

Universidad Carlos III de Madrid

Grado en Ingeniería Eléctrica



**Manual PDS100: Dispositivo portátil de
inspección de descargas parciales mediante la
medida de energía electromagnética en el espectro
de RF.**

AUTOR: Alberto Checa Hernández
TUTOR: Ricardo Albarracín Sánchez

Leganés, Julio de 2013

AGRADECIMIENTOS

Con la realización de este trabajo acaba una época muy importante de mi vida. En ella no sólo me he formado académicamente como ingeniero si no que he madurado como persona y he vivido muchas experiencias que tienen como consecuencia que actualmente sea el tipo de persona que soy.

Gracias Ricardo por el apoyo recibido y por la oportunidad que me brindaste para poder realizar el TFG junto a ti, sin tu ayuda, tiempo y dedicación no hubiese sido posible. Ha sido un trabajo largo y duro pero al final tiene su recompensa. Gracias.

No puedo dejar la pasar la oportunidad de agradecer a mis padres, Lucía y Florencio, todo lo que han hecho por mí. Este agradecimiento no es sólo por el apoyo mostrado durante los cuatro años de carrera, apoyo sin el cual todo esto no hubiera sido posible, si no que quiero agradecerles que desde muy pequeño me hayan inculcado el hábito de estudiar y las ganas de querer aprender cada día cosas nuevas. Ambos han sido los artífices de todo.

A mi hermana María quiero decirle que ha sido el espejo en el que me he fijado durante toda mi vida. Mi hermana mayor, que ha creído siempre en mí y que ha estado cada vez que la he necesitado. En estos momentos me acuerdo de las discusiones y peleas que hemos tenido de pequeños, que lejos queda ya todo eso.

En verdad quiero agradecerles a toda mi familia el apoyo y cariño recibido desde siempre, tanto a aquellos con los que sigo disfrutando, como a esas personas tan importantes para mí que desgraciadamente ya no están conmigo, no os olvido.

Durante estos cuatro años en la universidad he conocido a muchas personas, pero de todas ellas quiero hacer mención especial a aquellos que han estado siempre conmigo y que me han apoyado y ayudado en todo momento, pasando juntos momentos inolvidables, por ello Juan, Patricia, Víctor, Irene, Jorge, Álvaro... Gracias por todo y recordar esto no acaba aquí.

También quiero acordarme de mis amigos de siempre, mis amigos del barrio, esos con los que llevo muchos años juntos y que me han mostrado siempre su apoyo. Gracias por ayudarme en todo Javi, Jorge, Álvaro...

Por último y no por ello menos importante, si no todo lo contrario, quiero agradecerle Marta todo lo que haces día a día, sin ti estos últimos tiempos tan duros hubieran sido difíciles de llevar. Me has dado las fuerzas necesarias para conseguirlo. Gracias de verdad, no sabes lo importante que has sido en esto.

ÍNDICE

I. LISTA DE TABLAS.....	6
II. LISTA DE FIGURAS.....	7
1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Introducción	9
1.2. Objetivos del trabajo.....	10
1.3. Estructura del documento	10
2. DESCARGAS PARCIALES	12
2.1. Tipos de descargas parciales	13
2.1.1. Descargas parciales internas	13
2.1.2. Descargas parciales superficiales.....	15
2.1.3. Descargas parciales efecto corona	16
2.2. Medida de las descargas parciales	16
2.2.1. UNE-EN 60270	17
2.2.2. UNE 62478	19
2.2.2.1 Métodos electromagnéticos.....	19
2.2.2.2 Métodos acústicos	20
2.2.2.3 Métodos químicos	20
2.2.2.4 Métodos ópticos	20
3. ANTENAS.....	21
3.1. Introducción	21
3.2. Parámetros principales de una antena	21
3.2.1. Diagrama o patrón de radiación	21
3.2.2. Densidad de potencia radiada	21
3.2.3. Intensidad de radiación	22
3.2.4. Directividad.....	22
3.2.5. Rendimiento de la antena	22
3.2.6. Ganancia	23
3.2.7. Ancho de banda	23
3.2.8. Impedancia de una antena/Impedancia en recepción	23
3.2.9. Parámetros de la antena en recepción.....	24
3.2.9.1 Cuadripolo.....	26
3.2.9.1.1 Parámetros Scattering o de dispersión	27
3.2.9.1.2 Parámetros característicos.....	29
3.2.10. Longitud efectiva	29
3.2.11. Área efectiva.....	30
3.2.12. Factor de antena (FA)	30
3.3. Tipos de antenas	31
3.3.1. Antena Dipolo $\lambda/2$	32
3.3.1.2 Parámetros de la antena dipolo $\lambda/2$	33
3.3.2. Antena Monopolo $\lambda/4$	35
3.3.2.1 Parámetros antena monopolo $\lambda/4$	35
3.3.3. Antena Log-Periódica.....	36
3.3.3.1 Parámetros antena log-periódica	37
3.3.4. Antena Cónica.....	39

3.3.4.1	Parámetros antena cónica	40
4.	BANDAS DE FRECUENCIA Y COMPARACIÓN RF ENTRE DESCARGAS PARCIALES INTERNAS, SUPERFICIALES Y RUIDO	43
4.1.	Bandas de frecuencia	43
4.1.2.	Ruido electromagnético	44
4.1.2.1	Radio FM	45
4.1.2.2	Televisión analógica (TV)	45
4.1.2.3	DAB (Digital Audio Broadcasting).....	46
4.1.2.4	3G-GSM.....	46
4.1.3.	Comparación RF de descargas parciales-ruido	47
4.1.3.1	DP internas-ruido electromagnético.....	47
4.1.3.2	DP superficiales-ruido electromagnético.....	49
5.	PRESUPUESTO	52
6.	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	54
7.	ANEXO I: MANUAL DEL PDS100	55
	Prólogo	58
	Quién debería leer esta guía.....	58
	Documentos convencionales	58
	Fuentes	58
	Notas y advertencias	58
	Documentos relacionados	58
7.1.	Prácticas de seguridad del PDS100	59
7.1.1.	Principales riesgos de seguridad del PDS100.....	59
7.1.2.	Observe las normas de la localización	59
7.1.3.	Tenga en cuenta todas las zonas restringidas	59
7.1.4.	Mantenga una reunión preliminar	59
7.2.	Introducción al PDS100	60
7.2.1.	Visión general del PDS100	60
7.2.1.1	Características.....	60
7.2.1.2	Análisis e inventario.....	61
7.2.2.	Visión general de la detección de descargas parciales	61
7.2.2.1	Sobre las trazas de descargas parciales	62
7.2.2.2	Modos de uso del PDS100 para analizar rastreos.....	64
7.2.2.2.1	Modo analizador de espectro.....	64
7.2.2.2.2	Modo de tiempo resuelto.....	64
7.2.3.	Visión general del hardware del PDS100.....	64
7.2.3.1	Conectores e interruptores de encendido.....	64
7.2.3.2	Batería.....	65
7.2.3.3	Panel frontal del PDS100	65
7.2.3.4	Memoria	66
7.2.4.	Teclas de menú y teclas de función	66
7.2.5.	Uso del teclado	67
7.3.	Procedimiento de análisis	68
7.3.1.	Producción de medidas fiables.....	68
7.3.2.	Paso 1: Plantear medida	68
7.3.3.	Paso 2: Eliminar las fuentes de RF externas	69
7.3.4.	Paso 3: Establecer el hardware.....	70

7.3.5. Paso 4: Hacer un barrido estándar	70
7.3.5.1 Configuración de opciones de software	70
7.3.5.2 Procedimiento	71
7.3.6. Paso 5: Comenzar a adoptar medidas de RFI	72
7.3.7. Paso 6: Anotar la firma de RFI y localizar descargas parciales.....	73
7.4. Gestión de datos y firmware.....	74
7.4.1. Dos maneras de visualización de señal y datos de RFI	74
7.4.2. Gestión de datos en el PDS100.....	74
7.4.2.1 Como el PDS100 almacena los archivos de rastreo	74
7.4.2.1.1 Como se crean las carpetas	74
7.4.2.1.2 Selección manual de la localización del almacenamiento.....	75
7.4.2.1.3 Como son nombrados y guardados los archivos de rastreo.....	75
7.4.2.2 Copiar archivos de una carpeta del PDS100 a otra.....	75
7.4.2.3 Recordar una traza guardada	76
7.4.2.4 Mostrar varios rastreos.....	76
7.4.3. Conexión del PDS100 a un ordenador.....	76
7.5. Fuente de información.....	78
7.5.1. Opciones de ensayo.....	79
7.5.1.1 Valores mostrados en la pantalla del PDS100	79
7.5.1.2 Modo analizador de espectro	79
7.5.1.2.1 Período de frecuencia	80
7.5.1.2.2 Modos de pico, media y S.P.A.M.	80
7.5.1.3 Modo de tiempo resuelto	81
7.5.1.4 Tiempo eléctrico	83
7.5.1.5 Fijación máxima	83
7.5.1.6 Nivel de referencia.....	83
7.5.1.7 Resolución del ancho de banda	83
7.5.1.8 Información del lugar.....	84
7.5.1.9 Contador de barridos.....	84
7.5.1.10 Modo de barrido.....	84
7.5.1.11 Índice de barrido.....	85
7.5.2. Unidad de instalación (Unit Setup).....	85
7.5.2.1 Calibración	85
7.5.2.2 Reloj y calendario.....	85
7.5.2.3 Instalación de drivers.....	86
7.5.2.4 Preajustes	86
7.5.2.4.1 Crear un preajuste	86
7.5.2.4.2 Cargar un preajuste	87
7.5.2.5 Transferir firmware al PDS100.....	87
A Especificaciones.....	88
B Teclas y botones.....	89
8. ANEXO II: ANTENAS UTILIZADAS POR EL PDS100.....	91
8.1. Antena Diamond RH 789.....	91
8.2. Otros tipos de antena compatibles con el PDS100	91
8.2.1. Antena telescópica W 889.....	92
8.2.2. Antena látigo W 881	92
9. ANEXO III: COMPARATIVA PDS100	93
10. BIBLIOGRAFÍA	96

I. Lista de tablas.

<i>Tabla 3 1. Parámetros característicos</i>	26
<i>Tabla 3 2. Frecuencias de resonancia de las antenas monopolo</i>	27
<i>Tabla 3 3. Parámetros característicos cuadripolo</i>	29
<i>Tabla 3 4. Parámetros antena dipolo $\lambda/2$</i>	34
<i>Tabla 3 5. Parámetros antena monopolo $\lambda/4$</i>	36
<i>Tabla 3 6. Parámetros antena logarítmico-periódica</i>	38
<i>Tabla 3 7. Parámetros antena cónica</i>	42
<i>Tabla 4 1. Bandas de frecuencia</i>	43
<i>Tabla 4 2. Bandas de microondas</i>	44
<i>Tabla 7 1. Componentes enviados con el PDS100</i>	61
<i>Tabla 7 2. Configuración opcional del software</i>	71
<i>Tabla 7 3. Nombre de los elementos enumerados en la Fig. 7.17.</i>	79
<i>Tabla 7 4. Modos de detección</i>	81
<i>Tabla 7 5. Especificaciones del PDS100</i>	88
<i>Tabla 7 6. Botones y teclas alfanuméricas</i>	90
<i>Tabla 9 1. PDS100 – PD Hawk</i>	93

II. Lista de figuras.

Fig. 2.1. Descarga Parcial interna [2]	14
Fig. 2.2. Patrón de descarga parcial interna [2]	14
Fig. 2.3. Arborescencia [4]	14
Fig. 2.4. Descarga parcial superficial [2].....	15
Fig. 2.5. Patrón de descarga parcial superficial [2]	15
Fig. 2.6. Descarga parcial efecto corona [2].....	16
Fig. 2.7. Patrón de descarga parcial efecto corona [2].....	16
Fig. 2.8. Dispositivo de acoplamiento CD en serie con el condensador de acoplamiento(Circuito indirecto de detección) [1].....	17
Fig. 2.9. Dispositivo de acoplamiento CD en serie con el objeto de ensayo (Circuito directo de detección) [1]	17
Fig. 2.10. Esquema de circuito equilibrado (Puente equilibrado) [1].....	17
Fig. 2.11. Esquema de circuito de discriminación de polaridad [1]	17
Fig. 3.1. Teorema de la Reciprocidad (fuente de intensidad) [9].....	24
Fig. 3.2. Teorema de Reciprocidad (fuente de tensión) [9].....	25
Fig. 3.3. Cuadripolo [11]	26
Fig. 3.4. Mediciones del parámetro S_{11} [13]	28
Fig. 3.5. Antena Dipolo [17].....	33
Fig. 3.6. Diagrama de radiación dipolo $\lambda/2$ [18].....	33
Fig. 3.7. Antena Monopolo [17].....	35
Fig. 3.8. Diagrama de radiación de la antena monopolo $\lambda/4$ [21].....	35
Fig. 3.9. Antena Log-Periódica [25]	37
Fig. 3.10. Diagrama de radiación de la antena log-periódica [26]	37
Fig. 3.11. Ganancia de la antena logarítmico-periódica [7]	38
Fig. 3.12. Distribución del modo alimentador TE_{11} en la bocina cónica [27]	39
Fig. 3.13. Antena cónica [29].....	39
Fig. 3.14. Plano E y H de la bocina cónica. Bocina cónica sobre plano tridimensional [30].....	40
Fig. 3.15. Diagrama antena cónica plano E [30]	40
Fig. 3.16. Diagrama antena cónica plano H [30].....	41
Fig. 3.17. Dimensiones antena cónica [7].....	41
Fig. 3.18. Área efectiva antena cónica [31].....	42
Fig. 4.1. Ruido en rango de frecuencia 50-1000 MHz [33]	44
Fig. 4.2. Ruido en rango de frecuencia 50-600 MHz [33]	45
Fig. 4.3. Ruido en rango de frecuencia 50-300 MHz [33]	45
Fig. 4.4. Frecuencias utilizadas por compañías telefónicas en España [38]	47
Fig. 4.5. Objeto ensayo DP internas: Papel aislante de ranura de transformador [33].....	48
Fig. 4.6. DP internas-ruido con rango de frecuencia 50-1000 MHz [33].....	48
Fig. 4.7. DP internas-ruido con rango de frecuencia 50-600 MHz [33].....	49
Fig. 4.8. DP internas-ruido con rango de frecuencia 50-300 MHz [33].....	49
Fig. 4.9. Objeto de ensayo DP superficiales: Lámina 1mm de polietileno [33].....	49
Fig. 4.10. DP superficiales-ruido con rango de frecuencia 50-1000 MHz [33].....	50
Fig. 4.11. DP superficiales-ruido con rango de frecuencia 50-600 MHz [33].....	50
Fig. 4.12. DP superficiales-ruido con rango de frecuencia 50-300 MHz [33].....	51
Fig. 7.1. El PDS100	60
Fig. 7.2. Escáner inicial	62
Fig. 7.3. Escáner con la fijación máxima en modo ON.....	63
Fig. 7.4. Traza de RFI (negra) comparada con el rastreo de referencia (roja).....	63
Fig. 7.5. Conectores del PDS100	64
Fig. 7.6. Panel de acceso a la batería	65

Fig. 7.7. Polaridad del cargador de la batería (12-18 V DC)	65
Fig. 7.8. Panel frontal del PDS100	65
Fig. 7.9. Tecla Scale del menú y etiquetas de teclas de funciones relacionadas.....	66
Fig. 7.10. Teclado del PDS100.....	67
Fig. 7.11. Esquema de una subestación con puntos de medida señalados	69
Fig. 7.12. Indicador de vida de la batería en la zona superior de la ventana	70
Fig. 7.13. Marcador con amplitud de lectura	73
Fig. 7.14. Orden de almacenamiento en el PDS100.....	74
Fig. 7.15. El PDS100 aparece como Mobile Device en Windows Explorer	77
Fig. 7.16. El pendrive aparece en listado de Windowx Explorer como Hard Disk	77
Fig. 7.17. Configuración por defecto del software.....	79
Fig. 7.18. Rastro de RFI mostrado en modo de análisis de espectro	80
Fig. 7.19. Modo de tiempo resuelto: RFI para dos descargas parciales, dos veces por poder de frecuencia	81
Fig. 7.20. Modo de tiempo resuelto: RFI indicación de descarga parcial a 60 Hz, una vez por poder de frecuencia	82
Fig. 7.21. Modo de tiempo resuelto: RFI indicación de descarga parcial a 50 Hz, una vez por poder de frecuencia	82
Fig. 7.22. Muestra del archivo preajustado	86
Fig. 7.23. Botón Explore en la ventana de Microsoft AcitveSync.....	87
Fig. 8.1. Antena Diamond RH 789 conectada al PDS100 [Obtenida del manual del anexo]	91
Fig. 8.2. Antena telescópica [41]	92
Fig. 8.3. Antena W 881 [41].....	92
Fig. 9.2. PDS100 [42]	93
Fig. 9.3. PD Hawk [43]	93
Fig. 9.4. Display PDS100 [Manual Anexo].....	93
Fig. 9.5. Display PD Hawk [43].....	93

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

Las descargas parciales (DP), cuya definición según la norma UNE-EN 60270[1] son descargas eléctricas confinadas en un espacio que provocan un fallo parcial del aislamiento entre conductores, representan un problema de gran importancia en las instalaciones eléctricas y especialmente en el aislamiento de las mismas.

Las descargas parciales en los aislamientos, se pueden clasificar en tres tipos: internas, superficiales y efecto corona.

El siguiente trabajo se basa en explicar los conceptos teóricos del dispositivo PDS100, dispositivo móvil de detección de descargas parciales, mediante la medida de energía electromagnética en el espectro de radio frecuencia (RF). El PDS100, es un dispositivo analizador de espectros que mide la potencia en frecuencia de la señal recibida por una antena conectada al equipo, gracias a la cual es capaz de detectar los tres tipos de descargas parciales, en función a la energía electromagnética emitida por cada una de ellas. Las características principales que llevan a realizar un estudio sobre él y sobre sus fundamentos básicos de funcionamiento, son su gran utilidad en el reconocimiento, localización y medida de descargas parciales, así como su alta tecnología, calidad, resistencia, seguridad y eficacia y sobre todo que es un dispositivo portátil, característica muy valorada a la hora de realizar dichas mediciones.

En el desarrollo del trabajo, se explicará con más profundidad que son las descargas parciales, por qué se producen, cuales son las consecuencias en el aislamiento provocadas por las mismas y los tres tipos de descargas indicados anteriormente.

Como lo que se pretende es dotar de los conceptos básicos necesarios para entender el uso del PDS100, es necesario tratar el tema de las antenas, sensor indispensable utilizado por este equipo de medida para la detección de las DP; para ello se explicarán brevemente los tipos de antenas existentes y sus principales parámetros, que las diferencian unas de otras, explicándose más en profundidad las antenas dipolo $\lambda/2$, monopolo $\lambda/4$, log-periódica y cónica, cuatro de las antenas más importantes y útiles en el ámbito de la medida de las descargas parciales.

La medición de las descargas parciales a través de una antena, se basa en la propagación electromagnética de las mismas, esto implica que para poder seleccionar el tipo de antena a utilizar, en función a las DP que se quieran medir, o el objeto de ensayo, es necesario conocer el rango de frecuencia en el que se produce para las condiciones de medida. Al realizar las mediciones, hay que tener en cuenta que toda la energía electromagnética medida no proviene exclusivamente de las DP, sino que en la medida está presente energía que proviene de ruido electromagnético. Por ello resulta necesario abordar el tema del ruido electromagnético, presentándose las diferentes bandas de frecuencia en las que se puede encontrar. Este ruido no proviene exclusivamente de una única fuente, sino que en la medición de DP, el ruido que las afecta principalmente es el que proviene de las ondas de Radio FM, TV, DAB y 3GGSM. Estos cuatro tipos de ruido, están explicados, además de ser mostrados en una medición de ruido realizada por el PDS100. Para completar esta parte del trabajo se presentan mediciones de DP tanto internas como externas y se comparan con las señales de ruido electromagnético, por las que se puede determinar a qué frecuencia se están produciendo cada tipo de DP. Estas mediciones están realizadas mediante el PDS100 en ensayos de laboratorio por Yorgo Psonis Sánchez, compañero de carrera, que realiza la continuación de este trabajo.

Una de las partes más importantes de éste trabajo, ha sido la traducción al español del manual del PDS100, que se presenta en el capítulo 7 (Anexo I), manual indispensable para entender el funcionamiento práctico de éste dispositivo y que completa y da sentido a este proyecto. El texto transcrito es una traducción literal del manual en inglés que suministra el fabricante del PDS100 al adquirirlo. Es importante la lectura de dicho manual para poder comprender perfectamente todas las posibilidades que ofrece el PDS100 y cómo utilizarlo.

Por último y como complemento al manual, se dota de una pequeña explicación de la antena Diamond RH 789 usada por el PDS100, antena telescópica plegable que permite medir en un rango de frecuencias comprendido entre los 50 y los 1000 MHz y cuya ganancia varía en función a la frecuencia a la que se trabaje. Asimismo se relacionan otras antenas que pueden ser compatibles, como la telescópica W889 y látigo W 881. Además de presentarse una pequeña comparativa del PDS100 con otro medidor de DP para argumentar la elección de este dispositivo en la medición de DP frente a otros.

1.2. Objetivos del trabajo

El principal objetivo de este trabajo, es entender la medición de las DP en radio frecuencia, utilizando un dispositivo que tiene como parte fundamental las antenas, por lo que se explicarán los principales parámetros de éstas y se estudiarán en profundidad los correspondientes a las antenas dipolo $\lambda/2$, monopolo $\lambda/4$, log-periódica y cónica, empleadas en medidas de DP.

Como se ha dicho anteriormente, otro de los objetivos principales y fundamental del trabajo, es presentar traducido al español el manual del PDS100, dispositivo analizador de espectros para la medida en RF de DP, cedido para este trabajo por el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Carlos III de Madrid. Se pretende con ello, que dicho manual se establezca como la herramienta perfecta para la utilización del dispositivo por cualquier persona que vaya a realizar mediciones, siendo capaz de utilizarlo, interpretar datos y análisis y por tanto aprovechar todas las prestaciones que tiene, independientemente de los conocimientos o nivel de inglés que posea.

El presente trabajo tiene su continuación en el Trabajo de Fin de Grado “Aplicación práctica del equipo PDS100 para la medición de descargas parciales” de Yorgo Psonis Sánchez, presentado en el Departamento de ingeniería Eléctrica de la UC3M en la misma fecha que éste.

1.3. Estructura del documento

El documento está estructurado de la siguiente forma:

En el capítulo 1, se hace una introducción acerca de lo que va a tratar el trabajo y sus objetivos principales. La medida de DP mediante radio frecuencia, las diferentes descargas parciales que se pueden encontrar, el uso de antenas para la medida de estas y conceptos implicados en sus medidas (bandas de frecuencia, ruido).

En el capítulo 2 se explica las descargas parciales, dónde se producen, que consecuencias provocan la aparición de las mismas y los tipos de descargas parciales (interna, superficial y efecto corona).

En el capítulo 3 se estudian los principales parámetros de las antenas y en profundidad las características de las antenas dipolo $\lambda/2$, monopolo $\lambda/4$, log-periódica y cónica.

En el capítulo 4 se explican los ruidos electromagnéticos que se pueden encontrar en las mediciones de DP, las bandas de frecuencias en las que aparecen, así como la explicación de dos ensayos de medida de DP, uno de internas y otro de superficiales.

En el capítulo 5 se presenta el presupuesto.

En el capítulo 6 se muestran las conclusiones y los trabajos futuros.

Por último, se finaliza el documento con el capítulo 7 (Anexo I) en el que está redactado el manual del PDS100, el capítulo 8 (Anexo II) donde se presentan las posibles antenas compatibles con el PDS100 y el capítulo 9 (Anexo III), argumentación para la elección del PDS100 como medidor de DP.

2. DESCARGAS PARCIALES

Según la norma UNE-EN 60270 una descarga parcial es “una descarga eléctrica confinada en un espacio provocando un fallo parcial del aislamiento existente entre conductores, los cuales se encuentran a diferente potencial” [1]. Se puede denominar también a las descargas parciales como fenómenos que se producen en zonas de campo eléctrico con gran divergencia, es decir en aquellos puntos donde las líneas de campo eléctricos que nacen son mayores a las que llegan a ese mismo punto y en secciones no homogéneas del dieléctrico, que son partes del aislante que no tienen la misma composición.

Las descargas parciales son la causa de la degradación progresiva que se produce en los materiales dieléctricos que se usan en los sistemas de aislamiento, pudiendo llegar hasta el fallo. Por lo tanto se llega a la conclusión de que una o pocas descargas parciales en un mismo punto del aislamiento no producen la ruptura instantánea del mismo, sin embargo una actividad continuada de DP puede provocar un fallo del equipo. Todo esto se debe a la degradación química y física del material causada por los bombardeos de electrones-iones que ocurren en las zonas del aislamiento donde se produce la descarga.

Además de la degradación progresiva del aislamiento, la cual es el principal efecto que producen las descargas parciales y por lo tanto se puede usar como un método de medida de la situación del aislamiento, éstas generan otra serie de efectos que también son de importancia y que hay que tener en cuenta. Estos efectos son los siguientes:

- Radiación UV, radiación electromagnética cuya longitud onda está comprendida entre los 400 y los 15 nanómetros. Se producen en frecuencias de $7,5 \cdot 10^{14}$ y $6 \cdot 10^{16}$ Hz.
- Rayos X, radiaciones electromagnéticas con longitud de onda comprendida entre los 10 y los 0,01 nanómetros. La banda de frecuencia en la que se producen es la establecida entre los $6 \cdot 10^{16}$ y los $1 \cdot 10^{20}$ Hz.
- Formación de ozono (O₃), molécula formada por tres átomos de oxígeno, se trata de un gas incoloro que presenta un peligro para la salud de las personas si se respira en grandes cantidades, pudiendo provocar la irritación de ojos y garganta.
- Disipación de energía en forma de calor, se debe a que durante la formación de las DP se produce una gran cantidad de energía en el punto de origen que se libera al exterior como calor.
- Ruido en frecuencias audibles y ultrasónicas, ondas electromagnéticas que pueden afectar a comunicaciones.
- Vibraciones, debido a las ondas de presión que se desplazan en el interior del aislamiento.

La causa principal que provoca la aparición de descargas parciales son los defectos existentes en los aislamientos. Existen varios tipos de defectos que pueden llevar a la aparición de estas descargas, entre otros, pueden ser:

- Burbujas en el interior del aislamiento debido a cortocircuitos o sobrecalentamientos.
- Huecos producidos en el aislamiento a causa de los incrementos de temperatura en ellos.
- Grietas presentes en la estructura del aislamiento.
- Fallos de diseño del sistema de aislamiento e impurezas.
- Presencia de elementos extraños, como el polvo.
- Degradación de la homogeneidad del aislamiento como consecuencia del envejecimiento del mismo.

Para que se produzca la aparición de descargas parciales en los equipos, no sólo depende de los defectos nombrados anteriormente, sino también de una serie de factores como:

- Geometría de los defectos.
- Naturaleza.
- Tensión aplicada.
- Permitividad del dieléctrico sólido.
- Factores ambientales como son la presión, la temperatura y la humedad.
- Existencia de electrones libres.
- Ruptura de enlaces causados por descargas previas.

Estos factores hacen que las descargas parciales sean un fenómeno estocástico el cual varía con el tiempo. Son característicamente pulsantes con un tiempo de duración del orden de nanosegundos y un bajo contenido energético, manifestándose en forma de pulsos de corriente. Las descargas parciales provocan desplazamientos de corriente de corta duración en el aislante [2].

2.1. Tipos de descargas parciales

A la hora de clasificar las descargas parciales se dividen en tres grupos [2]-[4]:

- Internas, producidas dentro de máquinas a causa de defectos en materiales como resina o papel.
- Superficiales, en devanados de generadores o terminales de cables.
- Efecto corona, en los tornillos de los cables o en los bordes afilados de máquinas.

2.1.1. Descargas parciales internas

Las descargas parciales internas se producen en vacuolas de gas que se encuentran en el interior de un material aislante, el cual puede ser sólido o líquido, además también pueden producirse en incrustaciones de partículas extrañas, protuberancias metálicas y en grietas internas del material. Se trata de un tipo de descarga parcial cuyo valor no está definido completamente, pero que por norma general son de pequeña magnitud.

La aparición de las descargas parciales internas se debe al fuerte campo eléctrico al que es sometido una pequeña cavidad o defecto, debido a la diferencia de permitividades entre el aislante y el defecto. Debido a esto es posible encontrarse con que pueden aparecer descargas parciales a tensión nominal. Esto se puede entender mejor al comprender que las descargas parciales internas ven afectado su número de DP debido a la aparición de carga especial en la masa del material, de tal manera que la aparición de DP internas no dependerá de los valores máximos de tensión que sean aplicados sobre el material, si no del momento en que du/dt es máximo. Esto está representado en la figura 2.2 donde se puede apreciar el patrón típico de DP interna.

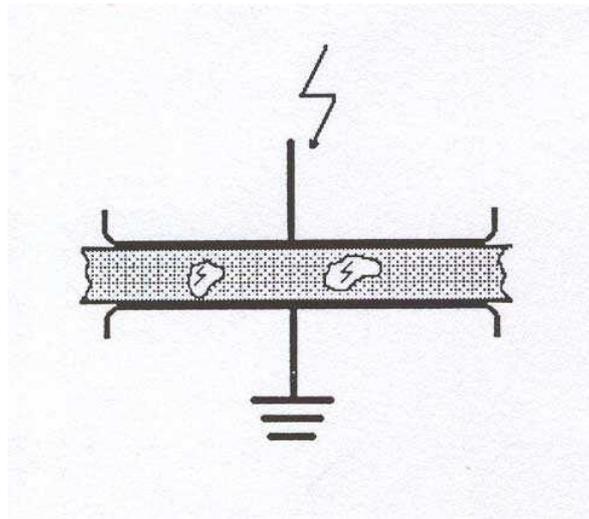


Fig. 2.1. Descarga Parcial interna [2]

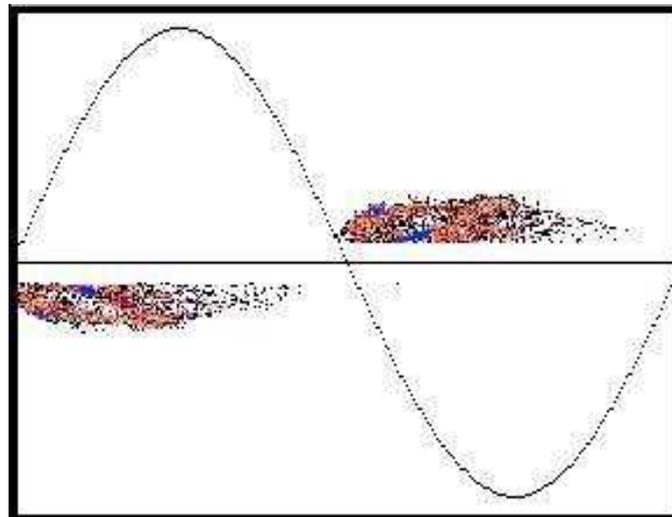


Fig. 2.2. Patrón de descarga parcial interna [2]

Cabe destacar dentro de las DP internas, un tipo de descarga de gran importancia que es la arborescencia, producida por una constante actividad de descargas parciales y que tiene como consecuencia una estructura ramificada de canales de aire, esta se puede prolongar durante un gran periodo de tiempo, teniendo como consecuencia la perforación del dieléctrico.

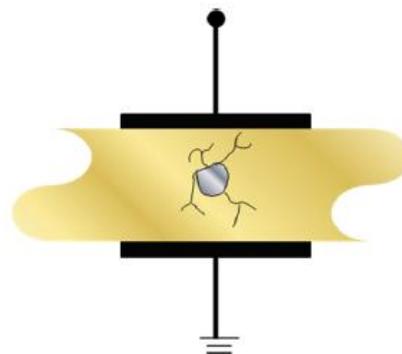


Fig. 2.3. Arborescencia [4]

Es importante resaltar que las DP internas son las más problemáticas para los dispositivos, máquinas y conductores eléctricos, ya que se trata de un fenómeno producido en los puntos más débiles del material y en lugares muy pequeños, dificultando en mayor medida su localización [4].

2.1.2. Descargas parciales superficiales

Las descargas parciales superficiales pueden producirse entre materiales dieléctricos o entre el conductor y el aislamiento a causa de factores medioambientales (humedad) o contaminantes. Esto se produce a causa de componentes tangenciales de campo eléctrico de gran intensidad, dándose cuando los valores de tensión aplicados son máximos, como se puede comprobar en el patrón de DP superficial (Figura 2.5).

Las DP superficiales tienen la característica de que recorren la superficie del material aislante buscando llegar hasta el electrodo de menor potencial.

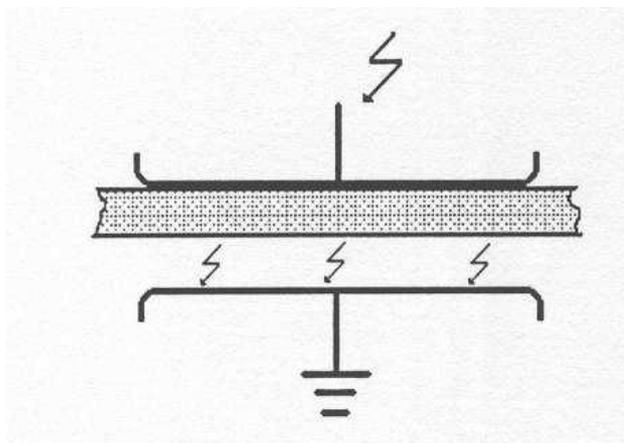


Fig. 2.4. Descarga parcial superficial [2]

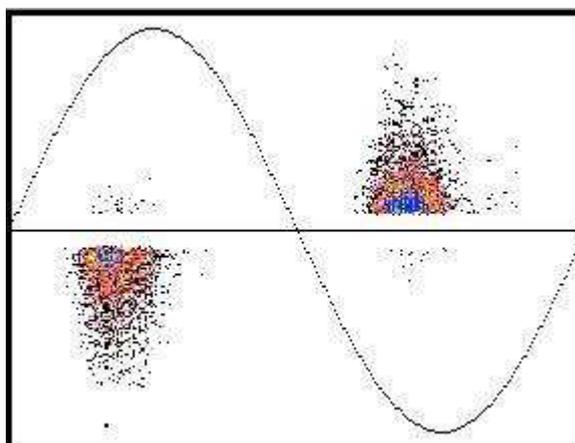


Fig. 2.5. Patrón de descarga parcial superficial [2]

2.1.3. Descargas parciales efecto corona

Las descargas parciales efecto corona se encuentran en geometrías punta-gas-plano, de manera que la alta divergencia de campo eléctrico resultante, provoca una ruptura dieléctrica del aislamiento que proporciona el gas. Las descargas parciales efecto corona se producen cuando la rigidez dieléctrica del campo eléctrico en la superficie del aislante es mayor que la rigidez dieléctrica del aire.

Es común que este tipo de descarga parcial se produzca cuando el pulso de la tensión sea negativo y tengan una magnitud constante, además cabe destacar que por norma general provoca la aparición de ruido e incluso pueden generar luz visible.

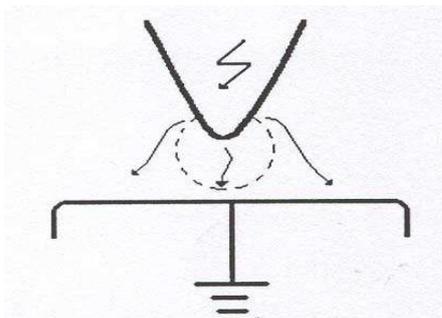


Fig. 2.6. Descarga parcial efecto corona [2]

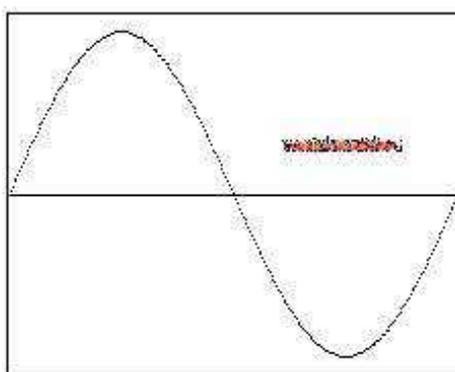


Fig. 2.7. Patrón de descarga parcial efecto corona [2]

2.2. Medida de las descargas parciales

Actualmente para la medición de las descargas parciales, se usan los métodos establecidos en la norma UNE-EN 60270, es una norma española traducida a partir de la norma internacional IEC 60270, que trata las formas de medida de las descargas parciales producidas en equipos, componentes o sistemas eléctricos, cuando se ensayan con tensiones alternas de hasta 400 Hz o tensión continua.

Pero esta norma no hace referencia a la medición de las descargas parciales mediante el uso de la radiofrecuencia, medidas sí tratadas en la IEC 62478, norma internacional que trata la medida de las descargas parciales mediante métodos acústicos y electromagnéticos, pero que aún no está publicada.

Lo que se pretende a continuación, es proporcionar información referente a las dos normas y ver las diferencias que existen entre ellas, además de documentar acerca de la norma que nos influye en el uso del PDS100.

2.2.1. UNE-EN 60270

Para la medida de las descargas parciales a partir de esta norma, se pueden utilizar los siguientes circuitos o cualquier derivación de los mismos [1], [3].

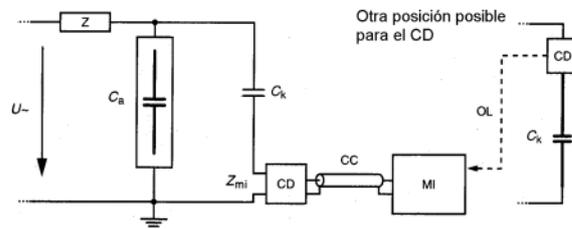


Fig. 2.8. Dispositivo de acoplamiento CD en serie con el condensador de acoplamiento (Circuito indirecto de detección) [1]

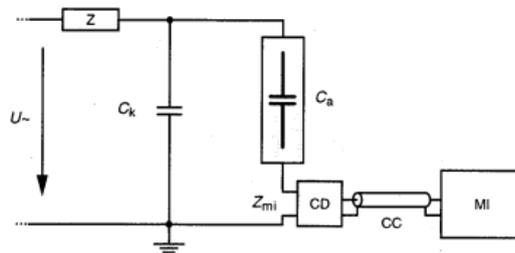


Fig. 2.9. Dispositivo de acoplamiento CD en serie con el objeto de ensayo (Circuito directo de detección) [1]

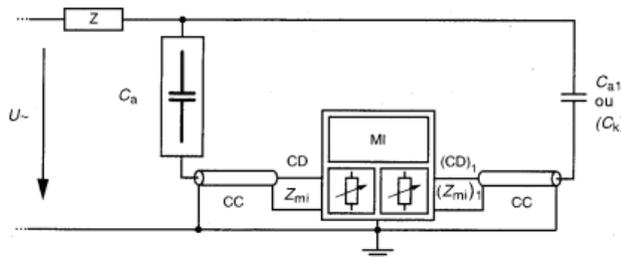


Fig. 2.10. Esquema de un circuito equilibrado (Puente equilibrado) [1]

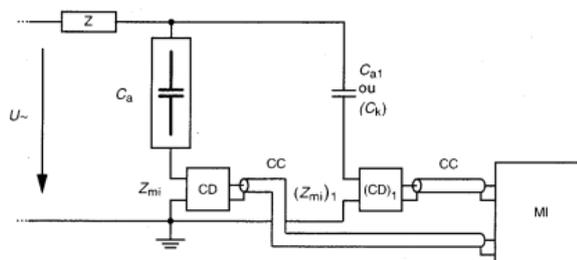


Fig. 2.11. Esquema de un circuito de discriminación de polaridad [1]

Como se puede observar en las anteriores imágenes, cada uno de estos circuitos consta principalmente de un objeto de ensayo que puede ser considerado como una capacidad, un condensador de acoplamiento C_k o un segundo objeto de ensayo C_{a1} . Ambos deben tener un nivel

suficientemente bajo de descargas parciales para poder medir el valor de las mismas especificado. Además deben tener un sistema de medida con su impedancia de entrada, una fuente de tensión y conexiones de alta tensión, ambas con nivel de ruido de fondo bajo para poder medir las descargas parciales, una impedancia o filtro para disminuir el nivel de ruido generado en la fuente de alta tensión y por último, un instrumento de medida de DP.

Los sistemas de descargas parciales especificados en la norma UNE 60270 se dividen en instrumentos de medida y dispositivos de acoplamiento.

- Instrumentos de medida. Para poder medir las descargas parciales hay una serie de instrumentos que se pueden usar en función a las necesidades existentes a la hora de medirlas. De tal manera hay instrumentos:
 - De medida de descargas parciales de banda ancha.
 - De medida de descargas parciales de banda ancha con integrador activo.
 - De medida de descargas parciales de banda estrecha.
- Dispositivo de acoplamiento: Por norma general se trata de una red activa o pasiva de cuatro terminales (cuadripolo) que convierte las señales de entrada en señales de tensión de salida. Para poder medirlas se necesita que sean transmitidas mediante un sistema de transmisión al instrumento de medida. Estos instrumentos de dispositivo de acoplamiento son:
 - Para la medida de la tasa de repetición de pulsos n .
 - Para la medida de la corriente media de descarga I .
 - Para la potencia de descarga P .
 - Para la medida de flujo cuadrático D .
 - Para la medida de la tensión de las perturbaciones radioeléctricas.

Para realizar la medición de DP se conecta el objeto de ensayo con la fuente de alimentación proporcionando en el momento inicial una tensión de valor inferior a la tensión de aparición de las DP, de tal manera que poco a poco se va elevando de manera progresiva el valor de la tensión hasta que se alcance el valor de tensión de aparición, en dicho momento la corriente que es producida por la descarga se dirige a la rama capacitiva que ofrece un camino de baja resistencia a las señales de alta frecuencia. Una vez alcanzado ese valor tensión, este se sigue aumentando hasta uno de ensayo especificado, y después se reduce de forma progresiva hasta el valor en el que las DP se extinguen. Se debe de tener en cuenta que tanto el valor de tensión de aparición de las DP, como el de extinción, pueden estar influenciados por la velocidad de elevación de la tensión y por la velocidad de descenso de la tensión, respectivamente.

Respecto a los diferentes circuitos de medida de DP que están representados en el inicio de este apartado hay que constatar que todos son capaces de realizar la medición de DP de manera correcta, pero el circuito de indirecto es el más utilizado en las mediciones. Esto se debe a que en caso de fallo en el aislamiento, como la impedancia de medida se encuentra en paralelo con el objeto de prueba no pone en riesgo a los equipos que intervienen en la medición ni al personal encargado de llevarla a cabo, lo contrario que el circuito directo ya que en este caso la impedancia de medida se encuentra en serie con el objeto de prueba.

2.2.2. UNE 62478

La norma UNE 62478 es la norma que trata la medida de las descargas parciales mediante métodos acústicos y electromagnéticos, proviene de la norma internacional IEC 62478 y aún no está publicada. Esta norma es la que hay que tener en cuenta para la medida de las descargas parciales mediante el PDS100, ya que se trata de un medidor de descargas parciales mediante la energía electromagnética en el espectro de radio frecuencia de las mismas [5].

Esta norma presenta alternativas de medidas de descargas parciales en comparación con los métodos explicados anteriormente en la UNE 60270. Como el propio nombre de la norma indica se trata el tema de la medición mediante métodos electromagnéticos y acústicos, pero también se hace referencia a otros métodos alternativos como son los métodos ópticos y químicos.

2.2.2.1 Métodos electromagnéticos

En relación con el trabajo este método es el de mayor importancia, ya el PDS100 es un analizador de espectros que mide la actividad en radio frecuencia de las diferentes fuentes que aparezcan durante la medición, ya sean ruidos o DP. Para poder hacer estas mediciones, se necesita utilizar una serie de antenas que sean capaces de medir la energía electromagnética emitida por las descargas parciales en el espectro de radio frecuencia, además de disponer de un analizador de espectro que permita visualizar y analizar las descargas parciales medidas. En el caso del PDS100 ambas cosas, tanto la antena como el analizador de espectro están en el mismo dispositivo.

Dentro de la medida de las descargas parciales mediante métodos electromagnéticos hay que diferenciar entre aquellas cuya energía se encuentra en las bandas de frecuencia HF (High Frequency) y VHF (Very High Frequency) que son aquellas cuyas frecuencias están comprendidas entre 3-30 MHz y 30-300 MHz, respectivamente. En este caso los sistemas de medida de banda estrecha que se utilizan serán para frecuencias inferiores a los 2 MHz y los de banda ancha serán para frecuencias superiores a los 50 MHz. Cuando se vayan a realizar estas medidas hay que tener en cuenta factores que pueden influir en las mediciones como son las proporciones geométricas del material que se está midiendo así como el tipo de material, las discontinuidades a la hora de medir la señal, su refracción y reflexión y la forma de descarga que se está produciendo.

Además de las dos bandas de frecuencia nombradas anteriormente, hay que comentar también la UHF (Ultra High Frequency) cuyo rango es el comprendido entre los 300 MHz y los 3 GHz. En este caso los instrumentos de medida de banda estrecha serán para una frecuencia aproximadamente de 5 MHz y los de banda ancha para las que estén en torno a los 2 GHz. Por lo que se pueden medir ondas eléctricas transversales, ondas magnéticas transversales y ondas electromagnéticas transversales. Al igual que en las dos anteriores bandas de frecuencia, a la hora de realizar una medición se debe tener en cuenta parámetros como la geometría, el material del conductor o la reflexión y refracción de la onda, ya que todos ellos pueden influir en la medida realizada.

Se tiene que considerar también, que este tipo de medición no sólo tiene como instrumento de medida las antenas, las cuales se basan en sensores electromagnéticos, sino que también se pueden utilizar para realizarlas sensores de tipo capacitivo e inductivo.

2.2.2.2 Métodos acústicos

La medición de las descargas parciales mediante métodos acústicos, se basan en la señal acústica producida por descarga parcial a causa de la presión ejercida por la misma en el punto donde se produce.

Este método utiliza una serie de sensores que actúan en frecuencias comprendidas entre los 10 y los 300 KHz, los cuales pueden ser piezo-eléctricos, opto-acústicos, condensadores microfónicos y de resonancia.

Se trata de métodos no invasivos e inmunes al ruido eléctrico, pero que tienen que tener en cuenta parámetros que pueden influir en el resultado de las mediciones ejercidas, los cuales son el equipamiento de dispersión de construcción, la presión del gas, el material encapsulado, estructuras de aislamiento y la extensión geométrica de la onda.

2.2.2.3 Métodos químicos

Este tipo de métodos de medición surgen por las altas temperaturas provocadas por las descargas parciales en el aislante, que provoca la descomposición de SF₆ produciendo componentes fluorhídricos, componentes sulfhídricos y componentes con composición fluorhídrica y sulfhídrica.

Para poder medir las descargas parciales mediante el método químico se usan:

- Sensores de H₂.
- Análisis de ozono.
- Análisis de gas.
- Análisis de gas en aceite.

2.2.2.4 Métodos ópticos

La medición de descargas parciales mediante métodos ópticos se basa en la detección y localización de la luz emitida por las mismas. Esta detección se puede hacer mediante la vista, en los casos en que la luz emitida sea de gran magnitud, mediante cámaras infrarrojas, sensores ópticos, cables de fibra óptica y potenciadores de luz baja. En función de donde se produzca la emisión de luz, se puede detectar mediante unos métodos u otros, ya que por ejemplo una descarga parcial puede emitir una gran cantidad de luz pero puede haberse producido en el interior de un cable que pertenece a un transformador y que está oculto a simple vista.

3. ANTENAS

3.1. Introducción

Según la Real Academia de la Lengua Española, una antena es un dispositivo de los aparatos emisores o receptores que, con formas muy diversas, sirve para emitir o recibir ondas electromagnéticas. [6]

Las principales características de una buena antena son las siguientes:

1. Buen rendimiento de radiación

$$(3.1) \eta = \frac{\text{Pradiada}}{\text{Pentregada}} \leq 1$$

2. Su diagrama de radiación debe de ser adecuado para la realización de medidas de DP.
3. Debe de tener una buena adaptación a la línea de transmisión.

La antena es el elemento básico del PDS100, ya que gracias a ella se puede realizar la medición de las descargas parciales mediante la energía electromagnética que emite en el espectro de radio frecuencia, por lo que es de gran importancia hacer un estudio sobre los tipos de antena que existen y los parámetros principales que tienen. Además también se explicarán los principales parámetros característicos de cuatro tipos de antenas de gran importancia en el ámbito de la medición de las descargas parciales mediante su uso. Es importante caracterizar todos los parámetros que tienen las antenas ya que estos influyen en su utilización para las mediciones.

3.2. Parámetros principales de una antena

Las antenas tienen una serie de parámetros que las definen y que son diferentes en función al tipo de antena que estemos tratando.

3.2.1. Diagrama o patrón de radiación

El diagrama de radiación es definido como una función matemática o una representación gráfica de las propiedades de radiación de la antena. Esta representación se realiza en función de coordenadas espaciales y permite observar en que direcciones la antena radia mejor y por lo tanto es capaz de detectar mejor las ondas electromagnéticas que se deseen, en este caso las DP [7].

3.2.2. Densidad de potencia radiada

Las DP provocan la emisión de ondas electromagnéticas que se transportan a través del medio en el cual se producen. De tal manera, es natural asumir que la energía y la potencia están asociadas con los campos electromagnéticos. La cantidad usada para describir la potencia asociada con una onda electromagnética es el vector Poynting instantáneo [7].

$$(3.2) \mathcal{W} = EH$$

\mathcal{W} = Vector instantáneo Poynting (W/m²)

E = Intensidad instantánea de campo eléctrico (A/m)

H = Intensidad instantánea del campo magnético (V/m)

3.2.3. Intensidad de radiación

La intensidad de radiación en una dirección dada es la potencia radiada desde una antena por unidad de ángulo sólido. Es un parámetro de campo lejano y puede ser obtenido mediante la multiplicación de la densidad de potencia radiada por el cuadrado de la distancia. Este parámetro afecta de forma importante a la medición de DP mediante el uso de antenas ya que en función a él se sabe la potencia que es capaz de radiar la antena para poder medirlas [7].

$$(3.3) U = r^2 W_{rad}$$

U = Intensidad de radiación (W/unidad de ángulo sólido)

r = Distancia (m)

W_{rad} = Componente radial de la densidad de potencia radiada (W/m^2)

$$(3.4) W_{rad} = \hat{a}_r A_0 \frac{\sin\theta}{r^2}$$

\hat{a}_r = Vector unitario radial (adimensional)

A_0 = Valor pico de la densidad de potencia (W)

θ = Ángulo azimutal

3.2.4. Directividad

La directividad es definida como el radio de intensidad de radiación en una dirección dada desde la antena a la intensidad de radiación media en todas las direcciones. La intensidad de radiación media es igual al total de potencia radiada por la antena dividida entre 4π . Si la dirección no es especificada, la dirección de intensidad máxima será sobreentendida. De tal forma, este parámetro indica que radio de medición tienen la antena que se está utilizando para medir las descargas parciales y en que distancias va a ser capaz de detectarlas o no [7].

$$(3.5) D = \frac{U}{U_0} = 4\pi U / P_{rad}$$

D = Directividad (Adimensional)

U = Intensidad de radiación (W/unidad de ángulo sólido)

U_0 = Intensidad de radiación de una fuente isoentrópica (W/unidad de ángulo sólido)

P_{rad} = Potencia total radiada (W)

Si lo que se quiere obtener es la directividad máxima de la antena lo único que varía en la fórmula es que se debe de usar la intensidad de radiación máxima.

$$(3.6) D_{max} = \frac{U_{max}}{U_0} = 4\pi U_{max} / P_{rad}$$

3.2.5. Rendimiento de la antena

El rendimiento asociado con una antena también puede definirse como su eficacia. El rendimiento total de una antena es usado para tener en cuenta las pérdidas en la estructura interna de la misma y en sus terminales. En cuanto a la medición de las DP con antenas, el rendimiento de estas es importantes para saber que no se mide toda la potencia que emiten las descargas y que hay que tener en cuenta pérdidas que se producen durante las mediciones. El rendimiento total de una antena depende de distintos rendimientos como son el de reflexión, el rendimiento del conductor y el rendimiento eléctrico [7].

$$(3.7) e_o = e_r e_c e_d$$

e_o = Rendimiento total de la antena (adimensional)
 e_r = Rendimiento de reflexión (adimensional)
 e_c = Rendimiento del conductor (adimensional)
 e_d = Rendimiento eléctrico (adimensional)

3.2.6. Ganancia

La ganancia se define como el ratio de intensidad, en una dirección dada, a la intensidad de radiación que se obtendría si la potencia radiada por la antena se emitiese de forma isoentrópica. La intensidad de radiación correspondiente a la potencia isoentrópica radiada es igual a la potencia aceptada por la antena dividida por 4π [7].

$$(3.8) G = 4\pi \frac{U}{P_{in}}$$

G = Ganancia
 U = Intensidad de radiación (W)
 P_{in} = Entrada total de potencia (W)

Se puede relacionar la ganancia de una antena con su directividad mediante la siguiente fórmula:

$$(3.9) G = e_{cd} D$$

Donde e_{cd} , eficiencia de radiación de la antena, es un factor que se obtiene mediante la división de la potencia radiada entre la entrada total de potencia, dando como resultado un factor adimensional.

3.2.7. Ancho de banda

El ancho de banda de una antena es definido como el rango de frecuencias en el que el rendimiento de la antena, con respecto a una serie de características, se ajusta a un cierto estándar específico. Puede ser considerado como el rango de frecuencias a cada lado de la frecuencia central, donde las características de la antena se encuentran dentro de un valor aceptable en relación a la frecuencia central [7].

El ancho de banda dentro del uso de antenas para la medición de DP determina las frecuencias que pueden ser captadas por la antena utilizada, por lo que si la descarga parcial que se está produciendo no está dentro de las frecuencias que pueden ser captadas por la antena, esta no será identificada.

3.2.8. Impedancia de una antena/Impedancia en recepción

Se define la impedancia presentada por una antena como la relación entre la tensión y la intensidad en sus terminales de entrada [8].

$$(3.10) Z_{antena} = \frac{V_{ent}}{I_{ent}} = R + Xj$$

Z antena (Ω)
 V entrada (V)
 I entrada (I)

La impedancia en la antena no es la misma en todos sus puntos, es mayor en los extremos de esta. Sin embargo con la potencia sí se supone que va a ser la misma en cualquier punto de la antena.

Si la impedancia medida sólo tiene parte resistiva indica que la antena es resonante a la frecuencia a la que se está trabajando.

3.2.9. Parámetros de la antena en recepción

Los parámetros definidos anteriormente (diagrama de radiación, intensidad de radiación, directividad, ganancia, ancho de banda) son válidos para caracterizar una antena cuando esta está emitiendo, como cuando está recibiendo. Esto se debe al Teorema de la Reciprocidad [9].

El Teorema de la Reciprocidad, es un teorema que no puede ser aplicado a todos los circuitos eléctricos, si no que para ello los circuitos han de ser lineales y no deben de tener ninguna fuente dependiente. Se trata de un teorema con dos enunciados:

- La tensión u que aparece entre los nudos (p, q) en un circuito lineal y pasivo al aplicar una fuente de intensidad i en el otro par de nudos (m, n) , es la misma tensión que se originaría en estos nudos si la fuente de intensidad se trasladara a los nudos (p, q) . Para poder entenderlo mejor se muestra el siguiente gráfico donde los valores de tensión e intensidad son los mismos en ambos circuitos.

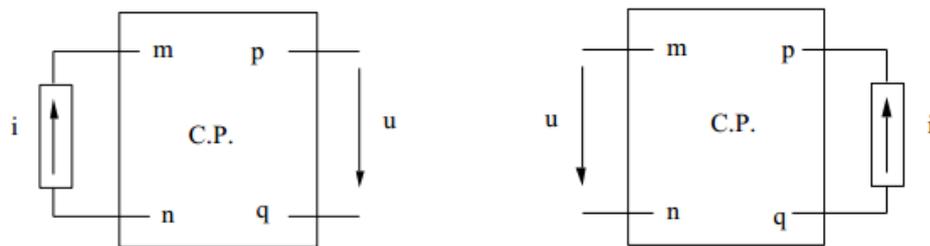


Fig. 3.1. Teorema de la Reciprocidad (fuente de intensidad) [9]

Para demostrar este teorema se debe de conocer tanto la tensión entre el primer par de nudos $(p$ y $q)$ como la que hay entre el segundo $(m$ y $n)$, estas son:

$$(3.11) u_{pq} = u_q - u_p = R_{pm} i - R_{pn} i - R_{qm} i + R_{qn} i$$

$$(3.12) u_{mn} = u_m - u_n = R_{mp} i - R_{np} i - R_{mq} i + R_{nq} i$$

Los términos de las resistencias que aparecen en ambas fórmulas pertenecen a la matriz de resistencias nodales. Del circuito, al no tener ninguna fuente dependiente, se puede asegurar que la matriz de conductancias nodales $[G]$ es simétrica. La simetría de esta matriz, al hacer la inversa de ella, provoca que el resultado sea el mismo. Esto vale para argumentar que el valor de la tensión sea igual independientemente de donde se ponga la fuente de intensidad.

La matriz de conductancias $[G]$ se obtiene a partir de:

$$(3.13) g_{i,i} = \sum_j g_{ij}$$

Y según lo argumentado anteriormente acerca de la simetría de esta matriz se obtiene que:

$$(3.14) g_{i,j} = -g_{ij}$$

- La intensidad que se origina por una rama establecida entre dos nudos (p, q) de un circuito lineal y pasivo al poner una fuente de tensión en la otra rama entre otros dos nudos (m, n), es la misma que si en lugar de estar situada la fuente de tensión entre "m" y "n" estuviese entre "p" y "q" y la intensidad se originara en la rama donde antes estaba situada la fuente de tensión. Este fenómeno se puede observar en el gráfico que aparece a continuación.

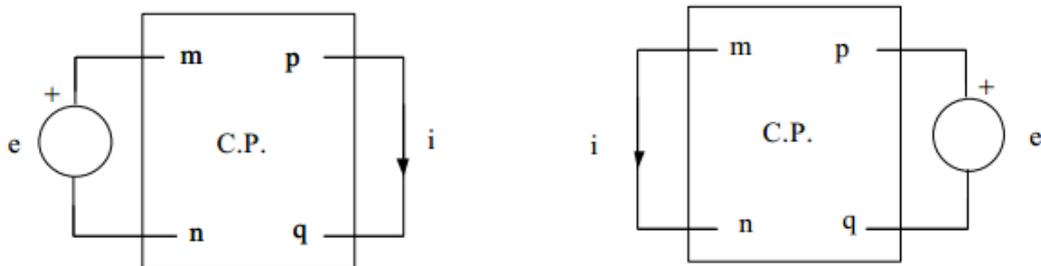


Fig. 3.2. Teorema de Reciprocidad (fuente de tensión) [9]

Para entender el caso de la fuente de tensión, se sabe que la corriente de la rama p-q se puede poner en función de las corrientes de las mallas adyacentes de i y j, perteneciendo la fuente a dos mallas adyacentes también, h y k. Valido también en el caso contrario pero la corriente en ese caso circularía por las mallas h y k, por lo que las expresiones de las intensidades son:

$$(3.15) i_{pq} = i_i - i_j = G_{ih}e - G_{ik}e - G_{jh}e + G_{jk}e$$

$$(3.16) i_{mn} = i_h - i_k = G_{hi}e - G_{hj}e - G_{ki}e + G_{kj}e$$

El término G hace referencia al valor de la matriz de conductancia de mallas y debido a su simetría se llega a la conclusión de que el valor de las corrientes será el mismo.

Dentro de los parámetros de la antena en recepción uno de ellos que hay que tener en cuenta es la adaptación de la antena, la cual nos indica que la transferencia de potencia será máxima cuando tengamos adaptación conjugada, lo que indica que el receptor, en los terminales de la antena, se ve como una carga equivalente a la carga que el receptor ve de la antena que actúa como un generador de tensión ideal, pero con su valor conjugado.

La potencia entregada por la antena a la carga:

$$(3.17) Pl_{max} = \frac{V_{ca}^2}{4R_a}$$

Plmax = Potencia entregada máxima (w)

Vca = Tensión en circuito abierto (V)

Ra = Resistencia de adaptación (Ω)

El coeficiente de adaptación es un factor cuyo valor está comprendido entre 0 y 1, se puede calcular con la siguiente fórmula, donde intervienen la potencia entregada máxima que puede dar la antena, y la potencia normal que entrega:

$$(3.18) Pl = PlmaxCa$$

Ca = Coeficiente de adaptación (adimensional)

Para poder entender mejor el teorema de la reciprocidad y porque se consideran iguales los parámetros tanto en emisión como en recepción es de gran utilidad entender el cuadripolo.

3.2.9.1 Cuadripolo

El cuadripolo se define como un circuito que se comunica con el exterior a través de los puertos de entrada y salida [10]-[12].

A la hora de utilizar un cuadripolo, se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Ausencia de fuentes independientes
- Corriente de entrada al cuadripolo igual a la de salida.
- No existe energía almacenada en el cuadripolo.

Para poder tener un mejor concepto de lo que es un cuadripolo a continuación se muestra una imagen representativa de él.

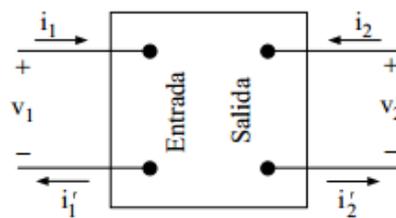


Fig. 3.3. Cuadripolo [11]

Existen dos tipos de cuadripolo que se pueden clasificar en:

- 1) Pasivos: En ellos hay elementos que hacen que la potencia que se entrega a la carga tenga un valor igual o inferior al que se entrega al cuadripolo en su entrada. Por lo que una cantidad de esa potencia se disipa en el interior del mismo.
- 2) Activos: Este tipo de cuadripolos tienen una serie de elementos que pueden lograr que la potencia entregada a la salida del mismo sea mayor que la que se le entrega en su entrada. Para que esto pueda ser posible deben de contener alguna fuente dependiente.

Para definir los cuadripolos existen una serie de parámetros característicos:

Tabla 3 1. Parámetros característicos

Parámetro	Fórmula	Fórmula
Impedancia	(3.19) $v_1 = z_{11}i_1 + z_{12}i_2$	(3.20) $v_2 = z_{22}i_2 + z_{12}i_1$
Admitancia	(3.21) $i_1 = Y_{11}v_1 + Y_{12}v_2$	(3.22) $i_2 = Y_{21}v_1 + Y_{22}v_2$
Transmisión	(3.23) $v_1 = Av_2 - Bi_2$	(3.24) $i_1 = Cv_2 - Di_2$
Híbridos (h)	(3.25) $v_1 = h_{11}i_1 + h_{12}v_2$	(3.26) $i_2 = h_{21}i_1 + h_{22}v_2$
Híbridos (g)	(3.27) $i_1 = g_{11}v_1 + g_{12}i_2$	(3.28) $v_2 = g_{12}v_1 + g_{22}i_3$

Este tipo de cuadripolos son aquellos que estando conectados a un generador de tensión y un amperímetro ideal o a un generador de corriente y un voltímetro ideal, al intercambiar las posiciones de estos, no se producen modificaciones en corriente o tensión respectivamente.

3.2.9.1.1 Parámetros Scattering o de dispersión

En circuitos de alta frecuencia (redes de RF y microondas) para calcular la existencia de reflexiones en las puertas de la red (cuadripolo) de la mejor forma posible se calculan los parámetros Scattering, aunque también pueden ser aplicables a cualquier red.

Es importante tener en cuenta que los parámetros Scattering varían en función de la frecuencia en los que los estamos midiendo [13], [14].

- S_{11} - Corresponde al nivel de señal reflejada en el puerto 1 a causa de la desadaptación de impedancias, cuando el puerto de entrada se encuentra cargado con la impedancia característica de la línea. Este parámetro hace referencia a la cantidad de potencia recibida por la antena en función a la que se le está aplicando para que realice la medida. Es un parámetro de gran importancia en las antenas y se le puede considerar como el coeficiente de reflexión de las mismas. Al analizar las medidas del parámetro S_{11} de las antenas se puede determinar la frecuencia de resonancia de estas y el rango de frecuencia en el que se adaptan mejor. Entonces:
 - Si $S_{11} = 0$ toda la potencia es reflejada desde la antena y esta no radia nada.
 - Si $S_{11} < 0$ la antena tendrá poder de radiación, y cuanto menor sea su valor mayor será su poder de radiación.

Debido a que el parámetro S_{11} es el coeficiente de reflexión de las antenas, se puede determinar la eficiencia de reflexión de la antena mediante el coeficiente de reflexión de tensión, denominado con la letra r , siendo la eficiencia de reflexión:

$$(3.29) e_{reflexión} = 1 - |r|^2$$

$$(3.30) r = \frac{V_{en^-}}{V_{en^+}} = \frac{Z_{en} - Z_0}{Z_{en} + Z_0}$$

En donde V_{en^+} es la tensión de la onda incidente, V_{en^-} la tensión de la onda reflejada, Z_{en} la impedancia de entrada de la antena y Z_0 la impedancia característica de la línea de transmisión a la que está conectada.

Además se puede considerar el parámetro S_{11} como el clave para determinar la eficiencia de la antena en cada frecuencia de trabajo, para lo que se utiliza la fórmula:

$$(3.31) e = 1 - |S_{11}|$$

e = Eficiencia

Un ejemplo de medición del parámetro S_{11} se puede observar en la siguiente imagen, en la que aparecen superpuestas las mediciones de estos parámetros para tres antenas diferentes, una monopolo de 5 cm, una de 10 cm y una antena zig-zag. Para poder entender mejor este gráfico a continuación se expone una tabla con las frecuencias de resonancia de las antenas monopolo realizada a partir de una perteneciente al libro referenciado como [7].

Tabla 3.2. Frecuencias de resonancia de las antenas monopolo

	$f (\lambda/4)$ MHz	$f (\lambda/2)$ MHz	$f (3 \lambda/4)$ MHz	$f (\lambda)$ MHz
Monopolo 5 cm	1500	3000	4500	6000
Monopolo 10 cm	750	1500	2250	3000
ZigZag 10 cm	454	910	1364	1820

En la tabla, para poder calcular la antena zig-zag se hace la consideración de que se trata de una antena monopolo de 16,5 cm estirado.

Para el cálculo de las frecuencias de resonancia se utiliza la siguiente fórmula que relaciona la longitud del monopolo con la longitud de onda (λ), siendo esta equivalente a $\lambda=c/f$ donde c es la velocidad de la luz y su valor equivale a $3 \cdot 10^8$ m/s y f es la frecuencia de resonancia de la antena:

$$(3.32) L_{monopolo} = \frac{\lambda}{4} = \frac{c}{4f}$$

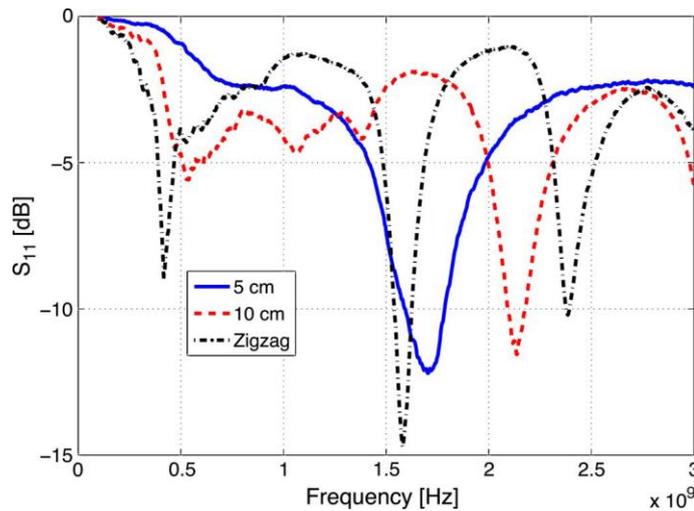


Fig. 3.4. Mediciones del parámetro S_{11} [13]

La explicación a la figura 3.4. es que los picos de las diferentes medidas hacen referencia a las frecuencias en que las antenas con las que se ha realizado esta medición son resonantes. Cuanto mayor es el pico negativo mayor es el poder de radiación en esa frecuencia, la cual es considerada como frecuencia de resonancia.

- S_{22} - En este caso, se refiere al nivel de señal reflejada en el puerto 2 debido a la desadaptación de impedancia, cuando el puerto de entrada se encuentra cargado con la impedancia característica de la línea.
- S_{12} - Este parámetro hace referencia a la señal transmitida desde el puerto 1 al puerto 2 cuando la salida se encuentra cargada.
- S_{21} - Por último éste corresponde a la señal transmitida desde el puerto 2 al puerto 1 cuando la entrada se encuentra cargada.

Al leer las definiciones de cada uno de los parámetros Scattering, se puede concluir que los S_{11} y S_{22} son los parámetros correspondientes a la reflexión dentro del cuadripolo, mientras que el parámetro S_{12} y el S_{21} corresponden a la transmisión.

3.2.9.1.2 Parámetros característicos

Además de los parámetros anteriormente definidos, existen otra serie de parámetros característicos.

Tabla 3 3. Parámetros característicos cuadripolo

Parámetro	Fórmula	Definición
Z_{11}	(3.33) $\left(\frac{V_1}{I_1}\right)_{I_2=0}$	Impedancia/Resistencia de entrada con la salida en circuito abierto.
Z_{12}	(3.34) $\left(\frac{V_1}{I_2}\right)_{I_1=0}$	Impedancia/Resistencia de transferencia inversa con la entrada en circuito abierto.
Z_{21}	(3.35) $\left(\frac{V_2}{I_1}\right)_{I_2=0}$	Impedancia/Resistencia de transferencia directa con la salida en circuito abierto.
Z_{22}	(3.36) $\left(\frac{V_2}{I_2}\right)_{I_1=0}$	Impedancia/Resistencia de salida con la entrada en circuito abierto.
h_{11}	(3.37) $\left(\frac{V_1}{I_1}\right)_{V_2=0}$	Impedancia/Resistencia de entrada con la salida en corte.
h_{12}	(3.38) $\left(\frac{V_1}{V_2}\right)_{I_1=0}$	Ganancia de voltaje inversa con la entrada en circuito abierto.
h_{21}	(3.39) $\left(\frac{I_2}{I_1}\right)_{V_2=0}$	Ganancia de corriente directa con la salida en cortocircuito.
h_{22}	(3.40) $\left(\frac{I_2}{V_2}\right)_{I_1=0}$	Admitancia/Conductancia de salida con la entrada en circuito abierto.

3.2.10. Longitud efectiva

La longitud efectiva de una antena, ya sea lineal o una antena de apertura, es una cantidad que se usa para determinar la tensión inducida en los terminales del circuito abierto de la antena, cuando una onda incide sobre ella. El vector de longitud efectiva, es normalmente un vector complejo de cantidad representada por la siguiente fórmula [7].

$$(3.41) l_e(\theta, \phi) = \hat{a}_\theta l_\theta(\theta, \phi) + \hat{a}_\phi l_\phi(\theta, \phi)$$

\hat{a}_θ = Vector unitario de la componente azimutal

l_θ = Longitud de la componente acimutal

\hat{a}_ϕ = Vector unitario de la componente de elevación

l_ϕ = Longitud de la componente de elevación

La longitud efectiva representa la antena en los modos de transmisión y recepción, en el caso de la medición de las DP recepción. Es muy útil en los casos en los que las antenas están recibiendo ondas, como en el mencionado, relacionando la longitud efectiva (l_e) en metros, con la tensión en circuito abierto en los terminales de la antena (V_{co}) en voltios mediante el campo eléctrico incidente (E^i) en voltios/metros mediante la siguiente fórmula:

$$(3.42) V_{co} = E^i l_e$$

3.2.11. Área efectiva

Con cada antena, se puede asociar un número de áreas equivalentes. Estas áreas se utilizan para describir las características del poder de captura de la antena cuando una onda incide sobre ella, siendo un factor muy a tener en cuenta en la medición de DP mediante el uso de antenas, ya que dependiendo de estas áreas las antenas podrán detectarlas o no en función a si las ondas producidas por las DP inciden en estas áreas de radiación de las antenas. En estas áreas, el área para una dirección dada se define como la relación de la potencia disponible en los terminales de una antena de recepción con la densidad de flujo de una onda plana incidente en la antena desde esa dirección. Si la dirección no está especificada, la dirección de intensidad de radiación máxima es sobreentendida [7].

$$(3.43) Ae = \frac{Pt}{Wi}$$

Ae = Área efectiva (m²)

Pt = Potencia entregada a la carga (W)

Wi = Densidad de potencia de la onda incidente (W/m²)

3.2.12. Factor de antena (FA)

Se denomina factor de antena a la función de transferencia que tienen las antenas [15].

Para poder calcular el FA se utiliza la siguiente fórmula:

$$(3.44) FA = \frac{E}{V}$$

FA = Factor de antena (1/m)

E = Campo eléctrico (V/m)

V = Tensión (V)

3.3. Tipos de antenas

Aunque actualmente existen un gran número de antenas para diversas aplicaciones, el estudio realizado se va a centrar sólo en cuatro de ellas. Estas antenas son la dipolo $\lambda/2$, la monopolo $\lambda/4$, la log-periódica y la cónica, todas ellas utilizadas en la medición de descargas parciales. Se pueden encontrar ejemplos de estas mediciones en los siguientes documentos:

- Título: "Optimisation of a sensor for outside detection of partial discharge in power transformers by the UHF method". Autores: J. Lopez-Roldan, T. Tang y M. Gaskin. Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on (Volume: 15, Issue: 6), páginas 1634_1639, ISSN: 1070-9878, 2008.
- Título: "Detecting characteristics of various type antennas on partial discharge electromagnetic wave radiating through insulating spacer in gas insulated switchgear". Autores: S. Kaneko, S. Okabe, M. Yoshimura, H. Muto, C. Nishida y M. Kamei. Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on (Volume: 16, Issue: 5), páginas 1462_1472, ISSN: 1070-9878, 2009.
- Título: "Antenna parametrization for the detection of partial discharges". Autores: G. Robles, M. Sánchez-Fernández, R. Albarracín Sánchez, M.V. Rojas-Moreno, E. Rajo-Iglesias y J.M. Tarifa. Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on (Volume: 62, Issue: 5), páginas 932_941, ISSN: 0018-9456, 2013.
- Título: "Antenna selection and frequency response study for UHF detection of partial discharge". Autores: G. Robles, J.M. Tarifa, M.V. Rojas-Moreno, R. Albarracín y J. Ardila-Rey. Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2012 IEEE International, páginas 1496_1499, ISSN: 1091-5281, 2012.

Antes de comenzar con el estudio individual de cada uno de los cuatro tipos de antenas nombradas, es conveniente hacer una clasificación y descripción de las principales antenas que se pueden encontrar [7].

- 1) *Antenas de alambre*: Se trata de un conjunto de antenas que se pueden localizar y encontrar en cualquier lugar, ya que están presentes en coches, edificios, barcos o aviones, por lo que se trata de antenas comúnmente utilizadas en la vida diaria de las personas y necesarias para ello. Dentro de esta familia de antenas se pueden encontrar las de alambre recto, normalmente denominadas dipolo, así como las que tienen el alambre en forma de bucle o en hélice. Las antenas de bucle no tiene por qué tener forma circular, las hay con forma de rectángulo, elipse u otras configuraciones; cabe destacar que las circulares son las más utilizadas debido a su simplicidad en la construcción.
- 2) *Antenas de apertura*: Últimamente se está experimentando un aumento significativo de la demanda de las antenas de apertura, gracias a su mayor sofisticación y su utilización en emisiones y recepciones en altas frecuencias. Existen diferentes tipos de antenas de apertura como es el caso de la piramidal, la cónica y la de guía de ondas rectangular. El uso de estas antenas se centra principalmente en aplicaciones espaciales y de aeronáutica, debido a su facilidad para ser acopladas en las superficies de los aviones o de las naves que se encuentran en órbita con la tierra (en el espacio).
- 3) *Antenas de microstrip*: Son utilizadas en la actualidad para aplicaciones gubernamentales y comerciales. Estas antenas consisten en un parche metálico colocado sobre un sustrato conectado a tierra. El parche metálico puede tener diferentes configuraciones, rectangular

y circular, por lo que, gracias a su comodidad de análisis y fabricación, se han convertido en antenas de gran popularidad. Hay que resaltar que estas dos antenas tienen unas características de radiación bastante deseables, además de una baja polarización cruzada de radiación. Esta gama de antenas son de perfil bajo, se adaptan con facilidad a las superficies planas y a las no planas, además de ser simples y baratas de fabricar presentan una buena robustez mecánica cuando son montadas sobre superficies rígidas, siendo muy versátiles en términos de resonancia, polarización, patrón e impedancia. Por todo ello, pueden ser utilizadas en satélites, misiles, coche, móviles, etc.

- 4) *Antenas de array*: Muchas aplicaciones requieren el uso de antenas con características de radiación que no pueden dar los elementos simples. Para ello se necesitan antenas que estén formadas por elementos radiantes en una disposición geométrica y eléctrica determinada. Esta disposición puede tener como consecuencia que la suma de las radiaciones de los elementos individuales proporcionen una radiación máxima en una dirección o direcciones determinadas. Como ejemplos de arrays están las antenas Yagi-Uda o las log-periódicas. Lo habitual es utilizar el término array para designar antenas formadas por un conjunto de elementos radiantes separados entre sí, sin embargo hay casos en que se utiliza para designar elementos radiantes montados en una estructura continua.
- 5) *Antenas reflectoras*: La aparición de estas antenas se debe a la necesidad de poder comunicarse a grandes distancias y tienen su origen en los avances que las investigaciones del espacio exterior provocaron en la teoría de las antenas. Como consecuencia de todo ello aparecieron este tipo de antenas capaces de transmitir y recibir señales que viajan a lo largo de millones de kilómetros. El diseño más común es el de reflector parabólico, llegando a construirse antenas de hasta 305 metros de diámetro. Los diámetros tan grandes se necesitan cuando la transmisión o recepción de la señal se hace desde longitudes enormes, miles de millones de kilómetros. Pero no sólo existe la antena parabólica reflectora, si no que se pueden encontrar la reflectora de esquina o córner reflector.
- 6) *Antenas de lente*: Las lentes son utilizadas para captar la energía incidente divergente, evitando de esta manera su difusión en direcciones no deseadas. Si se diseñan con una correcta configuración geométrica y una buena elección del material, las antenas de lente pueden transformar diversas formas de energía divergente en ondas planas. Su utilización se centra en aplicaciones en las que también son usadas antenas reflectoras parabólicas, especialmente si se trata de altas frecuencias. En cuanto a sus dimensiones y peso, se trata de un tipo de antenas extremadamente grandes cuando son usadas para bajas frecuencias. Su clasificación se hace en torno al material con el que han sido construidas o en función a su superficie geométrica.

3.3.1. Antena Dipolo $\lambda/2$

La antena dipolo es la más común y utilizada de todos los tipos de antenas existentes. Se trata de una antena bastante sencilla [16].

La antena dipolo está formada por un hilo conductor cuya longitud de onda es la mitad de la frecuencia a la que se trabaja. Este hilo conductor está dividido en dos por la mitad y en el centro se coloca un generador o una línea de transmisión. Para establecer la frecuencia del dipolo se debe de utilizar la siguiente fórmula:

$$(3.45) L = 150/f$$

L = Longitud (m)
f = Frecuencia (MHz)

La forma del dipolo provoca que por las dos puntas se introduzca una cierta capacidad, la cual no tenemos en el conductor continuo, por lo que para poder obtener la resonancia se debe de reducir la longitud del dipolo. Esta reducción de la longitud suele ser en torno al 5%, por lo que la fórmula resultante sería:

$$(3.46) L = 142,5/f$$

Cuanto mayor es la longitud del dipolo, menor es la frecuencia que puede captar; por lo tanto si la longitud del dipolo es menor, mayor será la frecuencia que puede captar.

La tensión y la intensidad no se reparten de forma continua a lo largo de todo el dipolo. En el centro de este la intensidad es alta y la tensión baja, y en las puntas del dipolo la tensión es alta y la corriente es igual a 0.



Fig. 3.5. Antena Dipolo [17]

3.3.1.2 Parámetros de la antena dipolo $\lambda/2$

Su diagrama de radiación es el mostrado a continuación, en él se puede observar que es omnidireccional, por lo que este tipo de antena radia por igual en todas las direcciones del plano horizontal.

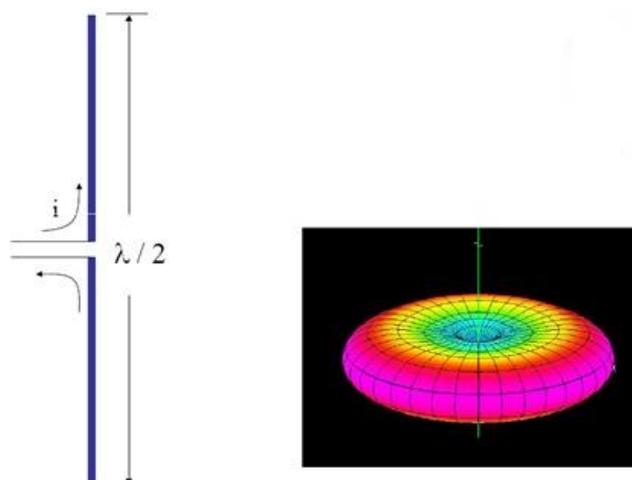


Fig. 3.6. Diagrama de radiación dipolo $\lambda/2$ [18]

En la tabla 3.4. se muestra como calcular sus principales parámetros, o los datos de algunos de ellos.

Tabla 3 4. Parámetros antena dipolo $\lambda/2$

Parámetro	Cálculo
Densidad de potencia radiada [7]	$(3.47) W = \eta \frac{ I_0 ^2}{8\pi r^2} \text{sen}^3 \theta$ <p>Siendo su valor W/m^2 Para poder entender esta fórmula es necesario saber que significan cada uno de los parámetros que aparecen en ella y en próximas fórmulas. $\eta = 120\pi$ Resistencia de radiación en el espacio, cuyo valor es constante en Ω. I_0 = Corriente máxima, cuyo valor es una constante en amperios (A). r = Radio de radiación de la antena (m), que es el radio alrededor de la antena en el cual radia. θ = Ángulo azimutal (plano azimutal).</p>
Intensidad de radiación [7]	$(3.48) U = \eta \frac{ I_0 ^2}{8\pi} \text{sen}^3 \theta = r^2 W$ <p>Las dimensiones de la intensidad de radiación sería $W/\text{unidad de ángulo sólido}$.</p>
Potencia total radiada [7]	$(3.49) Prad = \eta \frac{ I_0 ^2}{4\pi} \int_0^\pi \frac{\cos^2(\frac{\pi}{2} \cos \theta)}{\text{sen} \theta} d\theta$ <p>Potencia total radiada (W).</p>
Resistencia/Impedancia [7]	$(3.50) R = \frac{2Prad}{ I_0 ^2} = \frac{\eta}{4\pi} C_{in}(2\pi) = 73 \Omega$ $(3.51) Z = 73 + j42,5$ $(3.52) C_{in}(2\pi) = C + \ln(2\pi) - C_i(2\pi)$ <p>Donde C_{in} es una constante, siendo C la constante de Euler de valor 0,5772(adimensional) y C_i la integral del coseno, de valor adimensional y cuya fórmula es:</p> $(3.53) C_i = - \int_x^\infty \frac{\cos y}{y} dy = \int_\infty^x \frac{\cos y}{y} dy$
Directividad [7]	$(3.54) D = \frac{4\pi U_{max}}{Prad} = \frac{4}{C_{in}(2\pi)} = 1,643$ <p>Este 1,643, es el valor de la directividad el cual es adimensional, pero si se quiere obtenerlo en dB su valor sería de 2,15 dB.</p>
Ganancia[7]	$(3.55) G = eD$ <p>Donde e corresponde a la eficiencia de la antena (explicada a continuación) y D a la directividad, por lo que el valor de la ganancia será adimensional. Si se supone una eficiencia de la antena del 100%, entonces el valor de la ganancia y de la directividad será el mismo.</p>
Eficiencia; Rendimiento[19]	$(3.56) e = \frac{P_{radiada}}{P_{radiada} + P_{pérdidas}} = \frac{R}{R+r}$ <p>R = Resistencia de radiación (Ω) r = Representa la disipación óhmica de la antena (Ω)</p>
Ancho de banda [20]	$(3.57) BW = \frac{f_{max} - f_{min}}{f_0} 100$ <p>Para el cálculo del ancho de banda se necesita conocer cuál es la frecuencia máxima (f_{max}) a la que puede trabajar nuestra antena, la mínima (f_{min}) y la frecuencia central entre las dos (f_0), ya que es un valor que varía en función a la frecuencia a la que se esté midiendo. Tiene un valor porcentual.</p>
Longitud efectiva [7]	$(3.58) le = \frac{\lambda}{\pi} = 0,3183\lambda$ <p>La longitud efectiva se mide en metros λ = longitud de onda(m)</p>
Área efectiva [7]	$(3.59) A_{efectiva} = D \left(\frac{\lambda}{2}\right)^2 / 4\pi$ <p>Las unidades del área efectiva son m^2.</p>

Factor de antena [15]	$(3.60) FA = \frac{E}{V}$ <p>E = Campo eléctrico (V/m) V = Tensión (V) Por lo tanto el factor de antena (FA) se mide en m^{-1}.</p>
-----------------------	--

3.3.2. Antena Monopolo $\lambda/4$

Una antena monopolo está formada por un solo brazo rectilíneo irradiante (en posición vertical).

El monopolo no constituye la antena en su totalidad, sino que necesita un plano de más, que le permita su correcto funcionamiento. La alimentación del monopolo se realiza a través de la base, en la que hay un generador, además de tener otro terminal conectado a tierra.



Fig. 3.7. Antena Monopolo [17]

3.3.2.1 Parámetros antena monopolo $\lambda/4$

En la tabla 3.5 aparecen los principales parámetros de esta antena, ya sea su valor numérico, o como poder calcularlos, estos están relacionados en muchos casos con los parámetros de la antena dipolo, pero antes de ello se muestra el diagrama de radiación que proporciona esta antena.

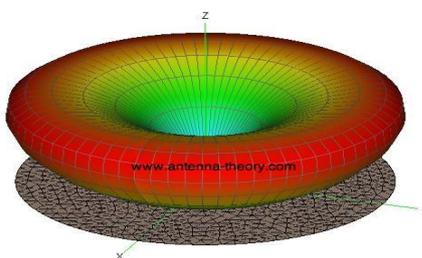


Fig. 3.8. Diagrama de radiación de la antena monopolo $\lambda/4$ [21]

Tabla 3 5. Parámetros antena monopolo $\lambda/4$

Parámetro	Cálculo
Potencia radiada [22]	(3.61) $P_{monopolo} = P_{dipolo} / 2$ P (W/m ²)
Intensidad de radiación [22]	(3.62) $U(\theta, \phi)_{monopolo} = 2U(\theta, \phi)_{dipolo}$ U (W/unidad de ángulo sólido) ϕ = Ángulo de elevación (plano de elevación).
Resistencia/Impedancia [7]	(3.63) $R_{monopolo} = \frac{R_{dipolo}}{2} = \frac{73,1}{2} = 37\Omega$ (3.64) $Z = 37 + j21,25$
Directividad [7]	(3.65) $D_{monopolo} = 2D_{dipolo} = 3,268$ La directividad que se puede obtener es de 3,28 (adimensional) lo que equivale a 5,16 dB. Esto se debe a que la intensidad de radiación es el doble en la antena monopolo lo cual implica que la ganancia de estas antenas sea el doble que la de las antenas dipolo.
Ganancia [7]	(3.66) $G_{monopolo} = 2G_{dipolo}$ Debido a la relación existente de la ganancia con la directividad y suponiendo que la eficiencia de la antena no varía, entonces la del monopolo será el doble que la del dipolo. Su valor es adimensional.
Ancho de banda [7]	(3.67) $BW = \frac{f_{max} - f_{min}}{f_0} 100$ El ancho de banda es porcentual.
Longitud efectiva [7]	(3.68) $le = \frac{\lambda}{\pi} = 0,3183\lambda = le_{dipolo}$ le (m)
Área efectiva [23]	(3.69) $Aef_{monopolo} = Aef_{dipolo}$ Aef (m ²)
Factor de antena [15]	(3.70) $FA = \frac{E}{V}$ FA (m ⁻¹)

Además de estos parámetros, se sabe que la intensidad es la misma tanto en la antena dipolo como en la monopolo y que la tensión es el doble en la antena dipolo que en la monopolo (las frecuencias de la antena monopolo y el cálculo de las misma ha sido explicada anteriormente en el apartado 3.2.9.1.1 Parámetros Scattering o de dispersión).

3.3.3. Antena Log-Periódica

Este tipo de antena está compuesta por sucesivos elementos radiantes semejantes, estos tienen distancias mutuas y frecuencias de resonancia propias, las cuales se encuentran en progresión aritméticas. Estos elementos están colocados en paralelo y su distribución es del más largo al más corto. La antena log-periódica está formada normalmente por dipolos.

Se trata de una antena de banda ancha que se utiliza habitualmente para la señales de televisión TV y de radio FM. Sin embargo la presencia en este trabajo de las antenas log-periódica se debe a su uso en la medición de las descargas parciales.

La característica de este tipo de antena es que cuando la frecuencia que se tiene es baja, el elemento resonante será el de mayor longitud y los demás elementos actuarán como directores. En el caso de tener una frecuencia alta, ahora el elemento de resonancia será el de menor longitud, y el resto de los elementos actuarán como reflectores [24].

Las antenas log-periódicas son la evolución de las antenas Yagui.



Fig. 3.9. Antena Log-Periódica [25]

3.3.3.1 Parámetros antena log-periódica

A continuación se muestran en la tabla 3.6. los principales parámetros de esta antena incluyendo algunos que son de cálculo de la propia antena. Antes de ello se muestra el diagrama de radiación proporcionado por la antena log-periódica.

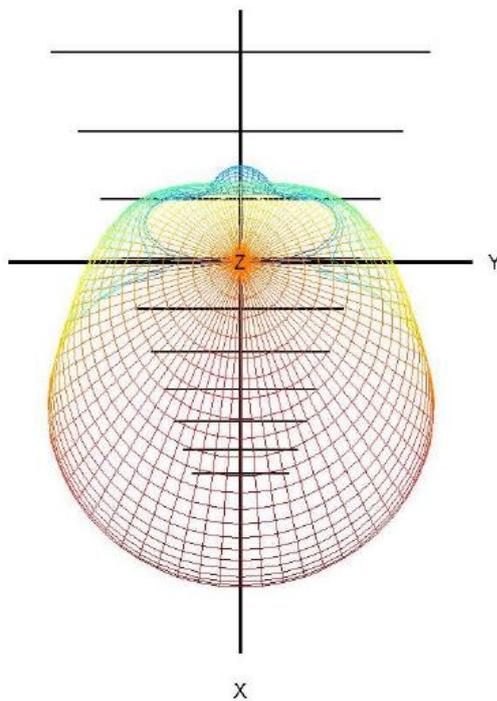


Fig. 3.10. Diagrama de radiación de la antena log-periódica [26]

Tabla 3.6. Parámetros antena logarítmico-periódica

Parámetro	Cálculo
Impedancia [7]	$(3.71) Z = 120 \left[\ln \left(\frac{l_{max}}{d_{max}} \right) - 2,25 \right]$ <p>El resultado de esta fórmula es en Ω. l_{max} = longitud del dipolo máximo en metros d_{max} = diámetro del dipolo máximo en metros</p>
Razón geométrica [7]	$(3.72) \frac{1}{\tau} = \frac{l_{n+1}}{l_n} = \frac{R_{n+1}}{R_n} = \frac{d_{n+1}}{d_n} = \frac{s_{n+1}}{s_n}$ <p>En donde l se refiere a la longitud del dipolo utilizado para la construcción de la antena (m), R a la distancia al origen desde el dipolo (m), d al diámetro del dipolo (m) y s a la separación entre dipolos (m). La letra τ hace referencia al radio geométrico (adimensional), sirve para relacionar dos frecuencias que se encuentran en periodos distinto y cuya fórmula es:</p> $(3.73) \tau = \frac{f_1}{f_2}$ <p>Siempre f_2 debe ser la frecuencia mayor de las dos medidas.</p> $(3.74) f_2 > f_1$
Factor de espaciamento [7]	$(3.75) \sigma = \frac{R_{n+1} - R_n}{2l_{n+1}}$ <p>Este factor es adimensional y su valor está comprendido entre 0,007 y 0,43.</p>
Ancho de banda de región activa [7]	$(3.76) B_{ar} = 1,1 + 7,7(1 - \tau)^2 \cot \alpha$ <p>Donde α es un parámetro de diseño de valor</p> $(3.77) \alpha = \tan^{-1} \left(\frac{1 - \tau}{4\sigma} \right)$
Ancho de banda diseñado [7]	$(3.78) B_s = B_{ar}$ <p>Siendo B el ancho de banda deseado.</p>
Longitud total de la estructura [7]	$(3.79) L = \frac{\lambda_{max}}{4} \left(1 - \frac{1}{B_s} \right) \cot \alpha$ $(3.80) \lambda_{max} = c / f_{min}$ <p>c = Velocidad de la luz con valor $3 \cdot 10^8$ m/s</p>
Número de elementos [7]	$(3.81) N = 1 + \frac{\ln(B_s)}{\ln \left(\frac{1}{\tau} \right)}$
Factor de espaciamento [7]	$(3.82) \sigma = \frac{R_{n+1} - R_n}{2l_{n+1}}$ <p>Este factor tiene un valor que está comprendido entre 0,007 y 0,43.</p>
Espacio entre centros de antena [7]	$(3.83) s = d \cosh \left(\frac{Z}{120} \right)$ <p>En este caso z es la impedancia característica de la línea.</p>
Ganancia [7]	En la figura 3.11 (que aparece tras esta tabla) se muestra la gráfica que relaciona la dependencia de la ganancia de la antena log-periódica en función a la frecuencia a la que trabaje.
Directividad [7]	El valor de la directividad para las antenas log-periódicas está comprendido entre los 7 y los 12 dB.

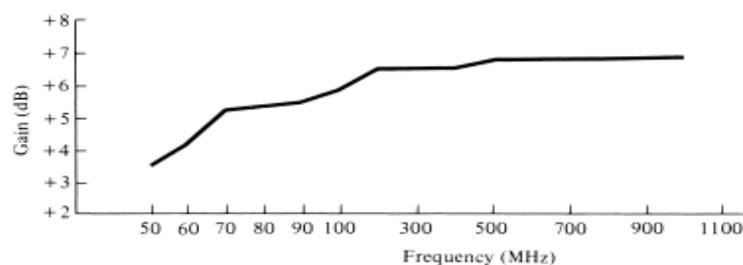


Fig. 3.11. Ganancia de la antena logarítmico-periódica [7]

3.3.4. Antena Cónica

Se trata de una antena de banda ancha. Por ello es utilizada como alimentación a reflectores en antenas de satélite y estaciones terrestres, ya que posee una alta eficiencia y una baja radiación contrapolar. Además de esta utilidad, también es una antena muy práctica para el ámbito de las microondas y por último, pero no menos importante, hay que destacar su uso en la medición de descargas parciales, como se puede comprobar en los documentos mencionados al principio de este capítulo.

Para poder analizar este tipo de antena se supone que el modo de propagación en ellas es el modo alimentador TE_{11} . El modo alimentador aplicado a una bocina cónica lo que pretende es aumentar su eficiencia y disminuir el nivel de polarización cruzada. El TE_{11} es un modo transversal puro el cual consiste en una guía o bocina propagando el modo fundamental, tiene un diagrama de radiación algo asimétrico que implica una disminución de la eficiencia. A pesar de ello esto puede solucionarse escogiendo el radio adecuado de la guía.

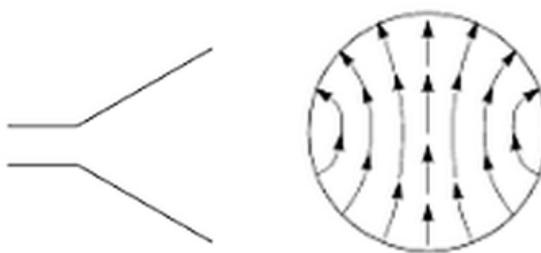


Fig. 3.12. Distribución del modo alimentador TE_{11} en la bocina cónica [27]

A esto se debe añadir un factor de fase debido al ángulo que forman las paredes de la misma. Dicha aproximación es válida para bocinas cónicas cuyo diámetro es superior a $1,5\lambda$ [28].

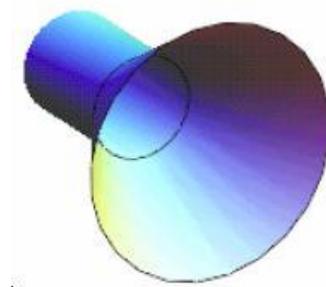


Fig. 3.13. Antena cónica [29]

Una derivación de la antena cónica, que es importante que se nombre, es la antena cónica corrugada, cuyas corrugaciones en las paredes provoca el modo híbrido HE_{11} ($TE_{11} + TM_{11}$). Esto tiene como consecuencia una mejor simetría en los diagramas, mayor pureza de polarización y menores de difracción en los bordes de la misma. Los valores típicos de las corrugaciones son: $\lambda/4 < d < 3\lambda/8$.

3.3.4.1 Parámetros antenna cónica

En el caso de la bocina cónica su diagrama de radiación hay que representarlo en dos planos, el E y el H, ambos dependientes del error de fase.

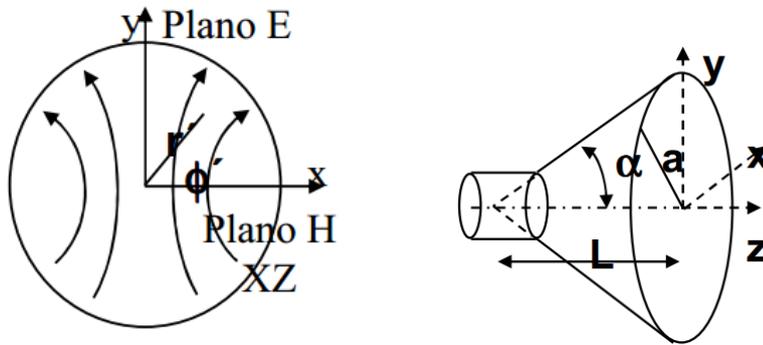


Fig. 3.14. Plano E y H de la bocina cónica. Bocina cónica sobre plano tridimensional [30]

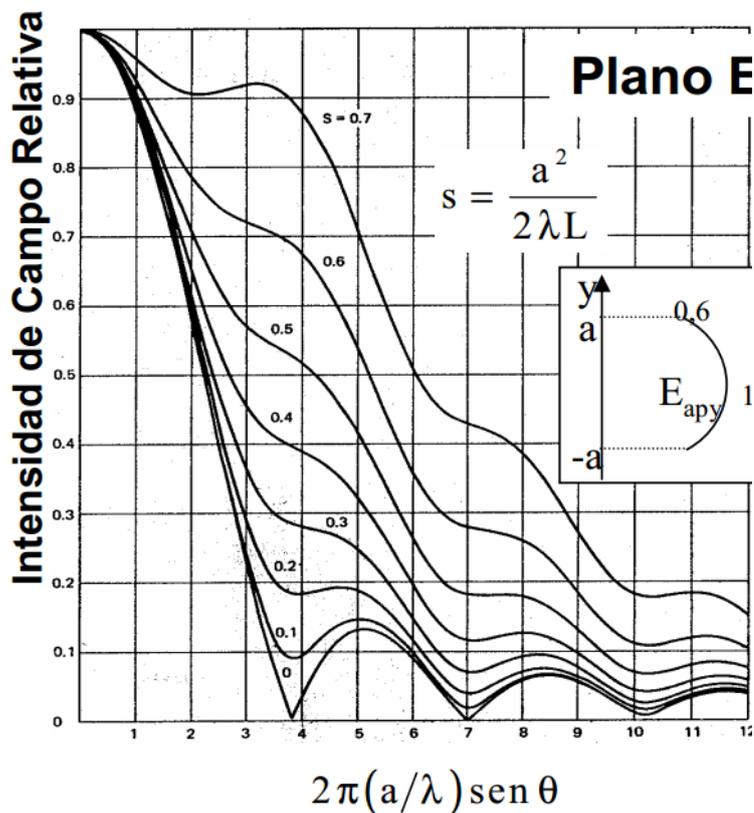


Fig. 3.15. Diagrama antenna cónica plano E [30]

Al analizar el diagrama anterior en el que el plano vertical corresponde a la intensidad de campo radiada en valor porcentual y el horizontal a un valor dependiente de la longitud de onda (λ), el radio de apertura de la bocina cónica (a) y su ángulo correspondiente al plano acimutal (θ), se observa la relación existente entre la intensidad de campo de la antenna en función a la fórmula que relaciona estos parámetros. Además también se relacionan las líneas de radiación con la desviación máxima de fase (s).

Todo esto afecta a la medición de DP mediante antenas de bocina cónica, ya que cuanto mayor sea la intensidad de radiación que proporcione la antena mayor posibilidad existe de poder detectar las DP en el plano E.

Todo lo que se acaba de explicar es aplicable a la detección de DP en el plano H mediante la antena de bocina cónica y a continuación se muestra como sería el diagrama para este plano.

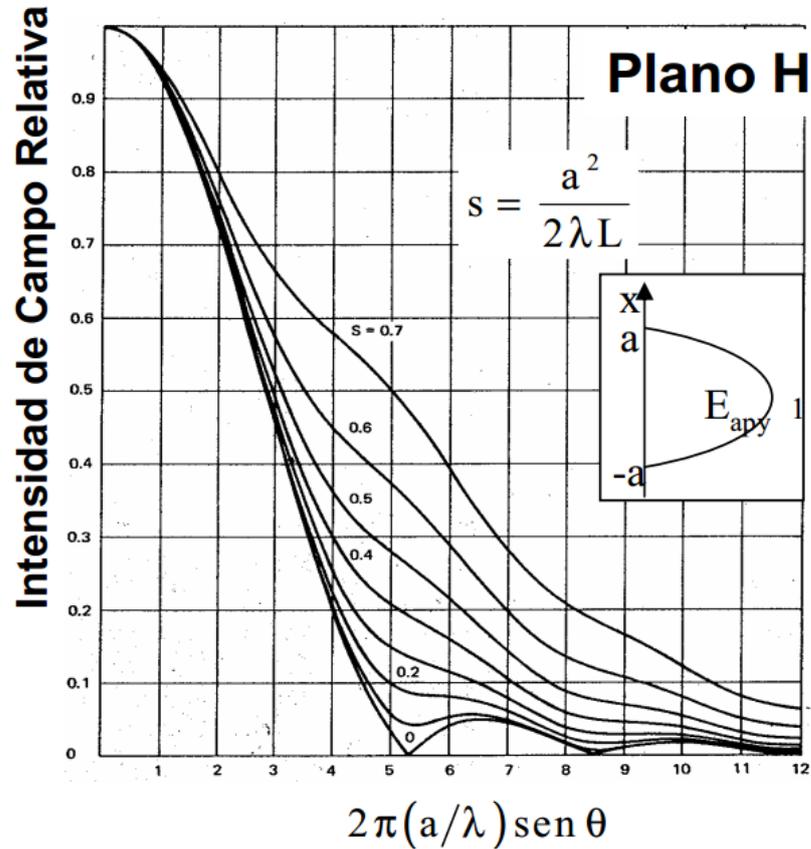


Fig. 3.16. Diagrama antena cónica plano H [30]

Los principales parámetros que se pueden definir de la antena cónica se muestran en la tabla 3.7., pero para poder entender algunas fórmulas es necesario observar previamente la imagen 3.17. donde aparecen sus dimensiones.

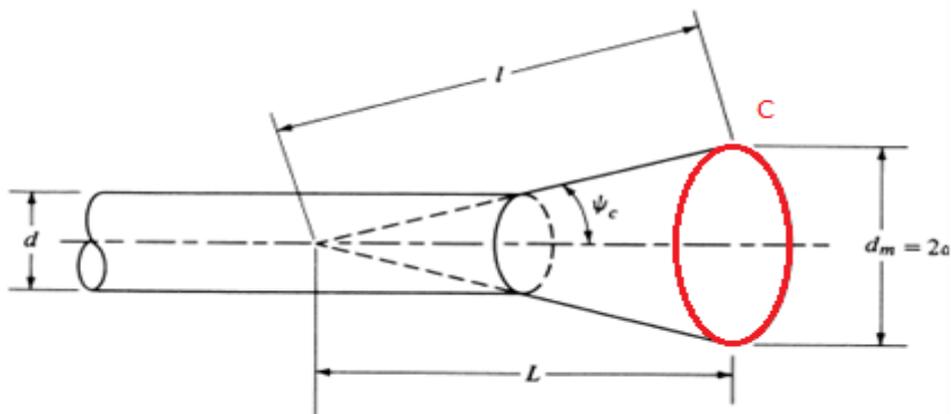
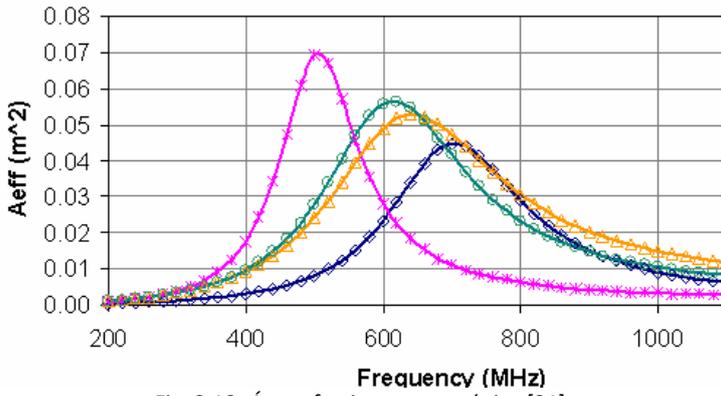


Fig. 3.17. Dimensiones antena cónica [7]

Tabla 3 7. Parámetros antena cónica

Parámetro	Cálculo
Directividad de una apertura circular uniforme [7]	$(3.84) D = 10 \log_{10} \left(\frac{C}{\lambda} \right) - L(s)$ $(3.85) L(s) = -10 \log_{10} (E_{ap})$ <p>C = Circunferencia de apertura, se puede apreciar en la imagen anterior y su valor es en metros. L(s) es el parámetro de corrección para tener en cuenta la pérdida de directividad debido a la eficiencia de apertura. E_{ap}= Eficiencia de apertura</p>
Desviación máxima de fase [7]	$(3.86) s = \frac{dm^2}{8l\lambda} = \frac{a^2}{2l\lambda}$ <p>Donde a corresponde al radio de apertura (m) y l a la longitud (m). Para saber cuáles serían exactamente estas dimensiones observar la figura previa a la tabla.</p>
Relación diámetro-apertura [7]	$(3.87) dm = 2a$
Diámetro de apertura para directividad óptima [7]	$(3.88) dm = \sqrt{3l\lambda}$
Área efectiva [31]	<p>El área efectiva mostrada gráficamente en función de la frecuencia de la antena cónica es la correspondiente al color verde.</p>  <p>Fig. 3.18. Área efectiva antena cónica [31]</p> <p>Esta imagen corresponde a un artículo en el que se compara la evolución del área efectiva de distintas antenas en función a la frecuencia en la que estén midiendo. Como se ha mencionado anteriormente la función verde es la de la cónica, que es sobre la cual se está realizando el estudio de sus parámetros, pero resulta necesario mencionar que la rosa pertenece a una antena Zigzag, la azul a una St-wire y la naranja a una placa plana.</p>
Impedancia [7]	$(3.89) Z = 120 \ln \left(\frac{\Psi_c}{2} \right)$ <p>Ψ_c = Ángulo de apertura de la bocina, se puede observar en la figura que aparece antes de la tabla.</p>

4. BANDAS DE FRECUENCIA Y COMPARACIÓN RF ENTRE DESCARGAS PARCIALES INTERNAS, SUPERFICIALES Y RUIDO

Una vez explicados los conceptos básicos acerca de las descargas parciales y de las antenas, en este capítulo se tratan las distintas bandas de frecuencia existentes en las que se pueden encontrar diferentes ondas de ruido electromagnético que pueden interferir en las mediciones de las DP, así como la explicación de ellos. Para poder observar con mayor claridad cómo afectan estos ruidos a las mediciones se muestran dos ensayos de medida de descargas parciales internas y superficiales, mediante el PDS100 donde se pueden observar medidas de ruido y de DP.

4.1. Bandas de frecuencia

Los ruidos electromagnéticos que aparecen en los ensayos de medición de DP representan un problema de gran importancia a la hora de analizar los resultados, ya que al no poder separar la energía emitida por las DP de las ondas que son consideradas como ruido y que también transportan energía, no se puede saber exactamente cuál es la DP y en qué frecuencia se está produciendo. Por ello resulta necesario caracterizar los ruidos que se pueden encontrar en las medidas, en este caso el estudio se centra en aquellos que aparecen en la medición de DP mediante el PDS100 el cual tiene un rango de frecuencia de 50-1000 MHz. Por tanto, los ruidos que se pueden encontrar en estas frecuencias son los producidos por las ondas de radio, TV, DAB y 3G-GSM.

Antes de explicar los ruidos que se nombran anteriormente, es conveniente definir las bandas de frecuencia existentes en las que se pueden encontrar y a cuyo conjunto es denominado como espectro radioeléctrico.

Según el Artículo 2 de la Sección 1 del Reglamento de Radiocomunicaciones de su edición del 2012, el espectro radioeléctrico se subdivide en nueve bandas de frecuencia [32].

Tabla 4 1. Bandas de frecuencia

Banda	Denominación	Gama de frecuencia	$\lambda_{\max}/\lambda_{\min}$
VLF	Very Low Frequency	3 KHz – 30 KHz	100 Km – 10 Km
LF	Low Frequency	30 KHz – 300 KHz	10 Km – 1Km
MF	Medium Frequency	300 KHz – 3MHz	1 Km – 100 m
HF	High Frequency	3 MHz – 30 MHz	100 m – 10 m
VHF	Very High Frequency	30 MHz – 300 MHz	10 m – 1 m
UHF	Ultra High Frequency	300 MHz – 3 GHz	1 m -10 cm
SHF	Super High Frequency	3 GHz – 30 GHz	10 cm – 1 cm
EHF	Extremely High Frequency	30 GHz – 300 GHz	1 cm – 1 mm
		300 GHz – 3000 GHz	< 1 mm

Dentro de la diferenciación de las diferentes bandas de frecuencia, es importante destacar las bandas de frecuencia de microondas existentes. Son las siguientes [32]:

Tabla 4 2. Bandas de microondas

Banda	Gama de frecuencia	$\lambda_{\max}/\lambda_{\min}$
L	1 GHz – 2 GHz	30 cm – 15 cm
S	2 GHz – 4 GHz	15 cm – 7,5 cm
C	4 GHz – 8 GHz	7,5 cm – 3,75 cm
X	8 GHz – 12,4 GHz	3,75 cm – 2,42 cm

El rango de frecuencias que pertenece a las microondas está establecido en las bandas de frecuencia SHF y EHF. Como se puede observar en la tabla anterior sus longitudes de onda se encuentran comprendidas entre 30 y 1 cm. Existen más microondas, las cuales son superiores a los 40 GHz y se denominan milimétricas

4.1.2. Ruido electromagnético

A continuación se muestran mediciones de ruido realizados con el PDS100 mediante la antena W889, mediciones realizadas por Yorgo Psonis Sánchez, compañero de carrera que realiza la continuación de este trabajo. Como se ha mencionado anteriormente hay cuatro tipos de ruido electromagnético que afectan en las mediciones con el PDS100. En la tabla se muestran cuales son y se les identifica con un color.



Las imágenes que se muestran han sido convertidas a Excel para una mejor observación de los valores.

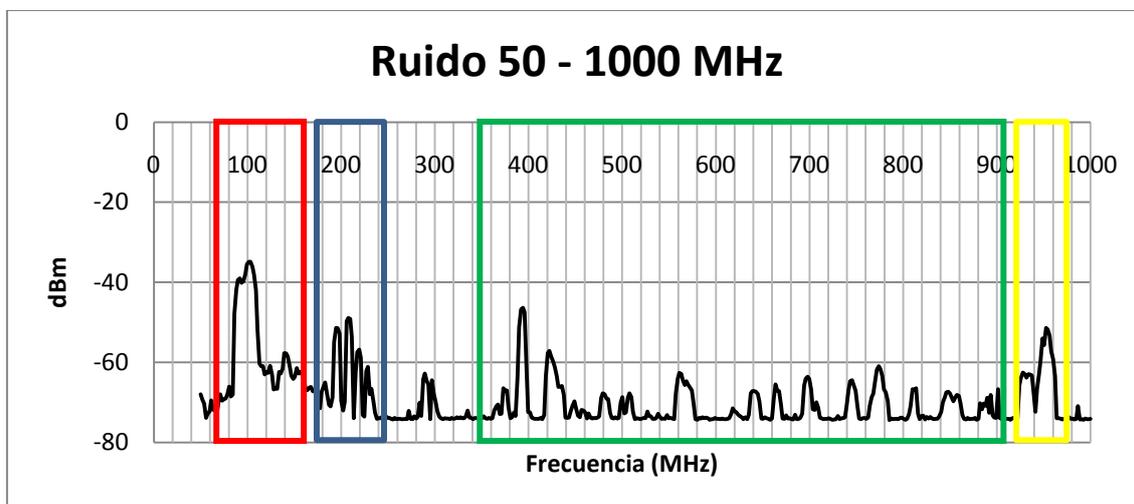


Fig. 4.1. Ruido en rango de frecuencia 50-1000 MHz [33]

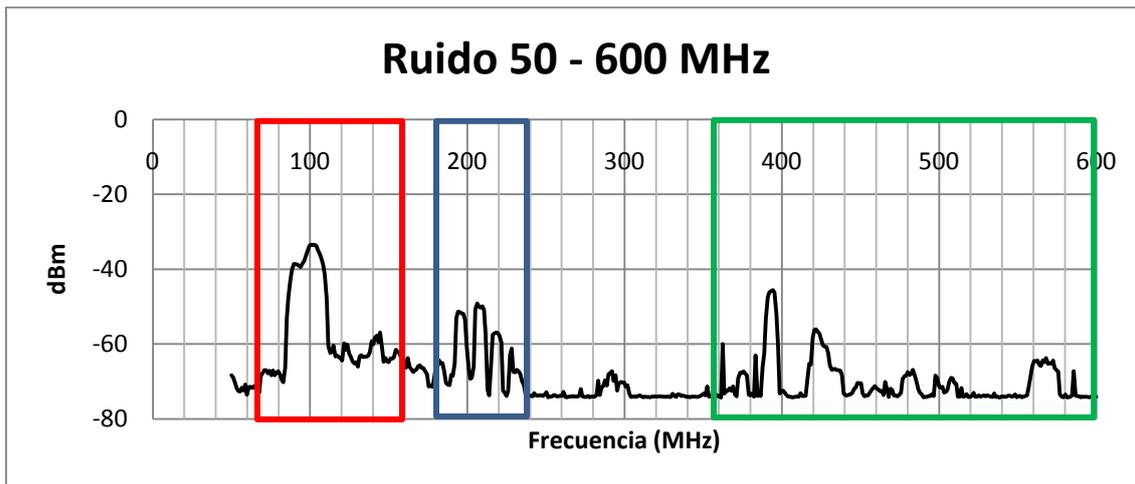


Fig. 4.2. Ruido en rango de frecuencia 50-600 MHz [33]

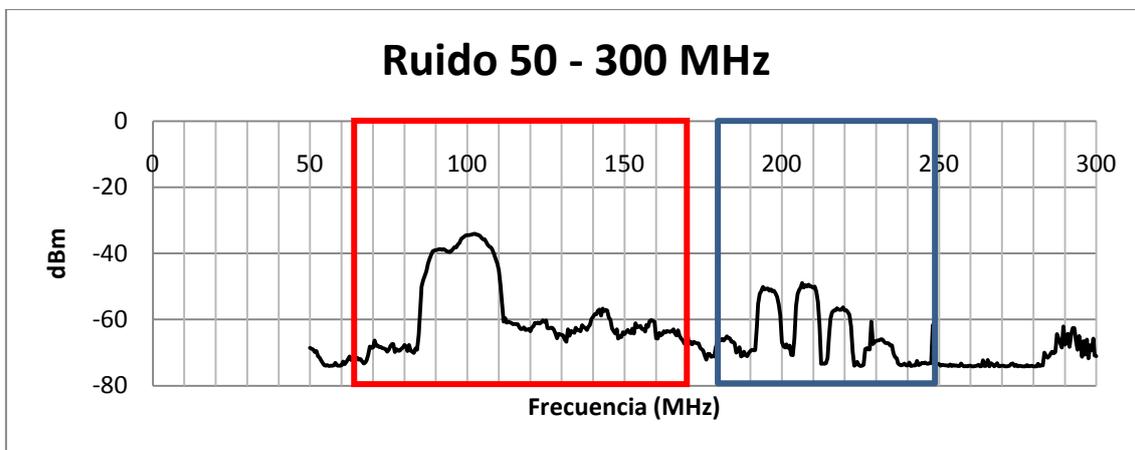


Fig. 4.3. Ruido en rango de frecuencia 50-300 MHz [33]

4.1.2.1 Radio FM

La banda de frecuencia utilizada en la radiodifusión sonora, en ondas métricas con modulación de frecuencia, es la comprendida entre los 87,5 MHz y los 108 MHz. Estas frecuencias se encuentran dentro de la banda de frecuencia VHF (Very High Frequency) la cual tiene una banda que va desde los 30 MHz hasta los 300 MHz.

Esta gama de frecuencias de la radio FM está reflejada en la nota de utilización UN-17 del Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF), que debe de estar en concordancia con el Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora de Ondas Métricas con Modulación de Frecuencia, aprobado por el Real Decreto 964/2006, de 1 de septiembre.

En esta banda de frecuencia comprendida entre los 87,5 y los 108 MHz, existe una subdivisión en 36 rangos de frecuencia, estos rangos tienen cada uno de ellos un gran número de emisoras. De tal manera que el número total de emisoras que emiten sus señales es de 634 [34].

4.1.2.2 Televisión analógica (TV)

La banda de frecuencias establecida para la televisión analógica (TV), según la nota de utilización UN-35 del Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF), es la comprendida entre 470 MHz y 830 MHz. Por lo que se puede identificar que estas frecuencias pertenecen a la

banda de frecuencia UHF (Ultra High Frequency) cuyo rango de frecuencia es el comprendido entre 300 MHz y 3 GHz.

El uso de estas frecuencias está regulado en función a los Planes Técnicos Nacionales y se utilizarán exclusivamente por aquellas entidades que estén habilitadas y autorizadas para la prestación de servicios de televisión terrenal.

A partir del 30 de abril de 2010 dejaron de emitirse en España las emisiones de televisión analógica, siendo sustituidas por las emisiones de televisión digital (TD) [34].

4.1.2.3 DAB (Digital Audio Broadcasting)

La radiodifusión de audio digital, nombrada mediante las siglas DAB (Digital Audio Broadcasting), es un estándar basado en la emisión de radio digital. Esto fue desarrollado como un proyecto de investigación por parte de la Unión Europea.

La radiodifusión de audio digital, ha sido desarrollada para que pueda ser utilizada tanto por dispositivos domésticos como portátiles. Su difusión se realiza mediante satélites.

La DAB utiliza las siguientes frecuencias en España:

- De 195 a 216 MHz destinada al ámbito territorial.
- De 216 a 223 MHz destinada al ámbito nacional.
- De 1452 a 1467,5 MHz destinada al ámbito local.
- De 1467,5 a 1495 MHz destinada al ámbito local.

Como se puede observar, las bandas de frecuencias destinadas al ámbito territorial y local pertenecen a la banda de frecuencia VHF (Very High Frequency) la cual comprende las frecuencias entre los 30 MHz y los 300 MHz. Mientras que las dos restantes, que están destinadas al ámbito local, pertenecen a una banda de frecuencia con mayor rango de frecuencias, se trata de la UHF (Ultra High Frequency) cuyo rango de frecuencia corresponde a aquellas comprendidas entre los 300 MHz y los 3 GHz [35], [36].

4.1.2.4 3G-GSM

La tecnología 3G o tercera generación es la respuesta que se da a la especificación IMT-2000 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, y que se refiere a la tercera generación de comunicaciones inalámbricas 3G [37].

Este tipo de tecnología utiliza dos bandas de frecuencia:

- 3G – De 900 a 2100 MHz.
- GSM – De 900 a 1800 MHz.

Ambos rangos de frecuencia están comprendidos dentro de la banda de frecuencia UHF (Ultra High Frequency) que comprende aquellas frecuencias establecidas entre los 300 MHz y los 3 GHz.

La tecnología 3G hace posible que se pueda transmitir voz y datos, en el caso de una llamada, además de permitir la transferencia de datos no-voz, este término se refiere por ejemplo a la utilización de correo electrónico, el uso de internet y la descarga de programas, entre otras utilidades.

A continuación se muestra un gráfico en el que aparecen las bandas de frecuencia utilizadas por las principales compañías telefónicas en España.

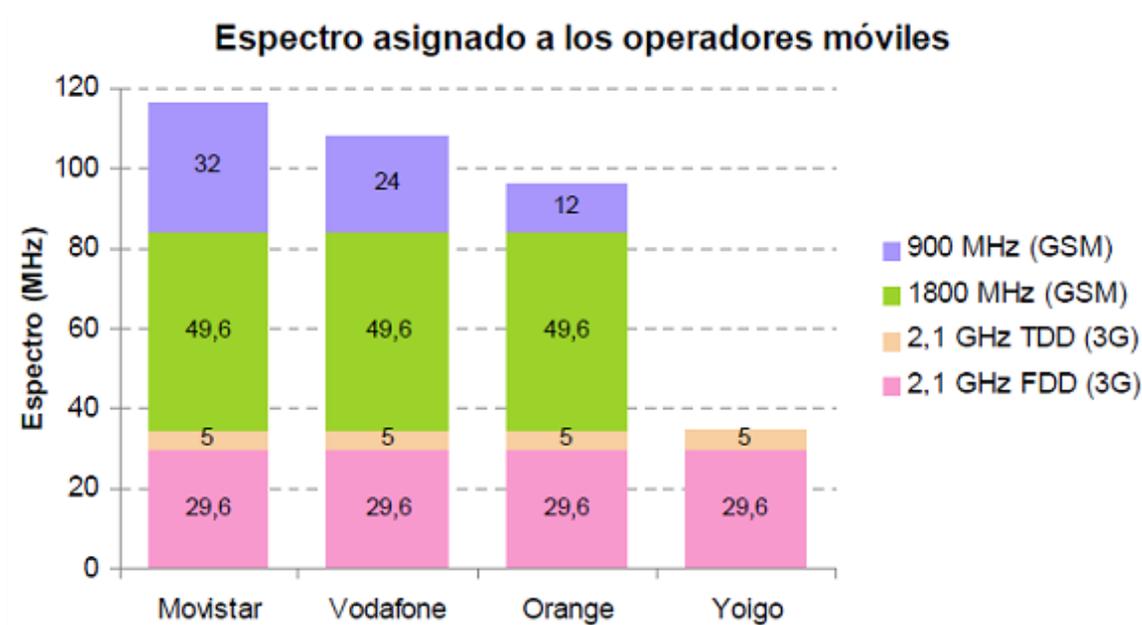


Fig. 4.4. Frecuencias utilizadas por compañías telefónicas en España [38]

4.1.3. Comparación RF de descargas parciales-ruido

A continuación se muestran ejemplos de medida de DP internas y superficiales frente a medidas de ruido. Las gráficas que se muestran se deben a ensayos de laboratorios realizados por Yorgo Psonis Sánchez que como se ha mencionado anteriormente, es un compañero de carrera cuyo trabajo de fin de grado es la continuación al presente trabajo y en compañía y supervisión del tutor de este proyecto y del suyo Ricardo Albarracín Sánchez.

Los ensayos fueron realizados en el laboratorio LINEALT del departamento de electricidad de la UC3M y utilizándose para ello el mencionado dispositivo PDS100 al que se le acopló la antena W 889.

4.1.3.1 DP internas-ruido electromagnético

Para la realización del ensayo de DP internas el objeto utilizado es papel Nomex de 11 capas. Se trata de un papel aislante de ranura de un transformador cuyo grosor es 0,35 mm dando un grosor total de 3,85 mm. Las cinco capas intermedias de este conjunto presentan un hueco de diámetro de 1 mm, con ello lo que se pretende es simular las imperfecciones que se pueden encontrar en un aislamiento real. El papel se encuentra dentro de una bolsa de vacío llena de aceite y todo ello está introducido en una cuba de metacrilato entre dos electrodos, uno a potencial y otro conectado a tierra. Lo que se hace es ir aportándole tensión al conjunto de forma gradual hasta llegar a los 14,5 kV de nivel de tensión en el ensayo [33].



Fig. 4.5. Objeto ensayo DP internas: Papel aislante de ranura de transformador [33]

El resultado obtenido por el PDS100 en el rango de frecuencias 50-1000 MHz, una vez convertido a Excel para una mejor visualización es:

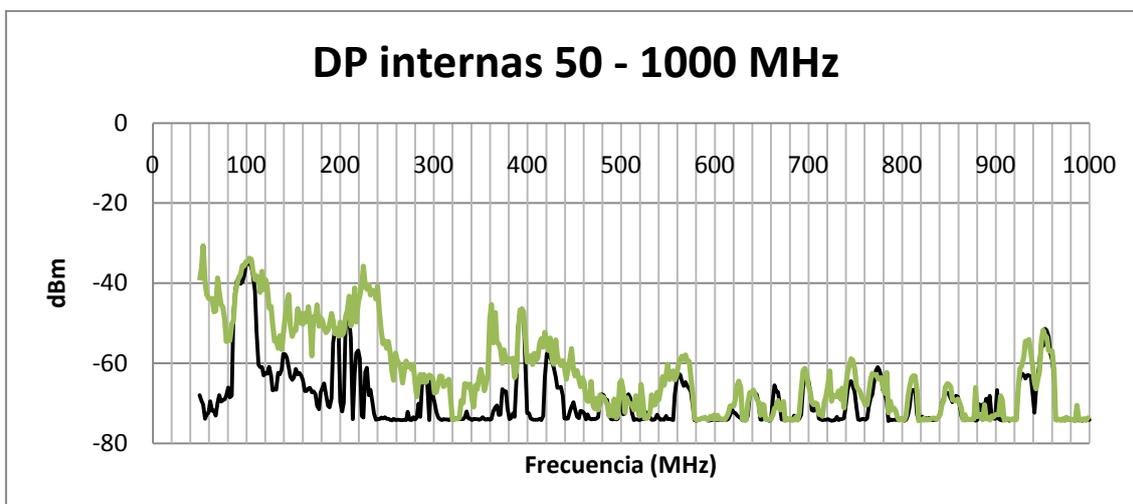


Fig. 4.6. DP internas-ruido con rango de frecuencia 50-1000 MHz [33]

En la gráfica aparece una medida previa de ruido realizada por el PDS100 (función negra) y la otra corresponde a la medida de DP internas (función verde), esta señal corresponde a la suma de energía de las ondas de ruido electromagnético y de las DP. Por lo tanto en aquellos puntos en los que la diferencia entre las dos señales sea significativa es donde se están produciendo las DP.

A continuación se muestran nuevas medidas en las que, lo que se ha hecho es disminuir el rango de frecuencias para obtener de esta manera una mayor precisión en las medidas. Estas corresponden a los rangos: 50-600 MHz y 50-300 MHz.

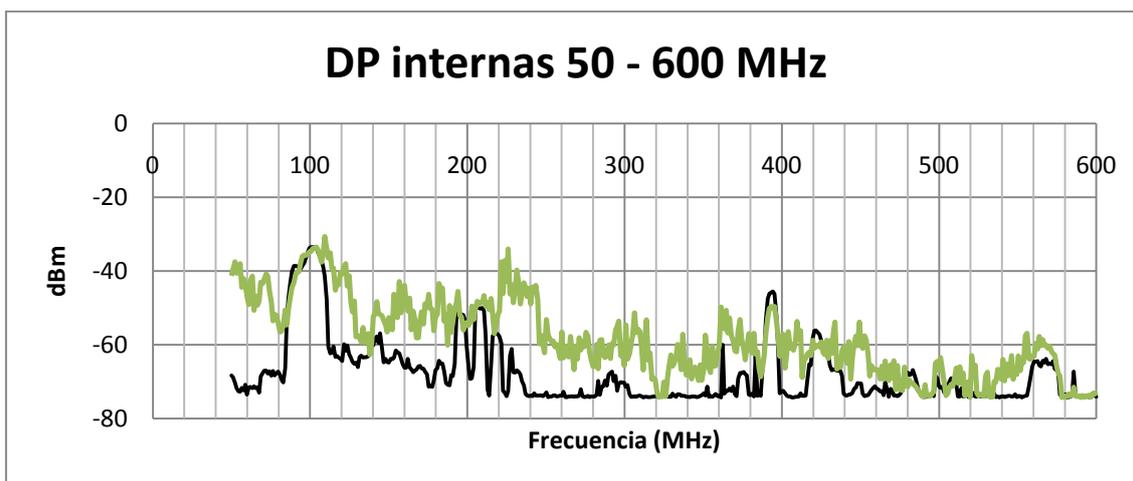


Fig. 4.7. DP internas-ruido con rango de frecuencia 50-600 MHz [33]

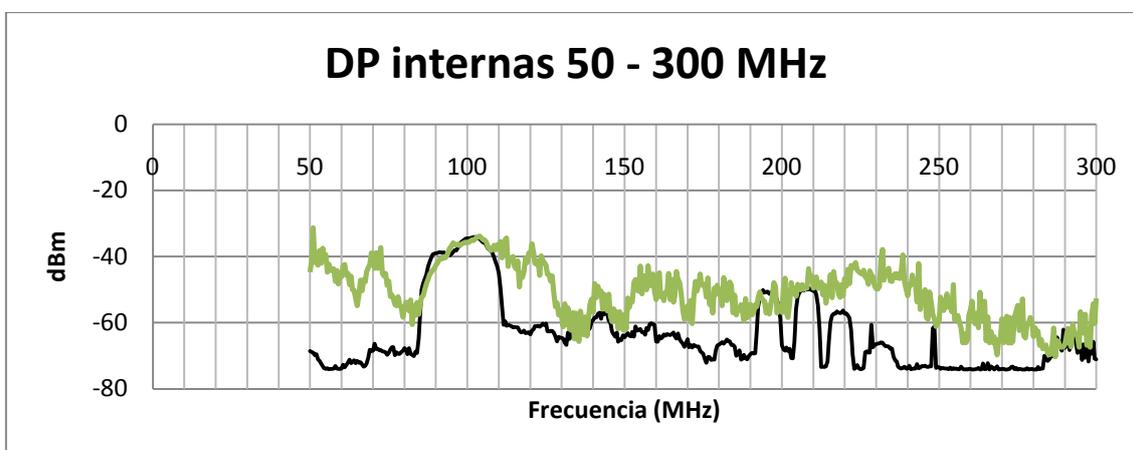


Fig. 4.8. DP internas-ruido con rango de frecuencia 50-300 MHz [33]

Tras observar las tres imágenes donde aparecen las medidas de ruido electromagnético (función negra) y en las que aparecen las DP internas (función verde), se puede apreciar que para este objeto de ensayo existe una gran presencia de DP en el rango de 100 a 300-350 MHz aproximadamente.

4.1.3.2 DP superficiales-ruido electromagnético

Para medir las DP superficiales, el objeto de ensayo en este caso es una lámina de 1 mm de espesor de polietileno. La tensión aplicada a la lámina para que se produzcan este tipo de DP no es elevada, se trata de 1,6kV [33].



Fig. 4.9. Objeto de ensayo DP superficiales: Lámina 1mm de polietileno [33]

Al igual que en el objeto de ensayo anterior, para realizarlo el PDS100 mide primero el ruido electromagnético presente y tras ello mide el conjunto de energía electromagnética emitida por las DP y por el ruido electromagnético.

A continuación se muestra un gráfico donde aparece la comparativa entre la energía de la señal de ruido electromagnético y la señal que suma esta energía más la de las DP. La medición ha sido transformada a Excel para una mejor visualización, al igual que en el ensayo anterior y el rango de frecuencia en el que se muestra es 50-1000 MHz.

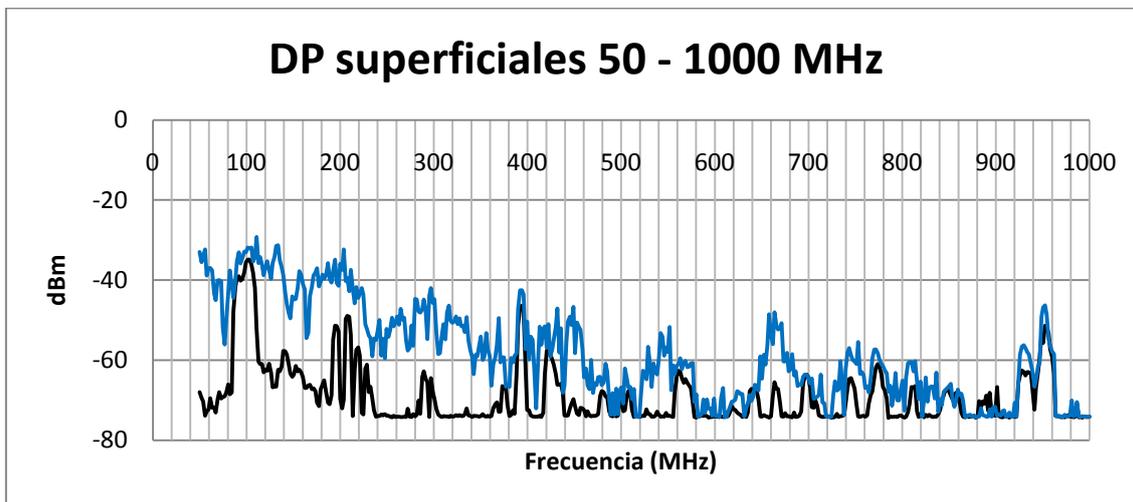


Fig. 4.10. DP superficiales-ruido con rango de frecuencia 50-1000 MHz [33]

La señal negra que aparece en la gráfica corresponde a la onda de ruido electromagnético medida antes del ensayo y la azul corresponde a la suma de energía de las DP superficiales y del ruido electromagnético.

En esta primera imagen se puede observar que existe una gran presencia de DP superficiales en el rango de frecuencia de 0 a 500 MHz aproximadamente y además hay presencia de DP superficiales en torno a los 650-670 MHz. Esto se debe a la diferencia entre las dos señales.

Para una mayor precisión de estas medidas, se han realizado también ensayos pero dando un menor rango de frecuencia.

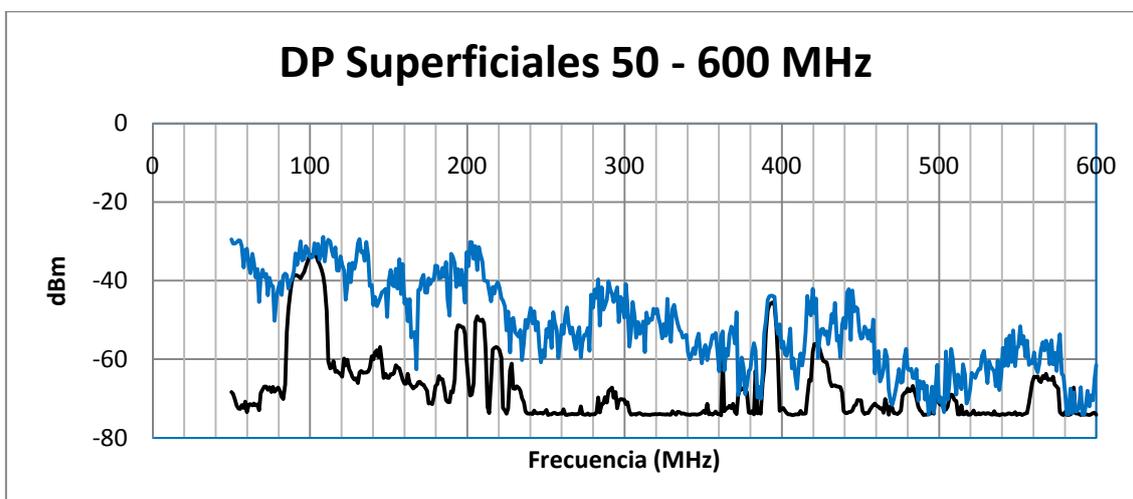


Fig. 4.11. DP superficiales-ruido con rango de frecuencia 50-600 MHz [33]

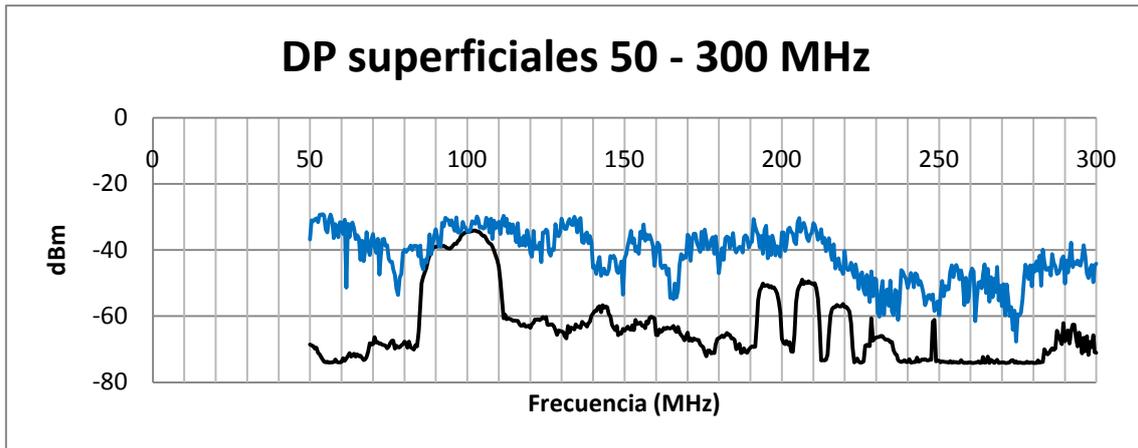


Fig. 4.12. DP superficiales-ruido con rango de frecuencia 50-300 MHz [33]

5. PRESUPUESTO

PRESUPUESTO PARA LA REALIZACIÓN DE MEDICIONES DE DESCARGAS PARCIALES EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS CON DISPOSITIVO PDS100.

- 1) Inversión inicial para la adquisición de los recursos materiales (hardware, software y tangibles), necesarios para realizar las mediciones.

UNIDAD	DESCRIPCIÓN	IMPORTE (€)
	RECURSOS DE HARDWARE	
1	PC	800,00
1	Impresora	100,00
	RECURSOS DE SOFTWARE	
1	Microsoft Windows 8 Pro. Licencia	221,19
1	Microsoft Office Professional 2013. Licencia	344,09
	RECURSOS TANGIBLES	
1	PDS100	10.000,00
	IMPORTE TOTAL	11.465,28

- 2) Contratación de recursos fungibles

En un trabajo de medición de DP se tendrá en cuenta que los costes variarán en función al tiempo de duración del mismo. Estos costes dependientes del tiempo son:

Contratación de Graduado en Ingeniería Eléctrica	Precio = 31,18 h	€
Acceso a internet	Precio = 25 m	€
Material de oficina, copias y planos de instalaciones.	Precio = 32 m	€

En donde h se refiere a las horas y m al número de meses.

Por lo tanto el coste total sin I.V.A. para este trabajo de medición, en función a variables de tiempo es el siguiente:

$$(5.1) CT = 11.465,28 + 31,18h + (25 + 32)m \text{ (€)}$$

Para obtener el importe presupuestado hay que tener en cuenta el I.V.A (21%), por lo que el resultado final sería:

$$(5.2) IP = CT + 0,21CT \text{ (€)}$$

- Se indica a continuación un supuesto de costes para realizar mediciones durante dos meses en una subestación eléctrica, tomando como base los costes presupuestados en la tabla anterior. De la inversión inicial realizada en la adquisición de recursos materiales, se ha estimado una repercusión aproximada por meses, considerando un periodo de amortización de 24 meses para recursos de Hardware, 12 meses para Software y 48 meses para el PDS100.

UNIDAD	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN	P. UNITARIO(€)	IMPORTE (€)
	RECURSOS HUMANOS			
Horas	Graduado en I. Eléctrica	320	31,18	9.977,60
	RECURSOS MATERIALES			
	<i>RECURSOS DE HARDWARE</i>			
Meses	PC	2	33	66
Meses	Impresora	2	4,16	8,32
	<i>RECURSOS DE SOFTWARE</i>			
Meses	Microsoft Windows 8 Pro. Licencia	2	18,43	36,86
Meses	Microsoft Office Professional 2013. Licencia	2	28,67	57,43
	<i>RECURSOS FUNGIBLES</i>			
Meses	Acceso a internet	2	25	50
Meses	Material de oficina	2	32	64
	<i>RECURSOS TANGIBLES</i>			
Meses	PDS100	2	208,33	416,66
	IMPORTE TOTAL			<u>10.676,87</u>
	I.V.A. (21%)			<u>2.242,14</u>
	IMPORTE PRESUPUESTADO			<u>12.919,01</u>

6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Tras la realización de este trabajo, se puede llegar a la conclusión de que la utilización del dispositivo PDS100 representa un gran avance para una medida portátil de DP en RF y sus características y prestaciones superan a las de los dispositivos actuales existentes.

El equipo, con una precisión de ± 100 MHz, permite comparar una medida previa de ruido electromagnético con la medida posterior de DP permitiendo determinar si se están produciendo DP, todo ello en un rango de frecuencia de 50 a 1000 MHz.

Puede ser usado en cualquier subestación que proporcione una visión directa de todos los aparatos de alto tensión. Además, se trata de un instrumento ligero, que puede realizar mediciones y comparar resultados inmediatamente permitiendo exportarlos a un ordenador para posteriores análisis.

El desarrollo de este proyecto, puede considerarse como la base teórica necesaria para posibles trabajos que se realicen en la medición de descargas parciales mediante radiofrecuencia a través de antenas, explicando los elementos principales para la medición de DP en RF (descargas parciales, antenas, frecuencias...), así como del manual del PDS100, dispositivo empleado para la medición de DP, manual imprescindible para el uso y manejo de sus funciones (ajustes de menú, frecuencias, frecuencias de barrido, niveles de referencia, ajuste de trazas, etc.). En base a esto, se realizará un estudio con otras antenas instaladas en el PDS100, para ver cómo influyen estas en la medida de descargas parciales, concretándose el diseño de una antena cónica de banda ancha.

Como continuación al presente trabajo y que se puede considerar como un trabajo futuro, es el que realiza Yorgo Psonis Sánchez, compañero de carrera, cuyo título es "Aplicación práctica del equipo PDS100 para la medición de descargas parciales" centrándose en la medición de las descargas parciales mediante el uso del PDS100". El trabajo se centra en dos ensayos de medida de descargas parciales internas y superficiales, utilizándose el PDS100. En el ensayo de descargas superficiales el objeto de ensayo es papel Nomex de 11 capas al cual se le aplica tensión de forma gradual hasta llegar a 14,5 kV y se miden las DP. Para ello lo que se hace es realizar primero una medida de energía de ruido electromagnético para poder compararla con la medida de DP y se comprueba mediante equipos auxiliares de medida que los resultados obtenidos son correctos. Lo mismo se hace para la medida de descargas parciales superficiales, pero el objeto de ensayo utilizado para ese caso es un electrodo al que se le aplica una tensión de 1,6 kV. Además de realizar estas medidas su trabajo se centra en el análisis más exhaustivo de los resultados obtenidos y en conceptos básicos de descargas parciales y antenas.

7. ANEXO I: MANUAL DEL PDS100

Contenidos

Prólogo

7.1 Prácticas de seguridad del PDS100

7.1.1 Principales riesgos de seguridad del PDS100

7.1.2 Observe las normas de la localización

7.1.3 Tenga en cuenta todas las zonas restringidas

7.1.4 Mantenga una reunión preliminar

7.2 Introducción al PDS100

7.2.1 Visión general del PDS100

7.2.1.1 Características

7.2.1.2 Análisis e inventario

7.2.2 Visión general de la detección de descargas parciales

7.2.2.1 Sobre las trazas de las DP

7.2.2.2 Modos de uso del PDS100 para analizar señal

7.2.2.2.1 Modo analizador de espectro

7.2.2.2.2 Modo de tiempo resuelto

7.2.3 Visión general del hardware del PDS100

7.2.3.1 Conectores e interruptores

7.2.3.2 Batería

7.2.3.3 Panel frontal del PDS100

7.2.3.4 Memoria

7.2.4 Teclas de menú y teclas de función

7.2.5 Uso del teclado

7.3 Procedimiento de análisis

7.3.1 Producción de medidas fiables

7.3.2 Paso 1: Plantear medida

7.3.3 Paso 2: Eliminar las fuentes de RF externas

7.3.4 Paso 3: Establecer el Hardware

7.3.5 Paso 4: Hacer un barrido estándar

7.3.5.1 Configuración de opciones de software

7.3.5.2 Procedimiento

7.3.6 Paso 5: Comenzar a adoptar medidas de RFI

7.3.7 Paso 6: Anotar la firma de RFI y localizar las descargas parciales

7.4 Gestión de datos y firmware

7.4.1 Dos maneras de visualización de señal y datos de RFI

7.4.2 Gestión de datos en el PDS100

7.4.2.1 Como el PDS100 almacena los archivos de rastreo

7.4.2.1.1 Como se crean las carpetas

7.4.2.1.2 Selección manual de la localización del almacenamiento

7.4.2.1.3 Como son nombrados y guardados los archivos de rastreo

7.4.2.2 Copiar archivos de una carpeta del PDS100 a otra

7.4.2.3 Recordar una traza guardada

7.4.2.4 Mostrar varios rastreos

7.4.3 Conexión del PDS100 a un ordenador

7.5 Fuente de información

7.5.1 Opciones de ensayo

7.5.1.1 Valores mostrados en la pantalla del PDS100

7.5.1.2 Modo analizador de espectro

7.5.1.2.1 Periodo de frecuencia

7.5.1.2.2 Modos de pico, media y S.P.A.M

7.5.1.3 Modo de tiempo resuelto

7.5.1.4 Tiempo eléctrico

7.5.1.5 Fijación máxima

7.5.1.6 Nivel de referencia

7.5.1.7 Resolución del ancho de banda

7.5.1.8 Información del lugar

7.5.1.9 Contador de barridos

7.5.1.10 Modo de barrido

7.5.1.11 Índice de barrido

7.5.2 Unidad de instalación (Unit setup)

7.5.2.1. Calibración

7.5.2.2 Reloj y Calendario

7.5.2.3 Instalación de drivers

7.5.2.4 Preajustes

7.5.2.4.1 Crear un preajuste

7.5.2.4 .2 Cargar un preajuste

7.5.2.5 Transferir firmware al PDS100

Especificaciones

Teclas y botones

Prólogo

Esta guía de uso explica cómo usar el hardware y el firmware del Doble PDS100 supervisor de descargas parciales, una herramienta de inspección de interferencia de RF que está diseñada para el uso en una subestación real.

Quién debería leer esta guía

Esta guía está pensada para cualquier persona que trabaja con el PDS100. Se asume que el lector está familiarizado con los estándares profesionales y las prácticas de seguridad.

Documentos convencionales

Fuentes

Este documento usa dos fuentes especiales para identificar determinados tipos de información:

- Negrita para identificar software de control y texto que debes introducir. Por ejemplo: Escribe **1500ms** y pulse **Close**.
- El monoespaciado identifica texto que se visualiza en el interfaz del usuario, como por ejemplo un mensaje de error. `U p l o a d i n g t e s t r e s u l t s .`

Notas y advertencias

Este documento usa tres niveles de notificación (nota, atención y advertencia) para atraer su atención a información de especial importancia, como las siguientes:



¡Nota! Las notas proveen de información adicional que puede que sea aplicada sólo en algunas circunstancias.



¡Atención! Estas señales proveen de información que previenen del daño de hardware o de datos.



¡Advertencia! Las advertencias proveen de información que previene de heridas o muerte a cualquiera cerca del equipo de prueba o del equipamiento de alto voltaje.

Documentos relacionados

Los siguientes documentos pueden ser de interés

- PDS100 Guía de inicio rápido (PN 20.201.53)
- PDS Visor de guía de uso (PN 20.201.54)

7.1. Prácticas de seguridad del PDS100

Este capítulo trata sobre los riesgos de seguridad que puedes encontrar mientras usas el PDS100.

7.1.1. Principales riesgos de seguridad del PDS100

Tres riesgos de seguridad que acompañan el uso del PDS100 son:

- Los **riesgos eléctricos** están siempre presentes en subestaciones. Mantener siempre el PDS100 y usted mismo dentro del enfoque seguro de distancia de los conductores energizados.
- Las **distracciones** pueden causar que olvide donde está. No se centre en los rastros de la pantalla, tropezará con cosas o caminará por zonas restringidas. ¡Recuerde donde se encuentra en todo momento!
- El **enredo de la antena** en líneas aéreas, cadenas unidas, vallas y otros objetos. Siempre ser consciente de la antena. Cerrarla antes de andar desde una parte de la subestación a otra. Mantenerse siempre en la distancia de seguridad

7.1.2. Observe las normas de la localización

Las compañías que generan, transmiten, distribuyen o utilizan electricidad de alto voltaje, tienen sus propios procedimientos de seguridad. Observe todos sus procedimientos y requisitos. **Sus normas y todas las regulaciones gubernamentales relacionadas tienen prioridad sobre las recomendaciones de Doble.**

7.1.3. Tenga en cuenta todas las zonas restringidas



¡Advertencia! Nunca deje la antena tocando aparatos eléctricos conectados a tierra o sin conexión.

Debido a que los aparatos realizando medidas pueden fallar:

1. Planifique la ruta del test cuidadosamente y marque todas las zonas restringidas. Para más información véase: "Paso 1: Plan de medida".
2. Permanecer dentro de las distancias de seguridad. Sea consciente de la antena en todo momento y asegúrese que está a una distancia segura de los campos eléctricos.

7.1.4. Mantenga una reunión preliminar

Mantenga una reunión preliminar con su equipo y con todo el mundo que estará trabajando en las inmediaciones del equipo que va a ser examinado.

- Asegúrese de que todos los miembros del equipo entienden los objetivos y peligros de las pruebas.
- Asegúrese de que todo el mundo entiende que andará alrededor de la instalación y explique qué pruebas realizarán.
- Averigüe si alguna otra prueba llevada a cabo en la subestación puede interferir con sus pruebas y actúe en consecuencia.

7.2. Introducción al PDS100

Este capítulo describe las características del PDS100, proporciona una introducción de la detección de descargas parciales, y revisa los controles de hardware del PDS100. Contiene las siguientes secciones:

- Visión general del PDS100.
- Visión general de la detección de descargas parciales.
- Visión general del hardware del PDS100.
- Teclas de menú y teclas de función.
- Uso del teclado.

7.2.1. Visión general del PDS100

El PDS100 medidor de descargas parciales es un dispositivo portátil, alimentado con batería, que detecta la interferencia de RF desde la descarga parcial que es emitida por la mayoría de los componentes de la subestación con aislamiento defectuoso o degradado.

El aparato usa exploración de RF, no invasivo, en el servicio de prueba que mide las señales electromagnéticas producidas por las descargas parciales. El PDS100 puede ser usado en cualquier estación de potencia que proporcione una visión directa de todos los aparatos de alto voltaje. Debido a que las descargas pueden propagarse desde los bujes de alto voltaje, el aparato puede detectar descargas desde transformadores y elementos revestidos de metal.



Fig. 7.1. El PDS100

7.2.1.1 Características

El PDS100 está provisto de las siguientes características:

- Ligero instrumento de mano.
- Dos tipos de pantallas gráficas de descargas parciales: (1) como una frecuencia predeterminada en modo de tiempo resuelto; (2) como una frecuencia patrón en modo de análisis de espectro.
- Habilidad para cubrir rastreos y comparar resultados inmediatamente.
- Habilidad para exportar rastreos al ordenador para posteriores análisis.

- Salida de audio y auriculares que hacen posible escuchar la presencia de interferencias de RF en modo de tiempo resuelto.
- Conexión a dispositivos como el Doble-Lemke UHF válvula de drenaje, RFCTs, sonda TEV y antena de pozo.

7.2.1.2 Análisis e inventario

La siguiente tabla muestra los componentes estándar enviados con el PDS100.

Tabla 7 1. Componentes enviados con el PDS100

Cantidad	Descripción
1	PDS100- Instrumento
1	PDS100 en una caja con insertos de espuma
1	Correa para el cuello
1	Antena (Diamond RH789)
1	Funda de antena
1	Conjunto de auriculares
1	Cable USB
1	Adaptador de DC
1	PDS100 Cd de instalación
1	PDS100 Guía de uso
1	PDS100 Guía de inicio rápido
1	Certificado de calibración

Verifique que cada componente ha sido proporcionado y que no hay daños ni en la caja ni en ninguno de los componentes de su interior.



¡Atención! No se devuelven los instrumentos que muestren signos de daño.

7.2.2. Visión general de la detección de descargas parciales

La interferencia de RF de descargas parciales es una actividad intermitente de bajos pulsos de energía que pueden ser detectados sobre un ancho rango de frecuencias. La atenuación de la RFI originada desde las descargas parciales es proporcional a la frecuencia y distancia de la fuente de la descarga parcial. Si determinada descarga parcial contiene componentes de alta frecuencia, lo probable es que la fuente que sea fuerte esté cerca. Cuanto más lejos esté el PDS100 de la fuente, mayor será la atenuación de la señal.

Mientras la telemetría ordinaria está caracterizada por una señal con polarización o dirección, la RFI de las descargas parciales es estática o intermitente. Las señales telemétricas

tienen un significativo valor medio que les permite llevar información. En contraste la descarga parcial es activa por altos voltajes y las señales de RFI son emitidas como pulso agudos con altos picos y baja media. Las descargas parciales aceleran cargas en el conductor, y este conductor, que se encuentra cerca de la zona de localización de la descarga parcial, se convierte en la antena de transmisión. El momento y el lugar del pico de pulso están determinados por el tipo de defecto del aislamiento y voltaje. La actividad de RFI está estrechamente ligada a la frecuencia de utilidad (normalmente 50 o 60 Hz).



¡Nota! Al encenderlo, el PDS100 tiene una velocidad de barrido estándar de 50 Hz. Mire “Velocidad de barrido” con instrucciones para cambiar este escenario.

7.2.2.1 Sobre las trazas de descargas parciales

Tenga en cuenta los siguientes aspectos:

- La corona y las descargas superficiales pueden llevar RFI a 250 MHz, dependiendo de factores medioambientales y de las condiciones de los aparatos.
- Las descargas parciales internas pueden extenderse a RFI cercanas a los 1000 MHz.
- Para capturar el rango completo de la actividad de RFI en un punto de interés, tome varias exploraciones para ingresar datos de un rastreo y extienda el tiempo eléctrico para asegurarse que es registrada la imagen completa.
- Puede ser necesario ajustar la frecuencia y la escala de dB para asegurarse que la amplitud completa del espectro electromagnético es capturada.

La figura mostrada a continuación es un escáner inicial de ruido de fondo que muestra dos señales portadoras alrededor de 620 y 905 MHz. Tenga en cuenta que los barridos contados son igual a 1.

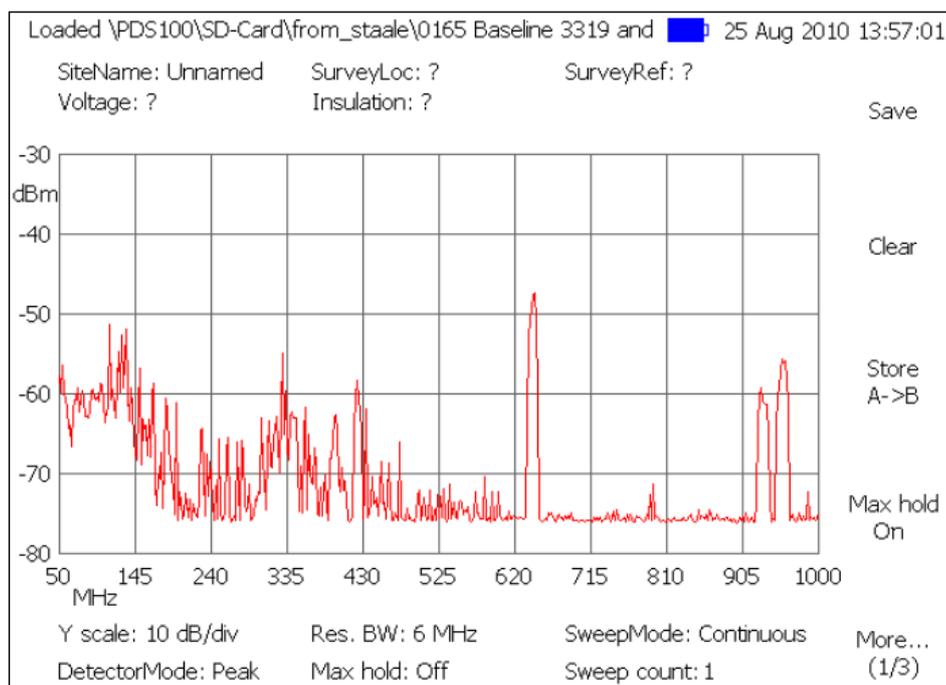


Fig. 7.2. Escáner inicial

En la siguiente figura hay representados pulsos de RFI que son detectados mediante la ejecución de 10 barridos con la fijación máxima en modo ON. Tenga en cuenta que el contador de barrido es igual a 10.

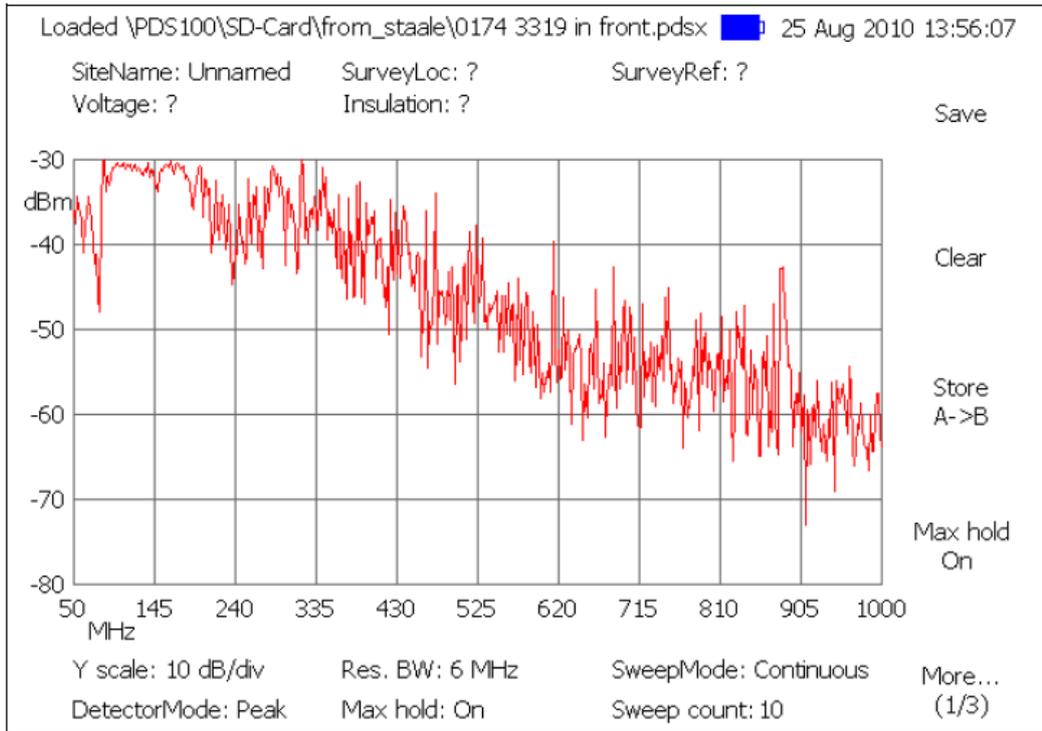


Fig. 7.3. Escáner con la fijación máxima en modo ON

- Cuando comparamos con la referencia, alta amplitud y altas señales muestran la extensión de la actividad de la descarga parcial.

A continuación se muestra un barrido de RFI indicando la actividad de la descarga parcial (negra), comparándola con el barrido de referencia (roja).

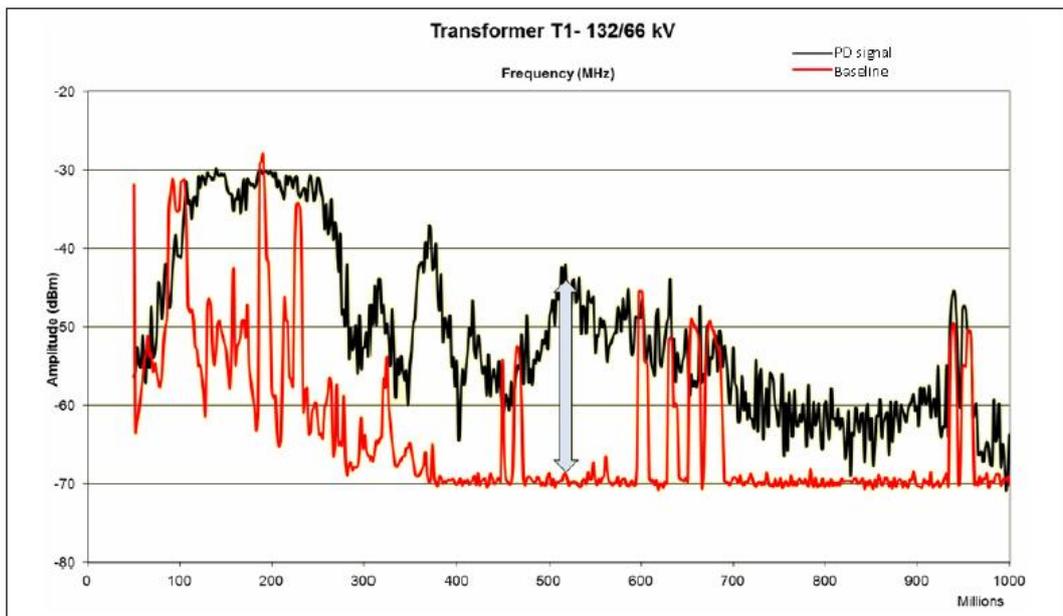


Fig. 7.4. Traza de RFI (negra) comparada con el rastreo de referencia (roja)

7.2.2.2 Modos de uso del PDS100 para analizar rastreos

El análisis de espectro y el modo de tiempo resuelto proporcionan diferentes formas de mostrar y analizar los rastreos de RFI.

7.2.2.2.1 Modo analizador de espectro

Este modo muestra gráficamente la amplitud del RFI en decibelios con respecto a su referencia. Este modo de barrido a través del rango de frecuencia ajustado usa un ancho de banda comprendido entre 1 y 6 MHz en un tiempo eléctrico, detecta la potencia de señal radiada y la muestra en la pantalla para su respectiva frecuencia. Para una exposición completa de este modo, ver “Modo analizador de espectro”.

7.2.2.2.2 Modo de tiempo resuelto

Este modo muestra gráficamente la amplitud de la RFI en dB con respecto al tiempo. Permite ver si la medida de la señal de RFI está correlacionada con el poder de frecuencia (50 o 60 Hz) de la subestación que está siendo medida. La longitud de la ventana del tiempo está también relacionada con la frecuencia de la subestación, cada 20 ms (50 Hz) o 16,67 ms (60 Hz). Un solo pulso o tren de pulsos dentro de la ventana de tiempo pueden indicar de la presencia de RFI asociadas con descargas parciales. Para una exposición completa de este modo ver “Modo de tiempo resuelto”.

7.2.3. Visión general del hardware del PDS100

7.2.3.1 Conectores e interruptores de encendido

La placa de conexión está localizada en la parte superior del instrumento. Todas las conexiones están representadas en la siguiente figura.

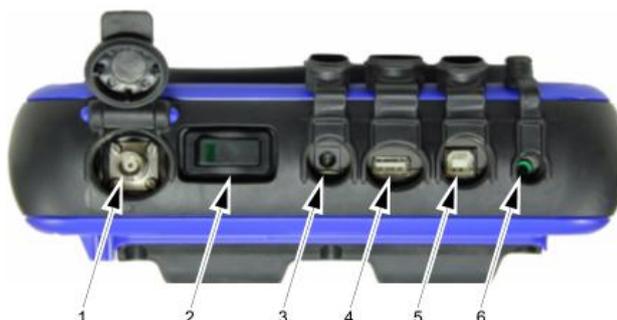


Fig. 7.5. Conectores del PDS100

- 1- Antena. Acepta los conectores BNC de sensores como la antena. Se bloquea cuando está correctamente conectada.
- 2- Alimentación ON/OFF. Cuando está en modo ON, se enciende una luz verde en el interruptor.
- 3- Fuente de DC. Adaptadores de 12 V de DC.
- 4- USB A. Acepta aparatos como drivers, teclado o ratón. Este puerto no puede ser usado para transferir datos.
- 5- USB B. Para conectarlo con el ordenador y transferir datos.
- 6- Auriculares. Conectar los auriculares suministrados con el PDS100.

7.2.3.2 Batería

El panel desmontable en la parte trasera del PDS100 permite acceder a la batería.



Fig. 7.6. Panel de acceso a la batería

El PDS100 llega con la batería cargada completamente. En operación normal, que incluye luz de fondo, la batería dura 4 horas. Para mayor uso de la batería, apague la luz de fondo pulsando el interruptor rojo en la parte frontal del PDS100. Para localizar el interruptor ver la figura 7.8.

El cargador de batería incorporado, trabaja con cualquier adaptador 12-18 V con clavija de 5,5 mm (7/32") con centro positivo.



Fig. 7.7. Polaridad del cargador de la batería (12-18 V DC)

Para cargar rápidamente la batería, no usar el PDS100 mientras se está cargando. El tiempo de recarga se alarga cuando la unidad está en uso.

7.2.3.3 Panel frontal del PDS100

La figura mostrada a continuación muestra los botones y teclas del panel frontal del PDS100.



Fig. 7.8. Panel frontal del PDS100

1. Botón de luz de fondo. Conmuta la luz en ON y OFF.
2. Teclas de función. Permiten acceder a la configuración del aparato.
3. Teclas de menú. Proporcionan rutas de acceso a todas las funciones del aparato, como frecuencia, barridos y escala de ajustes.
4. Teclas de función alfanuméricas. Introducen números y letras en los campos de diálogo de la interfaz usada.
5. Teclas de marcar. En modo análisis de espectro, estas teclas posicionan la marca en las trazas. En modo de tiempo resuelto aumentan o disminuyen el volumen de los auriculares.
6. Botón Start/Stop. Pone en marcha o para las medidas.

7.2.3.4 Memoria

El PDS100 está provisto de 50 MB de memoria RAM no volátil para almacenar el firmware (aproximadamente 25 MB) y los archivos rastreados. Estos archivos pueden variar entre 15 y 30 KB de tamaño. Por tanto, a 30 KB por rastreo, la capacidad de almacenamiento es de 830 rastreos. 1 GB adicional de memoria está disponible en el PDS100 pero requiere cambios en las opciones de almacenamiento (ver “Gestión de datos en el PDS100”).

Si requiere más almacenamiento, un pendrive USB o un disco duro USB pueden ser conectados al puerto USB A.

7.2.4. Teclas de menú y teclas de función

Cuando se presionan, cada tecla de menú muestra un conjunto de etiquetas a la derecha de la ventana. La figura que aparece a continuación muestra las etiquetas que aparecen cuando presionas la tecla de menú Scale (Ref. level, Ref. level up, Ref. level down, e Y escala).

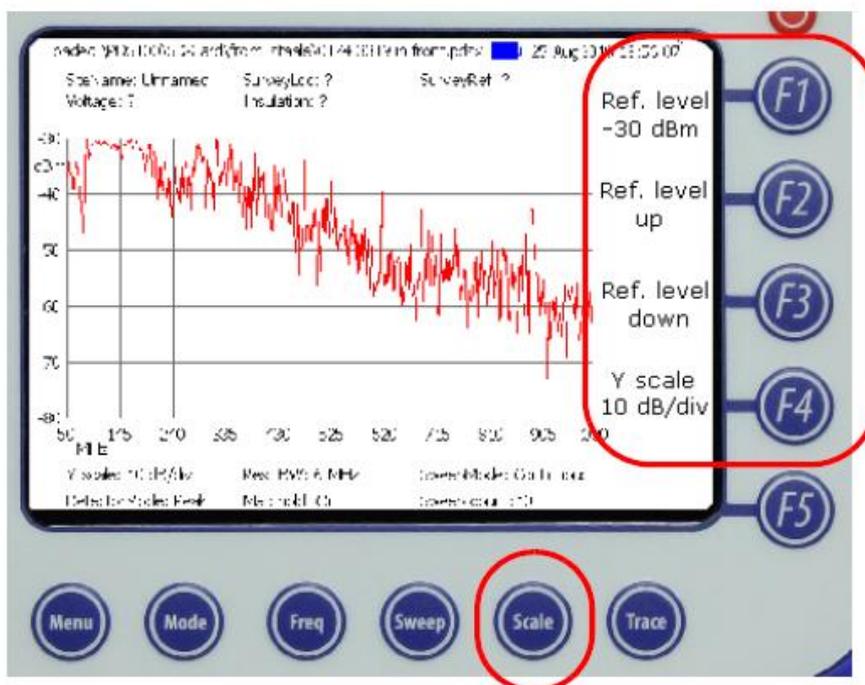


Fig. 7.9. Tecla Scale del menú y etiquetas de teclas de funciones relacionadas

Para un completo listado de las teclas de menú y sus etiquetas, ver apéndice B “Teclas y botones”.

7.2.5. Uso del teclado



Fig. 7.10. Teclado del PDS100

Cada número del teclado representa 3 o más teclas y un número. Por ejemplo, la tecla con el número 2 representa las teclas A, B, C y el número 2. Para elegir cada uno:

- A – Presione la tecla 2 una vez.
- B – Presione la tecla 2 dos veces.
- C – Presione la tecla 2 tres veces.
- 2 – Presione la tecla 2 cuatro veces.

Por favor tenga en cuenta los siguientes consejos:

- Para elegir una letra mayúscula, presione la tecla  antes de escribir.
- Para volver a las letras minúsculas, presione la tecla  de nuevo.
- Para introducir dos caracteres representados por la misma tecla, introduzca el primer carácter, espere un segundo e introduzca el siguiente carácter. El PDS100 identifica después de una breve pausa que el primer carácter ha acabado.

7.3. Procedimiento de análisis

Este capítulo provee el procedimiento básico de test para la inspección de una subestación. Contiene las siguientes secciones:

- Producción de medidas fiables.
- Paso 1: Plantear la medida.
- Paso 2: Eliminar las fuentes de RF externas.
- Paso 3: Establecer el hardware.
- Paso 4: Hacer un barrido estándar.
- Paso 5: Comenzar a adoptar medidas de RFI.
- Paso 6: Anotar la firma de RFI y localizar las descargas parciales.

7.3.1. Producción de medidas fiables

Son necesarios muchos barridos para acumular suficientes datos para realizar medidas fiables. Use estas técnicas para conseguir mejores resultados.

- Coloque siempre el instrumento en modo **continuous** (“Modo de barrido”) y con la fijación máxima en **ON** (“Fijación máxima”) antes de comenzar el barrido.
- Si espera realizar muchos barridos, considere dejar el aparato en el suelo y aléjese de él. **Esto asegura que sus propios movimientos no generan descargas parciales durante el test.**
- Apague la luz de fondo para minimizar el uso de la batería. Para ello, pulse el botón rojo de la esquina derecha de la parte superior de la cara del instrumento.

7.3.2. Paso 1: Plantear medida



¡Advertencia! Asegúrese de planificarlo con cuidado. Su seguridad depende de ello.

Para planificar la medida de una subestación:

1. Consiga un esquema o fotografía aérea que muestre el plano físico de la subestación. Este plano debe ser convenientemente ordenado para llevarlo a cabo a lo largo de la subestación.
2. Identifique los aparatos o grupo de aparatos en los que está interesado, incluyendo:
 - Intersecciones de barras colectoras y bahías, donde disyuntores y transformadores son normalmente agrupados.
 - Desconectar interruptores.
 - Aparamenta.
 - Transformadores de tensión e intensidad.
 - Disyuntores.
3. Marque una ruta que abarque todos los aparatos de interés.
4. Haga al menos una copia del plano.
5. Lamine las copias del plano o póngalas en protectores de plástico. Necesitará escribir la localización del rastreo y anotarlo en el plano, así que asegúrese de tener un bolígrafo que pueda escribir en una superficie lisa de plástico.

La siguiente figura muestra el esquema de una subestación en la que está marcada la ruta de medición.

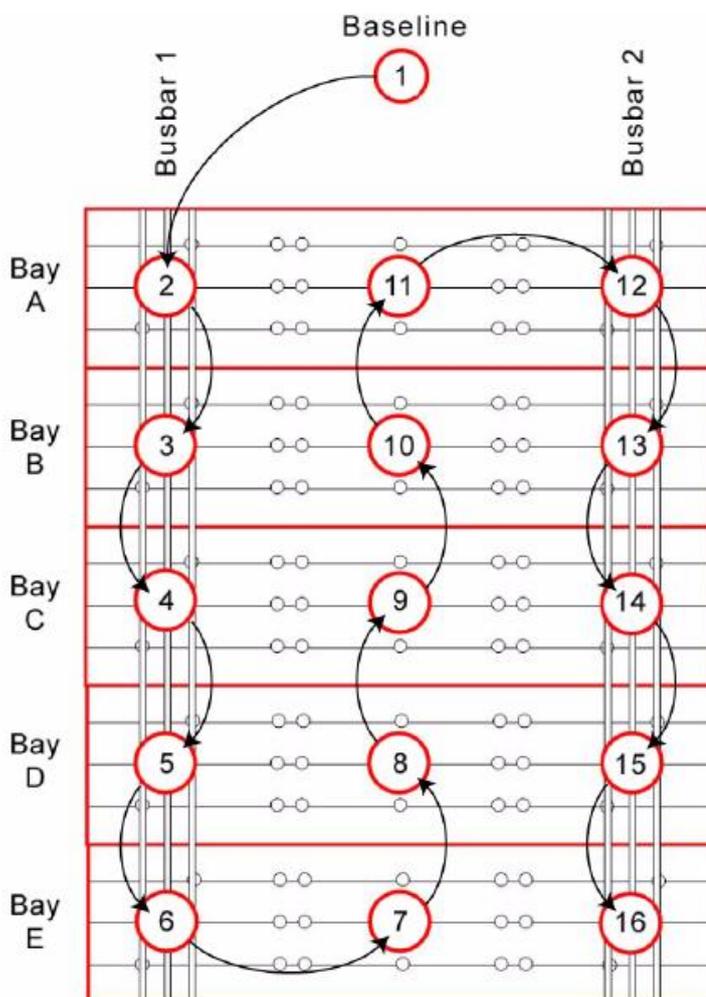


Fig. 7.11. Esquema de una subestación con puntos de medida señalados

7.3.3. Paso 2: Eliminar las fuentes de RF externas

En subestaciones de alto voltaje, la carga puede acumularse en los objetos de tela y metal, y la descarga puede crear interferencias con las RFI patrón registradas por el PDS100. Incluso sus propios movimientos pueden emitir electricidad estática, introduciendo ruido en sus medidas. Para eliminar la mayor electricidad estática de descarga posible:

1. Vestir ropa de algodón el día de la medición. El algodón produce muchas menos RFI que las fibras sintéticas.
2. Quítese joyas, transmisores de radio como walkie talkies o cualquier objeto personal que puedan llegar a ser electrificados o cargados en la subestación.
3. Durante un escáner, minimice sus movimientos para que no se produzcan descargas eléctricas. O, usted puede empezar un barrido colocándose sobre una superficie dura a distancia del contacto eléctrico en la dirección del punto de medida, sepárese de él, y regrese cuando haya suficientes barridos acumulados.

7.3.4. Paso 3: Establecer el hardware

Para establecer el hardware:

1. Visualice el nivel de batería encendiendo el instrumento y visualizando el indicador de la parte superior de la ventana. Si está parpadeando, el nivel de batería ha descendido a un nivel bajo.

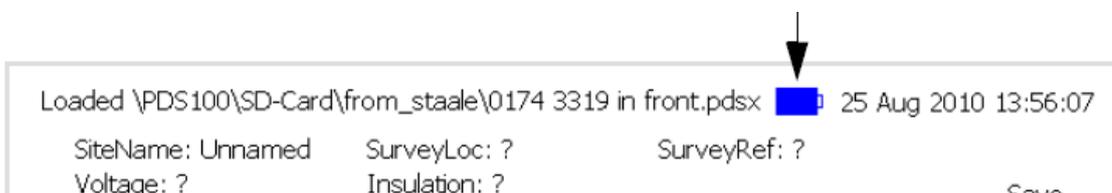


Fig. 7.12. Indicador de vida de la batería en la zona superior de la ventana

2. Conecte la antena.
3. (Opcional) Si usted espera operar en modo de tiempo resuelto, es posible que desee conectar los auriculares en ese momento.

4. (Opcional) Use las teclas aumentar  y disminuir  para ajustar la iluminación.
5. (Opcional) Coloque la correa de hombro.

7.3.5. Paso 4: Hacer un barrido estándar

Un barrido estándar registra la actividad electromagnética en las proximidades de la subestación. Diríjase desde una localización situada de 20 a 50 metros lejos del aparato a ser analizado, el barrido registra la actividad electromagnética, incluyendo teléfonos móviles, transmisores de radio, redes inalámbricas, etc. Estas continuas fuentes aparecen como fenómenos de estrecha banda en el fondo de la emisión. Están también presentes en el área de medida y no deben ser interpretados como indicaciones de descargas parciales.

Doble recomienda hacer tres o cuatro períodos completos de barridos estándar, cambiando el nivel de referencia cada vez.

Almacene y etiquete cada barrido para que pueda recordarlo y usarlo como base para comparar luego.

7.3.5.1 Configuración de opciones de software



¡Atención! Cuando es activado, la opción por defecto del PDS100 es hacer un barrido a 50 Hz. Si desea cambiarlo a 60 Hz:

1. Pulse **Mode** y **F2** para seleccionar modo de **Tiempo resuelto**.
2. Pulse **Sweep** y cambie **F1** a **60 Hz**.
3. Pulse **Mode** y **F1** para seleccionar modo **Análisis de espectro**.

Si usted cambia la unidad durante una medida, se restablece a 50 Hz al encenderlo.

La tabla que aparece a continuación define configuraciones opcionales que usted puede hacer antes de tomar medidas de referencia. También proporciona enlaces con información relacionada cuando sea necesario.

Tabla 7 2. Configuración opcional del software

Configuración	Como introducir un valor
Nombre del lugar. Ejemplo: Subestación X	Menu-F5-F2-F1
Localización de la medida. Ejemplo: Barra 1	Menu-F5-F2-F2
Referencia de la medida. Ejemplo: -30 dBm estándar	Menu-F5-F2-F3
Fijación máxima puesto en On .	Menu-F4 (toggle) Más información en "Contador de barridos".
Tiempo eléctrico, 70 es recomendado como referencia.	Sweep-F1 Para más información, ver "Tiempo eléctrico".
Modo de barrido puesto en Continuo .	Sweep-F2 (toggle) Para más información, ver "Modo de barrido".
Índice de barrido ¡Atención! El PDS100 tiene por defecto el índice de barrido a 50 Hz.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mode-F2 (seleccione Time Resolved) 2. Sweep-F1 (cambie al índice deseado) 3. Mode-F1 (vuelva a modo Spectrum Analyzer) Más información en "Índice de barrido".
Frecuencia de período. Periodo completo es recomendado por defecto.	Freq-F3 (Cambie a Full Span) Para más información, ver "Periodo de frecuencia".
Modo detector (pico, media o S.P.A.M.) Pico es recomendado por defecto.	Trace-F1 (toggle) Para más información, ver "Modos de pico, media y S.P.A.M."

7.3.5.2 Procedimiento

Para tomar las medidas de referencia:

1. Compruebe que el PDS100 está en modo analizador de espectro, la fijación máxima en ON y el modo de barrido en continuo.
2. Tomar múltiples barridos hasta que la medida sea estable.
3. Para guardar la medida de referencia:
 - a. Pulse **Start/Stop** y espere para que el actual barrido acabe.
 - b. Pulse **Menu-F1** (Guardar) para guardar el actual barrido como archivo de datos.
 - c. Pulse **F3** (Almacenar A-B).
4. (Opcional) Si la señal se apiña en la parte superior o inferior de la gráfica, es posible que desee realizar otra medida estándar con un diferente nivel de referencia. Para ello:
 - a. Pulse **Scale** y una o más de las siguientes teclas:
 - **F1**- Introduzca un nuevo valor y pulse **Enter**.
 - **F2**- Aumente el nivel de referencia 10 dBm.
 - **F3**- Disminuya el nivel de referencia en 10 dBm.
 - **F4**- Cambie para seleccionar diferentes escalones de decibelios, estos escalones pueden ser de 5 dB/div o 10 dB/div (por ejemplo de 25 a 30--- de 20 a 30).
 - b. Pulse **Menu-F2** (Limpiar) Para reiniciar el contador y comenzar un nuevo barrido.

7.3.6. Paso 5: Comenzar a adoptar medidas de RFI



¡Advertencia! ¡Si la medida de referencia tiene altos valores de RFI no entrar en la subestación!

Debido a que la energía electromagnética tiene un alto valor de atenuación, las descargas parciales no deben llegar al PDS100 durante la medida de referencia. Si se registran grandes descargas parciales a esta distancia, puede haber un incremento del riesgo de explosión por fallo de los aparatos.



¡Advertencia! Siempre cierre la antena antes de caminar desde un lugar a otro dentro de la subestación.

La extensión de la antena puede producir accidentes al contactar con componentes fuera de la zona de seguridad o enredarse con cables, mallas metálicas u otras cosas.

Mientras cada subestación es diferente, el método básico provisto en esta sección se aplica a todos los diseños.

Durante una medición, puede comparar cada nuevo barrido con el de referencia. Donde las dos trazas difieren y el barrido de estudio parece mostrar la actividad de la descarga parcial, usted puede ajustar la configuración de su barrido para examinar las lecturas con mayor profundidad.

Para continuar la investigación:

1. Pulse **Start/Stop-Menu-F2** (Limpiar).
El contador de barridos es reiniciado a 0 y el PDS100 comienza un nuevo barrido. La medida de referencia se muestra en rojo y la nueva traza en negro.
2. Ponga el tiempo eléctrico a 40 ms. Pulse **Sweep-F1** e introduzca **40**.
3. Escanee los componentes y aparatos cercanos de alto voltaje.
4. Seleccione las frecuencias:
 - a. Introduzca una frecuencia de inicio (**Freq-F1**).
 - b. Introduzca una frecuencia de parada (**Freq-F2**).
5. Si observa:
 - Que no hay actividad de descargas parciales – Pulse **Start/Stop**, camine a la siguiente localización y comience de nuevo el paso 1 de este procedimiento.
 - Que hay actividad de descargas parciales – Vaya al paso número 6.
6. Identifique la frecuencia con la más alta que difiera de la mayoría de las de referencia.
7. Pulse **Trace-F4** (cambie la selección **Marker On**) para seleccionar la frecuencia central.
Una cruz color cian aparece en la ventana y una línea en lo alto de la misma, indicando la amplitud de la frecuencia actualmente seleccionada por el marcador.

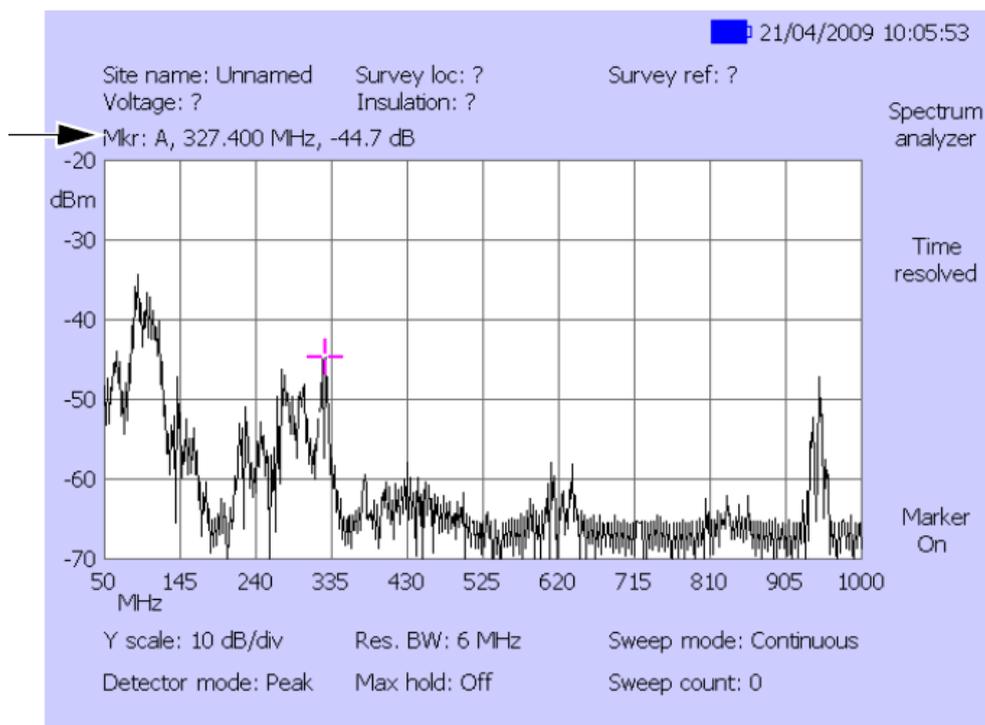


Fig. 7.13. Marcador con amplitud de lectura

8. Pulse **Time Resolved** para ver el tiempo de resolución mostrado. La frecuencia seleccionada por el marcador ha sido la frecuencia central.

7.3.7. Paso 6: Anotar la firma de RFI y localizar descargas parciales

Para anotar una firma de RFI y vincularla a una localización:

1. Con una cámara digital, haga fotos a la zona con fuerte actividad de descargas parciales. El propósito de estas fotos es ayudarlo a poder encontrar, más tarde, la localización de nuevo.
2. Pulse **Menu-F5-F2** (Lugar de información).
3. Usando el nombre del lugar (F1), localización de la medida (F2), medida de referencia (F3) y punto de medida (F4) según corresponda, introduzca una localización e identifique el componente que sea más probable que corresponda a la fuente de las descargas parciales.
4. Asegúrese que el PDS100 está en modo de barrido continuo:
 - a. Lea la parte inferior de la ventana.
 - b. Si no está en modo de barrido continuo, pulse **Sweep**. Cambie **F2** según sea necesario para seleccionar **SweepMode Continuous**.
5. Pulse **Sweep-F1**. Introduzca un tiempo eléctrico de 75 ms.
6. Pulse **Trace-F1**. Seleccione un modo de detección (pico, media o S.P.A.M.) Para más información, vea "Modos de pico, media y S.P.A.M."
7. Pulse **Start/Stop** para empezar un nuevo barrido. Tome de 3 a 8 barridos.
8. Pulse **Start/Stop** para parar el barrido.
9. Pulse **Menu-F1** para guardar la traza.

7.4. Gestión de datos y firmware

Este capítulo describe cómo manejar archivos de rastreo en el PDS100 y en su ordenador. Contiene las siguientes secciones:

- Dos maneras de visualización de señal y de datos de RFI.
- Gestión de datos en el PDS100.
- Conexión del PDS100 a un ordenador.

7.4.1. Dos maneras de visualización de señal y datos de RFI

El PDS100 y un ordenador tienen diferentes formas de visualizar trazas de RFI y datos.

- PDS100 – Ejecutar el firmware del PDS100, efectuando un escáner. Muestra como es creada una traza en tiempo real, almacena y muestra archivos de rastreo y realiza diversos cálculos. Ver “Gestión de datos en el PDS100” para más información.
- PC – Ejecute el programa PDS Viewer, el cual le permite ver, editar y superponer archivos de rastreo. También transferir estos archivos a y desde el PDS100 y firmware al PDS100. Ver “Conexión del PDS100 a un ordenador” si quiere información más detallada.

7.4.2. Gestión de datos en el PDS100

Esta sección describe la gestión de datos usando solamente el firmware del PDS100. No se trata el ordenador.

7.4.2.1 Como el PDS100 almacena los archivos de rastreo

El PDS100 nombra automáticamente los archivos de rastreo y las carpetas donde se encuentran estos almacenados.

7.4.2.1.1 Como se crean las carpetas

La primera vez que guarde un archivo de rastreo después de encender el PDS100, el instrumento crea automáticamente una carpeta para él y busca una localización de almacenamiento en este orden:

1. Directorio SD-Card (la memoria de a bordo).
2. Disco duro (cualquier USB en el puerto A).
3. PDS100 (memoria flash de a bordo).

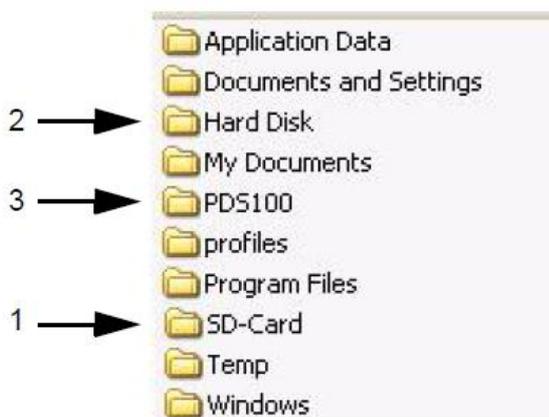


Fig. 7.14. Orden de almacenamiento en el PDS100

El instrumento busca las direcciones en el mismo orden cuando guarda un archivo de rastreo.

El nombre asignado por el PDS100 a la carpeta tiene el siguiente formato:

`Site name - date`

Como ejemplo, si introduce **Bloomfield** como nombre del lugar el 30 de Agosto de 2010, el nombre de la carpeta será "B l o o m f i e l d - 2 0 1 0 0 8 3 0". Si no introduce un nombre, *U n n a m e d* será usado como nombre del lugar.

7.4.2.1.2 Selección manual de la localización del almacenamiento

Usted puede seleccionar manualmente SD-Card o disco duro para ser la primera localización del PDS100 con el fin de guardar o recuperar un rastreo.



¡Nota! El ajuste manual se pierde cuando se apaga el PDS100.

Para establecer la ubicación del archivo predeterminado:

1. Pulse **Menu-F5-F5-F1**.
2. Cambie **F4** para seleccionar **SD-Card** o **disco duro**.

7.4.2.1.3 Como son nombrados y guardados los archivos de rastreo

Cuando usted presiona **Menú** y **F1** para guardar el rastreo, el PDS100 genera automáticamente un nombre de archivo, usando este formato:

`TRAC****.pdsx`

Los cuatro asteriscos (****) representan cuatro dígitos identificadores.

El aparato guarda el rastreo en la carpeta que ha sido creada para ello.

7.4.2.2 Copiar archivos de una carpeta del PDS100 a otra



¡Nota! No puede crear manualmente nuevas carpetas en el PDS100. Sin embargo puede hacerlo mediante el ordenador. Ver "Conexión del PDS100 a un ordenador" para más información.

Para copiar archivos de una carpeta del PDS100 a otra:

1. Seleccione la carpeta que contiene el archivo fuente: **Menu-F5(More)-F5(More)-F1(File Ops)-F1(Copy source)**.
2. En la ventana buscar carpeta, use las teclas arriba y abajo para moverse por la lista, e izquierda y derecha para expandir y cerrar carpetas.
3. Pulse **Enter** para seleccionar una carpeta.
4. Seleccione la carpeta en la que desea copiar el archivo: Pulse **F2(Copy destination)**.

5. En la ventana buscar carpeta, use las teclas arriba y abajo para moverse por la lista, e izquierda y derecha para expandir y cerrar carpetas.
6. Pulse **Enter** para seleccionar una carpeta.
7. Pulse **F3 (Copy)**.

Los archivos son copiados desde la carpeta fuente a la carpeta de destino.

7.4.2.3 Recordar una traza guardada

Para recordar (o mostrar) una traza guardada:

1. Pulse **Trace-F2 (Recall)**.
2. Use las cuatro teclas con flechas para navegar y pulse **Enter** para abrir una carpeta o archivo.

La traza se muestra como Trace B.

7.4.2.4 Mostrar varios rastreos

En modo analizar de espectro, el PDS100 puede mostrar hasta 3 rastreos simultáneamente:

- Traza A – El rastreo activo registrado durante el estudio.
- Traza B – Una comparación de rastreo que ha sido guardada en la memoria.
- Traza A-B – Rastreo calculado matemáticamente por la diferencia entre la traza A y la B.

Solo están almacenados en la unidad de memoria y no se mantienen si se apaga o se queda sin batería.

Para visualizar un rastreo:

1. Pulse **Trace-F3**.
2. Cambie **F1 (Show A)**, **F2 (Show B)** y **F3 (Show A-B)** para visualizar las trazas como desee.
3. (Opcional) Ponga el marcador en ON (**Trace-F4**).

La frecuencia central para el modo de tiempo resuelto sigue el ajuste para el marcador.

7.4.3. Conexión del PDS100 a un ordenador



¡Atención! Antes de que el PDS100 y el ordenador puedan comunicarse, se debe instalar el driver propio. Ver “Instalación de drivers” para ver las instrucciones.

Para conectar el PDS100 a un ordenador:

1. Conecte el cable USB – B desde el PDS100 a un ordenador.
La ventana del Microsoft ActiveSync o Mobile Device Center se abre.
2. Abrir **My Computer** y verificar que un nuevo dispositivo móvil está instalado.



Fig. 7.15. El PDS100 aparece como Mobile Device en Windows Explorer

Cualquier pendrive conectado en el puerto A del PDS100 es mostrado como una unidad de disco lógica llamada H a r d D i s k en el listado del Mobile Device.

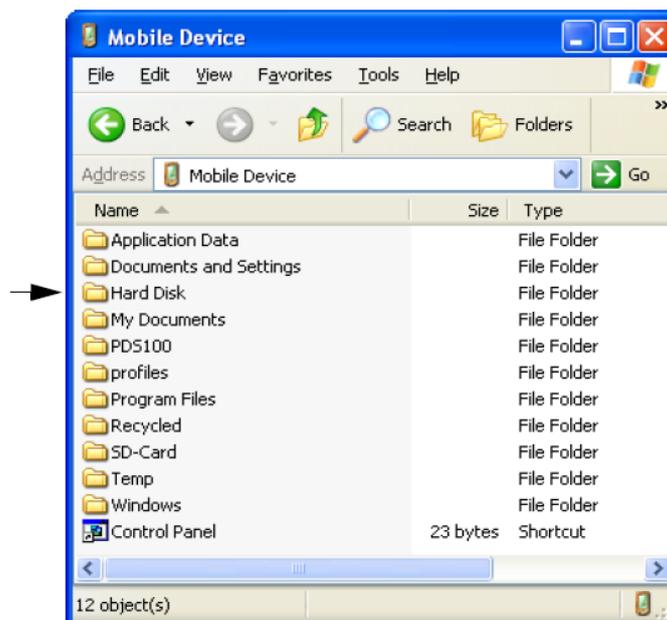


Fig. 7.16. El pendrive aparece en listado de Windowx Explorer como Hard Disk

Si necesita más información sobre visualización, edición, superposición o análisis de archivos de rastreo ver *PDS100 Visor de guía de uso* (PN 20.201.54).

7.5. Fuente de información

Este capítulo proporciona detalles adicionales sobre funciones del PDS100 que son mencionadas en otro lugar de este manual, o son descritas solo brevemente.

Si alguna otra función es adecuadamente descrita en algún lugar, no es repetida en este capítulo. Consulte el índice para asegurarse que encuentra toda la información relevante sobre un tema.

Este capítulo está organizado de la siguiente forma:

1. Opciones de ensayo.
 - Valores mostrados en la pantalla del PDS100.
 - Modo analizador de espectro.
 - Período de frecuencia.
 - Modos de pico, media y S.P.A.M.
 - Modo de tiempo resuelto.
 - Tiempo eléctrico.
 - Fijación máxima.
 - Nivel de referencia.
 - Resolución del ancho de banda.
 - Información del lugar.
 - Contador de barridos.
 - Modo de barrido.
 - Índice de barrido.
2. Unidad de calibración (Unit Setup).
 - Calibración.
 - Reloj y calendario.
 - Instalación de drivers.
 - Preajustes.
 - Crear un preajuste.
 - Cargar un preajuste.
 - Transferir firmware al PDS100.

7.5.1. Opciones de ensayo

7.5.1.1 Valores mostrados en la pantalla del PDS100

Cuando está encendido, el PDS100 muestra en la pantalla algunos ajustes del software alrededor de la periferia de la pantalla.

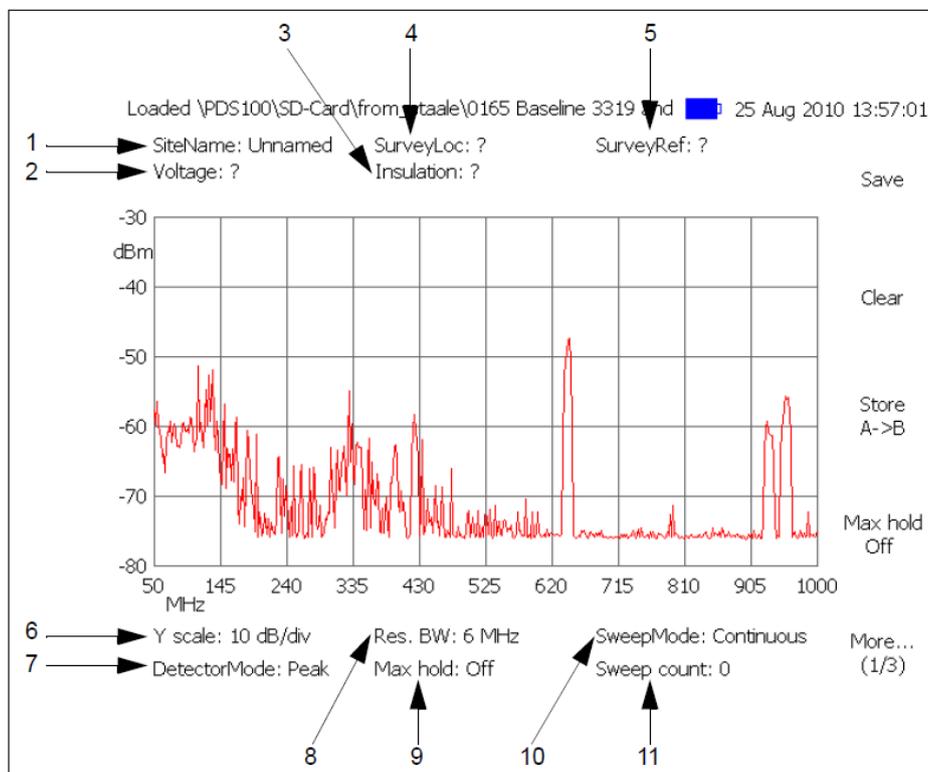


Fig. 7.17. Configuración por defecto del software

La tabla que aparece a continuación muestra cada ajuste etiquetado en la figura 7.17. y provee un enlace de información adicional.

Tabla 7.3. Nombre de los elementos enumerados en la Fig. 7.17.

Nº	Definición	Donde buscar esa información
1	Nombre del lugar.	"Información del lugar"
2	Tensión.	"Información del lugar"
3	Localización de medida. Ejemplo Bay 1	"Información del lugar"
4	Aislamiento.	"Información del lugar"
5	Medida de referencia.	"Información del lugar"
6	Desviación de la escala Y entre los decibelios escalón.	"Paso 4: Hacer un barrido estándar"
7	Resolución del ancho de banda.	"Resolución del ancho de banda"
8	Modo de detección.	"Modos de pico, media y S.P.A.M."
9	Fijación máxima ON u OFF.	"Fijación máxima"
10	Modo de barrido (Simple o continuo).	"Modo de barrido"
11	Contador de barridos.	"Contador de barrido"

7.5.1.2 Modo analizador de espectro

El modo analizador de espectro muestra gráficamente la amplitud de RFI en decibelios con respecto a su frecuencia. Este modo barre las frecuencias en un ancho de banda de 1 a 6 MHz para

un tiempo eléctrico específico, detecta potencia de la señal radiada y la muestra en la pantalla. El rango estándar de frecuencia es de 50 a 1000 MHz; hay tres modos de detectar la actividad. La figura mostrada a continuación es un rastreo de RFI indicando la actividad de las descargas parciales. La traza mostrada está en modo analizador de espectro.

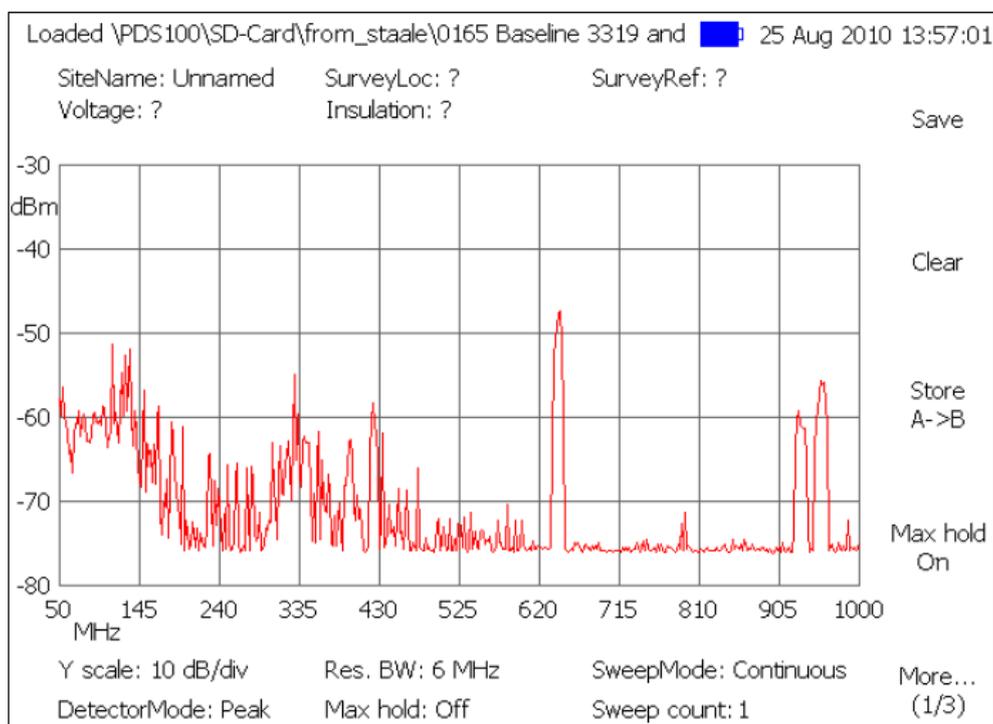


Fig. 7.18. Rastro de RFI mostrado en modo de análisis de espectro

7.5.1.2.1 Período de frecuencia

El PDS100 puede medir señales comprendidas entre los 50 y los 1000 MHz. Los tres ajustes de frecuencia en modo analizador de espectro fija el período de frecuencia del barrido. Estos son:

- Frecuencia de inicio. Frecuencia a la cual comienza la medición. Rango de 50 a 1000 MHz. Por defecto es 50 Mhz.
- Frecuencia de parada. Frecuencia a la cual se para la medición. Rango de 50 a 1000 MHz. Por defecto es 1000 MHz.
- Período completo. Volver a los valores predeterminados para seleccionar una frecuencia de inicio de 50 MHz y una de parada de 1000 MHz.

Para establece el período de frecuencia:

1. Pulse **Freq**.
2. Realice una de las dos:
 - a) Pulse **F1** y **F2** para introducir la frecuencia de inicio y parada deseados.
 - b) Pulse **F3** para seleccionar el período completo de frecuencia: una frecuencia de inicio de 50 MHz y una de parada de 1000 MHz.

7.5.1.2.2 Modos de pico, media y S.P.A.M.

El PDS100 proporciona tres modos de detección en modo analizador de espectro: Pico, Media y S.P.A.M.

Para elegir el modo:

1. Pulse **Mode-F1** para seleccionar modo analizador de espectro.
2. Pulse **Trace-F1** (Modo de detección) para elegir **pico, media o S.P.A.M.**

Tabla 7 4. Modos de detección

Modo	Definición
Pico	Configuración predeterminada. Registra el más alto valor dentro del ancho de banda de resolución durante un período de tiempo eléctrico para cada frecuencia central.
Media	Cambia el PDS100 en un analizador de espectro ordinario. Anota el valor medio dentro de la resolución del ancho de banda durante un período de tiempo eléctrico para cada frecuencia central.
S.P.A.M.	Inmediatamente segrega señales de RFI indicando las descargas parciales. Anota ambos valores, pico y media en trazas separadas durante la resolución del ancho de banda en un período de tiempo eléctrico para cada frecuencia central.

7.5.1.3 Modo de tiempo resuelto

El modo de tiempo resuelto muestra gráficamente la amplitud de RFI en dB con respecto al tiempo. Este modo permite que usted pueda ver si la señal de RFI está correlacionada con la potencia de la frecuencia (50 o 60 Hz). La ventana de tiempo es 20 ms (50 Hz) o 16,67 ms (60 Hz). Si la descarga parcial está presente, un pulso simple o tren de pulsos aparecerá en la ventana de tiempo. Para un análisis completo de este modo, mire "Modo de tiempo resuelto".

La aparición de un tren de pulsos de RFI indica que la descarga parcial puede variar. Esto puede aparecer inmóvil, o puede viajar a través de la pantalla. Un típico patrón de RFI indica que la descarga parcial puede consistir en un pulso simple o grupo de pulsos con diferentes anchuras. La variación de un pulso puede tomar hasta la mitad de la pantalla, que representa 10 ms u 8 ms (llamado período medio para 50 o 60 Hz). Mire las siguientes imágenes para ver algunos ejemplos.

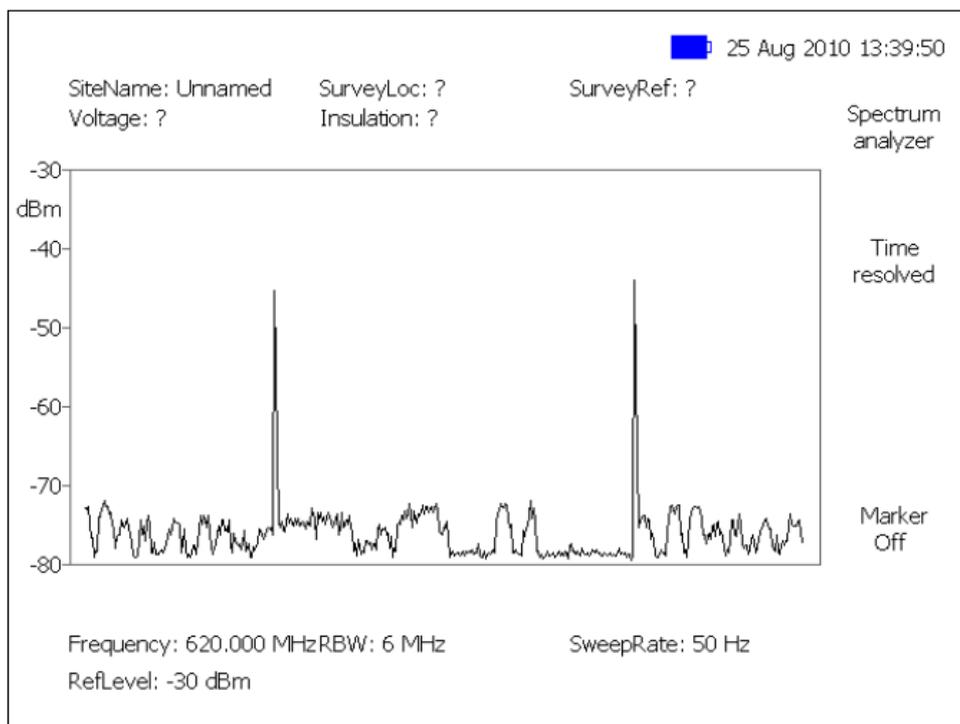


Fig. 7.19. Modo de tiempo resuelto: RFI para dos descargas parciales, dos veces por poder de frecuencia

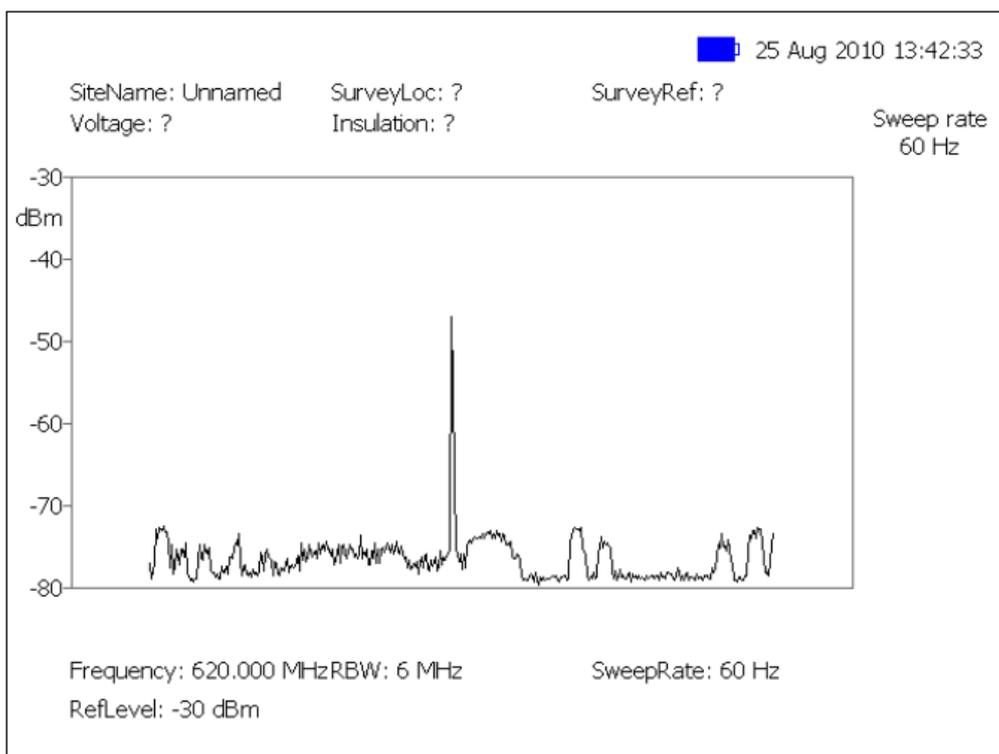


Fig. 7.20. Modo de tiempo resuelto: RFI indicación de descarga parcial a 60 Hz, una vez por poder de frecuencia

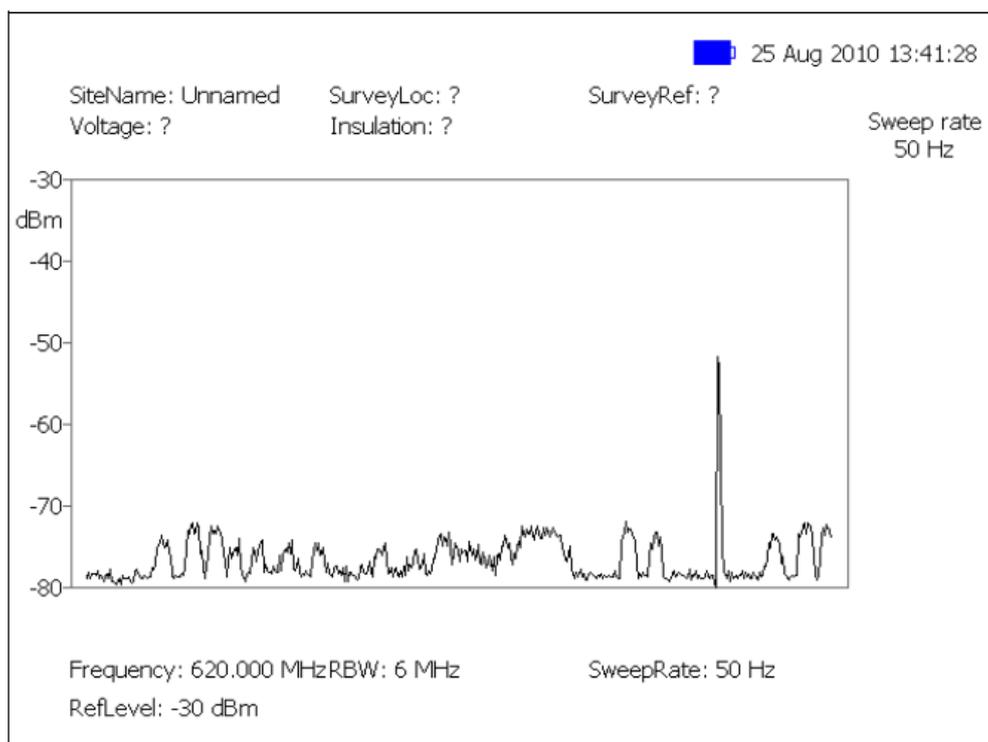


Fig. 7.21. Modo de tiempo resuelto: RFI indicación de descarga parcial a 50 Hz, una vez por poder de frecuencia

Para establecer la frecuencia media en modo de tiempo resuelto:

1. Pulse **Freq-F1 (Frequency)**.
2. Introduzca la frecuencia deseada y pulse **Enter**.

7.5.1.4 Tiempo eléctrico

El tiempo eléctrico es el período de tiempo (en milisegundos) durante el cual el PDS100 toma medidas dentro de cada punto para introducir los datos de la traza de frecuencia del período. El valor estándar es 40 ms. Este ajuste está disponible en modo analizador.

Para establecer el tiempo eléctrico:

1. Asegúrese de que el PDS100 está en modo analizador.
2. Pulse **Sweep-F1**.
3. Introduzca un valor numérico comprendido entre 1 y 100 y pulse **Enter**.

7.5.1.5 Fijación máxima

La fijación máxima guarda y muestra valores máximos de cada punto de muestreo permitiendo al instrumento capturar el máximo valor de actividad intermitente. El contador de barridos da el número de barridos que forman la traza visible.

La fijación máxima es válida solo en modo analizador.

Para seleccionar la fijación máxima pulse **Menu-F4 (Max Hold)**, para visualizar **ON** u **Off**.

7.5.1.6 Nivel de referencia

El nivel de referencia es la magnitud máxima de la escala de decibelios en el eje Y del gráfico.

Como el PDS100 no tiene amplificador y el instrumento recibe patrones de RFI ambiente, cada nivel de energía en la frecuencia dada tiene un valor menor que 1 (0 dBm) relativo a 1 mW de energía radiada. Cuando la señal recibida por la antena es convertida desde vatios a dBm, todos los valores por debajo de 0 se verán negativos.

Para establecer el nivel de referencia:

1. Pulse **Scale-F1 (Ref. Level)**.
2. Introduzca el nivel de referencia y pulse **Enter**.
El nuevo nivel de referencia es mostrado en la esquina superior izquierda del gráfico.
3. Para modificar el nivel de referencia en 10 dBm:
 - Pulse **F2** para incrementar el nivel de referencia.
 - Pulse **F3** para disminuir el nivel de referencia.
4. Para cambiar la resolución de la amplitud del gráfico cambie **F4**.
La escala Y cambia entre 5 y 10 dBm.

7.5.1.7 Resolución del ancho de banda

La resolución del ancho de banda pone el período de frecuencia de la medida para las muestras en cada tiempo eléctrico. El ancho de banda puede ser el establecido o cualquier valor comprendido entre 1 y 6 MHz. La resolución del ancho de banda está disponible para el modo analizador de espectro y para los modos de tiempo resuelto.

Para establecer la resolución del ancho de banda, pulse **Freq** y cambie **F4 (Res. BW)**.

7.5.1.8 Información del lugar

La información del lugar proporciona una forma de registrar detalles cuando usted está realizando medidas. Esta función requiere el uso del teclado. Para saber cómo funciona el teclado, Vea “Uso del teclado”.

Para introducir información del lugar:

1. Pulse **Menu-F5 (More)**.
2. Para una medida de referencia de RFI, pulse **F2 (Site Info)** e introduzca la información del lugar como a continuación:
 - **F1 (SiteName)** – Introduzca el nombre del lugar y pulse **Enter**. El PDS100 automáticamente crea una carpeta con el nombre del lugar y la fecha actual (ejemplo: B l o m f i e l d – 2 0 1 0 0 8 3 0). El PDS100 guarda todos los rastreos realizados durante esta sesión en la carpeta.
 - **F2 (SurveyLoc)** – Introduzca la localización y pulse **Enter**.
 - **F3 (SurveyRef)** – Introduzca la medida de referencia, es decir cualquier información adicional que desee añadir. Pulse **Enter**.
3. Para una medida de descarga parcial, pulse **F4 (Survey Point)** e introduzca la tensión e información del aislamiento como a continuación.
 - **F1 (Voltaje)** – Introduzca el texto que describe el nivel de tensión y pulse **Enter**.
 - **F2 (Insulation)** – Introduzca el texto que describe el aislamiento de referencia y pulse **Enter**.

7.5.1.9 Contador de barridos

El contador de barridos mantiene un recuento actualizado de barridos completos cuando la fijación máxima está en ON. Para usar el contador de barridos:

1. Pulse **Sweep** y cambie **F2 (SweepMode)** a **Continuous**.
2. Pulse **Menu** y cambie **F4 (Max Hold)** a **ON**.
El campo de contador de barridos está activado.
3. Para limpiar el contador de barridos, pulse **Menu-F2 (Clear)**.

7.5.1.10 Modo de barrido

El modo de barrido controla si el PDS100 funciona continuamente o se detiene tras completar un barrido. Dos modos de barrido están disponibles:

- Continuo – El barrido comienza a la frecuencia de arranque hasta la frecuencia de parada e inmediatamente comienza de nuevo a la frecuencia de arranque.
- Simple – El barrido comienza a la frecuencia de arranque y para cuando la frecuencia de parada es alcanzada.

El ajuste del modo de barrido está disponible en modo analizador de espectro.

Para establecer el modo de barrido:

1. Asegúrese de que el PDS100 está en modo analizador de espectro.
2. Pulse **Sweep** y cambie **F2** hasta que aparezca el modo deseado.

7.5.1.11 Índice de barrido



¡Nota! El PDS100 está ajustado por defecto para un índice de barridos a 50 Hz. Si usted cambia el índice de barridos a 60 Hz y después apaga la unidad, se restablece a 50 Hz al encenderlo.

El índice de barrido es la tasa de tiempo en la cual el modo de tiempo resuelto escanea para RFI alrededor de una especie de bandas de frecuencia. El tiempo está relacionado con la frecuencia de potencia dada, tal como 20 ms para 50 Hz (por defecto) o 16,67 ms para 60Hz.

Dependiendo del ajuste del índice de barrido, las trazas serán mostradas a 20 ms (50 Hz) de período o 16,7 ms (60 Hz) de período de una señal modulada a la frecuencia central. El ajuste del índice de barrido permite un estudio más detallado a la frecuencia central seleccionada.

En este modo de tiempo resuelto, si un patrón en la pantalla se mueve lentamente de izquierda a derecha, es que está cerca del índice de barrido. Cuando un patrón está en el índice de barrido seleccionado, este aparece detenido. En este punto, usted puede relacionar la señal a la potencia de frecuencia e identificar el problema. Otras señales que se desplazan rápidamente por la pantalla son ruido.

1. Pulse **Mode-F2** para poner el PDS100 en modo de tiempo resuelto.
2. Pulse **Sweep** y cambie **F1 (Sweep Rate)** para ajustarlo como desee.

7.5.2. Unidad de instalación (Unit Setup)

7.5.2.1 Calibración



¡Atención! No cambiar la calibración. Cambiar los valores de calibración puede afectar a las propiedades del instrumento y anular el certificado de calibración. Debe enviar la unidad de nuevo a Doble para recalibrarlo. La opción de calibración en la ventana del PDS100 es solo para el uso de los técnicos de Doble.

7.5.2.2 Reloj y calendario

Esta función requiere la introducción de números mediante el teclado. Para instrucciones de cómo realizarlo, mire “Uso de teclado”

Para establecer el reloj y el calendario:

1. Pulse **Menu** y **F5**.
2. Pulse **F1** e introduzca el ajuste de la hora de la siguiente forma:
 - **F1** – Establezca la hora (00 a 23). Pulse **Enter**.
 - **F2** – Establezca los minutos (00 a 59). Pulse **Enter**.
 - **F3** – Establezca los segundos (00 a 59). Pulse **Enter**.
3. Pulse **F4** e introduzca la fecha de la siguiente manera:
 - Pulse **F1** – Introduzca el año. Pulse **Enter**.
 - Pulse **F2** – Introduzca un número entre 01 y 12 para indicar el mes. Pulse **Enter**.
 - Pulse **F3** – Introduzca un número entre 01 y 31 indicando el día. Pulse **Enter**.

El software rechaza fechas incorrectas como 29 de Febrero de 2011.

7.5.2.3 Instalación de drivers

Antes de poder usar su ordenador para ver archivos del PDS100, debe instalar un driver en su ordenador.

- Windows XP o una versión anterior de Windows. – Descargue e instale Active Synch desde www.microsoft.com
- Windows Vista o más nuevo. – Descargue e instale Windows Mobile Device Center desde www.microsoft.com

7.5.2.4 Preajustes

Puede crear hasta 4 configuraciones predefinidas o preajustadas, para el PDS100. Cada preajuste tiene archivos guardados con los siguientes datos en formato XLM:

- Modo.
- Resolución del ancho de banda.
- Tiempo eléctrico.
- Modo de barrido.
- Nivel de referencia.
- Escala del eje Y (5 o 10 dB/div).
- Modo de detección.
- Rastrear muestra en Traza B.
- Rastrear configuración de pantalla.

La figura que aparece a continuación muestra los contenidos de un preajuste típico.

```
<InstrumentState version="1">
<StartFreq units="MHz">200.000</StartFreq>
<StopFreq units="MHz">400.000</StopFreq>
<RefLevel units="dBm">-30</RefLevel>
<RBW units="MHz">6</RBW>
<GateTime units="ms">75</GateTime>
<MaxHoldMode>Off</MaxHoldMode>
<MaxHoldTraceCount>0</MaxHoldTraceCount>
<InstrumentMode>Spectrum analyzer</InstrumentMode>
<DetectorMode>Peak</DetectorMode>
</InstrumentState>
```

Fig. 7.22. Muestra del archivo preajustado

7.5.2.4.1 Crear un preajuste

Para crear un preajuste:

1. Establezca la configuración que quiera.
2. Pulse **Menu-F5 (More)-F4 (Save Preset)**.
3. Guardar el preajuste **A, B, C** o **D** pulsando la tecla apropiada.

7.5.2.4.2 Cargar un preajuste

Para cargar un preajuste:

1. Establezca la configuración que desee.
2. Pulse **Menu-F5 (More)-F3 (Load Preset)**.
3. Seleccione **A, B, C, D** o **Factory preset** pulsando la tecla adecuada.

7.5.2.5 Transferir firmware al PDS100

El firmware es una aplicación software que reside en el PDS100. El número de versión se muestra en la esquina superior izquierda de la ventana del PDS100. Usted puede descargar el firmware más reciente desde www.doble.com.

Para transferir el firmware desde el ordenador al PDS100:

1. Descargue el archivo firmware (S t a r t u p . e x e) desde www.doble.com al disco duro del ordenador.
2. Conecte el PDS100 al ordenador mediante el cable USB-B.
3. Encienda el PDS100.
4. Cuando esté encendido, pulse **Mode-F5**.
Un mensaje dirá "Did you really mean to press the Quit button?".
5. Pulse **Enter** para confirmar.
El Windows CE aparecerá en el ordenador.
6. En el ordenador, cliqué **Explore** en la ventana Microsoft ActiveSync.
7. Abra la carpeta PDS100.
8. Cambie el actual nombre instalado S t a r t u p . e x e por otro nombre.
9. Arrastre el nuevo S t a r t u p . e x e desde el ordenador a la carpeta PDS100 y espere a que se copie para acabar.
10. Apague el aparato. El nuevo firmware se cargará la próxima vez que la unidad se encienda.
11. (Opcional) Para volver al antiguo firmware, renombre el nuevo archivo S t a r t u p . e x e por otra cosa y renombre el antiguo S t a r t u p . e x e.

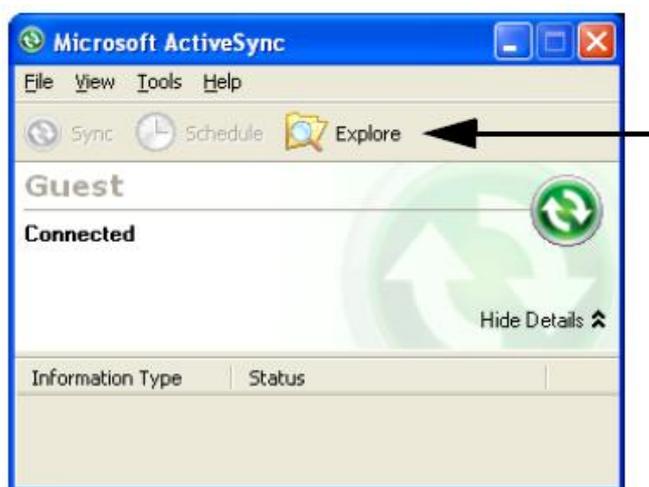


Fig. 7.23. Botón Explore en la ventana de Microsoft ActiveSync

A Especificaciones

Tabla 7 5. Especificaciones del PDS100

Características	Especificación
Física	
Tamaño (WxHxD)	225 x 310 x 70 mm / 8.85 x 12.20 x 2.25 in
Peso (con batería)	2.4 kg / 5.29 lbs
Medioambiental	
Temperatura de operación	0 - 50 °C / 32 - 122 °F
Temperatura de almacenamiento	- 20 - 70 °C / - 4 - 158 °F
Clase IP	<ul style="list-style-type: none"> • IP64 cuando la tapa está cerrada • IP51 cuando la tapa está abierta
Humedad	0 - 95 % sin condensación
Eléctricas	
Suministro externo	Adaptador de C externo, 12 V @ 2 A
Adaptador DC	85 - 264 V AC (47 - 63 Hz) / 12 V DC
Batería Interna	Li - Ion, 7.2 V, 6.6 Ah <ul style="list-style-type: none"> • Vida de la batería: > 4 horas • Tiempo de carga: 1, 5 horas
Frecuencia	
Rango de medida	50 MHz - 1000 MHz
Precisión	± 100 MHz
Display	
Display	TFT, 6.4 in, transreflectivo
Tamaño	(W x H) 132 x 100 mm / 5.20 x 3.94 in
Resolución	640 x 480 pixeles, 256 colores
Luz	Sí
Diverso	
Memoria interna	Tarjeta SD
Memoria externa	Almacenamiento USB de clase compatible (USB pendrive o USB disco duro externo)
Comunicación conectores	<ul style="list-style-type: none"> • USB "Host": Tamaño completo tipo – A para adaptarse a unidades USB, etc. • USB Cliente: Tamaño completo tipo – B para sincronizar resultados y ajustes con el software del PC (Usando MS ActiveSync o similares)
Auriculares	Auriculares estándar con conector jack de 4 mm
Antena	Diamond RH 789

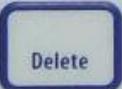
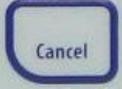
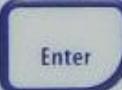
B Teclas y botones

La tabla que aparece a continuación muestra el menú de teclas y teclas de función que afectan.

Tecla de menú	Tecla de función	Función
	<p>F1</p> <p>F2</p> <p>F3</p> <p>F4</p> <p>F5</p> <p>Ajustes del menú (2/3)</p> <p>F1</p> <p>F2</p> <p>F3</p> <p>F4</p> <p>F5</p> <p>Ajustes del menú (3/3)</p> <p>F1</p> <p>F5</p>	<p>Ajustes del menú. Página 1 de 3</p> <p>Guardar la traza como TRAC****.pdsx (****=4 dígitos identificados automáticamente).</p> <p>Limpia la traza A desde la pantalla.</p> <p>Copiar la traza A a la B (Ver "Traza" y luego "Display").</p> <p>Cambiar la fijación máxima ON/OFF.</p> <p>Más.... Ir a la página 2 de 3.</p> <p>Ajustes del menú (2/3)</p> <p>Establecer el reloj interno de la unidad.</p> <p>Introducir el dato para identificar el lugar visitado.</p> <p>Cargar los ajustes predeterminados (4 costumbres y 1 ajuste de fabricación).</p> <p>Guardar los preajustes(A, B, C o D).</p> <p>Más.... Ir a la página 3 de 3.</p> <p>Ajustes del menú (3/3)</p> <p>Opciones de archivo.</p> <p>Volver = ir a la página 1 de 3.</p>
	<p>F1</p> <p>F2</p>	<p>Selección de modo</p> <p>Seleccionar modo analizador de espectro.</p> <p>Seleccionar modo de tiempo resuelto.</p>
	<p>F1</p> <p>F2</p> <p>F3</p> <p>F4</p>	<p>Frecuencias</p> <p>Introducir frecuencia de arranque.</p> <p>Introducir frecuencia de parada.</p> <p>Seleccionar período completo (Arranque = 50, Parada = 1000).</p> <p>Cambiar resolución del ancho de banda (De 1 a 6 MHz).</p>
	<p>F1</p> <p>F2</p> <p>F3</p>	<p>Frecuencia de barrido</p> <p>Introducir tiempo eléctrico/ de muestreo (1-100 ms).</p> <p>Cambiar el modo de barrido (Simple o continuo).</p> <p>Contador de barridos (Modo de barrido = Cont., Fijación máxima = On).</p>
	<p>F1</p> <p>F2</p> <p>F3</p> <p>F4</p>	<p>Ampliación de la traza</p> <p>Introducir el nivel de referencia (dBm).</p> <p>Incrementar el nivel de referencia en 10 dBm.</p> <p>Disminuir el nivel de referencia en 10 dBm.</p> <p>Cambiar la escala del eje Y 5 o 10 dB/div.</p>
	<p>F1</p> <p>F2</p> <p>F3</p> <p>F4</p>	<p>Ajuste de las trazas</p> <p>Cambiar el modo de detección (Pico, media o S.P.A.M.).</p> <p>Renombrar la traza desde el archivo en Traza B</p> <p>Introducir la configuración de muestreo (Mostrar A, mostrar B y mostrar A-B).</p> <p>Cambiar marcador.</p>

La tabla que hay a continuación contiene la lista de botones restantes y teclas en el PDS100 con la explicación de su función.

Tabla 7 6. Botones y teclas alfanuméricas

Botón	Función
	Arrancar y parar el barrido.
Número 0-9 Letras A-Z	Teclado – Introducir datos.
	Borrar el área del archivo seleccionado.
	Cambiar entre más y menos.
	Cancelar el asunto seleccionado.
	Confirmar el asunto seleccionado.
	Incrementar el volumen de los auriculares en modo de tiempo resuelto.
	Disminuir el volumen de los auriculares en modo de tiempo resuelto.
	Incrementar la luz de fondo.
	Disminuir la luz de fondo.
	Iluminación de la pantalla. Poner el instrumento en modo ahorro de energía.

8. ANEXO II: ANTENAS UTILIZADAS POR EL PDS100

8.1. Antena Diamond RH 789

La antena Diamond RH 789 se trata de una antena monopolo, telescópica omnidireccional cuyo ancho de banda está comprendido entre los 95 y 1100 MHz.

La ganancia de esta antena varía en función del rango de frecuencia en el que esté trabajando. De tal modo que cuando la antena está midiendo frecuencia en un ancho de banda comprendido entre 50 y 300 MHz la ganancia correspondiente será de 2,15 dBi y cuando ésta esté funcionando para el rango de frecuencias restante, el que hay entre 300 y 1000 MHz su ganancia correspondiente será de 3,2 dBi.

La longitud de esta antena varía, ya que se trata de una antena extensible. De tal manera que cuando la antena se encuentra totalmente extendida, su longitud es de 80,5 cm y cuando la antena está plegada tiene una longitud de 20 cm [39], [40].

Se puede conocer la frecuencia de resonancia, que es la frecuencia a la que la antena emite su radiación máxima. Para ello se utiliza la fórmula 3.32:

$$(8.1) L_{monopolo} = \frac{\lambda}{4} = \frac{c}{4f}$$

Y se despeja la frecuencia, quedando por tanto:

$$(8.2) f = \frac{c}{4L_{monopolo}} = \frac{3 \cdot 10^8}{4L_{monopolo}}$$

- Si se considera que la antena esta plegada su longitud es de 0,2 m y por tanto la frecuencia de resonancia sería 375 MHz.
- Si por el contrario, lo que se pretende es saber cuál es la frecuencia de resonancia cuando la antena está completamente extendida, la longitud a introducir en la fórmula es 0,805 m dando una frecuencia de resonancia de 93,168 MHz.



Fig. 8.1. Antena Diamond RH 789 conectada al PDS100 [Obtenida del manual del anexo]

8.2. Otros tipos de antena compatibles con el PDS100

Además de la antena Diamond RH 789, explicada anteriormente, el PDS100 es capaz de medir descargas parciales a través de otras antenas, que se detallan a continuación [41].

8.2.1. Antena telescópica W 889

Se trata de una antena que mide una amplia gama de señales UHF (Ultra High Frequency) en áreas abiertas. Esta antena es una Watson 889 (W 889).

El ancho de banda correspondiente es el comprendido entre los 25 y los 1900 MHz. La longitud de la antena es de 310 mm cuando está completamente extendida, ya que este tipo de antena permite variar su longitud, además de tener una rótula giratoria. Tiene un conector tipo BNC.

El diagrama de radiación aportado por esta antena es equivalente al de una monopolo y la frecuencia de resonancia que tiene se calcula con la fórmula utilizada para la Diamond RH 789:

$$(8.3) f = \frac{c}{4L_{monopolo}} = \frac{3 \cdot 10^8}{4L_{monopolo}}$$

En donde el valor asignado a la longitud es el de su máxima extensión, 0,31 m. Con esta longitud la frecuencia de resonancia de la antena es 241,935 MHz.



Fig. 8.2. Antena telescópica [41]

8.2.2. Antena látigo W 881

Se trata de una antena de longitud fija de 410 mm.

La antena Watson 881 captura una amplia gama de señales de UHF en áreas abiertas y es utilizada en medidas a larga distancia. El ancho de banda de esta antena corresponde a las frecuencias existentes entre los 25 y los 1900 MHz y su diagrama de radiación también es equivalente al de una antena monopolo. Su conector es BNC.

Para poder calcular la frecuencia de resonancia se utiliza la misma fórmula usada en los dos tipos de antenas anteriores, la 8.2:

$$(8.2) f = \frac{c}{4L_{monopolo}} = \frac{3 \cdot 10^8}{4L_{monopolo}}$$

En este caso el valor de la longitud es 0,41 m aportando una frecuencia de resonancia de la antena W 881 de 182,927 MHz.

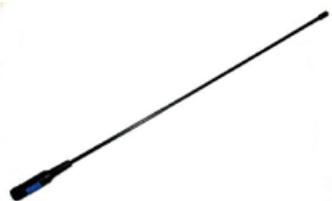


Fig. 8.3. Antena W 881 [41]

9. ANEXO III: COMPARATIVA PDS100

La elección del PDS100 para la medida de DP se debe a las buenas prestaciones que presenta y la calidad en sus medidas, cabe destacar su portabilidad que aporta una gran ventaja respecto a otros medidores DP, que no tienen esta característica y que les hace estar en desventaja con respecto a él. Pero no es sólo esta característica lo que le hace estar en ventaja sobre otros dispositivos móviles o no móviles. A continuación se muestra una tabla comparando el PDS100 con el PD Hawk, otro dispositivo de medición de DP mediante RF.

Tabla 9.1. PDS100 – PD Hawk

	PDS100	PD Hawk
Ancho de banda	50-1000 MHz	47-1000 MHz
Dimensiones	225x310x70 mm	420x420x120 mm
Humedad de trabajo	0-95 %	0-90 %
Imagen	 <p>Fig. 9.2. PDS100 [42]</p>	 <p>Fig. 9.3. PD Hawk [43]</p>
Display	 <p>Fig. 9.4. Display PDS100 [Manual Anexo]</p>	 <p>Fig. 9.5. Display PD Hawk [43]</p>
Teclas de función	11	2
Teclado	Sí	No
Antena	Compatible con varias antenas (conector BNC)	Única
Necesidad de analizador externo	No	Sí
Superponer medidas	Sí	No
Poder diferenciar ruido electromagnético de DP.	Sí	No
Modos analizadores	Tiempo resuelto. Analizador de espectro. - Periodo de frecuencia - Modos pico, media y S.P.A.M.	Magnitud de la frecuencia. Tiempo de pulso.
Software interno	Alto	Medio/Alto

Analizando la tabla anterior, se puede observar como para un mismo rango de frecuencia de operación, el PDS100 tiene mejores prestaciones en comparación con el PD Hawk, incluso permite trabajar casi con el 100% de humedad en el ambiente.

Sus dimensiones son menores, lo que le hace más cómodo a la hora de operar con él; aunque si se comparan las pantallas de ambos dispositivos, la que integra el PDS100 es de mayor tamaño, facilitando la observación de los resultados obtenidos. Las teclas de función presentes en el PDS100 permiten una mayor funcionalidad al usuario, complementándose con el software de alto nivel que tiene, lo que hace del PDS100 un analizador de DP muy completo. Además, en combinación con el teclado permite guardar medidas, nombrándolas y creando carpetas para su almacenaje y organización.

Al realizar medidas con el PD Hawk, que dispone de una sola antena integrada en su carcasa, se pueden producir problemas o limitaciones al realizar dichas medidas, por el contrario el PDS100 permite conectar varios tipos de antenas, con lo que se pueden conseguir mejores análisis de las DP, pudiendo elegir la antena a utilizar en cada caso, siempre y cuando los conectores de las mismas sean BNC.

En la medida de DP y su análisis, el PDS100 tiene una gran ventaja respecto al PD Hawk y es que permite suponer a una medida previa para medir el ruido electromagnético, la medida que se realiza para analizar las DP, con lo que se puede observar claramente en que frecuencias se están produciendo, ya que será en aquellos puntos donde haya una gran diferencia entre ambas señales. El PD Hawk necesitaría para realizarlo un dispositivo analizador externo. Además dispone de más modos analizadores por lo que se pueden medir más parámetros.

10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Norma UNE-EN 60270, Técnicas de ensayo en alta tensión. Medida de descargas parciales, Norma española, 2002.
- [2] J. M. Martínez Tarifa, Alta tensión, Apuntes asignatura Alta Tensión Universidad Carlos III de Madrid, 2012.
- [3] M.V. Rojas Moreno, Tesis Doctoral: Sensor de acoplamiento inductivo para la medida de pulsos de corriente de alta frecuencia para la medida y detección de descargas parciales, Junio de 2011.
- [4] J.A. Ardila Rey, Sistema de adquisición de descargas parciales. Caracterización de fuentes de descarga y ruido por análisis de potencia espectral, Trabajo fin de Máster en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática, Universidad Carlos III de Madrid, Junio de 2012
- [5] M. Muhr, IEC 62478 A prospective standard for acoustic and electromagnetic partial discharge measurement, Institute of High Voltage Engineering and System Management, University of Technology Graz. http://home.zcu.cz/~tesarova/IP/Proceedings/Proc_2007/Others/Muhr-IEC.pps
- [6] Real Academia de la Lengua Española.
- [7] C. A. Balanis, Antenna Theory: Analysis and Design, Wiley-Interscience, 3ª Edición, 2005.
- [8] Impedancia antena <https://sites.google.com/site/ea7ahg/antena/teoria/impedancia-de-una-antena>. Febrero de 2013.
- [9] J. Usaola García, Apuntes de Teoría de Circuitos, UC3M E.P.S. Departamento de Ingeniería Eléctrica, Leganés 2002.
- [10] E. Ariel Ponzano, Cuadripolos, Teoría de circuitos I, Universidad Nacional de la Plata de Argentina. http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/tcieye/Tci/Documentos/Apuntes/TEMA_04_CUADRIPOLOS_final.pdf Última visita Marzo de 2013.
- [11] E. Sánchez y A. Mojón, Análisis de Redes, Universidad de Vigo, 2003. http://www.tsc.uvigo.es/BIO/Docencia/AR/Libro_AR/Teo5_Cuadripolos.pdf Marzo de 2013.
- [12] Cuadripolos, Departamento de electrónica, Facultad de Ingeniería UNER, Argentina. <http://www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/electron1/PDF/Cuadripolos.pdf>. Marzo de 2013.
- [13] G. Robles, M. Sánchez-Fernández, R. Albarracín Sánchez, M. Rojas-Moreno, E. Rajo-Iglesias y J. M. Martínez-Tarifa, Antenna parametrization for the detection of partial discharges. Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on, vol. 62(5), páginas 932_941, 2013. ISSN 0018-9456, 2013.
- [14] J. Claudio Brégains, Tesis: Análisis, síntesis y control de diagramas de radiación generados por distribuciones continuas y discretas utilizando algoritmos estocásticos y redes neuronales artificiales. 2007

- [15] M. Botello-Pérez, V. Molina-López y I. García-Ruiz, Realización del patrón nacional de factor de antena, Simposio de metrología, 27 al 29 de octubre de 2010.
- [16] Dipolo <http://www.radiocomunicaciones.net/antenas-dipolo.html> Marzo de 2013.
- [17] www.ensenadamexico.net/hector/it/reporte_antenas.php Marzo de 2013.
- [18] Documento Antenas es.scribid.com Documento Antenas. Marzo de 2013.
- [19] E. Monacheri, A.M. Franzel, G. Chaile, C. Agustín y A. Gómez López, Proyecto de investigación: Efecto de la foresta en las transmisiones electromagnéticas dentro de una WLAN, 2011.
- [20] C. Amor Jiménez, Proyecto Fin de Carrera: 2569 Dipolo impreso para aplicaciones wi-fi y caracterización de la ganancia por medio de la celda TEM, Universidad Autónoma de Barcelona Septiembre de 2011.
- [21] www.antenna-theory.com Marzo de 2013.
- [22] J. J. Murillo Fuentes, Fundamentos de radiación y radiocomunicación, 2007.
- [23] W. L. Stuzman y G. Thiele, Antenna theory and design, J. Wiley, 1998.
- [24] R. Medina García y O. Murcia Ramírez, Antenas logarítmica periódica de dipolo, Universidad Distrital. <http://es.slideshare.net/Arkso/logaritmica-8476495> Abril de 2013.
- [25] Log-Periódica <http://electromagnetic-fields.wikispaces.com/ANTENAS> Abril de 2013.
- [26] L. A. Lezama Moreira, E. Javier Flores y D. J. Gaitán Rugama, Diseño y elaboración de una antena logarítmica periódica, Universidad Nacional de Ingeniería – Recinto Universitario Simón Bolívar. <http://es.scribd.com/doc/55558128/Antena-logaritmica> Abril de 2013.
- [27] A. Cardama, J.M. Ruis Casals, Lluís Jofre Rocu, J. Romeu Robert, S. Blanch Boris y M. Ferrando Bataller, Antenas, Edición UPC, 1998.
- [28] F. Tercero Martínez, J. Antonio López Fernández, E. García Muñoz, J. A. Abad Abad, P. Caballero, Bocina cónica de pruebas para el criostato de 22 GHz, Informe Técnico del OAN, 2001.
- [29] Apuntes de antenas, Universidad Politécnica de Valencia. http://www.upv.es/antenas/Documentos_PDF/Notas_clase/Bocinas.pdf Abril de 2013
- [30] Apuntes de antenas, RDPR-6-1, <http://proton.ucting.udg.mx/~tonycova/otrasantenas.pdf> Abril de 2013
- [31] J. Lopez-Roldan, T. Tang y M. Gaskin, Optimisation of a Sensor for Onsite Detection of Partial Discharges in Power Transformers by the UHF Method. Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on (Volume: 15 , Issue: 6), páginas 1634_1639, ISSN: 1070-9878, 2008.
- [32] Reglamento de Radiocomunicaciones, Unión Internacional de Telecomunicaciones, Edición del 2012.

- [33] Y. Psonis Sánchez, Aplicación práctica del equipo PDS100 para la medición de descargas parciales, Trabajo Fin de Grado de Grado en Ingeniería Eléctrica, Universidad Carlos III, Julio 2013.
- [34] Ministerio de Industria, Energía y Turismo (España), <http://www.minetur.gob.es> Mayo de 2013.
- [35] www.mundoplus.tv, copyright 2001-2013 Mayo de 2013.
- [36] www.frecuenciadigital.es Mayo de 2013.
- [37] <http://www.gsmSpain.com/glosario/?palabra=3g> Mayo de 2013.
- [38] <http://blogcmt.com/2011/02/10/mapa-de-la-cobertura-3gumts-en-espana/> Mayo de 2013.
- [39] www.universal-radio.com Abril de 2013.
- [40] <http://www.doble-lemke.eu> Abril de 2013.
- [41] MKT-SL-PDS100_withAccessories-05/12, www.doble.com Abril de 2013.
- [42] PDS100 www.doble-lemke.eu Mayo de 2013
- [43] PD Hawk <http://www.eatechnology.com> Mayo de 2013