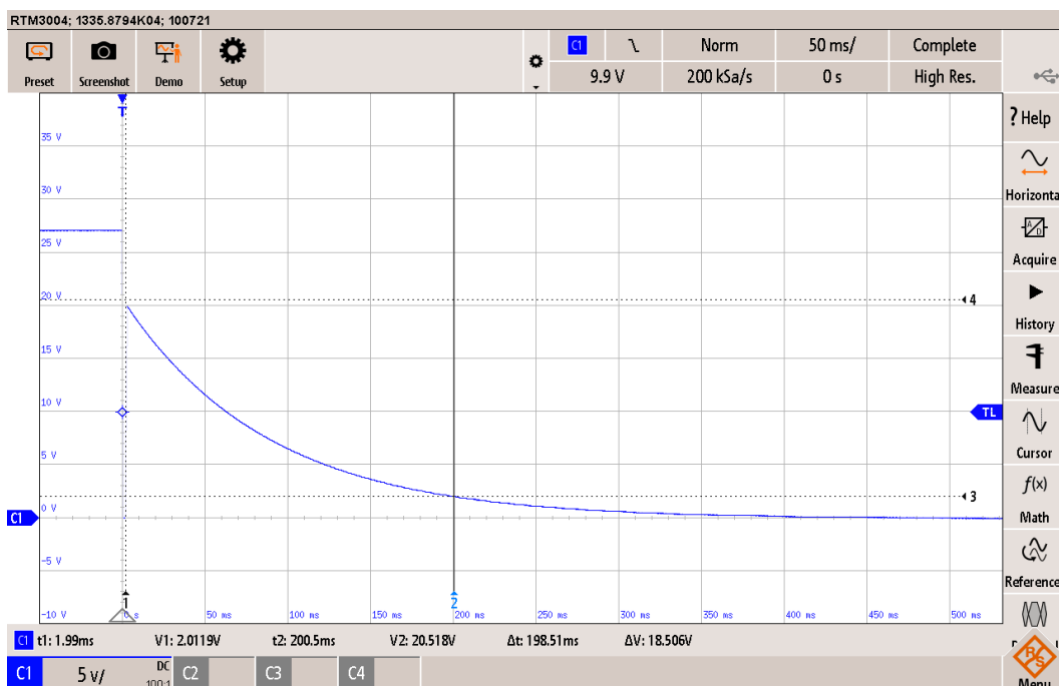


Figura M.25. Captura Pulso 2a. Parámetro: ancho del pulso (td)
CH1 (en azul): Tensión a 50 ms/DIV.

La Figura M.26 muestra la calibración del tiempo de bajada (tf) del 90 % al 10 %.

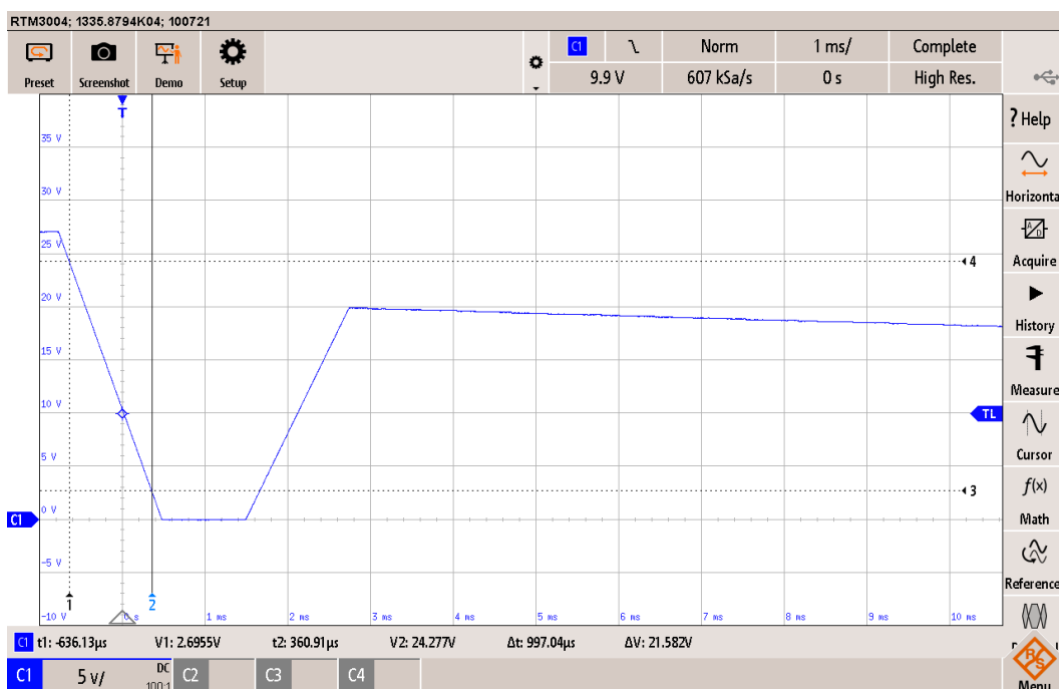


Figura M.26. Captura Pulso 2a. Parámetro: tiempo de bajada (tf).

CH1 (en azul): Tensión a 1 ms/DIV.

La Figura M.27 muestra la calibración del tiempo de subida (t_r) del 90 % al 10 %.

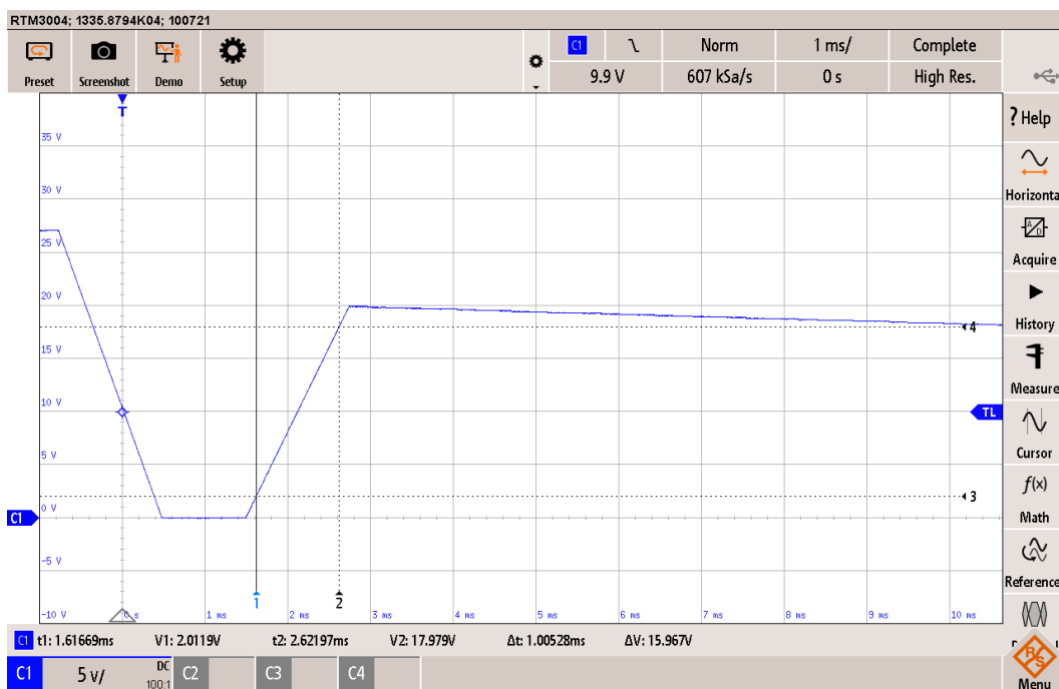


Figura M.27. Captura Pulso 2a. Parámetro: tiempo de subida (t_r)

CH1 (en azul): Tensión a 1 ms/DIV.

Pulso 3a

La Figura M.28 muestra la calibración de la tensión de pico del pulso 3a.

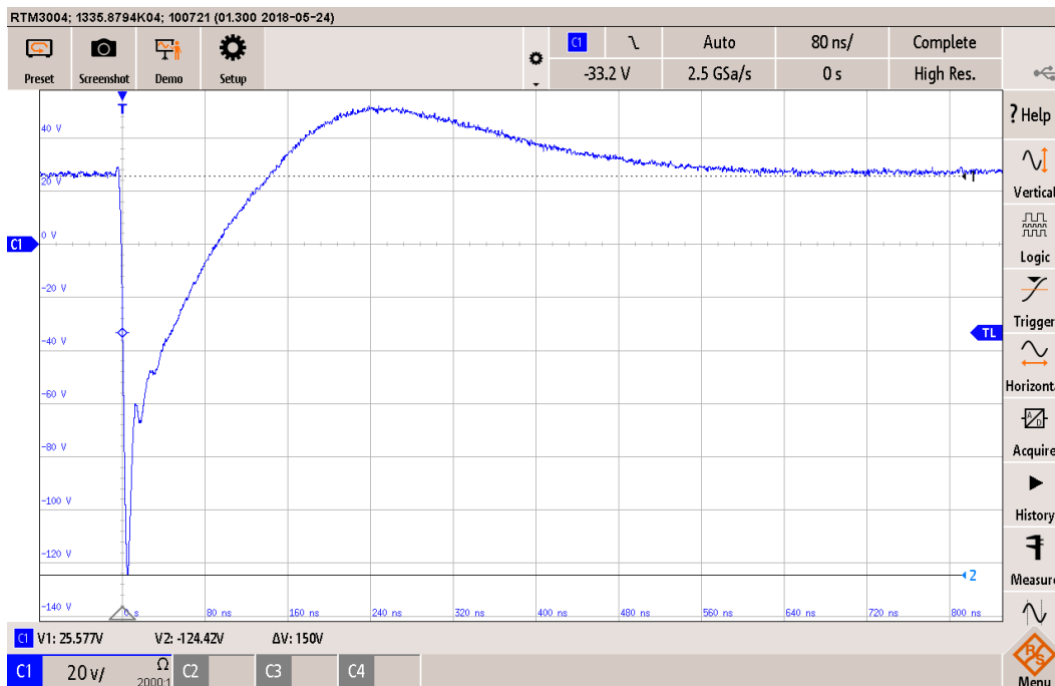


Figura M.28. Captura Pulso 3a. Parámetro: tensión de pico (US)
 CH1 (en azul): Tensión a 80 ns/DIV.

La Figura M.29 muestra la calibración del ancho del pulso 3a.

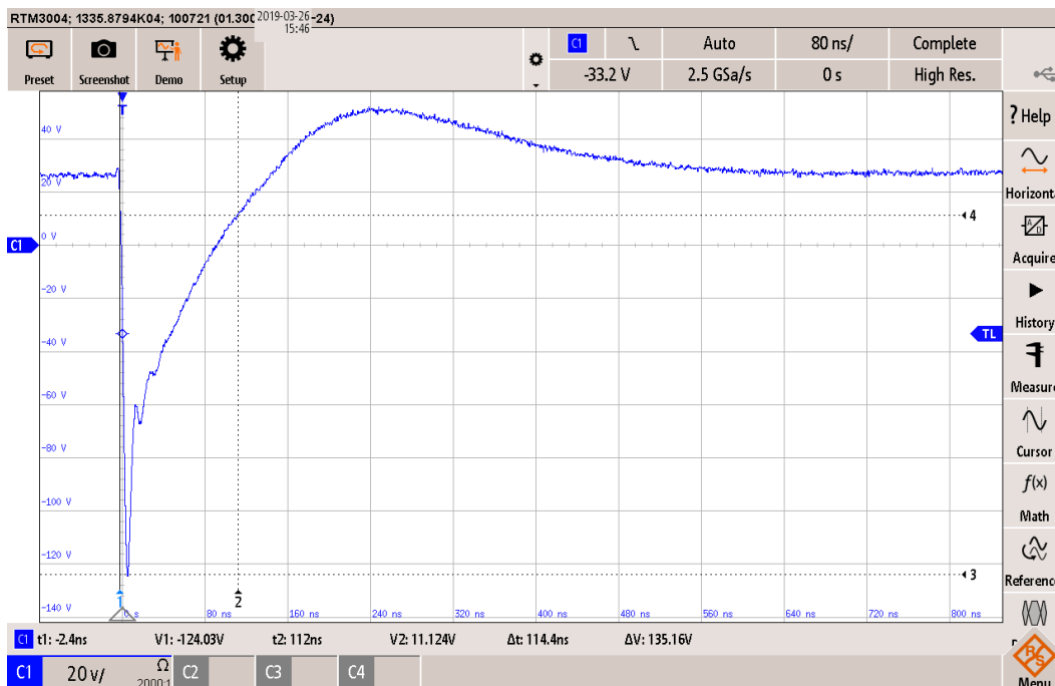


Figura M.29. Captura Pulso 2a. Parámetro: ancho del pulso (td)
 CH1 (en azul): Tensión a 80 ns/DIV.

La Figura M.30 muestra la calibración del tiempo de bajada (t_f) del 90 % al 10 %.



Figura M.30. Captura Pulso 2a. Parámetro: tiempo de bajada (t_f).

CH1 (en azul): Tensión a 5 ns/DIV.

La Figura M.31 muestra la calibración del tiempo entre pulsos.

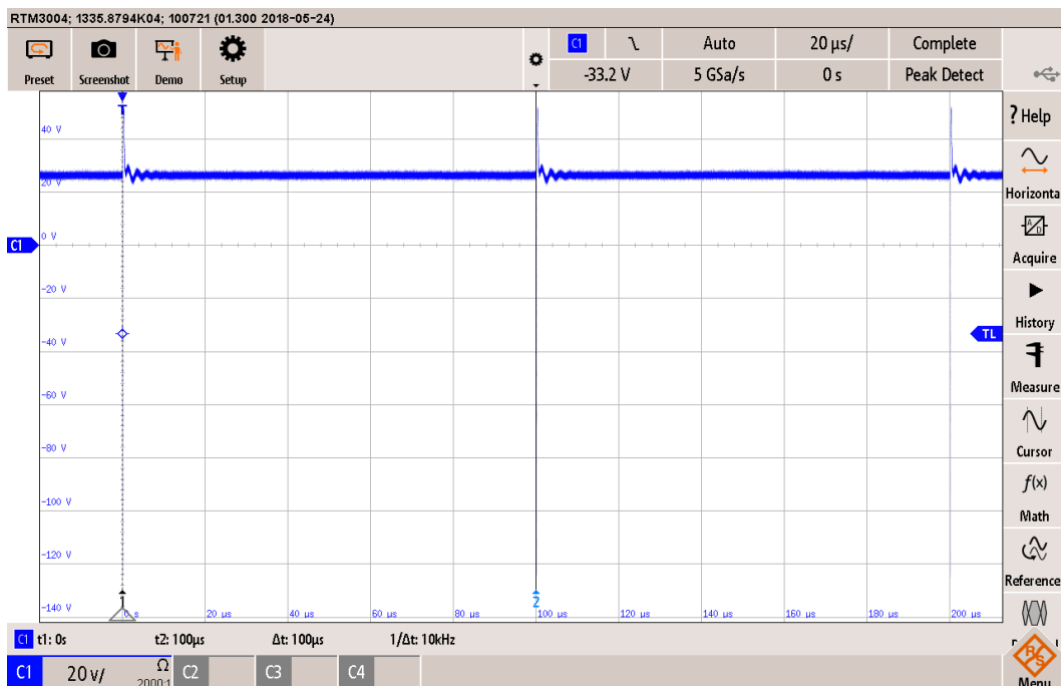


Figura M.31. Captura Pulso 3a. Parámetro: tiempo entre pulsos (t_1).

CH1 (en azul): Tensión a 20 us/DIV.

La Figura M.32 muestra la calibración del tiempo de ráfaga de pulsos.

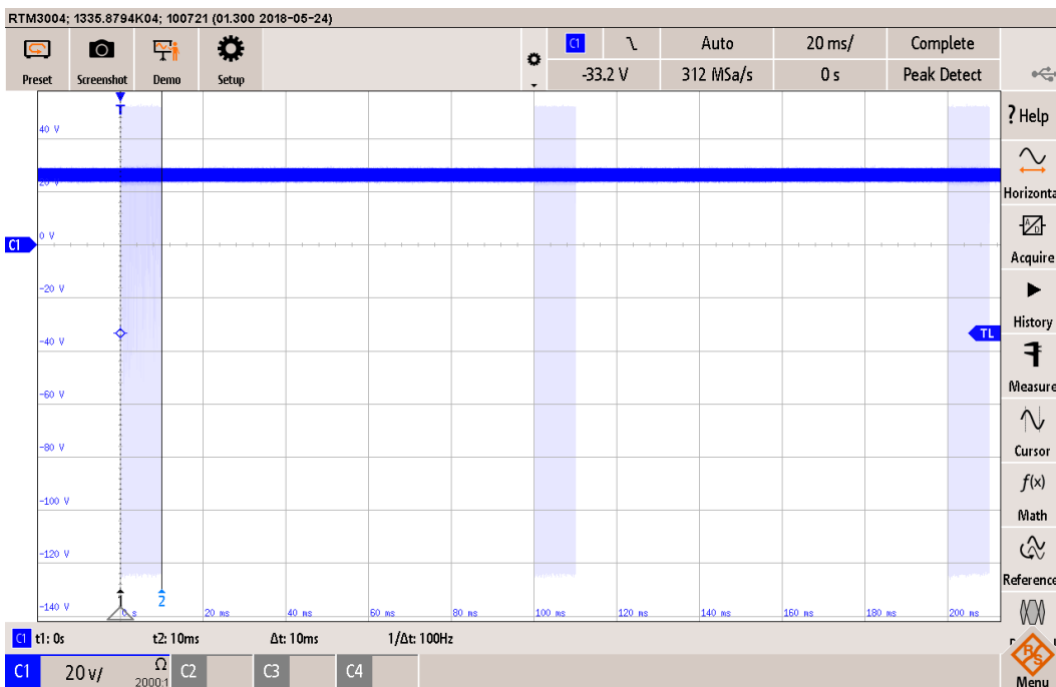


Figura M.32. Captura Pulso 3a. Parámetro: tiempo de ráfaga (t4).

CH1 (en azul): Tensión a 20 ms/DIV.

La Figura M.33 muestra la calibración del tiempo entre ráfagas de pulsos.

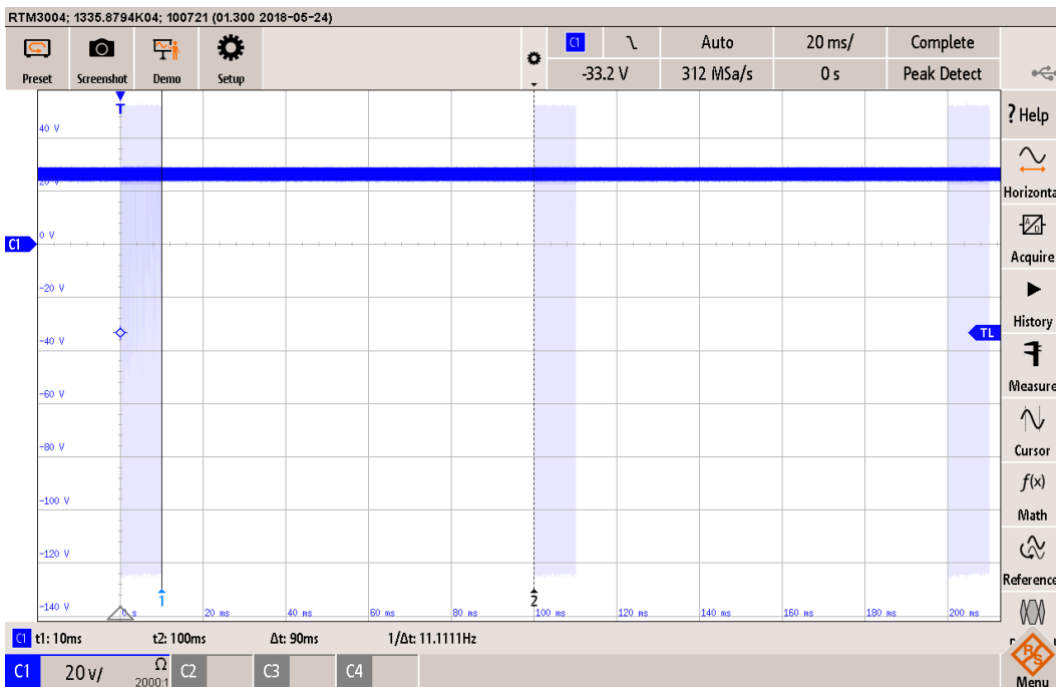


Figura M.33. Captura Pulso 3a. Parámetro: tiempo entre ráfagas (t5).

CH1 (en azul): Tensión a 20 ms/DIV.

Pulso 3b

La Figura M.34 muestra la calibración de la tensión de pico del pulso 3b.

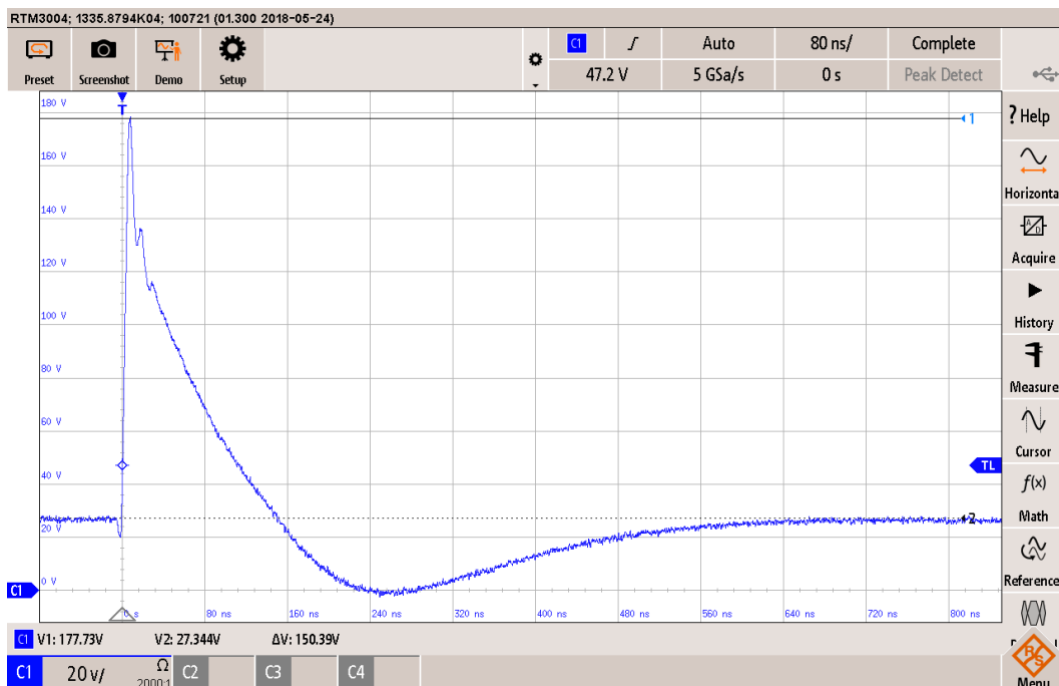


Figura M.34. Captura Pulso 3a. Parámetro: tensión de pico (US)

CH1 (en azul): Tensión a 80 ns/DIV

La Figura M.35 muestra la calibración del ancho del pulso 3b.

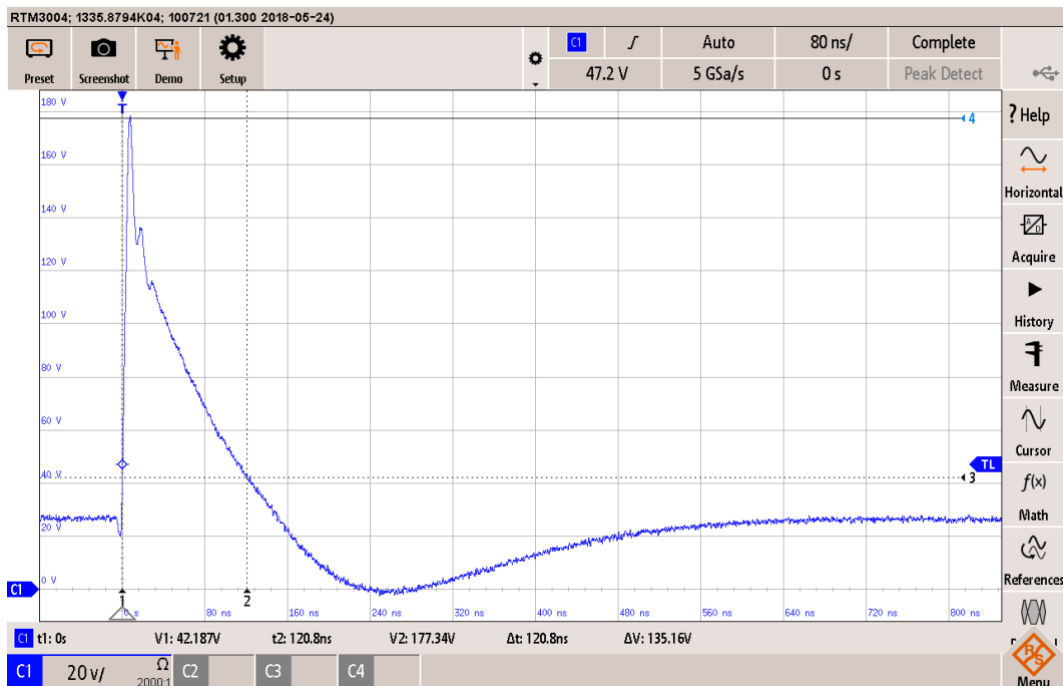


Figura M.35. Captura Pulso 2a. Parámetro: ancho del pulso (td)
 CH1 (en azul): Tensión a 80 ns/DIV.

La Figura M.36 muestra la calibración del tiempo de subida (tr) del 90 % al 10 %.

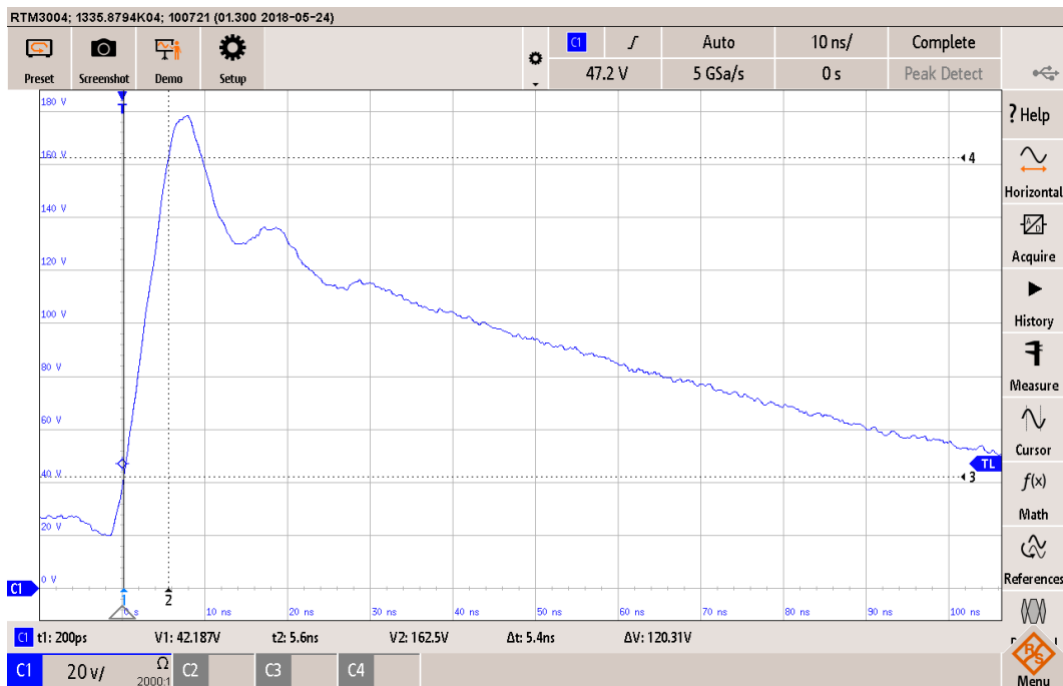


Figura M.36. Captura Pulso 2a. Parámetro: tiempo de subida (tr).
 CH1 (en azul): Tensión a 5 ns/DIV.

La Figura M.37 muestra la calibración del tiempo entre pulsos.

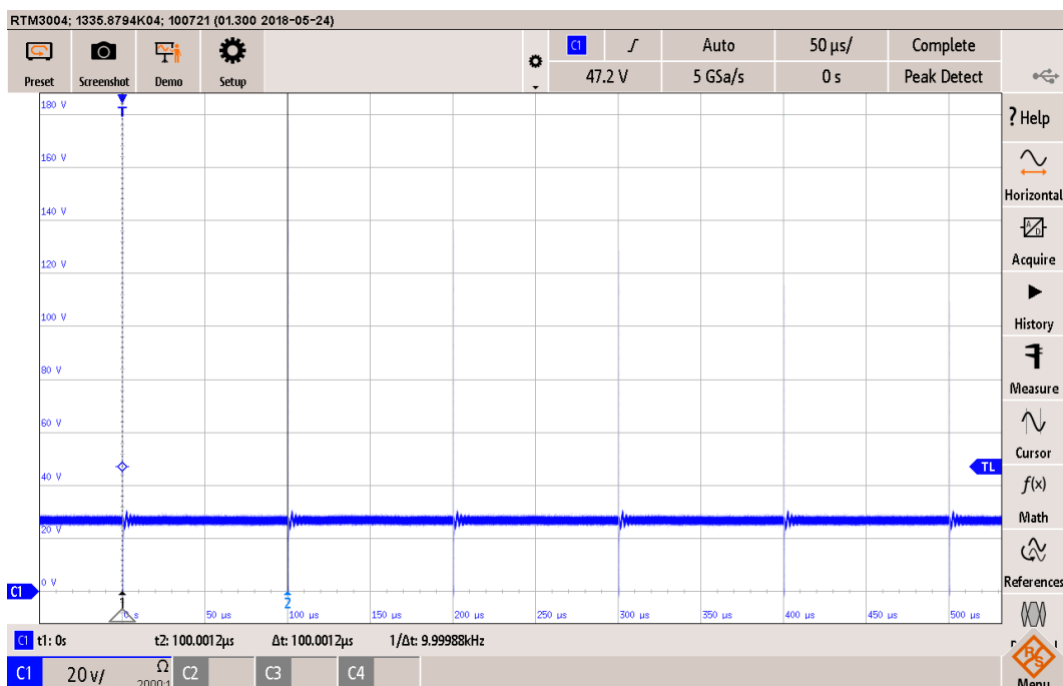


Figura M.37. Captura Pulso 3a. Parámetro: tiempo entre pulsos (t_1).

CH1 (en azul): Tensión a 20 us/DIV.

La Figura M.38 muestra la calibración del tiempo de ráfagas de pulsos.

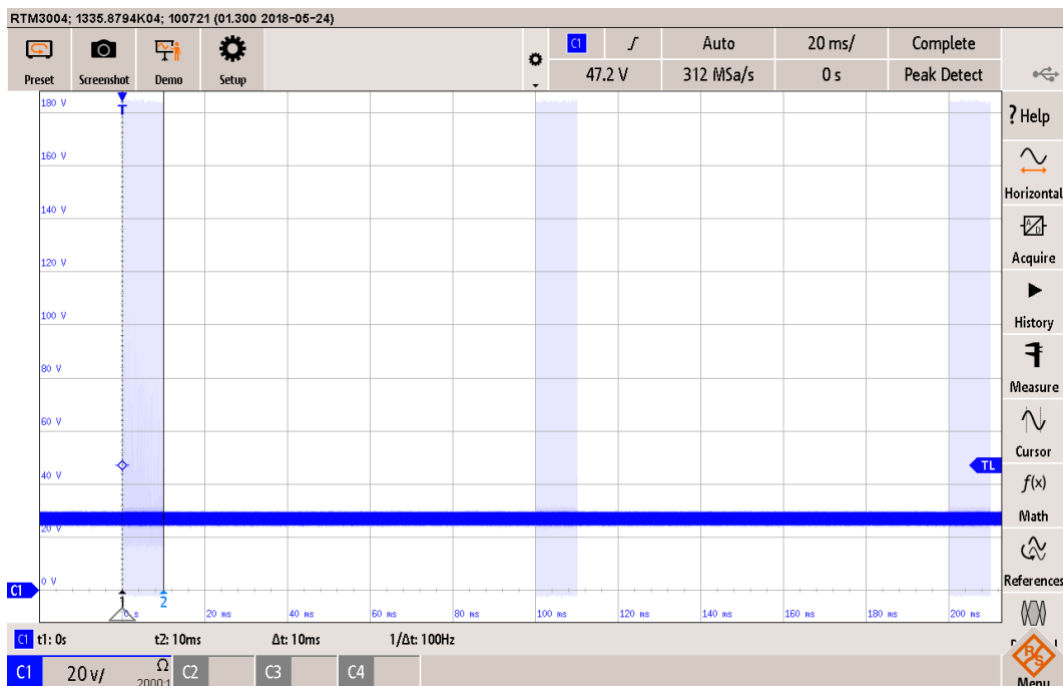


Figura M.38. Captura Pulso 3a. Parámetro: tiempo de ráfaga (t_4).

CH1 (en azul): Tensión a 20 ms/DIV.

La Figura M.39 muestra la calibración del tiempo entre ráfagas de pulsos.

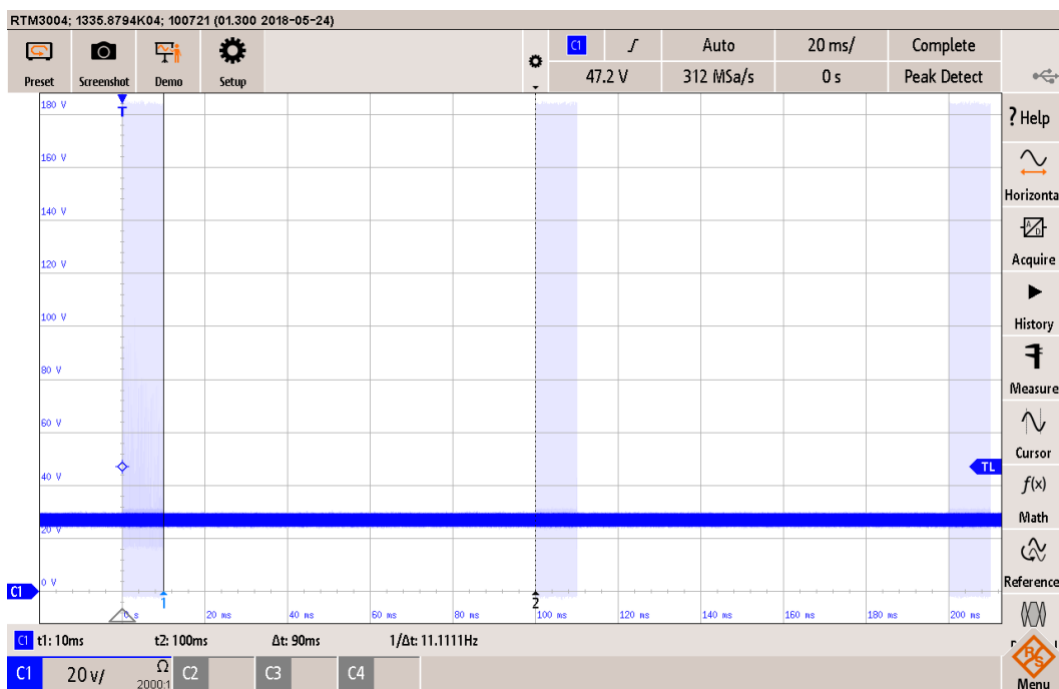


Figura M.39. Captura Pulso 3a. Parámetro: tiempo entre ráfagas (t5).

CH1 (en azul): Tensión a 20 ms/DIV.

Anexo N. Inmunidad contra descarga de carga (CI 222)

N.1. Test setup según la normativa Ford FMC1278: 2018

En la siguiente Figura se muestra la disposición del equipo bajo ensayo en plano de masa.

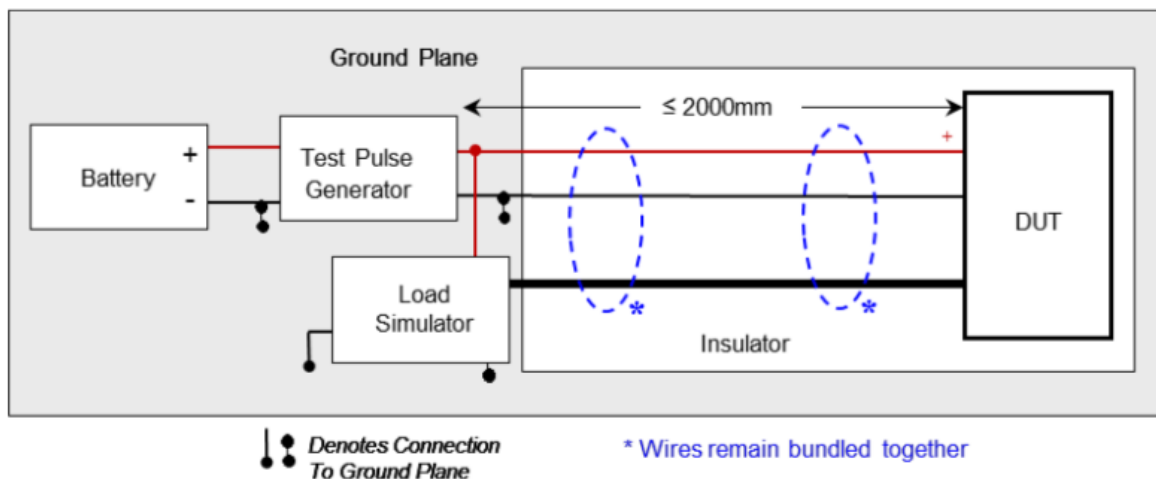


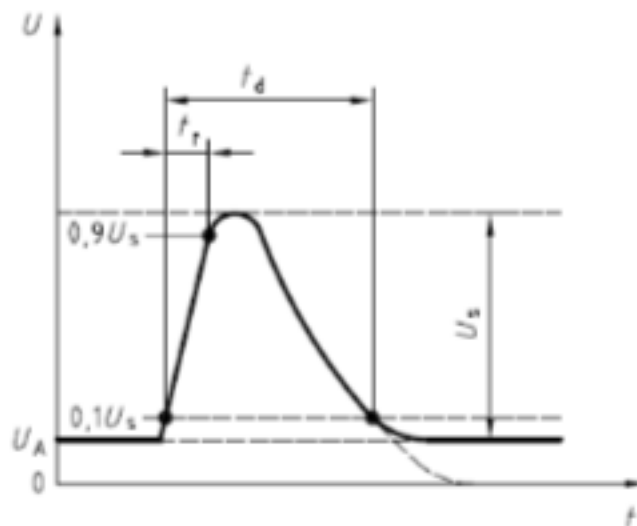
Figura N.1. Esquema del EUT en el plano de masa según la normativa Ford FMC1278.

N.2. Parámetros y forma de onda

Pulse 5a – Parameters⁽¹⁾

Open Circuit Conditions ($R_L = \text{open}$)		
U_A	13.5 VDC	27 VDC
U_s	See Table 19-1	
R	0.5 Ω	1 Ω
t_r	300 ms +/-20%	
t_f	10 ms -5 /+0 ms	

Loaded Conditions ($R_L = R$)		
U_A	13.5 VDC	27 VDC
U_s	0.5* U_s (Open Circuit)	
R	0.5 Ω	1 Ω
t_r	150 mS +/-20%	
t_f	10 (-5 /+0) ms	



(1) All voltage values are with respect to 0 volts unless otherwise specified.

Figura N.2. Parámetros del pulso 5a según la normativa Ford FMC1278.

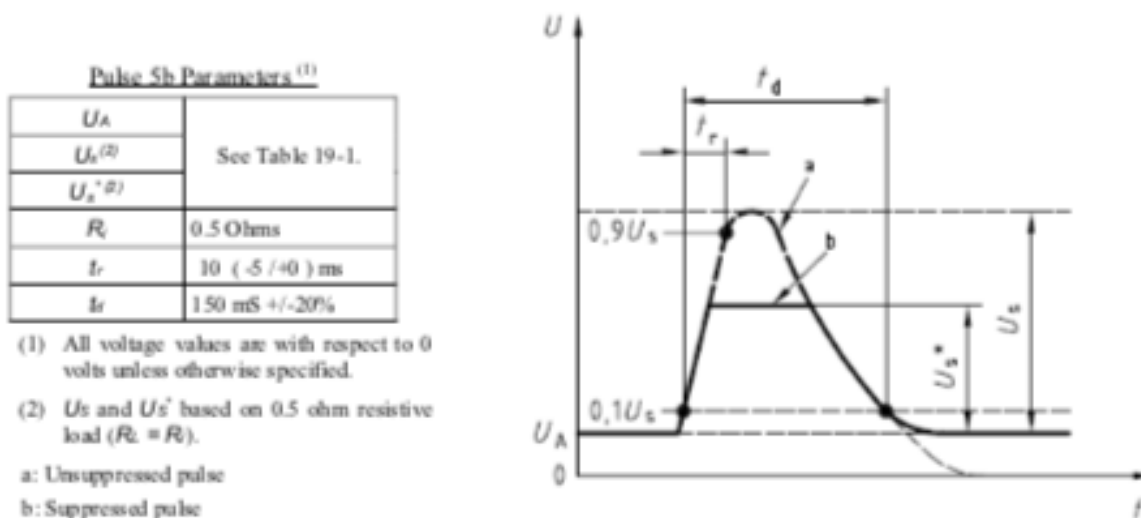


Figura N.3. Parámetros del pulso 5b según la normativa Ford FMC1278.

N.3. Calibración del ensayo según la normativa Ford FMC1278: 2018

Capturas de osciloscopio con los valores definidos en el Anexo N.2, según la normativa Ford FMC1278.

Pulso 5a a 12 V

En la Figura N.4 se muestra la calibración de la tensión de pico.

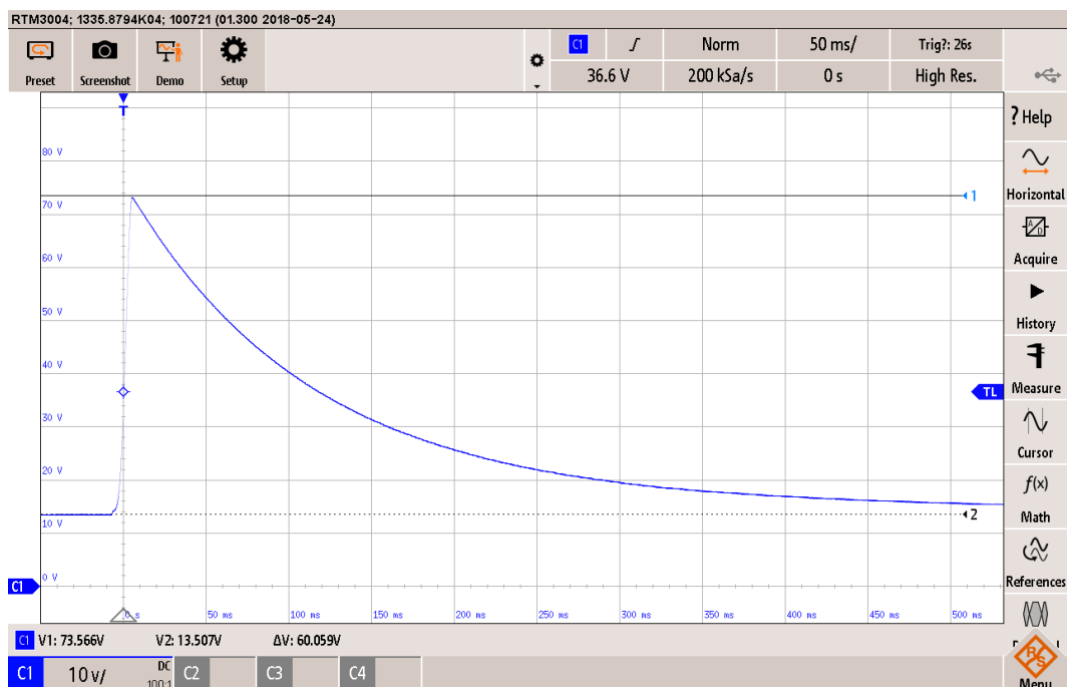


Figura N.4. Captura Pulso 5a. Parámetro: tensión de pico (U_s)

CH1 (en azul): Tensión a 50 ms/DIV.

En la Figura N.5 se muestra la calibración del ancho del pulso.

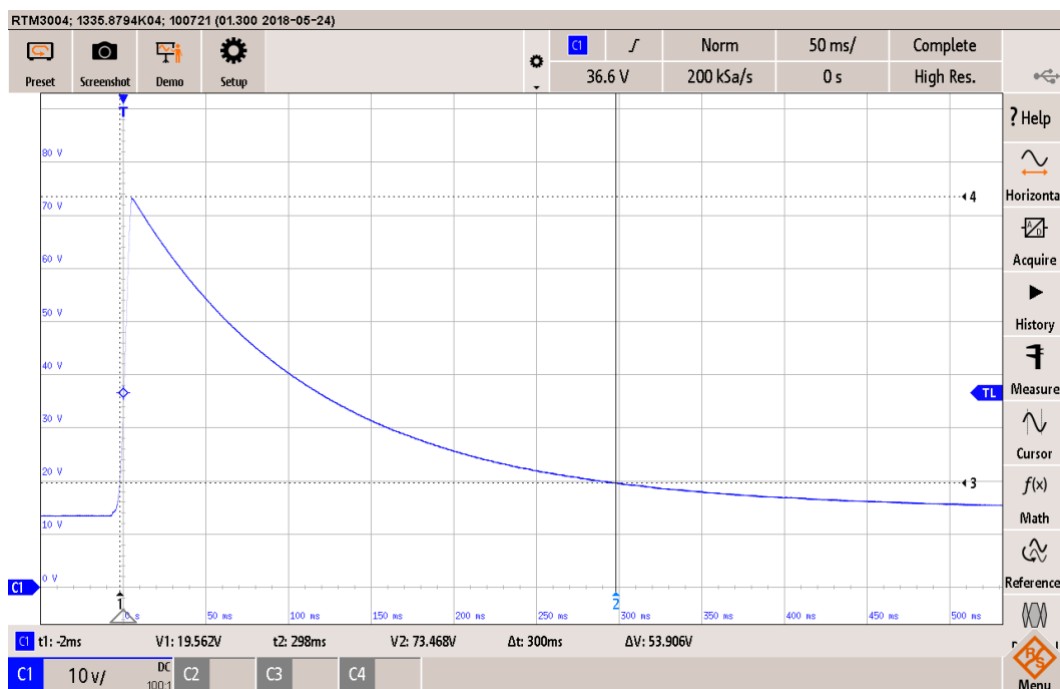


Figura N.5. Captura Pulso 5a. Parámetro: ancho del pulso (td)

CH1 (en azul): Tensión a 50 ms/DIV.

En la Figura N.6 se muestra la calibración del tiempo de subida.

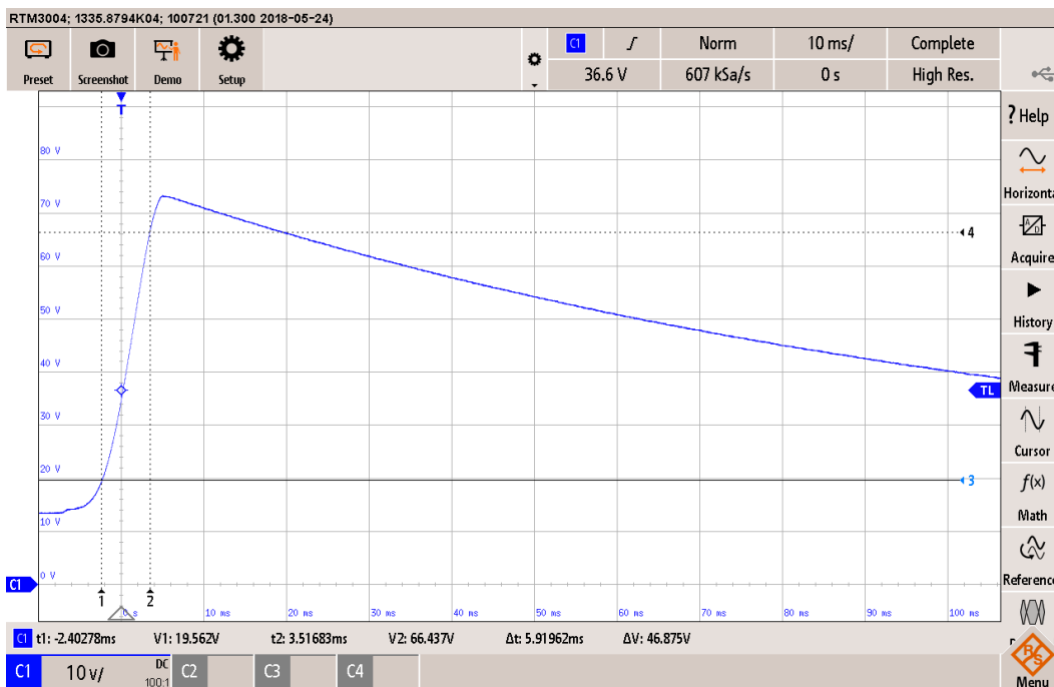


Figura N.6. Captura Pulso 5a. Parámetro: tiempo de subida (tr)

CH1 (en azul): Tensión a 50 ms/DIV.

Pulso 5b

En la Figura N.7 se muestra la calibración de la tensión recortada.

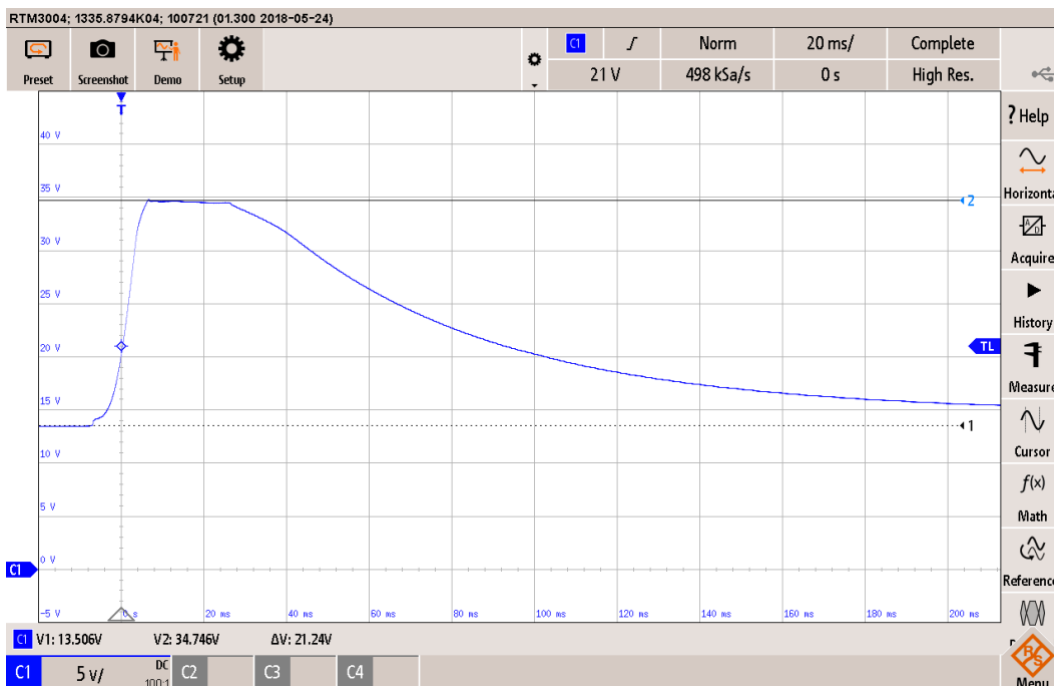


Figura N.7. Captura Pulso 5a. Parámetro: tensión de recorte (Us)

CH1 (en azul): Tensión a 50 ms/DIV.

En la Figura N.8 se muestra la calibración del ancho del pulso.

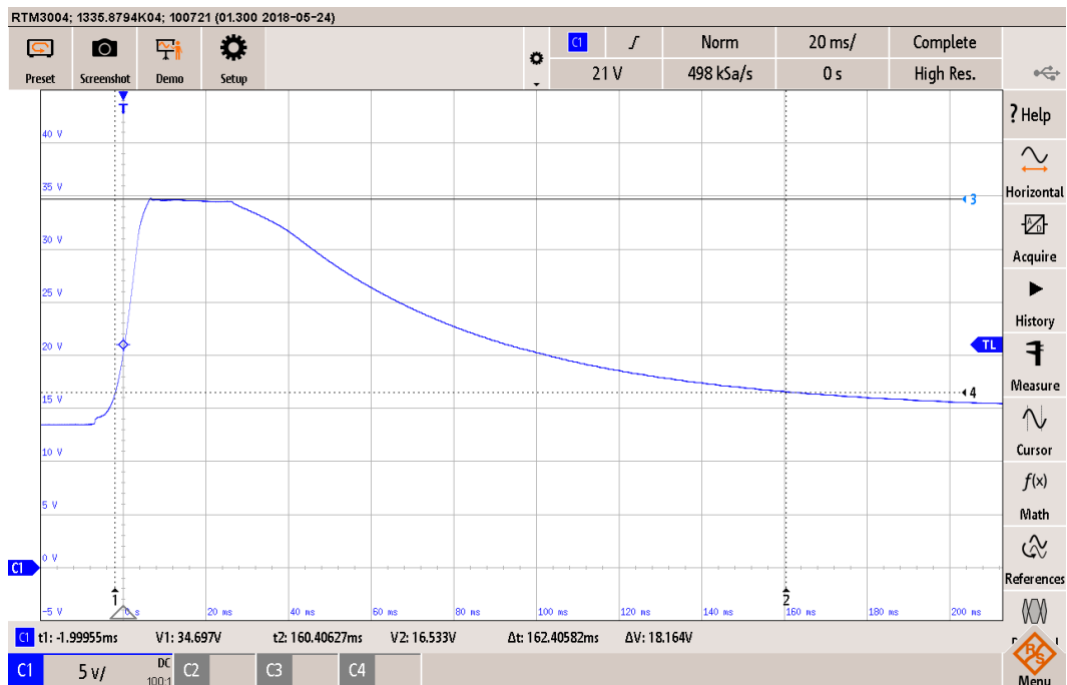


Figura N.8. Captura Pulso 5a. Parámetro: ancho del pulso (td)

CH1 (en azul): Tensión a 50 ms/DIV.

Pulso 5a a 24 V

En la Figura N.9 se muestra la calibración de la tensión de pico.

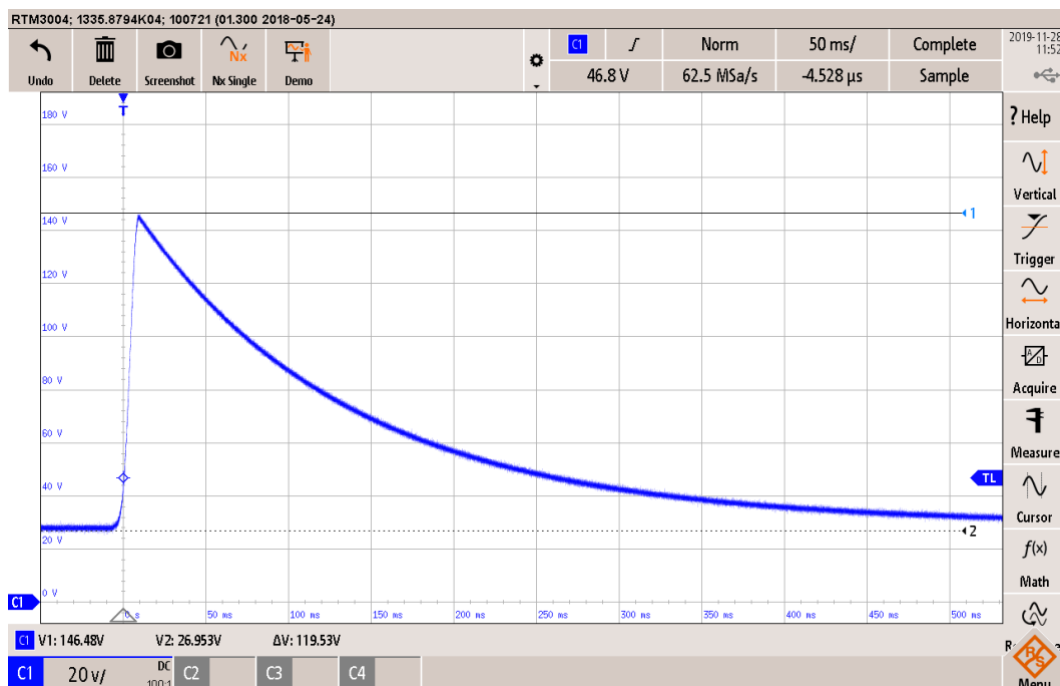


Figura N.9. Captura Pulso 5a. Parámetro: tensión de pico (Us)

CH1 (en azul): Tensión a 50 ms/DIV.

En la Figura N.10 se muestra la calibración del ancho del pulso.

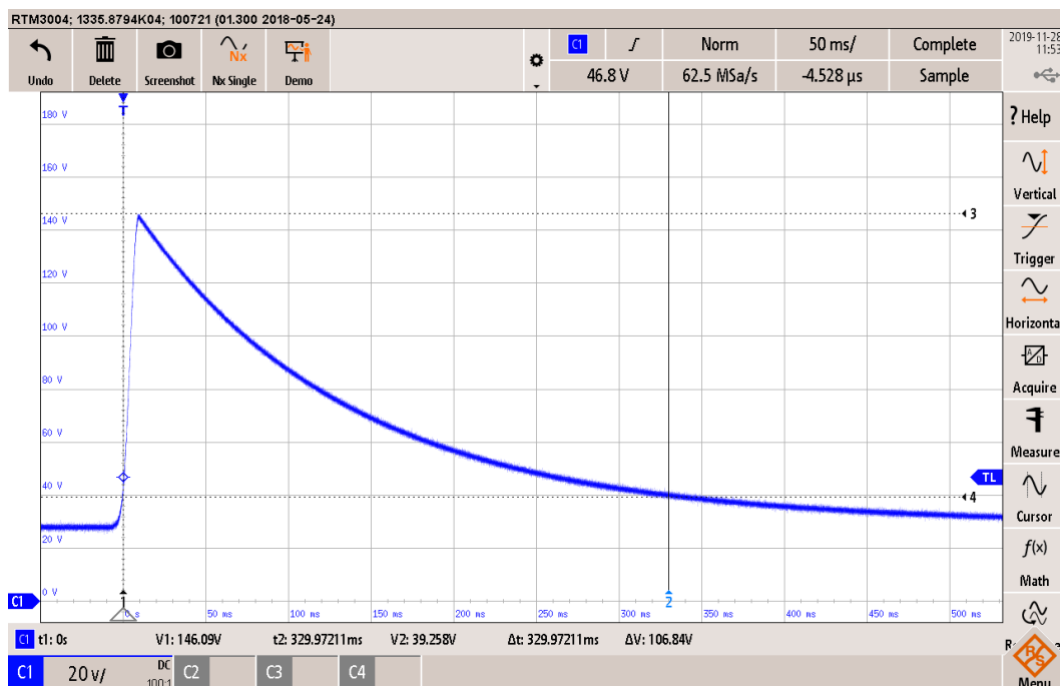


Figura N.10. Captura Pulso 5a. Parámetro: ancho del pulso (td)

CH1 (en azul): Tensión a 50 ms/DIV.

Anexo O. Inmunidad contra ciclos de arranque

O.1. Test setup según la normativa Ford FMC1278: 2018

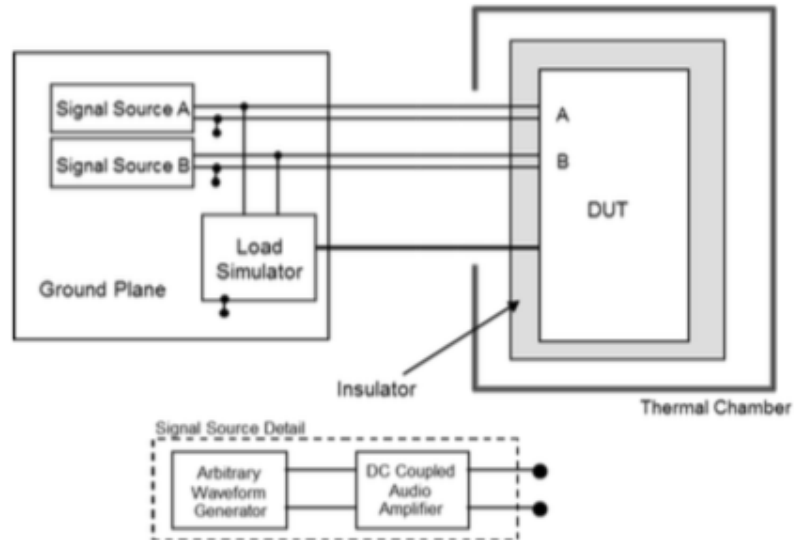
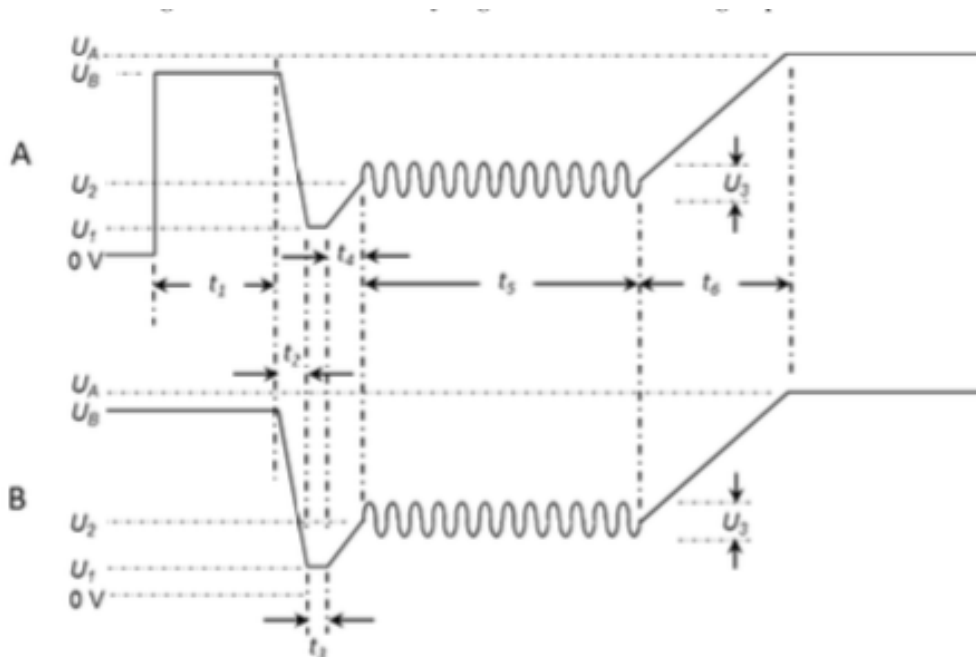


Figura O.1. Esquema del EUT en el plano de masa según la normativa Ford FMC1278.

O.2. Parámetros y forma de onda



Key:

$t_1 = 200 \text{ msec}$	$t_5 = 10 \text{ sec}$	$U_1 = 5 \text{ V}$
$t_2 = 5 \text{ msec}$	$t_6 = 500 \text{ msec}$	$U_2 = 9 \text{ V}$
$t_3 = 15 \text{ msec}$	$U_A = 13.5 \text{ V}$	$U_2 = 2 \text{ V}_{p-p} @ 4 \text{ Hz}$
$t_4 = 50 \text{ msec}$	$U_B = 12.5 \text{ V}$	

Figura O.2. Parámetros y formas de onda según la normativa Ford FMC1278

O.3. Calibración del ensayo según la normativa Ford FMC1278: 2018 a 12 V

Capturas de osciloscopio con los valores definidos en el Anexo 0.2.

En la Figura O.3 se muestran la aplicación de las dos formas de onda aplicadas simultáneamente.

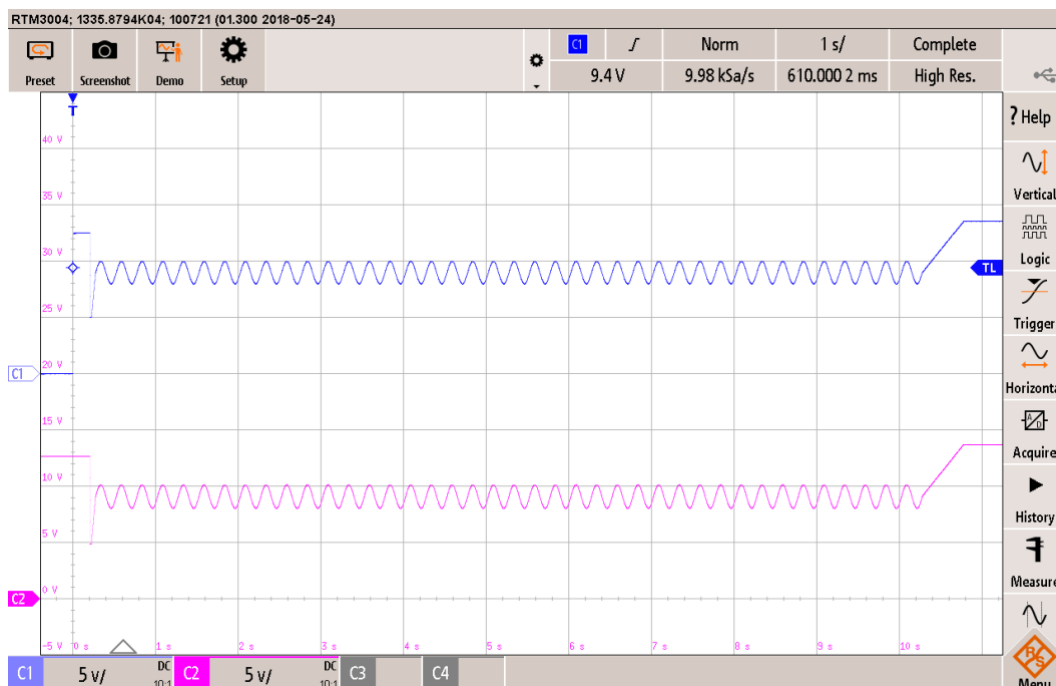


Figura O.3. Captura de las formas de onda A y B.

CH1 (en azul): Forma de onda A y CH2 (en rosa): Forma de onda B a 1s/DIV.

En la Figura O.4 se muestra la calibración de la tensión pico a pico de las variaciones de tensión del ciclo de arranque.

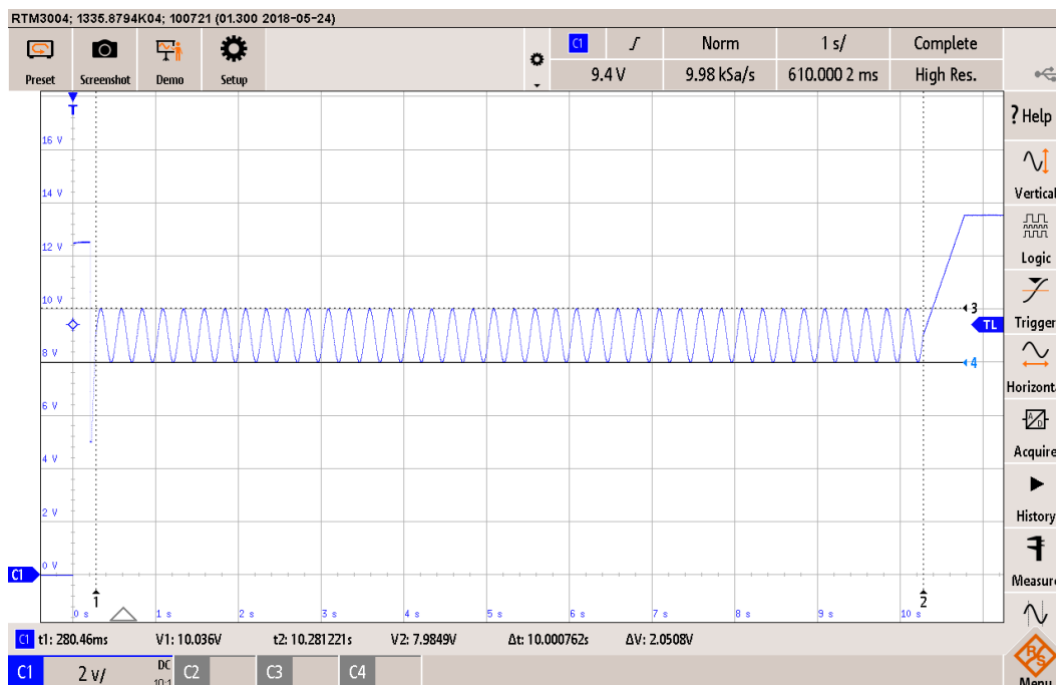


Figura O.4. Captura de la forma de onda A. Parámetro: Tensión pico a pico (U_3)

CH1 (en azul): Tensión a 1 s/DIV.

En la Figura O.5 se muestra la calibración de la tensión de batería (12,5 V) y su tiempo de encendido.

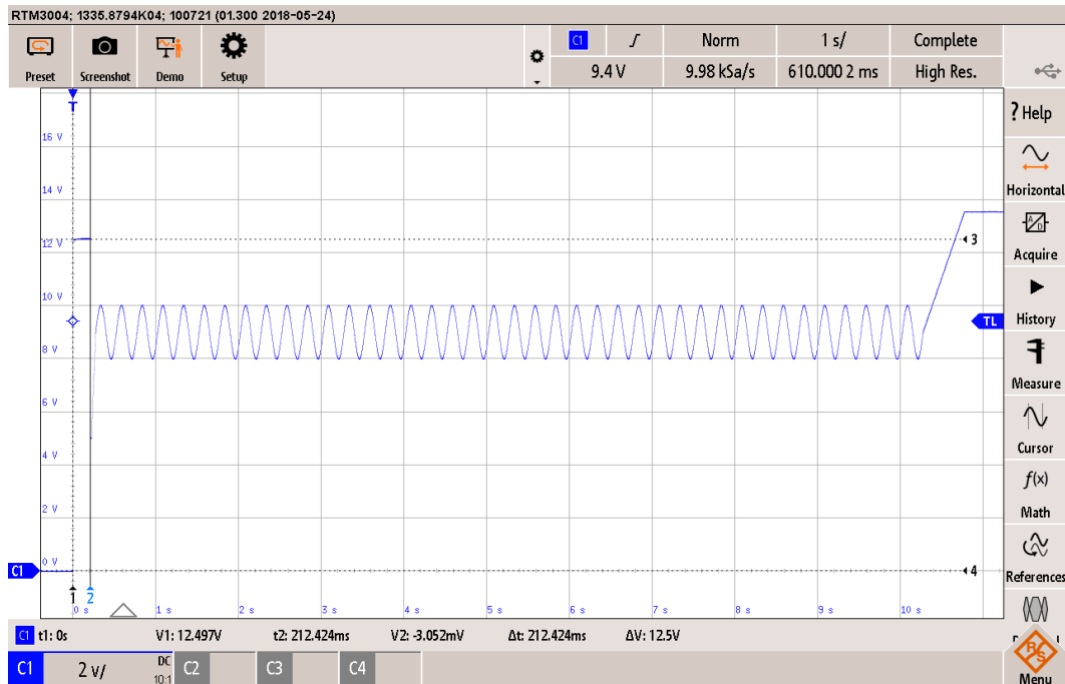


Figura O.5. Captura de la forma de onda A. Parámetro: Tensión de batería (U_B) y tiempo de encendido (t_1).

CH1 (en azul): Tensión a 1 s/DIV.

En la Figura O.6 se muestra la calibración del tiempo de subida (t_6), tensión de alternador (U_A) y tensión mínima (U_1).

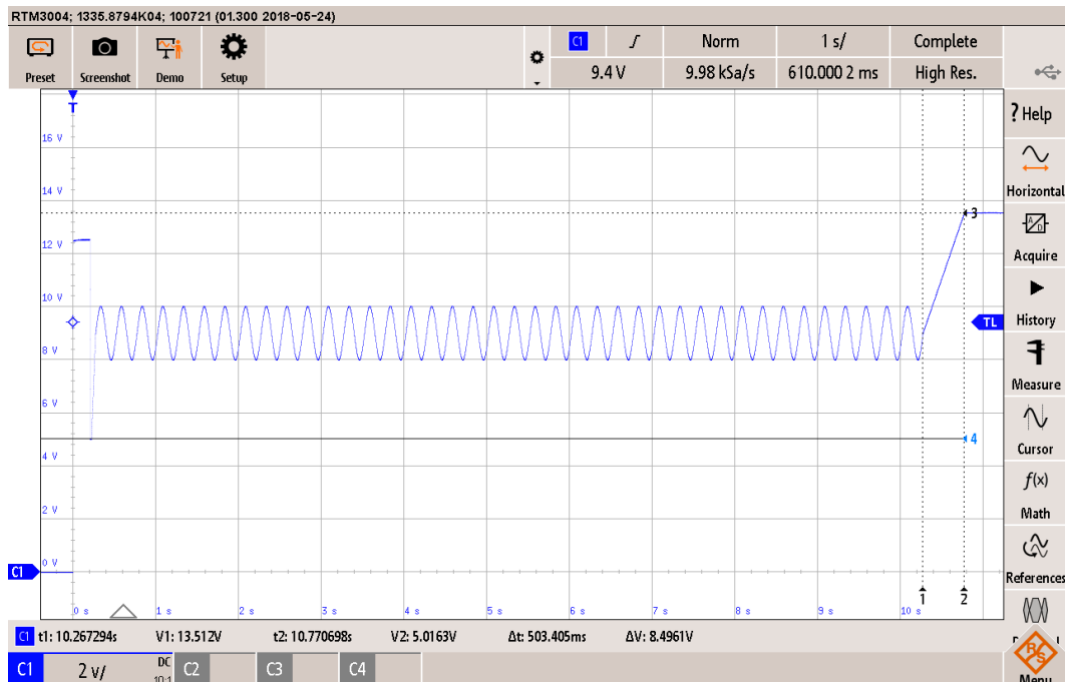


Figura O.6. Captura de la forma de onda A. Parámetro: tiempo de subida (t_6), tensión de alternador (U_A) y tensión mínima (U_1).

CH1 (en azul): Tensión a 1 s/DIV.

En la Figura O.7 se muestra la calibración del tiempo en tensión mínima (t_6), y tensión de ciclado (U_2).

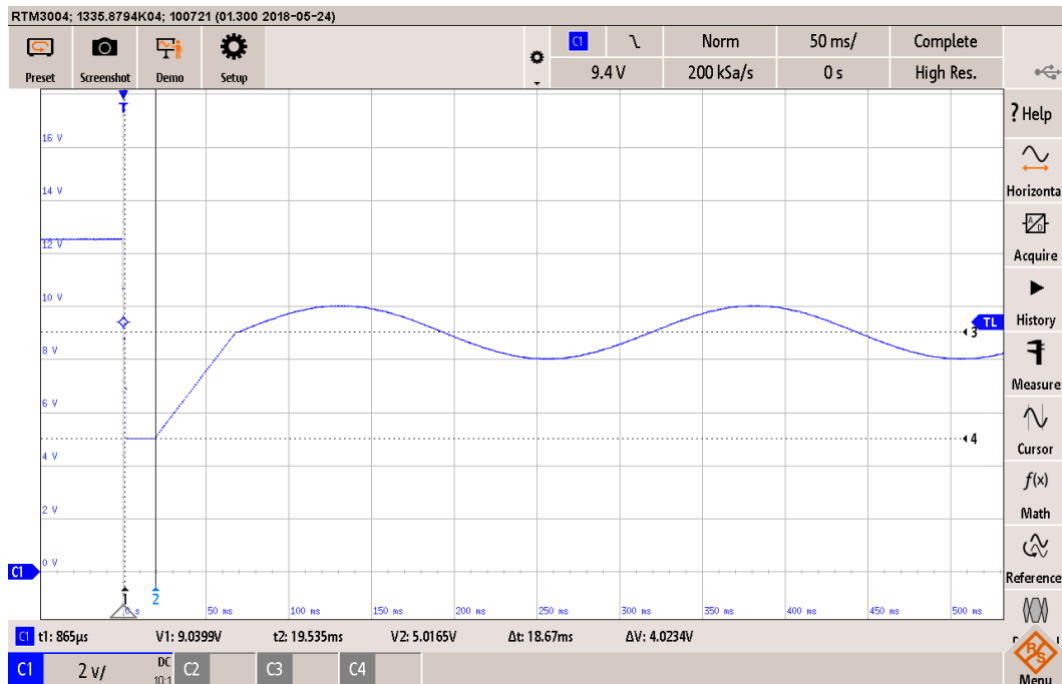


Figura O.7. Captura de la forma de onda A. Parámetro: tiempo en tensión mínima (t_3) y tensión de ciclado (U_2).

CH1 (en azul): Tensión a 50 ms/DIV.

En la Figura O.8 se muestra la calibración del tiempo en tensión de subida de tensión mínima (U_1) a tensión de ciclado (U_2).

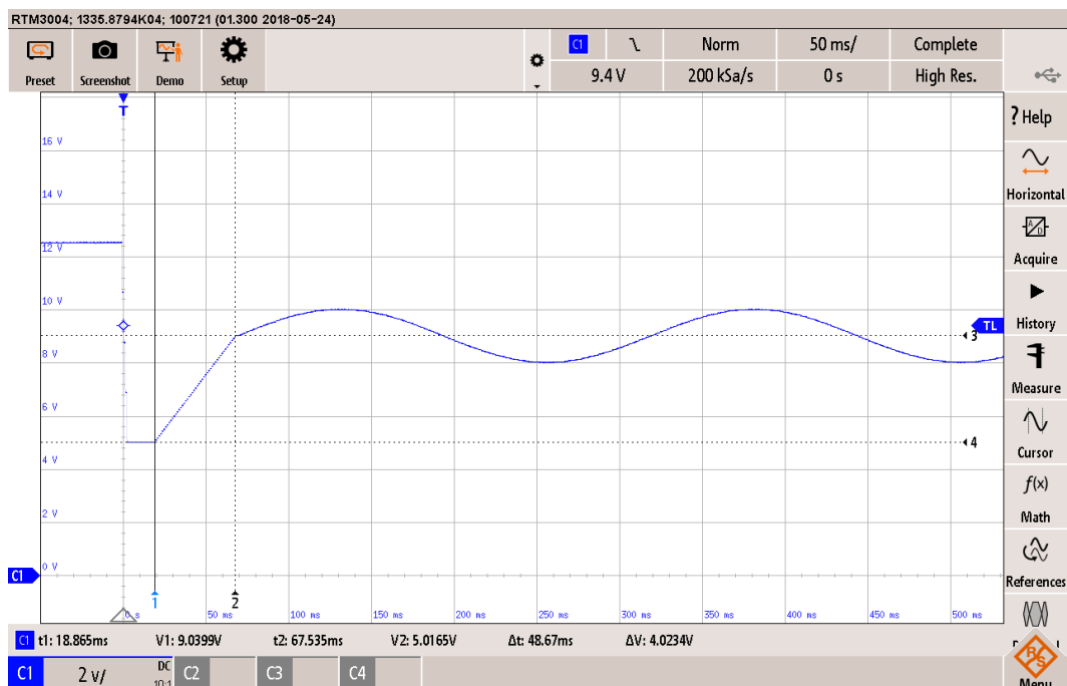


Figura O.8. Captura de la forma de onda A. Parámetro: tiempo en tensión mínima (t_3) y tensión de ciclado (U_2).

CH1 (en azul): Tensión a 50 ms/DIV.

En la Figura O.9 se muestra la calibración de la tensión pico a pico de las variaciones de tensión del ciclo de arranque de la forma de onda B-

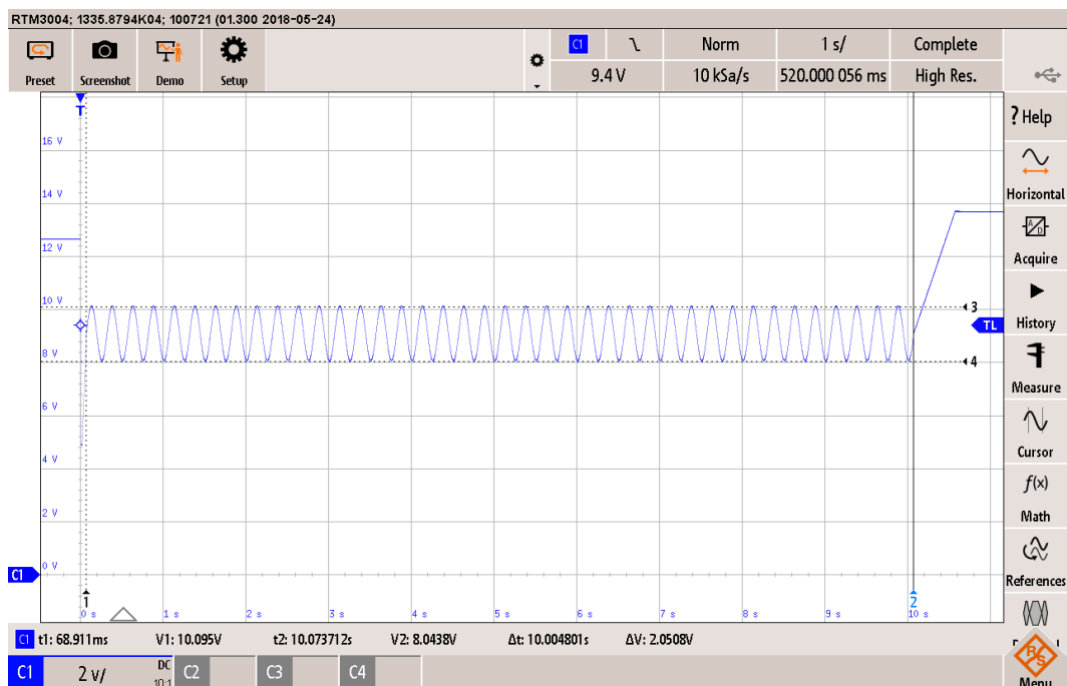


Figura O.9. Captura de la forma de onda B. Parámetro: Tensión pico a pico (U_3)

CH1 (en azul): Tensión a 1 s/DIV.

O.4. Calibración del ensayo según la normativa Ford FMC1278: 2018 a 24 V

En la Figura O.10 se muestra el tiempo donde el alternador está alimentando al equipo bajo ensayo.

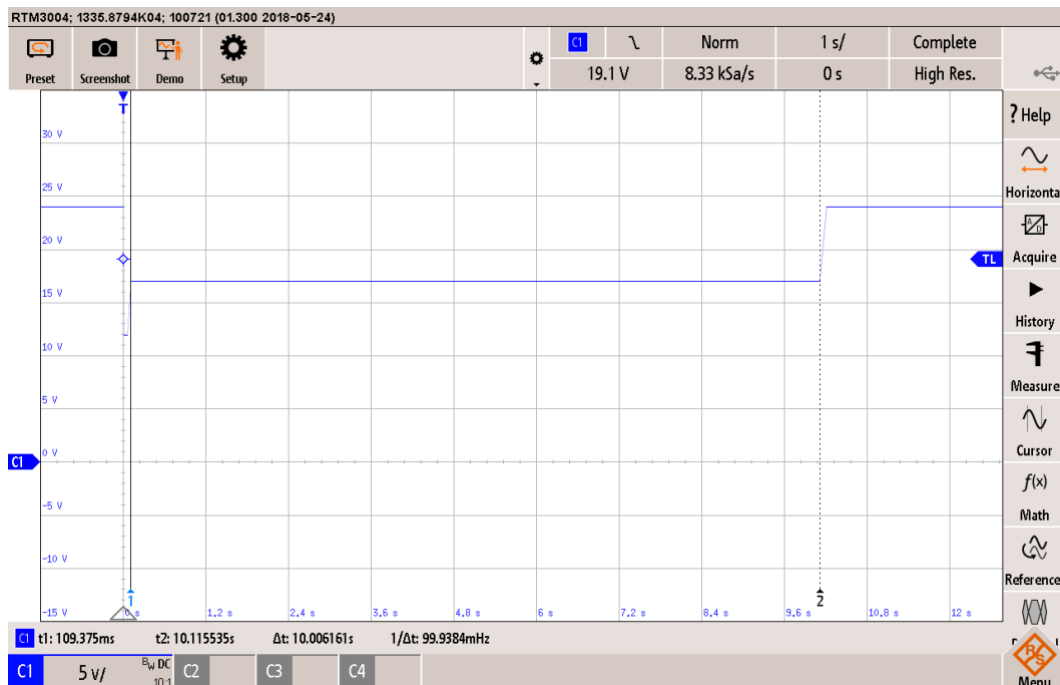


Figura O.10. Captura del ciclo de arranque CI 231. Parámetro: tiempo de tensión de alternador (t_9)

CH1 (en azul): Tensión a 1,2 s/DIV

En la Figura O.11 se muestra el valor de tensión de alternador y de tensión de batería.

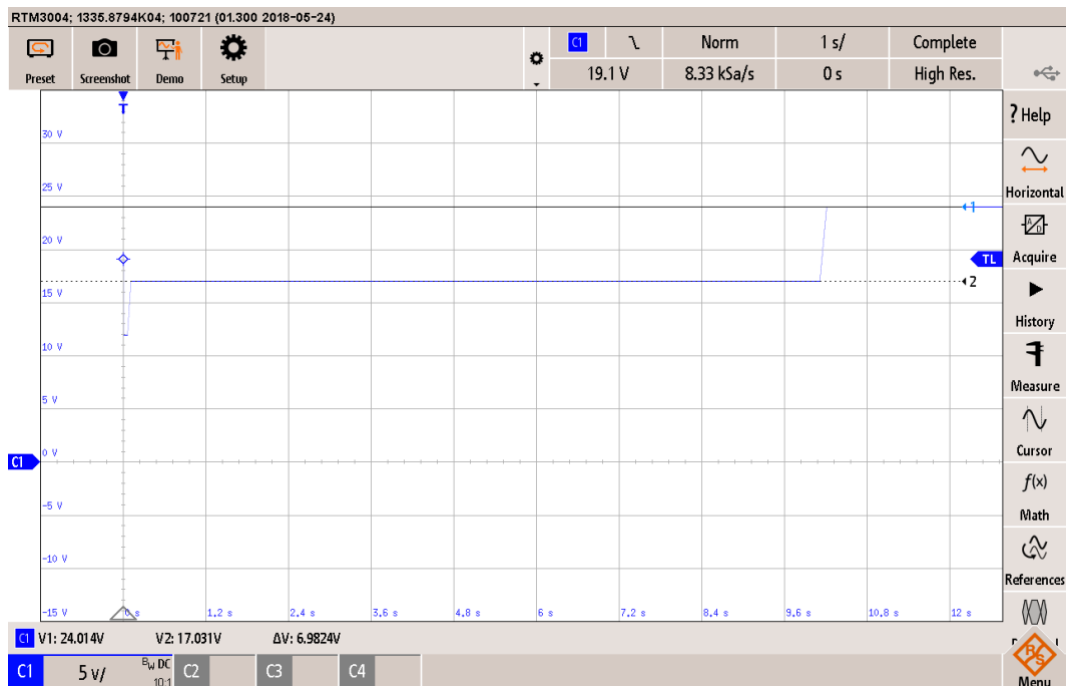


Figura O.11. Captura del ciclo de arranque CI 231. Parámetro: Tensión de alternador (U_A)
 CH1 (en azul): Tensión a 1,2 s/DIV

En la Figura O.12 se muestra el valor de tensión de batería y la tensión mínima.

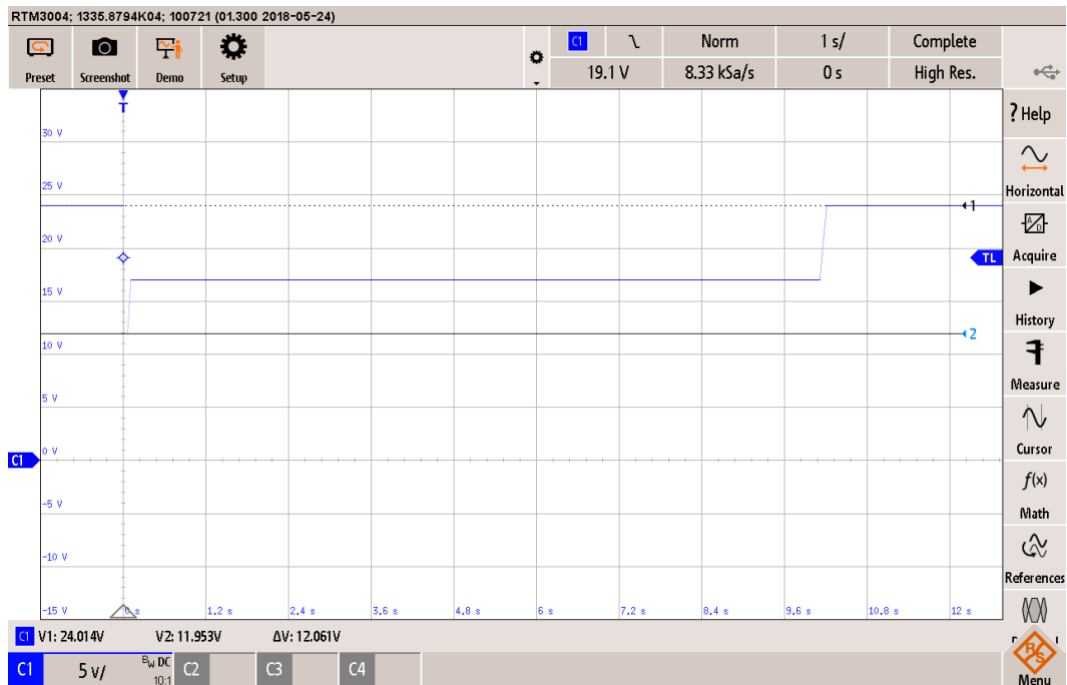


Figura O.12. Captura del ciclo de arranque CI 231. Parámetro: Tensión de batería (U_b) y tensión mínima (U_s)
 CH1 (en azul): Tensión a 1,2 s/DIV

En la Figura O.13 se muestra el tiempo de bajada inicial de tensión de batería a tensión mínima.

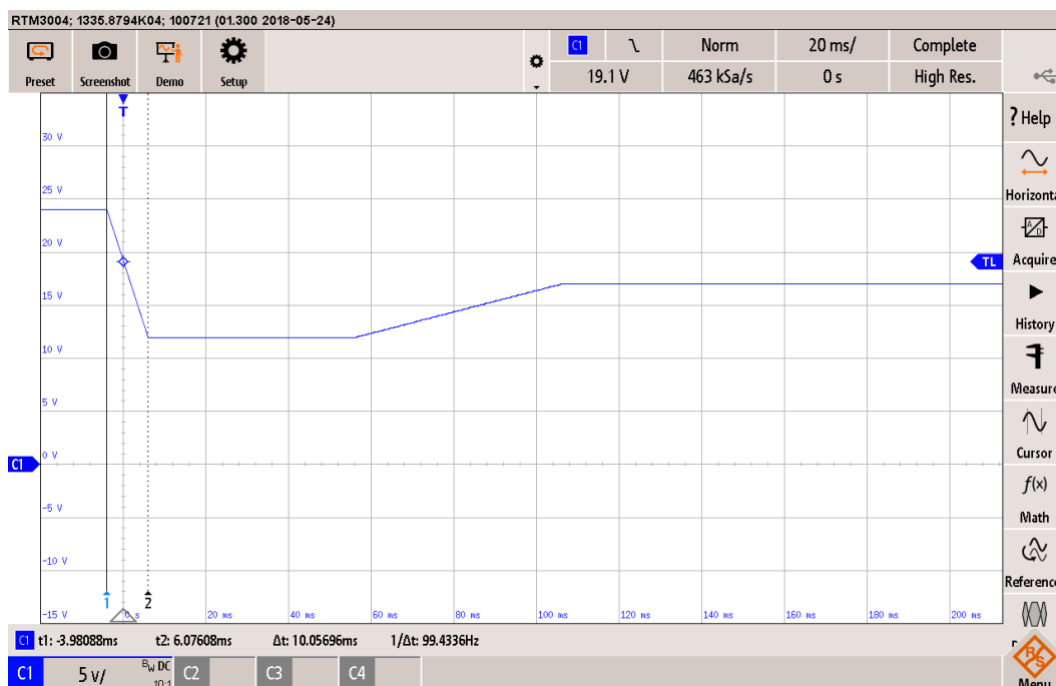


Figura O.13. Captura del ciclo de arranque CI 231. Parámetro: tiempo de bajada (t_{10})

CH1 (en azul): Tensión a 20 ms/DIV

En la Figura O.14 se muestra el tiempo en el que el equipo bajo ensayo estará a tensión mínima.

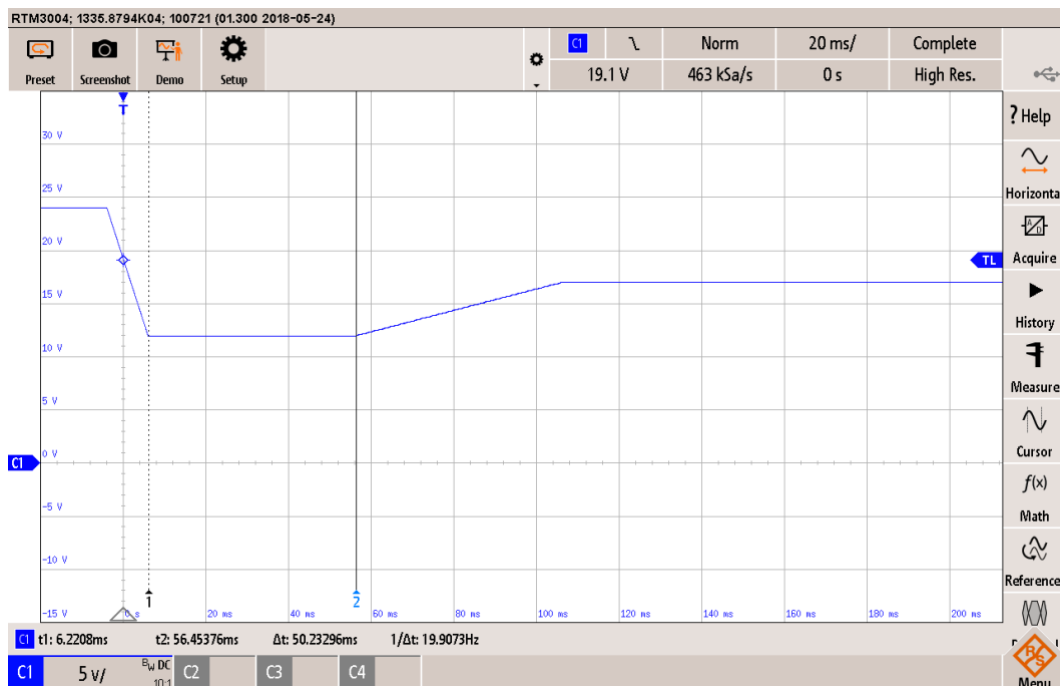


Figura O.14. Captura del ciclo de arranque CI 231. Parámetro: tiempo de tensión mínima (t_t)

CH1 (en azul): Tensión a 20 ms/DIV

En la Figura O.15 se muestra el tiempo de subida de tensión mínima a tensión de alternador.

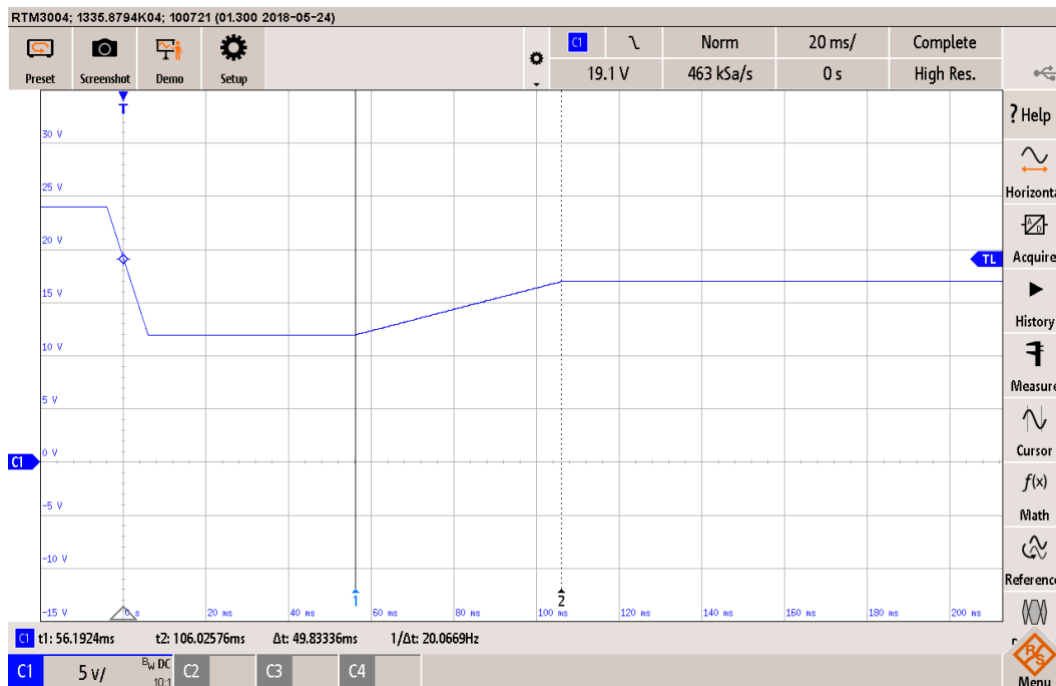


Figura O.15. Captura del ciclo de arranque CI 231. Parámetro: tiempo de subida (t_s)

CH1 (en azul): Tensión a 20 ms/DIV

En la Figura O.16 se muestra el tiempo de subida de la tensión de alternador a la tensión de batería al finalizar la perturbación.

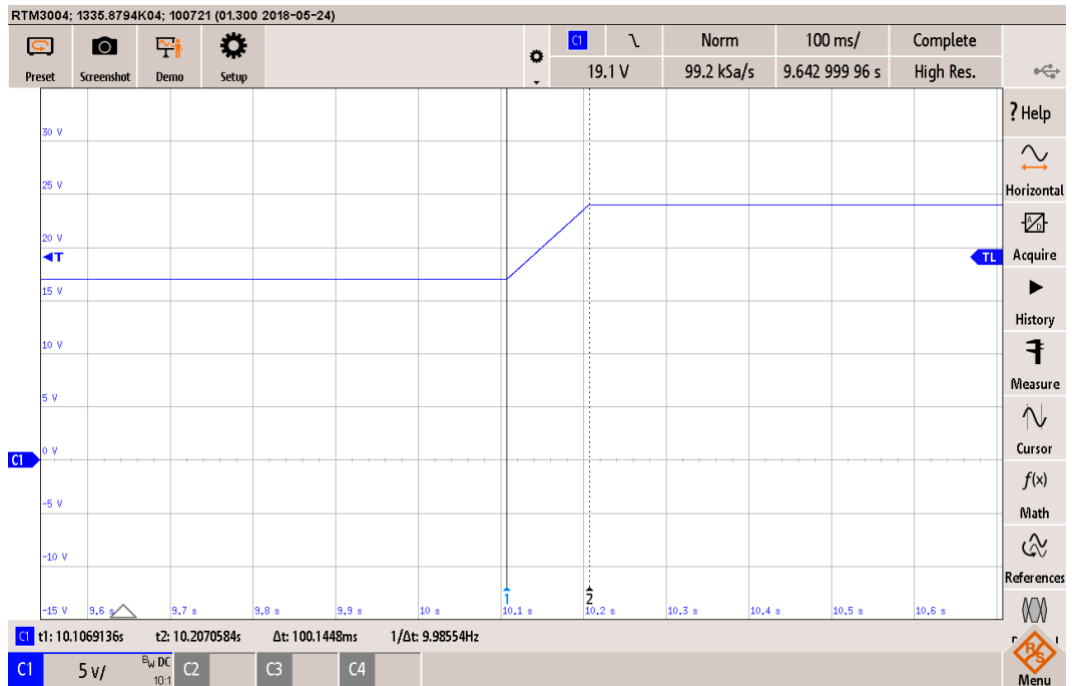


Figura O.16. Captura del ciclo de arranque CI 231. Parámetro: tiempo de subida (t_{11})

CH1 (en azul): Tensión a 100 ms/DIV

Anexo P. Inmunidad contra caídas de voltaje (CI 260)

P.1. Test setup según la normativa Ford FMC1278: 2018

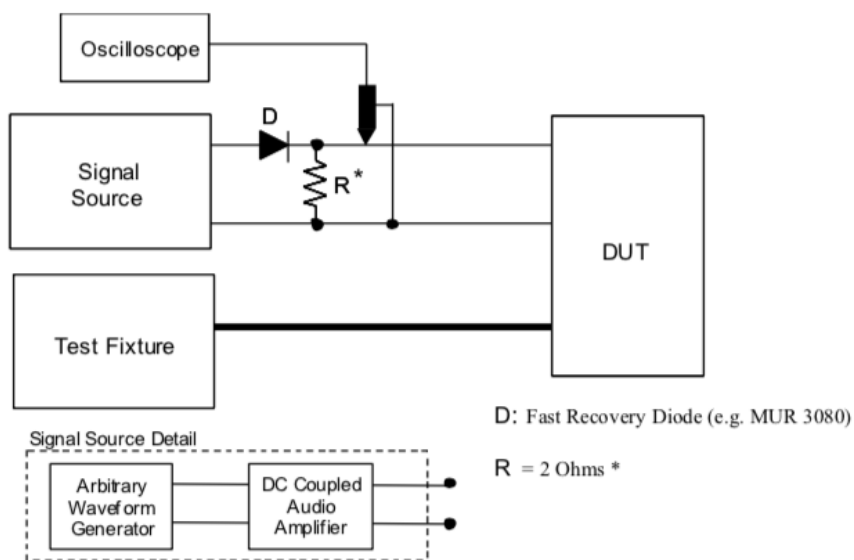


Figura P.1. Test setup para las formas de onda A,B y C.

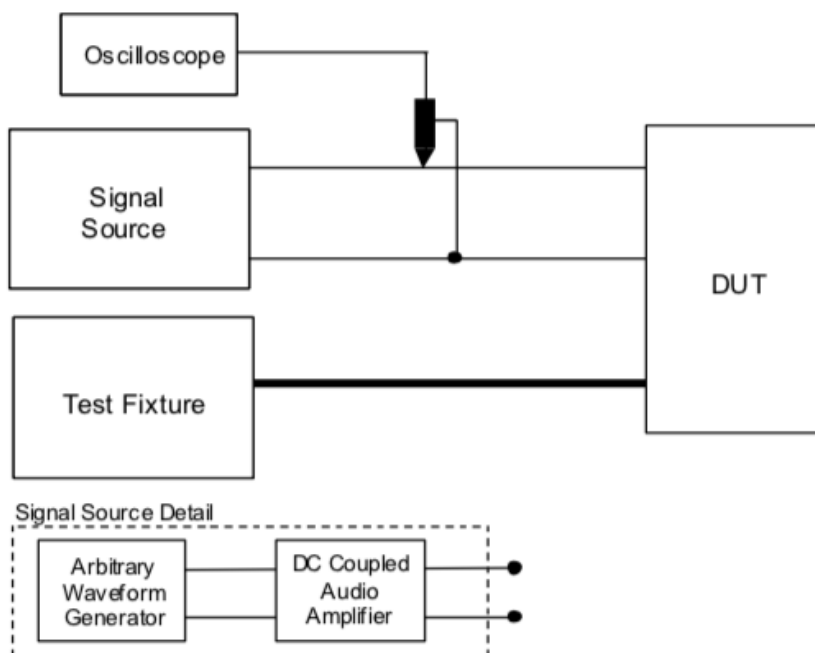
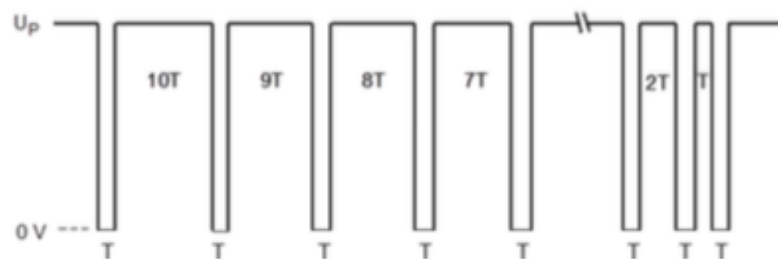


Figura P.2. Test setup para la forma de onda D.

P.2. Parámetros y forma de onda

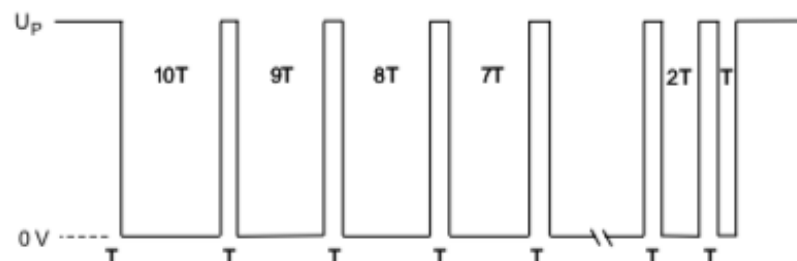


Key:

	Power from Vehicle Battery				Regulated Power from another Module			
U _P	13.5V, 27V ⁽²⁾				Nominal Supply Voltage (e.g. 5 VDC, 3 VDC)			
T ⁽¹⁾	100 us	300 us	500 us	2 ms	100 us	300 us	500 us	2 ms
	5 ms	10 ms	30 ms	50 ms	5 ms	10 ms	30 ms	50 ms

- (1) Waveform transition times are approximately 10 us
 (2) Voltage selected dependent on use of 12 or 24 VDC systems

Figura P.3. Parámetros y formas de onda según la normativa Ford FMC1278 de la forma de onda A



Key:

	Power from Vehicle Battery				Regulated Power from another Module			
U _P	13.5V, 27V ⁽²⁾				Nominal Supply Voltage (e.g. 5 VDC, 3 VDC)			
T ⁽¹⁾	100 us	300 us	500 us	2 ms	100 us	300 us	500 us	2 ms
	5 ms	10 ms	30 ms	50 ms	5 ms	10 ms	30 ms	50 ms

- (1) Waveform transition times are approximately 10 us
 (2) Voltage selected dependent on use of 12 or 24 VDC systems.

Figura P.4. Parámetros y formas de onda según la normativa Ford FMC1278 de la forma de onda B



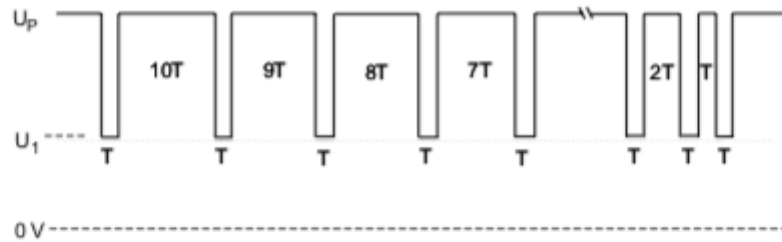
Key:

	Power from Vehicle Battery			Regulated Power from another Module		
U_p	13.5V, 27V ⁽²⁾			Nominal Supply Voltage (e.g. 5 VDC, 3 VDC)		
$T^{(1)}$	100 us	300 us	500 us	100 us	300 us	500 us

(1) Waveform transition times are approximately 10 us

(2) Voltage selected dependent on use of 12 or 24 VDC systems

Figura P.5. Parámetros y formas de onda según la normativa Ford FMC1278 de la forma de onda C



Key:

	Power from Vehicle Battery				Regulated Power from another Module			
U_p	13.5V, 27V ⁽²⁾				Nominal Supply Voltage (e.g. 5 VDC, 3 VDC)			
U_1	5 V				80% of Nominal Supply Voltage			
$T^{(1)}$	100 us	300 us	500 us	2 ms	100 us	300 us	500 us	2 ms
	5 ms	10 ms	30 ms	50 ms	5 ms	10 ms	30 ms	50 ms

(1) Waveform transition times are approximately 10 us

(2) Voltage selected dependent on use of 12 or 24 VDC systems

Figura P.6. Parámetros y formas de onda según la normativa Ford FMC1278 de la forma de onda D

P.3. Calibración del ensayo según la normativa Ford FMC1278: 2018

En este apartado se muestran las capturas de osciloscopio con los valores mínimos de tiempo para cada forma de onda definida en el anexo P.2

En la Figura P.7 se muestra la captura de la forma de onda A y el tiempo mínimo que el equipo bajo ensayo estará encendido.

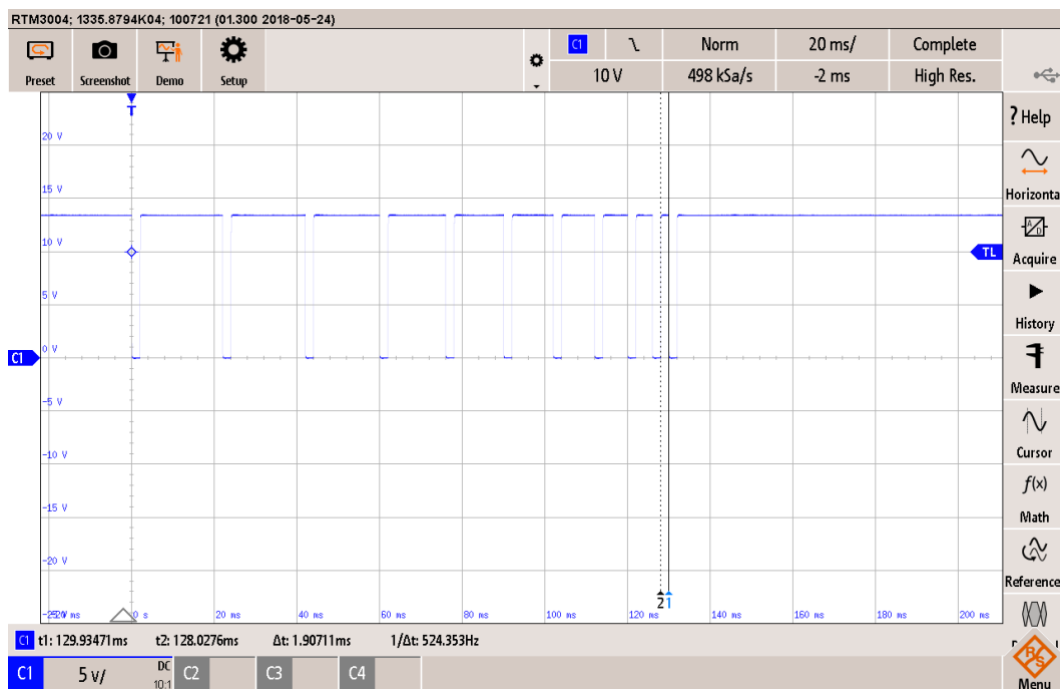


Figura P.7. Captura de la forma de onda A. Parámetro: tiempo mínimo de encendido (T)
CH1 (en azul): Tensión a 20 ms/DIV.

En la Figura P.8 se muestra la captura de la forma de onda B y el tiempo mínimo que el equipo bajo ensayo estará apagado.

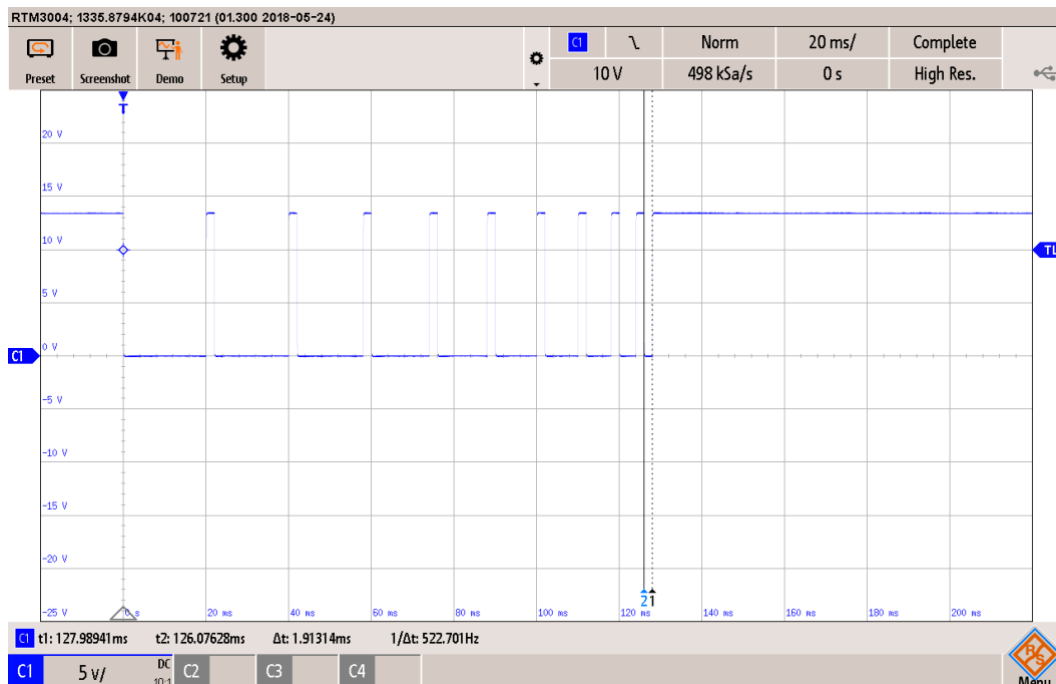


Figura P.8. Captura de la forma de onda B. Parámetro: tiempo mínimo de apagado (T)
CH1 (en azul): Tensión a 20 ms/DIV.

En la Figura P.9 se muestra la captura de la forma de onda C y el tiempo mínimo que el equipo bajo ensayo estará apagado.

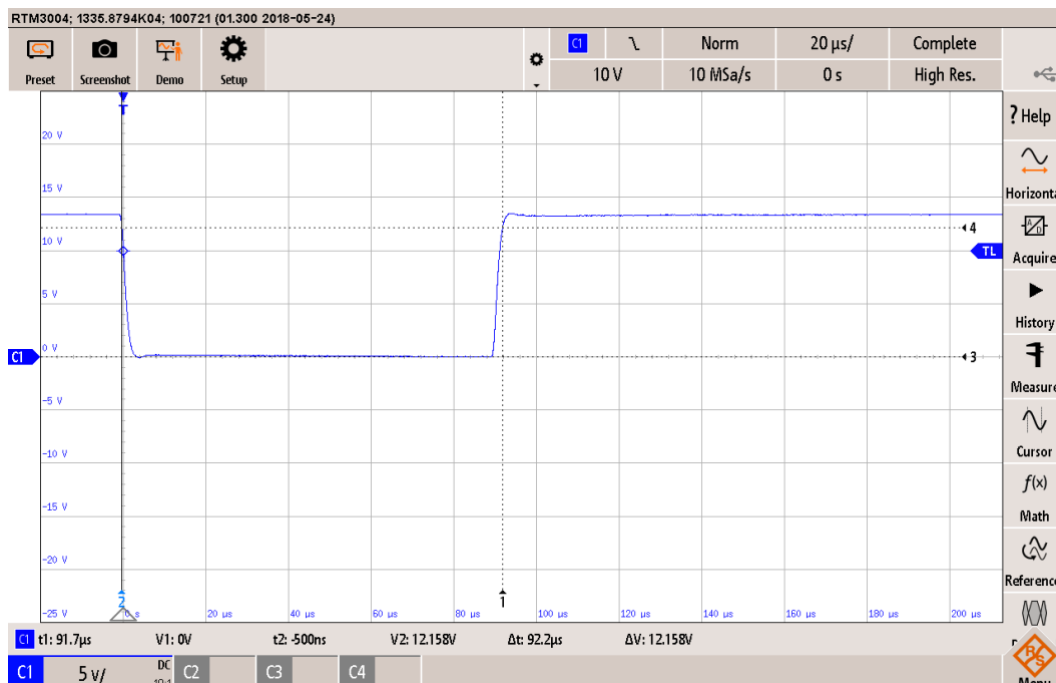


Figura P.9. Captura de la forma de onda C. Parámetro: tiempo de apagado (T)
CH1 (en azul): Tensión a 20 μs/DIV.

En la Figura P.10 se muestra la captura de la forma de onda D y el tiempo mínimo que el equipo bajo ensayo estará encendido. También, muestra el valor mínimo de tensión (5 V) tal y como se indica en el anexo P.2.

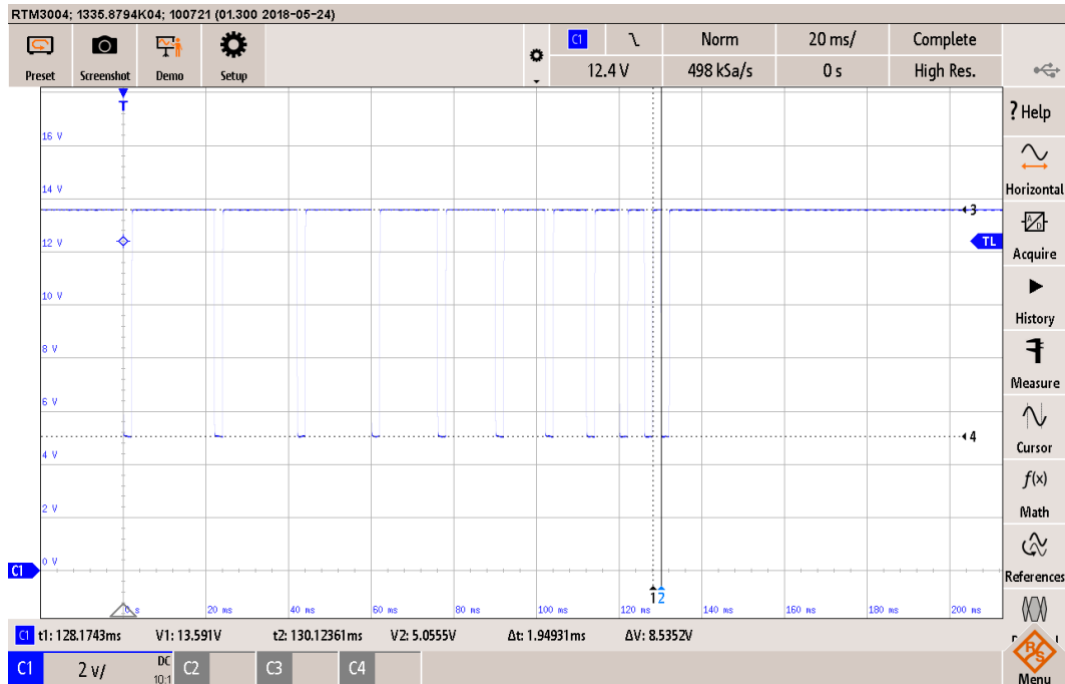


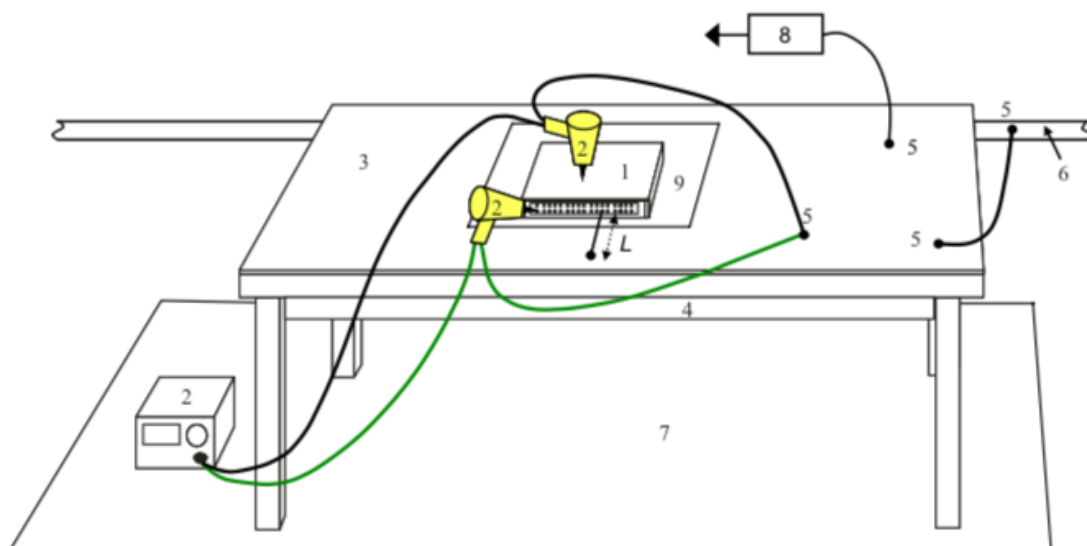
Figura P.10. Captura de la forma de onda D. Parámetro: tiempo de encendido (T)

CH1 (en azul): Tensión a 20 ms/DIV.

Anexo Q. Descargas electrostáticas

Q.1 Test setup según la normativa Ford FMC1278

La Figura Q.1 muestra el setup para la realización del ensayo de descargas electrostáticas con el equipo sin alimentar.



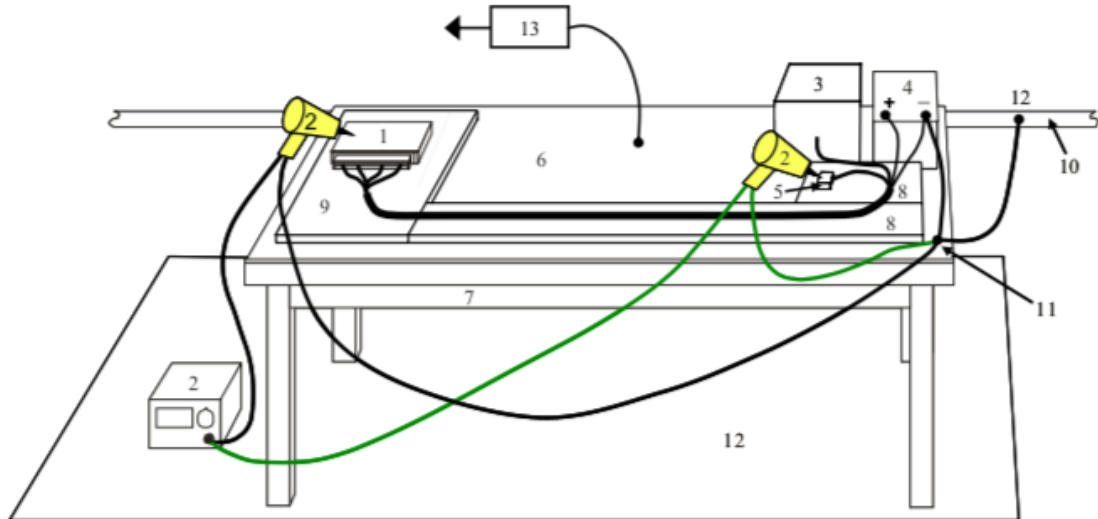
$L \leq 200 \text{ mm}$

Key

- | | |
|--|------------------------------------|
| 1. DUT | 5. Ground Plane Connection |
| 2. ESD Simulator | 6. Test Facility Ground connection |
| 3. Ground Plane | 7. Floor of Test Facility |
| 4. Wooden Table | 8. ~ 1 Meg ohm bleed-off Resistor |
| L: Ground Wire Length $\leq 200 \text{ mm}$.
(Only used during application of ESD to connector pins) | 9. Dielectric Support |

Figura Q.1. Test setup para el ensayo de ESD según la normativa Ford FMC1278. Equipo bajo ensayo sin alimentar.

La Figura Q.2 muestra el setup para la realización del ensayo de descargas electrostáticas con el equipo alimentado.



Key

- | | |
|--|--|
| 1. DUT | 8. Harness Dielectric Support |
| 2. ESD Simulator | 9. DUT Dielectric Support (if needed) |
| 3. Load Simulator | 10. Test Facility Ground |
| 4. Power Supply (see section 5.5.4) | 11. Ground Plane Reference Termination |
| 5. Remote Switch and/or Diagnostic Connector | 12. Ground Plane Connection |
| 6. Ground Plane | 13. ~ 1 Meg ohm bleed-off Resistor |
| 7. Wooden Bench | |

Figura Q.2. Test setup para el ensayo de ESD según la normativa Ford FMC1278. Equipo bajo ensayo alimentado.