



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

ANÁLISIS Y MEJORA DE LOS SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES DEL CENTRO DE TRANSMISIONES TÁCTICO DE LA BRIEX 2035

CAC Jesús Manuel Navarro Fernández

Director académico: David Izquierdo Núñez

Director militar: José Javier Belda Morante

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2022



Agradecimientos

Me gustaría agradecer a todas las personas que, directamente o no, han participado en la realización de este proyecto.

En primer lugar, quiero destacar el apoyo y la dedicación mostradas por mi Director académico, D. David Izquierdo Núñez, y mi Director Militar, Cap. D. José Javier Belda Morante. Su esfuerzo y recomendaciones han sido de vital importancia durante este trabajo.

En segundo lugar, quiero agradecer especialmente a mi familia, pareja y amigos, por su constante apoyo y fe en mí durante mi proceso de formación.

En último y tercer lugar, a mi padre, que allá donde esté me sigue guiando por el camino correcto.





RESUMEN

Actualmente el Ejército de Tierra se encuentra inmerso en un amplio y complejo proceso de modernización. Este ambicioso proyecto se conoce como Brigada 2035 (BRIEX35) y surge de la necesidad de evolución de las Brigadas del ET. El concepto de Mando y Control está sufriendo modificaciones con motivo de este nuevo concepto y los sistemas de información y telecomunicaciones, los cuales configura y mantiene la Compañía de Transmisiones, cada vez son más necesarios en cuarteles generales masificados que dejan una gran huella logística a su paso, por eso surge la necesidad de emplear centros más tácticos.

Este trabajo se divide en partes muy diferenciadas. Por un lado, el análisis y la búsqueda de deficiencias en los sistemas de telecomunicaciones del Centro de Transmisiones Táctico, tratando el despliegue de las estaciones que conforman el centro y los sistemas que las componen. Por otro lado, la propuesta de mejoras para subsanar los fallos detectados anteriormente. Estas mejoras se dividen en alcanzables y no alcanzables, y para clasificarlas se ha realizado un análisis de riesgos valorando cómo de urgentes son las mejoras para cada deficiencia.

El resultado de este Trabajo de Fin de Grado (TFG) ha sido la mejora de las capacidades del Centro mediante la implementación de parte de las mejoras propuestas. Las deficiencias que no se pueden solventar han sido definidas, y como línea de acción futura se plantea su solución.

Palabras clave

Centro de Transmisiones Táctico

Estación

Ancho de banda

Implementación



ABSTRACT

The Army is currently immersed in an extensive and complex modernization process. This ambitious project is known as Brigade 2035 (BRIEX35) and arises from the need for evolution of the ET Brigades. The concept of Command and Control is undergoing modifications due to this new concept and the information and telecommunications systems, which are configured and maintained by the Transmissions Company, are increasingly necessary in overcrowded headquarters that leave a large logistical footprint in their wake, which is why the need to use more tactical centers arises.

This work is divided into very distinct parts. On the one hand, the analysis and search for deficiencies in the telecommunications systems of the Tactical Transmissions Center, dealing with the deployment of the stations that make up the center and the systems that compose them. On the other hand, the proposal of improvements to remedy the failures detected previously. These improvements are divided into achievable and unachievable, and to classify them, a risk analysis has been carried out, assessing how urgent the improvements are for each deficiency.

The result of this Final Degree Project (TFG) has been the improvement of the Center's capabilities through the implementation of part of the proposed improvements. The deficiencies that cannot be solved have been defined, and their solution is proposed as a future line of action.

KEYWORDS

Tactical Transmissions Center

Station

Bandwidth

Implementation



INDICE DE CONTENIDO

<i>Agradecimientos</i>	<i>I</i>
<i>RESUMEN</i>	<i>III</i>
<i>Palabras clave</i>	<i>III</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>IV</i>
KEYWORDS	IV
<i>INDICE DE FIGURAS</i>	<i>VII</i>
<i>INDICE DE TABLAS</i>	<i>VIII</i>
<i>ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS</i>	<i>IX</i>
<i>1 INTRODUCCIÓN</i>	<i>1</i>
1.1 OBJETIVOS Y ALCANCE	3
1.2 METODOLOGÍA	4
<i>2 ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO</i>	<i>6</i>
2.1 DISTRIBUCIÓN DEL CTTAC	6
2.2 ATQH.....	7
2.3 NODO SC2NET	8
2.4 MERCURIO 2000 IP	8
2.5 RADIOENLACE IP	9
<i>3 DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS</i>	<i>10</i>
3.1 DEFICIENCIAS EN EL DESPLIEGUE DEL CTTAC	10
3.2 DEFICIENCIAS EN EL ATQH.....	11
3.3 DEFICIENCIAS EN EL NODO SC2NET	13
3.4 DEFICIENCIAS EN EL MERCURIO 2000 IP	14



3.5	DEFICIENCIAS EN EL RADIOENLACE	14
3.6	ANÁLISIS DE RIESGOS.....	15
4	<i>PROPUESTAS DE MEJORA</i>	18
4.1	MEJORAS ALCANZABLES	18
4.1.1	DISTRIBUCIÓN DEL CTTAC	18
4.1.2	ESTACIÓN ATQH	19
4.1.3	NODO SC2NET	20
4.1.4	ESTACIÓN MERCURIO 2000 IP	22
4.1.5	RADIOENLACE IP	23
4.2	MEJORAS NO ALCANZABLES	25
4.2.1	ESTACIÓN ATQH	25
4.2.2	NODO SC2NET	25
4.2.3	ESTACIÓN MERCURIO 2000 IP	26
5	<i>CONCLUSIONES</i>.....	27
5.1	CONCLUSIONES DEL PROYECTO	27
5.2	LINEAS DE ACCIÓN FUTURAS	27
6	<i>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	29



INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Fases de desarrollo e implantación del concepto Brigada 2035	1
Figura 2 Despliegue de los Centros de Transmisiones	2
Figura 3 Distribución del CTTAC.....	6
Figura 4 Estaciones del CTTAC.....	7
Figura 5 Despliegue actual de la BRILEG	11
Figura 6 Distribución de los elementos dentro del ATQH	12
Figura 7 Sistema de refrigeración del ATQH.....	19
Figura 8 Diseño de la nueva rendija para la estación ATQH	20
Figura 9 Servidores del nodo SC2NET	21
Figura 10 Implementación de la radio Spearnet.....	22
Figura 11 Disposición de los vehículos en la práctica con el sistema SpearNet	23
Figura 12 Topología de red con Ubiquiti	24



INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Frecuencias de trabajo de la estación ATQH	7
Tabla 2 Temperaturas de funcionamiento de la estación ATQH	12
Tabla 3 Análisis de riesgos de las deficiencias del CTTAC	16
Tabla 4 Clases de riesgo	16



ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ACU	Unidad Control de Antena
ATQH	At The Quick Halt
BCG	Bandera de Cuartel General
BMS	Battlefield Managment System
bps	bits por segundo
BRIEX35	Brigada Experimental 2035
BRILEG	Brigada de la Legión
Cap.	Capitán
Cía.	Compañía
CIATRANS	Compañía de Transmisiones
CIS	Sistemas de Información y Telecomunicaciones
CMT	Campo de Maniobras y Tiro
CT	Centro de Transmisiones
CTPCAR	Centro de Transmisiones del Puesto de Mando de Apoyo desde Retaguardia
CTTAC	Centro de Transmisiones Táctico
EDT	Estructura Desglose de Trabajo
ET	Ejército de Tierra
Ex.	Ejercicio
FOTM	Full On The Move
GESCOMET	Gestor de Comunicaciones del Ejército de Tierra
GHz	Gigahercio
GUL	Gran Unidad Ligera
HF	High Frequency
Hz	Hertzios
IP	Internal Protocol
JEME	Jefe de Estado Mayor del Ejército
Kbps	Kilobits por segundo
Km/h	Kilómetros por hora
Kva	Kilovoltioamperio
LAN	Red de Área Local
LOS	Line Of Sight
MADOC	Mando de Adiestramiento y Doctrina
Mbps	Megabits por segundo
MC2	Mando y Control
MHz	Megahercio
MIP	Multilateral Interoperability Programme
NBQ	Nuclear, Biológico y Químico
NG	Nueva Generación
NVIS	Near Vertical Incident Skyware
PC	Puesto de Mando
PCAR	Puesto de Mando de Apoyo desde Retaguardia
PDU	Power Driven Unit



RACTA	Regimiento de Artillería Antiaérea 4
RAM	Random Access Memory
RF	Radiofrecuencia
RRC	Red Radio de Combate
RTP	Red Táctica Principal
SAI	Sistema de Alimentación Ininterrumpida
SC2NET	Sistema de Mando y Control del Ejército de Tierra
SDR	Radio Definida por Software
SECOMSAT	Sistemas de Comunicación por Satélite
SFR	Salto de Frecuencia
TDMA	Acceso al Medio por División de Tiempo
TFG	Trabajo de Fin de Grado
TN	Territorio Nacional
UHF	Ultra High Frequency
VAMTAC	Vehículo de Alta Movilidad Táctica
VHF	Very High Frequency
WAN	Red de Área Extensa
ZO	Zona de Operaciones



1 INTRODUCCIÓN

Actualmente el Ejército de Tierra (ET) se encuentra inmerso en un amplio proceso de modernización conocido como Brigada 2035 y que surge de la necesidad de evolución de las Brigadas del ET que son las unidades de combate de referencia de las fuerzas operativas terrestres. Los dinámicos y complejos entornos en los que actúan las Fuerzas Armadas, unidos al implacable avance de la tecnología civil y militar, obliga a realizar estos cambios en el concepto de la Brigada.

El proyecto Brigada 2035 se divide en tres fases que se solapan a lo largo del tiempo: fase conceptual, experimentación e implementación (Figura 1). Para la fase de experimentación la unidad que designó el Jefe de Estado Mayor del Ejército (JEME) como Brigada Experimental 2035 (BRIEX35) es la Brigada Rey Alfonso XIII, II de la Legión. Esta unidad fue seleccionada por su experiencia en operaciones en el exterior y por su carácter disciplinado, así como por contar con un Campo de Maniobras y Tiro (CMT) en las proximidades a su acuartelamiento y por cercanía al órgano encargado de evaluar los avances, el Mando de Adiestramiento y Doctrina (MADOC), ubicado en Granada.



Figura 1 Fases de desarrollo e implantación del concepto Brigada 2035. Fuente: (Ejército de Tierra, 2021)

El presente Trabajo de Fin de Grado (TFG) se ha llevado a cabo durante el periodo de las prácticas externas correspondientes al Grado de Ingeniería de Organización Industrial, del 6 de septiembre al 16 de octubre de 2021. La unidad en la que se realizaron dichas prácticas fue la Compañía de Transmisiones de la Brigada de la Legión, que se encuentra encuadrada en la Bandera de Cuartel General (BCG).

El concepto de Mando y Control está sufriendo importantes modificaciones con motivo de la Brigada 2035 y las unidades de Transmisiones deben ser capaces de establecer los Sistemas de Información y Telecomunicaciones (CIS) con el fin de lograr la réplica de datos de todas las unidades que participan en la maniobra. Los medios CIS, configurados y mantenidos por la Compañía de Transmisiones (CIATRANS), cada vez son más necesarios en cuarteles generales que dejan a su paso una gran huella logística y necesitan de grandes anchos de banda. Cada vez se apuesta más por sistemas de mando y control con mayores anchos de banda, con la posibilidad de operar en movimiento y que usen antenas cada vez más pequeñas y con menor firma visual. Otros aspectos que se buscan en estos sistemas son la interoperabilidad entre los



medios propios e internacionales, el funcionamiento conocido como *plug and play*¹, y el almacenamiento en servidores remotos o en la nube.

El medio que utiliza la Compañía de Transmisiones para facilitar la explotación de los CIS es el Centro de Transmisiones (CT) que aúna en un área determinada todos los sistemas necesarios para proporcionar los servicios que requiere un Puesto de Mando. Por lo general estos servicios son: voz, datos, conexión a la red de propósito general WANPG, acceso a los sistemas de mando y control² y videoconferencia.

Al desplegar varios puestos de mando, la Compañía de Transmisiones proporciona un Centro de Transmisiones por cada Puesto de Mando (PC). En Zona de Operaciones (ZO) se despliegan dos Centros de Transmisiones Tácticos (CTTAC), que deben tener como principales características una huella reducida³, un bajo consumo y gran movilidad⁴. El hecho de disponer de dos centros asegura la continuidad, aumentando la flexibilidad y reduciendo la vulnerabilidad. Aunque los dos centros deben tener las mismas capacidades, no tienen por qué ser idénticos.

Mientras los Centros Tácticos se despliegan en Zona de Operaciones, en Territorio Nacional (TN) se despliega un puesto de Mando de Apoyo desde Retaguardia (PCAR), al que proporciona servicios otro Centro de Transmisiones (CTPCAR). Aunque este se despliega, en la medida de lo posible, apoyándose en infraestructuras y CIS de carácter permanente, se podría establecer de manera semipermanente. Una posible distribución de estos CT y su interconexión se presenta en la Figura 2.

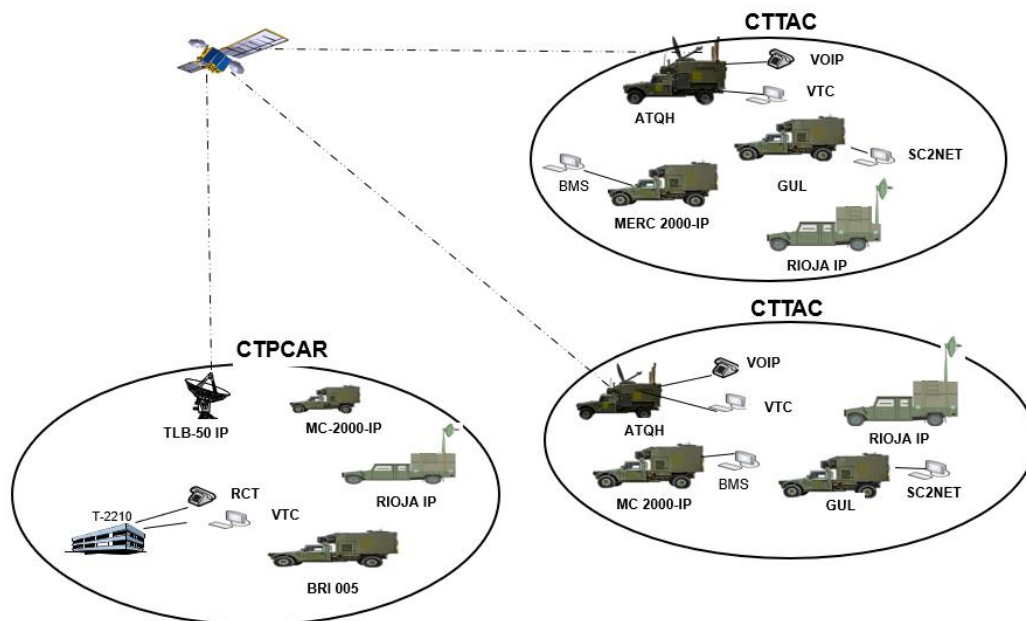


Figura 2 Despliegue de los Centros de Transmisiones

¹ Tecnología que permite funcionar a los dispositivos sin necesidad de configuración.

² Battlefield Management System (BMS) y Sistema de Mando y Control del ET (SC2NET).

³ Menor tamaño ocupando un área inferior a lo habitual.

⁴ Todos los sistemas están montados sobre vehículo para poder realizar saltos rápidos.



La materialización de los enlaces requiere el establecimiento de varias redes, como la Red Radio de Combate (RRC) que opera en las bandas HF y VHF y proporciona la base para ejercer el mando y control de la brigada con sus unidades subordinadas. Esta red es la más utilizada por su alta flexibilidad, sin embargo, su rendimiento está altamente influenciado por el terreno. También se establecen la Red Táctica Principal (RTP) segmento terreno, basada en radioenlaces y que es la red de comunicaciones tácticas de la brigada; y la RTP segmento satélite que une los puestos de mando de brigada con la unidad superior.

La brigada también dispone de un sistema de información para el mando y control de gran unidad⁵, conocido como Sistema de Mando y Control del Ejército de Tierra (SC2NET) y que se compone de una serie de nodos desplegados que se sitúan en el centro de transmisiones. El sistema permite al mando realizar el planeamiento, gestión y supervisión de las operaciones. La información se gestiona en los nodos y se transmite por los sistemas de comunicaciones del CT. Cada CT establece una red de área local (LAN) para el puesto de mando al que ofrece los servicios y que se integra en una red extensa de área (WAN).

Para poder cumplir con los cometidos que tiene asignado y para una mejor organización de medios y personal, el CTTAC se divide en 4 estaciones específicas:

- 1 terminal satélite de alta capacidad y rápida movilidad tipo At The Quick Halt ATQH (RTP segmento satélite)
- 1 estación Mercurio-2000 IP (RRC)
- 1 radioenlace Internet Protocol IP (RTP segmento terreno)
- 1 estación nodo Gran Unidad Ligera, sobre vehículo (nodo SC2NET)

Posteriormente, en el capítulo antecedentes, se presentará con mayor exactitud y detalle la composición del CT y su despliegue.

El mundo de la tecnología está en constante cambio, y las Transmisiones, como una de las ramas más técnicas y afines a lo tecnológico, no se pueden quedar atrás. El análisis y la mejora de los sistemas de telecomunicaciones son esenciales para poder adaptarse a las nuevas necesidades del Ejército de Tierra en el marco de la BRIEX35. Para poder enfrentarnos a un enemigo cada vez más avanzado, en lo referido a sistemas de información y MC2 (Mando y Control), es necesario contar con unos medios lo más actualizados y fiables posibles.

1.1 OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo general de este TFG es realizar un análisis y proponer mejoras de los sistemas de telecomunicación de los Centros de Transmisiones Tácticos de la Brigada Experimental 35. La hipótesis de partida es que estos sistemas de telecomunicaciones funcionan pero que necesitan adaptarse a los cambios en los puestos de mando a los que ofrecen servicios.

Este análisis no es de ámbito único a la Brigada de la Legión, ya que, aunque los sistemas y el empleo actual de los mismos sea diferente al del resto de Brigadas, el objetivo futuro de la BRIGADA 2025 es aplicar estos cambios al resto de unidades. Se van a analizar los sistemas de

⁵ Se considera Gran Unidad una Brigada o superior: Brigada Rey Alfonso XIII, División Castillejos.



telecomunicación de forma integral e incluyendo los vehículos sobre los que están montadas las estaciones, así como su despliegue dentro del Centro de Transmisiones Táctico.

Los objetivos específicos son explicar el funcionamiento de los sistemas de telecomunicaciones, así como conocer sus capacidades, compararlas con los medios predecesores, realizar una búsqueda y análisis de posibles deficiencias y aportación de posibles soluciones.

En el alcance del proyecto, que define hacia dónde va el mismo, encontramos varios hitos a conseguir, como la búsqueda de información, el análisis de la situación actual de los sistemas de telecomunicaciones del centro y la propuesta de posibles mejoras. Para definir y organizar el alcance se ha utilizado una Estructura Desglose de Trabajo (EDT) que se muestra en el Anexo 1 se pueden ver las diferentes actividades principales y su descomposición hasta subdividirlas en pequeños paquetes, pudiendo determinar la duración estimada de los mismos. El resultado de esta EDT es un trabajo medible y cuantificable.

La primera tarea que se ha llevado a cabo es la creación de una agenda en la que se define el tiempo que va a necesitar cada paso. Posteriormente se inicia una búsqueda de información a la vez que se realiza una observación directa de los medios y del despliegue de estos, y se realizan las mediciones pertinentes. A continuación, se analizan los datos obtenidos, así como la situación en la que nos encontramos. Con todo esto llegamos a la búsqueda de deficiencias y posibles soluciones a las mismas. El hito principal es proporcionar las propuestas de mejora, siempre pensando en el fin único de mejorar la comunicación entre los jefes militares, facilitando el cumplimiento de la misión. Se pueden encontrar más hitos como la búsqueda de información y el análisis de la situación actual de los sistemas de telecomunicaciones.

1.2 METODOLOGÍA

A continuación, se describe la metodología que ha sido utilizada para el desarrollo de este proyecto.

En primer lugar, la información sobre el concepto BRIEX35 ha sido extraída de revistas oficiales y de datos facilitados por el Capitán Jefe de la Cía. de Transmisiones de la BRILEG.

Para poder cumplir los objetivos del trabajo se ha de recopilar información técnica de las diferentes estaciones y sistemas de telecomunicaciones. Para ello se ha recurrido a publicaciones doctrinales y manuales oficiales del Ejército de Tierra. Esta información es necesaria para poder conocer con mayor exactitud los sistemas con los que cuenta el CTTAC.

Posteriormente, para analizar los datos técnicos, se ha recurrido a entrevistas con los suboficiales responsables de configurar y mantener los sistemas de cada estación. En el Anexo 2 se muestran las preguntas que se han realizado a cada suboficial responsable. Todo esto sirve para conocer el estado real de los medios y para comprobar la diferencia que hay entre las características y capacidades teóricas con los datos reales. También se ha utilizado la observación directa de los medios durante el ejercicio Toro 21, llevado a cabo del 7 al 17 de septiembre de 2021.

A continuación, se realizaron grupos de discusión para poner en común las deficiencias encontradas. En estos grupos participan tanto los jefes de estación como los Tenientes Jefes de Centro, responsable de la coordinación de todos los sistemas y último responsable del buen



funcionamiento del CT.

Para realizar la gestión del alcance, se ha llevado a cabo una Estructura Desglose de Trabajo (EDT), como ya se ha comentado anteriormente.

Finalmente, después de proponer posibles soluciones a las faltas detectadas mediante *brainstormings*, se vuelve a entrevistar a los responsables de los medios para conocer su grado de satisfacción con las medidas que se podrían llevar a cabo.



2 ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

El CT Táctico se articula en las 4 estaciones que se nombran en la Introducción: ATQH, Mercurio-2000 IP, estación con radioenlace y nodo de SC2NET.

2.1 DISTRIBUCIÓN DEL CTTAC

Las estaciones dentro del CTTAC se dividen en áreas atendiendo a sus características y las distintas áreas se marcan en función de la dispersión, seguridad y funcionalidad. Por estas razones, los medios se agrupan en diferentes áreas: explotación, herciana y energía, como se puede observar en la Figura 3.

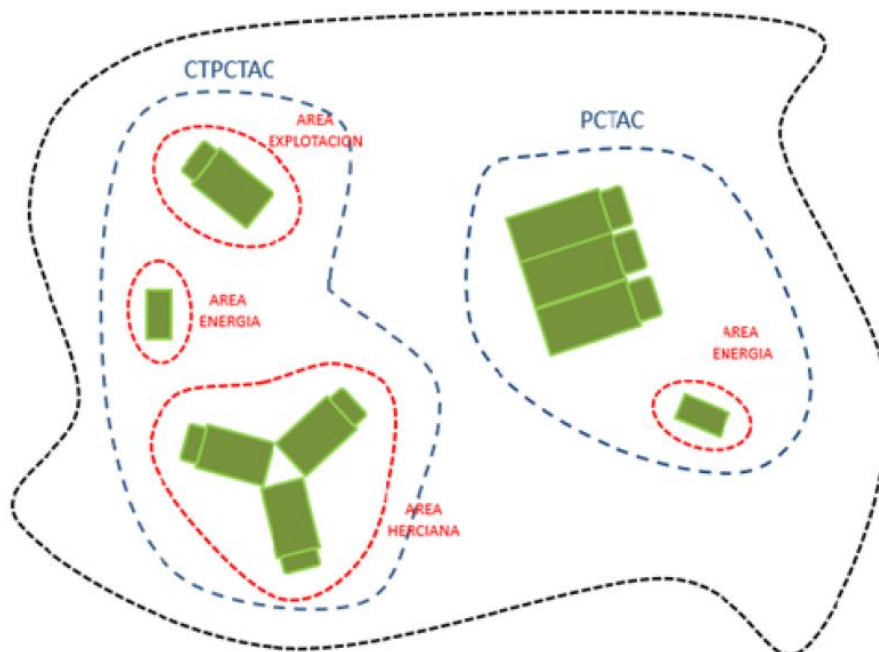


Figura 3. Distribución del CTTAC

El área de explotación está formada por los elementos no radiantes, es decir, aquellos que no emiten ningún tipo de radiación electromagnética o señal de comunicaciones. Normalmente se despliega en las inmediaciones del PC y en esta zona estarán especialmente los medios que entregan servicios a los usuarios, como el nodo de SC2NET.

En el área herciana se instalan los sistemas que sí son radiantes y su ubicación debe ser aquella que favorezca el enlace y a la vez se encuentre alejada del área de explotación, ya que al emitir ondas electromagnéticas esta área es detectable por el enemigo, lo que la hace vulnerable.

Por último, el área de energía reúne todos los medios que abastecen de energía eléctrica a los distintos equipos del centro. Debe estar alejada lo máximo posible del área herciana ya que el ruido electromagnético que emite puede producir interferencias en los enlaces.



Todas las estaciones móviles del CTTAC están montadas sobre vehículos tipo Vehículo de Alta Movilidad Táctica (VAMTAC), como se aprecia en la Figura 4. Esta plataforma proporciona al centro una gran movilidad en todo tipo de terreno.

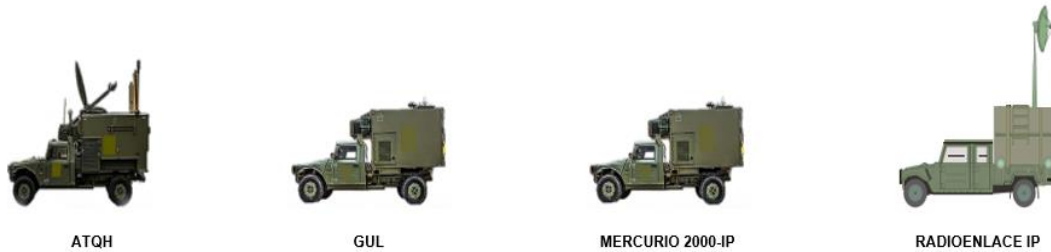


Figura 4. Estaciones del CTTAC

2.2 ATQH

El terminal ATQH (At The Quick Halt), de Alcox e Indra, proporciona servicios de voz y datos a través de una comunicación por satélite. Consta de una antena dual que trabaja en las bandas X y Ka (civil y militar), ubicada en el techo del vehículo sobre el que se desplaza. En la Tabla 1 se detalla el rango de frecuencias que se emplean en cada banda. Esta estación, cuyos subsistemas son explicados en mayor profundidad en el Anexo 3, permite comunicaciones tanto con la estación de anclaje como con otros terminales de la red Sistemas de Comunicaciones por Satélite (SECOMSAT).

Banda	Rango de Recepción (Rx)	Rango de Transmisión (Tx)
X	7,25-7,75 GHz	7,9-8,4 GHz
Ka militar	20,20-21,20 GHz	30,0-31,0 GHz
Ka civil	19,20-20,20 GHz	29,0-30,0 GHz

Tabla 1. Frecuencias de trabajo de la estación ATQH

El terminal está diseñado para su operación en parado y puede realizar el enlace ascendente en la banda X y el descendente en la banda Ka simultáneamente. Permite hasta 3 enlaces simultáneos de 2 Mbps en banda X o una única portadora de 6 Mbps, mientras en la banda Ka, puede alcanzar hasta 20 Mbps de bajada. (Mando de Transmisiones, 2016)

Los equipos de radiofrecuencia (RF) se comunican con los de banda base mediante una matriz única que permite las funciones de transmisión y recepción en un mismo equipo modular. Los equipos de banda base están instalados dentro del vehículo en cofres extraíbles.

La antena de la estación puede soportar rachas de viento de hasta 120 Km/h, pero no se puede emplear mientras la estación está en movimiento. Existe la posibilidad de que la antena apunte automáticamente al satélite que se va a emplear en cada ejercicio para lo que cuenta con una Unidad Control de Antena (ACU), que centraliza la información necesaria para el apuntamiento, y una Power Driven Unit (PDU) que se encarga de mover los motores que



controlan la elevación y azimut la antena.

La estación cuenta con un grupo electrógeno autoportante, con una autonomía de 12 horas, y un Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI) que puede alimentar toda la estación menos el aire acondicionado por un tiempo de hasta 25 minutos. El sistema está diseñado para funcionar en caso de que un grupo electrógeno externo falle. También se puede alimentar la estación desde una toma de red eléctrica disponible.

2.3 NODO SC2NET

El nodo de SC2NET, conocido como nodo de Gran Unidad Ligera (GUL), gestiona y administra todos los servicios de la red de mando y control del Ejército de Tierra. También se pueden integrar sistemas de información ajenos a esta red. No tiene ningún sistema de telecomunicación propio y sus datos se envían a través de los sistemas del resto de estaciones.

Consta de un *shelter* en el que se ubican tanto los servidores que son utilizados durante la maniobra como el personal encargado de su gestión y mantenimiento. Al ser una estación de vital importancia para el mantenimiento del mando y control, consta con un SAI y tiene un grupo electrógeno autoportante, lo que le da autonomía para no depender de grupos externos. Cuenta con un sistema de aire acondicionado que reduce la temperatura en el interior del nodo de tal manera que los servidores no sufran más de lo necesario por las temperaturas excesivas que pueden alcanzar estos dispositivos.

2.4 MERCURIO 2000 IP

El Mercurio 2000 IP es una estación radio que se emplea para dar servicio al Puesto de Mando Táctico. Forma parte de la RRC, que es el principal recurso de telecomunicaciones a nivel Brigada e inferior y es muy empleada en las fases iniciales de las operaciones. Posee una gran movilidad al estar montado sobre VAMTAC. Proporciona dos redes de VHF de voz y datos y una red de HF, también de voz y datos.

Para las redes de VHF se emplean los radios TRC-9310, serie V3 de la familia PR4G, en configuración vehicular. Este medio trabaja en la banda de 30 a 87,975 MHz, con una separación mínima de 25 KHz entre cada portadora. Cuenta con varios modos digitales de trabajo, como salto de frecuencia; así como modos analógicos en los que se selecciona una frecuencia fija. (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2018)

También tiene modos de trabajo IP: IPSAP (trabajo en IP en SFR, actuando como enrutador y no permite la transmisión de voz⁶) e IPMUX (el ancho se divide para poder enviar voz digital y datos simultáneamente en modo Acceso al Medio por División de Tiempo (TDMA), hasta 4,8 Kbps). En el modo IPMUX la radio funciona en tres canales independientes al operador, en

⁶ En el modo IPSAP todo el ancho de banda, de hasta 19,2 Kbps, se dedica al envío de datos.



los que el 50% de los slots⁷ se dedican a transmisión de voz, el 40% al envío de datos y el 10% para sincronización y autenticación.

La comunicación con esta radio es segura debido a las claves utilizadas para la comunicación y la transmisión. Estas claves son generadas mediante un programa informático gestionado por personal de la Cía. de Transmisiones y se cargan en los medios utilizando el periférico de gestión.

Para la red HF se emplea la radio 5800 de la casa Harris. Trabaja en un rango de frecuencias de 1,60 a 59,99 MHz, con saltos de 100 Hz. Debido a este rango de frecuencias tan amplio puede funcionar tanto en la banda de HF como en la parte baja de la banda de VHF. Esta radio puede trabajar a una velocidad de datos de hasta 9600 bps. Se puede emplear en varios modos de trabajo, como frecuencia fija o salto de frecuencia. (Harris, 2014)

La estación cuenta con dos antenas vehiculares VHF de polarización vertical y una antena semibucle que funciona en el rango de frecuencias de HF, con capacidad para utilizarse en posición vertical o en semibucle, que permite reducir la frecuencia mínima de empleo y favorece la propagación NVIS (*near vertical incident skywave*), al tener la antena un ángulo de despegue casi perpendicular a la Tierra, la onda incide en la ionosfera con un ángulo muy pequeño, permitiendo cubrir zonas de sombra no cubiertas por VHF.

Además, la estación cuenta con un sistema de energía para controlar la estabilidad de la tensión de alimentación proporcionada por un grupo electrógeno externo; y un sistema de aire acondicionado.

Una actualización reciente de la estación Mercurio 2000 IP ha sido la integración del GSCOMET (Gestor de Comunicaciones del Ejército de Tierra). Es un software que actúa como un router capaz de integrarse con los sistemas de la estación con la finalidad de orientar la comunicación de voz y datos a través del medio más adecuado en cada situación, ya sea por HF, VHF o UHF. Además, para aumentar la seguridad de las comunicaciones, se integra también con un cifrador y lo que hace que sea compatible con el resto de las redes OTAN según STANAG 5066.

2.5 RADIOENLACE IP

La estación con el radioenlace IP es utilizada para cubrir distancias de entre 40 y 60 kilómetros, dependiendo de la capacidad de los sistemas y de la orografía. Siempre se enlaza por LOS (*line of sight*) o línea de visión directa. Normalmente el radioenlace se utiliza como enlace redundante para la comunicación entre los Centros de Transmisiones Tácticos, aunque si la situación lo requiere, también puede servir para enlazar los centros tácticos con el centro de transmisiones del puesto de mando de apoyo retrasado cuando este se encuentra en ZO. Cuenta con un grupo electrógeno propio y con un sistema de climatización.

⁷ Cada paquete dentro de la transmisión de información.



3 DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este capítulo, se realiza la búsqueda y análisis de deficiencias en las distintas estaciones del CTTAC, así como en su despliegue. Para ello, se van a seguir las mismas líneas que en el capítulo anterior, empezando por los errores detectados en la distribución del centro y continuando con los diferentes sistemas.

La metodología empleada ha sido la realización de entrevistas con los jefes de estación, cuyas preguntas se pueden observar en el Anexo 2, y a la experiencia que han adquirido en el empleo y mantenimiento de los sistemas. Se han realizado un total de 14 entrevistas a todos los suboficiales jefes de estación de la Compañía de Transmisiones y las preguntas iban enfocadas al grado de satisfacción con los medios actuales de las estaciones, su experiencia en el empleo de estos sistemas y posibles fallos recurrentes en la empleabilidad o mantenimiento de las estaciones.

Las respuestas a las preguntas son de índole variada, ya que unas estaciones, al ser más modernas que otras, presentan una empleabilidad más sencilla o tienen menos fallos. En cuanto al grado de satisfacción, este es en general alto, alcanzando una puntuación muy cercana a los 4 puntos en una escala donde 0 es la puntuación mínima y 5 la puntuación máxima. De ello se puede extraer como conclusión que, pese al descontento de parte del personal, los medios actuales les permiten desempeñar su trabajo correctamente. El buen desempeño del centro se debe a la gran experiencia que presentan los operadores de las estaciones, ya que sus conocimientos y experiencia son esenciales al puesto de mando.

Durante el desarrollo de ejercicios y pruebas propuestas, se ha podido trabajar y observar de primera mano las deficiencias que a continuación se comentan. Posteriormente, se ordenarán las deficiencias por orden decreciente de gravedad, realizando un análisis de riesgo.

3.1 DEFICIENCIAS EN EL DESPLIEGUE DEL CTTAC

La principal deficiencia que se encuentra en el CTTAC es la forma en la que despliega. Actualmente, las áreas del Centro de Transmisiones no se encuentran lo suficientemente alejadas entre sí y no se respeta la distancia mínima de 200 metros entre las áreas herciana y explotación (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2017). La ausencia de dicha separación supone un detrimento de la seguridad del centro, ya que, al ser los elementos radiantes detectables, exponen al resto de componentes, facilitando la detección y el ataque por parte del enemigo. La imposibilidad de mantener alejadas el área herciana y de explotación se debe al intento de crear un centro más compacto, reduciendo su tamaño en favor de la movilidad, pero esto supone la vulnerabilidad de los elementos más sensibles, como el nodo de SC2NET o el puesto de mando.

Respecto al área de energía, ésta no existe realmente como tal ya que cada estación utiliza un grupo electrógeno distinto o emplea su grupo autoportante. El tener un grupo electrógeno por cada estación y que no se puedan aunar todos en una misma zona hace que aumente el tiempo empleado en mantenimiento, además de aumentar el gasto de combustible y el ruido cerca de los medios, dificultando en ocasiones su empleo.

En el despliegue efectuando en el Ejercicio Toro 21, y ante la no disponibilidad de un



radioenlace IP propio, se optó por utilizar los radioenlaces de una estación Rioja IP, cedidos por el Regimiento de Artillería de Costa 4 (RACTA 4), utilizado como respaldo en caso de fallo del enlace satélite. Se tomó esta decisión porque existía la posibilidad de utilizar este radioenlace debido a la cercanía entre los centros de transmisiones, como se aprecia en la Figura 5. El despliegue del ejercicio aunaba en una misma área la estación ATQH, el Mercurio 2000 IP y el nodo de SC2NET, dejando en otra área el radioenlace.



Figura 5. Despliegue actual de la BRILEG

3.2 DEFICIENCIAS EN EL ATQH

La estación satélite ATQH es la estación en dotación más moderna de la Compañía de Transmisiones. Su llegada ha supuesto una mejora en la movilidad del terminal satélite y un aumento en el ancho de banda, por lo que se puede ofrecer un enlace de mayor calidad al Puesto de Mando.

Una de las deficiencias detectadas en esta estación es su sensibilidad a las altas temperaturas. Como se puede observar en la Tabla 2, el rango de temperaturas para la explotación óptima del terminal es más reducido de lo habitual en sistemas militares, por ejemplo, la estación predecesora (Asturias) podía operar en un rango de temperaturas entre -70 y $+80^{\circ}\text{C}$ ⁸. En la ATQH la temperatura máxima recomendada de funcionamiento es de 45°C , lo que hace indispensable contar con un aire acondicionado en el interior de la estación. Alcanzar esta temperatura en el habitáculo de la estación cuando está operando con un clima caluroso es muy habitual y el sistema de refrigeración actual se activa automáticamente al alcanzar los 30°C y se desactiva cuando reduce la temperatura por debajo de 27°C . Al activarse el aire acondicionado, éste se enciende a máxima potencia y provoca un pico de consumo en el grupo electrógeno que puede llegar a inutilizar el mismo y, lo que es más crítico, dejando la estación inoperativa.

⁸ La estación predecesora (Asturias) comprendía un rango de $70 - 80^{\circ}\text{C}$ para la explotación de sus servicios



Parámetros	Orden de arranque (°C)	Orden de Parada (°C)	Duración (minutos)	Alarma (°C)
Compresor	30	27	-	-
Anti Short	-	-	6	-
Temperatura Extrema	-	-	-	45
Temperatura Baja	-	-	-	0
Ventilador al inicio	-	-	5	-

Tabla 2. Temperatura de funcionamiento de la estación ATQH. Fuente (Aicox, 2020)

Por otro lado, el aire refrigerado no incide directamente sobre la zona de racks donde se encuentran los sistemas de comunicaciones y que más refrigeración necesita, si no que está direccionado en otra dirección, como se puede apreciar en la Figura 6. De hecho, la salida de climatización está directamente orientada a la zona diáfana y el pasillo de cableado de la estación.

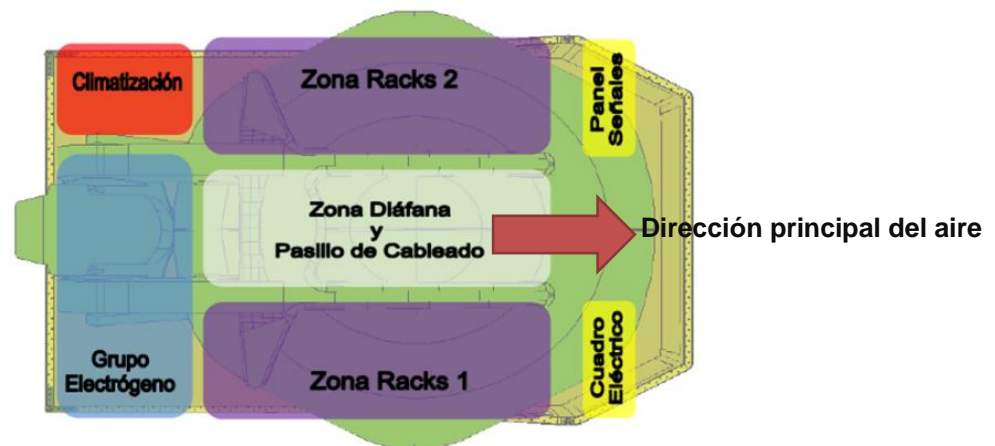


Figura 6. Distribución de los elementos dentro del ATQH. Fuente: (Aicox, 2020)

Actualmente, el Ejército de Tierra utiliza dos satélites para dar cobertura a sus operaciones, el Spainsat y Xtar-eur, con 15 y 16 años de operación respectivamente. La estación ATQH puede trabajar indistintamente con cualquiera de los dos satélites, pero el apuntamiento automático presenta deficiencias a la hora de cambiar el satélite al que accede. Cuando se ha establecido un satélite de enlace y se necesita enlazar con el otro satélite, se debe realizar manualmente ya que la estación solo guarda las efemérides⁹ del último satélite al que se ha conectado.

⁹ Datos que definen la trayectoria de cada satélite y que sirven para conocer su posición en el



Como ya se ha comentado previamente, el ATQH tiene la capacidad de ofrecer telefonía IP, pero su configuración está muy limitada. Todas las modificaciones relativas a esta telefonía IP, tales como el número de extensiones en el ejercicio, grupos de usuarios o el direccionamiento de cada teléfono, deben realizarse de forma remota desde la estación de anclaje.

3.3 DEFICIENCIAS EN EL NODO SC2NET

El nodo SC2NET o de Gran Unidad Ligera (GUL) es la estación desde la que se configuran todos los servicios que se ofrecen al puesto de mando, como son la mensajería instantánea (JChat) o las carpetas compartidas donde los usuarios intercambian documentación (SharePoint).

Como el resto de las estaciones, el *shelter* que contiene todos los equipos y los servidores se desplaza sobre vehículo tipo VAMTAC. Esta característica se convierte en una vulnerabilidad cuando una parte del vehículo, como el grupo electrógeno de respaldo, deja de funcionar. Los servidores están anclados a la estación y el personal de la Compañía no tiene el grado de cualificación necesario para poderlos montar y desmontar de la plataforma, así que cuando un componente del vehículo deja de funcionar y debe ser reparado, toda la estación pierde la operatividad haciendo que un fallo menor pueda afectar a una maniobra completa.

Al igual que en la estación anterior, la temperatura también es un factor de riesgo y conflicto. Aunque la climatización en esta estación sí incide directamente en los servidores a refrigerar, el tamaño reducido de la zona del vehículo en la que se encuentran sumado la gran cantidad de calor que emiten y la antigüedad del sistema de aire acondicionado obliga a tener encendido el sistema una gran cantidad de tiempo, lo que lleva a fallos recurrentes en el sistema de climatización y a necesitar de reparaciones que conllevan la pérdida de operatividad de la estación comentada anteriormente.

Por otro lado, la antigüedad del sistema de refrigeración repercute también en un gran consumo eléctrico, siendo el sistema con mayor consumo de todos los presentes en la estación. De hecho, en diferentes mediciones llevadas a cabo con la ayuda de la unidad se ha comprobado que la estación tiene un consumo de 4 amperios, mientras que con la climatización activada el consumo se eleva a 14 amperios.

Esta estación también cuenta con un SAI que protege los sistemas contra problemas eléctricos y mantiene la corriente en caso del corte de la misma. El SAI actualmente instalado tiene una autonomía de 30 minutos, lo que puede ser un tiempo insuficiente para una estación tan importante para la maniobra.

La última deficiencia detectada compete al mantenimiento del nodo. Al contar la estación con varios años de uso, el mantenimiento es muy necesario para garantizar su correcto funcionamiento. Para visualizar esta importancia sirva la experiencia vivida previamente al inicio de un ejercicio realizado durante las prácticas externas, donde uno de los nodos de la estación no arrancaba debido al mal estado de los componentes internos de los servidores y a la

momento actual y poder apuntar las antenas hacia él de las estaciones terrestres.



acumulación de polvo en los mismos. Después de revisar todas las piezas y hacer especial énfasis en una doble limpieza de las tarjetas de memoria RAM (*Random Access Memory*) la estación pudo funcionar correctamente.

3.4 DEFICIENCIAS EN EL MERCURIO 2000 IP

La estación Mercurio 2000 IP es la encargada de proporcionar enlace HF y VHF, permitiendo comunicación por voz y envío de mensajes. También es la encargada de configurar los medios relativos al BMS, que permite ubicar sobre un mapa las unidades que participen en la maniobra en tiempo real. Este software interconecta todas las radios VHF de la maniobra (PR4G) que son las encargadas de transmitir la información referida a la ubicación. La velocidad a la que trabajan estas radios puede ser escaso si hay mucho tráfico en la red, aunque la actualización Supermux aumenta la velocidad del envío de datos, pero, en ocasiones, se sigue saturando el ancho de banda.

El uso de dos sistemas de diferentes fabricantes para el enlace VHF y HF, e incluso en los enlaces UHF, hace que los sistemas no sean interoperables. En ocasiones, se quiere enviar un mensaje utilizando un medio que está enlazado por VHF y es imposible su recepción debido a la falta de alcance.

Otro problema de esta estación es la gran cantidad de medios con los que cuenta, ya que utiliza una radio para cada banda de frecuencias. Esto hace que aumente el tiempo para poder gestionar los enlaces y obliga a una redundancia de medios.

Todos los sistemas anteriores se utilizan en configuración vehicular, es decir, la alimentación necesaria para su funcionamiento la proporciona la estación. En el caso del Mercurio 2000 IP, se cuenta con un grupo electrógeno autoportante, pero no con un SAI, lo que hace que en caso de corte y durante el corto periodo en el que la alimentación se restablece, los medios están apagados e inoperativos con el riesgo que esto entraña para la operación o el ejercicio.

3.5 DEFICIENCIAS EN EL RADIOENLACE

La ausencia de un radioenlace propio en la unidad dificulta el trabajo de la Compañía de Transmisiones, no sólo para su operatividad en general, sino porque impide la correcta instrucción del personal y no permite una buena implementación de los medios dentro del centro. El origen de este problema es la falta de medios para realizar la actualización necesaria en la estación Rioja para que pueda emplearse con tecnología IP.

En el Ejercicio Toro 21 y en diferentes pruebas de enlace realizadas durante el periodo de prácticas se ha utilizado el radioenlace proporcionado por una estación Rioja IP de otra unidad como respaldo para la comunicación entre CTTACs. Esta estación se monta sobre plataforma VAMTAC al igual que el resto de las estaciones y trabaja en banda III (de 1350 MHz a 2690 MHz) y banda IV (de 4400 MHz a 5000 MHz) (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2012). Hay que destacar que tanto en el ejercicio como en las pruebas realizadas durante las prácticas externas sólo se ha conseguido enlazar en banda III y se desconoce actualmente por qué es imposible establecer el enlace en banda IV. Aunque la estación permite el empleo de una comunicación



full-dúplex, configurando una frecuencia de transmisión y otra de recepción, esta opción tampoco ha estado disponible en los ejercicios realizados.

Una de las principales deficiencias de esta estación es que el rango de frecuencias que utiliza ya no es de uso militar exclusivamente por lo que cualquier sistema civil puede operar en dichas bandas. Esta compartición de frecuencias representa una falta de seguridad considerable a la hora del envío de información y una posible fuente de interferencias entre sistemas. Para mitigar el riesgo de seguridad se utiliza un cifrador propio de la estación para los enlaces punto a punto y si la información que se transmite es del nodo SC2NET, también se transmite de forma segura gracias al cifrador de esa estación.

Otro problema de esta estación es que necesita visión directa para tener un enlace eficaz. En zonas urbanas o con una difícil orografía no es posible conseguir un enlace de calidad y para unidades de despliegue cambiante, ligeras, como aquellas que articulan un CTTAC, no es de gran utilidad.

3.6 ANÁLISIS DE RIESGOS

Las deficiencias más graves y que, por tanto, deben ser resueltas a la mayor brevedad posible son aquellas que imposibilitarían que el centro llevase a cabo sus funciones básicas. A continuación, se van a ordenar de mayor a menor gravedad las deficiencias detectadas, en función a su probabilidad de ocurrencia y a su impacto en el CTTAC. Se clasifica la probabilidad de ocurrencia entre 1 y 3, siendo 1 la probabilidad más baja de que el riesgo ocurra. El impacto del riesgo se mide igualmente con tres valores, L (*Low*) para un impacto bajo, M (*Medium*) para un impacto medio y H (*High*) para un impacto alto. A su vez se clasifican los riesgos por colores en función de la combinación de los dos factores que se toman en cuenta, siendo los colores verde, amarillo, naranja y rojo. Esto se detalla en el Anexo 4, en el que se encuentran la matriz de riesgos y la matriz de clasificación de éstos.

Para clasificar los riesgos se ha tenido en cuenta el empleo de los medios en diferentes ejercicios y pruebas realizadas durante el periodo de prácticas y la opinión del personal encargado de configurar y mantener los sistemas. Y con este análisis podemos observar con mayor claridad cuáles son los riesgos más críticos para el Centro de Transmisiones, permitiendo organizar las deficiencias detectadas en las estaciones y poder centrar nuestro esfuerzo principal en resolver los fallos que comprometen actualmente la capacidad de supervivencia del CTTAC, así como el correcto desarrollo de sus funciones.

Descripción riesgo	Impacto (H,M,L)	Probabilidad (1,2,3)	Clase riesgo	Efectos riesgo
Despliegue erróneo del CTTAC	M	3	3M	Peligro en la supervivencia del Puesto de Mando
Empleo del área de energía	L	2	2L	Mejora de la eficiencia y menos ruido electromagnético



Fallo en la climatización de la estación ATQH	H	3	3H	Pérdida del enlace satélite
Apuntamiento manual de la estación ATQH	L	1	1L	Empleo no eficiente del tiempo
Imposibilidad de configuración del router de voz IP	L	2	2L	Empleo no eficiente del tiempo
Servidores anclados al nodo SC2NET	H	3	3H	Inutilización de los servidores por cualquier fallo de la estación
Antigüedad de la SAI y la climatización en el nodo	H	2	2H	Deterioro en la calidad de los servicios
Mantenimiento de los servidores	M	1	1M	Deterioro en la calidad de los servicios
Falta de ancho de banda en el Mercurio	H	2	2H	Reducción de las tasas de transmisión
Mala integración de los medios	M	2	2M	Necesidad de empleo de un software externo
Ausencia de SAI en el Mercurio	H	1	1H	Pérdida de la estación Mercurio
Empleo de frecuencias civiles en el Ríoja IP	H	2	2H	Fácil perturbación de las señales
Uso de un enlace punto a punto en un CTTAC	L	2	2L	Dificultad del empleo de este enlace en el centro

Tabla 3. Análisis de riesgos de las deficiencias del CTTAC

Clase de riesgo	Número
Crítico	2
Alto-medio	4
Medio	6
Bajo	1

Tabla 4. Clases de riesgo



Con este análisis podemos observar con mayor claridad cuáles son los riesgos más críticos para el Centro de Transmisiones y permite organizar las deficiencias detectadas en las estaciones y poder centrar nuestro esfuerzo principal en resolver los fallos que comprometen actualmente la capacidad de supervivencia del CTTAC, así como el correcto desarrollo de sus funciones.

Se han encontrado un total de 13 deficiencias, de las cuales dos suponen un riesgo crítico para el cumplimiento de los cometidos del centro de transmisiones táctico: el fallo en la climatización de la estación ATQH, que puede llevar a la pérdida del enlace satélite y, por tanto, la pérdida de gran parte del ancho de banda necesario en la comunicación entre distintos Centros de Transmisiones; y los servidores de la estación SC2NET anclados al propio vehículo, ya que cualquier fallo en la plataforma que transporta los servidores imposibilita el empleo de los mismos, dejando al Puesto de Mando al que se ofrecen los servicios sin posibilidad de utilizar aplicaciones de mensajería o BMS.

Cuatro riesgos presentan un riesgo alto-medio (despliegue erróneo del CTTAC, antigüedad de la SAI y el sistema de climatización del nodo SC2NET, la falta de ancho de banda en el Mercurio 2000 IP y el empleo de frecuencias civiles en la estación Rioja IP) que, aunque no comprometen los propósitos finales del centro como los anteriores, se deben tener en cuenta.



4 PROPUESTAS DE MEJORA

Una vez extraídas, analizadas y clasificadas las deficiencias del CTTAC, en este capítulo se ofrece una propuesta de mejora para todas ellas. El orden en el que se enumeran las propuestas concuerda con el nivel de gravedad de las deficiencias dentro de cada estación. Se dividen en propuestas alcanzables (que se pueden llevar a cabo por los medios propios de la Unidad) y propuestas no alcanzables.

Para la obtención de las soluciones propuestas se han empleado *brainstormings* en los que han participado tanto los suboficiales de la Compañía como varios oficiales, así como grupos de trabajo para probar sobre el terreno algunas de las propuestas.

4.1 MEJORAS ALCANZABLES

Las mejoras alcanzables son aquellas que se pueden implementar utilizando los medios de los que dispone la Compañía de Transmisiones o, en su defecto, materiales de las unidades que apoyan en los ejercicios a la Cía., como la Compañía de Cuartel General, encuadrada en la misma Bandera que la Cía. de Transmisiones.

4.1.1 DISTRIBUCIÓN DEL CTTAC

Para mejorar y optimizar la distribución del CT, un fallo con un riesgo alto-medio, se han llevado a cabo pruebas para comprobar el tiempo mínimo de reacción en caso de tener que abandonar la zona en la que se está desplegado. Estas pruebas se realizaron durante dos saltos programados en el Ex. Toro 21 y consistían en el desmontaje del centro, el desplazamiento a un nuevo asentamiento y el establecimiento del enlace radio.

En la primera prueba, la distribución del centro era la adoptada normalmente por la Cía., sin la diferenciación entre áreas herciana y de explotación, buscando un centro más compacto. El tiempo total de la ejecución fue de 32 minutos, empleando 23 minutos en el desmontaje de las estaciones y formación del convoy para desplazarse a la nueva ubicación.

En la segunda prueba, se adoptó un despliegue respetando la distancia mínima entre áreas. El tiempo empleado para desmontar, desplazarse y establecer el enlace fue superior, llegando a tardar un total de 35 minutos. La mayor dispersión de las estaciones hizo que la formación del convoy fuese más lenta y la coordinación fue menos efectiva.

Aunque una dispersión mayor implica un mayor tiempo en realizar cualquier desplazamiento y una movilidad ligeramente reducida, se proporciona una mayor seguridad al centro que debe prevalecer. Además, este tiempo de reacción se puede optimizar y reducir con ayuda de una mayor instrucción del personal. Esta mejora es fácilmente implementable y alcanzable en un corto periodo de tiempo y sin un gran uso de recursos.

Otro aspecto mejorable en el CTTAC es el uso de los grupos electrógenos y la constitución de un área de energía (deficiencia con un riesgo medio) ya que actualmente se usa un grupo, de poca capacidad (7,5 kVA), para alimentar cada estación. El hecho de que cada estación utilice un grupo individualmente tiene un gran coste en lo referido a combustible y mantenimiento de los equipos, además del ruido que introduce cada uno al no poder estar localizado en menos



zonas. Para mejorar en este aspecto se propone el uso de un único grupo electrógeno de mayor potencia (20 kVA) para alimentar a toda el área herciana, y otro grupo de menor potencia para el nodo SC2NET del área de explotación. Así se consigue reducir el número de grupos y la carga logística que conllevan. Existe la posibilidad de que este grupo de mayor capacidad fallase y dejase a toda un área sin suministro, pero los grupos autoportantes de las estaciones proporcionan una redundancia de medios que nos permite operar los sistemas hasta un máximo de 3 días.

Esta solución se verificó en una prueba durante el último ejercicio en el que la Cía. se propuso analizar la autonomía máxima de las estaciones para saber si la supervivencia de los medios estaba garantizada durante el tiempo que se emplease en sustituir o reparar el grupo electrógeno principal.

4.1.2 ESTACIÓN ATQH

Como se ha comentado en el apartado anterior, el aire acondicionado de la estación ATQH no incide en la zona más adecuada. Este fallo en la climatización conlleva un riesgo crítico. Como se ve en la Figura 7, la principal salida del sistema de refrigeración (la rejilla que se observa en el centro de la imagen) hace que el caudal de aire vaya totalmente en dirección contraria a los racks que desprenden la mayor cantidad de calor (se pueden apreciar a los laterales del sistema, al fondo de la figura). Esta mala refrigeración supone un riesgo crítico para la operación pudiendo causar la caída del enlace satélite y, por tanto, la pérdida de comunicación entre distintos Centros de Transmisiones.

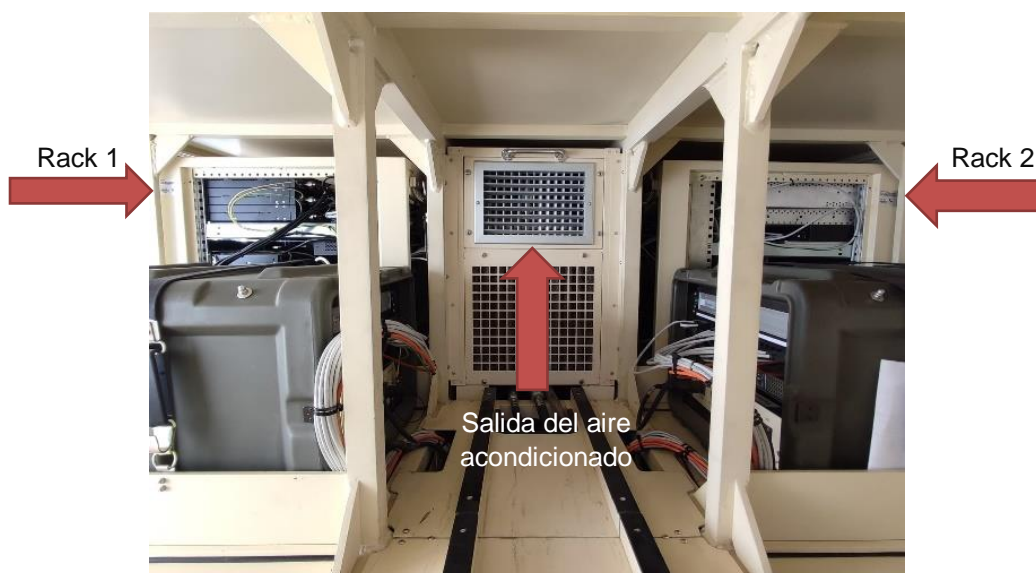


Figura 7. Sistema de refrigeración del ATQH

Se proponen dos soluciones diferentes, una más sencilla en la que la rendija mantiene su ubicación actual, pero se subdivide en dos mitades y otra, más compleja, reubicando las rendijas de ventilación. En la primera solución se ha diseñado una nueva rejilla mediante la herramienta SolidWorks que permite redirigir el sistema de refrigeración de la estación, como se aprecia en la Figura 8. Esta rendija podría ser fabricada mediante una impresora 3D. La parte inferior refrigera como lo hace en la actualidad y de la parte superior surgen dos conductos que



reconducen el aire frío hacia atrás, utilizando tubos con forma semicircular, permitiendo que la climatización incida directamente en la zona de los racks de equipos. Esta mejora no sería difícil de implementar, ya que solo supone la fabricación o compra de unos conductos que cumplan con nuestras especificaciones.

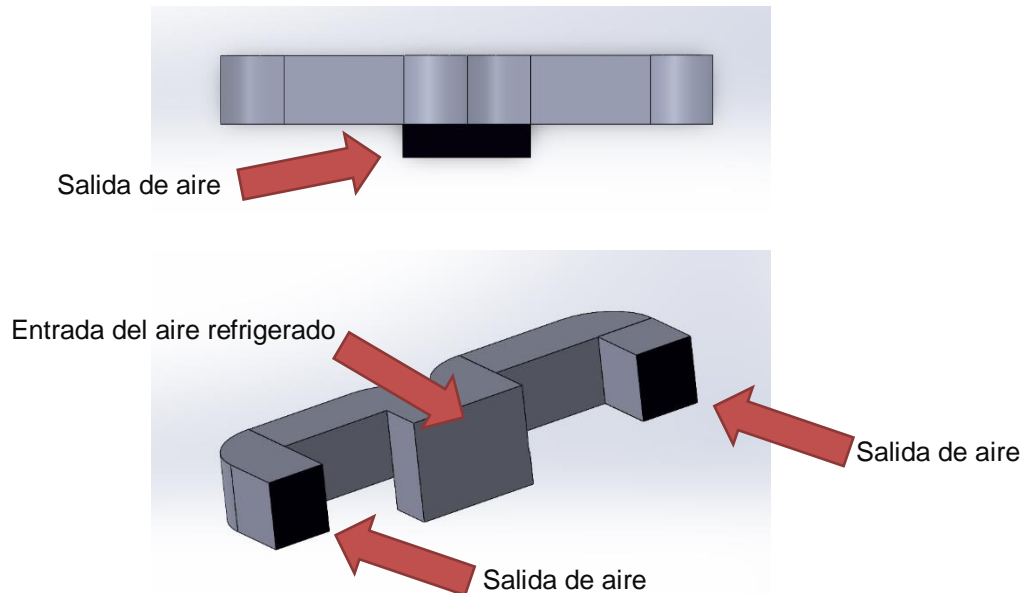


Figura 8. Diseño de la nueva rendija para la estación ATQH

En la primera parte de la Figura 8 se observa la misma vista que en la Figura 7. En color negro, se puede ver la parte de la rendija de ventilación que se mantiene para obtener una temperatura adecuada en los sistemas que están en sentido contrario a los racks.

En la segunda parte de la misma figura, se puede observar una vista trasera de la nueva rendija. En color negro de nuevo se destaca la zona por la que el caudal de aire llega directamente a la zona de los racks.

Otra alternativa de solución para deficiencia es reubicar las rendijas de ventilación, haciendo que el aire saliese hacia los lados en vez de hacia el frente como en la Figura 7. Así la climatización puede incidir directamente en los sistemas que más lo necesitan, aunque esta solución sería más difícil de implementar utilizando los propios medios de la Compañía.

4.1.3 NODO SC2NET

Un defecto crítico detectado en el nodo SC2NET es la nula movilidad de los servidores. Como se puede observar en la Figura 9, están anclados a la propia estación, lo que conlleva una vulnerabilidad de la estación ante el mínimo fallo en los sistemas o en el propio vehículo. Un fallo en uno de los sistemas de este nodo pone en riesgo toda la operación y, tal y como se extraído en el análisis de riesgos, supone un riesgo crítico. Para solventarla, se proponen dos posibles soluciones.

Como primera opción, los servidores podrían estar montados sobre una estructura móvil,



permitiendo desmontar la estructura al completo en caso de que fuese necesario instalarla sobre otro vehículo. No se trataría de desmontar los servidores en sí, sino que estos estén anclados a una estructura que sí es móvil. Esta mejora podría proporcionar un cambio de estación más rápido, pero en caso de fallo de uno de los servidores la solución no serviría, ya que el personal de la Cía. no tiene permitido manipular los servidores.

Otra opción para subsanar este fallo es dotar al personal de los conocimientos y de los permisos necesarios para poder montar y desmontar los servidores de su ubicación. En la actualidad, no se permite que estos medios sean movidos por los jefes de las estaciones por motivos de seguridad, pero al encontrarse destinados en la Compañía personal especialista en informática, es un procedimiento que podrían llevar a cabo.



Figura 9. Servidores del nodo SC2NET

El mantenimiento es fundamental para prolongar la vida útil de los medios y mejorar su desempeño, sobre todo con estaciones que ya llevan varios años en dotación. El mal mantenimiento supone un riesgo medio según el anterior análisis de riesgos. Para mejorar en este aspecto, se propone la creación de un plan de mantenimiento preventivo del nodo SC2NET. Este plan incluye un mantenimiento continuado de limpieza de las partes sensibles una vez a la semana, así como especial énfasis en el cuidado de los medios dos semanas antes de cada ejercicio. Como prueba de esta necesidad, una semana antes del Ex. Toro la ingente cantidad de polvo acumulado después del periodo vacacional de verano provocó fallos en el nodo. Con el seguimiento de un plan continuado como el que se propone esto no habría pasado, ya que la estación también habría recibido mantenimiento durante periodos de más baja actividad, como el verano.

Al igual que se propone aumentar la intensidad del mantenimiento poco antes del principio de los ejercicios, se propone mejorar el mismo después de la realización de los ejercicios, sobre todo cuando estos se han realizado en zonas áridas con gran cantidad de polvo.

El mantenimiento, además de centrarse en eliminar agentes externos de los servidores, también se debería centrar en la limpieza de archivos en los servidores, de cara a tenerlos en un estado óptimo para el siguiente ejercicio. Así se consigue mantener operativa constantemente la estación y prolongar su vida útil.



4.1.4 ESTACIÓN MERCURIO 2000 IP

El ancho de banda que proporciona la PR4G puede no ser suficiente cuando se utiliza para enviar información relativa al BMS o cuando hay muchos usuarios implicados en la maniobra, siendo esta deficiencia un riesgo alto-medio. Para mejorar la capacidad del Mercurio 2000 IP se propone la integración en la estación de una radio que trabaje en la banda UHF, como la radio SpearNet, que trabaja de 1,2 a 1,4 GHz y es full-duplex con capacidad de envío de voz, datos, vídeo y posicionamiento. Además de aumentar considerablemente el ancho de banda de la estación y aumentar la cantidad de opciones que tiene el GESCOM para enviar la información, esta radio permite crear una arquitectura de red basada en redes *mesh* o *ad-hoc*¹⁰.

Se han realizado varias pruebas para determinar la posible implementación de esta radio en la estación y el tiempo de puesta en marcha de la estación apenas se ve incrementado al ser una radio de fácil configuración y su pequeño tamaño hace que pueda ser acoplada en cualquier parte del vehículo, como se ve en la Figura 10. El principal uso de este sistema sería para el envío de datos, posibilitando la realización de *streaming* en tiempo real. Durante una prueba en el CMT con la radio integrada en el Mercurio se comprobó que con la configuración vehicular la radio aumenta su alcance hasta llegar a 7 kilómetros de distancia.

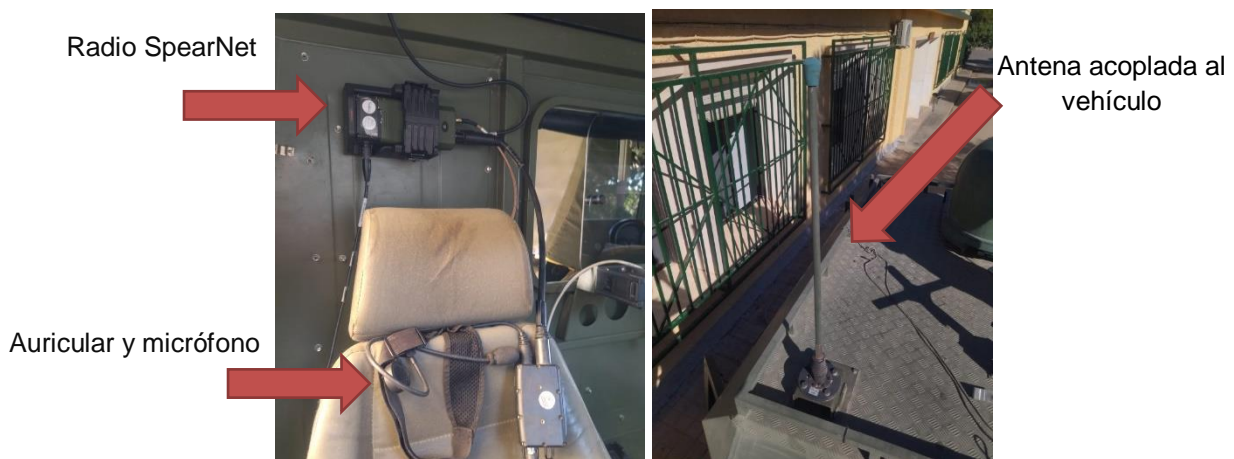


Figura 10. Implementación de la radio SpearNet

Otra característica que convierte esta radio en una necesidad en la estación es su capacidad de hacer la función relé automáticamente, consiguiendo enlazar a grandes distancias con mayores tasas de transmisión que el resto de los medios. En otra prueba realizada con tres radios en tres vehículos diferentes se llegó a enlazar a 11 kilómetros, lo que es una gran distancia en el rango de frecuencias en el que trabaja esta radio y la altitud del terreno en el que se realizó la prueba. En la Figura 11 se puede apreciar la disposición de los tres vehículos durante la última práctica realizada con el sistema SpearNet.

¹⁰ Creado para una situación concreta

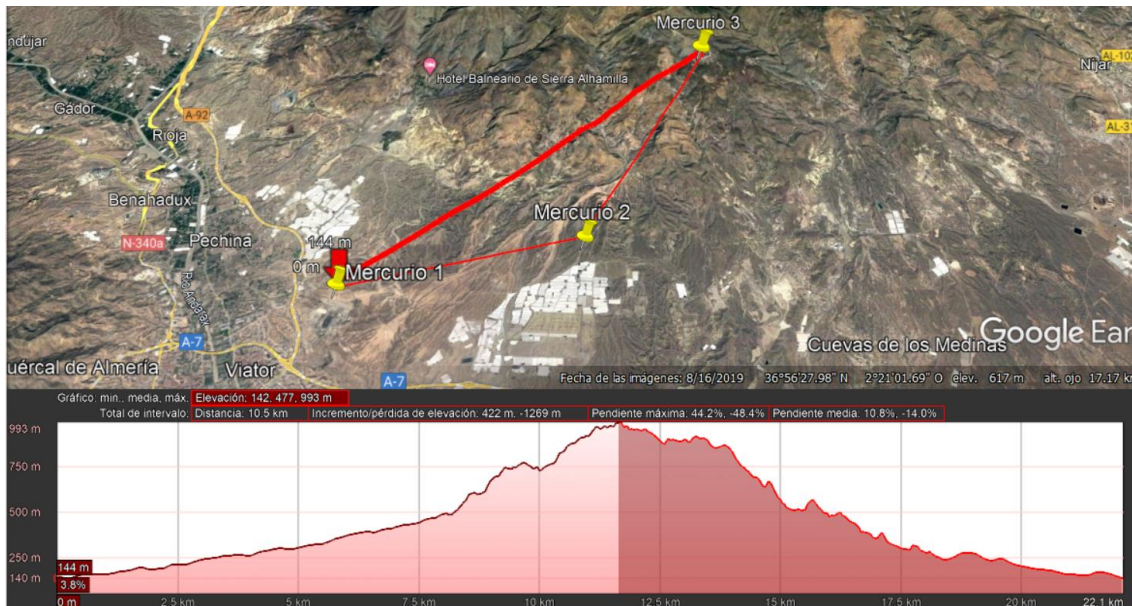


Figura 11. Disposición de los vehículos en la práctica con el sistema SpearNet

4.1.5 RADIOENLACE IP

Ante la falta de un radioenlace militar propio, actualmente se utiliza el radioenlace de dotación del RACTA 4. Este problema causa tanto falta de instrucción como fallos de seguridad al ser las frecuencias que emplea puestas a disposición del mercado desde 2020 (Ministerio de Economía y Empresa, 2020). El empleo de estas frecuencias constituye un riesgo de clase alto-medio.

Una mejora de la instrucción del personal es el empleo del radioenlace civil Ubiquiti, actualmente de dotación. Aunque al ser un medio civil no es el medio óptimo para el envío de la información de un Centro de Transmisiones, el máximo nivel de seguridad que puede tener un documento que esté en un CTTAC será inferior a NATO Secret (Centro Criptológico Nacional, 2020), por lo que se puede utilizar cuando los datos que envían hayan sido previamente cifrados. Además, aunque esté securizado por medio del cifrador, este enlace solamente sería empleado como medio de respaldo en caso de fallo del resto de enlaces.

La forma más segura de transmitir con este radioenlace sería utilizando un cifrado extremo a extremo, utilizando cifradores propios de la Compañía, como el cifrador IP430T. Con una topología muy sencilla, como la que se muestra en la Figura 12, se puede establecer una red segura utilizando un radioenlace.

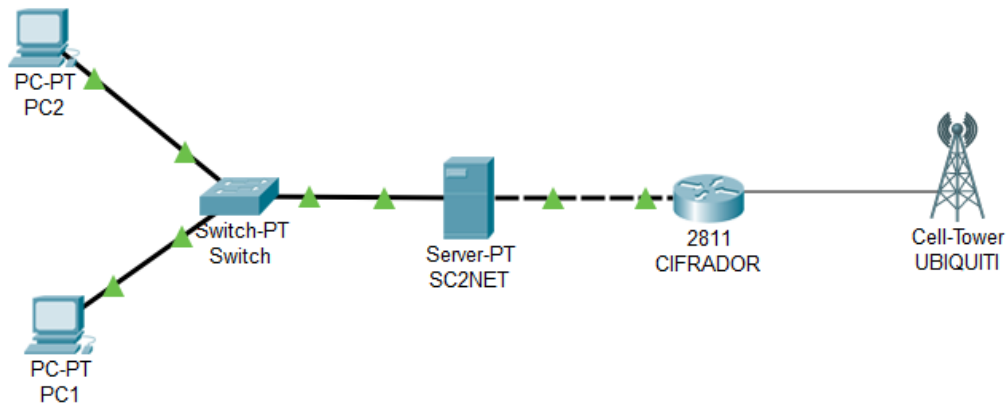


Figura 12. Topología de red con Ubiquiti

La huella del CTTAC es muy importante en operaciones, por eso se plantea reducir en lo posible el número de vehículos y personal que opera los medios. Un radioenlace para hacer de respaldo puede ser necesario, pero usar una estación exclusivamente para ello puede ser ineficaz. Se propone el empleo de una única estación para la Red Radio de Combate y el radioenlace, es decir, combinar en un solo vehículo los medios de la estación Mercurio 2000 IP y los medios la estación Rioja IP. La idea que se plantea es trasladar el radioenlace al Mercurio, y que los encargados de gestionar esta estación se ocupen también del establecimiento y mantenimiento del radioenlace. Esta opción es viable ya que el empleo del radioenlace no supone una gran dificultad ni ocupa un espacio excesivo en el interior del vehículo, solo supone la incorporación de un ordenador portátil para la configuración.

En pruebas realizadas sobre el posible uso de un radioenlace en el Mercurio 2000 IP, se le propuso al personal que trabaja con esta estación en dos ejercicios distintos. Ambas pruebas son parecidas, pero tienen una pequeña diferencia.

Con la primera prueba se quería comprobar la cantidad de tiempo empleada por la tripulación de dos estaciones para conseguir enlace en las bandas VHF y HF. Para calcular con una mayor exactitud el tiempo necesario se realizó el mismo ejercicio hasta en tres ocasiones, obteniendo tres tiempos similares entre sí, con un tiempo medio de 9 minutos. Hay que tener en cuenta que todos los medios de la estación estaban apagados antes de iniciar la prueba y se realizó simultáneamente una pequeña práctica de enmascaramiento del vehículo, buscando mejorar el adiestramiento del personal de tropa con estos cometidos.

En la segunda prueba, se partía con todos los medios apagados y se enlazan dos estaciones entre ellas, pero en esta ocasión se añadió a los medios a enlazar un radioenlace utilizando el sistema Ubiquiti. Al igual que en la prueba anterior, se realizaron tres veces la prueba y se obtuvo un tiempo promedio de 13 minutos.

Estas pruebas realizadas demuestran que con instrucción la implementación del radioenlace en la estación Mercurio sería viable en lo que respecta al tiempo que tarda el terminal en establecer los enlaces necesarios. Esto ahorraría el empleo de un vehículo más en un centro táctico que busca reducir su huella logística, así como reduce el personal que tiene que ser desplegado para un ejercicio.



4.2 MEJORAS NO ALCANZABLES

En este subapartado se plantean las propuestas de mejoras que no se pueden solventar por parte de la Unidad sin contar con ayuda externa.

4.2.1 ESTACIÓN ATQH

Para la mejora del apuntamiento automático, se propone poder guardar en una base de datos las efemérides de todos los satélites a los que tiene acceso la estación ATQH. En la actualidad, solo es posible almacenar los datos necesarios para apuntar automáticamente del último satélite al que se ha conectado la estación, provocando un aumento en el tiempo necesario para la puesta en marcha del sistema, ya que hay que realizar el apuntado manualmente, y una vez se ha realizado la conexión con el satélite, la estación borra los datos y anteriores y sobrescribe la información relativa al último satélite. Para esta solución sería necesaria la intervención del fabricante de la estación con el coste en tiempo y en recursos que implicaría. El riesgo que nos provoca esta deficiencia es bajo.

El uso de la telefonía IP es uno de los servicios que proporciona la estación satélite, pero, aunque el terminal cuenta con un *router* dedicado a ofrecer este servicio, su configuración no es accesible al personal de la Compañía. Esta deficiencia conlleva un riesgo medio. En caso de querer realizar alguna modificación de alguna extensión telefónica o añadir otra a la maniobra, esta solicitud debe pasar por la estación de anclaje sobre la que se esté operando, y desde ella se realiza el cambio que se solicite. El principal motivo por el que no se permite la manipulación de este dispositivo de forma local es para evitar errores en esta configuración que pondría en peligro la operación de la unidad. Para mejorar esta situación, en la que se pierde excesivo tiempo, se propone facilitar el acceso a este *router* para realizar las funciones más básicas de configuración, como añadir una línea más, sin tener la posibilidad de alterar otros parámetros, pudiendo acceder únicamente a nuestra red de telefonía indicando previamente cual es.

Otra opción para resolver esta deficiencia es el uso de un *call manager*¹¹ propio, en el que no hay posibilidad de alterar otras redes como la de la estación de anclaje. Durante el Ex Toro 21 una estación utilizó el *router* de voz del ATQH y otra estación empleó un *call manager* externo, desarrollándose el ejercicio sin problemas. Además, el sistema es de fácil configuración y tiene un tamaño bastante reducido, pudiéndose acoplar perfectamente a la estación.

4.2.2 NODO SC2NET

El nodo SC2NET es vital a la hora de ofrecer servicios al Puesto de Mando y su fallo en un ejercicio deja a los responsables de la toma de decisiones sin posibilidad de comunicarse por mensajería o ver en tiempo real a las unidades en el campo de batalla. Uno de los motivos por los que puede dejar de funcionar la estación es su sistema de refrigeración. En el último ejercicio realizado por la Cía. debido a las altas temperaturas, el sistema tuvo que estar encendido un mínimo de 12 horas, lo que produjo un fallo en el equipo al tercer día que casi conlleva la pérdida

¹¹ Sistema para gestionar la telefonía IP.



de la estación. Esto supone un riesgo alto-medio para la supervivencia del CTTAC.

Al ser el sistema de refrigeración antiguo produce un pico de tensión cada vez que se conecta y prácticamente siempre está en funcionamiento constantemente. Se propone la actualización del sistema de refrigeración a uno más moderno y de menor consumo. La climatización es muy importante en esta estación y hay antecedentes que muestran la necesidad de cambiarlo por otro más eficiente.

Para proteger eléctricamente a la estación, ante picos de tensión o falta de suministro, se emplea el SAI. Su autonomía es demasiado limitada para la importancia del nodo, por lo que se propone sustituirla por otro que pueda garantizar su supervivencia durante un periodo mayor de tiempo.

4.2.3 ESTACIÓN MERCURIO 2000 IP

La estación Mercurio 2000 IP es la encargada de establecer la Red Radio de Combate, el principal elemento empleado por la Brigada y sus escalones inferiores para ofrecer voz misión, enlaces de voz enfocados a órdenes concisas que deben llegar en el momento adecuado.

Todos los componentes del Centro de Transmisiones son necesarios para el correcto funcionamiento del Puesto de Mando, por eso no se puede tolerar una caída de la RRC por un fallo del grupo electrógeno, cosa que no pasaría si la estación contara con un SAI propio que suministrara la corriente necesaria mientras se reestablece el funcionamiento del grupo. Para solucionar esto, se propone incorporar este sistema al Mercurio, con el fin de garantizar la supervivencia de la estación, como para protegerla frente a cambios inesperados en la tensión, al igual que en el nodo SC2NET. Esta falta de material supone un riesgo medio por la posibilidad de la pérdida temporal del enlace.

El empleo del GESCOM-ET es útil en la estación Mercurio debido a la necesidad de interoperabilidad entre los medios que se utilizan. El uso de este complejo software es necesario ya que todos los sistemas que integran la estación son de fabricantes diferentes (PR4G, Harris 5800 y SpearNet en caso de que se introduzca) y esto dificulta que puedan trabajar conjuntamente. Se propone la compra de medios a un solo fabricante, ya que todas las marcas fabrican radios en las tres bandas, y así poder solucionar de una forma más simple el problema de compatibilidad de los sistemas, sin necesidad de utilizar un software externo. Al estar los medios adquiridos en la actualidad se debe seguir usando el software mencionado anteriormente, pero este hecho se debe tener en cuenta para futuras adquisiciones de material. Esta deficiencia supone un riesgo medio para el Centro de Transmisiones.

El espacio en la estación es suficiente, pero se plantea la implementación de una nueva radio en dotación con motivo de la BRIEX capaz de funcionar independientemente en los rangos de frecuencia HF y VHF. El uso de este sistema en la estación puede suponer un aumento en la facilidad de empleo, al tener que configurar un número menor de medios. Se propone la incorporación de esta nueva radio al Mercurio, buscando una optimización de los sistemas embarcados y un menor tiempo empleado en su configuración.



5 CONCLUSIONES

A continuación, se exponen las principales conclusiones obtenidas durante la realización de este Trabajo de Fin de Grado, así como unas líneas de acción futuras para mejorar los resultados obtenidos.

5.1 CONCLUSIONES DEL PROYECTO

Durante este proyecto se han analizado los sistemas de telecomunicaciones y las estaciones que componen el CTTAC de la figura Brigada 2035. Este análisis se ha enfocado en la búsqueda de deficiencias del CTTAC que pueden poner en peligro la operación en curso y para las que se han propuesto soluciones y mejoras.

Se han encontrado un total de 13 deficiencias en el Centro de Transmisiones Táctico, las cuales han sido organizadas según el riesgo que suponen para la supervivencia del CTTAC, basándose en la probabilidad de ocurrencia del fallo y en el riesgo que implica cada uno. De todas ellas, 2 eran de alto riesgo, 4 suponían un riesgo alto-medio, 6 de ellas un riesgo medio y solamente 1 suponía un riesgo bajo.

Para solventar cada una de las deficiencias se han propuesto una o varias mejoras, siendo alcanzables utilizando los medios propios de la unidad aproximadamente el 70% de los fallos detectados. El resto de las deficiencias sólo podrían ser subsanadas con el empleo de medios externos. Las propuestas de mejora incluyen aspectos técnicos, logísticos e, incluso, organizativos del CTTAC y se ha conseguido solventar prácticamente todas las deficiencias con un riesgo medio-alto.

La base de este trabajo reside en mejorar los medios actuales con el fin de poder proporcionar mejores medios y enlaces a los puestos de mando a los que se presta apoyo. El objetivo se ha cumplido en la medida de lo posible, aunque hay deficiencias que no se han podido solventar debido a la falta de medios y tiempo.

Después de las mejoras implementadas, se consigue eliminar o dar por sentada la base para poder acabar con estos errores que ponen en serio peligro la supervivencia del centro, así como han sido eliminadas prácticamente en su totalidad el resto de las deficiencias con un riesgo medio-alto. Además, el grado de satisfacción del personal de la unidad con el material aumentó considerablemente después de la realización de las pruebas necesarias para la implementación de las mejoras alcanzables.

5.2 LINEAS DE ACCIÓN FUTURAS

A lo largo del proyecto se han detectado diversas deficiencias que no pueden ser mejoradas empleando únicamente los medios de los que dispone la unidad. Para poder solventar estos fallos es necesaria una mayor coordinación entre el Ejército de Tierra y las empresas fabricantes de las estaciones. Una comunicación más directa entre las unidades y los proveedores podría ser una buena línea de acción que ayudase a crear un mejor entorno de trabajo en el que estas deficiencias sean conocidas por todos los agentes y puedan ser subsanadas en el menor tiempo posible.



Aunque este proyecto se ha centrado en mejorar el Centro de Transmisiones Táctico de la Brigada de la Legión, estos cambios y mejoras se pueden aplicar a distintos centros de otras unidades salvo pequeñas particularidades. Sería interesante realizar un estudio para poder extender y aplicar estos cambios al resto de Brigadas, teniendo en cuenta que los medios pueden ser diferentes o tener otra función distinta a la que se les da en la Legión.

Como otra línea de acción futura se plantea el poder ofrecer a los puestos de mando computación en la nube, es decir, que todos los archivos no están físicamente en el puesto de mando si no que están almacenados en un servidor en Territorio Nacional y se accede de forma remota a los mismos. El buen funcionamiento de la computación en la nube se basa en una constante actualización de los datos almacenados en los servidores. Para poder llevar a cabo esta propuesta sería necesario disponer de una conexión estable y de alta velocidad y entre la Zona de Operaciones y los servidores en Territorio Nacional. Actualmente y con los medios CIS disponibles esta solución no es viable pero el Ejército de los Estados Unidos de América lo marca como una importante futura tendencia. (Ejército de los Estados Unidos de América, 2017)

Por otro lado, para poder cumplir los objetivos de la BRIEX2035 en el largo plazo se debe realizar una adquisición evolutiva de los medios, evitando esperar varios años para poder emplear un sistema nuevo sobre el terreno y soluciones definitivas con un gran programa después de muchos años de pruebas. La evolución de los medios debe ser constante, modernizándolos cada poco tiempo, y evitando alargar la vida útil de los sistemas más allá de lo necesario.

En esta futura BRIEX2035, los CIS deberían ser un sistema integral, basado en IP, y evitar la coexistencia de varias redes (SC2NET, BMS y otras) unidas por pasarelas como en la actualidad. Es necesario un replanteamiento de estas redes y llegar a la convergencia de todas ellas para que puedan coexistir en una única red. Aunque este concepto ya existe y es conocido como *Everything over IP* (EoIP), no se le ha dado la importancia real que tiene y se debe seguir trabajando en esta línea.

En un ambiente de combate futuro donde el espectro electromagnético es previsible que esté degradado o saturado, la información mínima e indispensable para el combate debe ser capaz de enviarse. Ciertos foros como el Multilateral Interoperability Programme (MIP) ganan valor mientras se busca optimizar al propio usuario para que sea capaz de comunicarse cuando la red sea más vulnerable. Un ejemplo de esta tendencia es el uso de una simbología puesta en común cuando no es posible realizar una videoconferencia en la que se aprecien todos los detalles mediante el empleo de ráfagas cortas de información abreviada conforme a un modelo convenido que garantice la comprensión de la información. (MIP, 2021)

La actual evolución tecnológica en el campo de las telecomunicaciones marca que la infraestructura de transmisión se debería basar en comunicaciones satélites y en Radios Definidas por Software (SDR). Radios de este tipo ya están en dotación en el ET, como la radio Harris AN PRC 117-G, y podrían ser la base de una nueva RRC adaptable. Esta nueva tecnología permite utilizar diferentes formas de onda que se adaptan a la situación del entorno electromagnético, a las condiciones y al tipo de tráfico que debe soportar, optimizando el ancho de banda y permitiendo crear redes móviles ad hoc.



6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aicox, 2020. *Manual de operación terminales ATQH*, s.l.: s.n.
- Aicox, 2020. *Manuel de mantenimiento terminales ATQH*, s.l.: s.n.
- Centro Criptológico Nacional, 2020. *Medidas de seguridad en las TIC a implementar en Sistemas Clasificados*, Madrid: s.n.
- Ejército de los Estados Unidos de América, 2017. Army Techniques Publication. En: *Command Post Organization and Operations*. Washington DC: s.n., p. 114.
- Ejercito de Tierra, 2021. Brigada Experimental 2035. *Revista Ejército*, p. 82.
- Harris, 2014. *RF-5800-HF-MP-Spanish* , s.l.: s.n.
- Jefatura de sistemas CIS y Asistencia Técnica , 2020. *Tendencias Transmisiones 2020*, Madrid: s.n.
- Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2012. *MI4-502*, Granada: s.n.
- Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2017. *Publicación Doctrinal 4-502*. Granada: s.n.
- Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2018. *Publicación Doctrinal 3-317*, Granada: s.n.
- Mando de Transmisiones, 2016. Estación ATQH. *Per Aspera Ad Astra*, Issue 31, p. 86.
- Ministerio de Economía y Empresa, 2020. *CONSULTA PÚBLICA SOBRE EL MODELO DE GESTIÓN DE LAS BANDAS DE FRECUENCIAS DE 700 MHz (694*, Madrid: s.n.
- MIP, 2021. *Multilateral Interoperability Programme*. [En línea] Available at: <https://mip.army.gr/> [Último acceso: 17 Noviembre 2021].



ANEXOS

ANEXO 1: ESTRUCTURA DESGLOSE DE TRABAJO

Autor: CAC Jesús Manuel Navarro Fernández		Equipo de proyecto						
		CAC Jesús Manuel Navarro Fernández						
ID	Nombre tarea	Descripción	Responsable	Fecha inicio	Fecha fin	Status	Link	Fecha reunión
1	Lanzamiento del proyecto		Navarro	01/09/2021	02/09/2021	Cerrada		01/09/2021
1.1	Incorporación BRILEG	Incorporación a la unidad de prácticas	Navarro	06/09/2021	06/09/2021	Cerrada		
1.2	Generación de la agenda	Definición de hitos y fechas de relevancia	Navarro	07/09/2021	09/09/2021	Cerrada		
2	Búsqueda de información		Navarro			En progreso		10/09/2021
2.1	Recopilación de información	Búsqueda de manuales e instrucciones técnicas	Navarro	10/09/2021	15/09/2021	En progreso		
2.2	Calificar observación directa	Observación directa de los medios en uso	Navarro	10/09/2021	17/09/2021	En progreso		
2.3	Realizar mediciones	Definición de necesidades de tipo técnico	Navarro	10/09/2021	14/10/2021	En progreso		
3	Análisis de la situación actual		Navarro			Abierta		15/09/2021
3.1	Búsqueda de deficiencias	Definir necesidades de tipo técnico de los sistemas	Navarro	15/09/2021	27/09/2021	Abierta		
3.2	Generar grupos de discusión	Reuniones con distintos jefes de estación y de centro	Navarro	16/09/2021	27/09/2021	Abierta		
3.3	Entrevistas		Navarro	17/09/2021	24/09/2021	Abierta		
4	Planteamiento de mejoras		Navarro			Abierta		27/09/2021
4.1	Análisis de las deficiencias	Búsqueda de deficiencias en los sistemas que se emplean	Navarro	28/09/2021	01/10/2021	Abierta		
4.2	Brainstorming / búsqueda de soluciones	Propuesta de soluciones para subsanar las deficiencias	Navarro	28/09/2021	05/10/2021	Abierta		
4.3	Implementación de mejoras alcanzables	Puesta en práctica de posibles mejoras	Navarro	05/10/2021	10/10/2021	Abierta		
4.4	Entrevistas posteriores a las propuestas	Reuniones para valorar la utilidad de las mejoras propuestas	Navarro	11/10/2021	13/10/2021	Abierta		
5	Conclusiones	Analizar las conclusiones a las que se ha llegado	Navarro	14/10/2021	15/10/2021	Abierta		14/10/2021



ANEXO 2: PREGUNTAS REALIZADAS AL PERSONAL DE LA COMPAÑÍA DE TRANSMISIONES

Primero se realizaron preguntas para saber el área en la que cada persona desarrolla su trabajo y la antigüedad en su puesto:

- 1.- ¿En qué área desarrolla su trabajo? ¿Estuvo anteriormente en otra área?
- 2.- ¿Cuánto tiempo lleva destinado en esta unidad?

De estas preguntas se pueden extraer varias conclusiones. La primera es que el personal no suele rotar de área, lo que les permite especializarse en unas determinadas funciones. La segunda es que los suboficiales jefes de estación tienen bastante experiencia, ya que de los 14 suboficiales a los que se les realizó esta pregunta, la media de años destinados en la BRILEG era de 3 años, teniendo en cuenta que para la gran mayoría este ha sido su primer y único destino.

Posteriormente se les realizó una serie de preguntas en relación con su grado de satisfacción con los resultados obtenidos de la configuración de sus estaciones.

- 3.- ¿Cómo de satisfecho se encuentra con los medios actuales en dotación?
- 4.- En los últimos ejercicios realizados por la Compañía, ¿ha podido ofrecer los servicios sin problemas?
- 5.- ¿Cree que con el concepto BRIEX35 mejorarán los medios de los que dispone?
- 6.- Del 0 al 10, siendo 0 la nota más baja y 10 la nota más alta, ¿cómo calificaría la instrucción que ha recibido para el mantenimiento de estos medios y la calidad de los servicios que pueden ofrecer?

El grado de satisfacción medio del personal es medio, ya que sienten que los medios son antiguos y tienen muchos aspectos que se pueden mejorar. Confían en que con el nuevo concepto BRIEX35 se introduzcan mejoras, con nuevos medios y nuevas estaciones. El nivel de satisfacción respecto a la instrucción en mantenimiento y calidad de los servicios es aproximadamente de 6,5.

Con posterioridad a las mejoras y prácticas desarrolladas en este proyecto, se repitieron las mismas preguntas. Después de explicar en profundidad el nuevo concepto y probar en ejercicios las mejoras que han sido propuestas, el grado de satisfacción del personal aumentó, aunque como recalcaron, todavía queda lugar para mejoras. Aun así, la media en las respuestas a la pregunta 6 aumentó hasta los 7,5 puntos.



ANEXO 3: SUBSISTEMAS DE LA ESTACION ATQH

-Subsistema antena: Instalada sobre el techo del vehículo. Puede soportar rachas de hasta 121 km/h. Cuenta con una ACU (Unidad Control de Antena), que centraliza la información recibida de diferentes sensores para realizar el apuntamiento del satélite, y con una PDU (*Power Driven Unit*), que proporciona alimentación DC a los motores de elevación, azimut y polarización, y transmite información al ACU. Estos sistemas gestionan las órdenes para los servomotores para proporcionar seguimiento y apuntamiento al satélite de alta precisión. También se puede apuntar manualmente desde la ACU, y en caso de que no funcionase, se podrán utilizar manivelas manuales para forzar la posición de la antena. Para manejar los sistemas e introducir los datos necesarios se puede utilizar el portátil CAC instalado en la cabina o directamente sobre el ACU.

-Subsistema RF: Está formado por BUCs, filtros y guías de onda. Se utiliza un BUC (Bloque convertidor de subida /supra convertidor de bloque) por cada banda. Amplifica la potencia y hace la función de conversor ascendente. Son dispositivos muy resistentes a la temperatura (de -40°C hasta 80°C) y a la humedad relativa (hasta 95%). El BUC de banda X tiene una frecuencia de entrada de 950-1450 MHz y una frecuencia de salida de 7,9-8,4 GHz. El BUC de banda Ka puede trabajar tanto en la Ka civil (29-30 GHz) como en la Ka militar (30-31 GHz) pero no de forma simultánea, mientras que sí se puede trabajar a la vez en banda X y banda Ka.

-Subsistema receptor: formado por LNBs, filtros y guías de onda. El LNB hace la función inversa que el BUC, convierte una señal de alta frecuencia en una de baja frecuencia. Al tener un enlace descendente con muchas pérdidas, se usa un elemento con un factor de ruido muy bajo (Low Noise Block).

-Subsistema de Frecuencia Intermedia: compuesto por la matriz, la unidad de referencia, módems SCPC y DAMA. La matriz es el equipo encargado del encaminamiento de las señales de FI hacia/desde los módems. Permite combinar todas las señales de subida y dividir todas las señales de bajada en un mismo elemento. La unidad de referencia proporciona alimentación y referencia a las cadenas de transmisión y recepción de banda X y Ka. Selecciona la banda de funcionamiento en el caso de la banda Ka.

Los módems son los encargados de modular y demodular las señales de banda base para el acceso al satélite. Cuando este acceso se produce con un solo canal por portadora, se usa una sola señal con una frecuencia y ancho de banda específicos, se denomina SCPC. Ofrecen hasta 2 Mbps y encontramos tres dispositivos idénticos en la estación. También se incorporan a la estación 3 módems DAMA, menos utilizados.

-Subsistema banda base: encontramos los *routers* que se utilizan en las diferentes redes para gestionar el tráfico de voz y de datos, así como un switch para cada *router* que permite conectar los servicios a través de cada una de las redes. Además, está el MUX de voz, que es un equipo multiplexor de voz que permite comunicaciones analógicas seguras.

-Subsistema alimentación: también podemos encontrar un subsistema alimentación formado por un grupo electrógeno autoportante y una SAI que podría alimentar toda la estación menos el aire acondicionado por un tiempo de hasta 25 minutos. El sistema está diseñado para funcionar en caso de que un grupo electrógeno externo falle. También podemos alimentar la



estación desde una toma de red eléctrica disponible. El grupo autoportante cuenta con una autonomía de 12 horas.



ANEXO 4: ANALISIS DE RIESGOS

Probabilidad	3	Medio	Alto - medio	Crítico
	2	Medio	Medio	Alto - medio
	1	Bajo	Medio	Medio
		Low (L)	Medium (M)	High (H)
		Impacto		

Clase de riesgo	Tipo
Crítico (Rojo)	3H
Alto – medio (Naranja)	3M/2H
Medio (Amarillo)	3L/2L/2M/1M/1H
Bajo (Verde)	1L