



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

ANÁLISIS DE LA TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN A TRAVÉS DE LA BANDA DE FRECUENCIAS VHF

Rafael Pelegrina López de Hierro

Director académico: Joaquín Mur Armada

Director militar: Jesús Laguna Argüello

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2022



AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a todos aquellos que me han ayudado, no solo aportando los conocimientos técnicos necesarios para la elaboración de este trabajo, sino por el apoyo que he recibido de todos ellos. Así mismo la dedicación que han mostrado, procurando siempre darme ánimos en todo momento.

Por ello son de especial relevancia para mí los compañeros con los que he disfrutado, aprendido y compartido alojamiento durante las semanas de prácticas externas. Ellos, al igual que yo, decidieron dedicar su vida al servicio de nuestro país y por esa decisión es por la que he tenido el inmenso placer de haberles conocido. Sin lugar a dudas mi madre y mi padre, siempre tras el telón, aconsejándome en todo momento y por ello fundamentales a lo largo del camino que decidí recorrer hace ya muchos años. Como no podría ser de otra manera, por supuesto a mi pareja, que es la única que se desvela por mis preocupaciones y me brinda su apoyo en los aspectos más cruciales de mi vida y mi trabajo.

En segundo lugar, por la abnegación demostrada a lo largo del proceso, tanto de recopilación de la información, como del tratamiento de la misma para la confección del trabajo, a mi tutor académico D. Joaquín Mur Armada. Del mismo modo a mi tutor militar, el Teniente D. Jesús Laguna Argüello ya que no solo me ha proporcionado todas las facilidades a su disposición, adelantándose a mis propias peticiones, sino que me ha mostrado las responsabilidades que conlleva el ansiado empleo de Teniente y el posterior de Capitán.

Al Teniente D. Francisco José Andrades Badillo como oficial más cercano y guía en el día a día, al Teniente D. Álvaro Merino García como segundo oficial al mando que me ha mostrado la importancia de tener alguien de confianza para delegar ciertos cometidos de importancia y por último a Teniente D. David Gordillo García como oficial más moderno siempre predispuesto y voluntario para cualquier cometido. Todos estos oficiales, trabajando en completa sinergia y gracias a un ambiente laboral distendido pero exigente, me han hecho ver que los valores aprendidos en la Academia General Militar son constates más allá del ciclo formativo que en esta tiene lugar.

Con especial orgullo me gustaría mencionar a algunos suboficiales que han destacado su implicación, para que las labores prácticas del trabajo fueran posibles. A los Sargentos D. Carlos Ruiz Fernández, D. Alberto López Castro, D. Christian Camilo Chica Arboleda, D. José Manuel Buera Blanco. Por sus altos conocimientos en la materia de transmisiones, por su predisposición y por su alta preparación tanto física como técnica. Sin ellos no hubiese sido posible, ni el montaje de los equipos para efectuar las prácticas, ni el análisis de los datos requerido para el desarrollo de este trabajo.

Para concluir me gustaría hacer una breve mención al personal de tropa destinado en la Compañía de Transmisiones número 17 del Batallón de Cuartel General de la Comandancia General de Ceuta. Han sabido demostrar que son más que buenos soldados, por su cortesía y amabilidad que desde mi llegada, ha sido una constante hacia mí. Para mí son más que buenos soldados, son más que subordinados, son hermanos de armas.





RESUMEN

El propósito de este trabajo ha sido analizar el uso, dentro del Ejército de Tierra (ET) español, de la radiotransmisión en la banda de frecuencias de VHF (*Very High Frequency*) cuyas frecuencias están en el rango entre 30 y 300 megahercios (MHZ). Las longitudes de onda (λ) de las ondas VHF se encuentran entre 1 m y 10 m. Las antenas omnidireccionales habituales en dicha banda de frecuencia son varillas de longitud entre 12 cm y 2,5 m (monopolos de $\lambda/4$ y $\lambda/8$)

La banda VHF permite la comunicación con nodos (equipos de envío y recepción de información) en movimiento a decenas de kilómetros que estén en línea de visión directa, mediante el empleo de equipos portátiles. Cuando las distancias no son grandes, no suele ser necesario desplegar y apuntar antenas de tipo direccional a gran altura. Esto se debe a que la atenuación por absorción de las ondas VHF debido a los efectos de la climatología y la orografía del terreno es menor que en las bandas de frecuencias superiores.

La metodología se ha centrado en el análisis tanto de la información recopilada como de la experiencia compartida por el personal destinado en la unidad en la que se han desarrollado las Prácticas Externas, entre los días 5 de septiembre y 16 de octubre de 2021.

La organización y los equipos utilizados para la telecomunicación en el ejército han sufrido profundos cambios desde una perspectiva histórica. Las unidades de transmisiones del ET deben facilitar las acciones de mando y control (C2), con el fin último de garantizar la seguridad de la información que se transmite, tanto en el proceso de transmisión como en los equipos encargados de enviar dicha información. A fin de llevar a cabo las modernizaciones oportunas se ha creado el concepto de "Brigada 2035" y el Plan de Modernización (MC3). En los documentos referidos a ambos temas se refleja de manera clara que la radiotransmisión en VHF sigue cumpliendo un papel fundamental.

El trabajo también resume las pruebas realizadas con el material de la Sección Radio de la Compañía de Transmisiones número 17 (CIATRANS17) del Batallón de Cuartel General (BCG) de la Comandancia General de Ceuta (COMGECEU). Dado que el material más utilizado es el radio PR4G, en el capítulo cuatro se han analizado sus ventajas e inconvenientes. Con el fin de determinar la seguridad de la información, se analizó el tráfico de red local que conectaba los equipos radio con *Battlefield Management System* (BMS).

PALABRAS CLAVE

Las palabras claves que pueden definir de mejor manera al trabajo que nos atañe son las siguientes: **frecuencia**, **radiotransmisión**, **radioteléfono**, **modernización** y **VHF**. Estas palabras han sido escogidas, por una parte, por ser de las más frecuentes en el texto y por otra parte, por ser aquellas que enmarcan, no solo este Trabajo de Fin de Grado (TFG), sino por resumir la espina dorsal de las Transmisiones del ET español.



ABSTRACT

The purpose of this work has been to analyse the use, within the Spanish Army, of radio transmissions on the VHF (Very High Frequency) frequency band whose frequencies are in the range between 30 and 300 megahertz (MHz). The wavelength (λ) of VHF waves are between 1 m and 10 m. The regular omni-directional antennas in this frequency band are rods between 12 cm and 2.5 m long ($\lambda/4$ and $\lambda/8$ monopoles).

Portable radios operating in the VHF band allow communication with nodes (equipment sending and receiving information) on the move tens of kilometres far away that are in direct vision in medium-range radio links. Thus, deploying and aiming an elevated directional antenna is usually unnecessary because the attenuation by the absorption of VHF waves due to the weather and terrain orography is less than in the higher frequency bands.

The methodology is focused on the analysis of both the information collected and the experience shared by the staff assigned to the unit where the External Internships have been carried out, between September 5 and October 16, 2021.

The organization and equipment used for telecommunication in the army have undergone profound changes from a historical perspective. The transmission units of the Spanish Army must facilitate command and control actions, with the ultimate aim of guaranteeing the security of the information that is transmitted, both in the transmission process and in the teams in charge of sending such information. In order to achieve the needed updates, the concepts of “2035 Brigade” and the Modernization Plan have been created. The documents on both topics clearly reflect that VHF radio transmission continues playing a fundamental role.

This work also summarizes the field test performed with the equipment of the Radio Platoon of the Transmission Company N° 17 of the General Headquarters Battalion of the General Command of Ceuta. Since the most used device is the PR4G radio, then its advantages and weaknesses have been analysed in chapter four. In order to determine the security of the information, the local network traffic between the radio equipment and the *Battlefield Management System* (BMS) was analysed.

KEYWORDS

The keywords that can best define the framework that concerns us are the following: **frequency, radio-transmission, radiotelephone, modernization** and **VHF**. These words have been chosen, on the one hand, for being the most frequent in the text and, on the other hand, for being those that frame not only this Final Degree Project but also for summarizing the spine of the Transmissions in the Army.



INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE FIGURAS	IX
INDICE DE TABLAS	X
ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. CONTEXTO	1
2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	4
2.1. OBJETIVOS Y ALCANCE	4
2.2 METODOLOGÍA	5
3. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO	6
4. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS	9
4.1. GESTIÓN DE FRECUENCIAS	9
4.1.1 Factores que intervienen en la gestión de frecuencias	12
4.2. VHF EN EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	12
4.3 RADIO PR4G	14
4.3.1 Limitaciones	14
4.3.2 Seguridad en las comunicaciones	16
4.3.3 Versiones de la radio PR4G	17
4.3.4 Modos de trabajo de la PR4G V3	20
4.4. BANDAS PRÓXIMAS A LA BANDA VHF	23
4.4.1 Banda inferior HF	23
4.4.2 Banda superior UHF	24
5. DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS	25
5.1. PRESENTACIÓN DEL EJERCICIO	25
5.2. PROGRAMAS EMPLEADOS	27
5.2.1 WireShark	27
5.2.2. <i>Battlefield Management System</i>	28
5.3 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL TRÁFICO DE DATOS EN LA RED	31
5.4 ENCUESTA SOBRE LA RADIO PR4G V3	33
6. CONCLUSIONES	36
BIBLIOGRAFÍA	38
ANEXOS	40
Anexo A. Cuestionario al personal de la Sc. de Radio de la CIATRANS17 del BCG de la	



COMGECEU	41
Anexo B. Estadísticas de las respuestas del cuestionario	42
Anexo C. Primera captura de tráfico de datos a través de WireShark	46
Anexo D. Segunda captura de tráfico de datos a través de WireShark	47
Anexo E. Resultados de la encuesta realizada al personal de la Sc. de Radio de la CIATRANS17 del BCG de la COMGECEU	48
Anexo F. Plan de Modernización (MC3)	49
Anexo G. Radio definida por software y radio cognitiva	51
Anexo H. SYNAPS	54
Anexo I. Blue Force Tasking	55



INDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Origen del Bón. de Transmisiones. BCG de la COMGECEU.	7
Ilustración 2: División del Espectro Electromagnético. <i>Libro de Transmisiones del curso 2006-2007</i> publicado por Dirección de Investigación Doctrina, Orgánica y Materiales. MADOC, ET, España, curso: 2006-2007	13
Ilustración 3: Montaje completo de dos nodos BMS. Elaboración propia.	26
Ilustración 4: Comparación del receptor analógico (arriba) con el receptor SDR (abajo). Arthur Pini. (2020) <i>Aprenda los fundamentos de la radio definida por software</i> . Digi-Key.	51



INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Gestión de frecuencias en la banda VHF. Elaboración propia.	11
Tabla 2: Características de los modelos de la PR4G. <i>TFG: Análisis de la Transmisión de datos en VHF: limitaciones, cambio evolutivo e innovación</i> . Tte. D. Jesús Laguna Argüello Córdoba (2016).	17
Tabla 3: Introducción de direcciones IP en la PR4G V3. Fuente: <i>MT-021 – Manual del Usuario del BMS-ET</i> Indra. THALES. Publicación del MINISDEF (2019)	20
Tabla 4: Equipos de comunicaciones compatibles con BMS-ET. <i>MT-021 – Manual de Usuario BMS-ET</i> . Indra Thales. Publicación por MINISDEF (2019).	29
Tabla 5: Ficha técnica de la encuesta. Elaboración propia.	33
Tabla 6: Cuestionario. Elaboración propia.	41
Tabla 7: Resultados de la encuesta. Elaboración propia.	48



ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

Academia de Ingenieros (ACING)
Academia General Militar (AGM)
Acuartelamiento (Acto.)
Amplitud modulada (AM)
Armada Española (AE)
Banda Lateral Única (BLU)
Batallón (Bon.)
Batallón de Cuartel General (BCG)
Battlefield Management System (BMS)
Blue Force Tracking (BFT)
Brigada (BRI)
Búsqueda de Canal Libre (BCL)
Capitán (Cap.)
Centro Universitario de la Defensa (CUD)
Centros de comunicaciones (CECOM)
Centros de transmisiones (CT)
Codificador de voz (VOCODER)
Comandancia General de Ceuta (COMGECEU)
Compañía de Transmisiones Nº 17 (CIATRANS17)
Comunicaciones satelitales (SATCOM)
Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones (CEPT)
Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF)
Cuerpo de Ejército (CE)
Digital Audio Broadcasting (DAB)
Digital Video Broadcasting – Terrestrial (DVB-T)
División (DIV)
División en el Tiempo para Acceso Múltiple (TDMA)
Ejército de Tierra (ET)
Espectro electromagnético (EM)
Estado Mayor del Ejército (EME)
Estados Unidos (EEUU)
Estandar Dimension Ratio (SDR)
European Secure Software Defined Radio (ESSOR)



Frecuencia (F)
Frecuencia Digital (FD)
Frecuencia Fija Analógica (FFA)
Frecuencia Fija de Cana (FFC)
Frecuencia Fija General (FFG)
Fuerzas Armadas (FAS)
Gestión del Espectro (GESP)
Gigahercios (GHz)
Gran unidad (GU)
Guerra electrónica (EW)
High Frequency (HF)
Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI)
Instrucción y Adiestramiento (IA)
Integración Terreno Enemigo (INTE)
Mando y control (C2)
Manual Técnico (MI)
Megahercio (MHz)
Ministerio de Defensa (MINISDEF)
Mixto (MIX)
Modulación delta (MD)
Modulación por desplazamiento de amplitud (MASK)
Modulación por desplazamiento de fase (MPSK)
Modulación por desplazamiento de frecuencia (MFSK)
Modulación por impulsos codificados (MICD)
Operaciones Especiales (Oes)
Organización del Tratado Atlántico Norte (OTAN)
Pequeña unidad (PU)
Plan de Modernización (MC3)
Point to Point Protocol (PPP)
Procedimientos Operativos CIS (POCIS)
Protocolo de Datagramas de Usuario (UDP)
Protocolo de Resolución de Direcciones (ARP)
Radio Teléfono Ligero (RTFL)
Radio Teléfono Medio (RTFM)
Radio Teléfono Pesado (RTFP)



Real Academia de la Lengua Española (RAE)
Red Radio de Combate (RRC)
Red Táctica Principal (RTP)
Regimiento (Rgto)
Reglamento de Radiocomunicaciones (RR)
Salto de Frecuencia (SFR)
Sargento (Sgto.)
Sección (Sc.)
Seguridad criptográfica (CRIPTOSEC)
Seguridad de la transmisión (TRANSEC)
Seguridad de las redes de datos (NETSEC)
Seguridad de los ordenadores (COMPUSEC)
Seguridad de los Sistemas de Información (SSI)
Seguridad de los Sistemas de Telecomunicaciones (COMSEC)
Single Side Band (SSB)
Sistema de posicionamiento global (GPS)
Sistemas de Información (SINFO)
Sistemas de telecomunicaciones e información (CIS)
Sistemas de Telecomunicaciones e Información (INFOSEC)
Teniente (Tte.)
Teniente Coronel (Tcnl.)
Terminal de datos Tácticos (TDT)
Territorio nacional (TN)
Trabajo de Fin de Grado (TFG)
Ultra High Frequency (UHF)
Unión Europea (UE)
Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)
Utilización Nacional (UN)
Very High Frequency (VHF)
White spaces (WE)
Zona de operaciones (ZO)



1. INTRODUCCIÓN

A continuación, se presenta la memoria del TFG, correspondiente al grado de Ingeniería de Organización Industrial. El grado mencionado es el impartido en la AGM, a través del Centro Universitario de la Defensa (CUD). En este apartado quedarán reflejados los resultados obtenidos en el TFG con título “Análisis de la transmisión de información a través de la banda de frecuencias VHF”

1.1. CONTEXTO

Las comunicaciones y los sistemas que las implementan para su uso, están presentes en la gran mayoría de los ejercicios de Instrucción y Adiestramiento (IA) que se realizan en las distintas unidades del ET. Por esto no hace destacar a las transmisiones sólo en Territorio Nacional (TN), sino también en Zona de Operaciones (ZO). La importancia de dichos sistemas radica en la necesidad de obtener y gestionar la información, cuyo objetivo es facilitar el C2 para el cumplimiento de la misión.

Los sistemas de telecomunicaciones e información (CIS) se conforman como los elementos cuyo fin último es facilitar el ejercicio del mando, por ello es fundamental que las unidades cuenten con los sistemas adecuados para realizar esta labor. No solo es necesario tener el material óptimo sino los conocimientos adecuados a estos equipos. Ya que, para un empleo eficaz de los mismos, es necesaria la sinergia entre los elementos físicos y los conocimientos para su correcta explotación¹. De este modo en el documento *Procedimientos Operativos CIS* editado y publicado por la Dirección de Investigación, Doctrina, Orgánica y Materiales del MADOC del ET en el año 2013 podemos encontrar la definición de los medios CIS: “conjunto de equipos, métodos, procedimientos y personal que permiten el acceso del usuario a la información, así como su transmisión, tratamiento, presentación y almacenamiento”.

Actualmente los medios CIS proporcionan una transmisión tanto de voz como de datos, tales capacidades se han desarrollado el trabajo en torno a los tres pilares básicos de las comunicaciones: **seguridad, ancho de banda y velocidad de transmisión**.

La seguridad, entendida como la imposibilidad de que se intercepte una comunicación o en el caso de que sea interceptada que no sea posible acceder a su contenido, esto se consigue mediante el cifrado y otros procedimientos de comunicaciones seguras como: el lenguaje convenido, la reducción del contenido de los mensajes a transmitir, incluso la formación del personal encargado de la transmisión de mensajes en materia de protección de la misma.

El ancho de banda definido en el documento citado anteriormente: “*cantidad de datos que se pueden transferir entre dos puntos de una red en un tiempo específico*”. Por último, la velocidad de transmisión que se define como: “*el tiempo que tarda un servidor en poner en la línea de transmisión el paquete de datos a enviar*”.

Los medios CIS pueden ser empleados de diferentes maneras y entornos muy diversos. Respecto al tiempo que estos medios estarán desplegados y, por lo tanto, prestando apoyo en las comunicaciones, pueden dividirse permanentes (o de infraestructura). Los de los Centros de

¹ Entendiéndose como: obtener la utilidad de un objeto, en este caso un equipo de transmisiones, en provecho propio.



comunicaciones (CECOM) que se encuentran en TN y en desplegados o de campaña. Los Centros de transmisiones (CT) que se emplean en ZO y en IA dentro del TN.

Por una parte, los de tipo desplegable se caracterizan por ser puestos en marcha y dar los apoyos necesarios en un breve periodo de tiempo, pero su durabilidad está muy limitada. Por otra parte, los de carácter permanente se emplean durante un tiempo mucho mayor y no están pensados para ser trasladados de forma dinámica de un lugar a otro. Es por esta clasificación que los servicios de comunicaciones que aportan uno y otro serán diferentes en cuanto a otras capacidades tales como, calidad y cobertura en distancia.

Respecto a la clasificación dentro del nivel operativo podemos desglosarlos en: operativo, estratégico y operacional. Los medios CIS de tipo permanente se incluyen en el nivel estratégico mientras que los medios CIS de tipo desplegable pertenecen a los niveles operacional y táctico.

El elemento clave de las transmisiones en un sistema de telecomunicaciones es la red según el documento *Empleo de la Compañía de Transmisiones de Brigada* publicado por la Dirección de Investigación, Doctrina, Orgánica y Materiales del MADOC del ET en el año 2019. Esta se divide en nodos, cuya misión es dar servicio mediante un enlace con el resto de elementos que participan en la comunicación. De este modo tanto usuarios como gestores de los medios pueden desempeñar su cometido. En el ET español hay dos redes de telecomunicaciones que permiten dar los servicios requeridos atendiendo las características de la situación y lo que esta demande. La Red Táctica Principal (RTP) y la Red Radio de Combate (RRC), ambas se integran y conforman la estructura de telecomunicaciones del ET español.

La RTP proporciona todos los servicios que necesitan lo que se entiende en el ET como grandes unidades (GU's), es decir, desde Brigada (BRI) hasta Cuerpo de Ejército (CE). Mediante los enlaces satelitales y los enlaces en la banda de frecuencias HF (*High Frequency*) se proporciona una extensa cobertura capaz de salvar las distancias intercontinentales.

Por su parte la RRC es la red de telecomunicaciones que complementa a la anterior. Esta proporciona el enlace y todos los servicios de transmisión que necesitan lo que en el ejército se entiende como pequeñas unidades (PU), que comprende el rango de unidades desde Regimiento (Rgto) hasta Sección (Sc). En esta red los servicios ofrecidos se realizan mediante las bandas de frecuencias HF, UHF (*Ultra High Frequency*) y la banda que es motivo de este trabajo VHF (*Very High Frequency*).

Según *CIS Desplegados* publicado por la Dirección de Investigación, Doctrina, Orgánica y Materiales del MADOC del ET en el año 2019, los equipos que permiten la transmisión y la recepción para la transmisión de información mediante el uso del espectro electromagnético (EM) se pueden agrupar en dos categorías:

- Equipos radio
- Radioenlaces

Según la temática de la transmisión de información en la banda de frecuencias de VHF se subrayará la importancia de los primeros enumerados.

- Equipos radio
- Este tipo de dispositivos radioeléctricos se clasifican en función del material en:
- Estaciones de Radio

1. Las estaciones de radio utilizan la banda de frecuencias HF y VHF. Las características de las citadas bandas de frecuencias, estas impiden un enlace directo entre la estación radio y el terminal radiotelefónico. Las estaciones radio se pueden clasificar en tres subtipos:



- Tipo A: son aquellas caracterizadas por su baja potencia (hasta 100 vatios), se emplean sobre vehículo, aunque tienen un mayor desempeño en tierra (de manera portátil). Normalmente son empleadas en las PU.

- Tipo B: tiene una potencia mediana (entre 100 y 400 vatios), debido a esta potencia se emplean en instalaciones fijas. Normalmente son empleadas en los enlaces radio para unidades de tipo División (DIV).

- Tipo C: destacan por su gran potencia (más de 400 vatios), se explotan en instalaciones fijas o en cabinas/vehículos.

2. Radioteléfonos

Son empleados para la transmisión de fonía ²mediante potencias de transmisión menores que los equipos radio y son explotados por los usuarios que requieren de sus capacidades y su enlace. Por lo que se les considera terminales de usuario. Son de fácil manejo, mantenimiento y escaso consumo.

Según su potencia se pueden dividir en:

- Ligeros, con potencias de hasta 1 vatio (RTFL)
- Medios, con potencias que se encuentran entre 1 y 4 vatios (RTFM)
- Pesados, con potencias de más de 4 vatios (RTFP)

Según su emplazamiento requerido para ser explotados pueden dividirse en:

- Portátiles, un solo combatiente puede manejarlo.
- Vehiculares, suelen estar instalados en distintos tipos de plataformas (aeronaves, buques, vehículos, etc.)
- Mixtos: son los que funcionan indistintamente de manera portátil o vehicular.

3. Radioenlaces

Son los que proporcionan enlaces de media y gran capacidad, pero no permiten el enlace en movimiento. Atendiendo al tipo de señal moduladora tenemos la siguiente clasificación:

- Analógicos: son los radioenlaces en los que la señal proviene de una multiplexación por división de frecuencia (MDF) de este modo se puede modular: la portadora en frecuencia (FM), un conjunto de señales radiotelefónicas o bien una señal de vídeo.

- Digitales: son los radioenlaces en los que la señal proviene de una multiplexación por división de tiempo (MDT) de este modo se pueden usar distintas técnicas de modulación: multisimbólica (MASK, MPSK, MFSK), diferencial (MICD) o la delta (MD).

Ha sido posible contrastar toda esta información gracias al TFG: *Análisis de la Transmisión de datos en VHF: limitaciones, cambio evolutivo e innovación* desarrollado en 2006 por el Tte. D. Jesús Laguna Argüello en la ciudad de Córdoba.

² Se refiere a las comunicaciones en las que solo se envía información mediante el empleo de la voz.



2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

En el siguiente apartado se van a tratar los objetivos y la metodología del TFG que nos ocupa. Para comenzar, se recogen los objetivos y el alcance del análisis de la transmisión de información en la banda de frecuencias VHF. Dentro de ese apartado se pretende mostrar el objetivo general del trabajo junto con los diferentes hitos que se han realizado en el mismo. Para concluir, se recoge la metodología empleada, para llegar al objetivo planteado en el último epígrafe.

2.1. OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo general de este trabajo ha sido detectar los aspectos claves mediante el análisis de la transmisión de información a través la banda de frecuencias VHF. Para ello se han establecido los siguientes objetivos específicos:

- Conocer, los dispositivos de transmisión de información a través de la banda de frecuencias VHF vigentes y operativos en el E.T. Esta tarea ha resultado ser crucial ya que las transmisiones representan un aspecto vital en cualquier ejército. Del mismo modo, la modernización de los medios y los sistemas que realizan la función de transmisión de información siempre es un acontecimiento recurrente en empresas civiles y por lo tanto extrapolable al ámbito militar. Es por ello que el saber y la actualización de estos conocimientos en la materia ha sido fundamental para enfocar el posterior análisis de transmisión de datos. La recopilación de la información a través de las distintas plataformas que facilitan el acceso a la misma ha sido laboriosa dada la amplitud de información sobre el tema. Esto ha resultado ser una labor muy meticulosa ya que ha sido necesario recopilar información sobre los aspectos técnicos tanto de los medios que operan en la banda VHF como las frecuencias que componen dicha banda.

- Analizar, toda la documentación recogida gracias al paso anterior. No hubiese servido de nada la compilación de decenas de artículos de revistas, prensa, informes militares y documentación del mismo ámbito si no se realiza el respectivo análisis a los mismos. Dentro de los distintos tipos de análisis (estructural, morfológico, de funcionamiento, racional, etc.), para el tratamiento de la información obtenida, el análisis que se ha llevado a cabo sobre la esta ha sido de tipo estructural. El análisis estructural ha permitido conocer, mediante la información obtenida, por un lado, los componentes fundamentales de la trasmisión de información a través de la banda VHF y por otro lado, los componentes de los dispositivos que realizan la comunicación en dicha banda. Ambos componentes cumplen, de manera sinérgica, la necesaria transmisión eficiente y segura que demandan las transmisiones del ET del siglo XXI.

- Comparar, los medios de transmisión de información en la banda de frecuencias VHF con otros medios que operan en la misma banda o en otras. Esto ha sido posible por el trabajo previo realizado en los puntos anteriormente desarrollados. Además ha sido fundamental este apartado para lograr tener una visión a largo plazo de los requerimientos futuros en las transmisiones del ET.

- Explicar, las conclusiones alcanzadas. En este punto nos encontramos con la casuística de tener que explicar los objetivos teóricos y los prácticos.



2.2 METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este trabajo ha sido necesario cada uno de los pasos que se han desarrollado en el subapartado anterior. Con el propósito de obtener el mejor resultado en el proceso de análisis de transmisión de información a través de la banda de frecuencia VHF, ha sido necesario el empleo de diversos métodos.

Estos métodos se pueden englobar en la categoría de mixtos, ya que se incluyen en este los métodos cualitativos y cuantitativos. Las herramientas empleadas en el método cualitativo han sido las que a continuación se relatan:

- Observación, del empleo del material de transmisión de información en la banda VHF así como el uso de los mismos por el personal de la CIATRANS17. Ha sido fundamental observar los procedimientos de empleo del material disponible y también observar las capacidades de los radios PR4G V3, cuya banda de frecuencias para la transmisión ha sido el centro del análisis.

- Revisión documental, también conocida como revisión bibliográfica, de todos los libros, artículos de revistas y prensa que contuvieran información necesaria para obtener unos conocimientos lo más completos posibles sobre el tema central del trabajo. Esto ha sido posible mediante la búsqueda de información realizada en las plataformas digitales de la intranet ³del ET. Además se han consultado los documentos relacionados con la materia de transmisiones que se emplean en la formación de los futuros tenientes de dicha especialidad fundamental.

- Estudio de caso, referido a la práctica llevada a cabo para determinar la seguridad de la transmisión de información a través de la plataforma BMS-ET. Este caso específico ha aportado de manera fundamental los objetivos intermedios del análisis de la transmisión de información a través de la banda VHF. Gracias a la práctica de investigación con los medios de la Sc. de Radio de la CIATRANS17 del BCG de la COMGECEU se ha podido completar el análisis que compete al proyecto en cuestión.

Las herramientas empleadas en el método cuantitativo han sido las encuestas realizadas al personal de la Sc. de Radio de la CIATRANS17. Las preguntas que componen la encuesta (ver **ANEXO A**) han sido elaboradas con la ayuda de los cuadros de mando tanto oficiales como suboficiales que componen la Sc. de Radio de la CIATRANS17. Los objetivos que se buscan con la encuesta se desarrollan en el *apartado 5.4 Encuesta sobre la radio PR4G V3*.

La espina dorsal del proyecto ha sido la metodología mixta aplicada, sobre la cual se ha edificado el análisis de la transmisión de información a través de la banda de radiofrecuencias VHF. Debido a la relevancia que han ido teniendo las telecomunicaciones en nuestra vida es razonable hacerse la siguiente pregunta, *y con las comunicaciones el ejército ¿Qué?* Por ello la razón de este trabajo, por ello el análisis de la transmisión de información en la banda VHF. Ya que en cualquier maniobra ⁴ las primeras comunicaciones que se establecen son a través de la banda VHF con los radios de la familia PR4G V3, es fundamental realizar el análisis que otorga nombre propio a este trabajo.

3 Red electrónica de información interna de una empresa o institución.

4 Ejercicios de IA que se realizan en el ET con el fin de mejorar aspectos clave en su formación.



3. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

De acuerdo al documento *Historia Militar de las Transmisiones. El regimiento el Pardo* del autor C.L. Ramos en Logroño en 1981, el Cuerpo de Ingenieros fue instaurado mediante un Real Decreto por Felipe V el 17 de abril de 1711. Pero no fue hasta el año 1880 que Rodrigo Sánchez Arjona instaló la primera línea telefónica en Madrid, desde su casa hasta su propia finca, aproximadamente unos 8 kilómetros de distancia.

De este modo se convirtió en un pionero de las telecomunicaciones al mismo tiempo que fue la primera persona con la autoridad para este tipo de instalación en España. Esto no fue tarea sencilla ya que la instalación de las líneas telegráficas y telefónicas particulares debían ser autorizadas y gestionadas por el Cuerpo de Telégrafos que comenzaron esta labor en 1856.

A partir de este momento se comenzaron a expandir las telecomunicaciones y de este modo la Red Telegráfica Militar se fue extendiendo por el TN. Las primeras unidades de transmisiones se conformaron en torno a las tropas de ingenieros a partir del año 1873 creando la primera Compañía (Cía.) de Telégrafos, una por cada Reg. existente. Pero esto fue más allá, pues en 1884 se constituyó el Batallón (Bón.) de Telégrafos que estaba compuesto por tres Cia,s de líneas eléctricas y una Cía. de óptica.

El Arma de Ingenieros sufrió diversas modificaciones a lo largo del siglo XX que fueron aumentando paulatinamente el volumen de estas unidades culminando esta tarea en 1926. En esos años se contaba con un Rgto. de Telégrafos, un Bón. de Radiotelegrafía, un Centro Electrónico y siete Bon. Mixtos, formados por Zapadores y Telégrafos. Tan solo diez años más tarde y con motivo de la Guerra Civil, las unidades de Transmisiones se dividieron hasta reorganizarse con el paso del tiempo hasta que finalmente este proceso culminó al poco de acabar el siglo XX

Finalmente, en el año 1997 y mediante un Real Decreto, se crean la Especialidades Fundamentales de Ingenieros y Transmisiones dentro del Arma de Ingenieros. En estos años los distintos ejércitos del mundo ya vislumbraron el potencial de la informática y las telecomunicaciones.

Según el documento *Breve historia de las Transmisiones de datos a través de VHF* cuyo autor es A.M. Alcaide en Córdoba en 2006, sabemos que se puso en marcha el desarrollo de dos programas que pretendían crear una red de comunicaciones en el ET. Cuyo objetivo era facilitar la coordinación entre los distintos escalones de mando en cualquier actividad, maniobra o misión en el extranjero. Los programas propuestos fueron el TRC (diseñada por AMPER) junto con el TARDAX (idea que tuvo su origen en la BRIMZ X).

Estos sistemas basaban sus apoyos de transmisión en las estaciones analógicas. Estas estaciones analógicas actualmente están desfasadas con el traslado a la tecnología IP. A la cabeza estaba la estación PRC/77 o AN VRC/46 de tipo vehicular. Esta era transportada mediante una estructura ruggedizada ⁵ que se componía de: un ordenador portátil (Pentium 133) junto con el programa de comunicaciones TRC 1.0, la tarjeta de comunicación, un modem ⁶ de la radio

⁵ Referido a resistente duradero. El material supuesto de frágil en el ET se ruggediza para evitar su deterioro o rotura.

⁶ Dispositivo que convierte señales digitales en analógicas o viceversa, para poder ser transmitidas a través de líneas de teléfono u otras líneas de comunicaciones.



HARRIS, modem de línea Multi-tech (excluido en el programa TRADAX) y por último una impresora/fax (LAINER 500).

Los dos programas descritos anteriormente estaban basados en una comunicación cuyo programaba estaba arraigado en la multidifusión de datos en serie ⁷ mediante un identificador del sistema receptor que codificaba la señal, de tal modo solo el destinatario predeterminado podía recibir y hacer uso de los datos transmitidos. Gracias a la empresa HARRIS se podían hacer envíos síncronos y asíncronos mediante un modem de elaboración propia. La innovación de este medio que se denominó Terminal de Datos a Alta Velocidad (TDAV) radicaba en la capacidad de transmitir mensajes de poca capacidad a una velocidad máxima de 300 baudios⁸.

ORIGEN DEL BATALLÓN DE TRANSMISIONES XVII	
Secuencia histórica de las unidades de transmisiones con sede en Ceuta:	
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Primer Regimiento Mixto de Ingenieros (1910)</i> • <i>Regimiento Mixto de Ingenieros de Ceuta (1913)</i> • <i>Comandancia de Ingenieros de Ceuta (1917)</i> • <i>Batallón de Ingenieros de Tetuán (1925-1934)</i> • <i>Batallón de Transmisiones de Marruecos (1934-1954)</i> 	
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Agrupación de Transmisiones del Ejército de Marruecos (1954-1957)</i> • <i>Agrupación de Transmisiones del Ejército del Norte de África (1957-1957)</i> • <i>Grupo de Transmisiones N°1 (1957-1960)</i> • <i>Regimiento Mixto de Ingenieros de la COMGE de Ceuta (1960-1965)</i> 	
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Regimiento Mixto de Ingenieros N°7 (1965-1986)</i> • <i>Regimiento de Ingenieros N°7 (1986-1996)</i> • <i>Batallón de Transmisiones XVII (desde 1996)</i> 	

Ilustración 1: Origen del Bón. de Transmisiones. BCG de la COMGECEU.

De acuerdo con lo especificado en el documento *Libro de Transmisiones. Curso 2006-2007* publicado por la Dirección de Investigación, Doctrina, Orgánica y Materiales en Madrid entre los años 2006 y 2007, podemos afirmar que a lo largo del tiempo las capacidades de este modem fueron aumentando. Este era capaz de hasta enviar fotografía de baja resolución, este proceso tardaba aproximadamente unos 15 minutos en enviarse y se conoce como el mensaje METAR _ TAFOR.

⁷ También conocido como multicast, es el envío de la información a múltiples redes y a múltiples destinos de manera simultánea.

⁸ Unidad de medida llamado así en referencia al ingeniero telegrafista Émile Baudot, que representa el número de símbolos por segundo en un medio de transmisión.



Con propósito de evitar las posibles pérdidas en el envío de datos durante este periodo de tiempo tan extenso se empleó el protocolo ARQ⁹ (Automatic Repeat – reQuest).

El colofón final para la transmisión de datos en la banda de frecuencias VHF llegó con la familia de radios PR4G con el sistema TDAV integrado. La primera versión de esta gran familia funcionaba con el programa TRC en su variante 3071 que se comunicaba mediante un cable radiotelefónico tipo CCS – 235, de este modo se posibilitaba la transmisión de datos síncronos y asíncronos. Gracias a ello se evitó el uso de los productos HARRIS, salvando grandes costes y las bajas capacidades que ofrecía. La PR4G en su versión 3 (V3) incorpora el protocolo IP (Protocolo de Internet) permite crear una red LAN (Red de Área Local) propia que comunica diferentes radioteléfonos mediante una malla, así mismo se pueden conectar distintas redes LAN físicas.

Un componente software adicional que trabaja sobre el protocolo IP permite compartir una gran variedad de elementos como carpetas, archivos y documentos de todo tipo en la red. Los modos IP/SAP (Servicio de Acceso a Paquetes) y sus variantes IP/MUX y el nuevo modo SUPERMUX permiten las consultas de los documentos transmitidos por la red desde cualquier ordenador conectado al radioteléfono.

La última versión de la familia PR4G es la SUPERMUX o versión 4 (V4), aunque más que una versión es un modo de trabajo especial de algunas PR4G V3 en las comunicaciones digitales. Por ello en este TFG se ha utilizado en este último criterio. En el *subapartado 4.3.5.2 Digital del epígrafe 4.3.5 Modos de trabajo de la PR4G V3* se recoge más información relativa a este tema.

⁹ Protocolo utilizado para el control de errores en la transmisión de datos que garantiza la integridad de estos datos.



4. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS

En este capítulo se describen los sistemas que han sido empleados en la realización del TFG, desde sus fundamentos físico – teóricos hasta los aspectos más técnicos de los medios utilizados para la realización de las pruebas de campo y en las aulas de la Sc. de Radio de la CIATRANS17 del BCG de la COMGECEU.

4.1. GESTIÓN DE FRECUENCIAS

Como se ha visto anteriormente, el EM es un recurso limitado, por lo que su adecuada gestión resulta crucial para realizar un buen empleo del mismo. Debido a las frecuencias limitadas de la banda VHF se hace absolutamente necesario conocer la disposición de las frecuencias dentro de la banda en cuestión y los usos que reciben cada una de estas frecuencias.

Para la gestión de las frecuencias tanto de la banda VHF como del resto de bandas del EM, se dispone en España del Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF). Actualmente la aprobación del CNAF se ha realizado mediante la *Orden ETD/1449/2021, de 16 de diciembre. BOE-A-2021-21436 por la que se aprueba el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias* en Madrid, publicado por el Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital, aunque sus orígenes se remontan a 1990. Este fue el año en que por primera vez fue publicado un documento en el que se recogían las distintas frecuencias en uso y la especificación para el empleo de las mismas. El CNAF depende del Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital de España (anteriormente este Ministerio era conocido como Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital).

Por lo tanto, podemos entender que el CNAF es la pieza básica para el ordenamiento del EM en España, regulando desde 8,3 KHz hasta los 3000 GHz. Del mismo modo esta herramienta de gestión y control sobre las frecuencias en el territorio nacional, está supeditada a los constantes cambios que modifican el empleo de las bandas de frecuencias del espectro magnético a nivel internacional.

Los principales organismos internacionales a tener en cuenta para la gestión óptima en España son la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), la Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones (CEPT), la Unión Europea (UE) y por último el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI). Los órganos citados tienen la labor de tomar todas las decisiones oportunas respecto a la gestión de frecuencias y aprobar aquellos reglamentos que incluyan estas gestiones y regulaciones en su empleo

De acuerdo con la Comisión Nacional de los Mercados y Competencia en el documento *Solicitud de informe de la SETID de 2021 sobre el Proyecto de Orden por la que se aprueba el CNAF*, se especifica su estructura. Es simple y se compone de un total de cuatro columnas; en la primera de ellas se recogen las atribuciones de las bandas de frecuencias según el artículo 5 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) de la UIT. En la segunda columna se encuentran las tablas con las atribuciones a nivel nacional de cada banda. En la tercera columna del CNAF, se refiere al tipo de uso que se le da a cada banda de frecuencias y se indican una serie de modalidades sobre su empleo, que son las siguientes:

- C: Uso común
- E: Uso especial
- P: Uso privativo



- R: Uso reservado para el Estado
- M: Uso mixto que comprende los usos

Por último, en la cuarta columna, se incluyen anotaciones, aclaraciones y especificaciones referidas a las notas de Utilización Nacional (UN). Así mismo se incluyen comentarios adicionales sobre el empleo de cada una de las bandas de frecuencias. Dado que la banda de frecuencias VHF representa la razón de ser de este trabajo se incluye un cuadro de frecuencias que incluye todas las frecuencias dentro de la banda en cuestión que se usan en el entorno tanto civil como militar.

De acuerdo con la estructura del CNAF desarrollada en los documentos mencionados anteriormente se han recopilado los datos necesarios que dan forma a la **Tabla 1**.

Esta se ha desarrollado a lo largo de todo el TFG por lo que su actualización y elaboración ha sido larga y constante. En el total de filas y columnas que componen dicha tabla, podemos encontrar numerosos datos, pero con el propósito de entender correctamente este cuadro se destaca lo siguiente:

- La actividad (uso genérico) que ocupa un conjunto de frecuencias junto con su descripción (columnas 1 y 2). Todas las actividades y sus respectivas descripciones que se plasman en el cuadro corresponden con las actividades obtenidas del CNAF del documento referido con anterioridad.

- El rango de frecuencias asignado para cada uso (columnas 3 y 4). Dado que en el CNAF se realiza la asignación de todas las frecuencias disponibles en el TN a una actividad, solamente se han remitido aquellas de interés para el TFG, es decir, las frecuencias que componen la banda VHF. Esta labor ha sido crucial, ya que en el documento origen, la relación actividad-frecuencias se realiza de mediante el relato. Precisamente por ello se ha creado esta tabla, a modo de estructura de datos al igual que para facilitar la comprensión de los datos que se recogen en dicho documento origen.

- Los equipos militares, referidos en este TFG, que emplean algunas frecuencias recogidas en la tabla (columna 5). Al referirse en este trabajo a información y términos militares, ha sido preciso establecer una relación entre el contenido del CNAF referido anteriormente y relacionado con la información militar correspondiente. Los medios que se han nombrado, RT-9210 (PR4G-V3) y RF-5800 (HARRIS), representan la espina dorsal de las telecomunicaciones del ET en operaciones desempeñadas en TN y en ZO, por ello resulta evidente su presencia en dicho cuadro, ya que estos dispositivos operan en las bandas que ocupan sus respectivos cuadros.

- Por último, cabe resaltar que aquellas en las que no haya una continuidad entre la F. final (MHz) de una fila con la F. inicial (MHz) de la siguiente, es debido a dos circunstancias; la primera, no había atribuciones a dichas frecuencias por lo que se considerarían libres y la segunda es que no había más datos en el documento oficial de referencia.



Tabla 1: Gestión de frecuencias en la banda VHF. Elaboración propia.

Uso genérico	Descripción	F. inicial (MHz)	F. final (MHz)	Equipos militares	
Fijo móvil	Baja potencia de 30 MHz	30	30,295	RT-9210 (PR4G-V3)	RF-5800 (Harris)
	Teléfono inalámbrico	31	40,225		
	Telemandos para aeromodelismo	35,03	35,2		
	Baja potencia ICM 40 MHz	40,66	40,7		
	Aplicaciones ICM 40 MHz				
	Radiobúsqueda 40 MHz	40,875	40,95		
	MINISDEF	41	47		
Radiodifusión	Servicio móvil terrestre	47	68	RT-9210 (PR4G-V3)	
	Radioaficionados	50	50,2		
Navegación aeronáutica automática	Radionavegación aeronáutica	68	87,5		
Servicio móvil fijo, salvo móvil aeronáutico	Datos en 71 MHz	71,325	71,775		
	FM Comercial	87,5	108		
Móvil aeronáutico (R)	Usos civiles del servicio móvil aeronáutico	122	130,875		
	Compañías de transporte aéreo	131,4	131,975		
Fijo	Radioaficionados	135,7	137,8		
Móvil aeronáutico	Servicio móvil aeronáutico (OR) y otros	138	144		
Móvil	Servicios móviles de cobertura nacional	148	148,025		
Fijo móvil	Empresas de electricidad	166,9	167,5		
	Empresas de gas	167,5125	167,6		
Fijo, móvil salvo móvil aeronáutico	Servicio móvil terrestre de cobertura nacional	170,8	171,325		
Fijo móvil	Empresas de electricidad	171,5	172,1		
	Empresas de gas	172,1125	172,2		
Radiodifusión	Enlaces móviles de transportes de programas de radiodifusión	174	181		
	Enlaces móviles y unidireccionales de transporte de programas de radiodifusión	181	188		
Radiodifusión móvil terrestre	Enlaces unidireccionales móviles para transporte de programas de radiodifusión	188	195		
Radiodifusión	Radiodifusión sonora digital en VHF	195	223		
Operaciones espaciales móviles fijas.	MINISDEF	223	300		



4.1.1 Factores que intervienen en la gestión de frecuencias

Tal y como se verá en apartados posteriores al actual, las telecomunicaciones dependen de muchos factores que provocan que la transmisión de la información no sea tan efectiva como se desearía. Del mismo modo la gestión de frecuencias también depende de tres factores que ajustan las necesidades de comunicaciones con las características de las frecuencias en todo el EM. Según el *Módulo de Especialidad de Transmisiones. Alumno*, publicado por el MADOC del ET en el año 2003, los factores que intervienen en la gestión de frecuencias son los siguientes:

- Factores técnicos. Según las características de propagación de las ondas que se transmiten a través de las distintas frecuencias del EM, es necesario comprender que hay características que resultan clave en el empleo de las distintas frecuencias. El ancho de banda es un parámetro fundamental, ya que nos indica la cantidad de información que se puede transmitir alterando más o menos la calidad de dicha información. Otros parámetros igualmente destacados y a tener en cuenta son la absorción atmosférica ¹⁰ o las interferencias con el terreno y los factores climáticos.

- Factores operacionales. Dependiendo de las necesidades del enlace (transmisión marítima y aeronáutica) se hace completamente imprescindible disponer de una organización y cooperación internacional para un empleo e interoperabilidad adecuado internacionalmente. Esto no es tarea fácil ya que se requiere de la disposición de canales útiles para todas las funciones necesarias y disponibles en cada una de las naciones involucradas en la comunicación.

- Factores económicos. Este, sin duda, es el mayor limitante a la hora de la gestión de las frecuencias. Los factores económicos son aquellos que van a decidir la disponibilidad de los equipos de trabajo en cada frecuencia del EM, así como las gestiones de otros países. Internacionalmente los países disponen de unos requisitos que se deben cubrir mediante la gestión de frecuencias, por lo que dichos factores, serán los encargados de decidir de manera directa sobre las adquisiciones de equipos y costes derivados del empleo de unas bandas de frecuencias u otras según las necesidades.

4.2. VHF EN EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

El espectro radioeléctrico es un recurso limitado, lo cual obliga a una gestión efectiva del mismo, así como el conocimiento y uso adecuado de sus posibilidades en el ámbito de la transmisión de información. En España esta gestión es tarea de la Administración Civil del Estado, pero tanto las Administraciones Civiles como Militares españolas colaboran en la elaboración de un documento compartido en el que se refieren las normas a seguir.

Con el fin de comprender la banda de frecuencias VHF que es objeto de análisis en este TFG, antes debemos comprender donde se incluye esta banda de frecuencias. El EM también denominado espectro radioeléctrico se puede definir como "*Distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas*" y las ondas electromagnéticas se definen como "*aquellas ondas que no necesitan un medio material para propagarse*" tal y como se expresa en el documento de Vázquez J.M. bajo el título de *Gestión del Espectro Electromagnético*, publicado en 2010 por el Colegio oficial de Ingenieros de Telecomunicaciones en Málaga.

¹⁰ Es un fenómeno por el cual la intensidad de una onda disminuye debido a los efectos disipativos de la atmósfera, produciendo la reducción de la energía que transporta dicha onda.

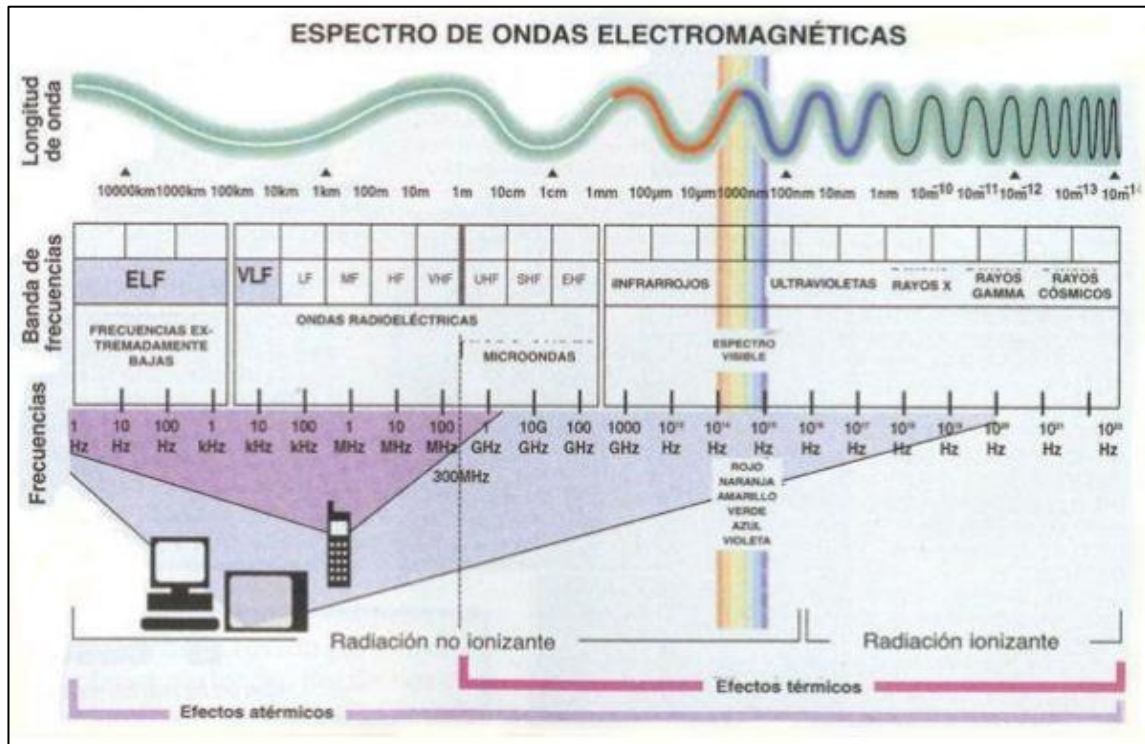


Ilustración 2: División del Espectro Electromagnético. *Libro de Transmisiones del curso 2006-2007* publicado por Dirección de Investigación Doctrina, Orgánica y Materiales. MADOC, ET, España, curso: 2006-2007

Una vez ubicados en el ámbito del EM, acotando entre el rango de frecuencias de 30 a 300 MHz y con longitud de onda que se encuentra entre 1 y 10 metros, estaremos en la banda de frecuencias VHF. Esta banda, objeto de estudio en este trabajo, permite la propagación directa¹¹ y además, permite la realización de comunicaciones troposféricas¹² en situaciones atmosféricas poco frecuentes. En esta banda de frecuencias se da cobertura mediante enlaces radio de corto alcance.

En condiciones normales, la banda VHF permite la transmisión de datos hasta un máximo de unos 80 km (dependiendo de factores clave como el terreno, la climatología, el estado de los medios y la potencia de emisión), la banda VHF permite los enlaces punto a punto Línea de Visión Directa o *Line of Sight* de manera limitada por los factores anteriormente expuestos.

¹¹ Dentro de la *propagación de la onda terrestre* encontramos la propagación directa, en la que el rayo derivado de la radiación va desde la antena del transmisor hasta el receptor.

¹² Es la comunicación posible gracias a la dispersión troposférica. Este fenómeno permite enlazar nodos de comunicaciones más allá del alcance óptico debido a las propiedades físicas de la troposfera.



4.3 RADIO PR4G

Para satisfacer las necesidades de transmisión de la información en la banda de frecuencias VHF, la CIATRANS17 del BCG de la COMGECEU tiene a su disposición el radioteléfono PR4G V3. Este terminal telefónico permite mantener el enlace durante el movimiento para las PU. La PR4G en su versión V3 es uno de los medios que destacan en las dotaciones de las distintas unidades del ET. En todas las unidades pertenecientes al ET el radioteléfono PR4G (en cualquiera de sus versiones) representa un sistema de comunicaciones flexible, con la capacidad de adaptarse los cambios sobrevenidos en las operaciones.

Es de vital importancia que todas las unidades del ET estén versadas en el empleo eficaz de este medio de transmisión. Las unidades de Caballería, Ingenieros e Infantería son usuarias de este radioteléfono y por lo tanto también de sus capacidades. Por ello todos los operadores radios deben dominar el uso de este medio en mayor o menor medida. Con el propósito de obtener el mayor rendimiento y dada la necesidad de mantener esta radio con una alta operatividad, es preciso que los usuarios de este medio puedan ser capaces de resolver todos los contratiempos que puedan surgir derivados del empleo prolongado de este medio en condiciones extremas.

4.3.1 Limitaciones

Según la información recogida en el documento *Radioteléfono PR4G V3 (MI). MI-500*, publicado por la Dirección de Enseñanza, Instrucción y Adiestramiento y Evaluación en Madrid en el año 2016 del MADOC en el ET, el radioteléfono PR4G transmite información a través de la banda de frecuencias de VHF, lo que le convierte en la herramienta principal para los escalones de mando inferiores tanto en conexiones con voz como en transmisiones de datos. Las distintas versiones de la PR4G han ido permitiendo al E.T. de manera gradual cumplir con las necesidades de transmisión de la información, en la banda objeto de estudio.

Atendiendo a los factores limitantes en la transmisión de información los podemos dividir en cuatro grupos:

- Entorno operativo
- Áreas urbanas
- Áreas montañosas
- Condiciones climatológicas

1. Entorno operativo

Los compromisos actuales tanto a nivel nacional como a nivel internacional requieren que las operaciones no solo se conformen de acuerdo a los niveles tipo OTAN sino que también deben de tener en cuenta las conexiones tipo metropolitanas. Por lo tanto la arquitectura CIS debe de tener en cuenta el dominio necesario de la información para no generarla de manera redundante o datos irrelevantes en la misma. Esto implica, por ejemplo, disponer y emplear de manera adecuada el ancho de banda necesario para cumplir con los requerimientos de una operación. Es crucial no solo el aprovechamiento del ancho de banda sino de las situaciones tácticas, sobre todo en ZO, que resultan cruciales para establecer el enlace.

2. Áreas urbanas

Atendiendo a la definición de área urbana por la Real Academia de la Lengua Española (RAE) “conjunto de edificaciones de una ciudad, hasta donde termina su agrupación” podemos entender que este entorno se caracteriza por disponer de una gran variedad de interferencias radiofónicas.



Estas interferencias son ocasionadas debido a la abundancia de líneas eléctricas de alta tensión o el solapamiento con bandas próximas en empresas científicas, médicas o emisoras de televisión y radio.

Todo esto reduce mucho el espacio en el que la transmisión de información puede realizarse de manera adecuada, entendiéndose como adecuada un envío de información a tiempo y eficaz. El estudio del entorno urbano debe de ser un factor relevante a la hora de planear una maniobra ya que esta no podrá llevarse a cabo sin los correctos enlaces entre las unidades.

Los aspectos a tener en cuenta en el estudio del ambiente urbano para los medios CIS son:

- Topografía urbana
- Perturbaciones electromagnéticas
- Análisis del alcance y propagación de las ondas de radio

3. Áreas montañosas

Se entiende por medio montañoso *“una zona geográfica caracterizada por un relieve ya marcado o moderadamente accidentado con fuertes variaciones climáticas y estacionales”*. Este ambiente se caracteriza por tener siempre presente un cierto grado de peligrosidad (deslizamientos de tierra, nieve, etc.) unido a la climatología (ventiscas, lluvias torrenciales, etc.)

Estas condiciones tan cambiantes afectan significativamente a los enlaces y por lo tanto dificultarán el mando y control de las PU de la maniobra. El contacto visual está muy comprometido por la orografía del terreno y las comunicaciones en la banda de frecuencias se realizan recurrentemente mediante relés¹³ que facilitan la transmisión de la información, pero comprometen más medios en el despliegue.

Por lo anteriormente expuesto, resulta fundamental resaltar la importancia del estudio de este terreno. Las áreas montañosas resultan ser un entorno capaz de comprometer las capacidades físicas y mentales de los combatientes y actúa del mismo modo en las transmisiones. La disposición de los despliegues en el terreno y las condiciones climatológicas asociadas a dicha orografía resultan cruciales para labores como la de mantener el C2. Debido a ello los puestos de comunicaciones y los elementos destacados de las mismas tomarán preferiblemente posiciones elevadas y así permitirán así el empleo correcto de los medios PR4G que se empleen en una maniobra por terreno montañoso.

4. Condiciones climatológicas

Como el resto de limitantes, las condiciones climáticas afectan y en gran medida a las capacidades de los medios empleados en la transmisión de información. Tanto el frío extremo como el calor en exceso pueden afectar a todos los equipos de transmisiones. Estas condiciones climáticas que se viven en zonas desérticas del Ecuador o en latitudes muy superiores son las que se han sufrido en las misiones realizadas por los miembros de las FAS en Irak e Afganistán. Este último, de una orografía muy compleja y con una climatología extrema en los meses de verano e invierno. Del mismo modo las fuertes rachas de viento que pueden alterar las orientaciones de las antenas o forzar a las mismas pudiendo producirse su ruptura. Las lluvias y la nieve pueden generar humedades que provoquen averías y oxidaciones.

¹³ Es un elemento de la transmisión con el propósito de permitir el paso de esta entre dos puntos que no tienen comunicación (normalmente por factores orográficos)



4.3.2 Seguridad en las comunicaciones

En el aspecto de la seguridad en la transmisión de información hay múltiples, extensos e interesantes estudios. Actualmente la seguridad en las comunicaciones es un tema cuya importancia cae por su propio peso ya que no se puede pretender establecer un envío y recepción de datos sin la respectiva seguridad asociada a la transmisión. El objetivo es proporcionar la seguridad adecuada en las transmisiones militares en las que abundan los documentos de tipo confidencial, restringido o de difusión limitada. Estos documentos contienen información sensible y son objeto de intentos de captura o de perturbación. Del mismo modo que las comunicaciones deben de ser debidamente aseguradas ante estos ataques de terceros también deben de estar protegidos a nivel usuario. La seguridad nunca es total y todo esfuerzo en mejorarlo debe de ser aplicado e implementado.

Gracias al documento *Radioteléfono PR4G V3* publicado en el año 2016 por la Dirección de Enseñanza, Instrucción y Adiestramiento y Evaluación del MADOC en el ET, la seguridad de la información se integra en la Seguridad Militar Permanente y de la Seguridad de Operaciones. Por lo que la fiabilidad en términos de solidez comunicativa debe adquirir un nivel adecuado. Por ello se realiza una concienciación continua a los administradores y usuarios de los equipos que transmiten este tipo de información sensible. Las vulnerabilidades¹⁴ existen en todos los niveles y por ello la razón de ser de todas las medidas de protección de la información.

Según la Doctrina de Telecomunicaciones (DO2-002) se define la seguridad de la información en los sistemas de telecomunicaciones e información (INFOSEC) como *“conjunto de medidas aplicadas para proteger la información manejada por los sistemas CIS”*. Por lo tanto las medidas INFOSEC se agrupan en distintas categorías:

1. Seguridad de los Sistemas de Telecomunicaciones (COMSEC): son las medidas encargadas de, por una parte, impedir que personal no autorizado consiga los datos de la transmisión y por otra parte, asegurar la autenticidad de las telecomunicaciones. Estas a su vez de componen de:

2. Seguridad de la transmisión (TRANSEC)

3. Seguridad criptográfica (CRIPTOSEC)

4. Seguridad de los Sistemas de Información (SSI): son todas las aplicaciones de seguridad integradas en los componentes del hardware, firmware y software de cualquier sistema informático. Estas a su vez de subdividen en:

- Seguridad de los ordenadores (COMPUSEC)
- Seguridad de las redes de datos (NETSEC)
- Seguridad de las Emisiones de Señales Deseadas¹⁵.

14 Falta de control en un sistema que permitiría que una amenaza actuase contra él

15 Información contenida en las emisiones de los equipos de telecomunicaciones.



4.3.3 Versiones de la radio PR4G

En el siguiente apartado se van a explicar las distintas versiones del terminal PR4G, que constituye la piedra angular de las transmisiones en la CIATRANS 17 del BCG de la COMGECEU así como del resto de Compañías de Transmisiones del ET para la transmisión de información en la banda de frecuencias VHF.

Tabla 2: Características de los modelos de la PR4G. *TFG: Análisis de la Transmisión de datos en VHF: limitaciones, cambio evolutivo e innovación.* Tte. D. Jesús Laguna Argüello Córdoba (2016).

	desarrollo	
V1	1992	Frecuencias de uso entre 30 y 87'975 MHz
		Diferentes pasos de salto de frecuencia
		Incorpora distintos modos y servicios de comunicación
		Dotada de diferentes canales de uso
		Gran protección frente a guerra electrónica
		Transmisión de datos síncronos y asíncronos
V2	1994	Mayores potencias de transmisión
		Empleo de VOCODER
		Incorpora TDMA
V3	2003	Mayores potencias y velocidades de transmisión
		Incorpora un receptor de señal GPS
		Nuevos modos de transmisión de datos a través de IP

Desde 1999 hasta el 2011 el ET ha adquirido mediante Thales Group¹⁶, un total de más de 12.000 radios del tipo PR4G. El programa de adquisiciones cuenta con un presupuesto de 300 millones de euros para la adquisición de los distintos modelos de la familia PR4G. Debido a las necesidades de las unidades del Ejército en la transmisión de información en la banda de frecuencias VHF, el Estado Mayor de la Defensa ha comenzado los estudios pertinentes para la adquisición de la nueva generación de radios definidas por software. Se puede concluir que, mientras este proyecto se está estudiando las PR4G seguirán siendo la piedra angular del E.T. para la transmisión de información en la banda de frecuencias VHF.

¹⁶ Compañía francesa, con sede en EUILLY-sur-SEINE, Francia, de electrónica dedicada al desarrollo de información y servicios para los mercados aeroespacial, de defensa y seguridad.



4.3.3.1 Modelo PR4G V1

Dada la información obtenida gracias al documento *Radioteléfono PR4G V3* publicado por la Dirección de Enseñanza, Instrucción y Adiestramiento y Evaluación del año 2016 en el MADOC del ET, podemos exponer que el modelo V1 es el primer modelo de la PR4G que se recibió en el ET. Debido al hecho de ser la primera radio de la familia PR4G recibida, ha sido el origen de las transmisiones en la banda de frecuencia VHF, posteriormente derivaría en los modelos que se enunciarán en los siguientes apartados. Sus características técnicas son las siguientes

- Dispone de un margen de frecuencias que comienzan en la frecuencia de 30 MHz y terminan en 87.975 MHz. Los canales están separados por 25 KHz dentro del rango anterior por lo que se permiten generar 2320 canales disponibles para la transmisión de información en la banda VHF

- Tolera temperaturas de entre -40°C hasta 70°C y permite una funcionalidad útil de trabajo en alturas de hasta 4500 m y hasta dos horas bajo 1 m de agua. Así mismo está protegida frente a perturbaciones de tipo electromagnéticas (PEM) para ello dispone de seguridad COMSEC y TRANSEC, explicadas en el apartado anterior.

Sus modos de funcionamiento son los siguientes:

1. Frecuencia Fija Analógica (FFA): permite la transmisión de información por fonía con la modulación de tipo analógica.

2. Frecuencia Digital (FD): se caracteriza por que permite que la información sea transmitida mediante modulación digital.

3. Salto de Frecuencia (SFR): mediante un algoritmo ¹⁷ dado permite que la comunicación vaya fluctuando entre una serie de frecuencias dadas durante un intervalo de tiempo dado denominado (dwell time) a una velocidad de 200 a 300 saltos por segundo.

4. Búsqueda de Canal Libre (BCL): consiste en la búsqueda automática de un canal que no se esté usando dentro de una frecuencia dada.

5. Mixto (MIX): permite la cohesión de los últimos modos expuestos.

¹⁷ Conjunto de reglas y procedimientos, expresados mediante datos o símbolos, que describen un estado o una asociación lógica para resolver un problema.



4.3.3.2 Modelo PR4G V2

La información relativa a este subapartado ha sido obtenida gracias al documento referido al modelo anterior de la PR4G. Este fue una actualización en los siguientes aspectos claves respecto a su versión anterior.

- Potencias de emisión superiores seleccionables de 0.5W y 5W frente a los 0.4W y 4W de la versión PR4G V1.
- Transmisión de la fonía mediante un codificador¹⁸ de voz (VOCODER) con el fin de generar una resistencia extra al “jamminng¹⁹”.
- Incorporación del software novedoso TDMA (División en el Tiempo para Acceso Múltiple). Este nuevo protocolo permite un mejor aprovechamiento de las características intrínsecas del terminal telefónico en cuestión, basado en la técnica de multiplexación²⁰.

4.3.3.3 Modelo PR4G V3

Según el documento *Radioteléfono PR4G V3* publicado por la Dirección de Enseñanza, Instrucción y Adiestramiento y Evaluación en el año 2016 en Madrid por el MADOC del ET. Esta versión representa el colofón de los modelos PR4G incluidos en el E.T. para las transmisiones en la banda VHF. Representa la actualización y mejora de sus versiones anteriores V1 y V2.

Destaca respecto a las anteriores por los siguientes aspectos:

- Nuevas velocidades para la transmisión de datos síncronos²¹. En la corrección de errores²² se utiliza el mecanismo de errores hacia adelante (FEC) con velocidades entre 9600 y 19200 bits por segundo (bps). Si no adjunta esta corrección de errores las velocidades pueden llegar a ser según el rango 16000 a 42000 bps. Además, la transmisión de los datos síncronos permite velocidades de: 9600, 19200 y 38400 bps mediante un protocolo estándar abierto de menor seguridad.
- Incorporación de una mochila (espaldera) para que sea transportada con mayor facilidad y otorgar a la maniobra CIS mayor movilidad, esto se conoce como manpack²³.
- Respecto a sus potencias siguen manteniéndose las de la versión V2, de 0,5 W y 5 W.

18 Circuito combinatorial con 2^N entradas y N salidas, cuya misión es presentar en la salida el código binario correspondiente a la entrada activada.

19 Técnica utilizada por delincuentes para ejecutar robos de una manera más sencilla de vehículos. Esto es posible debido a que esta “herramienta” bloquea las señales, ya sea de GPS, wifi, etc.

20 Técnica de combinar dos o más señales y transmitir las por un solo medio de transmisión.

21 Transferencia de datos en forma de bloques con temporización continua y coherente.

22 Procedimiento utilizado en el tratamiento digital de la señal para revertir errores detectados durante la transmisión de señales digitales.

23 Referido a portátil, que es capaz de ser transportada de manera individual por un combatiente.



- Incorporación de un pequeño receptor de señal GPS (Sistema de posicionamiento global) que no es compatible con las versiones anteriores. Esto genera unas grandes posibilidades ya que permite conocer parámetros claves como la posición, altitud, velocidad o fecha actualizada de manera segura y fiable. Para conseguir estas ventajas se necesitan conectores específicos.

- Para la transmisión de datos y no solo comunicación radiofónica incluye el controlador IP (Protocolo de Internet). Esto se consigue utilizando los interfaces estándar de: Ethernet 10 y PPP (*Point to Point Protocol*) del interfaz serie. El primer estándar del tipo Ethernet y el segundo permite la transmisión de datos mediante paquetes con el protocolo de direcciones IP que pueden ser cargadas automáticamente mediante programas como el BMS (Battle Management System) o manualmente.

Tabla 3: Introducción de direcciones IP en la PR4G V3. Fuente: *MT-021 – Manual del Usuario del BMS-ET* Indra. THALES. Publicación del MINISDEF (2019)

Pulsar Tecla	DISPLAY	DESCRIPCIÓN
3 VECES ▼		Posibilidad de editar/modificar las direcciones IP de la radio.
ENTR		Posibilidad de editar/modificar la dirección IP del puerto Ethernet de la radio.
ENTR		Introducir IP ETHERNET utilizando teclado numérico

4.3.4 Modos de trabajo de la PR4G V3

Según la información disponible en el documento *Reglamento de empleo de la PR4G. RE6-507* publicado por el Estado Mayor del Ejército del MINISDEF en 2002, el terminal radiotelefónico RT-9200 puede trabajar hasta en un máximo de 7 canales guardados (desde el canal 0 hasta el 6). Mientras que la Frecuencia Fija General (FFG) es un modo de trabajo de tipo analógico, los demás canales pueden configurarse bien como analógicos o bien como digitales.

La configuración de los canales vendrá dada por el escalón superior y se gestionará en el planeamiento del empleo de los medios CIS. Los elementos fundamentales para un uso adecuado de los modos de trabajo en los canales asignados serán:

- Juego de claves: se elige entre dos tipos de cifra preestablecidas.
- Número de abonado: este número permite identificar el terminal RT-9200 de todos los demás con los que comparte red de transmisión de información.
- Fecha y hora: que permite la sincronización correcta entre dispositivos.



4.3.4.1 Analógico

En los modos de trabajo analógicos se emite en una frecuencia que es fija. Toda la información que se transmite de esta manera se emitirá en claro, es decir, sin parámetros de seguridad. La única protección es el uso de las bandas dedicadas a la transmisión VHF para el ET dentro del EM.

Los modos analógicos son los siguientes:

- Frecuencia Fija General (FFG): todo se emite en claro en una única frecuencia que se configura. De este modo la PR4G V3 actúa como una radio común, por lo que no es recomendable su uso.
- Frecuencia Fija de Cana (FFC): es un canal que se puede configurar de tal manera que por él solo se trabaje en una única frecuencia transmitiendo en claro. Por cuestiones de seguridad no se recomienda el empleo de los modos FFC y FFG.

4.3.4.2 Digital

En los modos de trabajo digitales la voz se digitaliza y se codifica en función de unas claves que anteriormente se han expuesto y explicado (COMSEC y TRANSEC). Siempre y cuando los terminales estén correctamente sincronizados con el mismo grupo fecha-hora ²⁴se podrán introducir las claves mediante la pantalla de la radio o mediante el empleo del Terminal de datos Tácticos (TDT). Algunos de los modos han sido presentados y expuestos anteriormente en el punto 4.3.3.1. Modelo PR4G V1. Los modos de transmisión de la información de manera digital que no han sido mencionados anteriormente:

- IP/SAP
- IP/MUX
- SUPERMUX TDMA

Al trabajar con estos modos se hace absolutamente necesaria la característica intrínseca al modelo V3 de la radio PR4G que es el empleo de direcciones IP.

1. IP/SAP: este modo de trabajo está planteado como un modo de envío únicamente de datos.

Sus características son:

- No se puede emplear la fonía con el modo exclusivo para la transmisión de datos.
- La velocidad de datos se regula entre los 2.400 y los 19.200 bits/s. Esto dependerá obviamente de los agentes condicionantes del enlace adaptándose en función de la relación señal/ruido²⁵.

²⁴ Manera de especificar una referencia horaria de un modo militar. Ejemplo: 12 de abril de 2019 a las 19:35, según el criterio grupo fecha-hora sería, 121935ABR19.

²⁵ La relación señal/ruido o S/R es la proporción existente entre potencia de la señal que se transmite y la potencia de ruido que la corrompe. Se mide en decibelios (dB).



- Es totalmente necesaria una estación que funcione como directora o coordinadora para iniciar los patrones de sincronización para los demás equipos entre sí y con esta estación. Esto permite que se constituyan redes vecinas de equipos localizados fuera del alcance del resto de la red. Esto permite que se genere un servicio conocido como “servicio de red no conectado”.

- Dependiendo de un listado de estaciones de radio y en función del alcance que se actualiza automáticamente la estación directora no tiene por qué tener enlace por las lejanas. La ventaja de esta característica es que aun perdiendo el enlace, se configura la red vecina y se transmiten los datos. La desventaja es que los datos que se transmiten se reciben con un retardo de 15 minutos.

2. IP/MUX: este modo de trabajo permite la transmisión de manera simultánea la voz y los datos. La diferencia con el modo IP/SAP es clara, pero para que se permita la transmisión simultánea de voz y datos se necesita una partición del tiempo de transmisión de datos en fracciones de tiempo. Estas fracciones se dividen en un 50% para voz y 40% para datos, quedando un 10% para la emisión y recepción de alertas, sincronización y llamadas de la estación directora.

Sus características son:

- Se necesita una estación directora primaria y una secundaria, debido a la alta demanda de mantener una sincronización extremadamente precisa. Por periodos de más de 40 segundos de desincronización en un total de 10 minutos se pierde la sincronía y se sale del modo IP/MUX

- La velocidad de transmisión oscila entre los 600 y los 4.800 bits/s, obviamente es menor que el modo IP/SAP ya que como se ha explicado anteriormente se emite voz y datos. La velocidad de transmisión de datos dependerá de las condiciones climáticas, orografía y disposición de los edificios y cableado en las áreas urbanas.

3. SUPERMUX TDMA: es el modo de funcionamiento más moderno, adquirido por el Ministerio de Defensa (MINISDEF) con el fin de modernizar los radios PR4G en dotación en todas las unidades. El modo SUPERMUX permite una amplia capacidad para el envío de datos y al mismo tiempo de voz.

En el comunicado oficial de la empresa Thales España lo detallan del siguiente modo *“esta nueva capacidad operativa amplía la capacidad de transmisión de datos y proporciona a los usuarios una mayor capacidad para la difusión de información de alta prioridad [...] acelerar la diseminación de la conciencia situacional y evitar fuego amigo”*. Además, incorpora el intercambio automático del *Blue Force Tracking* (BFT) de manera independiente entre las distintas redes de la red VHF. Sin lugar a dudas, el modo Supermux representa un salto cualitativo para los sistemas de mando y control tácticos en el E.T.

Este modo destaca por ser el más empleado, dadas sus características, en el BMS. Debido a la operatividad en términos de transmisión de la información mediante el modo SUPERMUX se está empezando a considerar como una nueva versión (PR4G V4). El modo en cuestión permite cuadruplicar la velocidad de la transmisión de datos. Por lo que no solo el programa BMS se convierte en benefactor de las cualidades de este novedoso modo de transmisión, sino que todos los sistemas de información que necesiten del terminal radiotelefónico resultan beneficiados. Esto es debido a que otros sistemas empleados para el envío de datos pueden verse más aliviados a nivel de explotación y centrarse en otros cometidos fundamentales para asegurar el tráfico de información con las unidades de maniobra.

De forma análoga que en el apartado anterior (4.3.5.1) la información ha sido obtenida gracias a la consulta del documento *Radioteléfono PR4G V3* publicado por la Dirección de Enseñanza, Instrucción y Adiestramiento y Evaluación en el año 2016 por el MADOC del ET en Madrid.



4.4. BANDAS PRÓXIMAS A LA BANDA VHF

Las bandas a las que hace referencia el título de este epígrafe y razón de los siguientes apartados, son respectivamente las bandas inmediatamente inferior y superior a la banda VHF. Este trabajo, estaría totalmente incompleto sin conocer las bandas de frecuencias vecinas a la banda en cuestión. Por ello en los siguientes apartados se van a explicar las características de la banda inferior, HF y la superior UHF.

4.4.1 Banda inferior HF

La banda HF recibe su nombre del inglés *High Frequency* conocida en castellano como frecuencia alta u onda corta, ya que hace referencia al rango de frecuencia que ocupa, entre 3 y 30 MHz. Otra característica de las frecuencias que componen dicha banda es su longitud de onda que está comprendida entre 10 y 100 metros, una longitud bastante inferior respecto a VHF y a UHF, como posteriormente veremos. Los aspectos genéricos de la banda de frecuencias HF se pueden encontrar en el documento *Sistema de Telecomunicaciones e Información. OR3-50 (orientaciones)* publicado por el MADOC del ET en el año 2017.

Las ondas que se propagan en el EM en las frecuencias de la banda HF se propagan linealmente rebotando en la ionosfera²⁶.

La propagación ionosférica ²⁷ permite la transmisión de información con distancias de separación entre emisor y receptor de miles de km. Con el fin de obtener el mayor rendimiento en las comunicaciones mediante esta banda de frecuencias se suele emplear el modo AM ²⁸ (amplitud modulada en banda lateral única) y el conocido como BLU ²⁹ (Banda Lateral Única) en inglés SSB (*Single Side Band*).

Según el documento publicado por la Dirección de Investigación, Doctrina, Orgánica y Materiales en el año 2018 en Madrid bajo el título de *Radio RF-5800 Harris (MI)* del MADOC perteneciente al ET, los ejércitos de todo el mundo disponen de equipos que permiten la transmisión de información a través de la banda de frecuencias HF. Dados los excelentes resultados que se han propiciado de la explotación de esta banda de frecuencias el ET dispone de la conocida RF-5800H de la empresa estadounidense Harris. El ET firmaba en marzo de 1998 un contrato, tras su aprobación por el Consejo del Atlántico Norte, el cual le permitía la adquisición, instalación y prueba de estos equipos principalmente en la defensa aérea.

²⁶ Es una capa de la atmósfera situada entre los 80 y 500 km de altitud, en la que tiene lugar números procesos de ionización en los que grandes concentraciones de electrones son liberados.

²⁷ Este tipo de propagación divide de la banda HF en dos tipos llamadas bandas nocturnas. Este fenómeno permite que las ondas emitidas en las frecuencias de la banda HF vayan rebotando en dicha capa y en la superficie terrestre permitiendo enlace a muy larga distancia

²⁸ Es un tipo de modulación de onda no lineal. Consiste en hacer variar la amplitud de una señal de alta frecuencia de acuerdo que cambie con las variaciones de nivel de la señal moduladora, que es la que se va a transmitir.

²⁹ Es una evolución de la modulación AM. Permite transmitir señales radio que otras modulaciones no pueden.



Esta radio tiene distintos modos de trabajo (FIX, ALE, ALE 3G, HOP, 3G, 3G+, IP) entre los que destaca el primero de ellos. El modo FIX hace referencia al modo FFG del RT-9200 de la familia PR4G. Permite la comunicación entre ambos dispositivos en las frecuencias inferiores de la banda VHF, entre 20 y 59.99 MHz, siempre y cuando en la radio Harris se haya seleccionado el modo FIX en su modulación FM. De este modo obtenemos una transmisión tanto de voz como de datos de manera simultánea entre ambos dispositivos, esto ofrece grandes ventajas a la hora del planeamiento de las capacidades y medios CIS.

4.4.2 Banda superior UHF

La banda de ultra alta frecuencia (UHF) abarca desde el final de la banda de VHF, 300 MHz hasta los 3000 MHz. El ancho de banda de UHF es de unos 2700 MHz (diez veces superior al ancho de banda de VHF) y su longitud de onda (λ) está entre 1 y 10 cm, por lo que el tamaño de las antenas tipo dipolo $\lambda/4$ y $\lambda/8$ es muy adecuado para el su empleo en pequeños equipos portátiles.

Las comunicaciones UHF suelen requerir la *Line of Sight* entre las antenas, aunque las ondas UHF son capaces de atravesar la vegetación o edificios. Esta característica tan destacada resulta ser aún más eficiente que otras frecuencias inferiores, sin embargo, esto presenta una gran desventaja frente a su empleo ya que estas ondas son más absorbidas por la materia que traspasan, por lo que conlleva pérdidas en la propagación, transmisión y calidad de la señal.

Es notable destacar el corto alcance de esta banda y la necesidad de esta línea de visión directa, aunque el empleo de antenas direccionales en radioenlaces de tipo estacionario permite aumentar el alcance y por ende las capacidades de las unidades que las empleen en decenas de kilómetros, todo esto por supuesto dependiendo de las condiciones atmosféricas. A pesar de esto, no es corriente que las PU de maniobra como las de Infantería u Operaciones Especiales (OEs) empleen en sus ejercicios de alta movilidad antenas direccionales estáticas.

El mayor ancho de banda en UHF permite aumentar el número de canales y su capacidad. Por ejemplo, destaca su uso en la TDT, la difusión DAB y la mayoría de tecnología móvil conocidas como, 2G, 3G, 4G y la banda de respaldo de 5G, también en las redes Wi.fi de 2,4 GHz y el BlueTooth. Debido al empleo intensivo de esta banda es frecuente el solapamiento de emisiones que traen consigo numerosas interferencias no deseadas de canales adyacentes, por ello los receptores UHF deben contar con una gran selectividad a fin de ser inmunes a señales cuya frecuencia se desvíe un 0,5% de la empleada.

En los márgenes de frecuencias descritos para la banda UHF es donde la radio SPEARNET realiza sus funciones. Con una potencia de emisión de hasta 600 mW en las más modernas y siendo capaz de cubrir distancias de hasta 400 m, dependiendo de las condiciones descritas anteriormente, esta radio tan empleada en las unidades de maniobra permite la emisión y recepción hasta en 4 canales separados 20 KHz. Además de esto es muy empleada en las unidades de maniobra de helicópteros ya que permite mantener el enlace en velocidades de hasta 400 km/h y a su vez el radioteléfono SPEARNET destaca por otorgar localización geográfica GPS a través de Google Earth. Si hubiese que destacar alguna característica notable de este dispositivo tan ampliamente explotado no solo en el ET sino en la AE es la gestión de redes *ad hoc*. Esto permite que, al encenderse, cada radioteléfono busque a sus vecinos asignados previamente y si no es capaz de establecerse el enlace entre dos radios muy separadas se utiliza al resto de estaciones intermedias para materializar en enlace que no es posible mediante la línea de visión directa. Esta información ha sido obtenida gracias al documento *Red Radio de Combate (RRC) SPEARNET* publicado por el Sgto. 1º Javier Fernández Martínez en la Academia de Ingenieros de Hoyo de Manzanares, Madrid el 9 de diciembre de 2019.



5. DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este apartado se va a mostrar el ejercicio que se ha llevado a cabo en la CIATRANS17 con los medios proporcionado por la Sc. de Radio al mando del Tte. D. Francisco José Andrades Badillo. Se darán unas pinceladas de la aplicación BMS-ET y del programa utilizado para la captura de tráfico en la red del despliegue, con el fin de entender el contexto y la utilidad real de la aplicación del ejercicio.

Para poder llevar a cabo análisis de la transmisión de información a través de la banda de frecuencias VHF, se analizarán los requerimientos de red necesarios para BMS y para el resto de comunicaciones de la CIATRANS17. Finalmente se presentarán los resultados obtenidos en el ejercicio junto con una breve reflexión sobre la mejora para cumplir con los requerimientos de transmisión de información a través de la banda de frecuencias de VHF en la CIATRANS17 del BCG de la COMGECEU.

5.1. PRESENTACIÓN DEL EJERCICIO

El ejercicio que se va a presentar ha sido planeado en el aula de Sistemas de Información (SINFO) y ejecutado en las inmediaciones del Acuartelamiento (Acto.) General Pardo de Santayana donde se encuentra la CIATRANS17 del BCG de la COMGECEU. Este ejercicio ha consistido en el empleo de los medios disponibles en la Sc. de Radio de dicha Cía. de Transmisiones. Los medios empleados han sido:

- Dos vehículos Mercurio 2000,
- Dos radioteléfonos RT-9210 PR4G V3.

Para completar el ejercicio se solicitaron dos tabletas rugerizadas al RING7 de la plaza de Ceuta. Estos medios se escogieron para el ejercicio porque su correcto funcionamiento estaba contrastado en maniobras y ejercicios previos. El ejercicio de transmisión de información se realizó desplegando dos vehículos de tipo Mercurio, dotados con los respectivos medios de transmisión VHF (RT-9210 V3) y con las tabletas rugerizadas. La finalidad de dicho ejercicio ha sido comprobar los requerimientos necesarios para un enlace entre cada uno de los vehículos, así como analizar la seguridad de la información que se transmitió.

La ambientación del ejercicio, con el objetivo de dotar de más realismo al mismo, ha sido llevada a cabo mediante una alteración de los hechos acaecidos entre el 17 y el 18 de mayo de 2021 en la Ciudad Autónoma de Ceuta. La ambientación, con la respectiva alteración de los hechos, es la siguiente:

“En el día 17 de mayo de 2021, la Cía de Inteligencia del BCG de la COMGECEU informa de un posible salto masivo a la Ciudad Autónoma de Ceuta. Ante esta información el Teniente Coronel (Tcnl.) D. Jesús Solano Costa jefe del BCG decide movilizar a la CIATRANS17 a los distintos accesos desde la frontera. Tras esta orden el Tte. D. Jesús Laguna Argüello al mando de la CIATRANS17 dispone que la Sc. de Radio, al mando del Tte. D. José Francisco Andrades Badillo, destaque un vehículo Mercurio 2000 a la frontera Sur, en las proximidades del Barrio del Príncipe cercano a la Playa del Tarajal, con el objetivo de informar de las actividades ante la amenaza de la entrada masiva, y que otro vehículo Mercurio 2000 se establezca en el Acuartelamiento General Pardo de Santayana, para recibir toda la información procedente de la frontera Sur mediante el empleo del programa BMS.

En la mañana del 18 de mayo de 2021 una gran cantidad de inmigrantes ilegales sin documentación inician la entrada en a la Ciudad Autónoma de Ceuta, lo que implica riesgos para



la población de la ciudad, anexionada al territorio Español tras la firma en 1668 del Tratado de Lisboa. Durante el asalto masivo en el que más de 5.000 personas logran llegar a la ciudad, un pequeño grupo armado y con la instrucción suficiente consiguen capturar el vehículo Mercurio 2000 destacado en el paso fronterizo del Tarajal haciendo como renes a sus tripulantes antes de que estos puedan avisar de lo sucedido

El pequeño grupo armado tiene a su disposición el material del vehículo capturado. Introduciendo el programa WireShark (gratis y libre en internet), pretenden capturar y almacenar en una memoria USB, todo el tráfico de datos procedente del otro vehículo Mercurio 2000 que se encuentra en el BCG, destinado al control y análisis de la información obtenida con los medios de transmisión VHF. Dicha información se intercambia a través del programa BMS.”

Como se puede observar en la ambientación, el ejercicio consiste en intentar capturar el tráfico de información que fluye entre los dos vehículos Mercurio 2000. Estos vehículos se encuentran enlazados mediante el radioteléfono RT-9210 V3 de transmisión VHF lo que permite, como hemos visto anteriormente, en la transmisión de información por medio del empleo de la voz y de los datos. En el apartado destinado a la explicación de los distintos modos de funcionamiento de la radio PR4G en su versión V3 encontramos el modo IP/MUX. Este modo permite la transmisión simultánea de información de voz y datos, lo cual lo convierte en el idóneo para este ejercicio



Ilustración 3: Montaje completo de dos nodos BMS. Elaboración propia.



5.2. PROGRAMAS EMPLEADOS

En este apartado se van a explicar brevemente los dos programas empleados en la ejecución del ejercicio de captura de tráfico de datos. WireShark captura el tráfico de datos y BMS-ET, desarrollado por la empresa Thales, permite visualizar el despliegue realizado, así como el envío de información (texto, fotos y archivos) a través del propio sistema de mensajería u otros sistemas que permiten dibujar sobre el mapa digital cargado para cada ejercicio o maniobra.

5.2.1 WireShark

Según el documento *Análisis de tráfico con WireShark* desarrollado por el Instituto Nacional de Tecnologías de la Comunicación y publicado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio en el año 2011 en España, el programa WireShark es actualmente el analizador de protocolos de red más empleado en el mundo. El proyecto para la creación de este programa se remonta a 1998, cuando Gerald Combs, pretendía otorgar a los administradores de red conocer lo que sucede de manera interna en dicha red.

Este programa consigue su gran desarrollo gracias a colaboradores voluntarios, que suelen ser expertos mundiales en gestión de redes. Un aspecto destacado de este programa es que es gratuito, lo que facilita su empleo en muchas empresas que tienen la necesidad de conocer el tráfico de datos que circula por su red.

Este programa ha sido utilizado para obtener los paquetes de datos que se transmiten por la red local donde están conectadas las de radios de la familia PR4G a través de la plataforma BMS-ET.

Algunas de las funciones más relevantes que incluye WireShark son:

- Captura en vivo y análisis de línea
- Análisis completo de VoIP
- Archivos comprimidos con *gzip* se pueden descomprimir sobre la marcha
- Soporte de descifrado para muchos protocolos

Atendiendo a los paquetes que se han capturado en el **Anexo C** encontramos dos tipos de protocolos principales:

- ARP (Protocolo de Resolución de Direcciones). El propósito de este protocolo es permitir a cualquier dispositivo que se encuentre conectado a una red LAN obtener la dirección MAC ³⁰ de otro dispositivo que esté conectado a la misma red LAN, siempre y cuando su dirección IP sea conocida. Es un protocolo que se emplea en las comunicaciones dentro de la capa de enlace de datos. Esta capa es la segunda capa del modelo OSI³¹ además de ser la responsable de proporcionar una transferencia segura de la información.

³⁰ Es el identificador único que cada fabricante dota a la tarjeta de red de sus dispositivos.

³¹ Conocido por su traducción del inglés como, *Open Systems Interconnection*, en español *Modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos*, es un modelo que actúa como marco de referencia para los protocolos que se emplean en las redes.



- UDP (Protocolo de Datagramas de Usuario). Este protocolo fue desarrollado con el objetivo de permitir el envío de datagramas ³² en una red en la cual se haya establecido previamente una conexión. Es un protocolo que se encuentra en el nivel de transporte. Este nivel se encuentra como el cuarto del modelo OSI y se encarga de tareas tan relevantes como la corrección de errores y su transmisión libre entre el elemento emisor y receptor de una comunicación. Este protocolo no incluye información sobre el estado de envío o recepción de los paquetes, solo se emplea en la transmisión de estos.

Entre las aplicaciones que utilizan UDP se incluyen:

- Sistema de nombres de dominios (DNS)
- Streaming de video
- Voz sobre IP (VoIP)

5.2.2. Battlefield Management System

El BMS-ET está diseñado para apoyar en el ejercicio del C2 a los jefes de las distintas unidades del ET. Este programa representa un avance en numerosos aspectos como: planificación, dirección, control y coordinación, todo ello enfocado al cumplimiento de la misión. De acuerdo con *MT-022 – Manual de Administrador BMS-ET* publicado por el MINISDEF del ET en 2019 en Madrid, las funcionalidades del sistema son muy numerosas, de las cuales caben destacar:

- Sistema de Información Geográfica. Permite la georreferenciación mediante mapas, de este modo, obtenemos la ubicación de las fuerzas o elementos de interés en la maniobra. Con ello se permite un mejor planteamiento de la operación y conducción de la misma. Todo lo anterior es posible gracias a las tareas de Integración Terreno Enemigo (INTE) y el planeamiento de rutas mediante un análisis del terreno a tiempo real.

- Situación Táctica. Permite que todas las unidades del sistema sean capaces de realizar una conducción durante la maniobra de manera coordinada, por medio del Seguimiento de Fuerzas, tanto propias como otro tipo de fuerzas (enemigas o desconocidas). Del mismo modo gracias a la situación táctica existe la posibilidad de visualizar la Organización operativas de nuestras fuerzas y del resto participantes en la operación.

- Mensajería y Gestión de Documentos. Los objetivos fundamentales de estas dos funcionalidades son permitir las comunicaciones y prestar apoyo al usuario en la preparación y edición de la documentación. Existe la posibilidad de anexar ficheros y mensajes o informes preformateados ³³ (ADatP-3) con el fin de complementar las comunicaciones de manera eficaz.

³² Paquete de datos que constituye el bloque de información mínimo que puede ser enviado y recibido en una red.

³³ Que está predefinido, es decir, un mensaje ya estructurado de una manera concreta y que si no estuviese estructurado así el programa no podría ni visualizar.



- Seguridad. Permite la acreditación ante el Centro Criptológico Nacional. Se puede realizar un borrado local o remoto de toda la información relacionada con una maniobra o despliegue en marcha, así como la gestión de las comunicaciones y de los usuarios que las explotan.
- Apoyos de Fuegos y Apoyo Logístico. Gracias a estas dos funcionalidades el sistema es capaz de integrar las peticiones de fuegos mediante la elaboración y transmisión de listas de objetivos, al mismo tiempo que se pueden realizar solicitudes de carácter logístico. El apoyo logístico se erige como una pieza fundamental en el combate, mediante esta función se puede llevar el control de las capacidades de combate de las distintas unidades involucradas en la operación.

Según el documento *BMS-LINCE la nueva piel del Manco y Control en el Leopardo 2-E* de la *Revista del Ejército de Tierra* Español publicada en 2018 por su autor Raúl Serrano Trujillo, originariamente el proyecto de BMS se inició para el vehículo Lince. Este vehículo fue un programa de desarrollo español que se propuso en la década de 1980 y principio de 1990 para la modernización de los carros de combate españoles. Este programa originario se denominó BMS-Lince y se modificó para el resto de unidades de maniobra y combate del ET obteniendo la versión que se ha tratado en el ejercicio, BMS-ET.

5.2.2.1 Requerimientos y limitaciones

El programa BMS-ET al estar pensado para todo tipo de unidades y dada la necesidad de adaptarse tanto a la maniobra de estas como a sus medios, el BMS-ET incluye una gran cantidad de medios compatibles con el sistema.

Tabla 4: Equipos de comunicaciones compatibles con BMS-ET. *MT-021 – Manual de Usuario BMS-ET*. Indra Thales. Publicación por MINISDEF (2019).

Fabricante	Equipo	Modos compatibles
Thales	PR4G V2	CNR-VOZ, CNR-TD, TDMA
Thales	PR4G V3	CNR-VOZ, CNR-TD, TDMA, IP/MUX, IP/SAP
Thales	PR4G V3 S	SMUX_TDMA, SMUX_IP
Thales	TRC 3600	BCL-VOZ, BCL-AC
Harris	RF 5800	HARRIS-VOZ, ALE3-G
Harris	RF 7800	HARRIS-VOZ, ALE3-G
ITT Exelis	SPEARTNET	SIP/ VoIP
(varios)	Ethernet	IP genérico

Como el ejercicio se ha desarrollado empleando los medios de transmisiones disponibles en la CIATRANS17 (RT-9210 PR4G V3) junto con la colaboración del RING7 (tabletas rugerizadas), el modo empleado ha sido el IP/MUX. Por ello el análisis se centrará en este modo y en sus modos más similares como el IP/SAP y SUPERMUX TDMA.



- IP/SAP. Gracias a este modo se permite un empleo eficaz para la transmisión de datos, pero sin opción al empleo de la voz. Las velocidades oscilan entre los 2400 bps y los 19200 bps, estos valores son altos si se comparan con el resto de modos, ya que en IP/SAP no hay transmisión de voz por lo que todo el ancho de banda se dedica a transmitir datos. Los valores de las velocidades pueden verse alterados por: la relación señal/ruido (SNR)³⁴ y la tasa de interferencia³⁵. La configuración de la malla de datos se caracteriza por ser capaz de poder auto configurarse y auto actualizarse mediante el modo relé. En el caso de que dos radios se encuentren una fuera del alcance de otra pueden comunicarse a través de una tercera radio a la que las dos primeras alejadas puedan tener enlace. La contrapartida principal es la imposibilidad del empleo simultáneo de voz y datos. Además, hay otra gran limitación, el número de nodos (número de equipos conectados) a través de la plataforma BMS-ET puede llegar a ser hasta un máximo de 32.

- IP/MUX. Gracias a este modo se puede realizar la transmisión de manera simultánea tanto de voz como de datos a través del mismo canal radio. Esto es de gran utilidad ya que se puede continuar con el envío de datos o actualizaciones automáticas de la posición de las unidades involucradas en la maniobra, mientras se realizan conversaciones mediante el empleo de la voz por la banda VHF. Este modo ofrece una velocidad de transmisión de datos que oscila entre 600 y 4800 bps. Permite 32 abonados para la transmisión de datos y entre 1 y 99 para la transmisión de voz. En este modo no se producen interferencias en la transmisión de voz y datos al mismo tiempo, a pesar de que el relé solo puede ejecutarse en la transmisión de la voz no para la transmisión de datos. La mayor ventaja que ofrece este modo también representa su mayor desventaja ya que el empleo simultáneo de voz y datos provoca que el rendimiento del empleo de los datos sea sensiblemente inferior. Esto ocasiona un gran problema hay más de 10.000 radios PR4G V3 pendientes de actualización, por lo que, hasta que no se hayan actualizado al modo SUPERMUX TDMA el sistema de C2 a través de BMS-ET estará muy limitado.

- SUPERMUX TDMA. Mediante el empleo este modo se genera una trama de 10 slots cada 900 ms, la configuración de los slots es la siguiente: 1 para señalización, 4 para datos y 5 para voz. Este reparto similar de los recursos permite transmitir voz y datos de manera simultánea. Mientras que la actividad de voz no se esté empleando, se aumenta la velocidad de transmisión de datos desde 4.8 kilobits por segundo (kbps) hasta 16.8 kbps. Este es el modo que aprovecha al máximo la capacidad del canal. El número máximo de nodos con capacidad de voz y datos utilizando el modo en cuestión es 32.

Tras las maniobras ejecutadas por la CIATRANS17 en el año 2018, el Sgto. Buera de la Sc. de Radio confirma que **las comunicaciones por voz pasan a escucharse de manera robótica y el envío de datos se ralentiza demasiado empleando más de 25 nodos al mismo tiempo.** Esto propicia que la transmisión de información sea deficiente, provocando que las comunicaciones por voz sean de difícil entendimiento y la transmisión de datos no sea lo suficientemente fluida como para que las unidades vayan actualizando su posición mediante GPS.

³⁴ Es la proporción que existe entre la potencia de salida con la que transmite el emisor y la potencia de ruido que corrompe a la primera.

³⁵ Es la cantidad de radiofrecuencias no deseadas en una comunicación del total emitidas en dicha comunicación.



5.3 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL TRÁFICO DE DATOS EN LA RED

En este apartado se van a analizar los resultados obtenidos tanto de las pruebas ejecutadas mediante la utilización del programa WireShark, de captura de tráfico de datos de BMS, como los resultados obtenidos en las encuestas realizadas al personal perteneciente de la CIATRANS17 del BCG de la COMGECEU.

El programa WireShark ha sido de gran ayuda para poder identificar aquellos paquetes con información relevante que han sido enviados entre los dos nodos, a través de BMS, dispuestos para el ejercicio.

Como se puede observar en la captura de pantalla ilustrada en el **Anexo C**, en la parte inferior derecha podemos identificar un texto resaltado en azul, este texto se ha resaltado a propósito con el fin de identificar con mayor facilidad los datos a los que se hacen referencia. Una vez situados identificamos en el texto resaltado en azul el siguiente conjunto de caracteres es: *“23 SEP21.1336 PREBA CON SGTO RUIZ .. PRUEBA NO”*.

Este es el contenido del primer mensaje que se envió por el sistema de correo de BMS entre los dos nodos configurados para el ejercicio en cuestión. A pesar de que, si un equipo radio cayera en manos equivocadas, sin necesidad de conocer las claves de encriptación, las comunicaciones a través del servicio de mensajería de BMS serían parcialmente descubiertas.

Esto plantea una vulnerabilidad ya que el sistema BMS se está erigiendo como el motor principal del C2. Las actividades que se realizan en la ejecución del mando y control son muy numerosas y en la mayoría de ellas la comunicación se ejecuta a través de mensajería. Esta mensajería es fundamental para transmitir ordenes de manera oficial y más rigurosa que mediante el empleo de la voz, por lo que el contenido de los mensajes enviados queda a la vista para cualquiera con acceso a una radio conectada a la red de comunicaciones mediante la utilización del programa gratuito WireShark de captura de tráfico de la red.

De manera continua a la primera prueba se ejecutó una segunda en la que se anexó un documento comprimido en formato .zip. En este caso podemos identificar, igual que en la primera prueba, en la parte inferior derecha hay un texto resaltado en azul. Este texto ha sido resaltado con el fin de identificar los caracteres claves para esta segunda prueba: *“AQ UI ESTA EL ZIP .. ENVIO ZIP 2062 41002M .. GFM_Guia_PELE_XP_W7.zip”*. **Anexo D**.

Exactamente igual que en la prueba anterior podemos observar que el texto escrito en el servicio de mensajería de BMS está totalmente a la vista del programa WireShark y por tanto del usuario que lo esté empleando con el fin de capturar el tráfico de información que circula por la red a la que esté conectado. Sin embargo, a diferencia que la prueba primera, en este caso se ha adjuntado un archivo comprimido (en formato .zip).

De esta prueba podemos identificar varios puntos clave:

1. **Datos en claro.** Ante los envíos de información analizados se ha tenido acceso de manera totalmente libre una serie de datos: el nombre del archivo/prueba y el texto enviado a través del sistema de mensajería de la plataforma BMS-ET

2. **Acceso a la información interna de un documento.**

- a. A pesar de no haber sido posible la extracción de la información contenida en un documento comprimido (en formato .zip), no implica que no se pueda acceder a la información interna de otros documentos. El propio proceso de comprimir un documento es en sí mismo un pequeño cifrado que puede tener clave. El problema presentado erradica en que en el hipotético



caso narrado anteriormente sería posible detectar a la estación emisora que envía el mensaje con un documento adjuntado y el nombre del mismo.

b. No se han llevado a cabo las pruebas correspondientes al envío de documentos (no fotográficos y sin comprimir) que contengan texto. Este tipo de documentos son los conocidos como **PDF** o **Word** o un documento tipo **Bloc de Notas** típico en todos los ordenadores. Esto ha sido debido a la falta de disponibilidad de material para realizar los montajes y pruebas de campo correspondientes. Sin embargo, analizando las características del programa en cuestión relatadas en *Preguntas frecuentes ¿Qué dispositivos pueden usar WireShark para capturar paquetes?* Publicado en 2021 por la empresa WireShark en su página web: https://www.wireshark.org/faq.html#_can_wireshark_read_capture_files_from_your_favorite_network_analyzer podemos saber que dicho programa puede analizar paquetes que contengan texto saliente siempre que reúnan alguna de estas condiciones:

- Salida de texto de las utilidades TCPIPtrace³⁶.
- Salida de texto de utilidades DBS Etherwatch VMS³⁷.
- Salida de texto generada por Gammu ³⁸desde teléfonos Nokia DCT3 en modo Nedmonitor³⁹.
- Capturas de formato de archivo de texto Tektronix K12⁴⁰.

La seguridad de este tipo de información cuando se transmite vía radio recaerá exclusivamente en la encriptación realizada por la radio PR4G. A pesar de no incluir ilustraciones sobre otras pruebas que se han realizado, se puede afirmar que no se puede acceder a la documentación adjuntada en todos los formatos que sean los siguientes:

- JPG: almacenamiento y publicación de fotos
- PNG: almacenamiento y publicación de imágenes (iconos, gráficos)
- GIF: creación de animaciones
- TIFF: imágenes de alta resolución (información geográfica)
- PSD: almacenamiento temporal y reedición gráfica
- BMP: almacenamiento de fotos (online)
- SVG: lenguaje XML (gráficos técnicos)

Es necesario conocer qué tipo de formatos son capaces de guardar correctamente la información transmitida ya que, si WireShark es un programa tan empleado para el análisis de tráfico en una red, es plausible pensar que será usado por muchas personas u organizaciones aliadas o no. Por

36 Se utiliza para analizar archivos conducidos por el protocolo TCPIP

37 No se han encontrado referencias a dicha utilidad.

38 Nombre del proyecto dedicado a la recuperación de información telefónica de una red, desarrollada libremente.

39 Es un modo oculto para monitorizar el estado de la red.

40 Es un protocolo que se utiliza para almacenar los datos utilizados por un software, desarrollado por la empresa Tektonix.



lo tanto, resulta clave conocer estos datos para poder aplicarlos coherentemente en la explotación del sistema BMS puesto que es la herramienta empleada para el C2 de las PU.

5.4 ENCUESTA SOBRE LA RADIO PR4G V3

En este apartado se van a analizar las respuestas obtenidas en la encuesta realizada al personal de la Sección Radio de la CIATRANS17 del BCG de la COMGECEU. El propósito de la encuesta ha sido conocer las opiniones sobre algunos aspectos relevantes de la radio PR4G V3.

Los resultados de la encuesta se reflejan en el **Anexo B**, en este se encuentran las puntuaciones individuales y medias de cada pregunta, obtenidas mediante la contestación de esta encuesta. Siguiendo el orden establecido en el cuestionario se va a realizar un análisis de los resultados obtenidos. El enunciado de cada pregunta se encuentra en el **Anexo A**.

En la ficha técnica se encuentran recopilados todos los datos estadísticos que componen las respuestas asociadas a cada pregunta realizada en el cuestionario. Aunque la encuesta contiene doce preguntas se añadió un decimotercer apartado para expresar la opinión. En la Sección Radio de la CIATRANS17 del BCG de la COMGECEU se ha llevado a cabo una encuesta cuya ficha técnica es la siguiente:

Tabla 5: Ficha técnica de la encuesta. Elaboración propia.

Técnica de investigación (*1)	Encuesta on-line a través de la plataforma "Formularios de Google"
Ámbito geográfico	Comunidad Autónoma de Ceuta
Universo	Mandos y personal de tropa componentes de la Sc. de Radio de la CIATRANS17 del BCG de la COMGECEU. Además del Jefe de la Cía. de Transmisiones
Muestra	Total de 20 encuestados
Error de la muestra (*2)	Encuesta por conglomerados
Trabajo de campo	La realización de la encuesta se ha llevado a cabo entre los días 4 y 8 de octubre de 2021
<p>(*1) Enlace de la encuesta: https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdswM_XK6w81PYjdnFKpYasqQQXg1cl9MoWH_Dw4P074-6cwcA/viewform?vc=0&c=0&w=1&flr=0</p> <p>(*2) Bajo el supuesto de muestra aleatoria</p>	



Con el fin de interpretar las respuestas de los encuestados es necesario aclarar que la calificación de 1 y de 5 se ha otorgado a baja y alta satisfacción respectivamente (escala Likert de 5 niveles)

Las calificaciones medias de las preguntas primera (¿Considera usted conveniente un mayor adiestramiento con la radio PR4G V3?) y segunda (¿Considera usted que el funcionamiento de la PR4G V3 es demasiado complejo?), no solo destacan por ser altas y bajas respectivamente (P1: 3,04 y P2: 1,69), sino por la gran variabilidad de las respuestas. El valor tan alto de la primera y el valor tan bajo de la segunda denotan que, a pesar de que la radio PR4G V3 no es considerada en la CIATRANS17 como un medio complejo, sí es necesario un mayor adiestramiento en el empleo de la misma. Esto es relevante ya que se trata del personal perteneciente a la Sección de Radio, personal versado en este medio de transmisión.

Del mismo modo por la calificación media obtenida en la tercera pregunta (¿Considera usted que el mantenimiento de la PR4G V3 conlleva demasiado tiempo?) se deduce que no demanda gran cantidad de tiempo en cuanto a mantenimiento se refiere (P3: 1,47). Es un aspecto positivo a resaltar dado que el mantenimiento de los materiales en las unidades del E.T. es una actividad fundamental para conseguir que los medios estén siempre en un alto grado de operatividad.

La cuarta de las cuestiones planteadas (¿Considera usted adecuado el número de radios PR4G V3 disponibles en la CIATRANS17?) obtiene la menor calificación media de todo el cuestionario (P4: 1,27). Esta cuestión plantea la urgente necesidad de destinar mayores recursos económicos a la CIATRANS17 del BCG de la COMGECEU, ya que el propio personal interno demanda un mayor número de dispositivos radiotelefónicos PR4G V3, como espina dorsal de la transmisión de información en la banda de frecuencias VHF.

Respecto a la quinta pregunta (¿Considera usted adecuada la seguridad que proporciona la PR4G V3 en la transmisión de información?) obtenemos una calificación por debajo de la media (P5: 2,03). Esto denota que el personal de la Sc. de Radio de la CIATRANS17 no está confiado respecto a la seguridad que proporciona la radio PR4G V3 en la transmisión de información.

El problema derivado de esto es realmente importante ya que la seguridad en todos los aspectos del E.T. es fundamental, más aún lo debe de ser en el tratamiento y transmisión de la información. La seguridad en la transmisión de información mediante el empleo de la radio PR4G V3 está comprometido, a ojos del personal que trabaja con ellas y como se ha visto con las capturas de tráfico de datos mediante el programa WireShark, lo cual pudo influir en las respuestas de los encuestados.

Desde la sexta hasta la novena pregunta se hacen referencia a aspectos más técnicos. El descontento en estas cuestiones es generalizado y destaca más en algunas preguntas que en otras, así se puede observar en las puntuaciones individuales y medias obtenidas en la tabla de este epígrafe (P6: 2,2514, P7: 1,9268, P8: 1,8073, P9: 1,8541).

En la calificación media de la décima cuestión (¿Considera usted que la PR4G V3 es un medio de transmisión obsoleto?, P9: 2,6136) un resultado que roza el aprobado. Con esta puntuación el personal de la CIATRANS17 se encuentra dividido ante la casuística de decidir si la PR4GV V3 es un medio de transmisión obsoleto o no. Esto podría ser debido a que este dispositivo es actualmente fundamental en la transmisión por la banda de frecuencias de VHF y quizás el personal considere que no se ha conseguido obtener aún el máximo potencial de esta radio, o que sus prestaciones no cubren las necesidades actuales y venideras.



Como hemos visto en la ilustración anterior, nos tenemos que remontar casi al final del cuestionario para encontrar la pregunta con la mayor de las calificaciones (P11: 3,4093). La pregunta undécima (¿Considera usted que sería conveniente destinar mayores recursos económicos para modernizar los equipos de transmisión en la banda de frecuencias VHF?) pone de manifiesto el interés de una mayor inversión relativa a la modernización de los medios de transmisión en la banda de frecuencias VHF disponibles en la CIATRANS17.

La última de las preguntas (Respecto a las preguntas anteriores indique su grado de satisfacción global con la PR4G V3), ha obtenido una calificación que muestra una indiferencia respecto al agrado o desagrado con la radio PR4G V3 (P12: 2,55). Esta calificación tan mediocre podría ser debido a las medias calificaciones del resto de preguntas realizadas en el cuestionario o debido a la visión general del personal de la Sección Radio de la CIATRANS17 del desempeño de la radio PR4G V3.



6. CONCLUSIONES

En este apartado que pone colofón al TFG se van a presentar las conclusiones extraídas tras haber realizado dicho trabajo. Algunas serán tan sólo teóricas ya que estarán basadas en documentos que se refieren al desarrollo o adquisiciones futuras y otras serán conclusiones prácticas fundamentadas, tanto en los ejercicios prácticos llevados a cabo durante las PEXT en la CIATRANS17 del BCG de la COMGECEU, como en las tareas derivadas de la elaboración del trabajo.

En primer lugar, para lograr el análisis de la transmisión de información a través de la banda de frecuencias VHF, ha sido fundamental conocer los medios que operan en el ET en dicha frecuencia. Por ello se ha desarrollado un apartado íntegro (véase 4.3) para definir la familia de radios PR4G, que representa la espina dorsal de las comunicaciones digitales en el ET. Las distintas versiones (V1, V2, V3 y V4 o Supermux) representan años de transformación en la telecomunicación militar, debido a la necesidad de adaptarse a los nuevos conflictos y a sus exigencias. Por ello cabe destacar la última versión disponible en las unidades del ET respecto a la PR4G que es el modo Supermux o V4.

Tal y como se describe en el punto 3 del subapartado 4.3.4.2 y en el subapartado 5.2.2.1, referidos a Supermux, podemos afirmar que actualmente es la mejor opción de las que se disponen (IP/SAP e IP/MUX) para la transmisión de información a través de la banda de frecuencias de VHF. Este modo o versión que actualiza el RT-9210 PR4G para las nuevas demandas de envío y recepción de la información no tendría sentido sin el empleo de la plataforma BMS-ET. Gracias a la integración del programa anteriormente citado y la radio PR4G actualizada se disponen de grandes ventajas como lo son: **relé de datos, envío simultáneo de voz y datos** (sin interferencia entre ellos) y **posicionamiento GPS actualizado constantemente, mayor velocidad de transmisión de datos** (se destinan más recursos de la radio para el envío prioritario de información por medio de los datos).

En segundo lugar, no solo ha sido necesario conocer los medios que operan en la banda de frecuencias VHF, sino que para tener una mayor perspectiva del trabajo se ha observado el EM, obteniendo de él las posibles alternativas encontradas ambos lados de la banda VHF. Las bandas vecinas de esta son la banda HF y UHF. Cada una de ellas aporta sus ventajas y desventajas en términos de alcance, velocidad de transmisión, calidad de la señal, ancho de banda, operatividad fuera de TN y en cada una de ellas hay equipos militares que **complementan** a las comunicaciones en la banda VHF. Por ello cabe resaltar que la mejora de los equipos Harris que operan tanto en HF como en UHF y así mismo de la radio Spearnet es fundamental para ayudar en las labores de C2 mediante la transmisión de información en TN y en ZO.

Esto es de suma importancia ya que al igual que se duplican y triplican las medidas de seguridad o las medidas de coordinación a la hora de realizar un despliegue en una maniobra se hace necesario establecer otros medios alternativos capaces de soportar los cometidos de telecomunicación necesarios en caso de fallo de los medios que operan en VHF. Por este motivo resulta de gran acierto para las unidades del ET disponer de más medios de respaldo, aunque al mismo tiempo disponer de distintos medios para la misma función plantea algunos contratiempos.

La interoperabilidad entre los distintos medios, la instrucción necesaria para alcanzar los conocimientos requeridos para aprovechar las capacidades de cada medio y la necesidad de invertir mucho más dinero con fabricantes no habituales son algunos de los problemas **necesarios** a los que hacer frente si se pretende tener suficientes medios de transmisiones.



En tercer lugar, una vez establecidas las bases respecto a los medios de transmisión en las y respecto a las bandas en las que estos operan, es momento de analizar el estado de la banda VHF. La **Tabla 1** de elaboración propia y siguiendo la información relativa a la *Orden ETD/1449/2021, de 16 de diciembre. BOE-A-2021-21436 por la que se aprueba el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias* en Madrid, publicado por el Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital, resalta de manera evidente que entre las frecuencias de dicha banda empleadas para la transmisión de información militar hay una gran congestión.

El embotellamiento de la información se debe a un fraccionamiento excesivo de dicha banda, la asignación masiva de frecuencias según las licencias aprobadas por el organismo competente, provoca conflictos por el empleo de dichas frecuencias para la transmisión de información. Es por ello que a pesar de la regulación recogida en RR de la UIT se hace necesario cada vez de manera más evidente una mejor gestión del EM.

Por ello se plantean soluciones obtenidas del punto anterior, la adquisición de medios que ofrezcan resultados igualmente significativos en otras bandas permitirá un mejor flujo de la información. Del mismo modo, otras soluciones a más largo plazo están despuntando como es el caso de la radio definida por software y la radio cognitiva.

En cuarto lugar, para continuar con el hilo de las soluciones futuras, tal y como ha quedado reflejado en los anexos correspondientes, se viene estudiando en el ET la necesidad de la mejora y actualización no solo de los equipos de transmisiones, sino de todo el material empleado en las unidades de cualquier índole del ET. Es por ello que se establecen planes (ver **Anexo F**) en los que se abordan las posibles opciones y oportunidades de mejorar e innovar respecto a los equipos y el material.

Esto es una tarea que se lleva a cabo a grandes escalas y a un nivel que el combatiente de a pie no llega a pensar ni preocuparse, pero que le afecta directamente, a él y a todos los miembros del ET, porque como se ha mencionado anteriormente la adquisición de nuevos equipos conllevará instrucción sobre los mismos lo cual supone una inversión en términos temporales muy importante.

Es precisa la modernización y acoger de buen grado todas sus consecuencias teniendo siempre en mente el objetivo mayor de cumplir la misión, por ello cualquier sacrificio es poco para alcanzar dicho objetivo. A un modo más personal llevando a cabo las investigaciones oportunas se han obtenido tres posibles soluciones a largo plazo como consecuencia directa del desarrollo del trabajo en cuestión. En los **Anexos G, H, e I** se refiere mucha información acerca de las alternativas y propuestas de mejora para reemplazar a los actuales medios de transmisión en la banda VHF.

La radio definida por software y la radio cognitiva representan el futuro inmediato de las comunicaciones, tema actualmente abordado por nuestros vecinos de la UE y de la OTAN mediante el desarrollo de la radio SYNAPS. Del mismo modo la mejora del BMS-ET o su alternativa viene de la mano del sistema BFT que ofrece grandes mejoras en cuanto a operatividad y una mejor ejecución del C2 de las unidades.

Por último y a título personal me gustaría subrayar algo que ya se ha hecho referencia. Los medios de los que un ejército u otro dispongan dependen de los tres factores mencionados al inicio de estas conclusiones. No debemos de compararnos continuamente con nuestros aliados de la OTAN en cuanto a *¿Qué ejército tiene más...?* o *¿Qué ejército tiene menos...?* Es por ello que debemos centrarnos en emplear nuestros medios al máximo y ponerlos al servicio de nuestros vecinos, este hecho otorga cada vez más y más prestigio en los conflictos internacionales al ejército español.



BIBLIOGRAFÍA

Alcaide, A.M. (2016) *Breve historia de las transmisiones de datos a través de VHF*. España: Córdoba.

Archivo histórico del EA. (2018) *SYNAPS, ciencia y tecnología. Revista Aeronáutica y Astronáutica*. Vol. XXVII (871), pp. 137-138.

Armada Española. (2016) *Adquisición y Empleo del RTFL en la Armada* (corrección de reglamentos). Ed. Sistemas de información y Telecomunicación. España: Madrid.

Bordón López, Raikel. (2015) *La Radio Cognitiva y su Impacto en el Uso Eficiente del Espectro de Radio*. Ed. Universidad Central de las Villas. Cuba: La Habana.

Comisión Nacional de los Mercados y Competencia. (2021) *Solicitud de informe de la SETID sobre el Proyecto de Orden por la que se aprueba el CNAF*. España: Madrid.

Estado Mayor del Ejército. (2002) *Reglamento de empleo de la PR4G. RE6-507*. Ed. MINISDEF. España: Madrid.

Fernández Martín, Javier (Sargento 1º). (2019-2020) *Red Radio de Combate Spearnet*. Curso 2019-2020. Ed. Academia de Ingenieros del Ejército de Tierra. España: Madrid, Hoyo de Manzanares.

Gabinete del Jefe del Estado Mayor del Ejército. (2018) *Resumen de prensa*. Ed. INFODEFENSA, Departamento de Comunicación. España: Madrid.

Greendwald, Bryon. (2007) *Join Capability Development. Special Feature*. Vol. L (44), pp. 1-5.

Indra. Thales. (2019) *MT-021 – Manual de Usuario BMS-ET*. Ed. MINISDEF. España: Madrid, Torrejón de Ardoz.

Indra. Thales. (2019) *MT-022 – Manual de Administrador BMS-ET*. Ed. MINISDEF. España: Madrid, Torrejón de Ardoz.

Instituto Nacional de Tecnologías de la Comunicación. (2011) *Análisis de tráfico con WireShark*. Ed. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. España, Valencia.

Laguna Argüello, Jesús (Teniente). (2006). Trabajo Fin de Grado de Ingeniería de Organización Industrial. Centro Universitario de la Defensa, Zaragoza. *Análisis de la Transmisión de datos en VHF: limitaciones, cambio evolutivo e innovación*. España: Córdoba.

Lawarren V. Patterson. (2014) *Handing Instructions for CALL*. Ed. Electronic Media and Paper Products. EEUU: Fort Leavenworth, Kansas City: Center for Army Lessons Learned: Major General, USA, Commanding.

MADOC, ET (2006-2007) *Libro de Transmisiones del curso: 2006-2007*. Ed. Dirección de Investigación, Doctrina, Orgánica y Materiales. España: Madrid.

MADOC, ET. (2003) *Módulo de Especialidad de Transmisiones. Alumno*. Ed. Dirección de Enseñanza, Instrucción y Adiestramiento y Evaluación España: Madrid.

MADOC, ET. (2013) *Procedimientos Operativos CIS*. Ed. Dirección de Investigación, Doctrina, Orgánica y Materiales. España: Madrid.

MADOC, ET. (2016) *Radioteléfono PR4G V3 (MI). MI-500*. Ed. Dirección de Enseñanza, Instrucción y Adiestramiento y Evaluación. España: Madrid.



MADOC, ET. (2016) *Radioteléfono PR4G V3*. Ed. Dirección de Enseñanza, Instrucción y Adiestramiento y Evaluación. España: Madrid.

MADOC, ET. (2017) *Sistema de Telecomunicaciones e Información. OR3-50 (orientaciones)*. Ed. Dirección de Enseñanza, Instrucción y Adiestramiento y Evaluación. España: Madrid.

MADOC, ET. (2018) *CIS Desplegables*. Ed. Dirección de Investigación, Doctrina, Orgánica y Materiales. España: Madrid.

MADOC, ET. (2018) *Radio RF-5800 Harris (MI)* Ed. Dirección de Investigación, Doctrina, Orgánica y Materiales. España: Madrid

MADOC, ET. (2018-2019) *Tendencias de las Transmisiones*. Ed. Dirección de Investigación, Doctrina, Orgánica y Materiales. España: Granada.

MADOC, ET. (2019) *Empleo de la Compañía de Transmisiones de Brigada*. Ed. Dirección de Investigación, Doctrina, Orgánica y Materiales. España: Madrid

MINISDEF. (2006) *Equipamiento para comunicaciones Tierra-Mar*. Ed. Secretaría de Estado. Dirección General de Asuntos Económicos. España: Madrid.

MINISDEF. (2012) *Plan de Digitalización del Ejército del Tierra del Siglo XXI*. Ed. Dirección de Investigación, Doctrina, Orgánica y Materiales. España: Madrid.

MINISDEF. (2015) *Plan de Modernización de los sistemas de Mando y Control y Comunicaciones del ET*. Ed. Estado Mayor del Ejército. España: Madrid.

Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital. (2021) *Orden ETD/1449/2021, de 16 de diciembre por la que se aprueba el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias*. España: Madrid.

Mitola, J. (199) *Cognitive Radio: Making Software Radios More Personal*. IEEE Personal Comm. Vol XI (4), pp. 13-18.

Navarro García, José M^a. (2017) *SYNAPS, la nueva generación de radio definida por software de Thales*. Ed. Grupo EDEFA, S.A. Francia: Chantilly.

Pini, Arthur. (2020) *Aprenda los fundamentos de la radio definida por software*. Ed. Digi-Key. EEUU: Thief River Falls, Minnesota.

Ramos, C.L. (1981) *Historia Militar de las Transmisiones. El regimiento de el Pardo*. Ed. NOVOGRAPH. España: Logroño.

Serrano Trujillo, Raúl. (2018) *BMS-LINCE la nueva piel del mando y control en el Leopardo 2-E. revista del Ejército de Tierra Español*. Vol. LXXIX (928), pp. 50-56.

SOARES, Jaqueline Kennedy A. (2016) *Radio definida por software: Investigación y verificación de pruebas en una plataforma libre. Revista científica multidisciplinaria base de conocimiento*. Vol. I (1), pp. 228-244.

Vázquez, J.M. (2010) *Gestión del Espectro Electromagnético* Ed. Colegio oficial de ingenieros de telecomunicaciones. España: Málaga.

WIRESHARK. (2021) *Preguntas frecuentes. ¿Qué dispositivos pueden usar WireShark para capturar paquetes?*. Disponible en: https://www.wireshark.org/faq.html#_can_wireshark_read_capture_files_from_your_favorite_network_analyzer



ANEXOS



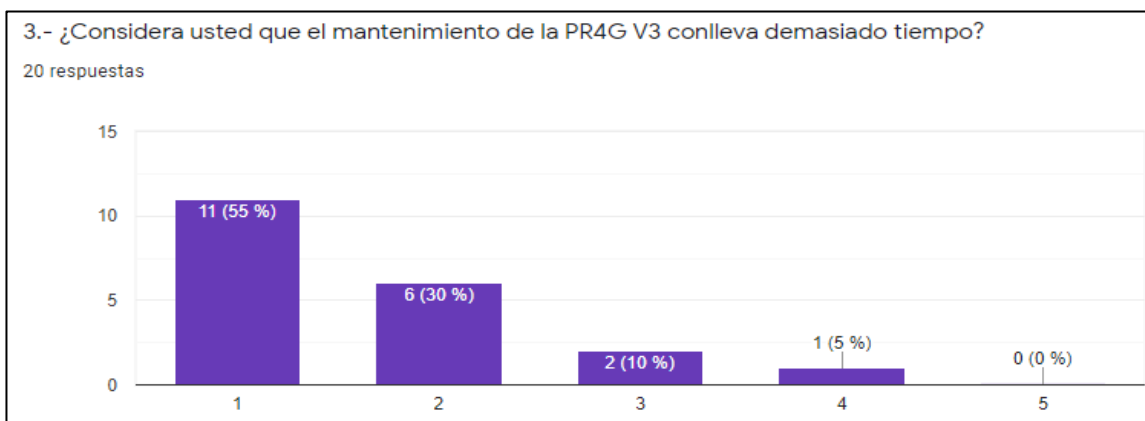
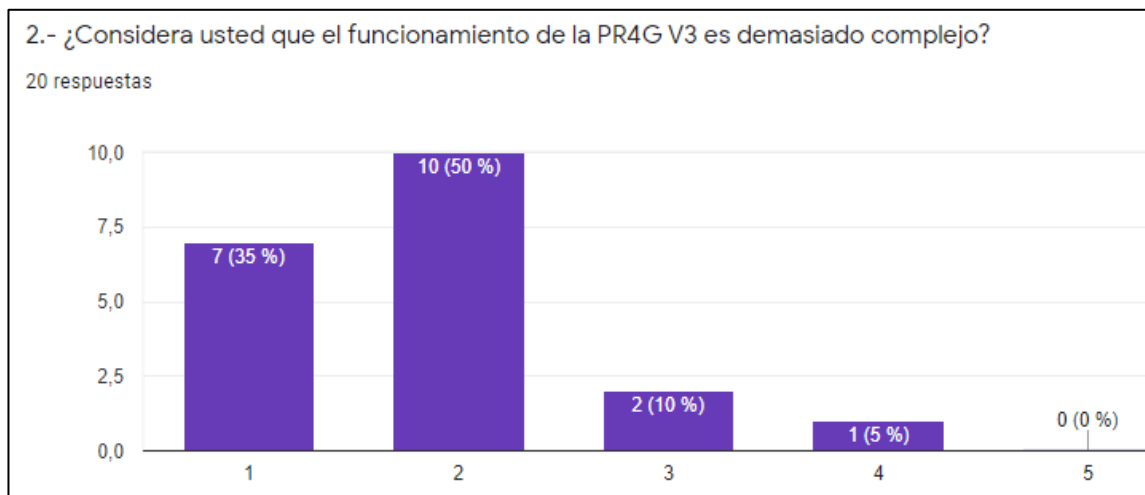
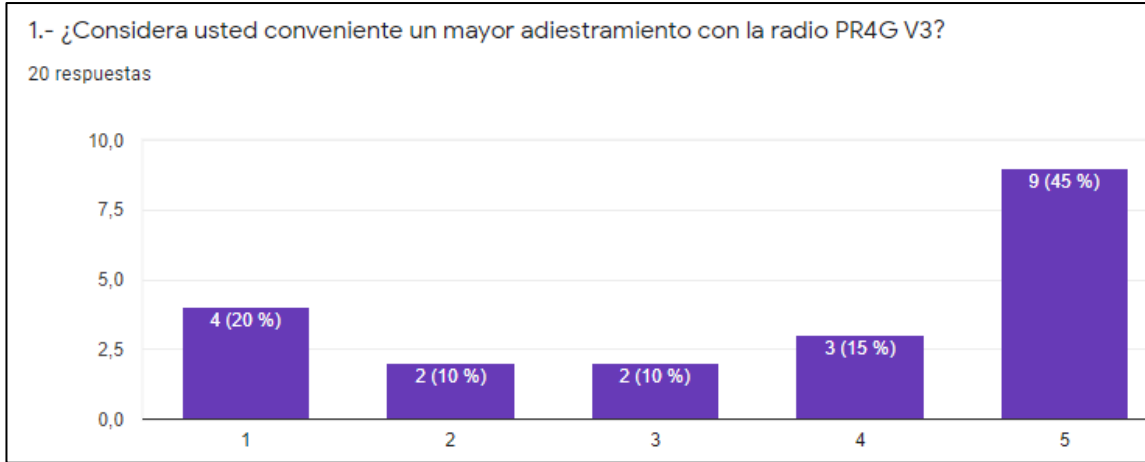
Anexo A. Cuestionario al personal de la Sc. de Radio de la CIATRANS17 del BCG de la COMGECEU

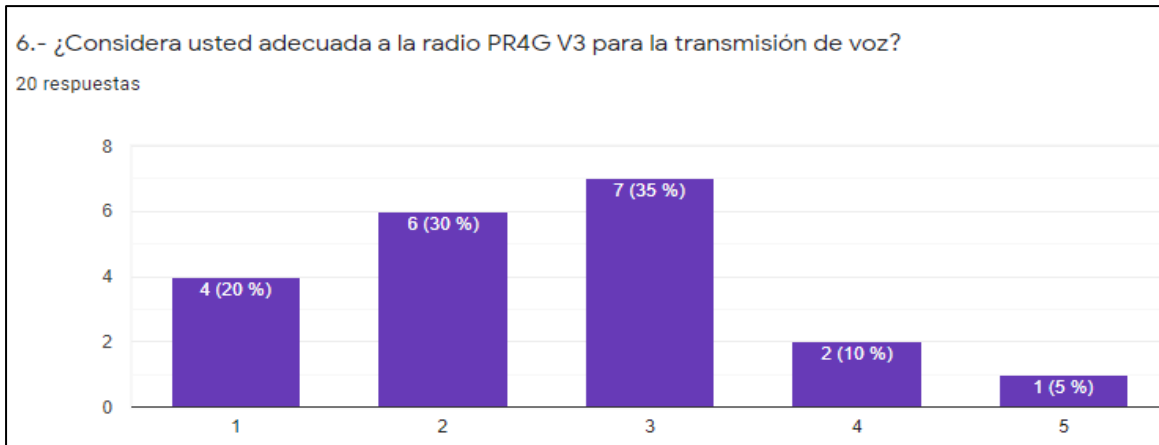
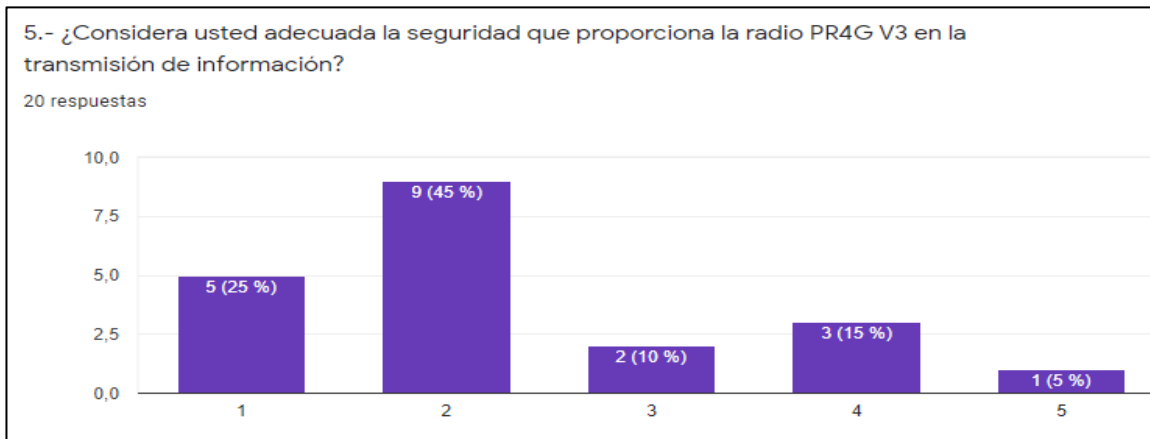
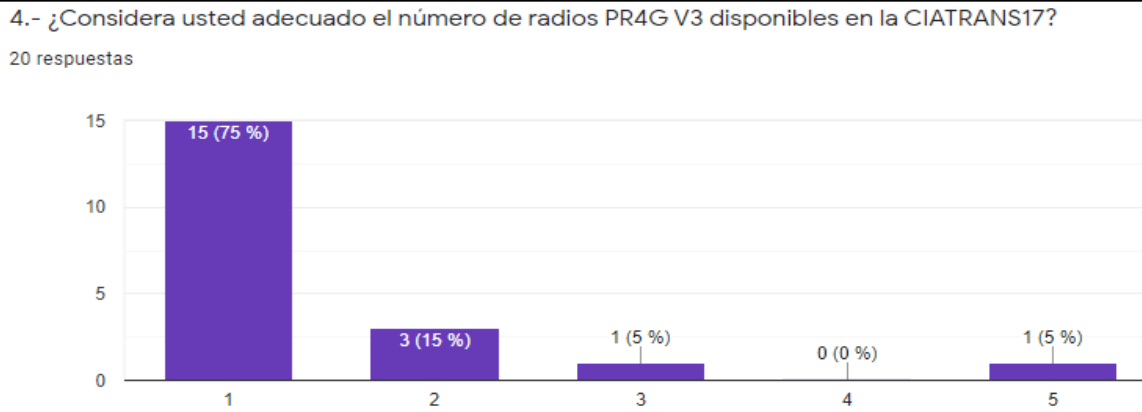
Tabla 6: Cuestionario. Elaboración propia.

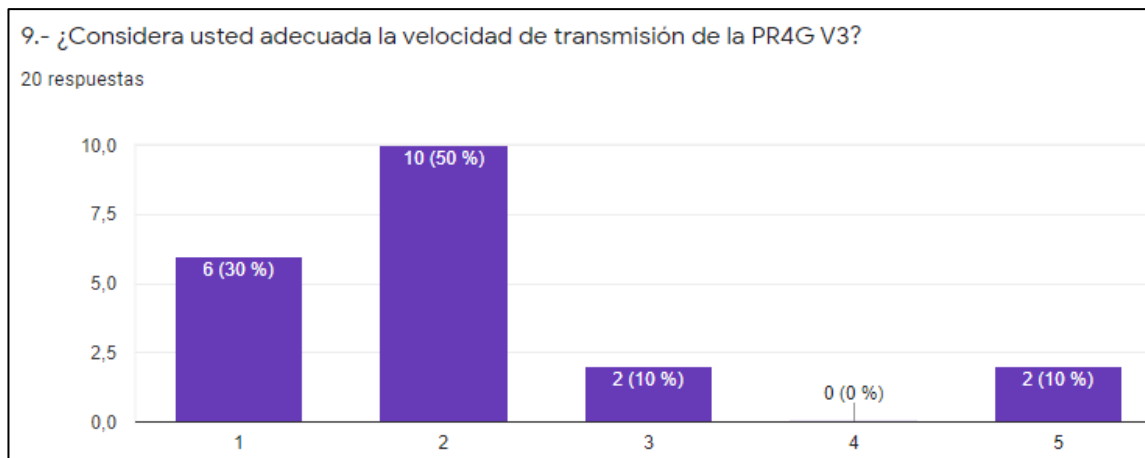
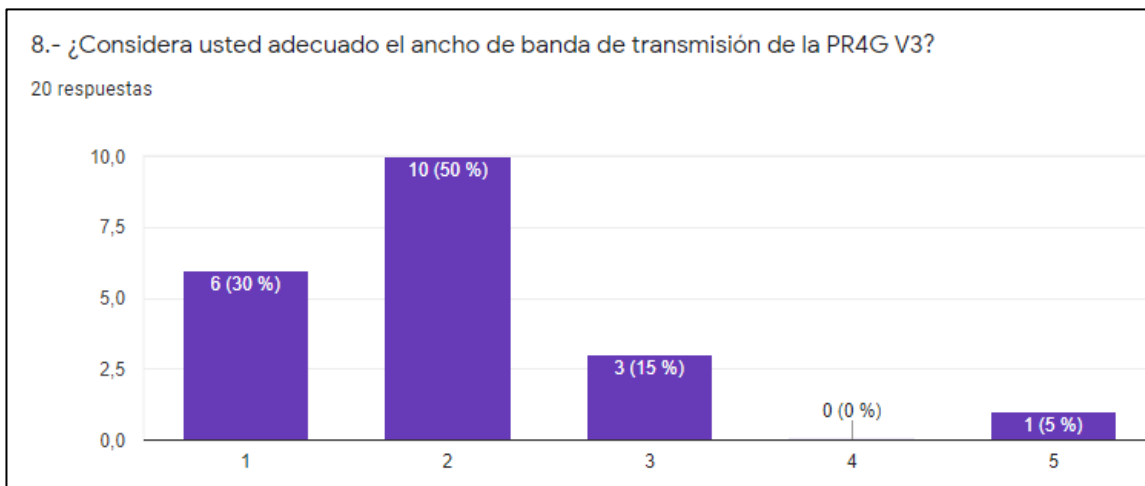
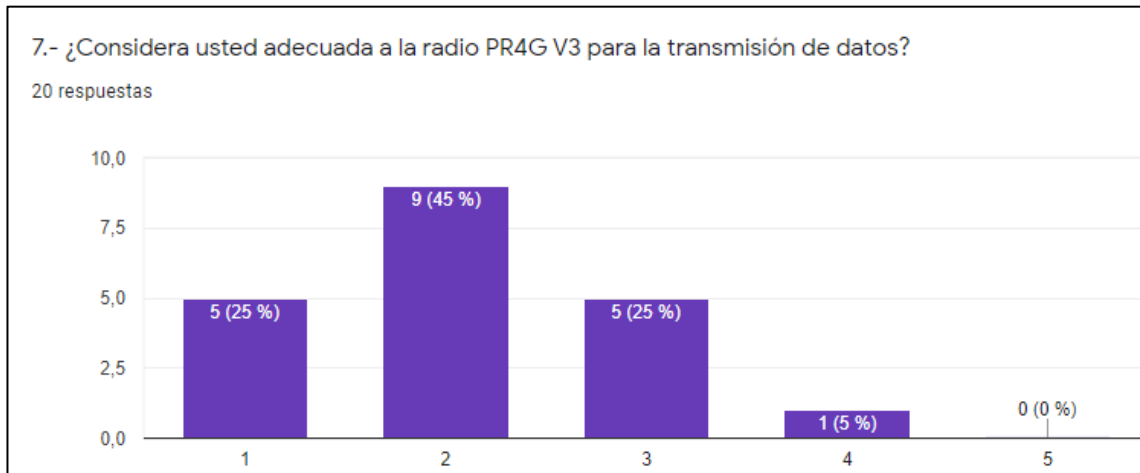
Preguntas	1	2	3	4	5
1.- ¿Considera usted conveniente un mayor adiestramiento con la radio PR4G V3?					
2.- ¿Considera usted que el funcionamiento de la PR4G V3 es demasiado complejo?					
3.- ¿Considera usted que el mantenimiento de la PR4G V3 conlleva demasiado tiempo?					
4.- ¿Considera usted adecuado el número de radios PR4G V3 disponibles en la CIATRANS17?					
5.- ¿Considera usted adecuada la seguridad que proporciona la radio PR4G V3 en la transmisión de información?					
6.- ¿Considera usted adecuada a la radio PR4G V3 para la transmisión por voz?					
7.- ¿Considera usted adecuada a la radio PR4G V3 para la transmisión de datos?					
8.- ¿Considera usted adecuado el ancho de banda de transmisión de la PR4G V3?					
9.- ¿Considera usted adecuada la velocidad de transmisión de la PR4G V3?					
10.- ¿Considera usted que la PR4G V3 es un medio de transmisión obsoleto?					
11.- ¿Considera usted que sería conveniente destinar mayores recursos económico para modernizar los equipos de transmisión en la banda de frecuencias VHF?					
12.- Indique su grado de satisfacción global con la PR4G V3					
13.- Escriba en este espacio las observaciones al respecto					

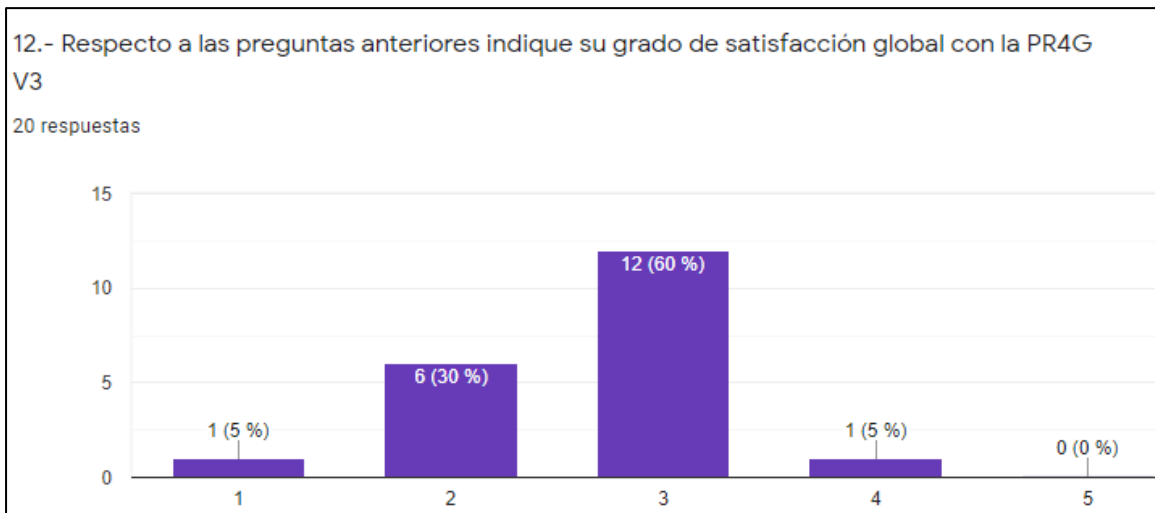
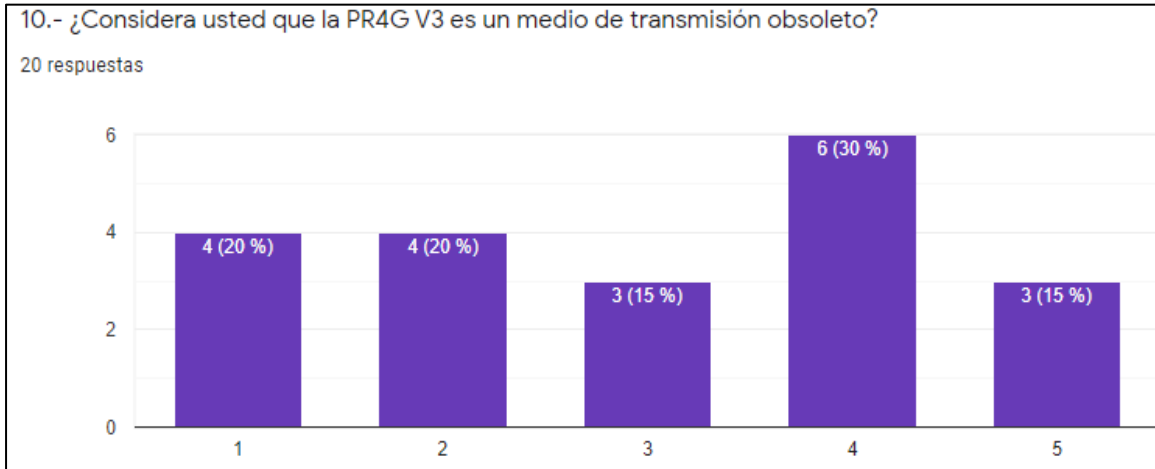


Anexo B. Estadísticas de las respuestas del cuestionario











Anexo C. Primera captura de tráfico de datos a través de WireShark

```

> Ethernet II, Src: ThomsonC_24:fe:99 (00:80:ee:24:fe:99), Dst: IPv4mcast_01 (01:00:5e:00:00:01)
> Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.55.5, Dst: 239.0.0.1
> User Datagram Protocol, Src Port: 3315, Dst Port: 1024
▼ Data (124 bytes)
  Data: 000000130000006c000003f60000005001432303632343130313430330303030303030...
  [Length: 124]
0000  01 00 5e 00 01 00 80 ee 24 fe 99 08 00 45 20  ..^.....$.....E
0010  00 98 86 6d 00 02 11 4b 19 c0 a8 37 05 ef 00  ...m.....K...7...
0020  00 01 0c f3 04 00 00 84 00 00 00 00 13 00 00  .....
0030  00 6c 00 03 f6 00 00 00 05 00 14 32 30 36 32  .l.....2062
0040  34 31 30 31 34 30 30 30 30 30 30 30 30 32 31  41014000 00000021
0050  00 00 ff ff 00 20 32 33 53 45 50 32 31 0a 31 33  .... 23 SEP21.13
0060  33 36 0a 50 52 45 42 41 20 43 4f 4e 20 53 47 54  36·PREBA  CON SGT
0070  4f 20 52 55 49 5a 00 0a 50 52 55 45 42 41 20 55  O RUIZ· PRUEBA U
0080  4e 4f 00 00 00 02 00 00 00 01 00 09 32 30 36  NO.....206
0090  32 34 31 30 30 32 ff 61 23 a1 61 00 09 32 30 36  241002·a #·a·206
00a0  32 34 31 30 31 34
  
```



Anexo D. Segunda captura de tráfico de datos a través de WireShark

```

> Ethernet II, Src: ThomsonC_24:fe:99 (00:80:ee:24:fe:99), Dst: IPv4mcast_01 (01:00:5e:00:00:01)
> Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.55.5, Dst: 239.0.0.1
> User Datagram Protocol, Src Port: 3315, Dst Port: 1024
v Data (136 bytes)
  Data: 00000013000000780000003f60000000800143230363234313031343030303030303030...
  [Length: 136]
0000  01 00 5e 00 01 00 80 ee 24 fe 99 08 00 45 20  ..^.....$.....E
0010  00 a4 cd 34 00 00 02 11 04 46 c0 a8 37 05 ef 00  ...4.....F..7...
0020  00 01 0c f3 04 00 00 90 00 00 00 00 13 00 00  .....
0030  00 78 00 00 03 f6 00 00 00 08 00 14 32 30 36 32  .x.....2062
0040  34 31 30 31 34 30 30 30 30 30 30 30 30 32 32  41014000 00000022
0050  00 00 ff ff 00 10 41 51 55 49 20 45 53 54 41 20  .....AQ UI ESTA
0060  45 4c 20 5a 49 50 00 09 45 4e 56 49 4f 20 5a 49  EL ZIP.. EMIUO ZI
0070  50 00 00 00 02 00 00 00 00 01 00 09 32 30 36 32  P.....2062
0080  34 31 30 30 32 4d 00 17 47 46 4d 5f 47 75 69 61  41002M.. GFM_Guia
0090  5f 50 45 4c 45 5f 58 50 5f 57 37 2e 7a 69 70 00  _PELE_XP_W7.zip.
00a0  00 00 00 61 23 a2 b9 00 09 32 30 36 32 34 31 30  ...a#...2062410
00b0  31 34
  
```



Anexo E. Resultados de la encuesta realizada al personal de la Sc. de Radio de la CIATRANS17 del BCG de la COMGECEU

Tabla 7: Resultados de la encuesta. Elaboración propia.

Preguntas	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
	4	3	1	1	2	2	2	2	2	4	5	3
	1	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	1
	2	2	3	3	4	4	2	1	2	5	3	2
	3	2	4	5	2	3	2	5	5	2	2	3
	5	2	3	1	5	3	3	2	5	3	2	2
	5	1	1	1	2	4	2	2	2	4	4	3
	5	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
	5	1	1	1	2	3	2	1	2	5	5	3
	5	1	1	1	1	1	1	1	1	4	5	3
	5	1	1	2	3	2	2	2	2	4	5	4
	3	4	1	1	1	5	2	1	1	1	5	2
	4	2	2	1	2	1	1	1	1	3	5	3
	5	1	1	1	1	1	1	2	1	1	5	2
	1	3	1	2	2	3	3	2	2	4	4	3
	4	2	2	1	2	2	2	3	3	4	4	3
	1	2	2	2	4	3	3	2	2	2	2	3
	5	2	1	1	2	2	4	3	2	3	3	3
	2	1	1	1	4	2	2	2	2	2	5	3
	5	2	2	1	2	3	3	2	2	1	5	3
	1	2	2	1	3	3	3	3	3	5	5	2
Media respuestas	3,0385	1,6917	1,4727	1,2705	2,0344	2,2514	1,9268	1,8073	1,8541	2,6136	3,4093	2,5508



Anexo F. Plan de Modernización (MC3)

Según el documento *Plan de Modernización de los sistemas de Mando y Control y Comunicaciones del ET*, publicado por el MINISDEF en Madrid en el año 2015, los objetivos establecidos dicho plan son muy variados. En el documento se abarcan numerosos temas, entre los relativos a la transmisión de información y la seguridad de la misma, los destacados son los siguientes:

- Asegurar el mando y control de las organizaciones operativas, proporcionando en todo momento un conocimiento compartido de la situación
- Aumentar la sincronización y la capacidad de respuesta de las fuerzas.
- Asegurar la conectividad de la fuerza a lo largo de todo el espacio de batalla.
- Mejorar la integración de las plataformas de armas, los nodos CIS y los sistemas de vigilancia, inteligencia y reconocimiento.
- Asegurar que la información esté disponible para quien la precise en el lugar y momento oportuno.
- Proteger la integración gestionada por los CIS, salvaguardando su confidencialidad, integridad y disponibilidad.
- Proteger los propios sistemas CIS de forma que se asegure su integridad y disponibilidad.
- Integrar la Ciberdefensa como un elemento más de los sistemas que garantice el correcto funcionamiento y supervivencia de los mismos.

Tal y como se muestra en el documento publicado en Granada entre los años 2018-2019 por la Dirección de Investigación, Doctrina, Orgánica y Materiales bajo el título de *Tendencias de las Transmisiones*, se ha ido demostrando que a medida que las Fuerzas Armadas (FAS) han participado en los distintos conflictos los escenarios donde estos se desarrollan son muy cambiantes y variables. Ante estas condiciones, las tecnologías deben modernizarse, actualizarse y adaptarse a los cambios del nuevo espacio de batalla, para evitar que las dificultades de los escenarios, donde se desenvuelven los conflictos actuales, afecten a las mismas.

Respecto a *Plan de digitalización del ET del Siglo XXI*, publicada por la Dirección de Investigación, Doctrina, Orgánica y Materiales del MINISDEF en Madrid en el año 2012, se esclarece que debido a las necesidades de mayor movilidad en el campo de batalla se necesita proporcionar la capacidad de C2 en movimiento, en escalones cada vez más bajos y con los adecuados niveles de seguridad de la información y disponibilidad de los sistemas CIS. Por ello actualmente las unidades de maniobra disponen de los sistemas BMS-ET y BMS-LINCE.

La RTP es estática y basada en radioenlaces con una capacidad de tráfico muy reducida. Las PU en las que se emplea la transmisión de información a través de VHF, cuentan con una RRC jerárquica. Esta red está diseñada para la transmisión de información por medio voz y datos. La transmisión de datos es actualmente muy limitada ya que el ancho de banda disponible no permite un envío intensivo de datos.

En los aspectos relativos a la seguridad de las telecomunicaciones se disponen de diferentes procedimientos de seguridad que se actualizan al mismo tiempo que se dichos sistemas. Esto es muy laborioso ya que implica una constante actualización de los medios de transmisión y la imperiosa necesidad de protegerlos con los protocolos más actuales, puesto que no tendría



sentido dispone de los recursos más modernos sin la securización ⁴¹más moderna. El uso masivo de las tecnologías IP permite implementar más niveles seguros en la transmisión de información, destacando la implementación de la cifra estandarizada por la OTAN.

⁴¹ Acciones que aportan seguridad.



Anexo G. Radio definida por software y radio cognitiva

La radio definida por software (SDR) es una posible solución planteada por ingenieros ante la cuestión ¿Es posible cambiar los modos de funcionamiento de una radio a través de la reprogramación software?, Según publicó en septiembre de 2016 Jaqueline Kennedy en la *Revista científica multidisciplinaria base de conocimiento* con el artículo *Software Defined radio: investigación y verificación de pruebas en una plataforma libre* se pretenden reducir las tareas de montaje y las reparaciones pertinentes en caso de reemplazar una tecnología por otra en un dispositivo radiotelefónico. Así la eficiencia en términos de modernización se hace patente ya que mediante una reprogramación se podrían actualizar los medios que lo requiriesen y siempre que la potencia del hardware lo soportase.

Esta autora nos explica las aplicaciones de esta revolucionaria tecnología, ya que relaciona el desarrollo de la SDR al de la telefonía móvil de tercera generación de gran utilidad en las comunicaciones civiles y militares. Al mismo tiempo especifica que sin lugar a duda los grandes beneficiados serían las operadoras de telecomunicaciones ya que incurrirían en el desembolso inicial de la implantación de la SDR, pero reducirían los costos del desarrollo de nuevos servidores al mismo tiempo que supondría una reducción en el consumo de energía respecto a las implementaciones hardware, al implementar este software que se actualiza automáticamente mediante el acceso a la red.

Según el documento *Aprenda los fundamentos de la radio definida por software*, del autor Arthur Pini publicado por la empresa Digi-Key en River Falls: Minesota, EEUU en el año 2020, el objetivo último buscado con el desarrollo de la SDR es que los usuarios puedan realizar todas las funciones necesarias (capturar, demodular y acceder a señales de radiofrecuencia) con una amplia gama de frecuencias que como se refiere más adelante, las frecuencias empleadas por este dispositivo serán las de las regiones “vacías” del espectro sin perjudicar a los posibles usuarios licenciados en otras frecuencias.

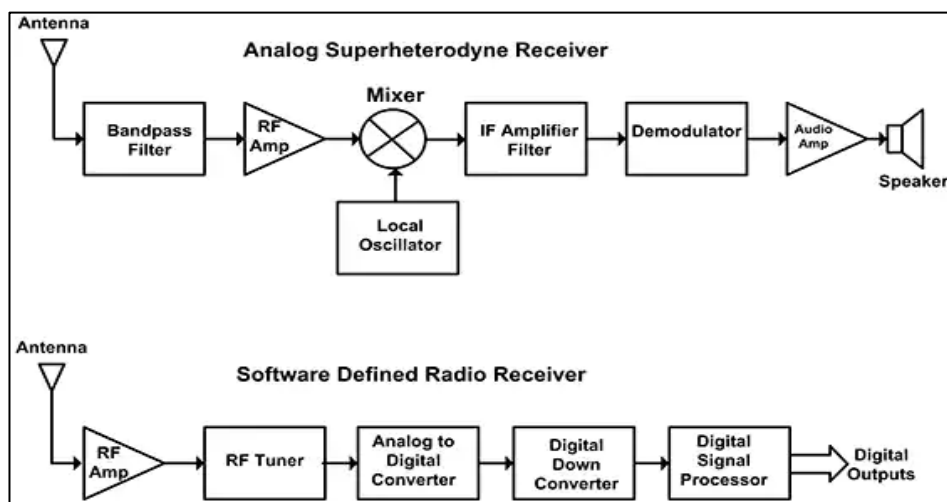


Ilustración 4: Comparación del receptor analógico (arriba) con el receptor SDR (abajo). Arthur Pini. (2020) *Aprenda los fundamentos de la radio definida por software*. Digi-Key.

Como consecuencia de la radio definida por software, el término de radio cognitiva surge con el propósito de conseguir un dispositivo radiotelefónico que se adapte a los nuevos cambios y actualizaciones de manera automática. Con el desarrollo tecnológico actual resulta difícil lograr una radio que sea capaz no solo de ser actualizada mediante una reprogramación de software, sino que el proceso sea automático.



Actualmente el EM resulta explotado de acuerdo a la asignación de las frecuencias del mismo mediante licencias de un alto coste, si se junta este factor con las restricciones políticas que limitan la eficiencia de su empleo obtenemos como resultado bandas altísimamente ocupadas generando una gran congestión de tráfico de información. En la cara opuesta encontramos algunas regiones del EM que se encuentran menos saturadas incluso totalmente desocupadas según *La Radio Cognitiva y su Impacto en el Uso Eficiente del Espectro de Radio* publicado por Raikel Bordón López y Samuel Montejo Sánchez en la Universidad Central de las Villas, Cuba entre los meses de enero y abril 2015.

Siguiendo el hilo de este documento encontramos el concepto originario de la radio cognitiva formulado por Mitola en su libro *Cognitive Radio: Making Software Radios More Personal* publicado en 1999: “el punto en el cual las PDAs inalámbricas y las redes relacionadas son, en términos computacionales, lo suficientemente inteligentes con respecto a los recursos radio y las comunicaciones de terminal a terminal como para detectar las señales eventuales de comunicación del usuario como una función del contexto de uso y proporcionarle los recursos de radio y servicios inalámbricos más adecuados a sus necesidades” Gracias a esta definición encontramos en la radio cognitiva un nuevo elemento que difiere en varios aspectos con la radio actual:

- Capacidad cognitiva, referida a la habilidad de poder conseguir información del entorno externo y del interno del sistema, a través de los sensores propios.
- Capacidad de aprendizaje y adaptación, permitiendo utilizar la información recopilada para ajustarse de manera dinámica y autónoma.
- Capacidad de auto-reconfiguración, con el propósito de optimizar todos los procesos internos del sistema de este dispositivo.

En estas estaciones los fabricantes de los dispositivos permiten usarlos en su versión estándar e ir realizando sucesivas modificaciones mediante cambios de software o hardware mínimos. Según el *Resumen de prensa* del Departamento de Comunicación de la *Revista INFODEFENSA* del Gabinete del Jefe del Estado Mayor del Ejército publicada en 2018, la radio cognitiva pretende emplear aquellas frecuencias del espectro que no se encuentran licenciadas. Lo fundamental para ello es disponer de equipos que encuentren estas regiones “vacías” y así realizar la transmisión de información en estas frecuencias. Este conjunto de bandas de frecuencias sin licenciar se las conoce como “espacios en blanco” o en inglés “*White spaces*” (WE).

A pesar de las ventajas obtenidas con el empleo de este tipo de dispositivos, la radio cognitiva tiene inconvenientes por lo que se presentan algunos aspectos problemáticos.

En primer lugar, destacan los problemas relacionados con la interoperabilidad en las redes. Los problemas de compatibilidad con las redes que son de tipo convergentes⁴² suelen intensificarse debido a la demanda de implementaciones, con el fin de cumplir los estándares requeridos.

En segundo lugar, las radios definidas por software tienen un menor rendimiento ya que al tratarse de un dispositivo programable que participa en numerosas tareas simultáneas de comunicación reduce la capacidad de funcionamiento eficaz. Al ser necesario aplicar numerosas capas de software esto acaba disminuyendo el rendimiento final en el dispositivo.

42 Que permiten la integración de voz y tráfico de datos.



En tercer lugar, requiere una cantidad mayor de puertas lógicas⁴³ por ser reprogramable en vez de tener circuitos integrados con un diseño específico.

En cuarto y último lugar es de necesidad imperiosa destacar la seguridad en las comunicaciones. Los transceptores implementados en el hardware hacen imposible una actualización sin acceso de manera física al dispositivo. Esto conlleva la aparición de numerosos fallos de seguridad en los niveles más bajos y en los protocolos de intercambio de paquetes más sencillos por lo tanto surge la necesidad de solventarlos de manera remota. Actualmente las radios combinan parte analógica y parte digital. Esta última se implementa parcialmente en el hardware y el resto en el software. Parte de los fallos de seguridad se podrían compensar añadiendo cifradores externos a la radio.

⁴³ Funciones booleanas (suma, resta, incluir o excluir) que se implementan en los circuitos que componen los dispositivos de telecomunicaciones



Anexo H. SYNAPS

El proyecto SYNAPS representa la nueva radio definida por software que fue presentada en la edición número 2016 de la feria Eurosatory, entre el 21 y el 24 de noviembre se llevaron a cabo en Francia una serie de demostraciones a gran escala de SYNAPS. Estas demostraciones sobre el empleo de este nuevo concepto de transmisiones radio. Según José M^a Navarro García en su documento *SYNAPS, la nueva generación de radio definida por software de Thales* publicado en Francia en 2017.

Esta nueva radio pretende proporcionar a las FAS una combinación de la alta tasa de transmisión de datos, la seguridad y la confidencialidad de las comunicaciones. Todo esto pretende confirmar un gran avance y mejora en las comunicaciones de radio para los miembros de las FAS en los ejercicios que se lleven a cabo en TN y en ZO.

Según el documento del Archivo histórico del Ejército del Aire publicado en la *Revista Aeronáutica y Astronáutica* en 2018 en Madrid bajo el nombre de *SYNAPS, ciencia y tecnología*, dados los requerimientos y estándares de OTAN son necesarios algunos requisitos sobretodo en la alta velocidad de datos, esto es conocido como ESSOR (*European Secure Software Defined Radio*) desarrollado por 6 naciones europeas (Finlandia, Francia, Italia, Polonia, España y Suecia). Gracias a la comunicación por radio SYANPS se van a incluir o mejorar la transmisión de información por voz, y datos.

Además, esta comunicación permitiría el empleo del *Blue Force Tracking* (tratado en el apartado correspondiente) simultáneamente con video y chat, lo cual necesita una gran calidad dotando a la transmisión de datos de preferencia en el en la emisión. Como ya se ha visto en apartados posteriores el principal problema es la preferencia al envío de la voz en el modo IP/MUX de la radio PR4G V3, como paso intermedio podríamos tener el nuevo modo SUPERMUX TDMA que aún a día de hoy no ha llegado a extenderse completamente por todos los radioteléfonos. Dada la importancia que ha ido adquiriendo el envío de información a través de los datos en lugar de la voz, las unidades del ET necesitan más alternativas y la radio SYNAPS pretender ser una gran competidora frente a la muy extendida PR4G V3.

Esta nueva radio se podría presentar como el futuro en las transmisiones de las unidades tipo brigada e inferior, ya que contaría con la sencillez en el empleo de los medios, herramienta que se convierte en crucial a la hora de facilitar las acciones de C2 en pleno desarrollo de las operaciones. La compatibilidad con otros tipos de plataformas emisoras podría decantar la balanza a favor del dispositivo que nos atañe, ya que facilitando la transmisión de información en operaciones conjunto combinadas implicaría que esta nueva radio, podría no solo ser la elegida para relevar a los radios del ET sino a las de todos los ejércitos en Europa. Sin embargo, a pesar de las grandes capacidades que promete tendremos que esperar un poco más para comprobar que realmente dichas características son las demandadas por las unidades del ejército.



Anexo I. Blue Force Tasking

Según el documento publicado en Madrid en el año 2006 por la Dirección General de Asuntos Económicos de la Secretaría de Estado del MINISDEF bajo el título de *Equipamiento para las comunicaciones Tierra-Mar*, el BFT se define como: “*un sistema de comunicaciones por satélite, que proporciona el seguimiento a las unidades que participan en la maniobra o ejercicio y que permite a los jefes de las unidades involucradas tener un contacto continuo mediante las comunicaciones satelitales en la banda L (SATCOM)*”. El BFT dota a las transmisiones de las fuerzas aliadas de la capacidad de enviar y recibir mensajes de texto y de igual manera permite conocer las ubicaciones de las unidades aliadas. Estas posiciones son transmitidas a tiempo real, lo que resulta tremendamente útil ya que permite averiguar con un solo vistazo en el ordenador o tableta donde se encuentran las unidades. La designación del BFT se debe a que las unidades propias que se encuentren activadas ⁴⁴ se muestran en color azul en la pantalla.

Como se ha mencionado con anterioridad en este trabajo, el mando y control es un elemento clave para cualquier operación tanto en TN como en ZO. Según Bryon Greendwald. En la publicación de *Join Capability Development. Special Feature* en 2007. “[...] *el BFT proporciona al combatiente de una capacidad adaptable y de respuesta global para identificar y rastrear fuerzas amigas asignadas en operaciones [...]*”. Este sistema de seguimiento proporciona una información detallada sobre las unidades tanto amigas como enemigas y desconocidas. En el caso de las unidades amigas y desconocidas serán unidades que hayan incluido los usuarios.

En estos dos casos concretos de unidades amigas y desconocidas, el usuario inserta este tipo de unidad en el mapa, siendo un evento destacable para todos los usuarios del sistema. Cuando esto sucede, la distinción entre una unidad enemiga o desconocida suele ser compleja ya que primero se suelen marcar como unidades desconocidas. Tras un breve reconocimiento a una distancia prudente se marcan como enemigas (dependiendo de su actitud, armamento, etc.) o se dejan como unidades desconocidas, a la espera de lo que indique el escalón superior, las células de inteligencia o las unidades destinadas al reconocimiento en este tipo de vicisitudes.

Según Lawarren V. Patterson en su libro *Handing Instructions for CALL* publicado en 2014 en el *Fort Leavenworth, Kansas City, EEUU*, el alcance de las transmisiones proporcionadas gracias al sistema BFT tiene un alcance aproximado de hasta unas 5000 millas, lo que viene a ser unos 8000 km. Las conexiones satelitales permiten la conectividad entre unidades tipo Brigada e inferior. De este modo el BFT genera y distribuye una vista común a todos los elementos involucrados en el entorno distinguiendo e identificando vehículos terrestres, puestos de mando y aviones de ala giratoria.

La banda L (1 a 2 GHz) es la banda de comunicaciones satelitales donde se efectúa el tráfico de información que emplea el BFT. Gracias al ancho de la banda L se permite una comunicación muy fluida. Dichas frecuencias se encuentran dentro del rango de los 300 MHz a los 3 GHz, que como bien es sabido es el rango de la transmisión por la banda UHF. Las comunicaciones se realizan mediante a una flota de satélites geoestacionarios que proporcionan los enlaces necesarios a fin de explotar todos los recursos que nos proporciona el BFT. Por todo esto el sistema Blue Force Tasking se erige como una posible alternativa que pretende facilitar las acciones de C2 que actualmente ejerce el BMS en la identificación de las unidades en el plano.

⁴⁴ Que estén visibles en el mapa y con las funciones de: envío y recepción de mensajes junto con la capacidad de replicar la posición, operativas.