

Departamento de Ingeniería de Comunicaciones

TRABAJO DE FIN DE GRADO

CARACTERIZACIÓN DEL RUIDO IMPULSIVO GENERADO EN DISTINTOS DISPOSITIVOS

Alumno: FONTECHA, GARATE

Director (1): LANDA, IRATXE

Director (2): VLEZ, MANUEL

2017-2018

ÍNDICE GENERAL

Tabla de contenido

ÍNDICE GENERAL.....	1
INDICE DE FIGURAS	5
INDICE DE TABLAS	6
INDICE DE ACRÓNIMOS.....	7
1. Introducción	8
2. Contexto	9
3. Objetivos.....	11
3.1 Objetivo principal	11
3.2 Objetivos secundarios	11
• Diseño de un sistema para realización de medidas del ruido impulsivo en interiores para VHF.	11
• Estudio de las características del ruido impulsivo modificando frecuencias y fuentes.	11
4. Beneficios	12
4.1 Beneficios técnicos	12
4.2 Beneficios económicos	12
4.3 Beneficios sociales.....	12
5. Requerimientos de partida.....	13
5.1 Ruido radioeléctrico	13
5.1.1 Ruido gaussiano blanco (WGN)	14
5.1.2 Single carrier noise (SNC).....	15
5.1.3 Ruido impulsivo	16
5.2 Parámetros de caracterización del ruido impulsivo.....	16
5.2.1 Parámetros fundamentales de IN	17
5.3 Ruido impulsivo en diferentes fuentes.....	18
5.3.1 Ruido impulsivo en bombillas LEDs	18
5.3.2 Ruido impulsivo en secadores	19
5.3.3 Ruido impulsivo en taladros	20

6.	Descripción de la metodología	21
6.1	Estudios teóricos previos.....	21
6.2	Método de evaluación y análisis del ruido impulsivo (IN).....	21
6.2.1	Protocolos para la medición del ruido	21
6.2.2	Cálculo de las características del IN.....	25
6.3	Selección del set-up de medida	26
6.3.1	Selección de las frecuencias	27
6.3.2	Selección de la antena.....	27
6.3.3	Selección del equipo receptor	28
6.3.4	Selección SW de procesado.....	29
6.4	Diseño del sistema.....	30
6.5	Medidas de IN.....	30
6.5.1	Equipamiento y montaje	30
6.6	Criterios de evaluación	31
6.7	Definición de los casos de usuario	31
6.8.1	Figura de ruido externa y burst ratio a 63 MHz	33
6.8.2	Figura de ruido externa y burst ratio a 77 MHz	33
6.8.3	Figura de ruido externa y burst ratio a128 MHz.....	34
6.8.4	Figura de ruido externa y burst ratio a 139 MHz	35
6.8.5	Espaciado de las ráfagas.....	36
6.8.6	Duración de las ráfagas	37
6.8.7	Burst rate.....	38
6.8.8	FA burst medio	38
7.	Descripción de Gantt	40
7.1	Equipo de trabajo	40
7.2	Definición de paquetes de trabajo y tareas	40
7.3	Diagrama de Gantt	43
8.	Resumen económico	45
8.1	Amortizaciones.....	45
8.2	Horas internas	45
8.3	Otros gastos.....	46
8.4	Resumen económico	46
9.	Análisis de riesgos.....	47
9.1	Identificación y valoración de riesgos	47
9.1.1	Fuentes de ruido impulsivo ajenas (A).....	47

9.1.2	Deterioro del material (B)	47
9.1.3	Problemas técnicos con el software (C)	47
9.2	Matriz de probabilidad e impacto	48
10.	Conclusiones.....	49
	BIBLIOGRAFÍA	50
	Anexo I.....	51

RESUMEN TRINLINGUE

Resumen

Este proyecto contribuye a la solicitud de UIT-R 214-5/3, la cual pide más estudios sobre el ruido impulsivo. En este trabajo se presentan la metodología, los resultados y las conclusiones de las mediciones en el interior para cuatro frecuencias diferentes en el rango de 63 y 139 MHz para tres dispositivos de consumo específicos. El objetivo del estudio es determinar cómo afecta el ruido impulsivo a los dispositivos inalámbricos en diferentes escenarios. Para la elaboración del documento se ha seguido la Recomendación UIT-R SM. 1753.

Abstract

This project contributes to the request of ITU-R 214-5 / 3, which calls for more studies on impulsive noise. This paper presents the methodology, results and conclusions of the indoor measurements of four different frequencies in the range of 63 and 139 MHz for three specific consumption devices. The aim of the study is to find out how in the different proposed scenarios impulsive noise has effects on the wireless devices. This study has been done following the ITU-R SM 1753 recommendation.

Laburpena

Proiektu hau ITU-R 214-5/3 eskaerari laguntzen dio, zarata bultzagarriari buruzko ikasketa gehiago eskatzen duenak. Txosten honetan, barne inguruko neurketen metodologia, emaitzak eta ondorioak aurkezten ditra, 63 eta 139 MHz bitarteko maiztasun ezberdinetan, hiru kontsumo-gailu espezifikotarako. Proiektuaren helburua eszenatoki desberdinetan, zarata bultzagarriak haririk gabeko gailuetan duten eraginazehaztea da. Txosten hau, ITU-R SM.1753 gomendioan oinarritu dago.

INDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Evolución de dispositivos conectados a internet (IoT)	9
Ilustración 2: Ejemplo de señal con ruido blanco gaussiano.....	14
Ilustración 3: Transformación de datos I/Q en el espectro complejo (SCN)	15
Ilustración 4 : Imagen de señal junto con el ruido impulsivo.....	16
Ilustración 5: Ejemplo de ráfagas que podrían considerarse componente del IN	17
Ilustración 7: Conversor AC/DC de los dispositivos LED.....	18
Ilustración 9: Motor interno del secador	19
Ilustración 11: Distribución de amplitud de potencia	24
Ilustración 12: Separación de muestras IN de WGN	25
Ilustración 13: Dipolo pasivo HK309.....	27
Ilustración 14: Comportamiento del dipolo pasivo HK309	28
Ilustración 15: Equipo receptor Anritsu MS2690A.....	28
Ilustración 16: Logo del SW Matlab.....	29
Ilustración 17: Esquema del diseño del sistema del proyecto	30
Ilustración 18: Equipamiento y montaje para la elaboración del proyecto	31
Ilustración 19: Burst Ratio para 63 MHz.....	33
Ilustración 20: FA medio para 63 MHz	33
Ilustración 21: FA medio para 77 MHz	34
Ilustración 22: Burst ratio para 77 MHz	34
Ilustración 23: burst ratio para 128 MHz	35
Ilustración 24: FA medio para 128 MHz	35
Ilustración 25: Burst ratio para 139 MHz	35
Ilustración 26: Fa medio para 139 MHz.....	35
Ilustración 27: Espaciado burst en 63, 77, 128 y 139 MHz.....	36
Ilustración 28: duración burst en 63, 77, 128 y 139 MHz	37
Ilustración 29: Burst rate en 63, 77, 128 y 139 MHz	38
Ilustración 30: FA burst medio en 63, 77, 128 y 139 MHz	39
Ilustración 31: Diagrama GANTT del proyecto	44
Ilustración 32: Componente del programa/servicio Interfaz Noise	51
Ilustración 33: Paso 1 del Interfaz Noise (cargar xml).....	52
Ilustración 34: Paso 2 del Interfaz Noise (Obtención gráfica de muestras)	53
Ilustración 35: Paso 3 del Interfaz noise (WGN).....	53
Ilustración 36: Paso 4 del Interfaz Noise (IN)	54
Ilustración 37: Paso 5 del Interfaz Noise (Rellenar datos).....	55
Ilustración 38: Paso 6 del Interfaz Noise(cargar excel)	55

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparativa de los componentes del ruido radioeléctrico	13
Tabla 2: Parámetros principales de los diferentes parámetros del ruido impulsivo	17
Tabla 3: Características de bombilla LED escogida.....	18
Tabla 4: Características del secador escogido	19
Tabla 5: Características del taladro escogido	20
Tabla 6: Recomendación de RBW en función de la frecuencia empleada	22
Tabla 7: Características Antena HK309	27
Tabla 8: Característica del analizador de espectros Anritsu MS2690 A.....	29
Tabla 9: Casos de usuario	32
Tabla 10: Valores de figura de ruido externo y burst ratio	32
Tabla 11: Parámetros modificados en las mediciones	32
Tabla 12: Equipo de trabajo	40
Tabla 13: Coste de las amortizaciones del proyecto	45
Tabla 14: Coste de los recursos humanos empleados en el proyecto	45
Tabla 15: Otros gastos en el proyecto.....	46
Tabla 16: Resumen económico del proyecto	46

INDICE DE ACRÓNIMOS

UIT	— Unión internacional de telecomunicaciones
IOT	— Internet de las cosas (<i>Internet of things</i>)
WiFi	— Red Inalámbrica (<i>Wireless Fidelity</i>)
IQ	— En fase/cuadratura (<i>In phase/Quadrature</i>)
SCN	— Ruido de portadora única (<i>Single carrier noise</i>)
WGN	— Ruido gaussiano blanco (<i>White Gaussain Noise</i>)
RBW	— Resolution Bandwith
ADP	— Amplitud de Distribución de Potencia (<i>Amplitude Probability Distribution</i>)
SW	— Software
ABS	— Acrilontrilo Butadieno Estireno
LED	— Light Emmiting Diode Keying
AC	— Corriente Alterna (<i>Altern Current</i>)
DC	— Corriente Continua (<i>Direct Current</i>)
IN	— Ruido impulsivo (<i>Impulsive Noise</i>)
ROE	— Relación de Onda Estacionaria
FA	— Figura de ruido externa/ambiente
SNR	— Relación señal ruido (<i>Signal-to-Noise Ratio</i>)
OFDM	— Ortogonal Frequency Division Multiplex
TFG	— Trabajo de Fin de Grado
DFT	— Transforma discreta de Fourier (<i>Discrete Fourier Transform</i>)
TSR	— Tratamiento de la Señal y Radiocomunicaciones
VHF	— Muy alta frecuencia (<i>Very High Frequency</i>)
EMC	— Compatibilidad Electromagnética (<i>Electromagnetic Compatibility</i>)
UPV/EHU	— Universidad del PaísVasco / Euskal Herriko Unibertsitatea

1. Introducción

Este trabajo de fin de grado consiste en el estudio y análisis del ruido impulsivo (IN) generado por diferentes dispositivos electrónicos. El objetivo es medir y caracterizar el ruido radioeléctrico en la proximidad de dichos dispositivos funcionando en distintos escenarios en el interior de un edificio. Se han estudiado tres dispositivos, cuatro frecuencias y se ha variado la distancia entre el dispositivo y la antena de medida en 5 posiciones para realizar un análisis en función de estos parámetros. Sin embargo, en este documento no se tendrán en cuenta las diferentes distancias, todos los datos se basan en una única distancia como se explicará a lo largo del documento. El presente capítulo describe la estructura del documento.

El capítulo 2 trata del contexto del trabajo, en que ámbito se realiza la investigación, el uso y las aplicaciones del mismo y una explicación breve de cómo afectan los distintos ruidos a los sistemas.

A continuación, se hablarán de los objetivos del proyecto, tanto el principal como los secundarios, así como sus beneficios, que estarán desglosados en los capítulos 3 y 4.

En el 5. capítulo se hablará de los requisitos mínimos necesarios del proyecto. En él se definirán los conceptos teóricos para poder profundizar en la base principal del trabajo. Por ello, se hará una breve descripción de los diferentes tipos de ruido, se detallarán los parámetros principales del ruido impulsivo y se hará una breve descripción de las diferentes fuentes de ruido.

Seguiremos con el capítulo 6 donde se detallará la metodología empleada para la realización del proyecto, con las distintas fases, resultados y conclusiones obtenidas por el mismo. También en el 7 se definirá la planificación donde se nombran las tareas en las que se ha dividido el proyecto, así como el diagrama de Gantt del trabajo.

Siguiendo con la estructura, en el capítulo 8 se realiza un pequeño resumen de los aspectos económicos del proyecto, donde se reflejan los gastos obtenidos.

El noveno capítulo trata de un análisis de riesgos. En este capítulo se examinan cuáles son los principales riesgos que podrían aparecer a la hora de llevar a cabo este proyecto, y, por consiguiente, se exponen diferentes medidas de contingencia para cada uno de ellos.

Por último, en el capítulo 10, se exponen las conclusiones que se han obtenido en este trabajo.

2. Contexto

Debido al incremento del uso de dispositivos electrónicos en entornos de interiores, que emiten ondas radioeléctricas, los sistemas de comunicaciones inalámbricos en interiores se ven afectados por las interferencias producidas por estos dispositivos. Aunque los sistemas digitales aplican corrección de errores y son robustos frente al ruido radioeléctrico, el ruido impulsivo puede interferir en el funcionamiento de los dispositivos inalámbricos.

Actualmente se han estudiado en profundidad el ruido Gaussiano y el ruido blanco y cómo éstos afectan a los sistemas de comunicaciones. Así, se han diseñado sistemas robustos frente a estos ruidos utilizando técnicas como puede ser OFDM (*Orthogonal Frequency Division multiplex*). Sin embargo, existe un gran vacío en el estudio sobre el ruido impulsivo y en la influencia de éste en los sistemas de comunicación. Es por esto que la Unión Internacional de Telecomunicaciones pide en su cuestión ITU-R Question 214-5/3 [1] que se realicen más medidas y estudios de ruido para diferentes escenarios.

Todo espectro de los sistemas de comunicaciones presenta una gran dependencia con el ruido radioeléctrico ya que éste puede producir interferencias, generar bits erróneos o incluso generar la pérdida de sincronización de la señal recibida. Concretamente, el ruido impulsivo presenta unas características que las hace sensibles a técnicas que son inmunes ante otros tipo de ruidos. Los componentes del IN se diferencian ya que contienen una amplitud muy elevada en un breve lapso de tiempo que además, aparece de manera totalmente aleatoria.

Se estima que a día de hoy alrededor de 24.000 millones de dispositivos se encuentran conectados a Internet (IoT, Internet of Things), y además, se espera un incremento exponencial de cara al futuro como muestra la ilustración 1. Esto causará una mayor dificultad en la correcta medición del ruido impulsivo. Entre estos dispositivos se pueden nombrar sistemas como WiFi (Wireless Fidelity), una nevera inteligente o simplemente un marcapasos que esté monitorizado desde el centro de salud.

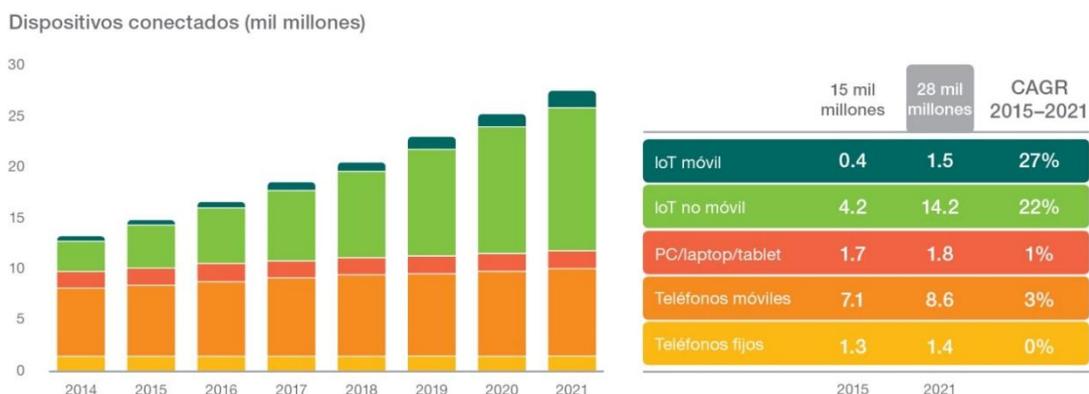


Ilustración 1: Evolución de dispositivos conectados a internet (IoT)

Por esta razón, el presente proyecto tiene como finalidad analizar la influencia del ruido impulsivo en los sistemas inalámbricos generados por diferentes dispositivos de consumo para poder garantizar cierta calidad de funcionamiento de los sistemas inalámbricos [7], tanto en el ámbito de ocio, multimedia e incluso en el de la salud, como se trata en el caso del marcapasos.

Para llevar a cabo el estudio, se han analizado las características del ruido impulsivo generado por tres dispositivos situados a diferentes distancias y a diferentes frecuencias, en el rango de 63 y 139 MHz, VHF, ya que para la banda de frecuencia LF previamente se han realizado estudios [8,9,10]. Los tres dispositivos escogidos para llevar a cabo el proyecto han sido un secador, un taladro y una bombilla LED.

Para llevar a cabo dicho estudio se ha optado por realizar las mediciones en interiores. A diferencia de los entornos exteriores, en éstos hay una alta densidad de fuentes de ruido radioeléctrico procedentes de diversas fuentes.

Este estudio forma parte de un proyecto desarrollado por el grupo de investigación TSR, dentro del departamento de Ingeniería de Comunicaciones de la Escuela Técnica Superior de Bilbao, UPV/EHU.

3. Objetivos

En este tercer capítulo se analizan los diferentes objetivos del proyecto. En primer lugar, se explicará cual es el objetivo principal del trabajo, y después, se nombrarán los objetivos secundarios para poder conseguir el principal.

3.1 Objetivo principal

El objetivo principal de este trabajo es el estudio del ruido impulsivo en entornos de interiores generado por diferentes dispositivos de consumo y el efecto que tienen la frecuencia y el propio dispositivo sobre los parámetros que caracterizan el ruido impulsivo. De esta forma, se dispondrá de un mayor conocimiento sobre el ruido impulsivo en presencia de dispositivos y se podrán diseñar sistemas de comunicaciones inalámbricas en interiores de una forma más eficaz que asegure el funcionamiento de los sistemas y prevenir efectos interferentes no deseados.

3.2 Objetivos secundarios

Para conseguir el objetivo principal mencionado anteriormente se deben llevar a cabo los siguientes objetivos:

- **Diseño de un sistema para realización de medidas del ruido impulsivo en interiores para VHF.**

Se ha desarrollado un sistema basado en la recomendación UIT-R SM.1753-2 [2] que permite recoger diferentes muestras de WGN. Mediante estas muestras se podrán obtener los valores de los parámetros del ruido impulsivo en cada una de ellas. Además, gracias a este sistema se podrán volcar los valores a un fichero Excel para poder visualizar los resultados y de esta manera, caracterizar el ruido impulsivo.

- **Estudio de las características del ruido impulsivo modificando frecuencias y fuentes.**

Según la recomendación mencionada en el punto anterior se ha caracterizado la banda que abarca las frecuencias comprendidas entre 63 y 139 MHz. Así, se ha estudiado la influencia y el comportamiento del ruido impulsivo en diferentes escenarios, exactamente, cambiando las frecuencias y las fuentes que lo generan.

4. Beneficios

En este apartado se exponen los diferentes beneficios que conlleva la realización del proyecto. Dichos beneficios se clasifican en técnicos, económicos y sociales.

4.1 Beneficios técnicos

El principal beneficio técnico consiste en aportar valores de los parámetros que caracterizan el ruido impulsivo generado por dispositivos electrónicos basados en medidas reales de forma que se puedan optimizar los diseños y planificaciones de los actuales y futuros sistemas de comunicaciones inalámbricos.

Dicha información estarán en mano de cualquiera que las desee por lo que los fabricantes de las mismas podrán tener en cuenta los datos a la hora de fabricar cada dispositivo. Además, los que diseñen los dispositivos inalámbricos también podrán tener en cuenta los resultados obtenidos para generar sistemas más robustos frente al ruido impulsivo.

4.2 Beneficios económicos

Por un lado, decir que este proyecto tiene como cliente el grupo de investigación de TSR, departamento de la universidad de Ingeniería Superior de Bilbao, UPV/EHU. No obstante, en un futuro se podría vender dicha información en el Análisis Comercial aportando beneficios al departamento debido a la venta de la información obtenida.

Por otro lado, se obtendrán valores de los parámetros del ruido impulsivo que permitirán optimizar y mejorar los diseños de los servicios de comunicaciones inalámbricos, lo que supondría un ahorro.

4.3 Beneficios sociales

Se podrían destacar dos beneficios sociales debido a los resultados obtenidos en este estudio. Por un lado, se podría saber la cantidad de ruido impulsivo que generan las diferentes fuentes a diferentes frecuencias por lo que ayudaría a la fabricación de dichos dispositivos respecto a lo que IN se refiere, y por otro lado, se sabría en que frecuencias afectarían más a los servicios inalámbricos, por lo que ayudaría a un mejor diseño de estos últimos.

5. Requerimientos de partida

Este capítulo recoge los requerimientos necesarios del proyecto, en el que se detallan los conceptos principales. En primer lugar, se dará una breve descripción de los diferentes tipos de ruido, y a continuación se detallará profundamente el ruido a estudiar, el impulsivo.

5.1 Ruido radioeléctrico

La definición del ruido radioeléctrico que figura en la recomendación de UIT-R V-573 [6] es la siguiente:

"Fenómeno electromagnético variable que se manifiesta en las radiofrecuencias, aparentemente no lleva información y es susceptible de superponerse o combinarse como una señal útil. En algunas ocasiones un ruido radioeléctrico puede llevar información acerca de algunas características de su fuente, por ejemplo, su naturaleza y emplazamiento. Un conjunto de señales puede aparecer como un ruido radioeléctrico cuando no son identificables por separado."

El ruido radioeléctrico puede ser de distinta naturaleza; radiación debido a la descarga de rayos, suma de radiación no intencionada procedente de maquinaria eléctricas, radiación procedente de fuente radioeléctricas cósmicas etc.

La recomendación UIT-R establece tres componentes del ruido radioeléctrico que se exponen a continuación, cada una con propiedades y características diferentes:

Tipo de ruido	Características principales
WGN	Nivel spectral de potencia aumenta de manera lineal respect al ancho de banda
Impulsivo	Nivel spectral de potencia crece al cuadrado del ancho de banda
SCN	Nivel spectral de potencia es independiente del ancho de banda

Tabla 1: Comparativa de los componentes del ruido radioeléctrico

A continuación, se hará una breve descripción de cada componente del ruido radioeléctrico.

5.1.1 Ruido gaussiano blanco (WGN)

En el caso del ruido gaussiano blanco se asume lo siguiente:

-El ruido es blanco: la densidad espectral de potencia es plana, por lo que la autocorrelación del ruido en el dominio del tiempo es nulo.

- El ruido sigue una distribución Gaussiana: la distribución de los valores es de tipo gaussiana por lo que su magnitud más adecuada para medir su intensidad es el valor cuadrático medio (vrms).

Propiedades: Contienen vectores electromagnéticos que **no están correlados**, el ancho de banda que poseen puede ser igual o mayor que el ancho de banda del receptor y el nivel espectral de la potencia aumenta de manera lineal con el ancho de banda.

Fuentes asociadas:

- Ordenadores.
- Ruido galáctica y atmosférico.
- Redes de comunicación por líneas de tensión.

Parámetros asociados: nivel eficaz, presentado como un solo valor.

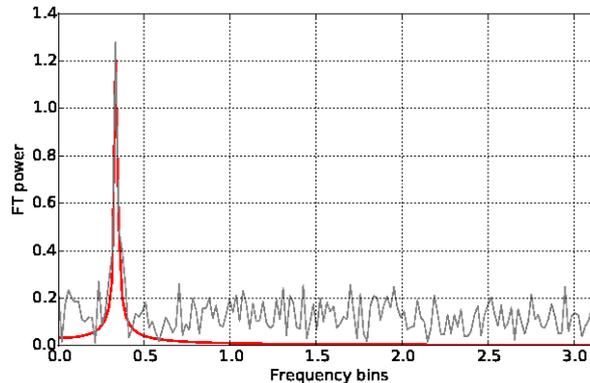


Ilustración 2: Ejemplo de señal con ruido blanco gaussiano

El nivel de ruido de WGN se consigue de la siguiente manera [5]:

1. Selección de la frecuencia central sin excluir SCN .
2. Adquisición de datos de amplitud aplicando un filtro gaussiano digital a los datos I/Q y detección envolvente a la salida del filtro.
3. Obtención de los datos en DPA.
4. Adquirir el nivel de WGNA mediante los valores de DPA.

5.1.2 Single carrier noise (SNC)

El ruido de portadora única (SCN, Single Carrier Noise) sólo se detecta como tal cuando procede de una sola fuente situada en las proximidades del emplazamiento de medición. Sin embargo, el SCN suele ser un componente dominante del entorno radioeléctrico interior donde también deben funcionar los sistemas inalámbricos.

Propiedades: El nivel espectral de potencia es independiente del ancho de banda, contiene una o más rayas espectrales distintas y el ancho de banda más recudido que el ancho de banda del receptor.

Fuentes asociadas:

- Ordenadores.
- Fuentes de alimentación en modo conmutado.
- Redes de ordenadores cableadas.

Parámetros fundamentales: nivel eficaz de la portadora única interferente más elevada.

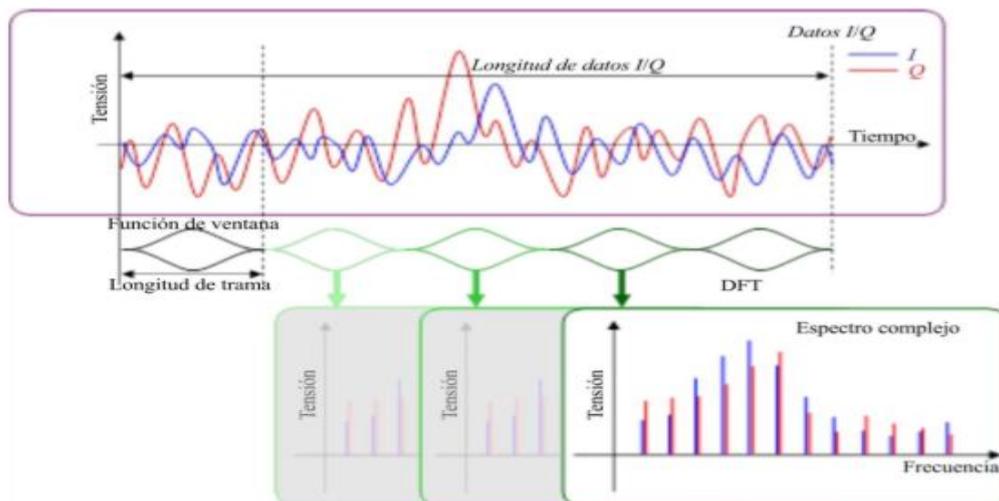


Ilustración 3: Transformación de datos I/Q en el espectro complejo (SCN)

El ruido de la portadora única se consigue mediante tres pasos [5]:

1. Transformar datos I/Q en un espectrograma mediante DFT.
2. Detección de la frecuencia de ruido con el nivel más alto.
3. Adquirir nivel de ruido de portadora única.

5.1.3 Ruido impulsivo

Este último será el ruido que vamos a examinar a lo largo del trabajo. Este tipo de ruido consta de vectores electromagnéticos correlados. Tiene un mayor ancho de banda que el propio receptor. Además, el nivel espectral crece como el cuadrado del ancho de banda.

Fuentes asociadas:

- Chispas de encendido.
- Dispositivos con gran ancho de banda.
- Rayos.

Parámetros fundamentales: nivel cresta, duración del impulso/ráfaga, periodo impulso/ráfaga, tiempo total impulso/ráfaga.

5.2 Parámetros de caracterización del ruido impulsivo

Los ensayos originados por la ITU demuestran que el ruido en interiores ha aumentado considerablemente. La principal razón se debe al aumento del uso de sistemas eléctricos y/o electrónicos como se ha mencionado al inicio del documento.

El ruido impulsivo (IN, Impulsive Noise) es el ruido que se caracteriza por un brusco aumento de amplitud en un corto periodo de tiempo. Es más, para que un ruido se considere impulsivo, el tiempo de duración del impulso deberá ser inferior a 1 segundo. Este tipo de ruido predomina en el rango de frecuencias de 9kHz y 1 GHz.

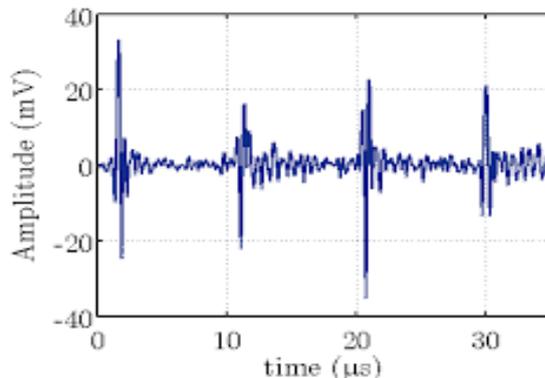


Ilustración 4 : Imagen de señal junto con el ruido impulsivo

La Recomendación UIT-R SM.1753-2[2] contiene la siguiente descripción:

La componente de WGN queda suficientemente caracterizada mediante su valor eficaz, no así como el ruido impulsivo. Los servicios modernos de comunicaciones digitales hoy en día utilizan técnicas basadas en sistemas de corrección de errores lo que les hace más inmunes ante el ruido radioeléctrico, incluyendo el ruido impulsivo. Sin embargo, cuando la duración del impulso o la tasa de repetición de impulso alcanza cierto valor de tiempo, el ruido impulsivo puede interferir en el funcionamiento de los servicios de una manera significativa. Por consiguiente, se debe medir el ruido radioeléctrico de manera que además de proporcionar información respecto el nivel de IN proporcione cierta información respecto la distribución estadística de los parámetros del impulso.

De acuerdo con esta descripción, el ruido blanco gaussiano y el impulsivo no afectan del mismo modo, por lo que se deben analizar de forma independiente.

5.2.1 Parámetros fundamentales de IN

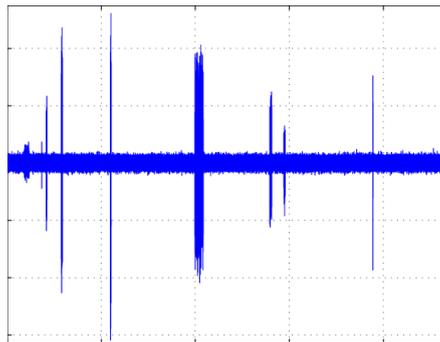


Ilustración 5: Ejemplo de ráfagas que podrían considerarse componente del IN

Parámetro	Valor
Amplitud	Valor medio de amplitud de la señal
Periodo repetición	Espacio de tiempo en el que se repite una ráfaga o impulso
Porcentaje del tiempo total	En que porcentaje de tiempo en el que hay muestras de IN respecto las muestras totales
Duración de ráfaga ¹	Tiempo en el que dura una ráfaga

Tabla 2: Parámetros principales de los diferentes parámetros del ruido impulsivo

¹ En este documento se emplearán indistintamente el término ráfaga o burst

Los parámetros fundamentales del entorno interior se presentan como una distribución obtenida a partir de la medición en múltiples puntos. que Los procedimientos de evaluación de los parámetros fundamentales se detallan en el punto 6.2.

5.3 Ruido impulsivo en diferentes fuentes

5.3.1 Ruido impulsivo en bombillas LEDs

Una bombilla Led (Light Emitting Diode) es una lámpara de estado sólido que usa LEDs como fuente lumínica. A diferencia de las lámparas incandescentes o fluorescentes compactas, las lámparas LED no son capaces de emitir una luz muy intensa, y dependiendo del tipo de luminosidad deseada se agruparán más o menos LEDs.

Los diodos por los que éstas se componen funcionan con energía eléctrica de corriente continua. A consecuencia, cada bombilla LED debe tener circuitos internos para operar desde la corriente alterna normal. En comparación a las otras lámparas tienen una vida útil más larga, pese a que los costes iniciales en este caso sean más altos.

El modelo que se ha escogido es el siguiente:

	G120-3D 1W E27,Cold300º LEXAM
---	--

Tabla 3: Características de bombilla LED escogida

La alimentación del Sistema se realiza mediante la toma de corriente común, siendo el voltaje de la línea de 120 Vrms AC. Sin embargo estos trabajan con unos valores muy bajos de tensión (alrededor de 3,5 Vdc) por lo que se debe realizar una conversión de AC/DC. Debido a este **convertor**, como se verá en el 6. capítulo, se generan ráfagas de ruido impulsivo.



Ilustración 6: Convertor AC/DC de los dispositivos LED

5.3.2 Ruido impulsivo en secadores

El secador de pelo es un dispositivo electromecánico diseñado para expulsar aire, ya sea caliente o frío. El secador está compuesto por los siguientes elementos:

- Alimentación: Corriente alterna suministrada por un enchufe doméstico
- Carcasa: Plástico fundido ABS.
- Diodo rectificador: Tiene como función compensar la parte reactiva.
- Conmutador: Misión abrir o cerrar el paso de la corriente.
- Mica: Aislante eléctrico y térmico de origen mineral.
- Motor: Éste hace rotar una hélice de seis aspas.

El modelo que se ha escogido es el siguiente:

	Modelo: 716 1800 W JATA
---	-------------------------------

Tabla 4: Características del secador escogido

A diferencia de los LEDs, éstos no tienen un conversor que pase de AC/DC. Esto podría llevarnos a pensar que entonces no se generaría ninguna componente del ruido impulsivo, sin embargo, no es el caso. En este caso, las ráfagas de ruido impulsivo se originarán debido al **motor** que se encuentra dentro de los secadores.



Ilustración 7: Motor interno del secador

5.3.3 Ruido impulsivo en taladros

Dispositivo con el que se mecanizan la mayoría de los agujeros que se hacen a las piezas en los talleres mecánicos. Tienen dos movimientos:

-Rotación de la broca: imprime el motor eléctrico del a máquina a través de una transmisión por poleas y engranajes.

-Avance de penetración: de manera manual o automática.

El modelo que se ha escogido es el siguiente:

	PST 700 E 500 W BOSCH
--	-----------------------------

Tabla 5: Características del taladro escogido

Al igual que la secadora, el taladro posee un pequeño **motor**. Por consiguiente, el origen del ruido impulsivo generado por los taladros también se originaría debido éste.

6. Descripción de la metodología

En este capítulo se detallará la metodología utilizada para conseguir los objetivos propuestos en este trabajo de fin de grado. Para ello, se presentan diferentes secciones con las diversas fases que se han de seguir y una última con los resultados de las simulaciones.

6.1 Estudios teóricos previos

En primer lugar, se han tenido que entender los conceptos teóricos que rodeaban el proyecto. Por lo tanto, la primera fase ha constado del estudio de los requisitos mínimos necesarios.

Para ello, se han definido cuáles eran los conceptos más importantes que había que analizar para el desarrollo del TFG: Se han tenido que diferenciar de una manera breve los diferentes tipos de ruido radioeléctrico (WGN, SCN e IN). También, se ha tratado de comprender en que se basa el ruido impulsivo, y el motivo del origen de cada uno de los dispositivos.

Sabiendo qué conocimientos eran necesarios para la realización del proyecto se han tenido que realizar búsquedas de libros, artículos o enlaces de Internet de fuente fiable para detallar dichos conceptos. Una vez reunida la bibliografía necesaria [1,6,14,15], se ha procedido a analizarla detenidamente para obtener los conocimientos necesarios.

6.2 Método de evaluación y análisis del ruido impulsivo (IN)

En esta sección se detallarán los protocolos necesarios para la realización de las medidas del ruido impulsivo y se describirán los pasos que se han de seguir para dichas mediciones.

6.2.1 Protocolos para la medición del ruido

Según UIT-R SM.1753-2[2] el WGN puede medirse utilizando un detector de valor eficaz y aplicar el procedimiento de reducción del 20% en la frecuencia establecida. Sin embargo, esto no pasa para el ruido impulsivo. De acuerdo con las recomendación UIT-R SM.2155[12] el ruido impulsivo no se puede medir siguiendo el procedimiento que sugiere la Compatibilidad Electromagnética (EMC), [14]. Para la medición el ruido impulsivo se deben tomar las muestras a muy alta velocidad sin que estén ponderadas mediante

un detector de muestreo de datos. Estas frecuencias abarcan el rango de entre 30 MHz y 1 GHz

Para efectuar las mediciones se recomienda lo siguiente:

- El receptor debe tener un ROE a la entrada inferior a 1,5 para una impedancia nominal de 50 Ω .

-Es preferible el uso de una antena con paso de tierra sintonizada.

-Recomendación UIT-R P.372 [13]: " el nivel de ruido se expresa como factor de ruido en dB por encima del ruido térmico en vez de como intensidad de campo".

-Duración mínima de la exploración debe ser de 0,5 s.

Según la frecuencia empleada se recomienda utilizar un ancho de banda de resolución (RBW) del filtro tenga los valores de la siguiente tabla:

Rango de frecuencias	RBW recomendado
30 MHz-450 MHz	100 KHz
450 MHz-1 GHz	300 KHz
1GHz-3 GHz	5 MHz

Tabla 6: Recomendación de RBW en función de la frecuencia empleada

El valor eficaz de WGN aumenta debido a la influencia del ruido impulsivo cuando se trata de un RBW estrecho (10 KHz, 100 KHz etc.), mientras que cuando se trata de un RBW más ancho, la predomina la influencia de SCN (30 MHz, 50 MHz etc.).

Para la realización de este estudio se han escogido frecuencias entre 63MHz y 139 MHz, por lo que se ha empleado un RBW de 100 KHz. Para este caso se tendrán muestras WGN con la influencia del ruido impulsivo, como veremos a continuación, mediante una separación de muestras de los dos tipos de ruido, nos quedaremos únicamente con el componente del ruido impulsivo.

Según la recomendación de UIT-R SM.1753-2[2], se deben seguir 5 pasos para las mediciones del ruido impulsivo. Dichos pasos se detallan en los siguientes puntos.

1. PASO: Corrección del ruido generado por el equipo

En primer lugar se debe medir el valor eficaz del WGN mediante una

antena. Una vez se ha medido dicho valor, se comprobará que la diferencia entre las diferentes mediciones supere como mínimo con 10 dB al ruido interno generado por el propio equipo. En caso que así sea, no se deberá efectuar ningún cambio y el valor de WGN será el obtenido por la antenna. En caso contrario, el valor corregido de WGN será el siguiente:

$$p_{WGN} = p_a - \frac{f-1}{f} p_b \quad (1)$$

Donde:

p_a : nivel de ruido en lineal obtenido con la antenna

p_b : nivel de ruido en lineal con la antenna adaptada

f : factor de ruido del equipo

2. PASO: Trazado de la distribución de probabilidad de las amplitudes (ADP) de las muestras de datos en bruto

En este segundo paso se muestra una gráfica de La Distribución de probabilidad de Amplitudes (ADP), el cual muestra en que porcentajes los valores del ruido superan el valor térmico . Se debe decir que para dicha gráfica el eje de abscisas se muestra en la escala Rayleigh.

Como se puede ver en la imagen, el ruido blanco gaussiano es la línea que coge valores entre 0,1 y 37 %, siendo su pendiente de 10 dB. En el caso que incluyese SCN, dicho valor se reduciría y se tomaría como valor eficaz en el punto en el que la recta estuviese en el 37%.

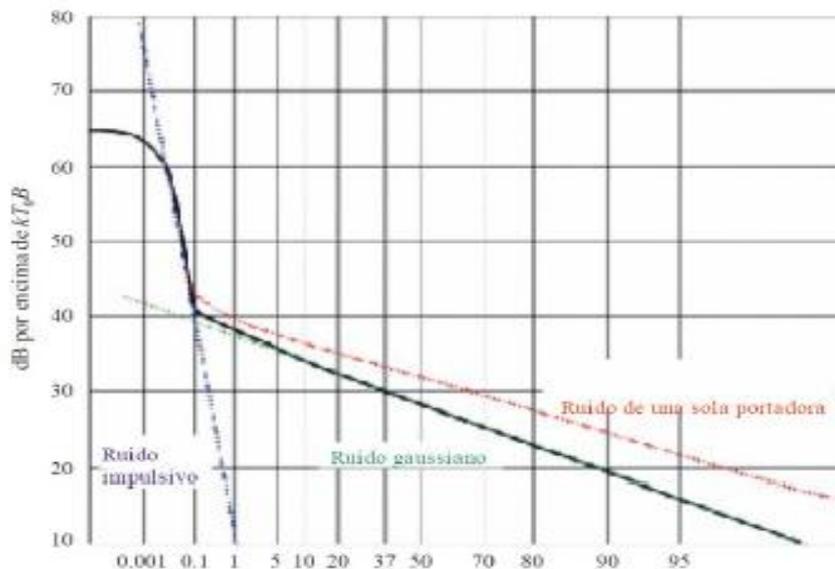


Ilustración 8: Distribución de amplitud de potencia

3. PASO: Calculo de figura de ruido externo (Fa)

Para conocer el ruido de los dispositivos se debe medir el valor WGN mediante una antena. Para obtener estos valores se han establecido unos parámetros específicos: un ancho de banda, de sample rate... Por ello, de acuerdo con la recomendación de ITU SM.1753 se establece un nuevo parámetro relacionado con WGN. Este parámetro se denomina figura de ruido externa[13]. El valor de la figura de ruido externa se calcula de la siguiente manera:

$$FA = Pr(\text{dBm}) + 107 + K(\text{dB(l/m)}) - 20\log(f(\text{MHz})) - 10\log(b(\text{Hz})) + 95.5 \quad (2)$$

Siendo:

Pr: nivel eficaz de WGN (dBm)

K: factor de la antena (dB)

f: frecuencia a la que se ha tomado la medida

b: ancho de banda de medición (Hz)

4. PASO: Separación de muestra IN y WGN

Para extraer únicamente las muestras originadas por el IN, debe aplicarse un umbral cuyo valor sea muy superior al de las crestas del WGN. Este umbral se fija a 13 dB por encima del nivel eficaz del WGN, puesto que se trata normalmente del factor de CRESTA habitual (diferencia entre el valor

eficaz y el valor de cresta) para el WGN. Todas las muestras de medición por encima del umbral se tratan como si fuera IN.

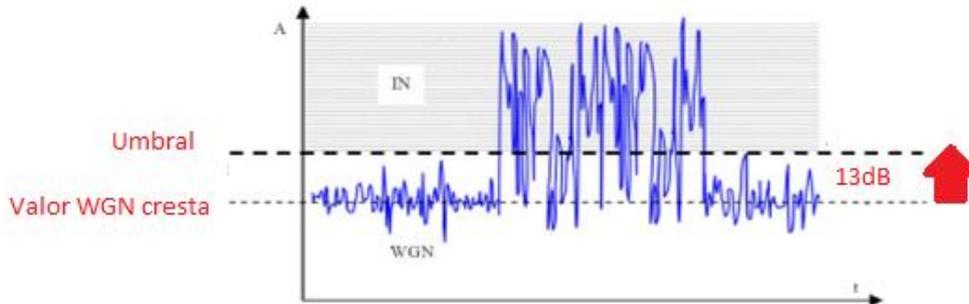


Ilustración 9: Separación de muestras IN de WGN

5. PASO Combinación de los trenes de impulsos para construir ráfagas

Entre las amplitudes de las muestras reales de ruido, en función del tiempo se pueden distinguir algunas debidas a la componente impulsiva. Su duración es muy breve y aparecen seguidas creando trenes de impulsos.

La Recomendación UIT-R SM.1753 propone un método para caracterizar la componente impulsiva uniendo esos impulsos en un sólo evento denominado ráfaga. Este proceso permite localizar bloques de ráfagas garantizando que más del 50% de sus muestras sobrepasan el umbral. Es posible que haya muestras por debajo del umbral, pero no se consideran ruido impulsivo.

6.2.2 Cálculo de las características del IN

Para poder caracterizar por completo el ruido impulsivo se necesitan los parámetros que se definirán a continuación, según UIT-R SM.2093-0 [5].

6.2.2.1 Nivel de IN

La densidad de nivel de ruido impulsivo, el cual es mide en la unidad de dB μ V/MHz. Dicho nivel se consigue mediante la ecuación 3:

$$W_g = y_e(t) + 20\log\left(\frac{1}{b_{IBW}}\right) \quad (3)$$

donde:

b_{IBW} = ancho de banda del impulso (MHz)

$y_e(t)$ = tensión de cresta de la envolvente.

6.2.2.2 Tasa de tiempo total de IN

La tasa de tiempo total será el porcentaje en el que aparecen muestras de componente del ruido impulsivo respecto a todas las muestras.

$$i = (N_i * N) / 100 \quad (4)$$

donde:

N_i : número de muestras por encima del umbral IN.

N : número total de muestras.

6.2.2.3 Duración y periodo de repetición de IN

Para calcular la duración y el periodo de repetición de ruido impulsivo previamente deben identificarse las muestras iniciales y las finales de IN. Una vez han sido identificadas, la duración de cada IN se calcula así:

$$T_1 = N_1 / f_s \quad (5)$$

donde:

N_1 : número de muestras comprendidas entre el inicio y final de IN

f_s : frecuencia de muestreo.

Para calcular el periodo de repetición se utilizó la ecuación 6.

$$T_2 = N_2 / f_s \quad (6)$$

donde:

N_2 : número de muestras entre cada punto de inicio de IN

f_s : frecuencia de muestreo.

6.3 Selección del set-up de medida

Una vez recogida toda la información necesaria, para llevar a cabo las mediciones se han tenido que escoger diferentes parámetros.

6.3.1 Selección de las frecuencias

Como se ha mencionado al inicio del trabajo, el ruido impulsivo predomina en el rango de entre 9 kHz y 1 GHz. Para el procedimiento de medición de este trabajo se han escogido cuatro frecuencias que está comprendidas en dicho rango:

63MHz, 77 MHz, 128 MHz y 139 MHz

Todas estas frecuencias están dentro de la banda de frecuencia VHF (30-300 MHz), y el ancho de banda que se ha utilizado para llevar a cabo el estudio ha sido de 5 MHz.

Se recomienda escoger una banda de frecuencias en la que los niveles de emisión de radiodifusión u otras aplicaciones de comunicación observados sean bajos o nulos.

6.3.2 Selección de la antena

En entornos interiores suele haber fuentes de ruido radioeléctrico dominantes en las cercanías y no se puede considerar que el ángulo de llegada sea uniforme. Por consiguiente, no es conveniente utilizar antenas directivas para realizar mediciones en estos entornos. El tipo de antena más adecuado para todas las bandas de frecuencias de medición son los dipolos verticales de media onda, pues al tener bajas pérdidas, se puede considerar que no las tienen y que la ganancia es omnidireccional en el plano horizontal.

Para la elaboración del proyecto se ha optado por el uso de la antena Rodhe&Swarz HK309 [3], una antena pasiva dipolo cuyas características se muestran en la siguiente tabla:



Ilustración 10: Dipolo pasivo HK309

Tabla 7: Características Antena HK309

Característica	Valor
Rango de frecuencias	20 MHz- 1GHz
Diagrama de radiación	Omnidireccional
VSWR	<3

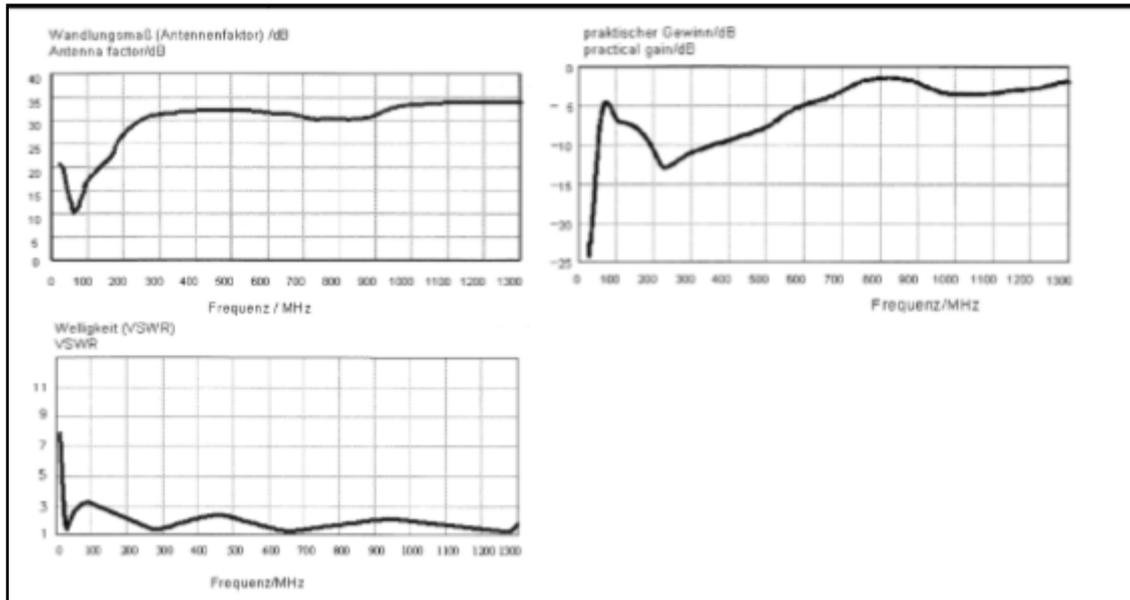


Ilustración 11: Comportamiento del dipolo pasivo HK309

Viendo la ilustración 14 podríamos afirmar que la antena efectivamente recoge un amplio rango de frecuencias, pese a que en altas frecuencias el patrón no parece regular.

6.3.3 Selección del equipo receptor

El sistema receptor y la antena (HK309) se sitúan en un carrito móvil. Así, se podrán transportar fácilmente para poder efectuar las medidas en diferentes puntos de medición.

El receptor que se ha escogido es un analizador de espectros que se ha escogido ha sido MS2690A [4] cuyas características son las siguientes:



Ilustración 12: Equipo receptor Anritsu MS2690A

Característica	Valor
Rango de frecuencias	50Hz- 6GHz
Nivel de precisión	0.3 dB
Nivel de ruido	-155 dBm/Hz
Rango dinámico	177 dB

Tabla 8: Característica del analizador de espectros Anritsu MS2690 A

6.3.4 Selección SW de procesado

Para obtener los parámetros de caracterización de ruido impulsivo ha sido necesario un programa para procesar las medidas y volcarlas a un fichero Excel.

Cada medida realizada incluía los valores de WGN máximo, WNG mínimo, tiempo, duración de ráfagas y separación de las ráfagas Para llevar a cabo dicha realización se ha optado por el uso del software Matlab.

Software Matlab:

- Librerías adecuadas.
- Gráficas a partir de las muestras
- Permite trabajar con señales y simular IN.

Para extraer las medidas del ruido impulsivo mediante las muestras de WGN se ha creado un fichero de extensión ".m" llamado **Interfaz_noise**.

Puede consultar más información del análisis desarrollado en Matlab en el **Anexo I**.

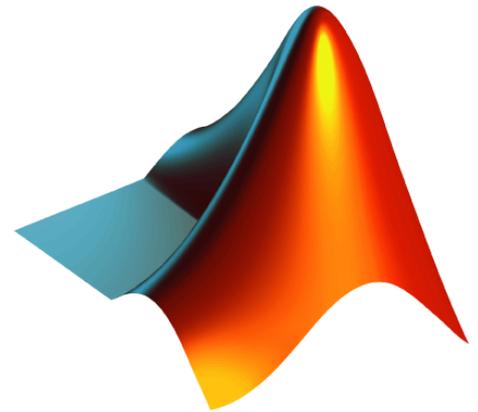


Ilustración 13: Logo del SW Matlab

6.4 Diseño del sistema

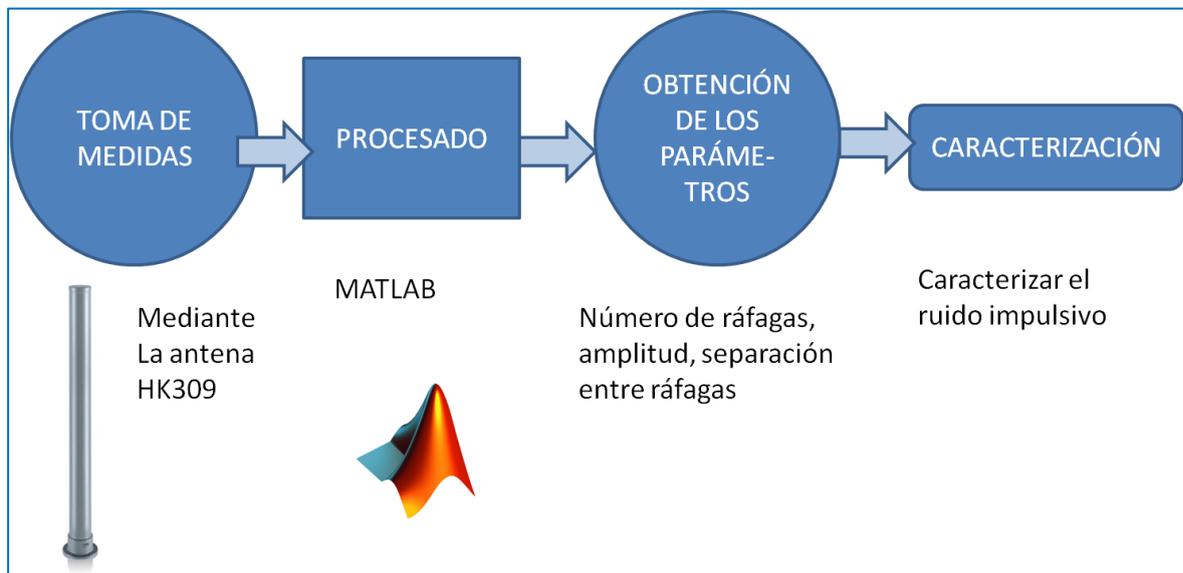


Ilustración 14: Esquema del diseño del sistema del proyecto

En la ilustración 17 se puede ver de una manera gráfica el proceso que se ha seguido para llevar a cabo el estudio. En primer lugar se han realizado las medidas de los valores WGN mediante la antena en la 4. planta del edificio B de la escuela de Ingenieros de Bilbao. Una vez obtenidas las medidas suficientes, se ha realizado un procesado de las muestras.

A continuación, mediante el SW Matlab, se han obtenido los diferentes parámetros de IN como son el número de ráfagas, amplitud, separación entre ráfagas, valores WGN pico mínimo y máximo.

Para concluir, se ha podido caracterizar del ruido impulsivo como se explica en la sección 6.8.

6.5 Medidas de IN

6.5.1 Equipamiento y montaje



Ilustración 15: Equipamiento y montaje para la elaboración del proyecto

Las medidas se realizan mediante el equipamiento que aparece en la ilustración 18. Se realizan medidas con la Antena pasiva HK309, donde se recogen los resultados de WGN mediante el receptor Anritsu. Entonces, dichos datos se registran en el ordenador, donde se llevará un procesamiento de datos mediante el software Matlab.

6.6 Criterios de evaluación

El objetivo del programa, al final, es estimar el valor del ruido impulsivo en los diferentes escenarios y poder obtener unas conclusiones claras y concisas. Por ello, se han dividido los datos en suficientes gráficos para poder ir obteniendo conclusiones de cada uno de ellos.

6.7 Definición de los casos de usuario

En esta sección se detallan los diversos escenarios que se han recreado a la hora de realizar las mediciones. Para empezar, en todas las ellas ha habido una serie de parámetros que se han mantenido fijos. Esos parámetros son los que figuran en la tabla 9.

Parámetro	Valor
Bandwith	5 MHz
Samping rate	10 MHz
Capture time	5 s
Tiempo de medida	0,25 s
Distancia antena/fuente	1 m
RBW	100 KHZ

Tabla 9: Casos de usuario

Ahora se mostrarán en las siguientes tablas los parámetros que se han ido modificando para la realización del proyecto. Por un lado, se han obtenido los diferentes valores de figura de ruido externo (Fa) y los valores de burst ratio para cada una de las 4 frecuencias empleadas tal y como lo indica la tabla 10. Por otro lado, se han recogido los valores de espaciado, duración y ratio de las ráfagas para las cuatro frecuencias que se han estudiado, así como los valores de Fa como los indica la tabla 11.

Sección	Frecuencia(MHz)	K(dB)
6.8.1	63	10
6.8.2	77	10
6.8.3	128	18
6.8.4	139	18

Tabla 10: Valores de figura de ruido externo y burst ratio

Sección	Valores
6.8.5	Duración de burst
6.8.6	Separación de burst
6.8.7	Ratio burst
6.8.8	Fa

Tabla 11: Parámetros modificados en las mediciones

Siendo K el factor de antena, que se define como la relación entre la intensidad del campo eléctrico y el voltaje V (unidades: V o μ V) inducida a través de los terminales de una antena.

6.8 Resultados

En este apartado se presentan los resultados correspondientes a los diferentes casos de usuario que se han definido en el apartado 6.7. En primer lugar se van a presentar los diferentes valores medios de figura de ruido externo (Fa) y los valores del ratio de ráfagas para los tres dispositivos. Después, se expondrán los diferentes valores de espaciado, la duración y el ratio de las ráfagas, así como la figura de ruido externa.

6.8.1 Figura de ruido externa y burst ratio a 63 MHz

En este apartado se muestran los valores del ruido externo y del ratio de las ráfagas para la frecuencia de 63 MHz. Estos resultados se dan para tres fuentes diferentes; taladro (azul), secador (rojo) y LED (verde).

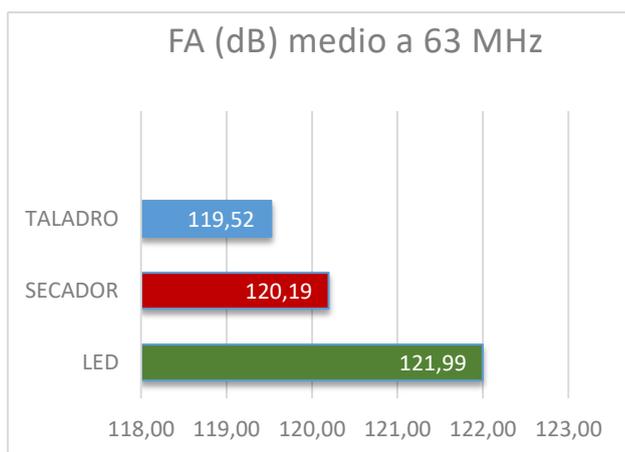


Ilustración 17: FA medio para 63 MHz

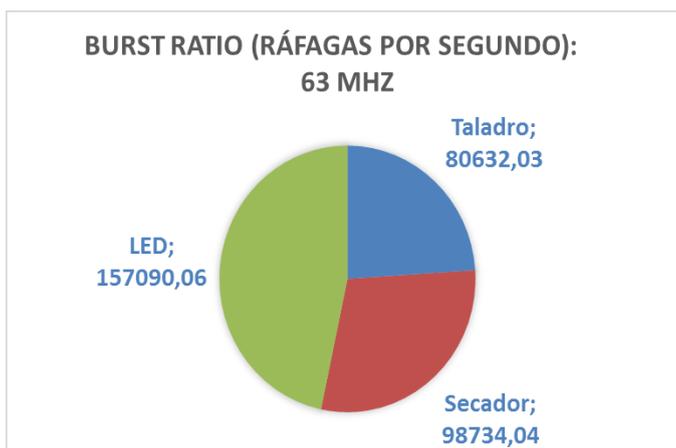


Ilustración 16: Burst Ratio para 63 MHz

Como podemos comprobar en las gráficas 19 y 20 tanto el valor de la figura externa como el valor del ratio de ráfagas es significativamente mayor en el caso del dispositivo LED. Con el taladro ocurre lo contrario, ya que tiene para los dos casos el valor más pequeño.

6.8.2 Figura de ruido externa y burst ratio a 77 MHz

En esta sección se muestran los diferentes valores que se han obtenido del ratio de las ráfagas y de FA para la frecuencia de 77 MHz. Los valores se pueden ver en los gráficos 21 y 22.

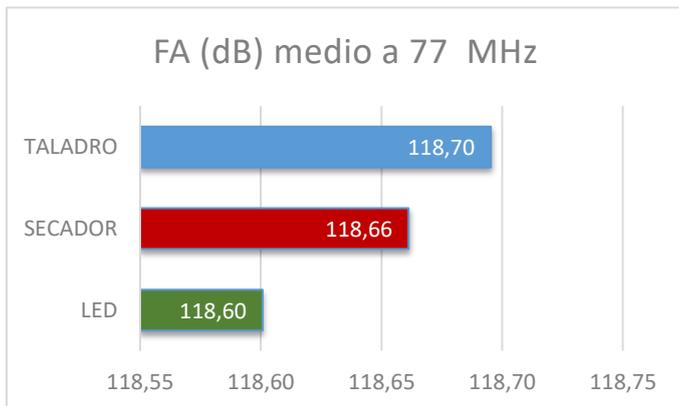


Ilustración 18: FA medio para 77 MHz

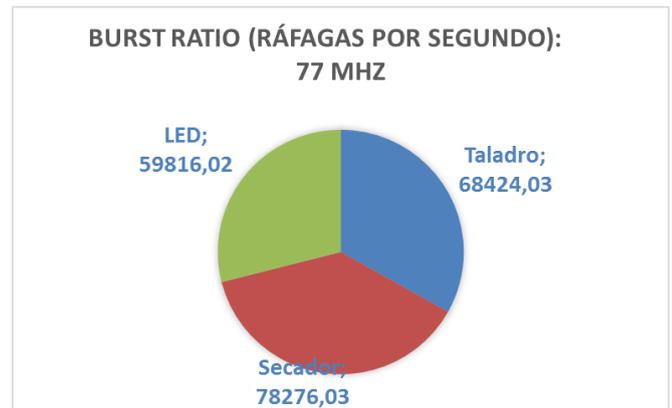


Ilustración 19: Burst ratio para 77 MHz

Para el caso de 77 MHz vemos como los valores varían del caso anterior. En cuanto al ruido externo tal y como se muestra en la imagen 21 el LED deja de tener el mayor valor y pasa a ser el que menor valor de FA ha obtenido. Además, el propio taladro que con 63 MHz tenía el valor más pequeño pasa a ser el dispositivo con mayor valor de figura de ruido ambiente. Por otro lado, lo que respecta el ratio de las ráfagas se puede ver como los tres dispositivos obtienen valores muy similares.

6.8.3 Figura de ruido externa y burst ratio a 128 MHz

Para la frecuencia de 128 MHz también se han analizado los valores de FA y burst ratio como muestran las figuras 23 y 24.

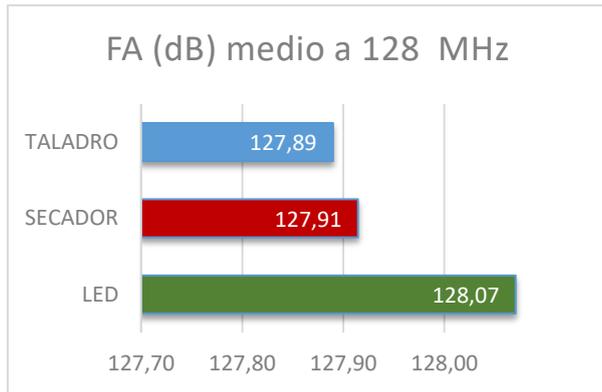


Ilustración 21: FA medio para 128 MHz

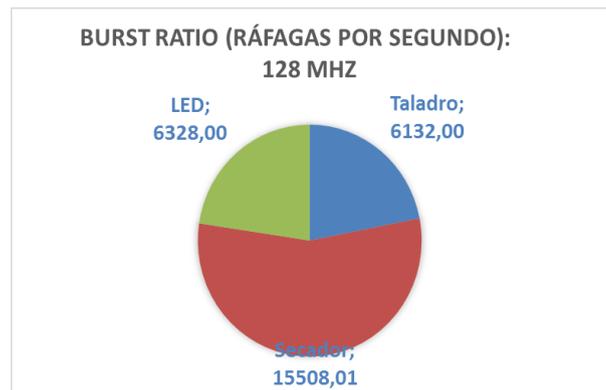


Ilustración 20: burst ratio para 128 MHz

En el caso de 128 MHz vemos que una vez más el LED es el que obtiene el mayor de ruido externo, con un valor de 128,07 dB, habiéndose detectado el menor valor con el taladro, a 127,98 dB. En cuanto al burst ratio, se ve una gran diferencia en el caso del secador con respecto a los otros dispositivos. Concretamente, dobla el valor de los otros dos dispositivos, los cuales tienen un valor muy similar.

6.8.4 Figura de ruido externa y burst ratio a 139 MHz

En este apartado se ha hecho una última medición a 139 MHz. Estos resultados quedan expuestos en las imágenes 25 y 26.

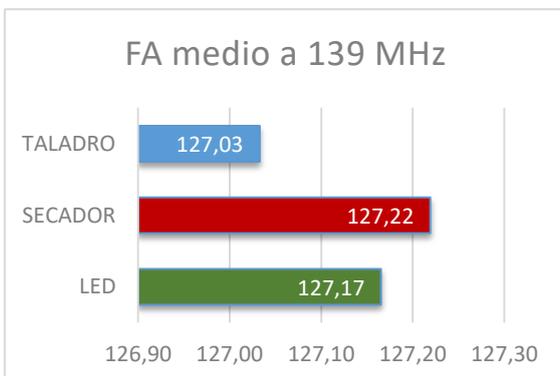


Ilustración 23: Fa medio para 139 MHz

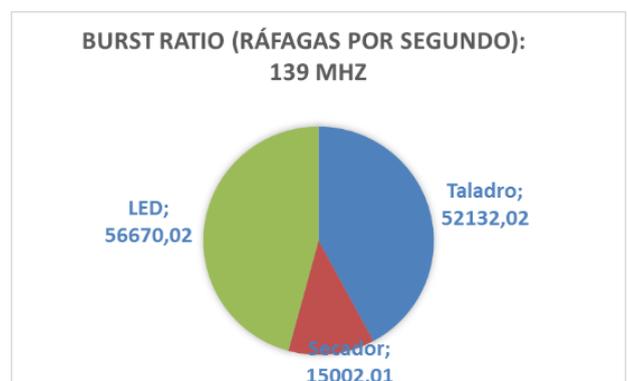


Ilustración 22: Burst ratio para 139 MHz

En este último caso el secador es el que ha recogido el valor más alto de Fa, con 127,22 dB, mientras es este dispositivo el que obtiene el valor más pequeño en Burst ratio. Por otro lado, podemos afirmar que para esta frecuencia el taladro y el LED obtienen valores muy similares en cuanto el ratio de ráfagas se refiere, cuadruplicando el valor del secador.

6.8.5 Espaciado de las ráfagas

En esta sección se ha analizado el espacio existente entre las diferentes ráfagas. Se han analizado dichos valores en cuatro frecuencias: 63, 77, 128 y 139 MHz, y todos ellos en los tres dispositivos de consumo que son el LED, el taladro y el secador.

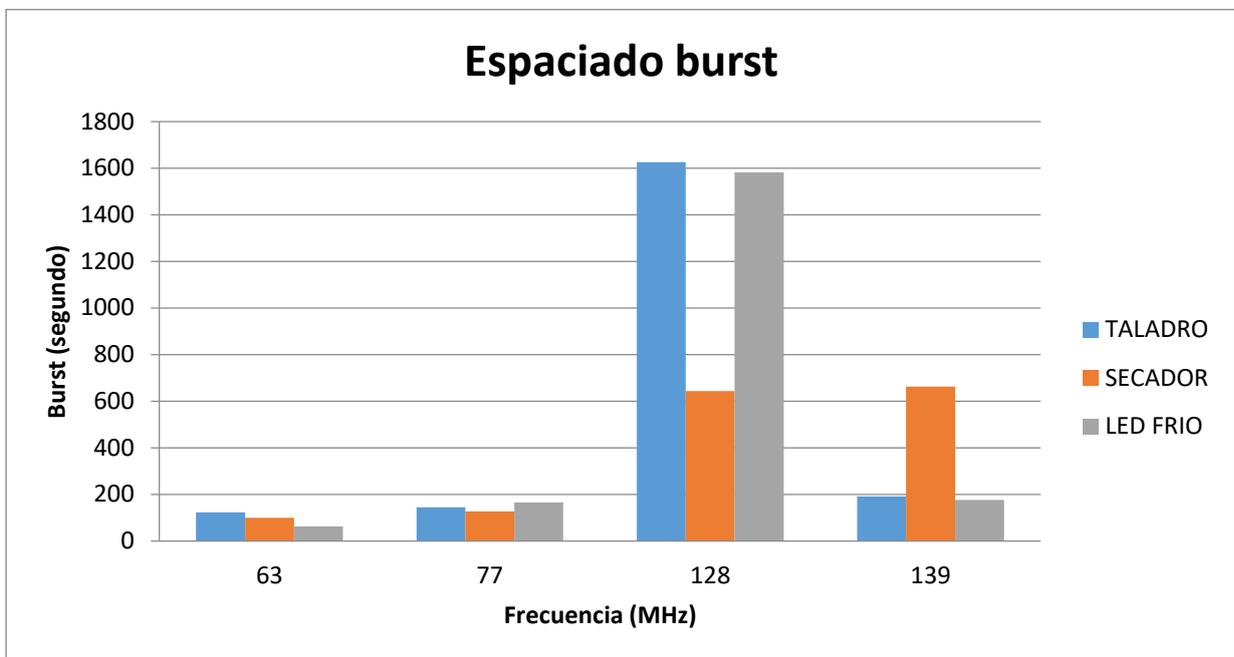


Ilustración 24: Espaciado burst en 63, 77, 128 y 139 MHz

En la ilustración 27 se muestra el espaciado de ráfagas que se han recogido en cuatro frecuencias (63, 77, 128 y 139 MHz) y para las tres fuentes. Para ello, se ha marcado cada fuente de un color; el taladro de color azul, el secador de color naranja y el LED de color gris.

De esta manera se puede ver que para frecuencias más pequeñas (63 y 77 MHz) el espaciado de las ráfagas tiene un valor menor. Para el caso de 139 MHz, ese valor aumenta en todos, pero hay un aumento más significativo con el secador. Por último, en la frecuencia de 128 MHz, esos valores crecen hasta 8 veces su valor para el caso de LED y el taladro (en comparación con las medidas obtenidas a 139 MHz), mientras que para el secador, ese valor se mantiene constante en estas dos últimas frecuencias.

6.8.6 Duración de las ráfagas

En este apartado se exponen las duraciones de las ráfagas que se han obtenido. Para ello, como el caso anterior, las tres fuentes están señaladas de diferentes colores. Estos valores se han medido para cuatro frecuencias entre 63 y 139 MHz,

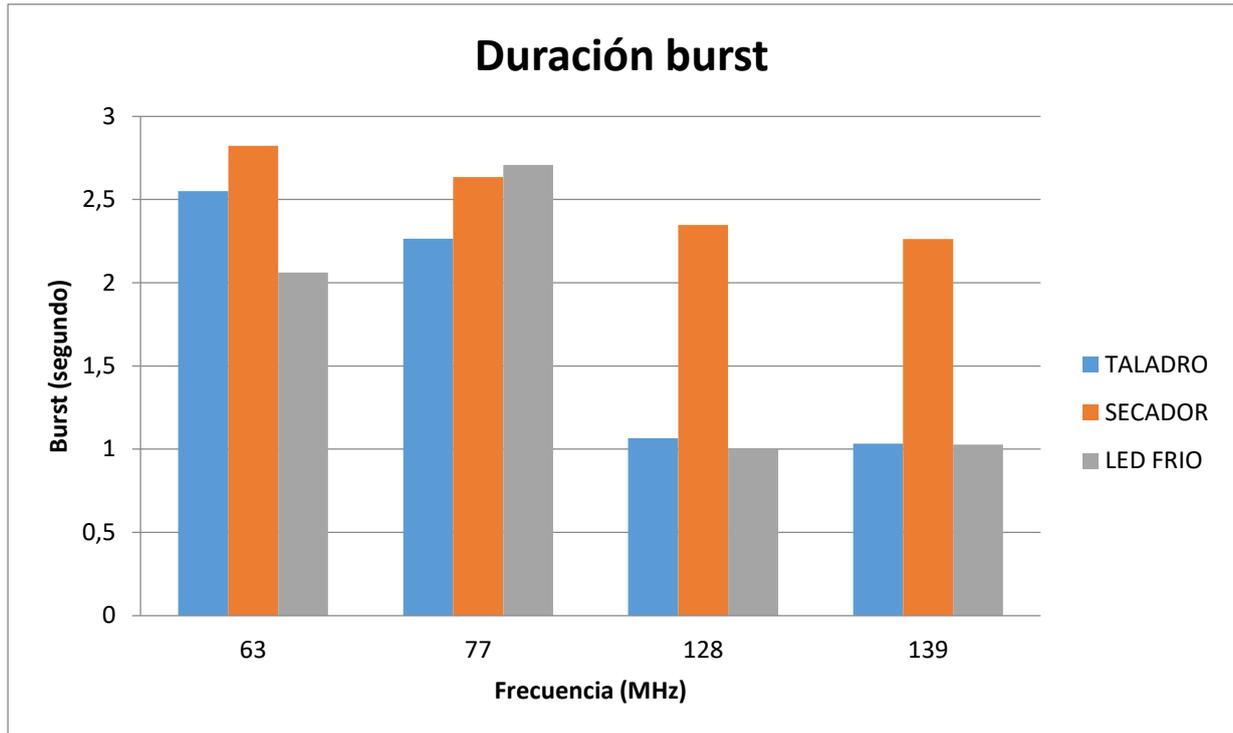


Ilustración 25: duración burst en 63, 77, 128 y 139 MHz

Como podemos ver en la ilustración 28, a 128 y 139 MHz las duraciones de las ráfagas tanto en el LED como en el taladro son muy similares. Sin embargo, para dichas frecuencias, el secador presenta unos valores que superan el doble de los valores medios de estos dispositivos. Por otro lado, el secador mantiene valores muy similares en todas las frecuencias (2,3-2,6 s) mientras que el taladro y el LED presentan valores altos en las frecuencias más pequeñas (2,1-2,6s) y valores bajos en las dos frecuencias más altas ($\cong 1s$).

6.8.7 Burst rate

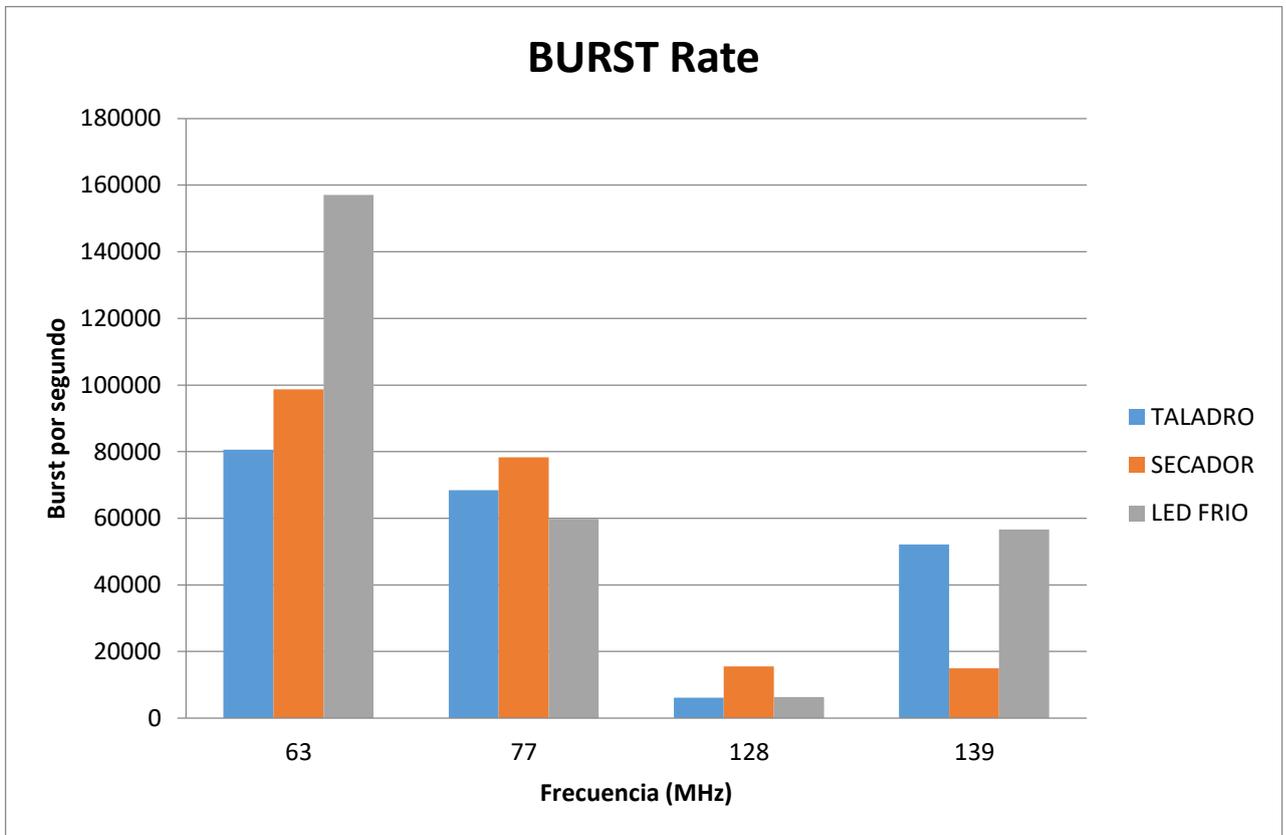


Ilustración 26: Burst rate en 63, 77, 128 y 139 MHz

Respecto a la tasa de estallido podemos afirmar que el dispositivo LED es la fuente que alcanza el mayor valor (157090 burst/segundo), mientras que el valor más pequeño lo recoge el mismo LED a 128 MHz (120 burst/segundo).

6.8.8 FA burst medio

Como ya hemos comentado anteriormente, en vez de estudiar los valores de WGN se van a analizar los de FA. En la ilustración 30 se ven estos resultados para las tres fuentes que se han utilizado para la elaboración del proyecto.

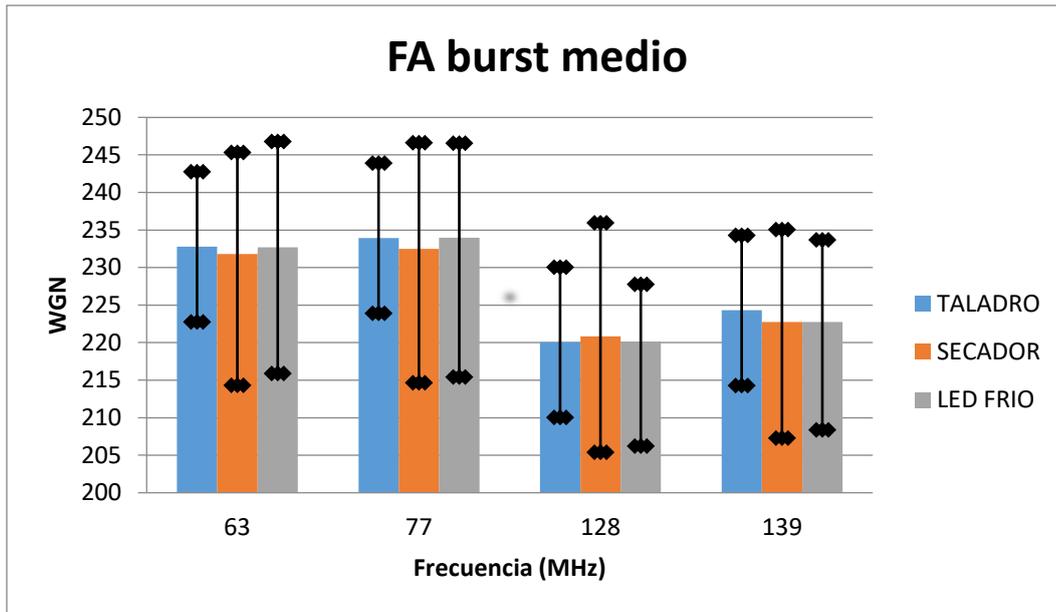


Ilustración 27: FA burst medio en 63, 77, 128 y 139 MHz

Para concluir con este apartado se mencionarán los dos puntos más significativos. En primer lugar, se puede ver como en todos los casos el valor máximo de Fa obtiene supera el valor medio con más de 10 dB mientras que el valor más pequeño recoge valores entre 5 y 8 dB por debajo de la media. Por otro lado, se ve como se obtiene mayor ruido en frecuencias más bajas para los tres dispositivos.

7. Descripción de Gantt

Este capítulo la planificación que se ha realizado para elaborar el presente proyecto, diferenciando los diversos paquetes de trabajos y tareas en los que se ha dividido.

7.1 Equipo de trabajo

En la siguiente tabla se describe el equipo de trabajo que se encargará del desarrollo del proyecto. También figura cuál será la responsabilidad de cada uno de los miembros.

Identificador	Nombre	Responsabilidad
M.	Manolo Vélez Elordi	Codirector del proyecto
I.	Iratxe Landa Sedando	Directora del proyecto
M.F	Maite Fontecha Garate	Desarrolladora del proyecto

Tabla 12: Equipo de trabajo

La directora del proyecto será quien se encargue de definir el proyecto, así como realizar un seguimiento de la evolución de la desarrolladora a lo largo del mismo. El codirector, por su parte, ayudará a la desarrolladora en caso de que ésta tenga cualquier duda. Por último, la desarrolladora del TFG, será quien se encargue de la realización del propio proyecto, desarrollando lo necesario para poder realizarlo. Así, se encargará del desarrollo del software que se necesite, de las mediciones que hagan falta e interpretará los resultados obtenidos, y finalmente, resumirá dicho trabajo en el presente documento.

7.2 Definición de paquetes de trabajo y tareas

En esta sección, se muestran cuáles son los distintos paquetes de trabajo y tareas en los que se divide el proyecto.

P.T.1: Gestión del proyecto

El objetivo de este paquete de trabajo será plantear en que se basa el proyecto, que trabajo debe realizar la desarrolladora, y así mismo realizar un estudio garantizando que todos los objetivos se cumplan.

- **Tareas:**
 - T.1.1: Planificación. Se debe planificar de que trata el informe, y se deben definir bien los objetivos que se quieren conseguir.
 - T.1.2: Gestión y seguimiento del proyecto. La directora realizará un seguimiento del trabajo realizado por la desarrolladora. Dicho seguimiento se hará mediante entregables vía e-mail o bien reunidos en su despacho.

No hay **hitos** ni **unidades entregables**.

Duración: 125 días.

Recursos: Iratxe Landa Sedano.

P.T.2: Elección del sistema de medidas

Este paquete tiene como objetivo formar a la alumna de los conceptos teóricos básicos para la elaboración del TFG.

- **Tareas:**
 - T.2.1: Recopilación de información. Se debe reunir la bibliografía necesaria mediante libros, páginas de fuentes fiables en internet y artículos para obtener los conceptos básicos del proyecto.
 - T.2.2: Estudio del sistema de medidas. Se tienen que definir los pasos que han de darse para realizar mediciones del ruido impulsivo.

No hay **hitos** ni **unidades entregables**.

Duración: 43 días.

Recursos: Maite Fontecha.

P.T.3: Selección de fuentes de ruido

En este paquete se escogerán las fuentes de ruido para llevar a cabo las mediciones necesarias.

- **Tareas:**

- T.3.1: Seleccionar las fuentes. Se seleccionarán 3 fuentes de ruido concretas para la elaboración del documento.

No hay **hitos** ni **unidades entregables**.

Duración: 6 días.

Recursos: Iratxe Landa, Maite Fontecha.

P.T.4: Realización de medidas

El objetivo de este paquete se basa en la realización de diferentes medidas con las fuentes optadas anteriormente.

- **Tareas:**

- T.4.1: Realización de medidas. Se deben efectuar las medidas necesarias para llevar a cabo el informe.
- T.4.2: Análisis de los resultados. Una vez se han realizado las medidas necesarias se deben exponer los resultados obtenidos.

No hay **tareas** ni **hitos**.

Unidades entregables:

- U.E.4: Informe de medidas. Se debe entregar dicho informe a la directora para que ésta pueda comprobar si debe hacerse algún cambio o si se deben realizar más medidas.

Duración: 33 días.

Recursos: Iratxe Landa, Maite Fontecha.

P.T.5: Caracterización de IN

En este paquete se tratará de caracterizar el ruido impulsivo de la manera más detallada posible. Para ello se deberán de realizar dos tareas.

- **Tareas:**

- T.5.1 Determinación de parámetros. Se deben definir los valores de los distintos parámetros del IN en las distintas medidas realizadas.
- T.5.2. Estudio de las fuentes de ruido: Se debe concluir que efectos tienen las diferentes fuentes.

No hay **tareas, hitos** ni **unidades entregables**.

Duración: 41 días.

Recursos: Iratxe Landa, Maite Fontecha.

P.T.6: Documentación

Este último paquete tiene como objetivo la preparación de toda la documentación que conforma el TFG.

- **Tareas:**

T.6.1 Informe. Se debe realizar el informe donde recoge todo lo anterior.

No hay **hitos**.

Unidades entregables:

- U.E.6: Informe final. Se debe entregar el presente informe, en donde se detallan todos los aspectos relevantes del proyecto realizado y las conclusiones oportunas.

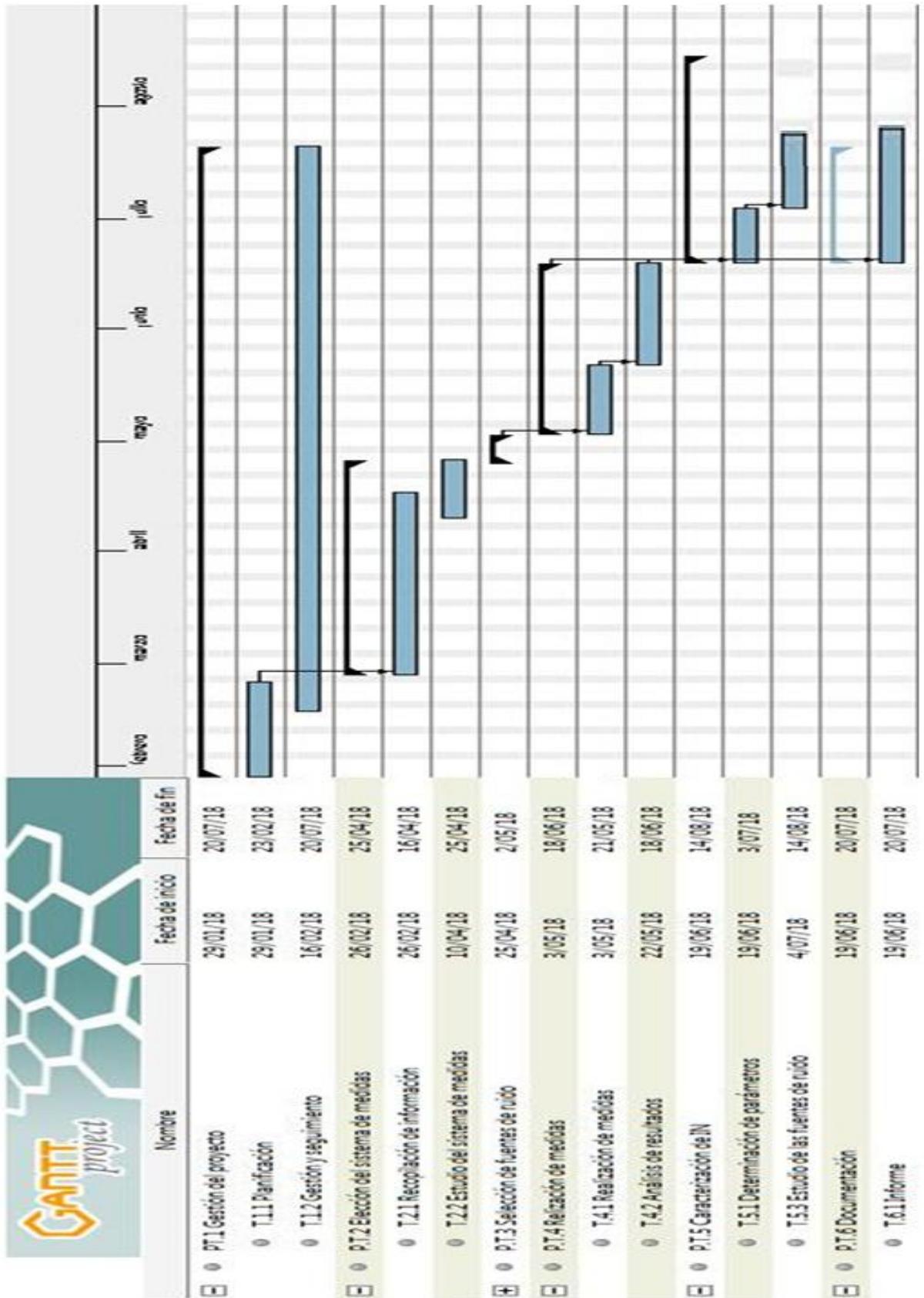
Duración: 24 días.

Recursos: Iratxe Landa, Manuel Vélez, Maite Fontecha.

7.3 Diagrama de Gantt

Todos los paquetes de trabajo, tareas e hitos explicados en la sección 7.2 se resumen en el siguiente diagrama de Gantt, para poder ver de una manera visual todas las relaciones entre ellos, así como fechas de inicio y fin.

Ilustración 28: Diagrama GANTT del proyecto



8. Resumen económico

En este capítulo se reflejan todos los gastos que ha habido para la elaboración del proyecto. Dichos gastos están divididos en tres apartados principales: amortizaciones, horas internas y otros gastos.

8.1 Amortizaciones

Dentro de las amortizaciones se encuentran los activos (ya sea hardware o software) que hayan sido necesarios para llevar a cabo el trabajo. Dentro de las amortizaciones se encuentran aquellos recursos que ya existen dentro del grupo TSR y son reutilizables para otros proyectos. La tabla de abajo refleja brevemente cada uno de los activos, incluyendo su coste.

Concepto	Precio	Cantidad	Vida útil	Tiempo de uso	Total
Ordenador	719,00 €	1	5	0,7	100,66 €
Antena HK309	1.900 €	1	4	0,3	142,5 €
Equipo receptor	10.500 €	1	5	0,3	630 €
Licencia MATLAB	2.000,00 €	1	5	0,7	280,00 €
Costes	400 €	-	-	-	400 €
Total					1553,16 €

Tabla 13: Coste de las amortizaciones del proyecto

El apartado costes se refiere a los cables y las diferentes fuentes, ya que también podrían utilizarse para diferentes proyectos.

8.2 Horas internas

Los recursos humanos que han sido necesarios para la realización del proyecto están dentro de las horas internas. En la siguiente tabla se muestra la tasa horaria de cada miembro de recursos humanos junto con el número de horas que han invertido en este proyecto, y de esta manera, calcular el coste total de cada uno de ellos.

Concepto	Tasa horaria	nº de horas	Total
Codirector	45,00 €	35	900,00 €
Director	60,00 €	100	2 400,00 €
Desarrolladora	35,00 €	300	10500,00 €
Total			18 075,00 €

Tabla 14: Coste de los recursos humanos empleados en el proyecto

8.3 Otros gastos

Por último, se añadirán aquellos gastos que no se pueden volver a utilizar una vez se ha concluido el proyecto. Entre estos se pueden nombrar los folios o la tinta de impresora.

Concepto	Total
Material de oficina	120,00 €
Otros gastos	50,00 €
Total	170,00 €

Tabla 15: Otros gastos en el proyecto

8.4 Resumen económico

Una vez se han calculado los tres gastos anteriores, se mostrará en la tabla de abajo un resumen calculando el coste total:

Apartado	Subtotal
Amortizaciones	1553,16 €
Horas internas	18 075,00 €
Otros gastos	170,00 €
Total	19 798,16 €

Tabla 16: Resumen económico del proyecto

9. Análisis de riesgos

Este capítulo recoge aquellos riesgos que podrían aparecer a lo largo del trabajo, y se estudiarán la probabilidad y el impacto que tiene sobre éste cada uno de ellos. Así, se propondrán para cada uno de los casos medidas de contingencia para tratar de evitarlos, o en ciertos casos, de minimizar el impacto de éstas.

9.1 Identificación y valoración de riesgos

9.1.1 Fuentes de ruido impulsivo ajenas (A)

Como ya se ha explicado en ocasiones, las medidas se han realizado en el pasillo de la universidad, donde hay decenas de dispositivos que pueden generar IN. Por lo tanto, puede que las ráfagas de ruido impulsivo obtenidas en las medidas provengan de otra fuente diferente a la que estábamos analizando. Por ejemplo, debido al motor del ascensor o las fluorescentes del techo.

La probabilidad de esta aparición es basta posible, y el impacto sería alto ya que impedirían una correcta caracterización del IN en las fuentes que se estén analizando. La mejor solución para evitar esto sería haciendo las medidas en una cámara anecoica.

9.1.2 Deterioro del material (B)

Otro riesgo importante sería el hecho de que el material escogido para las mediciones no estuviese en correcto estado. Esto impediría unos resultados inexactos, haciendo más complicado una correcta estimación del efecto del ruido impulsivo.

Este riesgo también tendría un impacto alto, pese a que difícilmente sucedería ya que cada año se revisan en la universidad todos los equipos validando su correcto funcionamiento. Aun así, las medidas a tomar para evitar dicho riesgo sería la compra del material, lo que supondría un significativo incremento del coste total.

9.1.3 Problemas técnicos con el software (C)

Otro riesgo importante podría ocurrir debido el software. Por ejemplo debido a un error en el código, lo que impediría cumplir los objetivos deseados.

La probabilidad de aparición de este riesgo sería mediana, pero el impacto que produciría sería muy alto ya que no se podría llevar a cabo el proyecto. Para impedir que esto pase lo ideal sería ir probando parte por parte que el código funciona correctamente.

9.2 Matriz de probabilidad e impacto

Para resumir de una manera visual los riesgos nombrados en el apartado anterior se va a presentar en una matriz de probabilidad e impacto.

		IMPACTO				
		Muy bajo (0,05)	Bajo (0,1)	Moderado (0,2)	Alto (0,4)	Muy alto (0,8)
PROBABILIDAD	Raramente (0,1)				B (0,04)	
	Difícilmente (0,3)					
	Posible (0,5)				A (0,2)	C (0,4)
	Probable (0,7)					
	Casi seguro (0,9)					

Ilustración 15: Matriz de probabilidad e impacto

10. Conclusiones

En este último capítulo se resume, de manera breve, las conclusiones que se han obtenido durante la realización de este TFG sobre los niveles y patrones de ruido impulsivo generado por tres dispositivos de consumo en el rango de frecuencias entre 63 y 139 MHz.

El proyecto ha revelado la importancia del ruido impulsivo que generan los dispositivos de consumo, pudiendo afectar el rendimiento de los sistemas inalámbricos, pudiendo reducir la eficiencia de éstos.

Las medidas se han seguido de acuerdo con el método de medidas establecido por UIT-R SM.1753 [2]. Así se ha observado que el ruido impulsivo sigue un patrón aleatorio en las frecuencias y escenarios que se han escogido. Aun así, se podría afirmar que en la mayoría de los casos el ruido impulsivo toma unos valores de ** dB por encima del ruido Gaussiano, y que el ruido impulsivo generado por el secador es el que perdura más en el tiempo para el rango de frecuencias entre 63 y 139 MHz.

Gracias a este estudio, se contribuye a contestar a la solicitud de ITU [1]. Sin embargo, de acuerdo con los resultados obtenidos, se tendrían que efectuar más medidas en diversos escenarios para poder llegar a caracterizar correctamente el ruido impulsivo que generan los dispositivos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] "Radio noise" ITU-R Question 214-5/3, 2012.
- [2] "Methods for measurements of radio noise." ITU-R Recommendation, SM.1753, 2012
- [3] https://www.rohde-schwarz.com/lat/producto/hk309-pagina-de-inicioproducto_63493-9362.html, accessed April 2018.
- [4] <https://www.anritsu.com/en-gb/test-measurement/products/ms2690a>, accessed April 2018.
- [5] "Métodos para la medición de los entornos radioeléctricos interiores" Recomendación UIT-R SM.2093-0
- [6] " Radiocommunication Vocabulary "- Recommendation ITU-R V.573-5
- [7] ERC Report 25. European table of frequency allocations and applications for the frequency range 8.3 kHz to 3000 GHz (ECA table), European communication office (ECO) Frequency information system (EFIS), (latest ed, June 2016).
- [8] M. Fernández, I. Landa, A. Arrinda, R. Torre and M. Vélez, "Harmonization of noise measurement methods," Antennas and Propagation Magazine, vol. 57, pp. 64-72, 2015.
- [9] I. Landa, A. Blázquez, M. Vélez and A. Arrinda, "Indoor measurements of IoT wireless systems interfered by impulsive noise from fluorescent lamps," Antennas and Propagation (EUCAP), 2017 11 th European Conference on, Paris: France, March 2017.
- [10] R. Torre, I. Landa, M. Fernández, A. Arrinda and M. Vélez, "Impulsive noise characterization and its effect on digital audio quality," Broadband and Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB), 2015 IEEE International Symposium on, Ghent, Belgium, June 2015.
- [11] AENOR, «UNE-EN 55015:2013 Límites y métodos de medida de las características relativas a la perturbación radioeléctrica de los equipos de iluminación y similares.» Madrid, 2013.
- [12] UIT-R, «R-REP-SM.2155: Medición del ruido artificial en la gama de ondas decamétricas,» Ginebra, 09/2009.
- [13] "Ruido radioeléctrico" Recomendación UIT-R P.372-8
- [14] AENOR, UNE-EN 55024:2011 Equipos de tecnología de la información. Características de inmunidad. Límites y métodos de medida., Madrid, 2011.
- [15] UIT-R, «R-REP-SM.2155: Medición del ruido artificial en la gama de ondas decamétricas,» Ginebra, 09/2009.

Anexo I

Resultados

En este anexo se explica funcionamiento del programa que se ha creado en Matlab. Este servicio/programa, es un fichero con extensión ".m" que se ha creado dentro del software Matlab, el cual se ha denominado **Interfaz_Noise**. Este servicio permite pasar las medidas obtenidas mediante la antena (con valores de WGN) a valores de parámetros que nos interesan, los de IN.

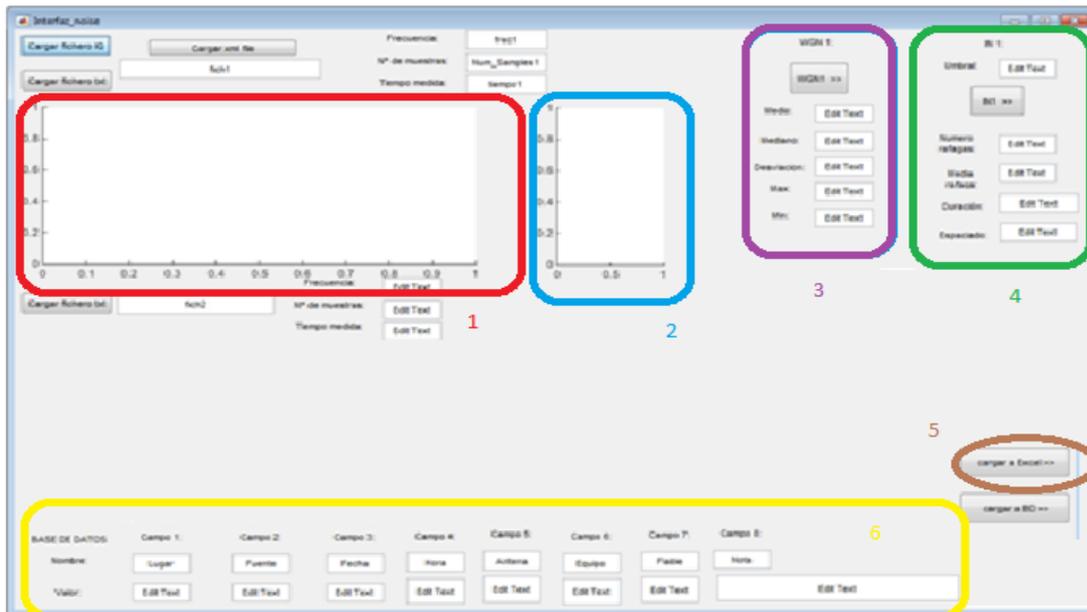


Ilustración 29: Componente del programa/servicio Interfaz Noise

En la imagen 32 se pueden ver varios apartados diferentes. En el apartado 1, señalado con color rojo, se mostrarán los valores del fichero que hemos escogido de una manera gráfica, es decir, los valores obtenidos mediante la antena de medición. En el apartado 2, marcado en azul, se mostrarán gráficamente los valores de la potencia. En el tercer punto (morado) se mostrarán los valores numéricos de WGN, y en el cuarto, fijado en verde, los del ruido impulsivo. Por otro lado, pulsando la tecla que se encuentra en el apartado 5, dibujado en marrón, se podrán volcar todos estos datos a un

fichero Excel, en el que podremos añadir notas a cada muestra volcada gracias a las teclas que se encuentran en el sexto apartado, rodeado de color amarillo.

Para llegar a los resultados que se han descrito en el apartado 6.8, se han seguido los siguientes pasos:

1. PASO. Cargar xml file

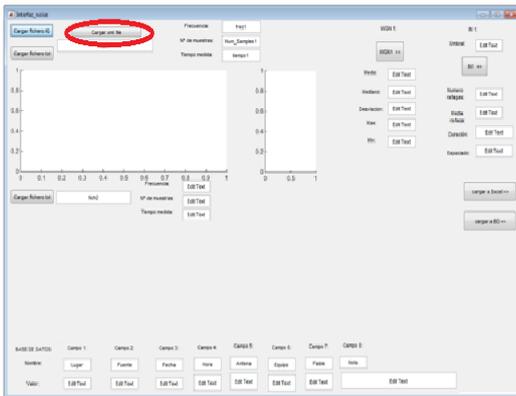


Ilustración 30: Paso 1 del Interfaz Noise (cargar xml)

El primer paso es darle a la tecla "cargar xml file" . Así, escogeremos el fichero que deseemos y podremos obtener los valores que contiene. En estos ficheros están guardados los valores que se han obtenido en las medidas mediante el uso de la antena HK309, es decir, los valores de WGN.

2. PASO: Obtención gráfica de las muestras.

Una vez se ha escogido el fichero se obtienen de una manera gráfica dichos valores. Además, también aparecen los valores en los que se han realizado las medida. En el ejemplo de la imagen 34:

- Frecuencia : 128 MHz (en rojo)
- Nº de muestras: 250.000 (en verde)
- Tiempo de medida: 250 ms (en ámbar)

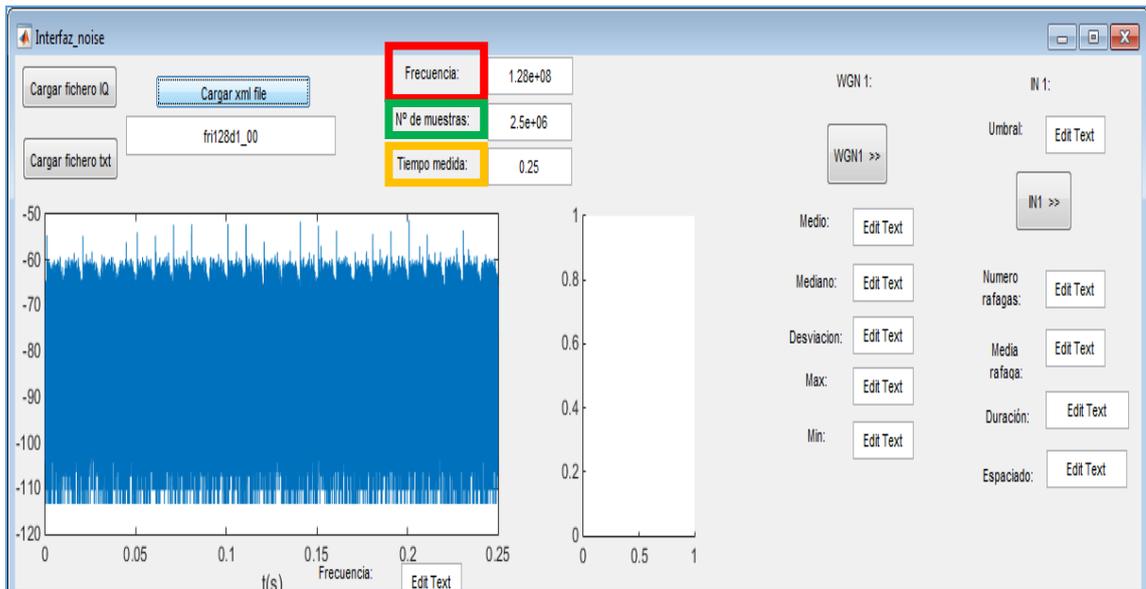


Ilustración 31: Paso 2 del Interfaz Noise (Obtención gráfica de muestras)

3. Paso: WGN1:

Ahora se pulsa "WGN1 >>". Así, se obtienen por un lado, mediante una gráfica la potencia de las muestras durante el tiempo de medida, señalando la potencia máxima, mínima y media. Por otro lado se visualizan los parámetros diferentes de WGN; valor medio, mediano, derivación, máximo y mínimo. Por último, también se llega a obtener el valor de umbral de IN, como se puede ver en la ilustración 35 que recoge un valor de -63,03 dB. Cabe destacar que en el ejemplo de la siguiente figura el valor medio de WGN es de -76 dB.

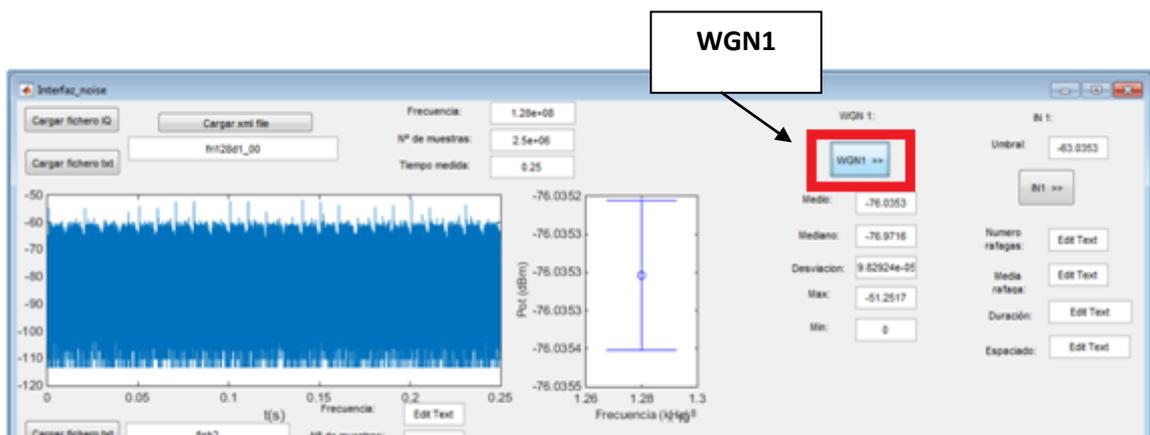


Ilustración 32: Paso 3 del Interfaz noise (WGN)

4. PASO: IN1

En este paso se pulsará "IN1 >>". Al pulsar dicho parámetros se establece un umbral en el gráfico mediante una línea roja. Esta línea se establece añadiendo 13 dB al valor medio de WGN. Siguiendo con el ejemplo, siendo el valor medio de WGN -76 dB:

$$\text{Umbral} : -76 + 13 = -63 \text{ dB} \quad (7)$$

Como se ve en la imagen el valor de la línea corresponde con los -63 dB que se han calculado. Una vez establecido el umbral también se muestran los diferentes parámetros del ruido impulsivo: número de ráfagas, media de ráfaga, duración y espaciado.

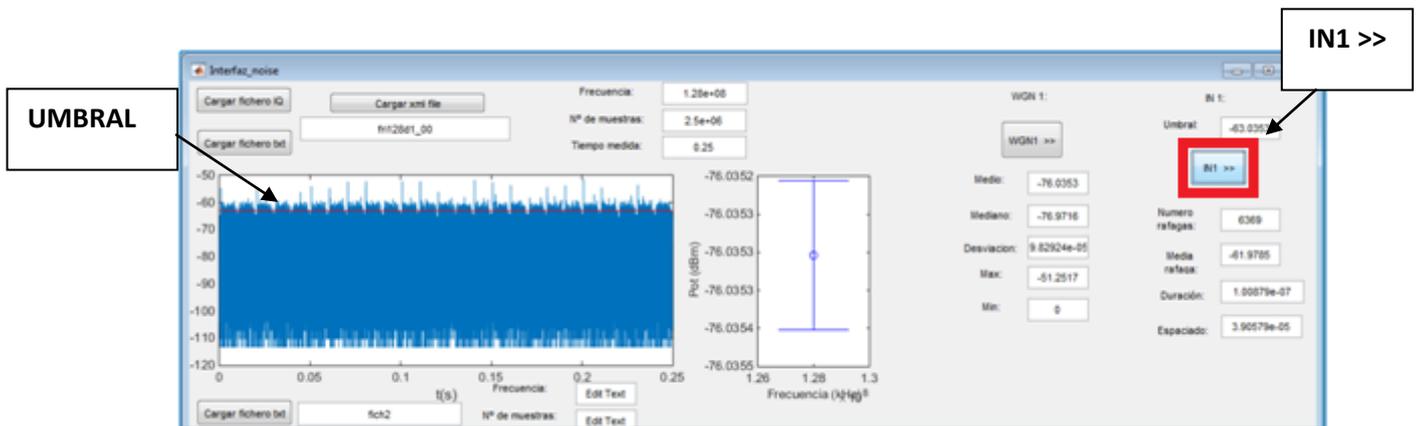


Ilustración 33: Paso 4 del Interfaz Noise (IN)

5. PASO. RELLENAR DATOS

Por quinto lugar quedaría **rellenar los datos** que aparecen en la siguiente imagen. Por ejemplo, que fuente se ha utilizado (LED, taladro o secador) , en que día y a qué hora, el lugar del punto de medida etc.



Ilustración 34: Paso 5 del Interfaz Noise (Rellenar datos)

6. PASO. CARGAR EXCEL

Por sexto y último lugar quedaría pulsar **cargar Excel** para poder cargar todos los datos en un fichero Excel. Así, se irán añadiendo uno a uno todos los datos.

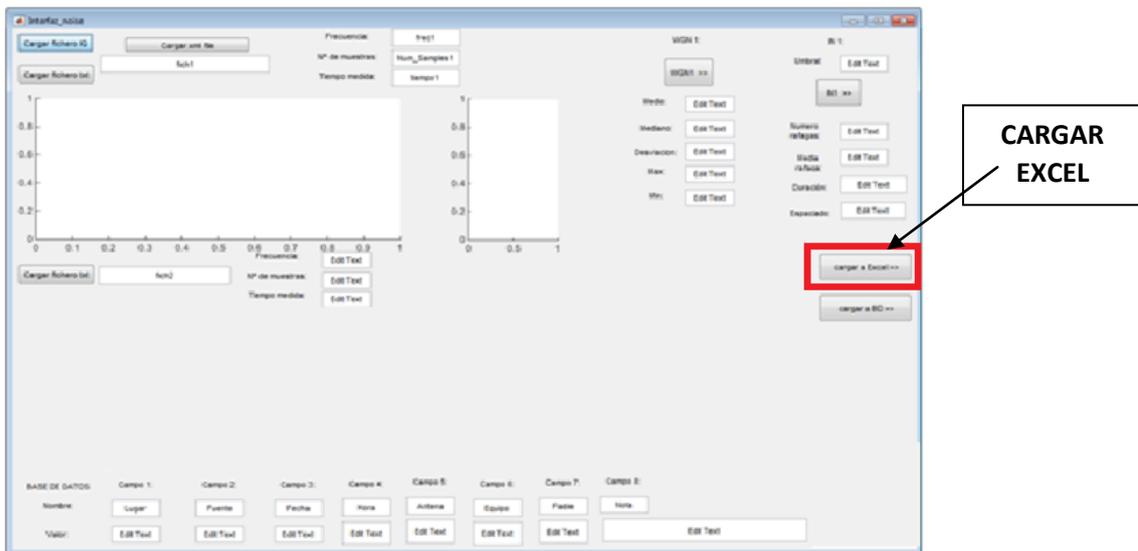


Ilustración 35: Paso 6 del Interfaz Noise(cargar excel)