



Trabajo Fin de Grado

Estudio del alcance efectivo máximo del sistema
SUPERMUX

Autor

FRANCISCO LAUREANO GARCÍA MANSILLA

Director/es

Director académico: MIGUEL GARCÍA BOSQUE

Director militar: JAVIER FERNÁNDEZ GONZÁLEZ

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

Año 2021



Agradecimientos

La realización del presente trabajo no habría sido posible sin la inestimable ayuda del personal y los medios de la compañía de transmisiones VII de la BRILAT, su disposición y actitud fueron intachables en todo momento.

Por mi parte es de obligado cumplimiento resaltar la gran ayuda del Sargento Primero D. Adolfo Ardura López, que con sus conocimientos me ha apoyado en todo momento para la realización del trabajo.

Dar las gracias al Capitán D. Javier Fernández González por su inestimable ayuda y preocupación para el desarrollo del trabajo, ejerciendo una gran labor tutorial, gracias a la cual me ha apoyado y guiado en todo momento.

Resaltar también el apoyo recibido por todos los Tenientes de la compañía, D. Jose ángel Arenas Játiva, D. Moisés Hernández Falcón y D. Jacob Ferreiro Rey y en especial nombrar a los Tenientes, D. Juan Manuel García Sobrido, D. Juan Ignacio Olivares González y D. Eloy Fernández Rodríguez, sin que sin su apoyo y enfoques técnicos no hubiera sido posible la realización del trabajo.

En general, agradecer a todo el personal de la compañía que de una forma u otra ha ayudado para la consecución satisfactoria del presente trabajo, en especial a las secciones de radio y técnica por sus aportaciones. También resaltar la ayuda y predisposición de todas las personas ajenas a la compañía, pertenecientes a la BRILAT, que han ayudado en las entrevistas, al Teniente D. Jaime Antonio Acero Espina del Grupo de Artillería de Campaña VII y al Sargento Primero Jorge Castro Pardo del batallón Zamora.

Por último, pero no menos importante dar las gracias al Doctor Miguel García Bosque por su predisposición e interés constante por el desarrollo del trabajo.



RESUMEN

Para el mando y control de las pequeñas unidades de las Brigadas del Ejército de Tierra se emplea principalmente la red radio de combate. Esta red de servicios se basa en varios enlaces diferenciados por las frecuencias y capacidades prestadas por cada uno. El tipo de enlace más relevante para el mando y control de estas unidades es el que se encuentra en el rango de muy alta frecuencia (VHF, Very High Frequency). Este tipo de enlace se explota a través de la radio PR4G.

Los servicios prestados por la radio a través de VHF son la transmisión de voz y datos. Actualmente se ha visto incrementada la necesidad de la transmisión de datos y más especialmente de datos IP, para poder dar cabida al uso de programas informáticos tácticos de mando y control.

Ante esta situación se han implementado dos modos de trabajo de la PR4G para el uso de este tipo de datos, los modos son IPSAP e IPMUX, ambos sistemas tienen varias limitaciones, como el alcance obtenido, capacidad para alcanzar el sincronismo y la dificultad para establecer relés en el despliegue.

Debido a la necesidad crítica de este tipo de enlace para la consecución de las acciones de mando y control sobre las unidades desplegadas, se ha visto necesaria la implantación de un nuevo sistema que solucione las citadas limitaciones. Este nuevo sistema se denomina SUPERMUX, el cual consiste en un modo de funcionamiento de transmisión de datos IP y voz, este sistema puede ser explotado por la última actualización de la radio PR4G, versión 3 (V 3).

El presente trabajo investigará las nuevas características del sistema SUPERMUX con el objetivo de conocer las ventajas de este sistema frente a los usados anteriormente, sobre todo, en lo que respecta al alcance máximo efectivo, debido a que el alcance es la principal limitante en este tipo de enlace (VHF), para el despliegue de las unidades.

Se han llevado a cabo diversos métodos de estudio de las nuevas características que presenta el sistema, entre ellas están, revisión bibliográfica, entrevistas a usuarios y administradores del sistema, realización de análisis DAFO y por último realización de una serie de pruebas de enlace con el objetivo de conocer el alcance efectivo máximo de SUPERMUX.

Los resultados de las pruebas realizadas señalan que el alcance de SUPERMUX supera ampliamente al de los sistemas usados hasta la fecha, lo que supone una libertad de maniobra excepcional para la unidad que explote este medio de transmisión, además se ha comprobado la mejora en otros aspectos, como la capacidad de sincronismo con una supervivencia mayor y la facilidad y sencillez para el establecimiento de un relé.

Ante los resultados, el sistema SUPERMUX se presenta como la mejor opción para la transmisión de información dentro del rango de VHF.

PALABRAS CLAVE

Alcance, Relé, Sincronismo y SUPERMUX.



ABSTRACT

For the command and control of the small units that make up the Army Brigades the combat radio network is mainly used. This service network is based on several links differentiated by the frequencies and capabilities provided by each one. The most relevant type of link, for the command and control of these units is in the very high frequency range. This type of link is operated via the PR4G radio.

The services provided by the radio through VHF are the transmission of voice and data. Currently the need for the transmission of data and more especially of IP data has been increased, to be able to accommodate the use of tactical command and control computer programs.

Given this situation, two working modes of the PR4G have been implemented to work with this type of data, these modes are IPSAP and IPMUX, both systems have several limitations, such as the scope obtained, ability to achieve synchronism and difficulty to establish relays in the deployment.

Due to the critical need of this link for the achievement of command-and-control action on the deployed units, it has been necessary to implement a new system that solves the limitations of the previous ones. This new system is called SUPERMUX, which consists of an operating mode of IP and voice data transmission, this system can be operated by the latest update of the PR4G radio, 3 version (V3).

The present work is going to investigate the new features of the SUPERMUX with the aim of knowing the advantages of this system with those used previously, especially with regard to the maximum effective range, because the range is the main limiting factor in this type of link (VHF), for the deployment of the units.

Various methods of studying the new features of the system have been carried out, including literature review, interviews with users and administrators of the system, carrying out SWOT analysis and finally carrying out a series of link tests in order to know the maximum effective range of SUPERMUX.

The results of the tests carried out indicate that the scope of SUPERMUX far exceeds that of the systems used to date, which implies an exceptional freedom of manoeuvre for the unit operating this transmission medium. In addition, improvements have been noted in other areas, such as the ability to synchronize with greater survival and the ease and simplicity of establishing a relay.

Given the results, the SUPERMUX system is presented as the best option for the transmission of information within the VHF range.

KEYWORDS

Range, Relay, SUPERMUX and Synchronism.



INDICE DE CONTENIDO

Agradecimientos.....	I
RESUMEN	II
PALABRAS CLAVE.....	II
ABSTRACT	III
KEYWORDS	III
INDICE DE FIGURAS	V
INDICE DE TABLAS	VI
ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS	VII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA.....	2
2.1 Objetivos y Alcance.....	2
2.2 Metodología	2
3. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO.....	3
4. DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS	7
4.1 Investigación bibliográfica.....	7
4.2 Entrevistas	12
4.3 Pruebas de Campo, Realización del enlace BRILAT - Parga	14
4.3.1 Elección de relés.....	17
4.3.2 Configuración de las radios	20
4.3.3 Cuaderno de campo	21
4.4 Análisis DAFO.....	31
5. CONCLUSIONES	32
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
ANEXOS	34



INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Representación de un ciclo de TDMA	5
Figura 2 Sincronismos posibles de SUPERMUX.....	8
Figura 3 Nueva trama SUPERMUX (reutilización canal de voz).	10
Figura 4 Nuevo canal SUPERMUX (25% Canal dedicado a TDMA).....	11
Figura 5 Salto posibles de SUPERMUX..	12
Figura 6 Posiciones a enlazar, escala 1:1000000..	14
Figura 7 Compartición de información de BMS con SUPERMUX.....	15
Figura 8 Especificación de indicativos, escala 1:100000.....	16
Figura 9 Antena Elevada (HC).	16
Figura 10 Estación Mercurio 2000 posicionada en Relé.	16
Figura 11 Radio de 40 Km en las posiciones a enlazar, escala 1:100000.....	17
Figura 12 Diferencia de Cota, escala 1:100000.....	17
Figura 13 Zona delimitada de Halcón, escala 1:25000.....	18
Figura 14 Zona delimitada de Buitre, escala 1:25000.....	18
Figura 15 Zona delimitada Santiago, escala 1:25000.....	19
Figura 16 Despliegue final, escala 1:100000.....	19
Figura 17 Organización del enlace.	20
Figura 18 Perfil Azor-Halcón.....	21
Figura 19 Perfil Azor-Buitre.....	23
Figura 20 Perfil Azor-Ray..	25
Figura 21 Tablet BMS Azor.....	29
Figura 22 Perfil Azor-Santiago	30



INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Enlace por voz AZOR-HALCÓN.....	22
Tabla 2 Enlace por datos AZOR-HALCÓN	22
Tabla 3 Enlace por voz AZOR-HALCÓN-BUITRE.	23
Tabla 4 Enlace por datos AZOR-BUITRE.	24
Tabla 5 Enlace por voz, solo antena vehicular, AZOR-HALCÓN-RAYO.	26
Tabla 6 Enlace por voz AZOR(HC)-HALCÓN-RAYO.....	26
Tabla 7 Enlace por voz, AZOR(HC)-HALCÓN(HC)-RAYO.....	27
Tabla 8 Enlace por datos AZOR-RAYO.	28



ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

- BCL: Búsqueda de canal libre.
- BMS: Battlefield Management System.
- CMT: Campo de Maniobras y Tiro.
- COMSEC: (del inglés Communications Security). Seguridad de comunicaciones. Cifrado de comunicaciones para evitar la de lectura del contenido transmitido por intrusos.
- CSMA: del inglés Carrier Sense Multiple Access, acceso múltiple por detección de portadora.
- DAFO: Análisis de Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades de un producto en concreto.
- DDI: Distribuidor de Datos Iniciales.
- DIR/SUB: Directora / Subordinada.
- ET: Ejército de Tierra.
- FD: Frecuencia Digital.
- FFC: Frecuencia Fija de Canal.
- FFG: Frecuencia Fija General.
- FW: Firmware.
- HC: Antena Elevada.
- HF: Banda del espectro electromagnético, del inglés, High Frequency, Alta Frecuencia, 3-30 Mhz.
- IP: Internet Protocol.
- MADOC: Mando de Adiestramiento y Doctrina.
- MIX: Modo de trabajo Mixto.
- PC: Del inglés, Personal Computer.
- RRC: Red Radio de Combate.
- SFR: Salto de Frecuencia.
- TDMA: Del inglés Time Division Multiple Access, acceso por división de tiempo.
- UHF: Banda del espectro electromagnético, del inglés, Ultra High Frequency, Ultra Alta Frecuencia. 300-3000 Mhz.
- VHF: Banda del espectro electromagnético, del inglés, Very High Frequency, Muy alta Frecuencia. 30-300 Mhz.



1. INTRODUCCIÓN

La razón principal que justifica el presente trabajo es la mejora de las capacidades de la RRC (red radio de combate) en el rango electromagnético de VHF (*Very High Frequency*), este enlace es el medio mayoritario para el mando y control táctico de las pequeñas unidades del ET (Ejército de Tierra), cuya entidad es inferior a la de brigada.

El ámbito de aplicación está dentro de las brigadas del ET, estas unidades son comandadas principalmente mediante la RRC. Los servicios más demandados son la transmisión de voz y datos. La transmisión de datos es usada por los programas de mando y control, como BMS y Talos, donde se transmiten diferentes datos como posicionamiento, alarmas y objetos tácticos que pudiera haber en la maniobra. Los citados servicios se proporcionan generalmente a través de enlaces de VHF, debido al equilibrio entre el ancho de banda y alcance obtenido, dentro del Ejército de tierra español, los medios que explotan este rango de frecuencias son las radios PR4G (THALES, 2021).

Debido a la evolución de las telecomunicaciones en el ámbito civil y por ende en el militar, la transmisión de datos IP se presenta como crucial para el envío de información dentro de una red, actualmente dentro del ET, la radio PR4G es la principal encargada del envío de dichos datos dentro de la RRC, mediante los modos IPMUX e IPSAP.

Los citados modos de trabajo muestran varios limitantes, los más acuciantes de solucionar son, el alcance obtenido, la baja supervivencia de la sincronía en las radios y el tedioso trabajo de despliegue de relés y medios para la realización de enlaces a grandes distancias.

Como comparación según (CAC. González Casado, 2019), el alcance máximo de VHF en condiciones ideales es de 60 Km, basándose en la experiencia de los usuarios, el citado alcance es irreal con los actuales modos de trabajo de la radio.

Para solucionar las debilidades actuales del enlace de VHF en la RRC, se presenta la nueva forma de onda SUPERMUX, para los equipos PR4G V3 (versión 3), el nuevo sistema mejorará las capacidades de alcance, sincronismo y establecimiento de relés, entre otras.

Esta nueva forma de onda ha sido desarrollada por la empresa Thales, y se presenta como un nuevo *FIRMWARE* (FW) de actualización de los actuales equipos radio PR4G V2 (versión 2) en dotación del Ejército.

La mayor parte del presente trabajo ha sido realizada durante el periodo de prácticas externas, en la Compañía de Transmisiones, del Batallón de Cuartel General, de la Brigada Galicia VII (denominada como BRILAT), la citada unidad se ha establecido como una de las unidades de referencia en el ET, en el uso del sistema SUPERMUX, desde su implantación en la brigada en el año 2020.

Los objetivos principales de este trabajo en cuanto al sistema SUPERMUX son, analizar las nuevas capacidades y ventajas frente a los sistemas usados actualmente, conocer las impresiones de los usuarios y determinar el alcance efectivo máximo.

Para este último objetivo se realizarán varias pruebas de enlace a larga distancia y empleando varias configuraciones de antenas y potencia de las estaciones.



2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

2.1 Objetivos y Alcance

El objetivo general de este trabajo es conocer en profundidad las características de la nueva forma de onda SUPERMUX, así como las impresiones y desventajas que los usuarios del sistema han reconocido, en el tiempo que lleva implantada en las brigadas, más específicamente en la BRILAT.

Cabe destacar, que a priori el sistema de estudio presenta un alcance tanto en voz como en datos, superior a los sistemas usados anteriormente, es por esto que con el presente trabajo se pretende, analizar el alcance máximo del sistema SUPERMUX, en donde todavía es efectivo para la transmisión de voz y datos.

Para realizar dicho análisis se llevarán a cabo una serie de pruebas de enlace, con la finalidad de enlazar en el rango de VHF la ubicación del acuartelamiento General Morillo, base de la Brigada "Galicia" VII actualmente en Pontevedra, con el CMT (campo de maniobras y tiro) de Parga, municipio de Lugo, estas dos posiciones se separan aproximadamente por 120 km.

Los dos hitos a seguir antes de la realización de las pruebas serán, un estudio del terreno con la herramienta de Carta Digital, con la finalidad de buscar el mejor emplazamiento para los relés necesarios en el enlace, realizado el estudio del terreno seguidamente se configurarán las radios con las que se realizarán las pruebas.

Una vez alcanzados los hitos, se llevarán a cabo las pruebas de enlace. Antes de enlazar las dos posiciones descritas, se enlazará la base General Morillo, con cada uno de los emplazamientos de los relés, con el objetivo de asegurar progresivamente el enlace entre la Base y cada uno de los relés, hasta realizar el enlace completo con el CMT de Parga.

2.2 Metodología

Los métodos usados para la recopilación de la información de la presente memoria han sido principalmente métodos cualitativos.

Una de las fuentes de información ha sido la revisión bibliográfica de manuales internos del ET, tanto del sistema SUPERMUX como de la radio PR4G, también resaltar, la información facilitada por la empresa desarrolladora del sistema.

Otro aspecto a tener en cuenta han sido las entrevistas realizadas a los usuarios de la radio con el uso de SUPERMUX, en este caso se realizaron entrevistas tanto a los administradores de SUPERMUX en la BRILAT, como a los encargados del manejo de la radio en operaciones, con el objetivo de determinar los aspectos más útiles y positivos, y cuáles son los aspectos en lo que se debería de mejorar el sistema.

En cuanto al conocimiento del sistema en su uso práctico, se han llevado a cabo las pruebas de enlace citadas anteriormente, con la finalidad de conocer la respuesta del sistema en enlaces de larga distancia.

Con toda la información recabada se ha realizado un análisis DAFO del sistema, para resaltar los aspectos positivos y negativos más relevantes.



3. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

Dentro de la RRC la señal VHF comprenden un rango de frecuencias de 30 a 300MHz. Esta presenta inconvenientes debido a su pequeño rango de longitud de ondas, las cuales están restringidas por su punto óptico a enlazar. Se propagan por onda de superficie, es decir, que no se reflejan en las capas de la atmósfera como ocurre con las comunicaciones HF.

La explotación de este rango de frecuencias se realiza por la radio PR4G, de la empresa Thales, este es el medio principal de uso dentro de la RRC.

Las características básicas de la radio PR4G V3 se han extraído del manual del (Mando de Adiestramiento y Doctrina, MADOC, 2016), sobre el radioteléfono PR4G V3.

La citada radio tiene la capacidad de emitir información entre las frecuencias de 30 a 87,975 MHz lo que se considera dentro del espectro de VHF.

A continuación, se explicarán los diversos modos de trabajo que ofrece la radio PR4G V3, los cuales se dividen entre Analógicos y Digitales.

En cuanto a los modos analógicos se encontrarían:

- Canal de FFG (frecuencia fija general).
- Canal de FFC (frecuencias fijas de canal).

Debido a la imposibilidad de cifrar estas comunicaciones, el uso de estos canales no se contempla en el desarrollo de las operaciones, por la inseguridad de la emisión en claro (sin cifrar).

Los modos digitales presentan varias ventajas frente a los modos analógicos, como lo son las seguridades en las transmisiones y las comunicaciones, TRANSEC¹ y COMSEC² respectivamente, además de soportar (en ciertos modos de trabajo digitales), la emisión y recepción de paquetes con el protocolo IP.

En todos los modos digitales la radio permanece en "escucha" cuando no se está transmitiendo, esto permite que se puedan vigilar diferentes canales, como el canal de tiempo para recibir sincronización, la FFG y la FFC.

Existen diferentes tipos de modos digitales con los que cuenta la radio PR4G, entre los cuales estarían:

- SFR. Salto en frecuencia. En este modo de funcionamiento se ejecutan 300 saltos de frecuencia por segundo, La ley de salto en frecuencia se obtiene utilizando una clave TRANSEC que garantiza una secuencia de frecuencias pseudoaleatoria. Este modo necesita de una radio (dentro de la malla) que sincronice estos saltos y que se denomina directora.

¹ TRANSEC: Hace referencia a la seguridad en la transmisión, es decir a los mecanismos usados para evitar que la información pueda ser localizada y extraída.

² COMSEC: Hace referencia la seguridad en la comunicación, es decir a los mecanismos usados para evitar que, si la información ha sido localizada y capturada, esta información no pueda ser entendida por el enemigo. Un ejemplo sería el propio lenguaje convenido previo a la maniobra para que nadie ajeno a la operación pueda comprender lo que se escucha en la malla.



- BCL. Búsqueda de canal libre. En este modo las radios cambian de frecuencia cada vez que emiten, escogiendo aquella que encuentran como mejor disponible de entre las que se han introducido en el plan de frecuencias³.
- MIX. Modo mixto. En cada emisión, la radio escoge el modo de trabajo: SFR o BCL.
- FD. Frecuencia fija digital. En este modo la radio emite en frecuencia fija, pero a diferencia de los modos analógicos, la información está digitalizada y se permite el cifrado de la comunicación (COMSEC).

Los modos SFR, BCL y MIX son interoperables entre sí, su única finalidad es la emisión de voz, obviamente esta capacidad hace que los citados sistemas no sean válidos como medio de explotación de los programas para el mando y control del ET, ya que se necesita la transmisión de datos para su funcionamiento.

Dentro de los modos digitales de la radio, los Modos IP, serían los únicos con la capacidad de enviar datos IP. Para su empleo es necesario que las radios se encuentren trabajando en modo SFR previamente. Antes de la implantación del sistema SUPERMUX existían solamente dos sistemas digitales IP. El modo IPSAP e IPMUX, ambos sistemas se explican a continuación.

El modo IPSAP, es capaz de transformar la malla de PR4G en una red de comunicaciones de datos, en detrimento de la emisión de voz, puesto que el presente modo no soporta la transmisión de este servicio.

Dentro de este modo de trabajo solo se puede dar cabida a 32 abonados, los cuales se identifican por su número de abonado. Este número proporciona la asignación de las direcciones IP de la radio, la propia IP de la radio (en red con las demás radios de la malla) y la interfaz ethernet con el que la radio se conecta con el nodo (PC).

Gracias al modo digital, la radio puede usar diferentes modulaciones y transmitir hasta 19200 Kbps, tanto la modulación como la velocidad de transmisión utilizada, dependerá del estado del canal.

Un aspecto muy importante de los modos de trabajo que se basan en salto de frecuencia, es la manera con la que todas las radios de una malla (grupo) alcanzan lo que se conoce como sincronía, este estado se alcanza cuando todas las radios tienen la misma señal de reloj y por tanto todas las radios saltan de frecuencia (y a la misma frecuencia) a la vez. Para alcanzar dicho estado es necesario que todas las radios reciban unos paquetes de sincronización o balizas, donde se les muestra la señal de reloj que han de tener.

En cuanto a IPSAP la sincronización de este modo depende de la existencia de dos roles diferentes que han de existir en cada malla, uno es la estación iniciadora que da la orden de entrar en el modo IPSAP y es la encargada de enviar los paquetes de sincronización. El otro rol consiste en una estación servidora de direcciones que proporciona y mantiene actualizadas las listas de abonados, que hace referencia a los números de identificación de cada radio dentro de la malla.

³ Plan de frecuencias: Hace referencia a la configuración de la radio en lo que respecta a la franja del espectro electromagnético autorizado para usar, el cual ha de haber sido planeado, autorizado y cargado en la radio con antelación.



Las radios subordinadas pueden estar hasta 10 minutos sin recibir ningún paquete de sincronización, en los que cada radio puede tanto emitir como recibir paquetes, pasados estos 10 minutos y hasta un máximo de 10 horas, las radios solo pueden recibir paquetes, una vez transcurridas estas 10 horas sin recibir sincronización, las radios saldrán del modo de trabajo IPSAP.

El acceso al canal de este sistema, es del tipo CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*), según (Ortín, 2020), este método se basa en que antes de que una radio comience a emitir, se observará que el canal esté libre y no haya ninguna estación emitiendo, si el canal no estuviera libre la radio esperaría a que terminase la emisión y tras esperar un tiempo pseudoaleatorio (calculado por la propia radio) se comenzará a emitir, de esta manera se evitan las colisiones de paquetes en el canal.

En cuanto al modo de trabajo IPMUX, permite la transmisión tanto de voz y datos, gracias al uso de vocoders para la codificación de la voz y a su modo de administración de canal, basado en TDMA (*Time Division Multiple Access*). Según (Kurose & Ross, 2017) este método, divide el canal en slots de tiempo, que en este caso son de 90 ms, esto permite que se le asignen un número determinado de slots de tiempo a cada usuario que esté emitiendo en el canal. De esta manera cada usuario podrá emitir en su slot correspondiente de cada ciclo TDMA (Figura 1). Esto le permite a la radio emitir información de diferente tipo (como si fueran diferentes usuarios que emiten a la vez) por el mismo canal, de esta manera no es necesario el uso de una radio para la malla de voz y otra radio para la malla de datos.

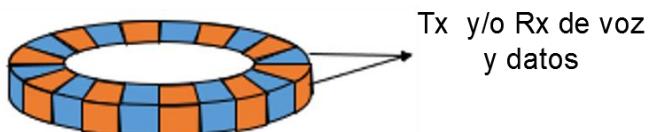


Figura 1 Representación de un ciclo de TDMA Fuente: MADOC 2016.

La radio divide el canal en tres partes, a cada una de las partes le asigna un porcentaje de slots de tiempo del total del ciclo. Las partes son:

- Servicios, por donde transcurre la señal de sincronización, a la que se le asigna un 10% del total de slots.
- Voz, a la que se le asigna en 50% de los slots.
- Datos, a la que se asignan el 40% de los slots.

La asignación del porcentaje de slots de tiempo, en función del tipo de información, es fija, independientemente de que algún servicio no se llegue a usar, es decir, si, por ejemplo, el servicio de voz no se llega a utilizar, los slots dedicados a la transmisión de voz quedarán desiertos.

En cuanto al sincronismo en este modo de trabajo, IPMUX ha de contar con dos tipos de roles en las mallas (a parte de las radios subordinadas), ambos roles son de directora, uno sería directora principal, que haría los trabajos de iniciadora de servicio, servidor de direcciones como lo que ocurre en el modo IPSAP. El otro rol sería de directora secundaria cuya única función es la de mantener el sincronismo en la malla cuando la directora principal desaparezca de la malla.

Un aspecto bastante limitante de este modo de trabajo es que las radios no pueden funcionar sin recibir un paquete de sincronización por más de 40 segundos, lo que hace de especial importancia el sincronismo en este modo.



Otro aspecto limitante, es el establecimiento de los relés, debido a que solo se puede establecer uno con la capacidad de retransmitir solamente datos, debido a que el uso de vocoders distorsiona demasiado la voz para poder retransmitirla, además es necesario el uso de dos radios para poder establecer el relé, las cuales se dedican exclusivamente a retransmitir la información y no pueden entrar en malla. Lo que genera la necesidad de una gran cantidad de medios radio para desplegar en operaciones.

Otros aspectos a resaltar de IPMUX es que puede transmitir la información a 4800 bps, lo que le proporciona un ancho de banda bastante menor que el de IPSAP.

Los modos IPMUX e IPSAP serían los principales antecesores de SUPERMUX ya que, hasta la implementación del sistema de estudio, estos sistemas eran la única manera de transmitir datos IP mediante el enlace de VHF.



4. DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS

El desarrollo del presente trabajo tendrá cuatro partes principales, investigación bibliográfica, entrevistas, pruebas de campo y análisis DAFO.

En la investigación bibliográfica y entrevistas se abordará la parte teórica del presente trabajo, donde se explicarán en detalle las nuevas funcionalidades más reseñables de SUPERMUX y se analizarán las entrevistas realizadas tanto a los administradores como usuarios del nuevo sistema, con el objetivo de conocer la opinión del personal sobre el sistema y cuáles son los aspectos en los que se tendría que mejorar.

En cuanto a la parte práctica del trabajo se reflejará en las pruebas de campo y análisis DAFO del sistema.

En las pruebas de campo se expondrá todo el proceso realizado para la consecución de las pruebas de enlace, dichas pruebas consistirán en la realización del enlace por VHF entre la base General Morillo en Pontevedra y el CMT de Parga en la provincia de Lugo.

Con las conclusiones extraídas de la bibliografía, entrevistas y pruebas de campo se realizará un análisis DAFO (análisis de Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades) del sistema SUPERMUX.

4.1 Investigación bibliográfica.

Para la realización del presente apartado, se revisó la información bibliográfica interna, facilitada por la empresa desarrolladora del sistema SUPERMUX, así como diversos manuales del ET, a continuación, se han desarrollado las características más relevantes de SUPERMUX.

Según el manual interno de la empresa (THALES, 2018), en el modo SUPERMUX, la radio PR4G puede abarcar hasta 32 abonados con la capacidad de enviar voz y datos IP, además de poder resistir hasta 99 abonados de "solo voz" en los que se puede transmitir voz y posición GPS.

Al igual que los sistemas IPSAP e IPMUX, SUPERMUX necesita un software específico para configurar todos los parámetros con los que se trabajará, este software es denominado Constellation.

El citado programa es el encargado de generar la información interna de los DDI (distribuidores de datos iniciales), con los cuales se carga la configuración de SUPERMUX en las radios PR3G (actualizadas a SUPERMUX).

Para la explotación debida de este programa es necesario un amplio conocimiento, no solo del propio programa Constellation sino también del programa que usará a SUPERMUX para su transmisión, ya que se tendrá que configurar Constellation de tal manera que los parámetros de cada radio concuerden con los que le asigne el sistema que explote las radios.

Por ejemplo, las direcciones IP y números de abonado que tendrá cada radio se asignan en Constellation. Esta configuración que se carga en cada radio mediante el DDI y el número de abonado, ha de concordar con la dirección IP y número de abonado que le asigne el programa que explote a SUPERMUX para ser transmitido.

Centrándose en las capacidades propias del sistema, una de las más novedosas es la capacidad de sincronismo, este se alcanza de diferentes formas, la principal y más afectiva frente a los anteriores modos de trabajo, es el sincronismo alcanzado por la fuente de reloj de GPS, proporcionada por el receptor GPS de la radio. Además, se puede alcanzar el sincronismo con la señal de reloj GPS de otra radio que esté al alcance de la que requiere sincronismo.



Este mecanismo de sincronismo garantiza que 2 equipos radio con GPS sincronizado y dentro del alcance uno del otro, se pueden comunicar sin necesidad de enlace con una estación directora, lo cual era necesario para poder alcanzar el sincronismo en los modos IPSAP e IPMUX.

Además, SUPERMUX para mantener el sincronismo cuando se pierde la recepción de GPS, se dispone de un mecanismo de respaldo basado en el sincronismo tradicional DIR / SUB (Directora y Subordinada). Dos radios de la red, la directora y la directora secundaria, transmiten periódicamente una baliza, gracias a este aspecto, una radio sin sincronismo de GPS puede sincronizarse con una de estas balizas.

Si ninguna radio en la red tiene sincronismo GPS, el proceso de sincronismo se basa totalmente en un principio DIR / SUB, los subordinados sincronizan con las balizas de directora, principal o secundaria, y la directora secundaria sincroniza, con las balizas de la directora principal.

En resumen, existen 4 tipos diferentes de sincronismo dependiendo de donde se obtenga la señal de reloj, de las estaciones directoras, directoras secundarias, señal de GPS propia o señal de GPS de otra estación. De esta manera se ofrece un sistema más robusto y seguro de sincronización frente a los anteriores sistemas.

Para expresar el modo de sincronismo usado y los enlaces establecidos por la radio, en el *display* pueden aparecer hasta tres letras diferentes. Cuando una radio tiene enlace con la estación directora, aparece la letra "P" en primera posición, si la radio tiene enlace con la directora secundaria, aparece la letra "S" en la segunda posición, la última letra que aparece hace referencia a la sincronía usada, si esta se ha obtenido a través del GPS propio de cada radio aparece la letra "G", si por el contrario la sincronía se ha alcanzado a través de la señal GPS de otra estación subordinada, aparecerá la letra "D", Figura 2.

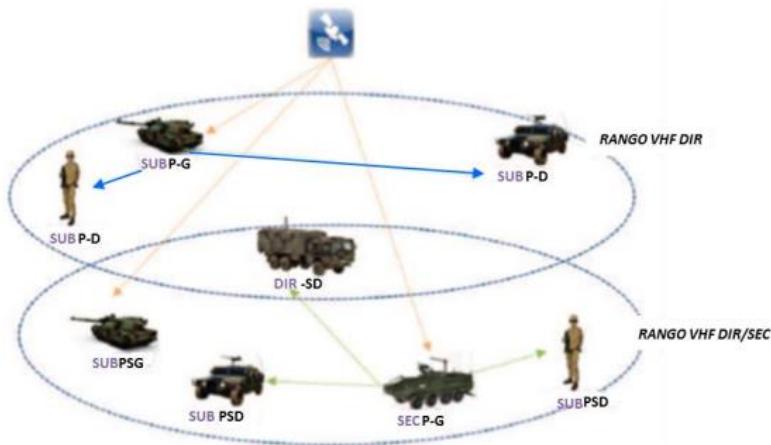


Figura 2 Sincronismos posibles de SUPERMUX. Fuente: Thales, 2018

En caso de ausencia de sincronismo GPS, el modo SUPERMUX necesita una precisión de ± 1 minuto. Una PR4G puede mantener esta señal de reloj durante un año, es por ello que cuando la señal de GPS esté disponible, la radio quedará ya sincronizada.

La información expuesta a continuación, ha sido extraída en parte del manual interno de la empresa (THALES, 2019), sobre las nuevas funcionalidades de la forma de onda SUPERMUX.

En cuanto a la selección de la forma de onda SUPERMUX en la radio se realiza bajo petición desde el panel de la propia radio. Esta selección se memoriza al cambiar de canal o apagar la radio, de modo que cuando se reinicia o enciende una radio con una forma de onda SUPERMUX seleccionada, el cambio a este modo será completamente automático.



En cuanto al método de acceso al medio, esto es, la manera con la que el sistema emite los paquetes a través de la radio con la garantía de que no colisionen o interfieran entre sí. Los equipos radio con el sistema SUPERMUX ofrecen tres tipos distintos de acceso al medio. El método elegido se puede configurar a través de la herramienta de planificación Constellation.

Dos de las tres maneras de acceso al medio que proporciona SUPERMUX son ya usados en los anteriores modos de trabajo IP de la radio. Estos métodos de acceso al medio son CSMA y CSMA de baja latencia.

El método CSMA, se basa en un mecanismo anticolisión que consiste en que cuando un equipo, en este caso radio, recibe una comunicación de datos o después de una comunicación, la radio elige un tiempo pseudoaleatorio que dejará pasar antes de empezar la emisión de los nuevos datos al medio.

En cuanto al método CSMA de baja latencia, consiste en que cuando la radio tiene información que enviar se puedan dar dos situaciones. La más efectiva ocurre cuando la radio comprueba que el canal está libre y ninguna otra radio está emitiendo, en este caso se comienza inmediatamente la emisión de la información. La otra situación posible se da cuando la radio comprueba que el canal no está libre, puesto que alguna radio está emitiendo, en este caso se espera a que acabe la transmisión y se calcula un tiempo pseudoaleatorio, tras este tiempo la radio empezará a emitir, siempre y cuando ninguna radio haya accedido al medio antes de que pase el tiempo calculado.

El nuevo método de acceso al medio del sistema SUPERMUX es denominado acceso TDMA mini ranurado o CSMA TDMA combinado. Este nuevo método consiste en que todas las radios que quieran acceder al medio calculan un valor pseudoaleatorio. A este tiempo calculado se le suma un tiempo en función de la dirección de enlace y el tamaño de la red, de esta manera se garantiza que solo una radio emitirá cada vez en el slot de datos correspondiente. Además, el mecanismo en el modo de acceso TDMA CSMA permite optimizar la ocupación del canal de datos. Esta función garantiza que, en una red con mucha carga, la probabilidad de colisión del mensaje será del 0%.

La ventaja del uso de estos dos tipos de acceso al medio combinados consiste en que en el servicio de TDMA como se expone en el estado del arte es un modo de acceso al medio, por división en tiempo (división en slots de tiempo), de esta manera se puede garantizar la transmisión de información periódica de contenido limitado (por ejemplo, actualizaciones de posición, nivel de combustible, etc) mientras que por otro lado (CSMA) se puede mantener la capacidad de enviar grandes cantidades de datos puntuales (por ejemplo, grandes posiciones agregadas, archivos de texto, imágenes, correos electrónicos) a una velocidad de datos alta. Gracias a esta dualidad de acceso al medio se evita que se ocupe de manera innecesaria el canal para transmitir mensajes pequeños, además estos dos métodos pueden trabajar sin molestar entre sí, maximizando el rendimiento de la transmisión de datos.

En cuanto a las velocidades de transmisión de datos ofrecidas por la nueva forma de onda SUPERMUX dependen de la modulación utilizada, 4CP-FSK, 8CP-FSK y 8CPM, con lo que se alcanzan hasta 9600 bps.

Actualmente el único modo de transmisión de voz y datos simultáneos (IPMUX) tiene una capacidad de transmisión 4800 bps, esto supone para SUPERMUX una ventaja frente al anterior modo de trabajo, sin embargo, el uso de la transmisión máxima del sistema supone una reducción drástica del alcance, por esta razón para la consecución de la prueba de enlace se utilizará la velocidad de 4800 bps, ya que es la configuración más equilibrada entre velocidad de transmisión de datos y el alcance obtenido.



El sistema SUPERMUX, como se ha descrito anteriormente, al igual que el modo IPMUX es capaz de enviar a través del mismo canal tanto voz como datos. Para IPMUX debido a su modo de transmisión basado en TDMA, no es posible aprovechar los slots de tiempo pertenecientes a voz cuando ese servicio no se está usando. Por el contrario, SUPERMUX cuenta con la capacidad de que cuando no se esté usando el canal de voz, se pueda aprovechar este ancho de banda en desuso, para la transmisión de datos. De esta manera se puede aumentar la velocidad de transmisión de datos hasta en el doble, alcanzando 19200 bps máximos, Figura 3.

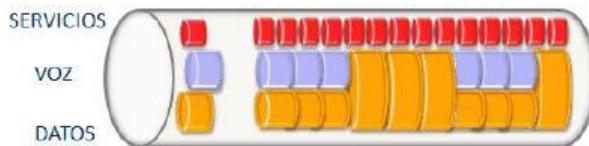


Figura 3 Nueva trama SUPERMUX (reutilización canal de voz). Fuente: Thales, 2019

Esta capacidad se ha de configurar en Constellation, de lo contrario no se reutilizará el canal de voz para la transmisión de datos.

Los dos aspectos a resaltar de esta capacidad son, la resistencia al *jamming*⁴ ya que es idéntica se use o no el canal de voz no utilizado (no aumenta la probabilidad de sufrirlo) y el mayor rendimiento del tráfico útil en la transmisión.

Otra de las características nuevas de SUPERMUX, es su administración del medio electromagnético para enviar la información.

Antes de entender adecuadamente como se realiza esta administración es necesario conocer los tipos de canales que existen en la radio, estos canales hacen referencia a un pequeño rango de frecuencias dentro de la VHF, por donde se enviará la información de una sola malla.

Según el manual (MADOC, 2016) la radio PR4G tiene un ancho de banda por cada canal de 25 kHz, lo que da la posibilidad poder utilizar hasta 2320 canales dentro del rango de trabajo de la radio (de 30 a 87,975 MHz).

En total se cuenta con 8 canales de radio, numerados del 0 al 6, más un canal denominado FFG, la diferencia principal entre cada canal es el uso de frecuencias en cada uno.

Los canales 1 y 2 contiene el plan de frecuencias de la malla principal. El canal 1 es el nominal y el canal 2 se emplea como reserva (contiene un plan de frecuencias complementario del canal 1, es decir no aplica COSITES ni COVEHICULOS⁵).

Los canales 3 y 4 contienen el plan de frecuencias de la malla secundaria, sus características y funcionamiento son iguales que los de los canales 1 y 2.

Los canales 5, 6 y 0 denominados pasarelas contienen un plan de frecuencias que será el mismo para una misma gestión, independientemente de cuáles sean las malla principal y secundarias que se hayan cargado. El canal FFG solo permite el modo trabajo analógico y, al igual que los canales 5, 6 y 0 se carga siempre con la misma frecuencia para todas las radios de una misma gestión. Estos canales no son relevantes para su uso por los modos de trabajo digitales IP.

⁴ Jamming: consiste en un ataque digital del tipo denegación de servicio, con el que se perturba la señal hasta que esta sea de ineficiente para la transmisión.

⁵ COSITES y COVEHICULOS: Consiste en un plan de frecuencias cuyo objetivo es evitar la interferencia mutua entre varios equipos radios que se encuentre en la misma malla y próximos geográficamente.



En cuanto a los canales restantes, según el manual (THALES, 2019) ,SUPERMUX realiza una administración diferente a la de los modos IPAP e IPMUX.

SUPERMUX divide el canal en cuatro partes, dos partes para servicios y voz respectivamente y las otras dos partes para la transmisión de datos, diferenciadas por el método de acceso al canal (TDMA y CSMA). Esto es posible gracias a los tres tipos de métodos de acceso al medio que soporta SUPERMUX.

Además de poder usar los dos métodos de acceso al medio (y combinarlos entre sí), SUPERMUX permite elegir la cantidad del canal otorgado a datos TDMA, y por ende el canal asignado a datos CSMA, a esta característica se le denomina TDMA estático.

Esta asignación de TDMA se puede realizar asignando un 0%, 25%, 50%, 75% y un 100% del canal total dedicado a datos, Figura 4. La relación de asignación del canal de TDMA estático debe de ser la misma en todos los nodos de la misma red de radio.

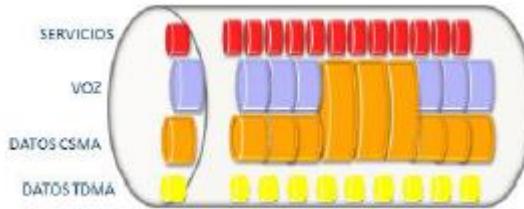


Figura 4 Nuevo canal SUPERMUX (25% Canal dedicado a TDMA). Fuente: Thales, 2019

Es necesario tener en cuenta que si la asignación de slots de TDMA al canal es del 100% no quedara ancho de banda para la transmisión de dato de CSMA incluso aunque no se esté usando el servicio de voz.

Este sistema proporciona un servicio de TDMA mucho más potente, pero uno de los inconvenientes del uso de TDMA es la reducción del ancho de banda total asignado a CSMA (método de acceso al medio de la información referente a la malla jerárquica) para la transmisión de datos puntuales.

Ambos servicios (TDMA estático y CSMA) se pueden usar a la vez en el canal, ya que se ejecutan independientemente el uno del otro.

En cuanto a la capacidad para establecer un relé, SUPERMUX es capaz de implementar un relé mono estación, que consiste en establecer un relé con solo un equipo radio, con la capacidad de realizar hasta tres saltos, para transmitir datos y voz.

Para la transmisión de datos, la radio emite mensajes HELLO que descubren la topología de red, estos mensajes son enviados de acuerdo al ciclo de TDMA, que se basa en las direcciones de enlace de los suscriptores radio, por lo que no existen colisiones.

Este mecanismo de descubrimiento de topología, permite que la radio encuentre al equipo emisor que se encuentra a uno, a dos o tres saltos, en definitiva, cada radio conoce la topología de red de hasta tres radios de distancia.



En cuanto a la transmisión de la voz, el relé mono estación, Figura 5, divide el canal de voz en dos partes, una parte recibe la voz y la otra parte emite las comunicaciones.



Figura 5 Salto posibles de SUPERMUX. Fuente: Elaboración propia.

Como se ha podido observar el sistema SUPERMUX aúna las mejores capacidades de los sistemas de transmisión usados actualmente. IPMUX para la transmisión voz y datos IP simultáneos a través de TDMA y el modo IPSAP para la transmisión de solo datos IP.

4.2 Entrevistas

Para la realización del presente trabajo se llevaron a cabo diversas entrevistas tanto al principal administrador de SUPERMUX como a los encargados del uso y explotación de las radios PR4G de varias unidades de la Brigada Galicia VII. Las preguntas realizadas en las entrevistas se encuentran en los Anexos I y II.

El objetivo de estas entrevistas fue conocer el modo de trabajo antes y después de la implantación de SUPERMUX, para así entender qué capacidades operativas, mejoras, carencias y debilidades tiene este sistema para el trabajo de la brigada.

La entrevista al administrador del sistema SUPERMUX fue realizada al Sargento Primero integrante de la sección técnica de la compañía de transmisiones, debido a que es el componente de la brigada que ha recibido más formación y tiene más experiencia en el sistema, desde su implementación en la brigada, además de ser el encargado de la gestión de Constellation en la BRILAT.

De la citada entrevista se sacaron diversas conclusiones. Las principales fortalezas del nuevo sistema fueron, por un lado, la robustez de la comunicación debido al uso de un nuevo Vocoder⁶ para la codificación de la información, permite mejorar la supervivencia del servicio y mantener la inteligibilidad en entornos de radio perturbados, además proporciona un mayor alcance debido a la propagación de la nueva forma de onda.

Por otro lado, cabe resaltar la facilidad para configurar un relé, gracias a la capacidad de relé mono estación en la que solo se necesita una radio para ejercer esta acción, además de que no es necesario introducir ningún parámetro en la radio por parte del usuario, más que configurar la radio a modo relé (*voice relé*).

Otra ventaja del sistema SUPERMUX es la capacidad para transmitir información a diferentes velocidades, aunque la velocidad máxima de transmisión sea de 9600 bps, el alcance se reduce considerablemente, si se compara con el alcance obtenido usado 4800 bps.

⁶ Vocoder: Dispositivo electrónico (hardware o software) que digitaliza la voz y reduce el tamaño de la información útil a transmitir, y el espacio que ha quedado libre al comprimir la información se utiliza para repetir la información que se transmite. Con esta tecnología se consigue que, aunque se produzcan errores en la transmisión de la información, al repetir varias veces dicha información, la señal se pueda recuperar sin demasiados errores en el otro extremo.



Con una velocidad de transmisión de datos de 4800 bps y basándose en la experiencia de la unidad se ha conseguido enlazar a 30 Km sin el uso de relés en lugares específicos, cosa que no ocurría con los antiguos sistemas donde sí que era necesario el uso de relés en posiciones dominantes y por ende más sensibles a las amenazas.

Otro beneficio, recaería en la capacidad de la transmisión a través del canal reservado para TDMA, ya que se consigue que se reduzca la latencia en los enlaces a larga distancia.

En cuanto a los aspectos negativos, debido a la nueva forma de onda usada es necesario ocupar un mayor ancho de banda, esta necesidad acarrea varios problemas, como la mayor facilidad para que en una zona geográfica limitada, en una maniobra con un espectro electromagnético autorizado también limitado, existan problemas de perturbaciones entre las mallas debido a la mayor facilidad de que se usen frecuencias solapadas.

Otro aspecto a tener en cuenta es que la necesidad de conocer tanto el programa de Constellation como del programa de explotación de SUPERMUX hace mucho más laborioso tanto el planeamiento como configuración de SUPERMUX.

En cuanto a las entrevistas con los usuarios del sistema, los entrevistados fueron el Teniente de artillería, jefe de la sección de operaciones, de la batería de plana mayor del grupo de artillería de campaña número VII, y el Sargento Primero de transmisiones jefe de la célula CIS del batallón de infantería Zamora.

De ambas entrevistas se sacaron conclusiones similares, el enlace más crítico de las citadas unidades en la Red Radio de Combate, es el que materializa el enlace de VHF a través del sistema SUPERMUX en la PR4G, se considera que el servicio principal y más crítico para este enlace es la voz, pero existe una tendencia al aumento de la transmisión de datos en vez del uso exclusivo de la voz.

El aspecto principal observado por los usuarios de SUPERMUX es su nuevo alcance, ya que, gracias a las distancias abarcables por el sistema, no se consideran a las radios como un limitante en el despliegue de la unidad, además de que se reduce drásticamente el número de relés necesarios.

A parte de voz, la transmisión de datos también es imprescindible debido a la necesidad del uso de programas para el mando y control de las unidades. Esta acción se realiza mediante los programas de Talos y BMS, en artillería e infantería respectivamente, se ha mostrado una mejoría en el funcionamiento de ambos sistemas gracias al uso de SUPERMUX.

Anteriormente en ambas unidades se trabajaba en modo SFR (salto de frecuencia), que proporcionaba una voz más clara, cosa bastante apreciada en infantería, pero se mostraba un peor sincronismo entre las radios, además de tener una configuración más tediosa a la hora de montar un relé, mientras que en Artillería, se usaba SFR, al no ser un modo IP era necesario el uso de un elemento externo denominado caja síncrona para la transmisión de Talos a través de la radio, otra cosa a resaltar es que se necesitaban dos radios para cada malla, una radio para voz y otra para datos ya que la radio con la caja síncrona conectada se quedaba reservada solamente para la emisión de datos.

Gracias a SUPERMUX en infantería se ha reducido drásticamente el problema de sincronismo de las radios, aunque en contra partida, los usuarios encuentran a la voz emitida más degradada (metálica) que con el sistema anterior, debido a los *vocoders* que usa SUPERMUX.

Respecto a artillería se ha observado una reducción de prácticamente el 50% de las radios necesarias para el despliegue del grupo, así como la eliminación de la dependencia de las cajas síncronas para la transmisión de Talos a través de la radio SUPERMUX.



Como principal carencia que los usuarios entrevistados vieron al sistema de estudio fue la incompatibilidad del sistema con sus programas de mando y control.

Así como BMS y SUPERMUX están medianamente compatibilizados debido a que ambos productos han sido desarrollados por la misma empresa, todavía no está totalmente optimizado el funcionamiento entre ambos sistemas, lo que hace el servicio de BMS fluctúe durante la maniobra.

En cuanto funcionamiento entre Talos y SUPERMUX, es bastante más complicado ya que al ser de diferentes empresas, Talos no está optimizado para ser transmitido a través de SUPERMUX, lo que hace necesario el uso de una configuración que no sería la propia de SUPERMUX, aun así, solo se podría transmitir una parte de las dos que conforman el programa Talos (Talos Técnico) mediante la configuración de red interna (LAN) en SUPERMUX.

4.3 Pruebas de Campo, Realización del enlace BRILAT - Parga

Con el objetivo de conocer el alcance máximo efectivo del sistema SUPERMUX, se realizarán una serie de pruebas de enlace, entre la base General Morillo, que se encuentra en el municipio de Figueirido en la provincia de Pontevedra y es la actual ubicación de la compañía de transmisiones del Batallón de Cuartel General de la Brigada "Galicia" VII (BRILAT), esta ubicación se enlazará con el CMT de Parga en la provincia de Lugo, ambas posiciones se separan unos 120 km Figura 6.



Figura 6 Posiciones a enlazar, escala 1:1000000. Fuente: Carta Digital, Elaboración propia.

Para la consecución de dicho enlace se usarán dos relés con el objetivo de comprobar la capacidad de SUPERMUX para realizar el multisalto de la información. Además, se dispondrá de un relé alternativo para el primer relé, con el objetivo de tener previsto el asentamiento en caso de tener que dar enlace en la zona al norte de Santiago de Compostela, debido a la gran cantidad de actividades que la BRILAT desarrolla en la zona.

El objetivo con la realización de este enlace será la transmisión de voz y datos a través del sistema SUPERMUX.



Para la transmisión de datos se usará el programa BMS (*Battlefield Manage System*), según (Ejército de Tierra, 2016) es el programa que usa el Ejército de Tierra para el manejo de las pequeñas unidades en operaciones. Este programa proporciona la ubicación en tiempo real de todas las unidades de la maniobra, así como la información táctica dibujada por cualquier usuario, lo que hace a BMS un sistema óptimo para el mando y control de las operaciones a nivel táctico. Es operado principalmente desde ordenadores o *tablets*, de ahora en adelante el conjunto de la radio y el dispositivo de explotación de BMS se denominará nodo.

En la pantalla de la aplicación se puede observar la ubicación de las unidades propias, esta ubicación es obtenida del dispositivo GPS que lleva conectada la radio, siempre y cuando la radio esté configurada como medio de uso de BMS (configuración propia de BMS).

La aplicación permite dibujar líneas de coordinación que se replicaran automáticamente a los demás nodos de BMS, además se puede señalizar amenazas como posiciones enemigas o campos de minas.

El beneficio del uso de SUPERMUX como medio de transmisión de datos para BMS consiste en que los datos como la ubicación de las unidades propias y las líneas de coordinación son replicadas a todos los nodos de la malla jerárquica, esta transmisión se realiza a través del ancho de banda de transmisión de datos (CSMA), ya que es información ordinaria que solo es de interés para los nodos de la malla, mientras que no lo serían, para todas las demás unidades de la maniobra.

Por otro lado, la información perteneciente a la posición de unidades enemigas o amenazas descubiertas por las unidades propias, se replicarían no solo a los nodos de la malla jerárquica sino a todos los nodos de la maniobra ya que esta información sí que es de interés para todas las unidades, esta transmisión de datos se realizaría a través del ancho de banda reservado a TDMA Figura 7.

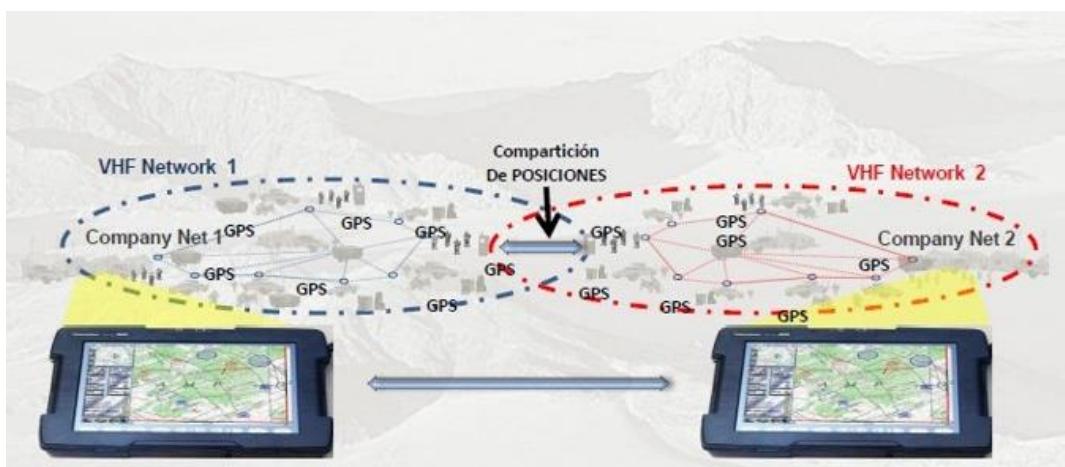


Figura 7 Compartición de información de BMS con SUPERMUX. Fuente: Thales, 2019.

Esta diferenciación en cuanto al envío de datos se debe a que cuando a BMS se le proporciona una radio SUPERMUX como medio de transmisión, se generan dos sub mallas, una para los nodos de la malla jerárquica (datos CSMA y voz) y otra para todos los nodos de la maniobra (TDMA).

Una vez analizado el sistema con el que se comprobará el enlace de datos en las pruebas, se describirán los medios e indicativos utilizados para la consecución de las pruebas de enlace.



Los indicativos de las posiciones a enlazar son, Azor para el puesto montado en la base General Morillo, Halcón para el puesto en el primer relé, Buitre para el puesto del segundo relé y Rayo para el puesto en el CMT Parga, además se establecerá un relé alternativo en las inmediaciones de Santiago de Compostela, Figura 8.



Figura 8 Especificación de indicativos, escala 1:100000. Fuente: Carta Digital, Elaboración propia.

Los medios usados para las pruebas a parte de las radios PR4G V3 (actualizadas a SUPERMUX) han sido una estación Soria, tres estaciones Mercurio, Figura 10, y dos antenas HC (Antenas Elevadas), Figura 9 9, cada una de las antenas se establecieron, una con la estación Soria en la base, en el puesto Azor y otra en el primer relé con una estación mercurio, en el puesto Halcón.



Figura 10 Estación Mercurio 2000 posicionada en Relé. Fuente: Elaboración propia.



Figura 9 Antena Elevada (HC). Fuente: Elaboración propia.

Las estaciones citadas anteriormente constan de varios servicios posibles, como se menciona en (DEFENSA.COM, 2016), la estación Soria cuenta con equipos radios con la capacidad de trabajar en el rango de HF (*High Frequency*), VHF, UHF (*Ultra High Frequency*) y enlace satélite en movimiento, además la estación permite la interconexión entre todos los posibles enlaces gracias al uso de un gestor de comunicaciones. En cuanto a la estación Mercurio, según (CAC Ruiz Ayala, 2020), la estación cuenta con equipos radio con la capacidad de trabajar en el rango de VHF (con 2 PR4G V3) y HF (con 1 equipo Harris). En lo que respecta a la consecución de las pruebas de enlace solo se aprovecharán los enlaces de VHF proporcionados por las radios PR4G V3 de las estaciones.



4.3.1 Elección de relés

El estudio del terreno para la elección de los relés se realizó con la herramienta de Carta Digital. La citada herramienta es un programa de información geográfica, desarrollado por el centro geográfico del ET con el objetivo de facilitar el manejo y trabajo de cartografía dentro del ET (Ejército de Tierra, 2013).

Observando el relieve del terreno a enlazar, se constató que las posiciones de los relés se deberían de situar en las dos agrupaciones montañosas mayoritarias que se encontraran entre los dos extremos del enlace.

El primero de los criterios que se siguieron para el emplazamiento de los relés, fue buscar un emplazamiento que no estuviera a más de 40 Km de los puntos a enlazar, Figura 11, ya que en un principio se quería probar esta distancia máxima entre los puntos extremos y el relé más cercano, además, esta es la distancia máxima de alcance (usando relés) de los demás sistemas de trabajo de la radio PR4G. De esta manera las posiciones seleccionadas serían también factible para su uso con estos sistemas.



Figura 11 Radio de 40 Km en las posiciones a enlazar, escala 1:100000. Fuente: Carta Digital, Elaboración propia.

Una vez delimitada la zona en donde se emplazarán los relés, se buscó una altura dominante para favorecer el enlace en la zona de cobertura, Figura 12. Debido a la altura de Azor (273 m) y Rayo (621 m), se aplicó una diferenciación de colores en el mapa según la altura del terreno, descartando todo el terreno que estuviera a menos de 700 metros de altura (en rojo).

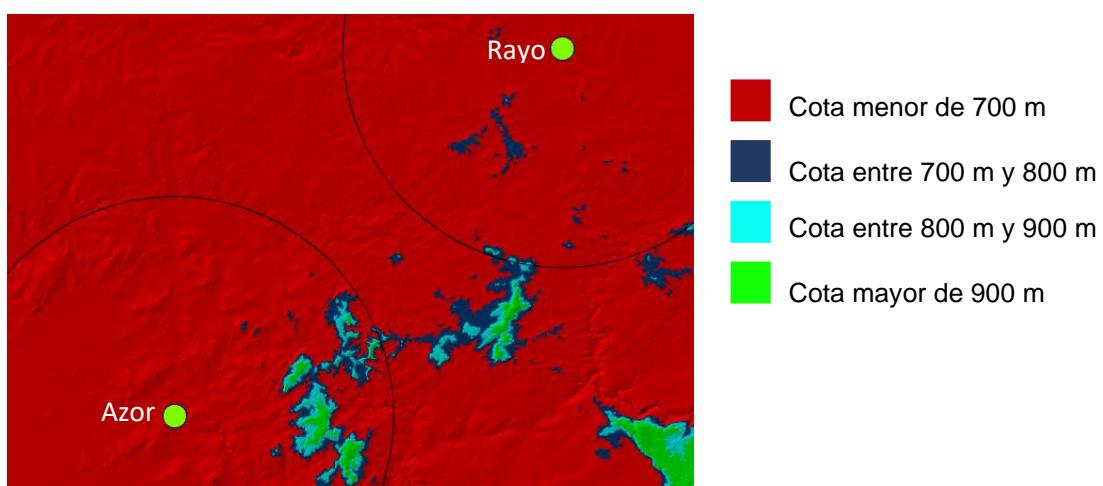


Figura 12 Diferencia de Cota, escala 1:100000. Fuente: Carta Digital, Elaboración propia.



Para la elección de cada relé se realizó un estudio más minucioso del terreno, basándose en los siguientes aspectos, la cercanía al radio de 40 Km, haber sido preseleccionada por su altura, cercanía a la línea directa entre los dos extremos y accesibilidad para vehículos. Una vez delimitada la zona, se observó el terreno mediante vista aérea.

Para el primer relé, Halcón, una vez delimitada la zona, Figura 13 mediante vista aérea se posición en las coordenadas, $42^{\circ} 35' 49.3''$ norte y $8^{\circ} 16' 14.7''$ oeste.

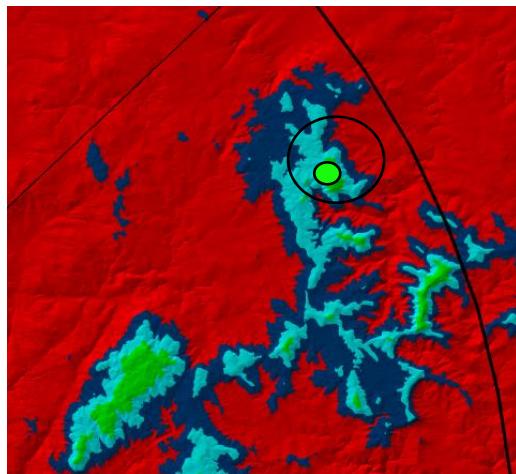


Figura 13 Zona delimitada de Halcón, escala 1:25000. Fuente: Carta Digital, Elaboración propia.

Para el segundo relé, Buitre, se siguió el mismo procedimiento que para Halcón, la zona delimitada no fue la más óptima puesto que las posiciones dominantes no eran accesibles por vehículo, o no eran de dominio público (Figura 14). Finalmente, Buitre se posicionó en las coordenadas, $43^{\circ} 02' 30.2''$ norte $7^{\circ} 55' 45.9''$ oeste.

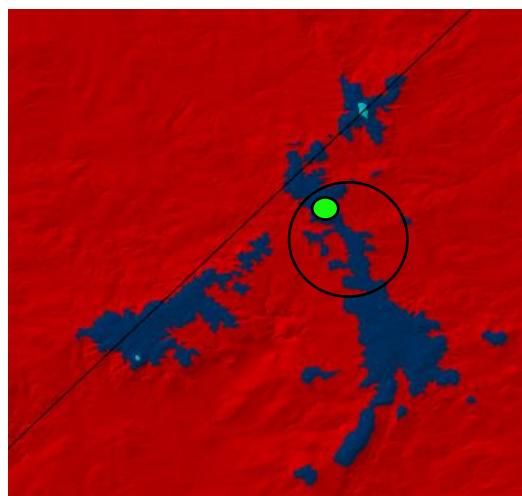


Figura 14 Zona delimitada de Buitre, escala 1:25000. Fuente: Carta Digital, Elaboración propia.



Para el posicionamiento del relé alternativo de Santiago de Compostela, se buscó una zona elevada desde donde se pudiera dar enlace a la ciudad, una vez delimitada la zona, Figura 15, se realizó un estudio mediante vista aérea, con el objetivo de reconocer posibles asentamientos, accesibles para los vehículos y de dominio público, finalmente el relé se posicionó en las coordenadas, $42^{\circ} 57' 29.3''$ norte, $8^{\circ} 35' 25.3''$ oeste.

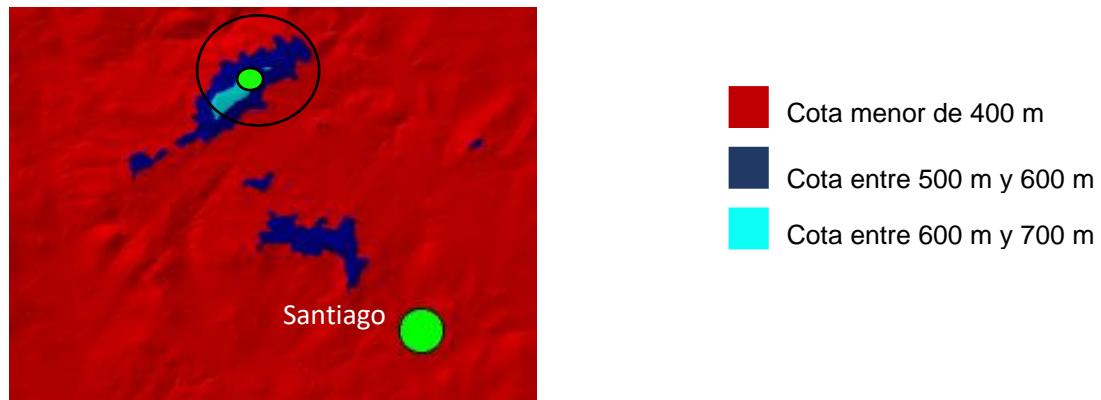


Figura 15 Zona delimitada Santiago, escala 1:25000. Fuente: Carta Digital, Elaboración propia.

Finalmente, el despliegue realizado para la consecución del enlace sería el siguiente, ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..

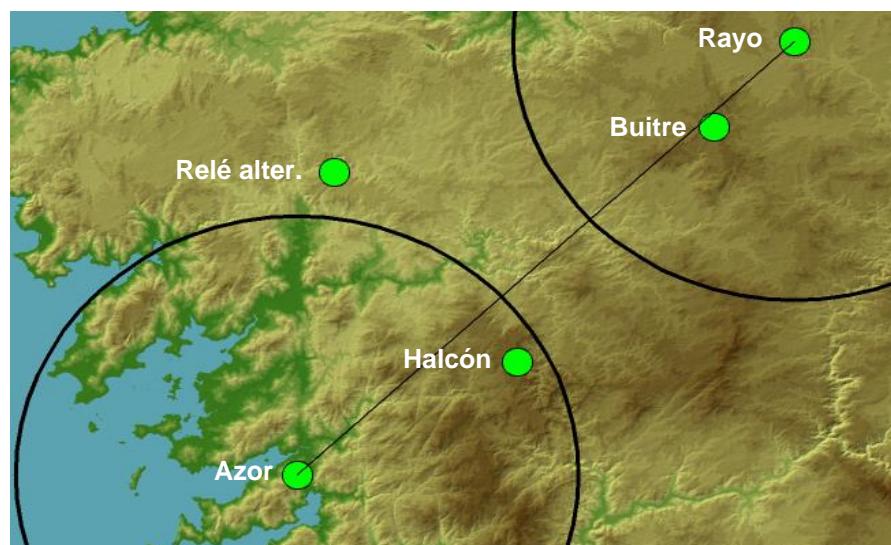


Figura 16 Despliegue final, escala 1:100000. Fuente: Carta Digital, Elaboración propia



4.3.2 Configuración de las radios

Para la realización del enlace se utilizarán cuatro radios, dos de ellas se considerarán nodos, uno se encontrará en la base General Morillo en Pontevedra y el otro nodo se encontrará en CMT de Parga. Cada nodo dispondrá de un ordenador conectado a la radio en donde se podrán consultar los datos emitidos, como se ha descrito se usará el programa de BMS para la transmisión de datos. Además, se utilizará el comando Ping para comprobar la conectividad a nivel de red de datos, durante el despliegue de los relés y el posicionamiento inicial.

Se llevarán ordenadores a los relés, únicamente para comprobar que la información pasa por dichos relés. El organigrama de las radios y ordenadores, así como la malla y red utilizada para la maniobra, son descritas en la [¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..](#)



Figura 17 Organización del enlace. Fuente: Elaboración propia.

Para esta prueba se ha configurado que el ancho de canal de datos se divida al 50% para la transmisión de datos CSMA y el otro 50% para la transmisión de TDMA y como se describió se usará 4800 bps como velocidad de transmisión.



4.3.3 Cuaderno de campo

El formato de las tablas que se usará para la exposición de los resultados de las pruebas, consiste, en la fila superior, se muestra la estación que realiza la prueba de enlace (emite, variando la potencia) y la antena usada, mientras que en la columna de la izquierda se muestra la estación receptora “escucha” del enlace (esta estación se encuentra a potencia máxima para recibir la prueba del enlace), además en la columna se muestra, la potencia usada por la estación que realiza la prueba (la que indica la fila superior).

La terminología usada para las potencias de emisión, se basa en tres modos de emisión, potencia máxima, denominado POT 3, potencia media, denominado POT 2 y potencia mínima, denominado POT 1.

A continuación, se describirán las actividades realizadas en la semana del 20 al 23 de septiembre para la consecución de las pruebas del enlace descrito.

20 de septiembre: Se realiza el enlace entre Azor en la base y Halcón en el 1º relé. Como se puede observar en el perfil del terreno a enlazar es el siguiente, ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., se respeta la condición básica de visión directa para el enlace de VHF.

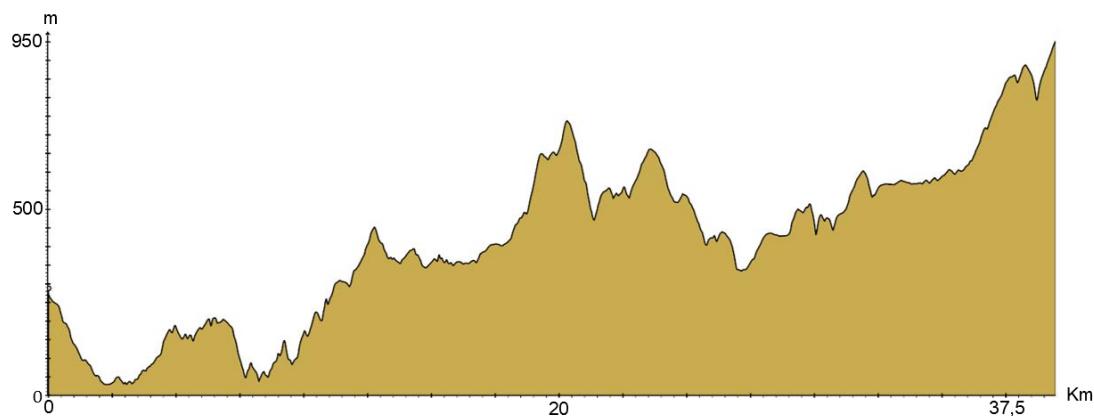


Figura 18 Perfil Azor-Halcón. Fuente: Carta Digital, Elaboración propia.

Azor está en base a una estación Soria en donde se despliega la antena elevada, e inicialmente se emite a máxima potencia.

Halcón está en base a una estación Mercurio, se despliega la antena vehicular durante el trayecto desde la base hasta la posición del primer relé. En esta ocasión Halcón contará con un portátil para controlar el enlace por datos, que en esta prueba consistirá en el uso del comando ping.



El objetivo de esta prueba es comprobar que el enlace es posible entre los dos puntos, a una distancia de 39,6 km. Además, se comprueba periódicamente que existe enlace tanto por voz como por datos. En cuanto a las condiciones meteorológicas no hubo nada reseñable en toda la mañana. Una vez que la estación Halcón tomó la posición se llevaron a cabo las pruebas de enlace, tanto de voz, Tabla 1, como de datos Tabla 2.

Tabla 1 Enlace por voz AZOR-HALCÓN.

Enlace por voz		
Descripción de prueba	AZOR (HC)	HALCÓN (VEHIC)
AZOR POT 3		✓
AZOR POT 2		✓
AZOR POT 1		✗
HALCÓN POT 3	✓	
HALCÓN POT 2	✓	
HALCÓN POT 1	✓	

Tabla 2 Enlace por datos AZOR-HALCÓN.

Enlace por datos		
Descripción de prueba	AZOR (HC)	HALCÓN (VEHIC)
AZOR POT 3		✓
AZOR POT 2		✓
AZOR POT 1		✗
HALCÓN POT 3	✓	
HALCÓN POT 2	✓	
HALCÓN POT 1	✓ (con pérdidas)	

A la vista de los resultados se puede apreciar la calidad del enlace en el que el único problema existe cuando se emite a potencia mínima, la estación Halcón no puede enlazar correctamente con la estación Azor, no existe enlace por voz y por datos no llegan todos los paquetes enviados.



22 de septiembre: Se realiza el enlace entre Azor (Base), Halcón (1º Relé) y Buitre (2º Relé). El perfil del terreno a enlazar es el siguiente, ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. se comprueba el enlace de visión directa entre los tres nodos del enlace.

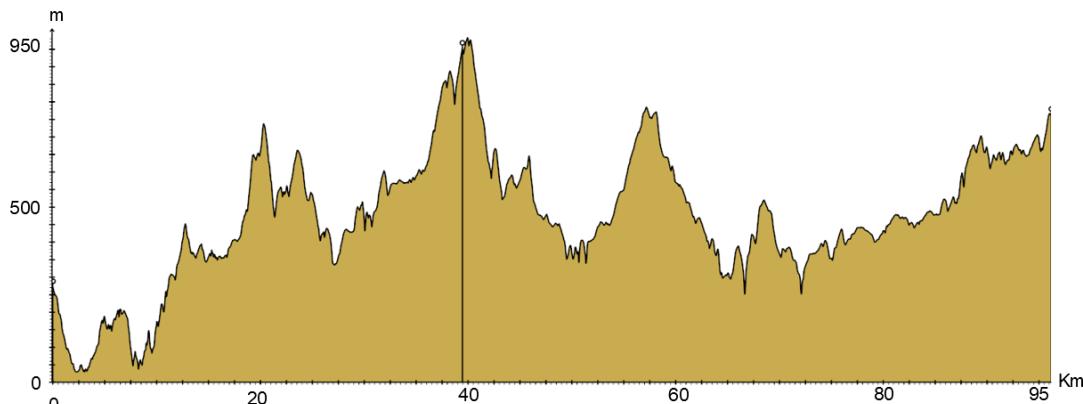


Figura 19 Perfil Azor-Buitre. Fuente: Carta Digital, Elaboración propia.

Tanto Azor como Halcón mantienen la misma configuración que el enlace anterior, Buitre se encuentra en base a una estación mercurio. Durante toda la prueba de enlace, Buitre usará la antena vehicular y un ordenador para comprobar el enlace por datos.

El objetivo de esta prueba es comprobar el enlace entre los dos puntos a una distancia de 96,2 kilómetros (con el uso de un relé), cabe destacar que entre Halcón y Buitre hay 56,6 kilómetros.

Además, durante la jornada se comprobó el asentamiento alternativo en las inmediaciones de Santiago de Compostela.

Las condiciones meteorológicas fueron favorables, el cielo estuvo despejado durante toda la mañana. En la posición de Buitre había molinos de viento cerca, cosa que no afectó a la consecución de las pruebas.

En el trayecto cada estación emitía en potencia máxima con la antena vehicular. Halcón enlazaba por voz y Buitre por voz y datos.

Una vez en posición Halcón estableció la antena elevada, y Buitre continuó usando la antena vehicular. Realizado esto, se empezaron las pruebas de enlace, tanto por voz, Tabla 3, como por datos, Tabla 4.

Tabla 3 Enlace por voz AZOR-HALCÓN-BUITRE.

Enlace por voz			
Descripción de prueba Enlace con:	AZOR (HC)	HALCÓN (HC)	BUITRE (VEHIC)
AZOR POT 3		✓	✓
AZOR POT 2		✓	✓
AZOR POT 1		✓	✗
HALCÓN POT 3	✓		✓
HALCÓN POT 2	✓		✓
HALCÓN POT 1	✓		✗
BUITRE POT 3	✓	✓	
BUITRE POT 2	✓	✓	
BUITRE POT 1	✗	✗	



Tabla 4 Enlace por datos AZOR-BUITRE.

Enlace por datos		
Descripción de prueba Ping con:	AZOR (HC)	BUITRE (VEHIC)
AZOR POT 3		✓
AZOR POT 2		✓
AZOR POT 1		✗
BUITRE POT 3	✓	
BUITRE POT 2	✓	
BUITRE POT 1	✗	

A la vista de los resultados se puede observar que el enlace por voz es factible a potencia media y alta, a potencia baja, Buitre no tiene la capacidad para enlazar con los otros dos puestos, posiblemente debido a que Buitre es el único de los tres nodos que usa antena vehicular.

En cuanto a las pruebas del enlace por datos, se realizaron entre los puestos Azor y Buitre, ya que Halcón no contaba con ordenador para no falsear los resultados de las pruebas, se quiso comprobar la capacidad de SUPERMUX para enrutar la información.

Una vez realizadas las pruebas en el 2º relé, la estación Buitre se dirigió hacia la posición alternativa en las inmediaciones de Santiago de Compostela.

Una vez en posición se realizaron dos pruebas, en la primera se usó al relé Halcón como repetidor de la señal, con una distancia acumulada de 85,7 Km, debido al resultado satisfactorio, se realizó la segunda prueba de enlace directo entre Azor y Rayo a una distancia de 63.7 Km. Ambas pruebas se realizaron emitiendo a máxima potencia.

Se llegó a la conclusión de que no fue la posición más óptima para el enlace. Solo se pudo enlazar por voz a potencia máxima. Debido a estos resultados se vio la necesidad de reconocer mejor el terreno para encontrar un lugar del que se pudiera mejorar el enlace, esto fue un cometido implícito para el día siguiente.



23 de septiembre: Se realiza el enlace entre Azor, Halcón, Buitre y Rayo (CMT de Parga). Inicialmente se pensó que serían necesarios dos relés para enlazar Azor con Rayo, pero durante el desarrollo del ejercicio se comprobó que Rayo era capaz de enlazar con Halcón sin pasar por Buitre, a la vista de esta situación se decidió no usar el relé Buitre y realizar las pruebas de enlace con solo un relé entre los dos extremos. Por ende y a pesar del estudio del terreno realizado y material desplegado se consideró oportuno la realización del enlace entre Azor, Halcón y Rayo.

A diferencia de los días anteriores las pruebas de enlace de datos se realizaron tanto con el comando ping como con el uso del sistema BMS, con el objetivo de comprobar la interoperabilidad entre los dos sistemas (BMS-SUPERMUX), esta interoperabilidad ya ha sido comprobada por la unidad, puesto que actualmente BMS ya está siendo transmitido a través de SUPERMUX, pero hasta la fecha no se ha comprobado a esta distancia.

El perfil del terreno a enlazar es el siguiente, Figura 20, se puede apreciar la línea de visión directa entre los tres nodos que conforman el enlace.

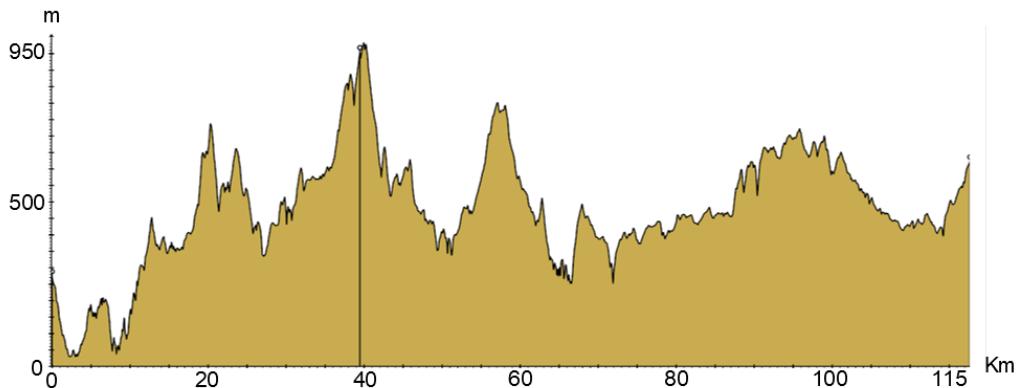


Figura 20 Perfil Azor-Ray. Fuente: Carta Digital, Elaboración propia.

La configuración de los puestos fue la misma que la de los días anteriores, Azor en base a Soria y Halcón y Rayo en base a Mercurio. En este enlace solo tenían ordenador, Azor y Rayo, para comprobar que se tenía enlace de datos entre los extremos.

El objetivo principal de esta prueba era comprobar la posibilidad de enlazar las posiciones de Azor y Rayo que estaba separadas por 117,6 Km. Como objetivo secundario se contaba con la mejora del enlace directo entre Azor y la posición alternativa en Santiago de Compostela.

Respecto a las condiciones meteorológicas no ocurrió nada reseñable, puesto que el cielo estuvo despejado durante todo el día, en todas las posiciones.

Como en los días anteriores se comprobó enlace de voz y datos durante el trayecto. Una vez en posición se comprobó la capacidad del enlace con antena vehicular en todas las estaciones, con el objetivo de simular el despliegue de una pequeña unidad, como pudiera ser un grupo táctico de entidad Batallón.



Con esta configuración, inicialmente se comprobó el enlace por voz, Tabla 5.

Tabla 5 Enlace por voz, solo antena vehicular, AZOR-HALCÓN-RAYO.

Enlace por voz			
Descripción de prueba Enlace con:	AZOR (VEHIC)	HALCÓN (VEHIC)	RAYO (VEHIC)
AZOR POT 3		✓	✗
AZOR POT 2		✓	✗
AZOR POT 1		✗	✗
HALCÓN POT 3	✓		✓
HALCÓN POT 2	✓		✓
HALCÓN POT 1	✗		✗
RAYO POT 3	✗	✓	
RAYO POT 2	✗	✓	
RAYO POT 1	✗	✗	

Como se puede observar, tanto Azor como Rayo no tenían enlace con el otro extremo y solo lo tenían con Halcón, para realizar estos enlaces era necesario usar al menos la potencia media de emisión.

Durante las pruebas de voz, se realizó la prueba del enlace de datos mediante el comando ping, el cual no fue satisfactorio en ningún momento, ante esta situación se consideró innecesario probar el sistema BMS ya que se necesita un enlace más estable para transmitir la información.

A la vista de los resultados se creyó conveniente cambiar la antena en la posición de Azor, de vehicular a antena HC, para así mejorar la calidad de enlace.

El objetivo de esta prueba, además de mejorar el enlace, era la simulación del despliegue necesario para la materialización del enlace entre el puesto de mando de Brigada con un puesto de mando de Batallón, en el que solo sería necesario el uso de un relé. Los resultados de las pruebas de voz fueron los siguientes, Tabla 6

Tabla 6 Enlace por voz AZOR(HC)-HALCÓN-RAYO.

Enlace por voz			
Descripción de prueba Enlace con:	AZOR (HC)	HALCÓN (VEHIC)	RAYO (VEHIC)
AZOR POT 3		✓	✓
AZOR POT 2		✓	✓
AZOR POT 1		✗	✗
HALCÓN POT 3	✓		✓
HALCÓN POT 2	✓		✓
HALCÓN POT 1	✓		✗
RAYO POT 3	✓	✓	
RAYO POT 2	✓	✓	
RAYO POT 1	✗	✗	



Como se puede observar, en este caso se ha mejorado la calidad de enlace entre los dos extremos, ya que Azor es capaz de enlazar por voz con Rayo. Cabe destacar que a mínima potencia Azor es capaz de enlazar con Halcón, pero no con Rayo, esto se debe a que el sistema SUPERMUX elimina todos los paquetes con más de un 30% de errores, por esa razón los paquetes que envía Azor a la malla de voz, llegan a Halcón, pero cuando los paquetes son remitidos a Rayo llegan con demasiados fallos como para que SUPERMUX (en Rayo) los considere válidos.

En cuanto al enlace de datos se observó que la transmisión de ping era muy inestable y no se mantenía en el tiempo, por esta razón se concretó que no sería factible el uso de este enlace por BMS.

A la vista de estos resultados se consideró necesario cambiar la antena de Halcón de vehicular a elevada (HC), quedándose solo Rayo con antena vehicular, Tabla 7

Tabla 7 Enlace por voz, AZOR(HC)-HALCÓN(HC)-RAYO.

Enlace por voz			
Descripción de prueba Enlace con:	AZOR (HC)	HALCÓN (HC)	RAYO (VEHIC)
AZOR POT 3		✓	✓
AZOR POT 2		✓	✓
AZOR POT 1		✓	✗
HALCÓN POT 3	✓		✓
HALCÓN POT 2	✓		✓
HALCÓN POT 1	✓		✗
RAYO POT 3	✓	✓	
RAYO POT 2	✓	✓	
RAYO POT 1	✗	✓	

Como se puede observar el enlace por voz es prácticamente completo entre todos los puestos, a excepción de Rayo cuando usa potencia mínima, hay que resaltar que es el único puesto donde se tiene antena vehicular y se encuentra a 78,7 Km del relé Halcón.



En cuanto al enlace por datos, inicialmente se usó el comando ping para comprobar la conectividad a nivel de enlace de red, realizado estas comprobaciones se observó una mejoría en la calidad del enlace, por lo que se procedió a la prueba de la capacidad del uso de BMS través de SUPERMUX, Tabla 8

Tabla 8 Enlace por datos AZOR-RAYO.

Enlace por datos		
Descripción de prueba	AZOR	RAYO
PING AZOR POT 3		✓
PING AZOR POT 2		✓
PING AZOR POT 1		✗
PING RAYO POT 3	✓	
PING RAYO POT 2	✓	
PING RAYO POT 1	✓	
BMS LEVANTA SUPERMUX	✓	✓
BMS LEVANTA TDMA	✓	✓
CONECTIVIDAD SUPERMUX	✗	✗
CONECTIVIDAD TDMA	✗	✗
POSICIÓN GPS PROPIA	✓	✓
POSICIÓN GPS AZOR		✗
POSICIÓN GPS RAYO	✗	
UNIDADES ENEIGAS	✗	✗
ALARMAS	✗	✗
OBJETOS TÁCTICOS	✗	✗
MENSAJERIA	✗	✗

Se puede observar que existía ping entre los dos puestos, pero había demasiada latencia⁷, en torno a 15000 ms, la cual puede ser la razón por la que BMS no pudiera transmitir los paquetes de datos de un punto a otro.

⁷ Latencia: Hace referencia al tiempo en ms, que tarda un paquete desde que es enviado desde el origen hasta que llega al destino.



Aun así, se comprobó que BMS es capaz de usar la radio con el sistema SUPERMUX para transmitir los datos, es decir que el enlace entre el nodo (ordenador BMS) y la radio era satisfactorio. Como se puede ver en la Figura 21, se observa que BMS es capaz de mandar datos a la malla jerárquica, y a la de TDMA. Además de que se muestra la posición del nodo propio, es este caso sería la posición georreferenciada (no se contaba con cartografía de la zona en BMS) de Azor.

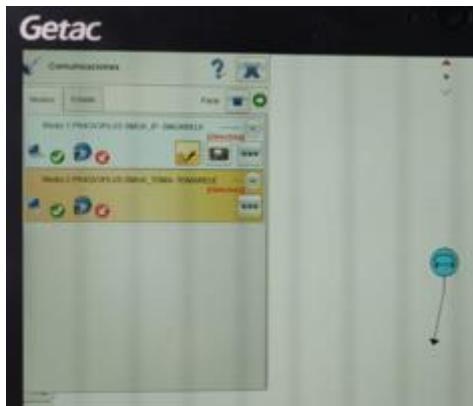


Figura 21 Tablet BMS Azor. Fuente: Elaboración propia.

Lo que no se pudo comprobar fue la conectividad entre los dos nodos, ya que no se pudieron observar las posiciones del otro nodo, además, no se pudieron transmitir mensajes o dibujar objetos tácticos y que estos fueran replicados a todos los nodos de la maniobra (en este caso 2).

Realizadas las pruebas se llegaron a varias conclusiones. La principal sería que con el uso de un relé se alcanzó la distancia de 120 Km, esto significa que con la ubicación adecuada para los dos relés que soporta SUPERMUX el alcance máximo superaría ampliamente los 120 Km de distancia.

Otro aspecto a resaltar es que, durante el trayecto hasta las ubicaciones de los puestos, se llegaba a enlazar tanto por voz como por datos, es decir que los vehículos en movimiento (autovía) eran capaces de estar enlazados con la base.

Por otro lado, aunque este nuevo sistema tenga un mayor alcance que los anteriores, sigue teniendo un ancho de banda limitado, incluso usando la parte del canal dedicado a voz, el sistema muestra transmisiones de datos con alta latencia a largas distancias, lo que hace que los sistemas de mando y control como BMS o TALOS no puedan trabajar correctamente, ya que los citados sistemas necesitan un gran ancho de banda para enviar todos los datos con los que trabajan.



Una vez se realizaron las pruebas de enlace entre las posiciones descritas anteriormente, tanto Halcón como Buitre se replegaron a la base, Rayo se dirigió a la zona del relé alternativo al norte de la localidad de Santiago de Compostela, el citado punto se encuentra a 65 Km de la Base General Morillo en Pontevedra.

El objetivo para aquel día fue el de encontrar un asentamiento con el que mejorar la calidad del enlace realizado el día anterior. El perfil del terreno a enlazar fue el siguiente, Figura 22, como en los demás enlaces se sigue manteniendo la línea de visión directa entre los dos nodos.

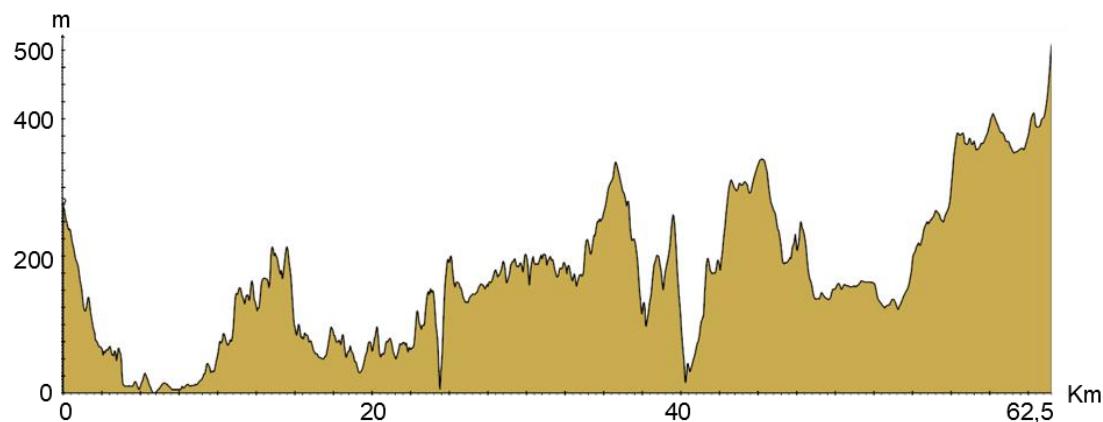


Figura 22 Perfil Azor-Santiago Fuente: Carta Digital, Elaboración propia.

Una vez que Rayo buscó el asentamiento para la realización de la prueba, se obtuvieron resultados similares a los anteriores (en el día) es decir, se enlazó por voz y por datos, pero el enlace de datos, solo se pudo efectuar mediante el comando ping, el cual presentaba bastante latencia, del orden de 12000 ms.



4.4 Análisis DAFO

Con el presente análisis se concretarán cuáles son los aspectos más reseñables del sistema SUPERMUX tanto internos (Debilidades y Fortalezas) como externos (Amenazas y Debilidades).

En cuanto a los aspectos internos que dependen del propio funcionamiento del sistema nos encontraríamos con las siguientes debilidades y fortalezas.

Dentro de las debilidades hay que considerar que el ancho de banda con el que trabaja SUPERMUX es similar al proporcionado por los antiguos sistemas, lo que supone que se sigue sin soportar plenamente la transmisión de toda la información que generan los programas que explotan la radio, sobre todo cuando existe una latencia elevada. Otros aspectos a resaltar serían la incompatibilidad total o parcial con los programas de mando y control del ET como son BMS y Talos y la necesidad de la actualización de los equipos para que puedan trabajar con SUPERMUX.

En lo que respecta a las fortalezas, representan las grandes ventajas de SUPERMUX, sobre todo en el alcance obtenido ya que, tanto para voz como para datos, este alcance es bastante superior al conseguido por los sistemas anteriores, así como la capacidad de aumentar al doble el ancho de banda cuando no se esté usando el canal de voz. Otras de las características serían la capacidad para enviar tanto voz como datos por la misma malla.

Uno de los aspectos más reseñables por los usuarios ha sido la alta supervivencia del método de sincronismo utilizado por SUPERMUX, ya que, gracias al sistema de sincronización a través del GPS conectado a la radio, se reduce la dependencia del enlace de las radios subordinadas con la radio directora principal o secundaria.

Realizando el estudio externo del sistema, se tratarán tanto las amenazas como oportunidades.

En cuanto a las amenazas, es de mención que debido al ancho de banda que usa SUPERMUX para su funcionamiento, existe una mayor facilidad para realizar actividades de denegación de servicio, sobre todo cuando no se cuenta con un gran rango del espectro electromagnético para realizar la asignación de frecuencias de las mallas en una zona geográfica pequeña, ya que si en un rango de espectro menor, deben trabajar mallas que requiere mayor espectro, existe mayor probabilidad de que si perturba una frecuencia del rango en cuestión, se perturbe alguna malla, además de que es probable que incluso las propias mallas se perturben mutuamente.

Otro aspecto a tener en cuenta del sistema SUPERMUX es que, al llevar relativamente poco tiempo en las unidades, el personal encargado de su explotación, no tiene la formación necesaria, lo que acrecienta la resistencia al cambio en su uso.

Como último punto de este análisis, dentro de las oportunidades de SUPERMUX, es el sistema con mayor alcance tanto de voz como de datos hasta la fecha, lo que reduce y simplifica el empleo de relés, en los que solo es necesario una radio para retransmitir la información, aparte de que la citada radio podría entrar en malla si fuera necesario, esto hace al sistema muy atractivo a la hora de planear el despliegue de enlaces de las unidades, puesto que no es necesario tener en cuenta la limitación del alcance en la Red Radio de Combate en el rango de frecuencias de VHF.



5. CONCLUSIONES

A raíz de las pruebas de enlace, entrevistas e investigaciones realizadas en el presente trabajo se han obtenido las siguientes conclusiones.

En cuanto a los aspectos positivos del sistema SUPERMUX, principalmente habría que destacar el alcance obtenido durante las pruebas de enlace, en el que se llegaron a enlazar dos posiciones separadas 117 Km, mediante un enlace VHF, con el uso de un solo relé, las dos posiciones se enlazaron por voz y se estableció el enlace de datos a nivel de red. Este alcance supera ampliamente al alcance teórico máximo de 60 Km en condiciones ideales, proporcionado por los anteriores sistemas.

Cabe destacar que el alcance de SUPERMUX, previsiblemente sea superior a la distancia alcanzada en las pruebas realizadas, puesto que el sistema admite hasta dos relés para transmitir la información, debido a esta capacidad y que durante el desarrollo de las pruebas se comprobó que era suficiente el uso de un relé para el establecimiento del enlace, seguramente utilizando posiciones dominantes para el establecimiento de los dos relés admisibles, el sistema SUPERMUX pueda enlazar dos posiciones separadas más de 117 Km.

Otros de los aspectos más relevantes del sistema y que más beneficios han reportado a las unidades son, por un lado, la facilidad para el establecimiento de relés, debido a la reducción de medios y configuraciones necesarias para establecerlos y por otro lado, la facilidad para obtener la sincronización a través del GPS de la radio, evitando la dependencia de las radios subordinadas del enlace con las radios directoras para obtener la sincronización, este último aspecto se presentaba como crítico en los anteriores sistemas predecesores de SUPERMUX.

En cuanto a los aspectos negativos del sistema, se ha detectado que, aunque con el aumento del ancho de banda proporcionado por la reutilización del canal de voz en desuso, este sigue siendo insuficiente para poder trabajar plenamente con los programas para el mando y control como BMS y Talos, debido al gran ancho de banda necesario por estos sistemas.

Otro aspecto a resaltar es la falta optimización entre SUPERMUX y los programas que lo explotan, así como BMS al ser de la misma empresa desarrolladora que SUPERMUX, están compatibilizados, a largas distancias no funciona correctamente, previsiblemente por la latencia en el enlace y por el ancho de banda necesario por BMS. En cuanto a la compatibilidad del sistema Talos con SUPERMUX, a día de hoy ambos sistemas no están compatibilizados, lo que hace que no se puedan explotar todas las capacidades de Talos a través de SUPERMUX, la solución recaería en la comunicación entre las dos empresas desarrolladoras para la implementación de ambos programas entre sí.

Un aspecto bastante crucial observado en las unidades es la falta de formación del personal en este sistema, debido a la reciente implementación de SUPERMUX en las brigadas y a la ausencia de cursos y manuales tanto de SUPERMUX y Constellation como de BMS y Talos, lo que desemboca en una pérdida de recursos y tiempo destinados a la configuración de los sistemas sin un conocimiento adecuado previo.

Como líneas de acción, es previsible que el alcance máximo en voz del sistema SUPERMUX sea mayor al conseguido en el presente trabajo, debido a la posibilidad que se ofrece para el establecimiento de hasta dos relés. Otro aspecto a resaltar es que la capacidad de transmisión tanto de voz como de datos, permite la reducción de radios necesarias para los despliegues de las unidades, especialmente en el grupo de artillería en donde se ha reducido un 50% las radios necesarias debido a que hasta la implantación de SUPERMUX eran necesarias una radio de voz y otra de datos para dar servicio a la misma malla.



6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAC Ruiz Ayala, C. (2020). *Diseño y análisis de un Centro de Transmisiones táctico de una Brigada*. Trabajo Fin de Grado, Universidad de Zaragoza.
- CAC. González Casado, A. (2019). *Estudio e implantación del vehículo PCBON MC-3 como PC UAF/FSE de Grupo de Combate en la Brigada experiemntal 2035*. Trabajo Fin de Grado, Universidad de Zaragoza.
- DEFENSA.COM. (2016). "La estación SORIA mejora las capacidades del puesto de mando móvil del Mando Componente Terrestre de la OTAN". DEFENSA. 28 de noviembre, disponible en: <https://www.defensa.com/espana/estacion-vehicular-soria-mejora-capacidades-puesto-mando-movil> [Consultado 07-10-2021]
- Ejército de Tierra. (2013). *La Carta Digital tiende la mano al usuario*.3 de abril. Disponible en: <https://ejercito.defensa.gob.es/noticias/2013/04/2263.html> [Consultado 7-10-2021]
- Ejército de Tierra. (2016). *El BMS se extiende entre los batallones de carros*. 22 de diciembre. Disponible en: https://ejercito.defensa.gob.es/noticias/2016/12/5693_bms_en_batallones_de_carros.html [Consultado 20-10-2021]
- Kurose, J., y Ross, K. (2017). *Redes de Computadoras. Un enfoque descendente*. Pearson.
- Mando de Adiestramiento y Doctrina (2016). *Radiotelefono PR4G V3*. Granada: MADOC.
- Ortín, J. (2020)." Redes Lan". En: Ortín, J. (Coord.). *Redes y servicios de Comunicaciones*. Zaragoza: CUD.
- THALES. (2018). *Manual de operación y manteimiento del RT-9210*. Informe Interno.
- THALES. (2019). *PR4G V3S. NUEVAS FUNCIONALIDADES FORMA DE ONDA SUPERMUX*. Informe interno.
- THALES. (2021). *PR4G F@stnet*. Recuperado el 7 de 10 de 2021, de <https://www.thalesgroup.com/es/pr4g-fstnet>



ANEXOS

Anexo I

Entrevista al administrador de SUPERMUX

- 1º ¿Cuál sería la principal fortaleza del sistema SUPERMUX?
- 2º Riesgos que afecten al correcto funcionamiento del sistema
- 3º ¿Cuáles serían las debilidades del sistema?
- 4º ¿Qué posibles amenazas podría tener el sistema?
- 5º Cuales son las principales ventajas de SUPERMUX frente a los antiguos sistemas
- 6º Cuál es la principal dificultad en la configuración de SUPERMUX (Constellation) frente a CGES. Parámetros más importantes a tener en cuenta en Constellation.
- 7º Cuál es la velocidad optima de transmisión de datos
- 8º Cuál es la velocidad de datos cuando no se esté usando el canal de voz.
- 9º Que mejoras implementaría en SUPERMUX
- 10º En su opinión y basado en su experiencia que impactos tiene SUPERMUX en los despliegues a nivel brigada y que cambios se podrían realizar con el uso de este nuevo sistema.

Anexo II

Entrevista usuario de SUPERMUX

- 1º ¿Qué tipo de enlace es usado mayoritariamente para la conducción de las operaciones?
- 2º ¿Qué servicios son usados para el mando y control táctico del batallón?
- 3º ¿Cuál es la distancia ideal de despliegue del batallón? ¿Cuál diría que podría ser el enlace de mayor distancia en su despliegue?
- 4º ¿El alcance de la radio supone un limitante en el despliegue de la unidad? ¿Esta limitación se considera como la principal?
- 5º Principales carencias de los sistemas radio usados anteriormente.
- 6º Qué ventaja considera que tiene SUPERMUX frente a los demás sistemas.
- 7º Qué carencias ha detectados de SUPERMUX.
- 8º Que se debería de mejorar en SUPERMUX, a parte de las carencias, que características (aun mejores de los antiguos sistemas) se deberían de mejorar más.
- 9º ¿Supone alguna dificultad del empleo de SUPERMUX por parte de los usuarios?
- 10º ¿Tienen algún tipo de problema de compatibilidad entre su programa de mando y control con el sistema SUPERMUX? ¿si es así cuál cree que puede ser la causa?