



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE MÁSTER

*Estudio sobre implementación de comunicaciones BLOS
(Beyond Line of Sight) alternativas al satélite a bordo de la
F-110.*

Máster Universitario en Dirección TIC para la Defensa

ALUMNO: Javier Antoranz.

DIRECTORES: Jose María Núñez Ortuño.

CURSO ACADÉMICO: 2022-2023

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE MÁSTER

*Estudio sobre implementación de comunicaciones BLOS
(Beyond Line of Sight) alternativas al satélite a bordo de la
F-110.*

Máster Universitario en Dirección TIC para la Defensa
Especialidad de Sistemas y Tecnologías de Telecomunicación.

Universida_{de}Vigo

RESUMEN

El requisito más importante de cualquier buque de guerra de la Armada Española, es la capacidad de ofrecer una defensa eficaz frente a cualquier amenaza contra la soberanía nacional o contra algún país aliado de la OTAN. Para cumplir esta misión, es esencial disponer de una eficiente capacidad de mando y control (C2).

Una Capacidad de mando y control adecuada (C2) garantizará que los comandantes navales en tierra emitan directivas oportunas a sus fuerzas desplegadas en el mar de manera efectiva en respuesta a una crisis emergente. Esto requiere proporcionar servicios IP basados en tierra a los comandantes en el mar, a través de comunicaciones BLOS rápidas, confiables, seguras y de alta capacidad, asegurando la seguridad de las comunicaciones.

Es por ello que las comunicaciones BLOS (*Beyond Line of Sight*) en el entorno naval son absolutamente primordiales, pues son necesarias para dotar a un buque desplegado en alta mar de la capacidad de ejercer el mando y control, y por lo tanto poder comunicarse con las estaciones en tierra.

Si bien es cierto que las comunicaciones por satélite (SATCOM) son la alternativa de comunicaciones BLOS más frecuentemente usadas actualmente en un buque de guerra debido a las elevadas tasas de datos y cobertura global ofrecidas que ofrecen, las comunicaciones satelitales presentan significativos inconvenientes como la fácil capacidad de interferencia, así como la frecuente indisponibilidad.

Para paliar estos inconvenientes, así como para ofrecer al buque de cierta capacidad de independencia frente al satélite, es necesario disponer de comunicaciones BLOS alternativas al satélite tal y como las comunicaciones por HF (*High Frequency*) o la dispersión troposférica.

Este TFM tiene como objetivo analizar en detalle estas alternativas, sus estados del arte actuales, así como realizar un estudio de aplicación práctica de alguna de estas alternativas a los buques de la Armada Española, especialmente al futuro buque escolta F-110 y también a las actuales F-100.

PALABRAS CLAVE

BLOS, SATCOM, Dispersión Troposférica, HF, BRASS, BRE1TA.

AGRADECIMIENTOS

Al igual que hice con el Proyecto Fin de Carrera hace 13 años, de nuevo te agradezco a ti y solo a ti Silviuna gatuna este TFM.

Ha pasado mucho tiempo desde entonces, y muchas cosas han cambiado. Del árbol, han brotado muchas ramas. Sin embargo, hay algo que no cambia, y es que siempre y en todo momento has estado a mi lado.

Por todo ello, muchas gracias mi mochuela, ya convertida en búha.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	4
1 INTRODUCCIÓN.....	5
1.1 Panorámica de las Comunicaciones BLOS.....	5
1.2 Soluciones SATCOM	6
1.3 Soluciones en HF.	7
1.4 Soluciones basadas en dispersión troposférica.	8
2 MOTIVACIÓN.	9
2.1 Problemática de la Dependencia de satélites.	9
2.2 Ventajas e inconvenientes de HF.	10
2.3 Ventajas e inconvenientes de la dispersión troposférica.....	11
3 OBJETIVOS.....	12
4 MODELOS DE PROPAGACIÓN Y FUNDAMENTOS FÍSICOS	13
4.1 Línea de Visión directa.	14
4.2 Onda de Superficie.....	15
4.3 Onda ionosférica.	15
4.4 Onda espacial. Dispersión troposférica.....	16
5 LAS COMUNICACIONES POR HF EN ESPAÑA. EL ACTUAL SISTEMA BRASS.....	18
5.1 Antecedentes	18
5.2 Estado del Arte.....	19
5.2.1 Estado del arte en otros países.	20
5.3 El actual Sistema BRASS de la Armada Española.....	21
5.3.1 Capacidades actuales del BRASS	21
5.3.2 Actores más importantes del sistema BRASS.....	21
5.3.3 Descripción Técnica del sistema BRASS	24
5.3.4 Debilidades del actual Sistema BRASS.	24
6 LA EVOLUCIÓN DE LAS COMUNICACIONES HF: EL FUTURO SISTEMA BRE1TA.....	25
6.1 Requisitos Técnicos del Sistema BRE1TA.....	26
6.2 Principales actores y localizaciones del Sistema BRE1TA.	28
6.3 Requisitos de Servicio del Sistema BRE1TA y dimensionamiento.	30
6.4 Interoperabilidad	32
6.5 Propuesta de Solución Técnica del Sistema BRE1TA.....	35

6.5.1 Visión General. Consideraciones importantes.....	35
6.5.2 Arquitectura General. Diagrama de Contexto.	38
6.5.3 Interacciones con otros sistemas.....	39
6.5.4 Modelo de Componentes.	40
6.5.5 Componentes más significativos del Sistema BRE1TA.....	42
6.5.6 Aprovechamiento de los Componentes del Sistema BRE1TA.....	43
7 DISPERSIÓN TROPOSFÉRICA	44
7.1 Antecedentes	44
7.2 Estado del arte.....	47
7.3 Aplicaciones Potenciales.....	51
7.3.1 Consideraciones preliminares	51
7.3.2 Aplicaciones en la Armada Española.	52
8 CONCLUSIONES.....	54
9 LÍNEAS FUTURAS.....	56
10 BIBLIOGRAFÍA.....	57
11 LISTADO DE ACRÓNIMOS.....	59
Anexo I: DESCRIPCIÓN DEL EQUIPAMIENTO EN LOS CECOMS	62
Anexo II: DESCRIPCIÓN DEL EQUIPAMIENTO DE LAS ESTACIONES RADIO DEL SISTEMA BRASS.....	64
ANEXO III: DESCRIPCIÓN ELEMENTOS DE LA ARQUITECTURA DE LA SOLUCIÓN BRE1TA PROPUESTA.....	68
ANEXO IV: DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA SOLUCIÓN BRE1TA PROPUESTA	79
ANEXO V: RESUMEN BRE1TA.....	80
ANEXO VI: EQUIPAMIENTO BRE1TA EN BUQUES	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Infraestructura satelital SECOMSAT (Fuente: Página HISDESAT [1])	7
Figura 4-1 Escenario Comunicaciones BLOS. [3]	13
Figura 4-1 Fenómeno de Troposcattering o dispersión troposférica. [3]	17
Figura 5-1 Localización de los CECOMs y las Estaciones Radio en España.	23
Figura 5-2 Arquitectura básica del Sistema BRASS.....	23
Figura 6-1 Actores más relevantes del Sistema BRE1TA español	29
Figura 6-2 Arquitectura General. Diagrama de Contexto.	38
Figura 6-3 Modelo de Componentes de alto nivel.	40
Figura 7-1 Antenas tipo 'billboard' del sistema Back Porch en Phu Lam (1962) [7]	45
Figura 7-2 Estructura de comunicaciones del sistema TRRL Sever de la URSS [8],.....	46
Figura Anexo IV. Diagrama de Bloques particularizado para el CECOM de Madrid y las estaciones Radio de Madrid	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 6-1: Aplicaciones BRE1TA = Aplicaciones BRASS Legacy + Aplicaciones nuevas.....27

Tabla 6-2: Tabla de Dimensionamiento31

Tabla Anexo II : Equipamiento Estaciones Radio Sistema BRASS actual.....64

Tabla Anexo V : Equipamiento más relevante del BRE1TA en CECOMs y Estaciones Radio80

Tabla Anexo VI: BRE1TA Ship equipment description.....85

1 INTRODUCCIÓN.

1.1 Panorámica de las Comunicaciones BLOS

Las comunicaciones BLOS son esenciales para mantener la capacidad de un buque de guerra de ejercer el mando y control desplegado en el teatro de operaciones y por lo tanto, alejado de la cobertura redes comerciales.

Son diversas las técnicas empleadas en la actualidad para dar cobertura y servicio a los diferentes escenarios marítimos en comunicaciones BLOS¹. Una de las más empleadas consiste en los sistemas basados en comunicaciones por satélite. Si bien es cierto que las comunicaciones satelitales ofrecen grandes ventajas, también presentan significativos inconvenientes que describiremos posteriormente.

Es por ello que se hace necesario disponer de distintas alternativas al satélite, que permitan establecer un enlace de comunicación seguro y fiable más allá de la línea del horizonte y con suficiente ancho de banda, para garantizar la operatividad de las comunicaciones BLOS, en caso de que el satélite no se encuentre disponible.

Entre estas alternativas de comunicaciones BLOS, se destacan dos que serán objeto de estudio de este documento:

- 1. Comunicaciones por HF (*High Frequency*).**
- 2. Comunicaciones basadas en la dispersión troposférica.**

¹ BLOS - *Beyond Line of Sight*. Término que se emplea para referirse a radio comunicaciones con un alcance más allá de la línea de visión directa.

1.2 Soluciones SATCOM

Las comunicaciones satelitales (SATCOM) son las más empleadas hoy en día para proporcionar comunicaciones BLOS, no solo a los buques de guerra sino en general a las unidades de las Fuerzas Armadas desplegadas en zona de operaciones. Estas comunicaciones ofrecen un elevado ancho de banda y una cobertura global, pero que por contrapartida también se enfrentan a inconvenientes como la fácil capacidad de interferencia y la frecuente indisponibilidad. Estas condiciones operativas se conocen como *Denied Disrupted Intermittent and Limited Bandwidth* o DDIL².

Actualmente, las comunicaciones militares³ por satélite son realizadas a través del *Sistema Español de Comunicaciones Militares por satélite* (SECOMSAT) del Ministerio de Defensa. Este sistema, se compone actualmente de un par de satélites geoestacionarios (SPAINSAT y XTAR-EUR) operados por la compañía HISDESAT, y que permiten las comunicaciones en la banda X y en banda Ka, así como de una serie de estaciones de anclaje situadas en Gran Canaria y en Madrid.

Es importante destacar que estos dos satélites están en el último periodo de su vida útil, y por ello está previsto que sean reemplazados por los nuevos satélites SPAINSAT NG I y II en los próximos años. Estos nuevos satélites incorporarán además de la banda X y Ka, la banda de UHF. A continuación se muestra en la figura 1-1, un esquema muy simplificado del SECOMSAT.

² DDIL - *Denied Disrupted Intermittent and Limited Bandwidth*. Referido a la limitación en capacidad y disponibilidad del ancho de banda de un sistema de comunicaciones.

³ Si bien es cierto que las comunicaciones militares se hacen vía SECOMSAT, también es importante destacar que los buques de guerra disponen de sistemas de comunicaciones satelitales comerciales alternativos, tales como el IMMARSAT y el IRIDIUM.

1.4 Soluciones basadas en dispersión troposférica.

Las comunicaciones basadas en la dispersión troposférica están basadas en el fenómeno de la **dispersión troposférica o *tropospheric scattering*** (o simplemente, ***troposcatter***) de las señales de UHF y SHF. A grandes rasgos y a modo de breve introducción, este modelo de propagación basa su comportamiento en las propiedades físicas que componen la troposfera⁴. Estas propiedades se basan en la composición de áreas con diferentes constantes dieléctricas, además de existir en ella pequeñas partículas en suspensión, en su mayoría vapor de agua. Todos estos factores, influyen en que una pequeña fracción de la señal de microondas transmitida hacia ella (normalmente con una frecuencia localizada en la banda alta de UHF⁵ y en la parte baja de SHF, en torno a los 2 GHz), sea dispersada de vuelta a la tierra. Por consiguiente, esta pequeña parte de potencia puede ser captada por estaciones receptoras, estableciendo así un enlace de comunicaciones que a pesar de no ser óptimo en cuanto a eficiencia (ya que la gran parte de la potencia se pierde en otras direcciones o se escapa hacia el espacio exterior), sí que puede resultar útil y funcional.

En el [capítulo 7](#) se analizará con detalle las comunicaciones por dispersión troposférica.

⁴ La troposfera es la capa de la atmósfera terrestre en cuanto a altitud se refiere y tiene un espesor en torno a los 17 km en el ecuador terrestre

⁵ *UHF – Ultra High Frequency*. Banda frecuencial estipulada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones que está comprendida entre los 300 – 3000 MHz.

2 MOTIVACIÓN.

2.1 Problemática de la Dependencia de satélites.

Aunque en la introducción de este documento ya se han introducido razones para pensar en alternativas/complementos a las comunicaciones vía satélite, conviene hacer aquí una reflexión en mayor profundidad a ese respecto.

En primer lugar hay que tener en cuenta los costes y la disponibilidad de uso de satélites. En la actualidad el Ministerio de Defensa cuenta con dos satélites propios (SpainSAT y XTAR-EUR), aunque no todos sus recursos están disponibles para uso oficial, puesto que parte del ancho de banda disponible se comercializa a través de la sociedad HisdeSAT. Por tanto, si la demanda de Defensa en un momento dado es suficientemente grande, será necesario recurrir al mercado para alquilar *transponders* de otros satélites, con el importante coste que ello supone. Ocurre lo mismo, si la misión lleva a unidades de la Armada a operar fuera de la zona de cobertura, presentando grandes zonas de sombra tanto en las regiones polares como en el buena parte del Océano Pacífico).

Un segundo aspecto a tener en cuenta es la vulnerabilidad de este tipo de sistema de comunicaciones. Dado que la situación de los satélites es conocida, se trata de sistemas fácilmente interferibles. Son susceptibles tanto a *jamming* convencional, como a un EMP-Jammer (Inhibidor de Generador de Pulsos Electromagnéticos) EMP.

Finalmente, en determinadas aplicaciones, tampoco puede obviarse la importante *latencia* que supone este tipo de enlaces (del orden de 600 ms).

Por todos estos inconvenientes, se hace necesario disponer de alternativas de comunicaciones BLOS al satélite, tales y como las comunicaciones por HF así como la dispersión troposférica.

Antes de empezar a analizarlas en detalle, vamos a hacer un breve análisis de las ventajas e inconvenientes más significativos de este tipo de comunicaciones.

2.2 Ventajas e inconvenientes de HF.

Las ventajas fundamentales de las comunicaciones en HF son las siguientes:

- El precio, ya que los terminales satelitales son muchísimos más caros que los transmisores de HF que son relativamente baratos. Adicionalmente los transmisores de HF no están sujetos a costosas actualizaciones de SW a diferencia de los terminales satelitales.
- Adicionalmente, es muy interesante destacar que las comunicaciones por satélite por el sistema militar SECOMSAT están fuertemente intervenidas y su uso siempre está sujeto a la concesión de canales satelitales por autoridades externas a la Armada. Por el contrario el HF no requiere de ninguna autorización exterior a la Armada para ser usado.
- Por último, es reseñable comentar la gran robustez frente averías que presentan las comunicaciones HF respecto a las comunicaciones por satélite. Además, son mucho más difíciles de perturbar que las satelitales.

Los inconvenientes más reseñables son:

- El inconveniente fundamental del HF es el limitadísimo ancho de banda (un canal tradicional de HF tiene un ancho de banda de 3 KHz). Esta limitación en banda le impide ser un medio eficaz para transmitir altos volúmenes de información, tan necesarios hoy en día para transmitir contenido audiovisual. Por esta razón, el uso habitual del HF queda restringido a voz y mensajería formal.
- El uso del HF ~~no es algo trivial~~ no es sencillo, y requiere invertir una cantidad significativa de tiempo para formar a un operador cualificado (a diferencia de las comunicaciones por satélite cuyo uso es realmente fácil), ya que debido a la naturaleza de las comunicaciones HF (las ondas se reflejan en la ionosfera produciéndose la reflexión en varias capas), se

produce una fluctuación muy significativa en el tiempo de las condiciones del canal, lo que produce distorsiones considerables tanto en la amplitud como en el retardo de la señal.

- El alto nivel de ruido del canal, puede provocar que si el operador no es experimentado y no sabe adaptar el receptor al entorno, no sea capaz de recibir la señal.
- El formato de Mensajes que las comunicaciones tradicionales de HF pueden soportar, está muy restringido a la Mensajería formal (ACP-127) [2], lo cual impide que protocolos de comunicaciones más modernos no puedan usarse en este canal.

2.3 Ventajas e inconvenientes de la dispersión troposférica

Las ventajas fundamentales de las comunicaciones por dispersión troposférica son las siguientes:

- Solución efectiva en costes para comunicaciones BLOS si la comparamos con los costes asociados a un sistema SATCOM.
- Mucho mayor ancho de banda que un sistema de comunicaciones HF (Mbps vs. Kbps).
- Capacidad de establecer un enlace más allá de la línea del horizonte.

Sin embargo presenta los siguientes inconvenientes:

- Baja eficiencia en potencia. Solamente una parte muy pequeña de la potencia transmitida se encontrará disponible en el receptor. El resto se perderá a través de la atmósfera.
- Requiere de instalaciones muy voluminosas. Se necesitan antenas muy grandes para disponer de altas ganancias. Normalmente se necesita de configuraciones en diversidad espacial para conseguir buenos rendimientos.
- Alta dependencia del estado de la troposfera y de la formación de las condiciones de propagación favorables que hacen que el establecimiento del enlace sea complicado de realizar.

Una vez descritos las principales ventajas e inconvenientes de las formas de comunicación alternativas al SATCOM, vamos a definir en el siguiente capítulo los objetivos del presente TFM.

3 OBJETIVOS

El presente TFM, tiene como objetivo estudiar los **detalles de las dos comunicaciones BLOS alternativas al satélite** (Comunicaciones HF y comunicaciones basadas en dispersión troposférica), sus **estados del arte** actual, haciendo especial hincapié en el **sistema BRE1TA**⁶, (evolución natural de las comunicaciones por HF), así como proponer una **aplicación práctica para un buque de la Armada Española**, en concreto la futura fragata F-110, así como la actual fragata de tipo F-100.

Previamente al estudio de ambas alternativas, es necesario realizar un **análisis de los modelos de propagación** en los que se fundamentan estos dos tipos de comunicaciones.

⁶ BRE1TA → Broadcast Enhancement 1 Target Architecture

4 MODELOS DE PROPAGACIÓN Y FUNDAMENTOS FÍSICOS

En esta sección se describen a modo de recordatorio, los principales modelos de propagación existentes para conseguir transmitir tanto en línea de visión directa (“LOS⁷ Communications”), como más allá de la línea del horizonte (BLOS).

Estos modelos son, la línea de visión directa o *line of sight*, la onda de superficie, la onda ionosférica y la onda espacial en su aplicación específica con la dispersión troposférica. En estos dos últimos se profundizará especialmente puesto que son el objeto de estudio de este trabajo. Además, se desarrolla a groso modo el fundamento físico de todos estos modelos. Finalmente, se exponen los inconvenientes y ventajas que cada uno propone.

A modo de introducción se presenta la figura 4-1 para tener una primera visión del escenario en el que se emplean estos modelos de propagación.



Figura 4-1 Escenario Comunicaciones BLOS. [3]

⁷LOS Communications → “Line of Sight Communications”. Este término hace referencia a las comunicaciones dentro del horizonte de visión. Es justo lo contrario de las comunicaciones BLOS (más allá del horizonte de visión).

4.1 Línea de Visión directa.

La propagación por línea de visión directa es el único modo de propagación descrito en este apartado que no se engloba en las comunicaciones BLOS. Es un tipo de comunicación punto a punto, en el que dos enlaces establecen una comunicación bidireccional. La ventaja principal de este sistema reside en que es capaz de alcanzar velocidades de transmisión muy altas, incluso del orden de Gbps.

Las frecuencias de trabajo de los radioenlaces digitales con visión directa se encuentran entre 1 – 90 GHz. Los principales inconvenientes que presenta este modelo de propagación se derivan de los desvanecimientos de señal, atenuaciones por lluvia, fenómenos de difracción, y especialmente la distorsión multitrayecto. Para mitigar los efectos de la distorsión multitrayecto y el desvanecimiento, se utilizan técnicas de diversidad (en frecuencia, polarización, espacio, etc.) o ecualizadores adaptables de canal.

La longitud útil de trayecto está limitada a causa de las pérdidas de propagación, la potencia de transmisión y las ganancias de las antenas. Con frecuencias altas (>10 GHz), esta distancia está especialmente afectada por la lluvia y los fenómenos de *scattering* y absorción asociados, aumenta con la frecuencia, y también influye el trayecto del enlace. Zonas tropicales o zonas que sufren lluvias torrenciales son las más críticas en este sentido. En las frecuencias más bajas (<10 GHz), el efecto predominante es la distorsión de la señal a causa del multitrayecto.

4.2 Onda de Superficie.

Una onda de superficie se propaga en la discontinuidad Tierra-Aire. Sus dos componentes de polarización se comportan de manera diferente. Mientras que la componente vertical de la señal se propaga sobre la superficie sin sufrir apenas pérdidas, la componente horizontal se atenúa por el efecto de la conductividad del suelo. La propagación de estas señales depende fundamentalmente de la frecuencia y del tipo de suelo. Modelar y caracterizar correctamente el tipo de suelo es una cuestión fundamental para predecir de manera correcta la propagación de la onda de superficie. El suelo se caracteriza como un dieléctrico con pérdidas definido por la conductividad eléctrica (σ) y la permitividad relativa (ϵ_r).

Las antenas empleadas en este tipo de comunicación suelen ser de tipo monopolo vertical con longitudes de entre 50 - 200 m y polarización vertical. Además, los rangos de frecuencia de trabajo se encuentran comprendidos entre los 10 kHz y los 30 MHz.

Entre las ventajas que propone este modelo de propagación, destacan los largos alcances que se pueden obtener y la estabilidad de estos. A grandes distancias de la antena transmisora donde la curvatura de la Tierra se hace evidente, el campo decrece de manera exponencial. Como inconveniente aparece la alta influencia del terreno en el alcance de la propagación, siendo mayor en zonas húmedas que en zonas secas. Por último, el alcance será menor cuanto mayor sea la frecuencia.

4.3 Onda ionosférica.

La ionosfera es la región de las capas altas de la atmósfera (60 – 400 km de altura). Debido a su fuerte ionización, refleja las señales radioeléctricas a frecuencias comprendidas entre 3 – 30 MHz. La ionización (o presencia de electrones libres) es causada fundamentalmente por radiaciones solares en las bandas ultravioletas y de rayos X, por rayos cósmicos y por meteoritos. Así, la densidad de electrones varía según la hora del día, la estación del año y los ciclos de manchas solares que tienen un periodo de 11 años.

La densidad media de electrones también varía con respecto a la altura al suelo. Con esto, la ionosfera se puede dividir en una serie de capas:

- Capa D – baja densidad electrónica. Sólo durante el día. Localizada entre los 60 – 90 km de altura. Importante absorción en la banda MF y atenúa la banda de HF.
- Capa E – localizada entre los 90 – 150 km de altura. De día propaga la banda de HF. Durante la noche refleja las frecuencias de MF.
- Capa F1 – localizada entre los 175 – 250 km de altura. Solamente existe durante el día, reflejando las frecuencias de HF.
- Capa F2 – situada a 250 – 500 km de altura. Refleja frecuencias de HF a grandes distancias ($d > 1500$ km). Durante la noche se funden F1 y F2 a unos 350 km.

Según el modelo de refracción ionosférica, el índice de refracción disminuye según la altura a causa de que la densidad de electrones aumenta.

La onda ionosférica tiene como ventaja principal el gran alcance que puede conseguir. Sin embargo, es un modo de propagación bastante inestable puesto que depende de las condiciones variables de ionización en las que se encuentra la ionosfera. Por último, las antenas empleadas en este sistema de propagación son de diversos tipos (log-periódicas, rómbicas, etc.) y con polarizaciones verticales y horizontales.

4.4 Onda espacial. Dispersión troposférica.

La propagación troposférica es un caso particular de propagación por onda espacial. La ionosfera se hace transparente y la propagación en el espacio libre se ve modificada por la troposfera (la capa más baja de la atmósfera), que hace que aparezcan fenómenos de refracción, absorción y dispersión en las señales electromagnéticas, también conocido como *scattering*.

La troposfera es un medio no homogéneo. Sus características cambian con la altitud en función de variables como son la presión atmosférica, la temperatura o la humedad. Con esto se producen variaciones en la constante dieléctrica y por tanto en el índice de refracción. Estas variaciones generan una refracción progresiva de las ondas electromagnéticas, lo que genera a su vez una curvatura de los rayos.

La presencia de gases y vapor de agua en la troposfera también presenta efectos perturbadores como son la absorción de energía de las ondas electromagnéticas, pudiendo producir atenuaciones muy

elevadas. De igual manera, la presencia de hidrometeoros como la lluvia, la nieve o el granizo también da lugar a atenuaciones de la señal variables con el tiempo.

Además, a determinadas frecuencias, ciertas moléculas de los elementos que componen la troposfera entran en resonancia generando también estos efectos indeseados. En la figura 4-2 se representa el fenómeno de *scattering*:

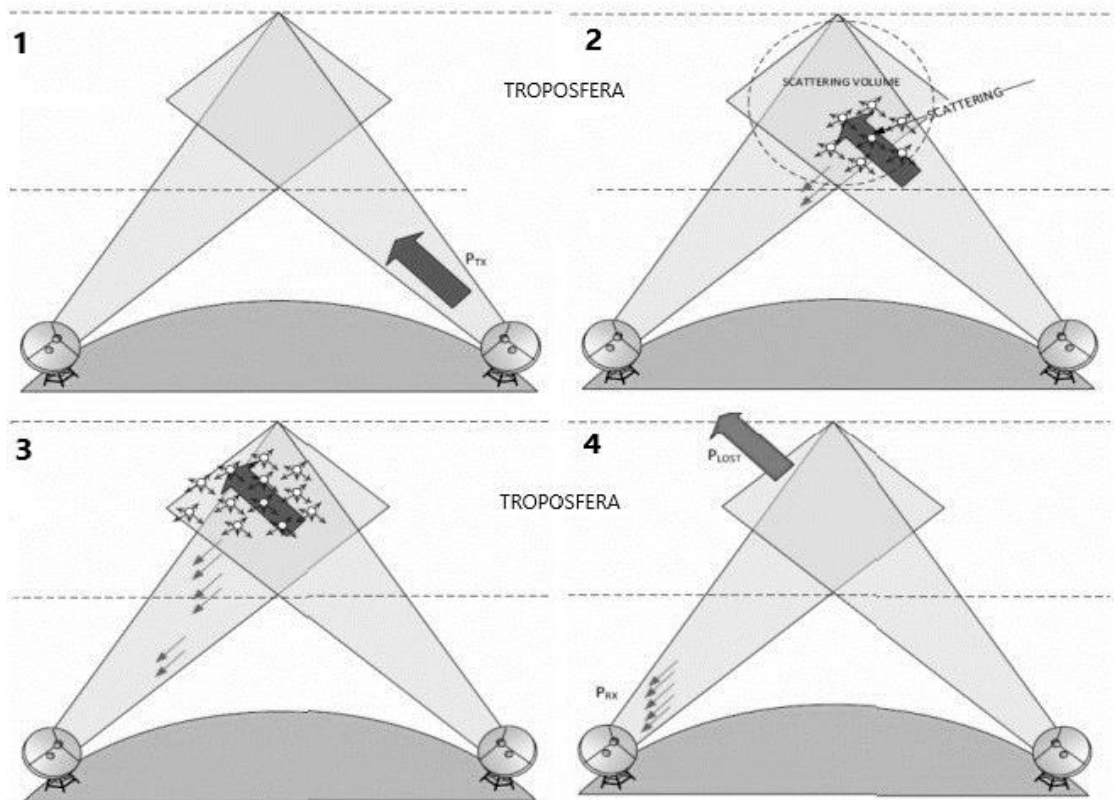


Figura 4-2 Fenómeno de Troposcattering o dispersión troposférica. [3]

La frecuencia de trabajo adoptada en este modelo de propagación se encuentra en la banda superior de UHF, también conocida en otras nomenclaturas como banda S, y está en torno a los 2 GHz.

Mediante la dispersión troposférica la energía de la señal de radio se dispersa a causa de las heterogeneidades troposféricas en el volumen común formado por la porción de la troposfera visible tanto desde la antena transmisora como de la receptora.

5 LAS COMUNICACIONES POR HF EN ESPAÑA. EL ACTUAL SISTEMA BRASS

5.1 Antecedentes

Antes de la llegada de las comunicaciones por satélite, las comunicaciones navales por HF se han usado tradicionalmente para permitir a los buques desplegados en la zona de operaciones, permanecer en contacto con los cuarteles generales de tal manera que estos puedan ejercer el mando y control, a través de las estaciones de anclaje en tierra.

En el caso de la Armada Española (y en el mundo OTAN), el sistema tradicional de radiodifusión por HF es conocido como BRASS. (*Broadcast and Ship-Shore System*).

Este sistema BRASS, se estableció en los años setenta, en base a la Estación Radionaval de Madrid como nodo principal, con un elevado número de transmisores de alta potencia en Santorcaz y receptores en Bermeja, con sus correspondientes campos de antenas. El control principal se determinó que fuera ejercido desde el Centro de Comunicaciones del Estado Mayor de la Armada (CECOMMAD), y un puesto redundante de mando en Rota: El Centro de Comunicaciones de la Flota (CECOMFLOT),

Posteriormente, este sistema BRASS fue ampliado en los años 90, y se añadieron las estaciones radio alternativas de Cádiz y Canarias como nodos de reserva, que incluyen varios transmisores y receptores en Cádiz (Puerto Real y Chiclana) y en Las Palmas (Picacho y Almatriche).

Este sistema BRASS ha funcionado muy bien desde los años 70 hasta el 2000. Sin embargo a comienzos de este siglo, el equipamiento radio del sistema se ha quedado obsoleto, y se ha demostrado incapaz de hacer frente a los nuevos retos del mundo de las comunicaciones que requieren mucho

mayor ancho de banda que el tradicional ofrecido por HF, así como capacidad de ofrecer comunicaciones orientadas a IP.

5.2 Estado del Arte

Es por ello que en la OTAN, se empezó a hablar a comienzos de este siglo del “*BRASS ENHANCEMENTS 1 Target Architecture*” (BRE1TA), para la modernización y ampliación del BRASS. Estas mejoras permitirían fundamentalmente incrementar el ancho de banda de las comunicaciones navales por HF, así como capacitarlas para soportar protocolos de comunicación orientados a IP.

Como consecuencia de este impulso de mejora de las comunicaciones navales por parte de la OTAN, durante la última década, la industria del HF ha experimentado un avance muy significativo. Esta modernización tiene como objetivo mantener las ventajas tradicionales del HF y reducir al máximo posible sus inconvenientes.

Gran parte de esta mejora ha venido marcado por el auge de nuevas tecnologías, como la radio definida por software (SDR). Este concepto consiste básicamente en trasladar lo más cerca posible de la antena los elementos analógicos de un equipo de HF, digitalizando los demás, de tal forma que en un mismo equipo (igual que si fuera un ordenador) se pueden aplicar diferentes formas de onda (igual que si fueran aplicaciones) para conformar a medida distintos tipos de enlaces o canales.

España ha sabido aprovechar este impulso de mejora en las comunicaciones por HF liderado por la OTAN, y ha desarrollado aplicaciones propias en este campo. Podemos citar en primer lugar el desarrollo HFDVL (HF data + voice link). Este sistema es de diseño puramente español, creado por las universidades Politécnica de Madrid (UPM), Las palmas de Gran Canaria, con apoyo de los ministerios de Educación y de Ciencia e Innovación. Estas técnicas, unidas a las de ALE (Establecimiento Automático del Enlace) y ALM (Mantenimiento Automático del Enlace) aportan grandes ventajas, como el funcionamiento integrado y simultáneo de la transmisión de información y de sondeo de canal, generalizando el concepto clásico de ALE y dando lugar al ALMA (Gestor Automático de Enlace), que hace que el cambio de canal se gestione de forma transparente para el usuario, de manera que el enlace de HF se perciba como estable y permanente. Al ser un sistema SDR que basa toda la gestión y modulación en software, permite ir adaptándose a los recursos radio disponibles en cada momento.

En relación con este proyecto, se han investigado técnicas de diversidad frecuencial y espacial mediante el uso de varias antenas, que permita mejorar la robustez frente a desvanecimientos. Esto permite automatizar el proceso, haciéndolo independiente de la pericia del personal radio (un inconveniente clásico de los sistemas de HF nombrado previamente) y disminuyendo el personal dedicado a estos cometidos.

El desarrollo HFDVL fue probado y contrastado en el programa “Coalition Warrior Interoperability *Demonstration*” (CWID) 2009 del ministerio de Defensa, verificándose su funcionamiento real en varios escenarios tácticos diferentes, que van desde varios tipos de buques de la Armada, incluidos submarinos, hasta vehículos de Infantería

5.2.1 Estado del arte en otros países.

En otros países, el impulso de la OTAN en mejorar las tecnologías de HF, ha impulsado también las iniciativas SDR y la digitalización en el mundo de la radio. Como ejemplo, podemos nombrar el programa *Joint Tactical Radio Systems* (JTRS) de la marina de los Estados Unidos, que empezó en 1997 y que tiene como objetivo sustituir los más de 200 tipos de radios del inventario del Departamento de Defensa (DoD) por comunicaciones multicanal (voz, datos, imagen y vídeo) que sean fiables, modulares, escalables y reconfigurables. En Europa hay muchos organismos que trabajan en la mejora de las comunicaciones radio. El más destacado es el *European Secure Software Defined Radio* (ESSOR), en el que participa España junto a Francia, Italia, Finlandia, Suecia y Polonia. Estos organismos trabajan conjuntamente con empresas como Thales, Selex e Indra.

5.3 El actual Sistema BRASS de la Armada Española

5.3.1 Capacidades actuales del BRASS

La implementación del sistema BRASS español ha provisto a la Armada Española de las siguientes capacidades, conocidas como BRASS ICC (“*BRASS Initial Core Capability*”):

- Circuitos Ship-Shore (Unidireccionales) para Broadcasting.
- Circuitos MRL (*Maritime Rear Link*) Bidireccionales.
- Retransmisión de Broadcasting (*Re-Keying*).
- Off The Air Monitoring (*OTAM*).

Algunos de estos circuitos son de uso nacional y otros se reservan para el uso⁸ de la OTAN.

5.3.2 Actores más importantes del sistema BRASS

Los actores más importantes del sistema BRASS son los Centros de Mando y control (CECOM), y las estaciones radio.

Los CECOMs son los encargados de controlar y monitorizar el estado del sistema, así como de establecer los circuitos por los que se transmitirá la señal. Las estaciones radio son las encargadas de convertir la señal que viene en banda base de los CECOMs a la frecuencia de HF adecuada y con la modulación necesaria, para posteriormente radiar dicha señal a través de las antenas.

Los CECOMs con los que cuenta el sistema son los siguientes:

- CECOM del Cuartel General de la Armada en Madrid (CECOMMAD)
- CECOM del Cuartel General de la Flota en Cadiz (CECOMFLOT)

Estos dos⁹ CECOMs están provistos con las mismas capacidades. Ambos pueden usarse de forma independiente, y ambos pueden controlar el equipamiento disponible en cualquiera de las estaciones radio.

⁸ El acuerdo entre España y la OTAN recogido en el MOU (Memorandum of Understanding) establece que al menos 4 Circuitos de Broadcasting para la OTAN y un circuito MRL.

⁹ Además del CECOMMAD y del CECOMFLOT, existe un CECOM de emergencia situado en las Palmas (Islas Canarias). Este CECOM solo puede controlar las estaciones radio situadas en las Palmas, y con funciones reducidas.

A continuación vamos a describir las tres estaciones radio por las que se transmite/recibe la señal de HF:

- ERMAD: Situada en Madrid. Compuesta de una estación de transmisión (Santorcaz), y otra de recepción (Bermeja).
- ERDIZ: Situada en Cadiz. Compuesta de una estación de transmisión (Chiclana), y otra de recepción (Puerto Real).
- ERPAL: Situada en Las Palmas. Compuesta de una estación de transmisión en (Almatriche) y otra de recepción (Picacho).

Tradicionalmente, la comunicación entre los distintos CECOMS y las estaciones radio se ha realizado a través del SCTM¹⁰. Sin embargo, actualmente éste SCTM se está sustituyendo por la “*Integral Information Infrastructure*” del Ministerio de Defensa, o más conocida como la I3D. Esta I3D está siendo actualmente explotada por el CESTIC (Centro de Sistemas y Tecnologías de la Información y Comunicaciones).

Es importante destacar que la Armada Española dispone también de una estación de LF (*Low Frequency*) destinada a realizar broadcasting para comunicaciones submarinas. Sin embargo, esta estación no se considera dentro del Sistema BRASS.

En las figuras 5-1 y 5-2 se describen las localizaciones de los CECOMs y las estaciones radio, así como la arquitectura general del Sistema BRASS respectivamente.

¹⁰ El SCTM es el Sistema Conjunto de Telecomunicaciones Militares. Este Sistema está cada vez más cayendo en desuso y siendo sustituido por la I3D.

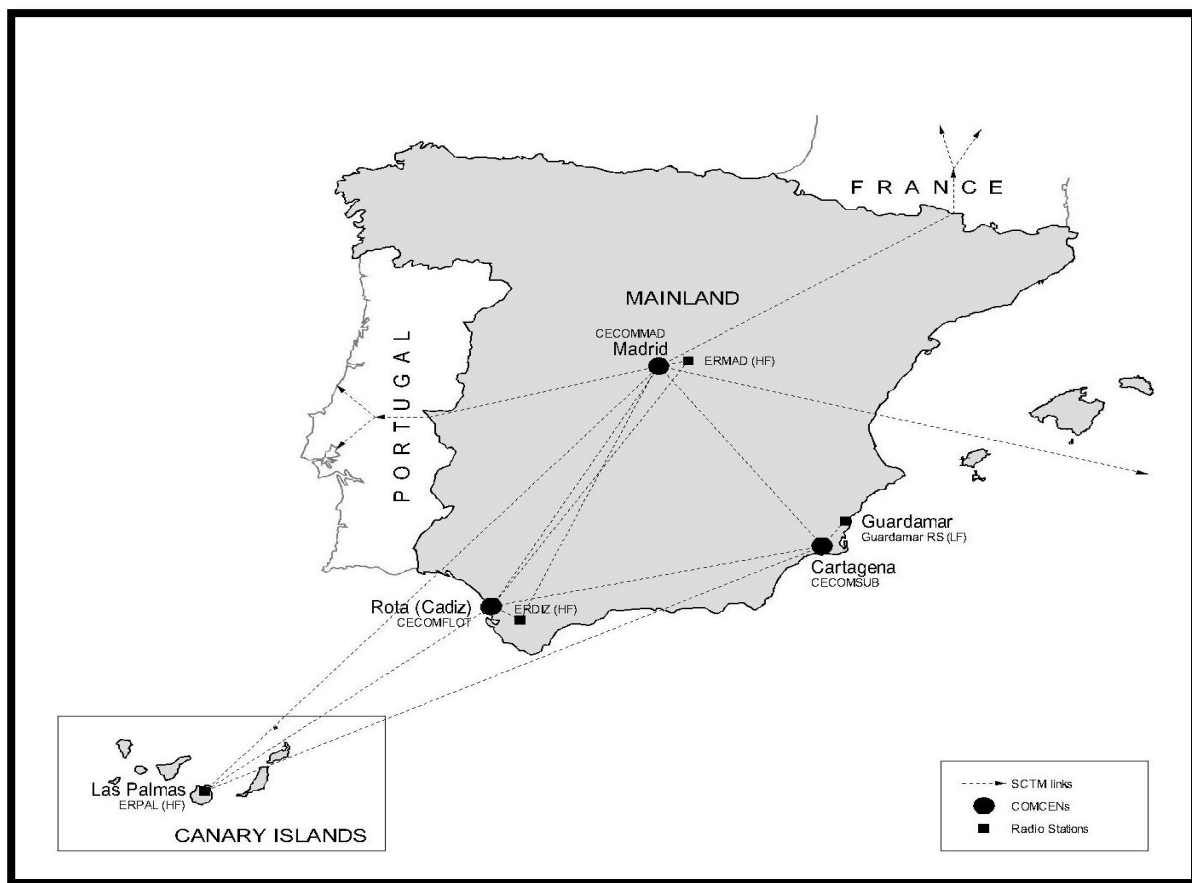


Figura 5-1 Localización de los CECOMs y las Estaciones Radio en España.

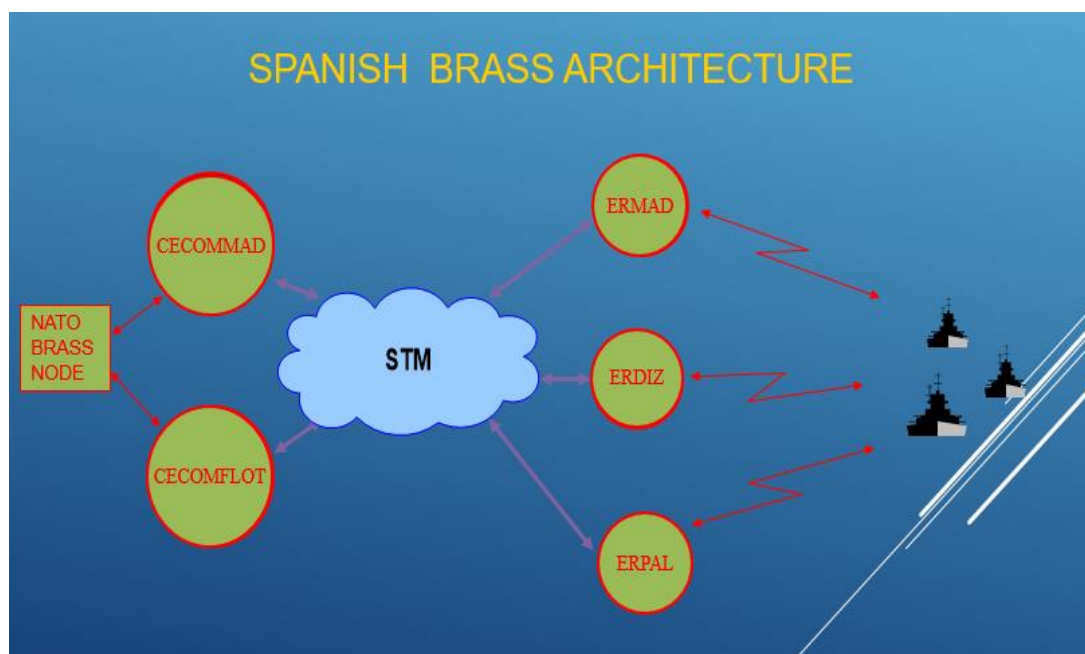


Figura 5-2 Arquitectura básica del Sistema BRASS.

5.3.3 Descripción Técnica del sistema BRASS

Las funciones que desarrolla cada CECOM son las siguientes:

- Gestión de Mensajería (*Message Management and Handling*).
- Gestión de circuitos de Broadcasting (BCST).
- Gestión de circuitos Ship/Shore (S/S).
- Gestión de circuitos Maritime Rear Link (MRL).
- Gestión de la conectividad entre otros CECOMs y las estaciones Radio.
- Gestión de la Información entre las distintas autoridades.
- Supervisión remota.

El equipamiento actual de los CECOMs viene descrito en el [Anexo I](#) Esta descripción se ha dejado en inglés ya que se pretende usar estas descripciones como requisitos para la Especificación Técnica de Compra (ETC) que está previsto ser enviada a la industria con objeto de mejorar el equipamiento existente, así como adquirir nuevo equipamiento de los CECOMs para el futuro Proyecto BRE1TA

Las funciones que realizan las estaciones radio transmisora son básicamente la conversión señal que viene en banda base de los CECOMs a la frecuencia de HF adecuada y con la modulación necesaria, para posteriormente radiar dicha señal a través de las antenas. En caso de las estaciones radio receptoras es justo lo contrario, es decir, recibir la señal electromagnética a través de las antenas, para después demodularla y convertirla en banda base, para finalmente direccionarla a los CECOMs.

El equipamiento actual de las Estaciones radio viene descrito en el [Anexo II](#)

5.3.4 Debilidades del actual Sistema BRASS.

El sistema BRASS actual está limitado al procesado de mensajería formal, ACP-127)[2] y por lo tanto es ineficaz de gestionar el tráfico IP haciéndolo un sistema absolutamente incompatible con las aplicaciones actuales.

Adicionalmente, el ancho de banda en las mejores condiciones no supera los 2400 bps, y por supuesto el establecimiento de LINK es un proceso muy costoso y no automático.

Es por ello que el futuro de las comunicaciones por HF pasa por implementar una nueva arquitectura que permita solventar estos problemas, manteniendo las ventajas tradicionales del HF (reducido coste y cobertura mundial). El sistema BRE1TA que se tratará en el siguiente capítulo es la solución al problema.

6 LA EVOLUCIÓN DE LAS COMUNICACIONES HF: EL FUTURO SISTEMA BRE1TA

El sistema BRE1TA (*“Broadcast Enhancement 1 Target Architecture”*) tiene como objetivo solventar las deficiencias tradicionales de las comunicaciones HF, sin renunciar a sus ventajas.

Es por ello que este sistema será capaz de proveer IP sobre HF¹¹, mensajería formal e informal, así como una trasa de transmisión binaria mucho más rápida mediante la introducción de formas de ondas¹² más eficientes. Asimismo, también introducirá técnicas de corrección de errores y de establecimiento automático de enlace como el *“Automatic Link Establishment”*¹³ (ALE).

Y por supuesto, todas estas modificaciones, permitirán mantener las capacidades tradicionales del BRASS, conocidas como *“Primary C2 Communications services”*. Estas capacidades tradicionales del BRASS son necesarias para cumplir los *“Minimum Military Requirement (MMR)”*, cuya implementación es realizada en el BRASS a través de la *“Initial Core Capability (ICC)”*

Esta ICC, también conocida como “BRASS Legacy”, es la que permite a la OTAN disponer de una parte del sistema BRASS español. En concreto, de cuatro circuitos Ship-Shore para Broadcasting, de un circuito Maritime Rear Link (MRL), y de tener la capacidad de implementación de la técnica *“Off The Air Monitoring (OTAM)”*.

¹¹ IP-over-HF basado en el STANAG 5066. Esta capacidad permitirá la implementación de Data/Web Services (Incluyendo RMP), mensajería formal basada en el STANAG 4406, y mensajería informal como el e-mail basada en SMTP y J-CHAT (basada en XMPP).

¹² Se usarán las formas de onda basadas en el STANAG 4539, pero se mantendrán las formas de onda basadas en el HDL y en LDL conforme al STANAG 4538, para mantener la compatibilidad con las unidades terrestres

¹³ Automatic Link Establishment (ALE 3G/2G) basado en el STANAG 4538.

6.1 Requisitos Técnicos del Sistema BRE1TA.

Como resumen, se puede afirmar que los requisitos técnicos que debe cumplir el Sistema BRE1TA son los siguientes siete requisitos:

1. Capacidad IP-over-HF basada en el STANAG 5066, y capacidad “*mobile IPv4 [4]*”
2. Tasa de datos mejorada ¹⁴ en un canal de 3 KHz, conforme a lo establecido en el STANAG 4203, mediante la introducción de formas de ondas más eficientes recogidas en el STANAG 4539. Esta tasa de datos también se consigue a través de la implementación de técnicas de corrección de errores como el “*Automatic Repeat Request (ARQ)*”, y técnicas de establecimiento del enlace como *Automatic Link Establishment (ALE 3G/2G)*¹⁵, técnicas de gestión del enlace, como *Automatic Link Management (ALM)*, y técnicas de ajustamiento de la velocidad de transmisión, como el “*Automatic Data Rate protocols (ADRC)*”. Todas estas técnicas están recogidas en el STANAG 4538. También se implementará el protocolo “*HF Ring Token Protocol (HF RTP)*”¹⁶ “conforme a lo establecido en el STANAG 5066, Annex L.
3. Mensajería Formal, conforme al X.400 y al STANAG 4406 para “*Tactical Military Message Handling Systems (T-MMHS)*”. Esta mensajería formal puede hacerse en UNICAST¹⁷ o en MULTICAST¹⁸.
4. Mensajería Informal¹⁹ conforme al “Simple Mail Transfer Protocol (SMTP)” en comunicaciones PtP²⁰.
5. Servicios de Directorio²¹ conforme al X.500 [5] y al ACP 133 [6], así como Data/Web Services²² conforme a FTP (*File Transfer Protocol*) y HTTP (*Hyper Text Transfer Protocol*).

¹⁴ Hasta 9600 bits por segundo (bps) en un canal de 3 KHz, y 19.2 kilobits por segundo (kbps) en un canal de 6-KHz independent side-band (ISB).

¹⁵ El ALE 3G es necesario, pero se mantendrán las técnicas de frecuencia fija FF (Fixed Frequency) tradicionales, para mantener la interoperabilidad con las aplicaciones Legacy.

¹⁶ HF RTP se implementará con objeto de controlar el acceso al mismo canal cuando este canal es compartido con varios nodos.

¹⁷ El modo Unicast es para comunicaciones Peer to Peer. Requiere ARQ Error Control, pues es una comunicación fiable.

¹⁸ El modo Multicast es adecuado para EMCOM, pues es una comunicación no fiable, y tendrá códigos FEC (“*Forward Error Correction*”).

.

¹⁹ Los servicios de mensajería informal son el e-mail y el J-Chat.

²⁰ SMTP necesita comunicaciones PtP con ARQ Error Control. SMTP Broadcasting no es posible desde que SMTP requiere comunicación fiable y no puede lidiar con pérdidas de paquetes.

²¹ Los servicios de directorio estarán basados en el ACP 133 NATO Standard for Military Directory.

²² Uno de estos Data/Web Services es el RMP (Recognized Maritime Picture).

6. Capacidad para suministrar mensajería OTAN “NATO Messaging Service (NMS)”²³,
7. Capacidades tradicionales BRASS descritas en el “*Minimum Military Requirement (MMR)*”.

Los requisitos 1-6 serán cumplidos mediante la implementación del future Sistema BRE1TA.

El requisito 7 es actualmente cumplido con la “*Initial Core Capability (ICC)*” también llamada “*BRASS Legacy*”

Esto significa que el Nuevo Sistema BRE1TA debería ofrecer las mismas funcionalidades del Sistema BRASS Legacy, siendo capaz de soportar además las nuevas aplicaciones BRE1TA usando canales más eficientes de HF.

En la tabla 6-1 se hace un resumen de las aplicaciones que debería soportar el nuevo Sistema BE1TA.

Aplicación	Origen	Tipo Comunicación
Informal Messaging based on SMTP and XMPP (e-mail and J-Chat)	BRE1TA	PtP
Formal Messaging: X.400 over T-MMHS (ST 4406 Annex E)	BRE1TA	Unicast (PtP)
		Multicast (EMCOM)
DATA/WEB Services ²⁴ based on FTP and HTTP	BRE1TA	Client-Server
ACP-127	BRASS LEGACY	Broadcasting (EMCOM)
		Ship to shore & MRL
ANALOGIC VOICE	BRASS LEGACY	Voice Communication

Tabla 6-1: Aplicaciones BRE1TA = Aplicaciones BRASS Legacy + Aplicaciones nuevas.

²³ Los NATO Messaging Services serán accesibles a través del **NATO Node** que habrá en el sistema BRE1TA español.

²⁴ Uno de estos Data/Web Services es el RMP (Recognized Maritime Picture).

6.2 Principales actores y localizaciones del Sistema BRE1TA.

El CECOMMAD y el CECOMFLOT son los actuales centros de control del sistema BRASS actual, tal y como se describió en el [capítulo 5.3.2](#). Sin embargo, en el proyecto BRE1TA está previsto situar un nuevo centro de control en Las Palmas, que será conocido como CECOMPALM. Es por ello que la lista de CECOMs en el nuevo sistema BRE1TA es la siguiente:

- CECOM de Madrid (CECOMMAD): Situado en el Cuartel General de la Armada en Madrid.
- CECOM de la Flota (CECOMFLOT): Situado en Rota (Cádiz)
- CECOM de emergencia de Las Palmas (CECOMPALM). Situado en las Palmas de Gran Canaria. Este Nuevo CECOM será equipado con las mismas capacidades técnicas que los otros, pero será considerado de emergencia ya que tendrá personal reducido. En condiciones normales, este CECOM no estará completamente alistado de personal, y consecuentemente no estará autorizado a consumir recursos BRE1TA. Sin embargo, en casos específicos, será alistado y consecuentemente autorizado para usar todas sus capacidades.

Estos tres CECOMs podrán ser usados de forma independiente e intercambiable, y los tres estarán provistos con las capacidades de controlar todo el equipamiento disponible, no solo de los propios CECOMs, sino también de las estaciones transmisoras y receptoras.

- ERMAD: Situada en Madrid. Compuesta de una estación de transmisión (Santorcaz), y otra de recepción (Bermeja).
- ERDIZ: Situada en Cádiz. Compuesta de una estación de transmisión (Chiclana), y otra de recepción (Puerto Real).
- ERPAL: Situada en Las Palmas. Compuesta de una estación de transmisión en (Almatriche) y otra de recepción (Picacho).

La comunicación entre distintos CECOMs y las estaciones radio se realizará mediante una Wide Area Network (WAN). Esta WAN Ethernet será un servicio provisto por la infraestructura integral de Telecomunicaciones de Defensa, conocida como la I3D. Las aplicaciones “BRASS Legacy” serán distribuidas a los CECOMs usando el Sistema SCTM existente

Ninguno de estos tres CECOMs requerirá trabajos de obra civil significativos ya que las infraestructuras todavía permanecen en buenas condiciones.

Los Servidores de aplicaciones NATO se conectarán al CECOM de Madrid vía NGCS (NATO General-Purpose-Segment).

Los buques que estén equipados con las capacidades BRE1TA tendrán la capacidad de conectarse a la estación radio más cercana, dependiendo en qué zona marítima estén desplegados.

La siguiente figura, muestra la interconexión que deberían tener los actores más relevantes del Sistema BRE1TA español.

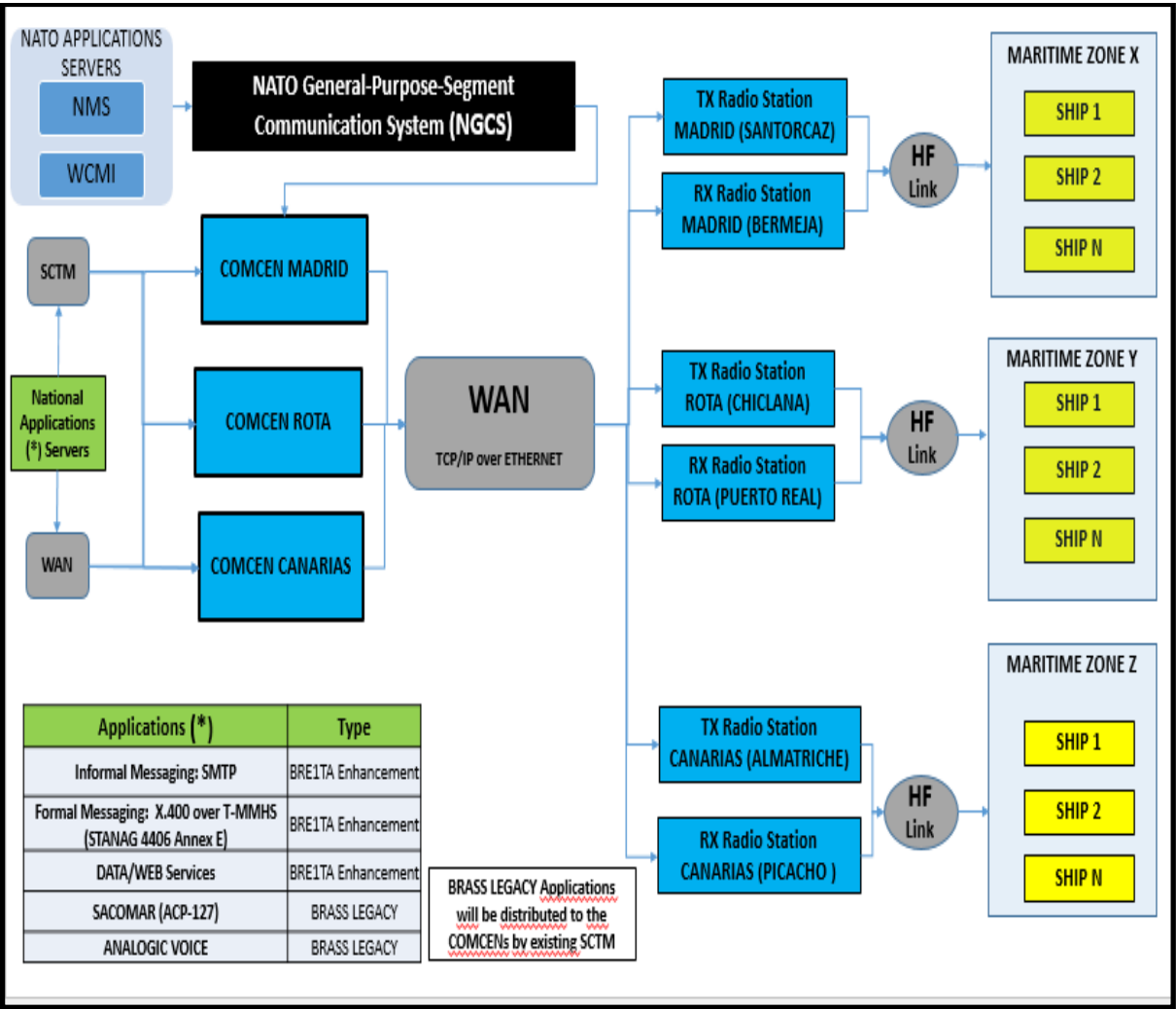


Figura 6-1 Actores más relevantes del Sistema BRE1TA español

6.3 Requisitos de Servicio del Sistema BRE1TA y dimensionamiento.

El futuro sistema BRE1TA, debería estar disponible al 98% en tiempos de paz, y al 99% en tiempos de guerra, tal y como se estableció en el BRASS.

La operación del sistema, debería ser continuada a lo largo de las 24 horas del día, siete días a la semana, tal y como se acordó en el BRASS.

El sistema debería cumplir los requisitos básicos de servicio descritos en la “[Initial Core Capability \(ICC\)](#)” (Circuitos de Broadcasting, Circuitos Ship-Shore, y circuitos MRL), más los requisitos de las aplicaciones BRE1TA descritos en la [Tabla 6-1](#), usando canales más seguros, rápidos y eficientes, que serán conocidos como los “**Canales BRE1TA**”²⁵.

Se pretende ofrecer un mínimo de diez canales BRE1TA capacitados para ofrecer cualquiera de las aplicaciones BRE1TA, para 10 buques de forma simultánea.

Para conseguir el objetivo de suministrar 10 canales BRE1TA simultáneos mencionado previamente, el dimensionamiento para cada uno de los tres CECOMS²⁶ y Estaciones Radio sería el siguiente:

CECOMs

Cada uno de los tres CECOMS debería ser capaz de proveer simultáneamente hasta 10 canales BRE1TA. Estos 10 canales pueden ser operados en configuración “10 KW”²⁷, o en configuración “5KW”²⁸. En configuración “10 KW”, se podrían tener como máximo 10 canales, y en configuración “5KW” se podrían tener hasta 20 canales simultáneos.

Adicionalmente, cada uno de los tres CECOMS, debería ser capaz de distribuir los canales mencionados previamente entre las tres estaciones radio (ERMAD, ERDIZ and ERPAL) según convenga.

²⁵ La arquitectura de un Canal BRE1TA se compone de: *Crypto + Modem +Incoming&Outcoming Data Traffic Controller (DTC) +Transmitter/Receiver+ Antenna*. Un canal BRE1TA se establecerá mediante el *BRE1TA Master Remote Supervisory System (RSC)* situado en el CECOM. En el caso de los buques, el canal BRE1TA será establecido por el “*RSC Ship*” in Ships. Todos estos elementos se describen con detalle en el [Anexo III](#).

²⁶ Se recuerda que aunque el CECOMPALM debe ser provisto con las mismas capacidades técnicas que los otros CECOMS, este CECOMS solo será usado en condiciones especiales (cuando sea alistado).

²⁷ Los canales de 10 KW son lo establecido para el Broadcasting, aunque actualmente también se aceptan potencias de 8 KW. Las aplicaciones Legacy suelen usar este tipo de canales de 10 KW.

²⁸ Los canales de 5 KW son lo establecido para circuitos S/S o MRL, aunque actualmente también se aceptan potencias de 4 KW. Las aplicaciones nuevas de BRE1TA son las que usarán este tipo de canales.

ESTACIONES RADIO.

Las estaciones de Madrid (ERMAD) deberían ser capaces de ofrecer a cualquier CECOM un total de **cinco canales BRE1TA**. Estos cinco canales podrán ser usados en configuración “10 KW” o en configuración “5 KW” (en cuyo caso se tendrían 10 canales).

Las estaciones de Cádiz (ERDIZ) deberían ser capaces de ofrecer a cualquier CECOM un total de **tres canales BRE1TA**. Estos tres canales podrán ser usados en configuración “10 KW” o en configuración “5 KW” (en cuyo caso se tendrían 6 canales).

Las estaciones de Las Palmas (ERPAL) deberían ser capaces de ofrecer a cualquier CECOM un total de **dos canales BRE1TA**. Estos dos canales podrán ser usados en configuración “10 KW” o en configuración “5 KW” (en cuyo caso se tendrían 4 canales).

La tabla 6-2 resume el dimensionamiento para cada uno de los CECOMs y Estaciones Radio:

DIMENSIONAMIENTO DE CECOMS	CECOM	NÚMERO DE CANALES SIMULTÁNEOS PROVISTOS POR CADA CECOM	
		Canales 10 KW BRE1TA	Canales 5 KW BRE1TA
	CECOMMAD	10	20
	CECOMFLOT	10	20
	CECOMPAL	10	20

DIMENSIONAMIENTO DE ESTACIONES RADIO	EST TX / EST RX	NÚMERO DE CANALES SIMULTÁNEOS PROVISTOS POR CADA ESTACIÓN RADIO OFRECIDO A CADA CECOM	
		Canales 10 KW BRE1TA	Canales 5 KW BRE1TA
	SANTORCAZ/BERMEJA	5	10
	CHICLANA/PUERTO REAL	3	6
	ALMATRICHE/PICACHO	2	4
	NÚMERO TOTAL DE CANALES BRE1TA	10	20

Tabla 6-2: Tabla de Dimensionamiento

Para poder cumplir con este dimensionamiento, se propondrá en este TFM una **solución técnica para el Sistema BRE1TA español** con su arquitectura correspondiente. Los componentes más relevantes de esta arquitectura se muestran en el [Anexo III](#).

El número previsto de cada componente en cada sitio se muestra en el [Anexo V](#), y su interconexión se muestra en el Diagrama de bloques del [Anexo IV](#).

6.4 Interoperabilidad

El sistema BRE1TA debe ser interoperable tanto con la OTAN como con cualquier otro sistema de mensajería formal.

Respecto a la compatibilidad con la OTAN, es absolutamente necesario que el sistema BRE1TA español sea capaz de procesar y conectarse a los Servicios de Mensajería NATO (NATO Messaging Services²⁹ o NMS). Adicionalmente, se hace imprescindible que los mensajes basados en el tradicional formato ACP 127 puedan ser gestionados por el nuevo sistema BRE1TA español, de tal manera que se asegure la compatibilidad con los buques que dispongan de la solución tradicional del BRASS y no del BRE1TA.

Es interesante destacar que la OTAN está trabajando en un SW internacional BRE1TA que pueda incrementar el nivel de interoperabilidad de los distintos sistemas BRE1TA de las naciones OTAN. Este SW se conoce como “NATO BRIPE SW”, pero debido a que se trata de un programa OTAN no será objeto de este TFM.

En paralelo a este SW internacional, España debería implementar su propio SW para no depender de soluciones extranjeras y para asegurar la soberanía nacional de su sistema. Es por ello que el **SW nacional debería ser en todo momento compatible con el BRIPE NATO SW** nombrado previamente. Este debería ser uno de los requisitos más relevantes en cuanto a interoperabilidad, ya que interoperar con los buques de la Alianza es a día de hoy uno de los requisitos más esenciales que cualquier sistema de telecomunicaciones embarcado debe cumplir.

²⁹ Los NATO Messaging Services (NMS) serán accesibles en España a través del [NATO Node](#) en el CECOM de Madrid.

Es por ello que el SW BRE1TA español debería ser diseñado teniendo en cuenta los requisitos³⁰ del BRIPES NATO SW, y que la arquitectura de la solución técnica BRE1TA propuesta deberá contar con un subsistema que permita la interoperabilidad entre los sistemas de mensajería OTAN (NMS), y los sistemas de procesamiento de mensajería del sistema español. Este subsistema que garantizaría la interoperabilidad podría ser implementado por un “servidor proxy” entre el [NATO Node](#) y el sistema BRE1TA español. A este servidor proxy le llamaremos en este TFM el “[NMS Proxy Server](#)”, y se describirá en detalle en el Anexo 3 de componentes más relevantes de la arquitectura de la solución propuesta.

La interoperabilidad, no solo debe garantizarse a nivel SW, sino a nivel de establecimiento de enlace de HF. El estado del arte actual de la tecnología de establecimiento de enlace considera el ALE 3G como una tecnología muy madura y con buenos resultados, por lo que se recomienda que España adopte al 3G como requisito de tecnología de establecimiento de enlace. No obstante, también debe ser impuesto como requisito la tecnología del ALE 2G para garantizar la interoperabilidad con todos aquellos sistemas Legacy que no hayan evolucionado. En ese sentido es importante destacar que la mayoría de los sistemas de comunicaciones por HF de los buques OTAN tienen actualmente el ALE 2G.

A continuación expondremos como se garantizará la interoperabilidad a lo largo de las distintas capas

La interoperabilidad a nivel de la capa de aplicación se asegurará soportando los siguientes formatos:

- X.400 T-MMHS conforme al STANAG 4406 Anexo E para Mensajería Táctica Formal.
- SMTP para mensajería Informal (e-mail) y XMPP para Chat.
- FTP y HTTP para Data/Web Services.
- ACP-127 para servicios legacy.

La interoperabilidad al nivel de la capa de red se asegurará soportando los siguientes protocolos de red:

³⁰ Los requisitos de NATO BRIPES SW se suministraron a España desde hace tiempo (2018), y desde entonces España los ha estado estudiando y considerando.

- IP/Ether Client para Tactical-MMHS y para Data/Web Services conforme al STANAG 5066, Anexo F.
- Cliente RCOP/UDOP para Tactical-MMHS conforme al STANAG 5066, Anexo F.
- Cliente CFTP para SMTP conforme al STANAG 5066, Anexo F.

La interoperabilidad al nivel de la capa de enlace se asegurará soportando los siguientes protocolos de enlace:

- STANAG 5066, Anexo A-D; y STANAG 5066 Anexo A, en union con el STANAG 4538 HDL³¹ y el STANAG 4538 LDL³² data link Protocols.
- La interoperabilidad en la subcapa de Control de Acceso al Medio, más conocida como “Media Access Control (MAC)”, se garantizará mediante la implementación del High Frequency Token Ring Protocol (HFTRP), conforme al STANAG 5066 Anexo L.

La interoperabilidad al nivel de la capa física se asegurará soportando los siguientes protocolos de nivel físico:

- Automatic Link establishment (ALE) basados en el STANAG 4538 (ALE 3G/ALE 2G)³³
- Automatic Link Management a través del uso de técnicas ADRC (Automatic Data Rate Control) conforme al STANAG 4538
- Formas de onda QAM comerciales basadas en el STANAG 4539. Adicionalmente, el STANAG tradicional 4285 BPSK será mantenido para mantener la interoperabilidad con los sistemas BRASS que no hayan sido actualizados a BRE1TA.
- Transmisión Radio basadas en el canal tradicional de 3 KHz, conforme lo establecido en el STANAG 4203. Es importante tener en cuenta que con objeto de posibilitar que los transmisores del Sistema BRE1TA sean compatible con la futura evolución de las comunicaciones de HF, es decir con las comunicaciones de HF en banda ancha WBHF³⁴, se deberían elegir transmisores con capacidad para transmitir en banda ancha de HF.

³¹ High Data Link del STANAG 4538.

³² Low Data Link Protocol del STANAG 4538

³³ El ALE 3G es necesario, pero se mantendrán las técnicas Fixed Frequency (FF) para garantizar la interoperabilidad con las aplicaciones Legacy. En cualquier caso, será necesario mantener ALE 2G para asegurar la compatibilidad con los sistemas de la OTAN.

³⁴ Las comunicaciones WBHF (Wide Band HF) son la base del futuro sistema BRE2TA. Los dos posibles STANAGs sobre los que estará basado el futuro sistema BRE2TA son el 5069 y el 5070, aunque todavía no está decidido cual de esos dos será.

6.5 Propuesta de Solución Técnica del Sistema BRE1TA

6.5.1 Visión General. Consideraciones importantes.

Se propone a continuación una solución técnica que actualizará el sistema BRASS existente, aprovechando la infraestructura actual, y dotándole de las nuevas capacidades BRE1TA. Estas nuevas capacidades BRE1TA son las que se obtienen mediante el cumplimiento de los requisitos técnicos BRE1TA, descritos en el [capítulo 6.1](#)

Además de los requisitos técnicos BRE1TA, el sistema español debe cumplir los requisitos de servicio descritos en el [capítulo 6.3](#)

Es por ello que podemos concluir que el futuro sistema BRE1TA español debe ofrecer tanto las capacidades BRASS Legacy, así como las capacidades BRE1TA usando los futuros canales BRE1TA capítulo 6.3, más seguros y con mayor capacidad de transmisión de flujo binario.

Para llevar a cabo el objetivo anteriormente descrito, la solución técnica se debería basar en las siguientes consideraciones:

- División del proyecto en dos fases con objeto de mitigar riesgos y de simplificar los procedimientos burocráticos.
- Preservación de la [BRASS ICC](#)
- Coexistencia del sistema BRASS actual y el nuevo Sistema BRE1TA, siendo cada uno de ellos independiente³⁵ del otro, y teniendo cada uno de ellos su propio sistema de gestión. Esto garantizará que durante la implantación del BRE1TA, no se perderán capacidades Legacy del BRASS.
- Arquitectura de red orientada a red WAN. Cada actor del sistema (barco, Radio estación o CECOM), estará conectado a una IP-Ethernet Wide Area Network³⁶.

³⁵ Aunque el sistema BRE1TA y el sistema BRASS serán independientes uno del otro al principio, habrá alguna interdependencia, y los dos compartirán algunos elementos comunes.

³⁶ La infraestructura física de esta WAN será provista por la I3D (Integral Information Infrastructure) propiedad del CESTIC.

- Solución orientada a una red IP. Cada actor del sistema (barco, Radio estación o CECOM) será visto como un cliente en la WAN.
- Racionalización adecuada de las capacidades de los CECOMs y las Estaciones Radio, con objeto de tener suficientes Canales BRE1TA para cumplir los requisitos de servicio descritos en el [capítulo 6.3](#) con suficiente redundancia.
- Énfasis en la calidad del enlace de HF, no solo en las comunicaciones Peer to Peer (PtP) sino en el Broadcasting. Este énfasis en el enlace de HF, no debería estar tanto basado en el aumento de la potencia sino en los siguientes puntos:
 - Formas de onda más eficientes espectralmente orientadas a la QAM, y basadas en el STANAG 4539³⁷.
 - Implementación de Protocolos de Corrección de Errores ARQ y NON-ARQ conforme a lo establecido en el STANAG 5066.
 - Técnicas de gestión automática del link ADRC (Automatic Data Rate Control Protocol conforme a lo establecido en el STANAG 4538).
 - Automatización del establecimiento del LINK basada en los protocolos ALE 3G/2G³⁸ conforme al STANAG 4538.
 - Implementación del Token Ring Protocol basado en el HFRTTP³⁹ conforme al STANAG 5066 Edición 3.

³⁷ Las formas de onda basadas en el STANAG 4539 son las más importantes, pero también se mantendrán las formas de onda basadas en HDL y LDL conforme al STANAG 4538 para mantener la compatibilidad con las unidades terrestres, pues estas formas de onda son las típicas de comunicaciones HF para unidades terrestres.

³⁸El ALE 3G es imprescindible, pero también se mantendrán las técnicas tradicionales de establecimiento de enlace FF (Fixed Frequency technique) con objeto de mantener la interoperabilidad con las aplicaciones Legacy. Además, también se mantendrá el ALE 2G, pues muchas de las unidades OTAN tienen esta tecnología.

³⁹ HFRTTP será implementado con objeto de controlar el acceso al mismo canal, cuando este canal es compartido por múltiples nodos.

- Interoperabilidad con las unidades OTAN mediante el cumplimiento de los STANAG en vigor. Además, se mantendrán los STANAGs Legacy del BRASS
- Compatibilidad entre el SW del Sistema BRE1TA y el NATO messaging system (NMS). Esta compatibilidad será implementado a través del “*NMS Proxy Server*” descrito en el [Anexo III](#). Esta compatibilidad asegurará la interacción con el WCMI⁴⁰.
- Control de la movilidad y de la congestión basada en Servicios de Directorio conforme al ACP 133. También se adoptará el protocolo de movilidad Ipv4, a pesar de que no es el protocolo más adecuado para el volumen de tráfico que se espera. Sin embargo, es necesario que el sistema implemente este protocolo pensando en un futuro crecimiento del mismo.
- Solución Mixta basada por un lado, en utilizar sistemas COTS con objeto de proveer flexibilidad a los contratistas, así como de reducir riesgos y esfuerzos de investigación, y por otro lado, en desarrollar a nivel nacional, sistemas propios que permitan tener cierto grado de independencia con soluciones de empresas extranjeras, así como un grado aceptable de reutilización de elementos del sistema BRASS Legacy tanto en las estaciones radio como en los buques existentes.
- Permitir la evolución del sistema BRE1TA a las futuras evoluciones de las comunicaciones en HF, como por ejemplo el HF en banda ancha WBHF⁴¹.
- Concepto de Pool entre los elementos del sistema BRE1TA más relevantes, con objeto de proveer flexibilidad al sistema.
- Búsqueda de la Acreditación de seguridad y otras medidas de seguridad.
- Separación por un lado de la información Nacional y de la información OTAN, ya que debido a que los procedimientos de acreditación son distintos, el compartir servidores podría conllevar problemas a la hora de buscar la acreditación. Es por ello que la información OTAN y la

⁴⁰ El WCMI es el “Wireless Centralized Management Interface project”. Su objetivo es proveer una plataforma adecuada de monitorización centralizada de los recursos BRE1TA disponibles de la OTAN.

⁴¹ Las comunicaciones WBHF (Wide Band HF) son la base del futuro sistema BRE2TA. Los dos posibles STANAGs sobre los que estará basado el futuro sistema BRE2TA son el 5069 y el 5070, aunque todavía no está decidido cual de esos dos será.

información nacional se alojarán en diferentes servidores, dentro del MPS [descrito en el Anexo III](#)

- Empleo de “funciones⁴² internas de Proxy”, con objeto de incrementar la eficiencia, reducir tiempos de respuesta.

6.5.2 Arquitectura General. Diagrama de Contexto.

Teniendo en cuenta las consideraciones importantes descritas en el apartado anterior, se muestra en primer lugar un diagrama de contexto, de cómo el sistema BRE1TA (cuya arquitectura técnica se describirá posteriormente en el [Anexo IV](#) , se debería relacionar con los usuarios más importantes, qué tipo de información debería intercambiar, así como que de qué servidores se nutriría.

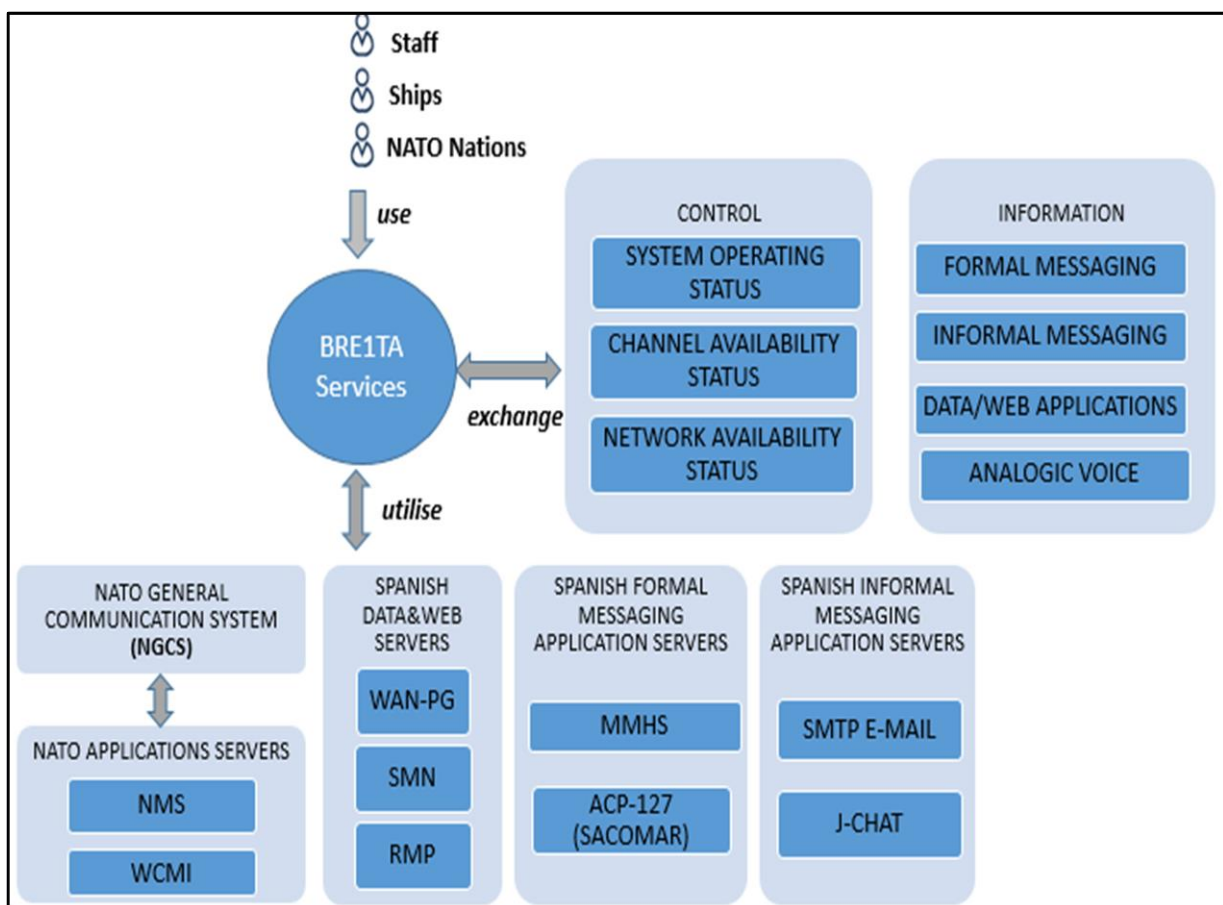


Figura 6-2 Arquitectura General. Diagrama de Contexto.

⁴² Estas funciones internas de Proxy serán implementadas por el MPS.

6.5.3 Interacciones con otros sistemas.

Las interacciones que presentaría el sistema BRE1TA con otros sistemas serían las siguientes:

- Servicios securizados IP de la NGCS (NATO General-Purpose-Segment). Estos servicios IP se usarán fundamentalmente para conectarse a los servicios de Mensajería Formal de la OTAN, más conocidos como “NATO Messaging System (NMS)”. Basicamente estos servicios son el Maritime C2 systems (MCCIS), el Triton, así como otros servicios C2 data/web. El sistema BRE1TA debería acceder a estos servicios clasificados de la NGCS a través del [NATO Node](#).
- Servicios no clasificados IP de la NGCS, para intercambiar información de control⁴³ y de gestión con otros sistemas BRE1TA de otros países, así como con el Sistema de control general del WCMI⁴⁴. El sistema BRE1TA debería acceder a estos servicios no clasificados de la NGCS a través del [NATO Node](#)
- Segmento securizado de la red de infraestructura de telecomunicaciones Española I3D, con objeto de intercambiar información securizada y clasificada entre distintos CECOMs y estaciones radio
- Segmento no securizado, pero protegido de la red de infraestructura de telecomunicaciones Española I3D, con objeto de intercambiar información no clasificada (mensajería no clasificada, así como información de control y gestión) entre distintos CECOMs y estaciones radio
- Segmento no securizado, pero protegido de la antigua red de infraestructura española, orientada a la conmutación de circuitos STCM, con objeto de conectarse a los servidores de “información Legacy” (ACP-127 SACOMAR y voz analógica). Se espera que este segmento de red desaparezca en el futuro próximo y que todo se integre en la I3D.

⁴³ Si bien es cierto, que esta información no está clasificada, si que estará protegida.

1.1.1 ⁴⁴ El WCMI es el “Wireless Centralized Management Interface project”. Su objetivo es proveer una plataforma adecuada de monitorización centralizada de los recursos BRE1TA disponibles de la OTAN.

6.5.4 Modelo de Componentes.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto en los apartados anteriores (consideraciones importantes, arquitectura general y las interacciones con otros sistemas), se propone a continuación un modelo de componentes de alto nivel que implementaría los requisitos BRE1TA aprovechando las infraestructuras de las estaciones radio y de los CECOMs existentes.

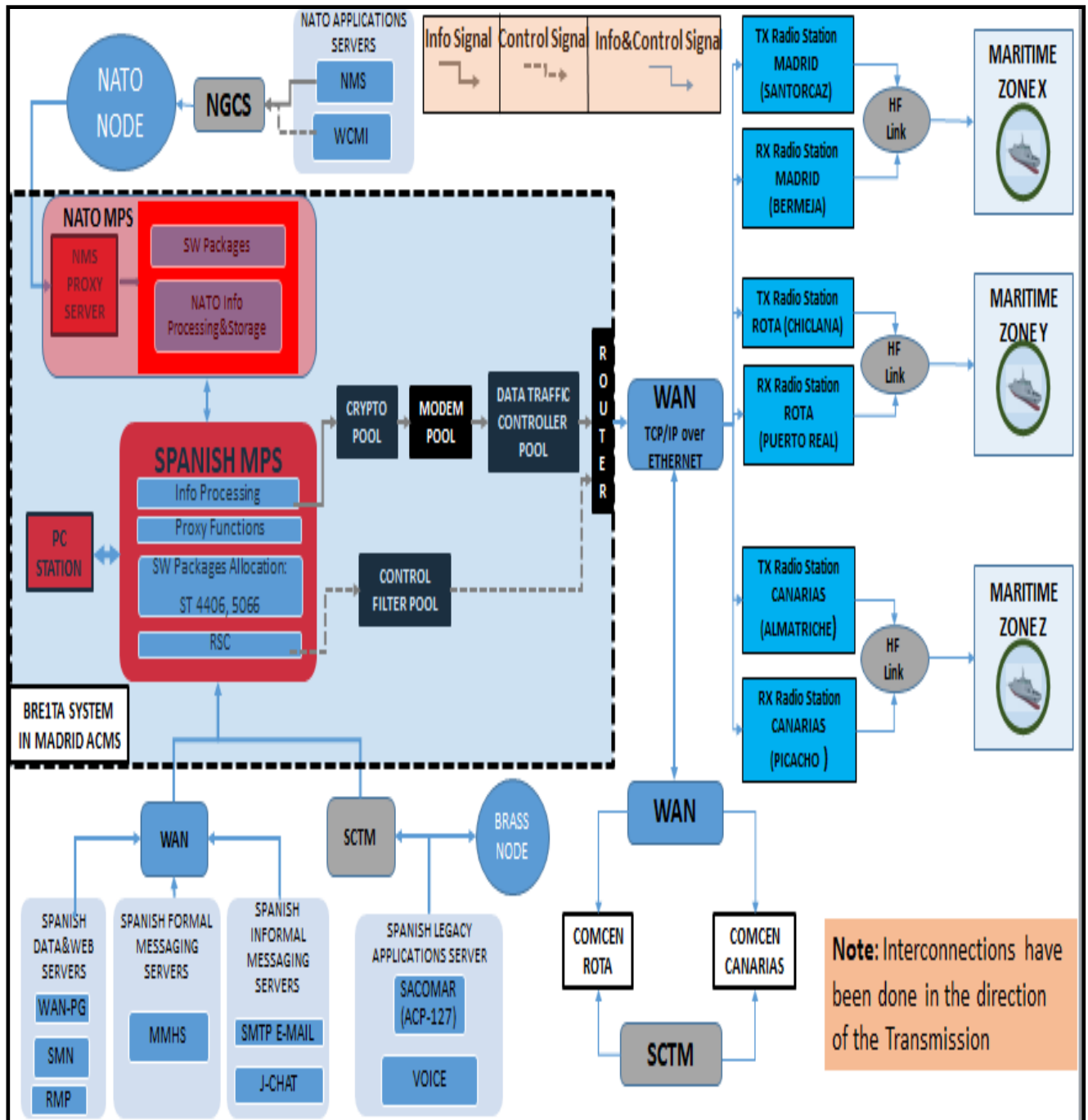


Figura 6-3 Modelo de Componentes de alto nivel.

Como puede apreciarse en la figura 6-3, en el CECOM principal de Madrid se pretende separar el dominio OTAN del dominio español.

El dominio OTAN interacciona con el [NATO Node](#) a través de la NGCS⁴⁵. La Compatibilidad entre el SW español BRE1TA y el NATO messaging system (NMS), se implementa a través del [“NMS Proxy Server”](#). Esta compatibilidad asegurará la interacción con el WCMI⁴⁶ de la OTAN.

En el dominio español, el “core” del sistema será el [MPS](#) “*Message Processing System*” cuya descripción detallada puede verse en el [Anexo III](#). Este centro de mensajería implementará a nivel de aplicación todos los requisitos técnicos del BRE1TA de mensajería formal e informal, e interaccionará con las aplicaciones legacy mediante el SCTM, y con los servidores de mensajería mediante la WAN de la I3D. Por esta misma WAN se conectará a las estaciones radio en donde un sistema de control de tráfico ([Data Traffic Controller](#)) separará el tráfico saliente del entrante. Adicionalmente, el MPS será el encargado de gestionar el tráfico y de administrar la información por la estación de radio que más convenga de tal manera que se evite la congestión.

Las estaciones Radio serán las encargadas de convertir la señal en banda base a radiofrecuencia en la banda de HF idónea y radiarla a través de las antenas. Para ello utilizarán una serie de transmisores y receptores. Algunos de estos transmisores tendrán módems incorporados y otros tendrán módems externos. Todas las cuestiones relacionadas con los transmisores se describirán con detalle en el [Anexo III](#).

⁴⁵ NATO General Communication System

⁴⁶ El WCMI es el “Wireless Centralized Management Interface project”. Su objetivo es proveer una plataforma adecuada de monitorización centralizada de los recursos BRE1TA disponibles de la OTAN.

6.5.5 Componentes más significativos del Sistema BRE1TA.

Una vez analizado el modelo de alto nivel, a continuación se van a describir los elementos más significativos tanto de los CECOMs como de las Estaciones Radio.

Los elementos más significativos del CECOM son el [MPS](#) español, el MPS OTAN, el [pool de cryptos](#), el [pool de módems](#) y el pool de “[Data Traffic Controller](#)”

Los elementos más significativos de las estaciones radio, son el pool de transmisores y receptores, el [Pool of Media Gateways](#), el [RSC](#) y el [Sistema de Antenas](#).

Todos estos elementos están descritos en detalle en el [Anexo III](#). Esta descripción se ha dejado en inglés ya que se pretende usar estas descripciones como requisitos para la Especificación Técnica de Compra (ETC) que está previsto ser enviada a la industria con objeto de adquirir el equipamiento de los CECOMs para el futuro Proyecto BRE1TA.

La interconexión de todos estos elementos está recogida en un diagrama de bloques contenido en el [Anexo IV](#).

El resumen del número de estos elementos, y el análisis de si serán reutilizables o no, se describe en el [Anexo V](#).

Además de los componentes necesarios en las estaciones radio y en los CECOMs, el sistema BRE1TA debe ser implementado a bordo de los buques para permitir la interoperabilidad con el CECOM. En el presente TFM se van a hacer un breve estudio de los elementos necesarios que serían necesario implantar a bordo de una serie de buques de la Armada Española, que serían los futuros buques escoltas F-110, así como también la ya existente Serie F-100 con objeto de modernizarlas con la capacidad BRE1TA, dentro del marco del programa de modernización de las F-100 que la Armada está acometiendo. En este estudio, se analizarán que elementos pueden ser reutilizables del barco y cuáles no. Todos los detalles de este estudio están descritos en el [Anexo VI](#)

La descripción de los elementos de la arquitectura de la solución BRE1TA propuesta para barcos, se ha dejado en inglés ya que se pretende usar estas descripciones como requisitos para la Especificación Técnica de Compra (ETC) que está previsto ser enviada a la industria con objeto de adquirir el equipamiento de los buques para el proyecto BRE1TA, dentro del marco del programa de la F-110, así como de la modernización de las F-100

6.5.6 Aprovechamiento de los Componentes del Sistema BRE1TA.

Uno de los pilares a la hora de diseñar el Sistema BRE1TA, es el ahorro de costes y de esfuerzos mediante la reutilización siempre que sea possible de sistemas del BRASS Legacy.

Es por ello que se ha hecho un análisis de aquellos sistemas que pueden reutilizarse.

En las estaciones radios, la matriz de antenas, así como el campo de antenas serán reutilizados, lo cual supondrá un ahorro muy sifgnificativo de costes. Adicionalmente, habrá algunos transmisores y receptores que podrán ser reutilizados y adaptados a las necesidades técnicas del BRE1TA mediante la connexion de dichos transmisores a unos modems externos. En el CECOMs también podrá reutilizarse todo el pool de cryptos.

El resumen del análisis de qué elementos de las estaciones radio y de lo CECOMs serán reutilizables se describe en el [Anexo V](#).

Esta misma cuestión también pasará en los barcos con algunos de los transmisores de la F-105. Sin embargo, los transceptores de las F-101-F-104, debido a su antigüedad no podrán ser reutilizados. Los cryptos y los modems externos también podrán ser reutilizados. Más detalle del equipamiento a bordo de los buques puede encontrarse en el [Anexo VI](#)

En las F-110, no podrá reutilizarse ningún elemento, ya que son buques de nueva construcción, por lo que todo el equipamiento debe ser adquirido..

7 DISPERSIÓN TROPOSFÉRICA

7.1 Antecedentes

Hacia el año 1950 se descubrieron las primeras pruebas de la existencia de la propagación por dispersión troposférica. Durante 15 años se realizaron diversos estudios teóricos y prácticos que ayudasen a modelar este fenómeno, pero ninguna teoría logró imponerse a las demás. Fue EEUU el primer país en implementar un sistema de *troposcatter* a gran escala durante la década de los 50, con objetivo de enlazar sus estaciones radar de alerta temprana con los principales centros de mando y control localizados en el interior del país. En concreto, este sistema fue el *White Alice Communications System* o WACS, el cual se empleaba como enlace de comunicaciones entre la red de estaciones radar que cubría el flanco Oeste de EEUU (desde el estrecho de Bering hasta la península de Kamchatka), hasta los centros de mando y control localizados en el corazón del país. Esta red de comunicaciones fue clausurada definitivamente en 1978. Es posible conocer más sobre este sistema en [7]. No fue esta la única red de enlaces *troposcatter* que instaló EEUU, ya que, a lo largo de sus fronteras, fueron desplegadas redes similares como la *Distant Early Warning Line* o DEW, la *Mid-Canada Line* o la *Pinetree Line* entre otras. Todas estas redes quedaron desmanteladas. No obstante, se puede apreciar la importancia que en su día se les dio en el ámbito militar.

Posteriormente en el año 1962 durante la guerra de Vietnam, surgió la necesidad de disponer de un sistema de voz y mensajería que pudiera complementar a los primeros sistemas de satélite que EEUU tenía desplegados. La República de Vietnam contaba con una geografía y un clima adversos para los sistemas de comunicaciones habituales. El terreno era variado, con grandes deltas como el del Río Mekong, y con zonas montañosas al norte. A su vez el clima oscilaba entre la época húmeda del monzón y la época seca sin prácticamente precipitaciones. Todos estos factores condicionaron el sistema de comunicaciones del ejército de EEUU. Así y como se puede extraer de [8], en enero de

1962 la Secretaría de Defensa de EEUU aprobó el despliegue del sistema *Back Porch* que consistía en una red de radiocomunicaciones basada en dispersión troposférica. Este sistema ofreció una ventaja significativa frente a los sistemas *line-of-sight* que se hacían tan difíciles de instalar en la geografía de Vietnam, además de ofrecer una cobertura de alcance mucho más elevada que permitió intercomunicar todos los centros de comunicaciones a lo largo del país.



Figura 7-1 Antenas tipo 'billboard' del sistema Back Porch en Phu Lam (1962) [7]

Al margen de las redes anteriores, la OTAN también desplegó varias redes basadas en *troposcatter* a lo largo de toda Europa. Una de ellas fue la denominada *North Atlantic Radio System* o *NARS* que contó con cinco estaciones que enlazaban la cadena de radares de alerta temprana situada entre Islandia, Islas Feroe e Inglaterra. A su vez proporcionaban un enlace de comunicación entre los miembros de la alianza en Europa y Norteamérica, intercomunicando el sistema *NARS* y el *DEW* comentado anteriormente.

Sin embargo, la mayor red de comunicación por dispersión troposférica de Europa y también la más crítica, respondía al nombre de *Allied Command Europe – Joint European Command High Frequencies* y *ACE High* y *European Tropo-Army* o *ET-A*. Ambas redes combinadas se extendía desde Turquía hasta Noruega vigilando la frontera con la URSS, y contaban con 68 enlaces de dispersión troposférica que garantizaban la comunicación entre todos los centros de mando y control y las estaciones de alerta temprana. Ambas redes fueron clausuradas en los años 90 a causa del desarrollo y advenimiento de las comunicaciones vía satélite.

Por su parte, la URSS comenzó a desarrollar prototipos en paralelo a los primeros desarrollos de EEUU a principios de los años 50. En 1961 la URSS ya disponía del sistema más famoso e importante del mundo en comunicaciones *troposcatter*, el denominado *TRRL Sever* y estaba llamado a intercomunicar todos los centros de mando y control con todas las bases desplegadas sobre la línea de la costa ártica de Rusia. Dicho sistema entró en funcionamiento total en 1966, y contaba con 46 estructuras independientes de antenas repetidoras que abarcaban una longitud de más de 13.000 km, siendo capaces de establecer enlaces de hasta 400 kilómetros de distancia. Este sistema fue definitivamente clausurado en el año 2003 y reemplazado por comunicaciones vía satélite.



Figura 7-2 Estructura de comunicaciones del sistema TRRL Sever de la URSS [8],

Sin duda, estas instalaciones de comunicación por dispersión troposférica tuvieron su gran auge durante la Guerra Fría. Pero tras el advenimiento de los sistemas de comunicación por satélite fueron en su mayoría desmanteladas. No obstante, hoy en día todavía quedan países con grandes redes operativas desplegadas. En los últimos años han cobrado protagonismo sistemas con antenas móviles que aseguran el establecimiento de enlaces por microondas de hasta 1000 kilómetros. Entre otros conflictos, fueron usadas por EEUU en Irak debido a su alta fiabilidad, su gran capacidad de transmisión de datos y su bajo coste relativo.

7.2 Estado del arte.

A pesar de que esta tecnología tuvo su auge durante la Guerra Fría como se ha descrito en apartados anteriores, no ha quedado en desuso y son varias las cadenas de enlaces por *troposcatter* que se encuentran en funcionamiento alrededor del mundo. No solo enfocadas a usos militares, sino también a usos civiles.

El enfoque que se pretende dar en este apartado corresponde al uso militar. De acuerdo con esto, se ha llevado a cabo una profunda investigación y se ha podido comprobar que este tipo de tecnología se encuentra disponible tanto en el mercado nacional, como en el internacional. Puesto que es difícil encontrar información sobre instalaciones de enlaces específicos en otras Armadas, la investigación se ha centrado en el estado de la tecnología actual. A continuación, se presentan en una serie de puntos, las características más importantes de este tipo de sistemas, y en qué estado tecnológico se encuentran en la actualidad:

- Velocidad de transmisión o *data rate*

Aunque se han encontrado sistemas que aseguran que pueden alcanzar velocidades de transmisión de hasta 100 Mbps, la tasa de datos habitual se encuentra alrededor de los 20 Mbps.

- Potencia de transmisión

Debido a la cantidad de energía que se desaprovecha a causa del propio fenómeno de dispersión troposférica, es necesario radiar gran cantidad de potencia. Los órdenes de magnitud están en torno a 1 KW de potencia de transmisión. No obstante, existen soluciones basadas en dos equipos trabajando en paralelo (antena, transceptor, amplificador) que duplican la energía, alcanzando los 2 KW. Las soluciones actuales para los transmisores se basan en tecnología de estado sólido.

- Frecuencias de trabajo

El límite inferior de frecuencia viene impuesto por la necesidad de trabajar con antenas muy directivas, y el superior por la atenuación atmosférica.

La banda frecuencial más favorable para este tipo de propagación es la banda S, o la banda superior de UHF, con frecuencias de uso militar en torno a los 2 GHz. En enlaces bidireccionales se emplean frecuencias ligeramente separadas en banda, con canales de unos 20 MHz de ancho de banda. Sin embargo, también existen soluciones actuales que trabajan en banda C con frecuencias comprendidas entre 4,4 GHz y 5 GHz. En España, según el ‘Acuerdo Nacional de Frecuencias para Tiempo de Paz’ publicado por el Ministerio de Defensa, estas bandas se utilizan en aplicaciones de móvil por satélite, aplicaciones de investigación espacial, radioastronomía, exploración de la Tierra por satélite y operaciones espaciales (Tierra-espacio / espacio-espacio). Es por ello que se puede afirmar que en España no hay actualmente ni a nivel militar ni a nivel civil ninguna legislación que asigne bandas de frecuencia a las comunicaciones por dispersión troposférica.

A nivel internacional y de acuerdo con el ‘Reglamento de Radiocomunicaciones’ [9] publicado por la ITU⁴⁷ en su última Edición de 2016 existe una banda dedicada a sistemas basados en *troposcatter*. Concretamente y según el Artículo 5 (punto 5.410) de dicho documento, la banda 2500 MHz-2690 MHz puede utilizarse por sistemas de dispersión troposférica en la Región 1⁴⁸. Se indica también que las administraciones harán todo lo posible para evitar la introducción de nuevos sistemas de dispersión troposférica en esta banda, y que al planificar nuevos radioenlaces basados en *troposcatter* en esta banda se deberán adoptar todas las medidas posibles para evitar dirigir las antenas de dichos enlaces hacia la órbita de satélites geoestacionarios.

El modelo más empleado para la predicción de las condiciones de propagación en sistemas troposcatter es la recomendación ITU-R P.617.3 [10] También puede considerarse el modelo general recogido en ITU-R P.2001-1 [11] que combina el modelo de P.617.3 con el de la recomendación IUT-R P.452.15 [12] estando esta última enfocada a la estimación de interferencias entre radioenlaces.

⁴⁷ ITU – International Telecommunications Union. La Unión Internacional de Telecomunicaciones es el organismo especializado en telecomunicaciones de la Organización de las Naciones Unidas. Se encarga de la regulación de las telecomunicaciones a nivel internacional entre las diversas administraciones y empresas operadoras.

⁴⁸ Región 1 de la ITU. Según la división geográfica de la ITU para administrar el espectro radioeléctrico global, esta Región comprende Europa, África y Oriente Medio (incluyendo la península arábiga, Iraq, la antigua URSS y Mongolia.

- Alcance o *range*

Este parámetro depende directamente del tamaño de las antenas y de la potencia de transmisión. Existen sistemas con alcances que van desde los 150 km, hasta enlaces que alcanzan más de 500 km sin necesidad de repetidores intermedios.

- Integración de datos y monitorización del sistema

Las soluciones que se plantean están basadas en tecnología IP, lo que facilitaría la integración con la red de datos tanto de la propia Armada, como de organizaciones externas. Los datos son procesados con códigos de corrección de errores sofisticados y los sistemas consultados disponen de monitorización y configuración local y remota.

- Antenas: tamaño y características

Las antenas enfocadas a ubicaciones fijas son de tipo *billboard*, mientras que las empleadas en enlaces tácticos son de tipo parabólico con diferentes tamaños. Se alimentan para que transmitan con polarizaciones tanto vertical como horizontal, o ambas.

- Movilidad

Existen tanto enlaces fijos como enlaces tácticos móviles. Los primeros están enfocados a establecer enlaces de larga distancia, mientras que los segundos disponen de una menor cobertura a causa de reducir el tamaño de las antenas y los equipos.

Para concluir, se ha investigado acerca de los sistemas basados en *troposcatter* que emplean actualmente las principales potencias mundiales. En concreto, se ha podido comprobar que el USMC (*United States Marine Corps*) emplea un sistema conocido como AN/TRC-170. Este sistema se utiliza en misiones tácticas para comunicar las tropas con los Centros de Mando y Control. Es capaz de establecer enlaces de hasta 185 km, y transferir datos, internet, comunicación telefónica y email. Por parte del Cuerpo de Marines está considerado como uno de los elementos de comunicaciones más valiosos y fiables, por su dificultad para ser interferido, y por su alta estabilidad ya que alcanza 960

horas de comunicación interrumpida. Esta información puede consultarse en [13]. No obstante, parece que el USMC va a actualizar el sistema próximamente, desplegando nuevas estaciones [14]

Otro ejemplo de equipo actual es el sistema DART-T [15] de Raytheon Co., basado en equipos COTS, está constituido por una antena de 2.4m. Usa diversidad en frecuencia, empleando banda C, y como novedad respecto a todo lo anterior, banda Ku. Emplea también agilidad angular (múltiples alimentadores) por lo que evitando el uso de una segunda antena (con el correspondiente impacto en reserva de peso y espacio) se consigue diversidad *cuádruple* (2 portadoras x 2 direcciones). Incorpora software para configurar el enlace y estimar sus prestaciones, lo que supone un importante avance respecto a equipos anteriores, que requerían personal especialmente cualificado para su operación. Empleando un modem definido por software, con códigos de corrección de errores y tasa de datos adaptativa. Dicho equipo se ha probado con éxito comparado con el ‘tradicional’ AN/TRC-170 consiguiendo flujos de datos estables de 40 Mbps a 83 millas en terreno desértico, lo que añade mérito al resultado, al tratarse de una región climática menos favorable para este tipo de enlaces.

Por otro lado, también se ha encontrado información sobre una propuesta de investigación llevada a cabo por la US NAVY. De acuerdo con [16], tiene por objetivo el desarrollo de algoritmos y software de control para comunicaciones troposféricas que sean capaces de compensar el movimiento de los buques y se sobrepongan a las limitaciones impuestas por entornos A2AD⁴⁹. Para poder operar en este tipo de escenarios y comunicarse con la flota, pretenden desarrollar software de control para establecer enlaces *troposcatter* entre estaciones terrenas y los buques. Los enlaces por *troposcatter* emplean haces de canal muy estrechos que les permiten ser robustos frente al *jamming* y tener una baja probabilidad de detección. Es por esto por lo que los enlaces por *troposcatter* podrían emplearse de manera efectiva para comunicarse con buques en entornos A2AD. Sin embargo, a causa de la fluctuación de amplitud asociada con la dinámica de plataformas móviles, las comunicaciones troposféricas han estado limitadas a ‘comunicaciones estáticas’. Los buques se encuentran en constante movimiento, por lo que el concepto de ‘comunicación estática’ no se puede aplicar a las embarcaciones militares. De este modo, la US Navy solicita el desarrollo de un algoritmo de control de *troposcatter* y un software de compensación del movimiento del barco, que se apoye en la banda ancha comercial de satélite para determinar la posición del buque. Con más detalle, requieren velocidades de transmisión de al menos 10 Mbps y una tasa de error de bit de 10^{-5} o mejor. Por último, también

⁴⁹ A2AD – *Anti-Access Area Denial*. Concepto que se emplea para definir entornos de comunicaciones que estén amenazados por interferencias o *jamming*.

solicitan tener en cuenta la compensación de las dinámicas del movimiento del buque en función de los estados de la mar. Esta resulta una línea de investigación realmente interesante, puesto que a priori los enlaces de comunicación troposféricos parecen difíciles de establecer desde tierra hasta un elemento móvil en la mar. A priori se desconoce si alguna institución o empresa ha sido capaz de realizar avances en esta materia puesto que el documento es una propuesta de trabajo de investigación lanzada en el año 2016.

En el mercado nacional, existen empresas que disponen de experiencia en soluciones para sistemas basados en dispersión troposférica. Más concretamente, INDRA Sistemas ha suministrado y desplegado equipos para comunicaciones de este tipo en Fuerzas Armadas y Ejércitos Internacionales.

7.3 Aplicaciones Potenciales.

7.3.1 Consideraciones preliminares

Es necesario diferenciar los dos tipos de sistemas empleados en comunicaciones por dispersión troposférica. Por un lado, aparecen los **sistemas fijos** los cuales son capaces de establecer enlaces de mucha distancia (de hasta 500 km) a costa de emplear grandes antenas tipo ‘billboard’ (decenas de metros), potentes transmisores e instalaciones que requieren un gran despliegue de equipos asociados en un punto fijo. Sin embargo, por otro lado, existen los **sistemas móviles tácticos**, basados en equipos transportados en *shelter* o contenedores. Estos sistemas emplean antenas tipo parabólico (de hasta 4 metros de diámetro), transmisores de menor potencia, y equipos portátiles por lo que están enfocados a establecer enlaces de menor distancia que los anteriores (de unos 100 kilómetros) pero permitiendo ser desplegados de manera rápida en cualquier lugar.

La evolución tecnológica favorece el empleo de enlaces BLOS mediante dispersión troposférica, tanto de tipo fijo, como tácticos, de rápido despliegue. Cabe citar, por ejemplo, la disponibilidad de amplificadores de potencia de estado sólido (como contraposición a los complejos, y caros *klystrons* empleados en el pasado), el uso de modulaciones y esquemas de codificación espectralmente eficientes, módems de alta capacidad, y muy particularmente, la migración a sistemas de conmutación de paquetes, que permite establecer enlaces de capacidad variable, para adaptarse a las condiciones variables de propagación.

La conjunción de estas condiciones permite contemplar la posibilidad de emplear esta tecnología con menores potencias y tamaños de antena que en pasado, lo que facilita el transporte y despliegue de los mismos en aplicaciones tácticas.

Como se ha discutido a lo largo del documento, la comunicación a través de la troposfera es una comunicación punto a punto ya que el haz es dirigido, a pesar de que el apuntamiento se enfoca hacia el horizonte. La ubicación de los enlaces que utilizan transmisión transhorizonte requiere de cierto cuidado. Los haces de antena no deben quedar dificultados por obstáculos cercanos y las antenas deben quedar apuntadas ligeramente por encima del horizonte. La elevación óptima precisa es función del trayecto y de las condiciones atmosféricas, pero está comprendida dentro de 0,2 y 0,6 veces el ancho del haz de la antena por encima del horizonte. La comunicación puede ser bidireccional y simultánea entre transmisor y receptor, puesto que se pueden emplear diferentes frecuencias y polarizaciones.

Para resumir, podemos afirmar que los aspectos más relevantes de las comunicaciones troposféricas son los siguientes:

- Necesidad de disponer de grandes antenas, a veces del orden de decenas de metros, en la infraestructura de los buques.
- Altísimo nivel de potencia que se requiere para poder establecer un enlace de este tipo.
- Importancia crítica del alineamiento entre transmisor y receptor al tratarse de una comunicación punto a punto y no de radiodifusión. En un punto en movimiento como puede ser un buque, este es un factor difícil de asegurar. Requiere conocer la posición del buque para apuntamiento de antenas.

Por todo ello se concluye que la comunicación por dispersión troposférica cobra más sentido en escenarios terrestres, en los que se pueden instalar infraestructuras fijas o portátiles.

7.3.2 Aplicaciones en la Armada Española.

En base a estas consideraciones, y desde un punto de vista funcional, una de las aplicaciones potenciales más lógicas a priori parece la de enlazar diferentes Centros de Control de la Armada Española (CECOM). Se podría establecer un enlace de datos de seguridad entre el CECOMMAD – CECOMFLOT – CECOMPALM. Los enlaces por dispersión troposférica tienen como uno de sus usos

principales el de restaurar rápidamente y en caso de emergencia los enlaces de comunicaciones que requieran de un ancho de banda elevado.

Otra de las posibles aplicaciones, sería la de establecer comunicaciones tácticas en operaciones de Infantería de Marina en situaciones en las que se requiera disponer de un enlace de comunicaciones móvil, seguro y rápido de desplegar, y en las que la complicada orografía que impide las comunicaciones por visión directa. Esta situación es frecuente en las misiones de la Infantería de Marina desplegada en tierra. En estos casos, podrían utilizarse los sistemas móviles tácticos, basados en equipos transportados en *shelter* o contenedores. Estos sistemas emplean antenas tipo parabólico (de hasta 4 metros de diámetro), transmisores de menor potencia, y equipos portátiles, por lo que están enfocados a establecer enlaces de menor distancia que los anteriores (de unos 100 kilómetros) pero permitiendo ser desplegados de manera rápida en cualquier lugar.

En el caso de comunicaciones navales, las dificultades se hacen evidentes, Los inconvenientes aparecen al necesitar este tipo de enlaces de antenas de gran tamaño y directivas. Si el apuntamiento entre transmisor y receptor se viera desplazado, el enlace perdería capacidad y disponibilidad ya que es poca la potencia que de por si capta a causa de la dispersión. Para poder establecer un enlace de este tipo de manera satisfactoria, se necesita de un preciso sistema de control que calcule el rumbo y posición exacta del receptor en la mar de manera que el apuntamiento esté continuamente controlado y corregido. Este inconveniente se hace especialmente presente en el futuro buque escolta F-110 en donde el espacio en el mástil integrado es realmente limitado, y ya está totalmente copado por otros sensores.

Enfocado a Buques de Investigación Oceanográfica como el Hespérides, podría dotarlo de un sistema de comunicación de *back-up* respecto a los sistemas satélite. En zonas Árticas y Antárticas en los que este buque realiza varias de sus misiones, la comunicación vía satélite se complica al no tener cobertura en esa zona de la Tierra. Disponer de un enlace de comunicación troposférica, podría dotarlo con una funcionalidad añadida en caso de emergencia. Con el estado del arte actual respecto a las comunicaciones troposféricas, se pueden alcanzar enlaces de unos 120 km de distancia, con tasas de datos del orden de los 20 Mbps, y empleando antenas de tipo parabólico de 2 metros de diámetro.

Todos estos parámetros y configuraciones pueden ser ajustados a las necesidades operativas de la aplicación. Con antenas más grandes, los alcances serán mayores. Enlaces de mayor distancia también supondrán una reducción de la velocidad de transmisión de datos. Finalmente, emplear configuraciones en diversidad (espacial, frecuencial, etc.), también permitirá establecer enlaces más lejanos.

8 CONCLUSIONES.

Las comunicaciones BLOS por HF y dispersión troposférica constituyen una buena alternativa a las comunicaciones satelitales, y ofrecen una **redundancia al satélite** en caso de que éste falle.

Si bien es cierto que actualmente no cabe ninguna duda de que las comunicaciones satelitales son mucho más rápidas y eficientes que las comunicaciones por HF y dispersión troposférica, estas comunicaciones presentan una serie de ventajas que las hacen ser muy atractivas.

En el caso de HF, las ventajas fundamentales que hemos estado viendo a lo largo de este TFM es el bajo coste económico tanto de adquisición como de mantenimiento de los terminales de HF en comparación con los terminales satelitales, así como la independencia de cualquier autoridad externa a la Armada que proporciona el sistema de HF en comparación con la fuerte dependencia que presenta el satélite de agentes externos a la Armada. Adicionalmente, son comunicaciones mucho más robustas y menos perturbables que las satelitales, por lo que en caso de conflicto pueden constituir una excelente alternativa al satélite.

Si bien es cierto que estas comunicaciones por HF presentan varias ventajas, en ningún caso sustituirían a las comunicaciones satelitales, ya que ofrecen un limitadísimo ancho de banda en comparación con las satelitales, que ocasiona que estas comunicaciones no sean aptas para los altos volúmenes de datos que se requieren actualmente. Además, el uso de las comunicaciones por HF no es nada fácil en comparación con el de los terminales satelitales. **Por todo ello, lo ideal sería que en barco estuviese presente tanto terminales satelitales como terminales de HF, pues en ningún caso son excluyentes.**

Esta ha sido siempre la política de la Armada en esta cuestión, si bien es cierto que en ocasiones se ha reducido la inversión en el mantenimiento de los terminales HF debido a que el HF es incómodo de usar y las dotaciones prefieren siempre que sea posible usar el satélite. Este escenario seguramente cambie con el nuevo concepto del HF basado en el BRE1TA, y el futuro BRE2TA, ya que estas dos tecnologías reducirán considerablemente los inconvenientes característicos de las comunicaciones HF.

Además, como se ha analizado a lo largo del TFM, desde el punto de vista técnico es perfectamente abordable la modernización del BRASS, y por lo tanto implantación del proyecto BRE1TA tanto en los Centros de Mando y Control, así como en las estaciones radio y en la futura F-110, así como en las F-100. También se ha observado en la solución técnica presentada, cómo reusándose elementos del antiguo sistema BRASS, se podrían ahorrar costes en dicha modernización.

En el caso de las comunicaciones por dispersión troposférica, es muy interesante destacar que se **aprovechan las ventajas** que por un lado presentan los **sistemas *line of sight***, operando con altas frecuencias y permitiendo conseguir velocidades de transmisión elevadas, y por otro lado las que ofrecen **los sistemas de comunicación por onda ionosférica** consiguiendo establecer enlaces BLOS más allá del horizonte sirviéndose de las propiedades físicas de las capas de la atmósfera.

También hemos visto también que son una solución menos costosa que un sistema SATCOM. Además, ofrecen una alta fiabilidad, y una velocidad de transmisión, fiabilidad y latencias bastante mejores que las comunicaciones por HF, y por supuesto soporta protocolos orientados a IP a diferencia del HF. Sin embargo, a pesar de estas ventajas tan interesantes, estas comunicaciones presentan una serie de inconvenientes, como el gran tamaño que requieren las antenas, (el espacio es una cuestión crítica en el diseño del Topside de un buque) así como lo extremadamente sensibles que son estas comunicaciones al movimiento que presenta un buque.

Estos inconvenientes hacen que **las comunicaciones por dispersión troposférica quizás no sea la mejor opción a la hora de ofrecer una alternativa al satélite en un buque de guerra**, Este inconveniente se hace especialmente presente en el futuro buque escolta F-110 en donde el espacio en el mástil integrado es realmente limitado, y ya está totalmente copado por otros sensores. Es por ello que este tipo de comunicaciones **pudieran ser más adecuadas para una instalación militar en tierra**, o para un buque muy grande (quizás un portaaviones) y en el espacio no sea una cuestión crítica.

9 LÍNEAS FUTURAS

Una vez desarrollado los diferentes puntos del presente TFM, se propone a la Armada Española las siguientes líneas futuras de trabajo:

- Seguir Avanzando en el Proyecto BRE1TA y potenciar el HF como método de comunicación alternativa al SATCOM.
- Seguir adquiriendo transceptores de HF que cumplan los requisitos BRE1TA para los nuevos buques en construcción (F-110), y modernizar los transceptores de HF de los buques ya existentes (fundamentalmente las F-100) de tal manera que cumplan dichos requisitos.
- Iniciar una línea de investigación I+D de un sistema basado en dispersión troposférica buque-tierra, que calcule las fluctuaciones asociadas al movimiento del barco y sea capaz de corregir el enlace para optimizar la amplitud de potencia recibida
- Iniciar una línea de investigación para intercomunicar los Centros de Comunicaciones (CECOMs) con un enlace de comunicaciones troposféricas. De esta manera, se podría disponer de una comunicación de alta capacidad, segura, y que actuase proporcionando redundancia, como recurso de seguridad en caso de caída de la red principal.
- Estudiar la posibilidad de desarrollar un sistema de comunicaciones táctico y portátil basado en dispersión troposférica para Infantería de Marina. especialmente en escenarios donde la orografía impide las comunicaciones por visión directa.

10 BIBLIOGRAFÍA

- 1] «Web de La HISDESAT,» 2022. [En línea]. Available: https://www.hisdesat.es/satelites_comunic-xtar. [Último acceso: Octubre 2022].
- 2] Combined Communications-Electronics Board (CCEB), «ACP 127(G). COMMUNICATIONS INSTRUCTIONS TAPE RELAY PROCEDURES,» 1999.
- 3] L. De Haro Ariet, M. Sierra Castañer y J. L. Besada Sanmartín, Radiación y Propagación, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2004.
- 4] C. Perkins, « IETF RFC 3344. Internet Engineering Task Force Request for Comments “IP Mobility Support for IPv4”,» 2002.
- 5] UIT, «X.500.Interconexión de sistemas abiertos - El directorio: Visión de conjunto de conceptos, modelos y servicio,» Última Versión Octubre 2019.
- 6] CCEB, «ACP-133.Procedimientos y servicios de directorio comunes,» 2007.
- 7] «The White Alice Communications System,» [En línea]. Available: <http://www.whitealice.com/wacs/main.html>.
- 8] T. M. Rienzi, «Communicattions - Electronics / Vietnam Studies,» Department of the USA Army, Washington DC, 1970.
- 9] ITU International Telecommunication Union, «A path-specific propagation prediction method for point-to-area terrestrial services in the VHF and UHF bands,» de *Recommendation ITU-R P.1812-5*, 2019.
- 10] ITU International Telecommunication Union, «Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas de radioenlaces transhorizonte,» de *Recomendación UIT-R P.617-1*, 1992.
- ITU International Telecommunication Union, «Información sobre propagación de las ondas

- 11] radioeléctricas para el diseño de enlaces terrenales punto a punto,» de *Oficina de Radiocomunicaciones*, 2008.
- | ITU International Telecommunication Union, «Método de predicción de la calidad de funcionamiento de circuitos que funcionan en ondas decimétricas,» de *Recomendación UIT-R P.533-14*, 2019.
- | Marines / The Official Website Of The United States Marine Corps, «The AN/TRC-170 Continues to Stay Reliable for the Corps,» 2 May 2017. [En línea]. Available: <https://www.marines.mil/News/News-Display/Article/1169154/the-antrc-170-continues-to-stayreliable-for-the-corps/>.
- 14] Military & Aerospace Electronics, «Marine Corps chooses troposcatter communications system from Cubic GATR to replace service's AN/TRC-170,» 30th Oct 2019. [En línea]. Available: <https://www.militaryaerospace.com/communications/article/14069581/troposcatter-communications-marine-corps>.
- 15] Facultad de Ingeniería del Ejército, «Tecnología Troposcatter para transmitir señales de aumentación en los GNSS,» [En línea]. Available: <https://www.fie.undef.edu.ar/ceptm/?p=3881>. [Último acceso: Octubre 2022].
- | Navy SBIR / STTR, «Shipboard Troposcatter,» 23 May 2016. [En línea]. Available: https://www.navysbir.com/n16_2/N162-135.htm.
- 16]

11 LISTADO DE ACRÓNIMOS

Acronym	Definition
ACO	Allied Command Operations
ACP	Allied Communication Publication
A/E	Architecture/Engineering.
ACT	Allied Command Transformation
ADCR	Automatic Data Rate Control
ACMS	Automatic Control and Management System.
ALE	Automatic Link Establishment
ALM	Automatic Link Management.
AP	Access Point
ARQ	Automatic Repeat Request
BCST	Broadcasting
BICC	BRASS Initial Core Capability
BLOS	Beyond Line of Sight
BRASS	Broadcast, Maritime Rear Link and Ship-Shore
BREITA	BRASS Enhanced Increment 1 Target Architecture
BRIPES	BRASS IP Enhanced Systems
COTS	Commercial Off The Shelf
COMCEN	Communication Centre.
CUR	Crisis Urgent Requirement

Acronym	Definition
CESTIC	Centro de Centro de Sistemas y Tecnologías de la Información y Comunicaciones.
ELOS	Extended Line of Sight
EMP	Electromagnetic Pulse
HF	High Frequency
HFDVL	High Frequency Data Voice Link.
HFRTTP	High Frequency Ring Token Protocol.
HTTP	Hyper Text Transfer Protocol.
IP	Internet Protocol
I3D	Integral Information Infrastructure
ISB	Independent Sideband
ITU	International Telecommunication Union
JAL	Jefatura del Apoyo Logístico ⁵⁰
LOS	Line Of Sight
MMHS	Military Message Handling System
MMR	Minimum Military Requirement
MPLS	Multiprotocol Label Switching
MPS	Message Processing System
MRL	Maritime Rear Link
NAF	NATO Architecture Framework
NATO	North Atlantic Treaty Organisation
NCIA	NATO Communication and Information Agency
NGCS	NATO General Communication System
NII	Networking and Information Infrastructure
NMS	NATO Messaging Services
NNEC	NATO Network Enabled Capability
RMP	Recognized Maritime Picture
RS	Radio Station
RSC	Remote and Supervisory Control

⁵⁰ In english: Logistic Support Office of the Spanish Navy

Acronym	Definition
SATCOM	Satellite Communication
STANAG	Standardisation Agreement
SW	Software
T-MMHS	Tactical Military Message Handling System
TARE	Telegraph Automatic Relay Equipment
TBC	To Be Confirmed
UDOP	Unreliable Datagram-Oriented Protocol
UDP	User Datagram Protocol
UPS	Uninterruptible Power Supply
VMS	Voice Management System
WAN	Wide Area Network
WBHF	Wide Band High Frequency
WCMI	Wireless Centralized Management Interface
WGNT	Working Group of National Technical Experts
WS	Working Station
XMPP	Extensible Messaging and Presence Protocol

ANEXO I: DESCRIPCIÓN DEL EQUIPAMIENTO EN LOS CECOMS

Nota: La descripción del equipamiento se ha dejado en inglés ya que se pretende usar estas descripciones como requisitos para la Especificación Técnica de Compra (ETC) que está previsto ser enviada a la industria con objeto de adquirir el equipamiento de los CECOMs para el futuro Proyecto BRE1TA.

1. Message Processing System (MPS)

This Sub-System controls and manages all the incoming information. Its main functions are:

- Receiving NATO⁵¹ and National information (Data and Voice) from the Red Domain.
- Storing and processing Information.
- Controlling Crypto Sub-System.
- Sending processed Information to Crypto Sub-System.

2. Master Remote Supervisory and Control System⁵² (RSC):

This Sub-System controls and monitors all the equipment in the ACMSs (except the Red Domain) and all the equipment in the Radio Stations. Its main functions are:

- Establishing Radio Circuits (Modem+Transmitter/Receiver+Antenna) after the black Domain.
- Monitoring and controlling of the equipment of Radio Stations.
- Monitoring the working state of every Sub-System and informing in case of abnormal functioning.

3. Communication and Interconnection Switching System (CISS)

This Sub-System routes⁵³ the processed Information to the transmission components, in order to connect the COMCENs with the Radio Stations.

4. Voice Management System (VMS)

This Sub-System does the same functions as CISS, but for voice communications.

⁵¹ NATO information will be supplied by [NATO Node](#), to BRASS MPS, through a Gateway.

⁵² Master RSCs are installed in COMCEMs and can control, manage and monitor all the equipment in BRASS System. Slave RSC are installed in Radio Stations and can only monitor equipment's state.

⁵³ In BRASS, this subsystem has to important Hardware elements: Red matrix and black matrix. In BRE1TA project, this two Hardware elements, will be replaced by a Red Ethernet, and Black Ethernet.

5. Precision Time and Frequency System (PTFS):

This Sub-System will generate and distribute the proper time signal, in order to synchronize COMCENs and Radio Stations.

6. Power Supply System (PSS):

This Sub-System will provide an uninterrupted source of power to all the components in case of a power blackout or abnormal functioning of the main power.

7. Pool Crypto System (PCS)

This Sub-System is between the red domain and the black domain, and is formed by all the available Cryptos. It will provide an encryption to the information received by the red domain through MPS, so that encrypted information can be sent to the black domain.

ANEXO II: DESCRIPCIÓN DEL EQUIPAMIENTO DE LAS ESTACIONES RADIO DEL SISTEMA BRASS

Tabla Anexo II 1: Equipamiento Estaciones Radio Sistema BRASS actual

Equipamiento ERMAD			
Descripción Entidad		Descripción Equipamiento	
Nombre	Tipo	Tipo	Número
SAN TORCAZ	Estación Transmisora	10 KW Valve amplifier Transmitter	38
		10 KW (or 2x5 KW) Solid State Transmitter	2
		Transmission Antennas	41
		HF Modems (model 4000 from NSGDATA.COM)	25
		Slave Remote Supervisory System (RSC) to monitor all equipment	1
		Antenna Matrix	2
		10 KW Dummy Loads	3
		Pressuring System	2
		Audio/Data Switching Unit that connects Modems with Transmitters	1
		Transmission Control Lines that connect the antenna matrix to the antenna ports	-
		SCTM Multiplex to connect COMCENs with Radio Station	1
		Uninterrupted Power Supply (UPS)	8
BERMEJA	Estación Receptora.	R-1022/N Receiver	32
		Reception Antennas	16
		HF Modems (model 4000 from NSGDATA.COM)	33
		Slave Remote Supervisory System (RSC) to monitor all equipment	1
		Antenna Matrix	2
		Pressuring System	2
		Audio/Data Switching Unit that connects Modems with Receivers	1
		Transmission Control Lines that connect the antenna matrix to the antenna ports	-
		SCTM Multiplex to connect COMCENs with Radio Station	1
		Uninterrupted Power Supply (UPS)	1

Equipamiento ERDIZ			
Descripción Entidad		Descripción Equipamiento	
Nombre	Tipo	Nombre	Tipo
CHICLANA	Estación Transmisora	10 KW (or 2x5 KW) Solid State Transmitter	5
		Transmission Antennas	8
		HF Modems (model 4000 from NSGDATA.COM)	3
		Slave Remote Supervisory System (RSC) to monitor all equipment installed	1
		Antenna Matrix	1
		10 KW Dummy Loads	1
		Pressuring System	1
		Audio/Data Switching Unit that connects Modems with Transmitters	1
		Transmission Control Lines that connect the antenna matrix to the antenna ports	-
		SCTM Multiplex to connect COMCENs with Radio Station	1
		Uninterrupted Power Supply (UPS)	1
PUERTO REAL	Estación Receptora	Last Generation Receiver SP-2295	6
		Reception Antennas	3
		HF Modems (model 4000 from NSGDATA.COM)	3
		Slave Remote Supervisory System (RSC) to monitor all equipment installed	1
		Antenna Matrix	1
		Pressuring System	1
		Audio/Data Switching Unit that connects Modems with Receivers	1
		Transmission Control Lines that connect the antenna matrix to the antenna ports	-
		SCTM Multiplex to connect COMCENs with Radio Station	1
		Uninterrupted Power Supply (UPS)	1

Equipamiento ERPAL			
Descripción Entidad		Descripción Equipamiento	
Tipo	Nombre	Tipo	Nombre
ALMATRICHE	Estación Transmisora	10 KW (or 2x5 KW) Solid State Transmitter	8
		Transmission Antennas	8
		HF Modems (model 4000 from NSGDATA.COM)	3
		Slave Remote Supervisory System (RSC) to monitor all equipment installed	1
		Antenna Matrix	1
		10 KWDummy Loads	1
		Pressuring System	1
		Audio/Data Switching Unit that connects Modems with Transmitters	1
		Transmission Control Lines that connect the antenna matrix to the antenna ports	-
		SCTM Multiplex to connect COMCENs with Radio Station	1
		Uninterrupted Power Supply (UPS)	1
PICACHO	Estación Receptora	Last Generation Receiver SP-2295	6
		Reception Antennas	3
		HF Modems (model 4000 from NSGDATA.COM)	3
		Slave Remote Supervisory System (RSC) ⁵⁴ to monitor all equipment installed	1
		Antenna Matrix	1
		Pressuring System	1
		Audio/Data Switching Unit that connects Modems with Receivers	1
		Transmission Control Lines that connect the antenna matrix to the antenna ports	-
		SCTM Multiplex to connect COMCENs with Radio Station	1
		Uninterrupted Power Supply (UPS)	1

⁵⁴ Includes Working Station.

ANEXO III: DESCRIPCIÓN ELEMENTOS DE LA ARQUITECTURA DE LA SOLUCIÓN BRE1TA PROPUESTA

Nota: La descripción de los elementos de la arquitectura de la solución BRE1TA propuesta se ha dejado en inglés ya que se pretende usar estas descripciones como requisitos para la Especificación Técnica de Compra (ETC) que está previsto ser enviada a la industria con objeto de adquirir el equipamiento de los CECOMs para el futuro Proyecto BRE1TA.

Transmission Radio Stations:

- **Pool of “10 KW⁵⁵ Solid state SW Defined Radio BRE1TA Transmitter⁵⁶ upgradeable to BRE2TA”:**

Minimum Requirements: COTS, Solid State, 5+5 KW⁵⁷ Configuration; LAN Ethernet Interface, RS-232 for audio signal interface, fully compliant with STANAG 4203 and with STANAG 4538 ALE 3G/2G and ALM⁵⁸, in order to guarantee interoperability at the Physical Level. The implementation of BRE1TA Waveforms STANAG 4539⁵⁹ via SW, is also required.

HW Compatibility with narrowband and both contiguous and non-contiguous wideband according to STANAG 4203 Edition 4, and upgradeable via SW to fulfil the Wideband STANAGS (BRE2TA) when ratified.

These Transmitters must be acquired, since they are not present in current BRASS System. Spain strongly believes that implementing ALE 3G is a strategic issue in order to take advantage of the development of ALE new standards. Nevertheless, since NATO ships are equipped with ALE 2G, these new Transmitters will be configured accordingly. Moreover, as this equipment will be Software Defined Radios (SDR), could be upgradable to ALE 3G just installing the adequate driver. Although this philosophy

⁵⁵ 10 KW is desirable but 8 KW or more is as well accepted. Less than 8 KW is not permitted.

⁵⁶ These new Transmitters will be able to connect to the existing BRASS Uninterrupted Power Supply (UPS). So, the existing UPS is a reusable element. These transmitter will be equipped with their associated and new Dummy Loads.

⁵⁷ 5+5 KW is desirable but 4+4 KW or more is as well accepted. Less than 4+4 KW is not permitted.

⁵⁸ ALM will be implemented by using ADRC Protocols.

⁵⁹ Waveforms based on STANAG 4539 are paramount, but Waveforms based on HDL and LDL traffic according to STANAG 4538 will be implemented as well, in order to achieve compatibility with deployed Land Units.

does not point in the same direction as the Spanish ALE 3G philosophy, it will be adopted so as to satisfy NATO requirements. .

The foreseen number of these elements, is three (3) in SANTORCAZ, one (1) in CHICLANA and one (1) in ALMATRICHE, so service Requirements.can be fulfilled.

- **Pool of “10 KW⁶⁰ Solid state SW Defined Radio BRE1TA Transmitter⁶¹ NOT upgradeable to BRE2TA”:**

Minimum Requirements: Solid State, 5+5 KW⁶² Configuration; LAN Ethernet Interface, RS-232 for audio signal interface, fully compliant with STANAG 4203 and with STANAG 4538 ALE 3G/2G and ALM⁶³ in order to guarantee interoperability at the Physical Level

It is important to highlight that current BRASS 10 KW (or 2x5 KW) Solid State Transmitter fulfils the abovementioned minimum requirements for this element, except the ALE 3G Capability. Therefore, an external 3G controller will be acquired and connected to the transmitter in order to achieve the ALE 3G capability. Due to this fact, this current BRASS 10 KW Solid State Transmitter is reusable and upgradeable to a BRE1TA Transmitter through an external ALE 3G Controller. Unlike new Transmitters, current BRASS Solid State Transmitters will be adapted so as to follow Spanish BRE1TA strategy of evolving to ALE 3G. Because these BRASS Solid State Transmitters are not Software Defined Radios (SDRs), it has been necessary to opt for only one ALE strategy and ALE 3G has been the chosen one, due to the fact that Spain considers very important to provide them with ALE 3G (despite these existing Transmitters and receivers are near of their end-of-life-cycle), in order to investigate and learn of the use of this technology, as well to have some intelectual property in this issue..

The foreseen number of these elements, is two (2) in SANTORCAZ, two (2) in CHICLANA and one (1) in ALMATRICHE, so service Requirements.can be fulfilled.

⁶⁰ 10 KW is desirable but 8 KW or more is as well accepted. Less than 8 KW is not permitted.

⁶¹ These Transmitters will be able to connect to the existing BRASS Uninterrupted Power Supply (UPS) as well as the existing 10 KW Dummy Loads. So, the existing UPS and the 10 KW Dummy Loads are reusable element.

⁶² 5+5 KW is desirable but 4+4 KW or more is as well accepted. Less than 4+4 KW is not permitted.

⁶³ ALM will be implemented by using ADRC Protocols.

- **Radio Station LAN⁶⁴ Ethernet** → This Ethernet Local Area Network⁶⁵ is made of Routers and Switches and it has two main tasks:
 - Interconnect route and manage all the Ethernet Traffic, between all the equipment in the Radio Station
 - Interconnect route and manage all the Ethernet Traffic, between Radio Station and the external WAN

These HW elements are COTS, and must be acquired, since they are not present in current BRASS System.

- **Pool of Media Gateways** → Their main task is to convert Ethernet frame into Audio⁶⁶ signal or Data⁶⁷ Signal (if required), and vice versa.

These HW elements are COTS, and must be acquired, since they are not present in current BRASS System.

- **BRE1TA RSC⁶⁸ Slave Remote Supervisory System (RSC)** → The main task of this SW is to monitor all the Radio Station BRE1TA equipment installed.

It is important to distinguish between Master and Slave RSC: Master RSCs are installed in COMCEMs and can control, manage and monitor all the equipment in BRASS System. Slave RSC are installed in Radio Stations and can only monitor equipment's state.

- **Antenna System** → Their main task is to radiate⁶⁹ efficiently the electromagnetic signal. It is composed of Transmission lines, Pressuring System, Antenna Matrix⁷⁰ and Antenna Field.

BRE1TA Antenna Field will be composed of the same⁷¹ Antennas as the ones in BRASS Antenna Field. Due to this fact, existing Antenna Field, Antenna Matrix, transmission lines and pressuring system, are reusable elements. In addition, Antenna Matrix not only will be reused from, but shared by both BRASS and BRE1TA System.

⁶⁴ This LAN is the equivalent to the "Audio/Data Switching Unit" and the "SCTM Multiplex" in existing BRASS Radio Station.

⁶⁵ It will be considered as a "Black LAN" since only manages encrypted Data

⁶⁶ Narrowband analog and Wideband analog

⁶⁷ RS-232 Sync/Async Data Signal

⁶⁸ Includes Working Station. This BRE1TA RSC Slave is the equivalent to the "Slave Remote Supervisory System (RSC)" in existing BRASS Radio Station .

⁶⁹ Antenna System's task in Transmission Station is to radiate, and in the Reception Station is to receive.

⁷⁰ Antenna Matrix is used to interconnect Antenna Field with the Transmitters and Receivers.

⁷¹ Antenna Matrix will be shared by both BRE1TA and BRASS Systems. However, since BRE1TA System BRE1TA assigned Antennas will be disconnected from existing BRASS System, it can be stated that Antennas will not be shared. In conclusion, once an Antenna has been assigned to BRE1TA System, this Antenna will not be available to BRASS System.

Reception Radio Stations:

- **Pool of “Solid state SW Defined Radio BRE1TA Receiver”⁷² upgradeable to BRE2TA”:**

Minimum Requirements: COTS, Solid State, LAN Ethernet Interface, RS-232 for audio signal interface, fully compliant with STANAG 4203 and with STANAG 4538 ALE 3G/2G and ALM⁷³ in order to guarantee interoperability at the Physical Level. The implementation of BRE1TA Waveforms STANAG 4539⁷⁴ via SW, is also required.

HW Compatibility with narrowband and both contiguous and non-contiguous wideband according to STANAG 4203 Edition 4, and upgradeable via SW to fulfil the Wideband STANAGS (BRE2TA) when ratified.

These Receivers must be acquired, since they are not present in current BRASS System. Spain strongly believe that implementing ALE 3G is a strategic issue in order to take advantage of the development of ALE new standards. Nevertheless, since NATO ships are equipped with ALE 2G, Receivers will be configured accordingly. Moreover, as this equipment will be Software Defined Radios (SDR), could be upgradable to ALE 3G just installing the adequate driver. Although this philosophy does not point in the same direction as the Spanish BRE1TA, will be adopted so as to satisfy NATO requirements. Nonetheless, BRASS Legacy Receivers are not Software Defined Radios (SDRs). Hence, it has been necessary to decide to implement a single ALE strategy and ALE 3G has been chosen.

The foreseen number of these elements, is six (6) in BERMEJA, two (2) in PUERTO REAL and two (2) in PICACHO, so service Requirements can be fulfilled.

⁷² These Receivers will be able to connect to the existing BRASS Uninterrupted Power Supply (UPS). So, the existing UPS is a reusable element (See [chapter 3.6](#)).

⁷³ ALM will be implemented by using ADRC Protocols.

⁷⁴ Waveforms based on STANAG 4539 are paramount, but Waveforms based on HDL and LDL traffic according to STANAG 4538 will be implemented as well, in order to achieve compatibility with deployed Land Units.

- **Pool of “Solid state SW Defined Radio BRE1TA Receiver 75 NOT upgradeable to BRE2TA”:**

Minimum Requirements: Solid State, LAN Ethernet Interface, RS-232 for audio signal interface, fully compliant with STANAG 4203 and with STANAG 4538 ALE 3G/2G and ALM⁷⁶ in order to guarantee interoperability at the Physical Level.

It is important to highlight that current BRASS Last Generation Receiver SP-2295⁷⁷ fulfils the abovementioned minimum requirements for this element, except the ALE 3G Capability. Therefore, an external 3G controller will be acquired and connected to the receiver in order to achieve the ALE 3G capability. Due to this fact, this current BRASS Last Generation Receiver SP-2295 is reusable and upgradeable to a BRE1TA Receiver through an external ALE 3G Controller. As a consequence of not being Software Defined Radios (SDRs), a single implementation of the ALE strategy can be carried out in these Brass Legacy Receivers. Therefore, Spanish BRE1TA strategy will follow ALE 3G in order to take advantage of this new scheme, due to the fact that Spain considers very important to provide them with ALE 3G (despite these existing Transmitters and receivers are near of their end-of-life-cycle), in order to investigate and learn of the use of this technology, as well to have some intellectual property in this issue. Spain will take advantage of ALE 3G lessons learnt with these existing transmitters for future developments.

The foreseen number of these elements, is four (4) in BERMEJA, four (4) in PUERTO REAL and two (2) in PICACHO, so service Requirements can be fulfilled.

- **Radio Station LAN Ethernet** → Same as Radio Station LAN Ethernet in Transmission Radio Station.
- **Pool of Media Gateways** → Same as Media Gateways in Transmission Radio Station.
- **BRE1TA RSC Slave Remote Supervisory System (RSC)** → Same as BRE1TA RSC Slave Remote Supervisory System (RSC) in Transmission Radio Station.
- **Antenna System** → Same as Antenna System in Transmission Radio Station.

⁷⁵ These Receivers will be able to connect to the existing BRASS Uninterrupted Power Supply (UPS). So, the existing UPS is a reusable element.

⁷⁶ ALM will be implemented by using ADRC Protocols.

⁷⁷ These Receivers are currently placed in Puerto Real and in Picacho Reception Stations, but not in Bermeja Reception Station. Consequently, it is foreseen to bring some of these Receivers to Bermeja.

ACMSs

- **ACMS LAN⁷⁸ Ethernet** → This Ethernet Local Area Network is made of Routers and Switches and it has two main tasks:
 - Interconnect route and manage all the Ethernet Traffic, between all the equipment in the ACMS
 - Interconnect route and manage all the Ethernet Traffic, between ACMS and the external WAN

It is very important to take into account, that this ACMS LAN will be divided into two domains:

- Red LAN (placed in Red Domain).
- Black LAN (placed in Black Domain).

These HW elements are COTS, and must be acquired, since they are not present in current BRASS System.

- **BRE1TA RSC⁷⁹ Master Remote Supervisory System (RSC)** → It main task is to control and monitor all the equipment in the ACMSs, via Control Signals, and all the equipment in the Radio Stations through the Control Signals. So, its main functions are:
 - Establishing BRE1TA Channels (Crypto + Modem + Data Traffic Controller (DTC)+Transmitter/Receiver+ Antenna)
 - Monitoring and controlling of the equipment of Radio Stations and ACMS (except NATO Node⁸⁰).
 - Monitoring the working state of every component in BRE1TA System and informing in case of abnormal functioning.
 - Controlling Crypto Sub-System.
 - Provide WCMI of the proper Control Signal in order to show the state and availability of Spanish BRE1TA resources

It is important to distinguish between Master and Slave RSC: Master RSCs are installed in COMCEMs and can control, manage and monitor all the equipment in BRASS System. Slave RSC are installed in Radio Stations and can only monitor equipment's state.

It is remarkable to say, that BRE1TA RSC has not any Hardware component, since is just a Software embedded in BRE1TA MPS.

⁷⁸ This LAN is the equivalent to the "CISS Subsystem" in existing BRASS ACMS.

⁷⁹ This BRE1TA RSC Master is the equivalent to the "Master Remote Supervisory System (RSC)" in existing BRASS ACMS.

⁸⁰ Although NATO Node is placed in ACMS, and interacts with BRE1TA System, it does not belong to BRE1TA System.

- **Message Processing System (MPS):** It is the core of the BRE1TA System. It controls and manages all the information. It will be placed in the red domain and its main functions are:
 - Receiving, storing and processing NATO⁸¹ and National information (Data and Voice⁸²) from the Application Servers⁸³. Since NATO and national information may not have the same security accreditation process, it is desirable that National and NATO information is allocated physically in two different servers.
 - Controlling the Master Remote Supervisory System (RSC) and distributing the proper time signal⁸⁴ via RSC, in order to synchronize COMCENs and Radio Stations.
 - Employ Proxy functions to improve efficiency, reduce response times, reduce the number of transactions and reduce protocol overhead between a client and corresponding services. Two main intern proxy services are foreseen:
 - SMTP Proxy: it will be employed in order to reduce the number of SMTP command/response transactions.
 - X.400/TANAG 4406 Proxy: it will be employed to improve transmission of MMHS by reducing message overhead.
 - Allocate the following SW packages:
 - Applications SW packages: STANAG 4406 SW, an all the applications SW, in order to guarantee interoperability at the Application Level.
 - STANAG 5066 SW and STANAG 5066 ARQ SW, in order to guarantee interoperability at the Network Level and at the Data Link Level
 - Spain strongly consider that mobile management and IP congestion control issues must be managed by Directory Services. These Directory Services will be based on the ACP 133 NATO Standard for Military Directory which uses the ITU X.500 directory standard. Despite this fact, it is intended that Mobile IPv4 SW will be provided in order to be implemented in future developments and improvements. Thus, it is expected to avoid any problem that may occur in the interconnection with NATO BRIPEs.
 - Sending processed Information to Crypto Sub-System through the Red Lan

MPS will be formed by the following Hardware Elements:

⁸¹ NATO information is generated in NMS, and goes to [NATO Node](#) through NGCS. Spanish BRE1TA interacts with NATO Node, through the “NMS PROXY Server”, obtaining NATO information and storing it in MPS.

⁸² Analogic Voice is only applicable to National part.

⁸³ Applications servers will be those servers, which are able to provide applications given i.

⁸⁴ This function is implemented in BRASS System by the Precision Time and Frequency System PTFS .

- Working Stations (WS)
- **Main National Server** (SW packages will be here allocated)
- Redundant National Server
- **NATO Server** (Same SW packages as Main National Server will be here allocated)
- Power Supply System⁸⁵ (PSS): To provide an uninterrupted source of power to all the components in case of a power blackout or abnormal functioning of the main power.

These HW elements are COTS, and must be acquired, since they are not present in current BRASS System.

MPS will generate two different types of signal:

- Information Signal
 - Control Signal (via RSC)
-
- **Crypto Pool⁸⁶**: It is located between the red domain and the black domain, and is formed by all the available Cryptos. It will provide an encryption to the information received by the red domain through MPS, so that encrypted information can be sent to the black domain. There will be at least, as many Cryptos as BRE1TA Channels in an ACMS, since a single⁸⁷ Crypto manages one single BRE1TA Channel.
- Since NATO Crypto Policy is not defined by Spain, Spanish Cryptos will be those demanded by the NATO Crypto Plan. It is highly desirable that those Cryptos can be IP controlled.
- **Control Signal Filter Pool**: It is located between the red domain and the black domain, and is formed by all the available Control Signal Filters. It will provide an encryption to the control signal received by the red domain through the MPS (via RSC), so that encrypted control signal can be sent to the black domain.

It is a good idea to avoid Control Signal going through Cryptos, since current Cryptos tend to create a “funnel effect”. Consequently is better to prioritize the Cryptos only for Information signal, and redirect Control signal to the Signal Filters, which are considerably much faster than the Cryptos. There will be two Control Signal Filters in each COMCEN in order to provide some grade of redundancy, and one Control Signal Filter in each Radio Station in order to decrypt the Control Signal from the COMCEN.

⁸⁵ This Power Supply system (PSS) will be the same as the implemented in BRASS System . Consequently, the PSS is a reusable element.

⁸⁶ This Crypto Pool, will use the same Cryptos as the ones used in BRASS System. Consequently, Pool Crypto System is a reusable element.

⁸⁷ A single Crypto can be assigned either to a “5 KW BRE1TA Channel” or to a “10 KW BRE1TA Channel”. Due to the fact that, twenty “5 KW BRE1TA Channel” are required per ACMSs a minimal number of 20 Cryptos are required per ACMS.

Moreover, Control Signal Filter can be used to route unclassified information such as unclassified voice.

These HW elements are COTS, and must be acquired, since they are not present in current BRASS System.

- **NATO Node:** This Node is placed in Madrid COMCEM, and interacts with BRE1TA System, but it does not belong to BRE1TA System.

It is composed by the NATO General Communication System (NGCS) interface, the NATO Cryptos, and the NATO Communications Centre⁸⁸.

This NATO Node obtains NATO Messaging information from NATO Messaging Services (NMS) through the NGCS.

Besides, it is also foreseen that WCMI requests are sent to NATO Node via NGCS, and once these requests are in NATO Node, they are sent to Spanish BRE1TA.

- **NMS Proxy Server:** This Proxy is intended⁸⁹ to be installed between NATO Node and Spanish BRE1TA System, in order to guarantee compatibility with NATO messaging system (AIFS/AIMS and NMS). This proxy will have the following requirements:
 - It must be permit the interaction between NATO Node (NMS) and Spanish BRE1TA System.
 - It must redirect NATO designated with that purpose Messages⁹⁰, to Spanish BRE1TA MPS (where they will be routed into the proper BRE1TA Channel)
 - It must permit WCMI to obtain the proper Signal Control generated from the Master RSC, in order to show the state and availability of Spanish BRE1TA resources, if required.

NMS Proxy Server is considered to be, not a HW but a SW function, and it is expected to install this SW in the NATO MPS Server.

However, the SW for this Proxy is not a commercial element since is a development, and consequently it will have to be developed.

- **Modems Pool:** ⁹¹Their main function is to put the information into the proper BRE1TA efficient waveform.

⁸⁸ NATO Communications Centre is used to distribute NATO Messages to Nations.

⁸⁹ This NMS Proxy Server is foreseen in case there would be problems of interoperability between these NMS and Spanish BRE1TA System. Consequently, some funds will be asked and reserved for solving this issue. In case this adaptation would not be necessary, these funds would not be used.

⁹⁰ NATO Messages are generated in NMS and directed to [NATO Node](#) via NGCS.

This waveform is the one described in STANAG 4539⁹², but waveform of STANAG 4285 will be maintained as legacy.

There will be two types of Modem:

- External Modem
- Internal Modems.

External Modem Pool will be used to control the existing “10 KW Solid state SW Defined Radio BRE1TA Transmitter NOT upgradeable to BRE2TA”: (and the Receivers NOT upgradeable to BRE2TA as well).

Internal Modems will be installed inside the “10 KW Solid state SW Defined Radio BRE1TA Transmitter upgradeable to BRE2TA (and in the receivers as well) and will control them. Consequently, there will be as many internal modems as Transmitters and Receivers upgradeable to BRE2TA. (Since it is expected 5 Transmitters and 10 Receivers upgradeable to BRE2TA, it is foreseen 5+10= 15 Internal Modems).

External Modem pool will be allocated neither in the Transmission nor in the Reception Radio Station, but in the ACMS in the black domain. Consequently, the number of external modems per BRE1TA Channel is one, instead of two⁹³.

There will be at least, as many external modems in an ACMS, as “5 KW BRE1TA Channels” capable to use a “Transmitter and receiver not upgradeable to BRE2TA”. Due to the fact that the maximum number of “5 KW BRE1TA Channels”⁹⁴ capable to use a “Transmitter and receiver not upgradeable to BRE2TA is ten, so ten external modems are foreseen per ACMS.

It is highly desirable that BRE1TA external Modems⁹⁵ can be IP controlled. Since current BRASS Modems have not this capability, it is recommended to acquire these HW elements. New modems acquired should be COTS.

⁹¹ Current BRASS Modems placed in Radio Stations are not valid since they are not able to provide the waveform from STANAG 4539.

⁹² Waveforms based on STANAG 4539 are paramount, but Waveforms based on HDL and LDL traffic according to STANAG 4538 will be implemented as well, in order to achieve compatibility with deployed Land Units.

⁹³ If modems were placed, one in Transmission and the other in Reception Station, there would be two modems per BRE1TA Channel.

⁹⁴ A single external modem can either be used in a “5 KW BRE1TA Channel” or in a “10 KW BRE1TA Channel” with the only restriction of using a “Transmitter or receiver not upgradeable to BRE2TA”

⁹⁵ There are other modems placed currently in ACMS which fulfil STANAG 4539, but they cannot be IP controlled. Consequently, it would be necessary to acquire new ones.

- **Pool of Incoming&Outcoming Data Traffic Controller (DTC):** Since the Transmitter and Receiver are placed in different locations, synchronization of the transmitted and the received data is a paramount issue. Consequently, this Controller manages the incoming data from Reception Stations and synchronizes it with the generated data in the MPS destined to Transmission Station, in order to establish a “duplex”⁹⁶ channel. There will be at least, as many DTCs as BRE1TA Channels in an ACMS, since a single⁹⁷ DTC manages one single BRE1TA Channel.

These HW elements are COTS, and must be acquired, since they are not present in current BRASS System. It is highly desirable that DTC can be IP controlled.

- **Pool of Media Gateways** → Same as Media Gateways in Transmission Radio Station.

⁹⁶ Duplex channels are used to implement BRE1TA enhanced Applications since bidirectional communication is required. Duplex channels will be normally used in “half-duplex” configuration in order to conserve the limited bandwidth, but they can be used as well in “full-duplex” configuration by separated frequencies for transmission and reception if required.

⁹⁷ A single DTC can either manage a “5 KW BRE1TA Channel” or “10 KW BRE1TA Channel”. Due to the fact that twenty “5 KW BRE1TA Channel” are required per ACMSs a minimal number of 20 DTC are required per ACMS.

ANEXO IV: DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA SOLUCIÓN BRE1TA PROPUESTA

La interconexión de los elementos más significativos de la solución técnica BRE1TA española propuesta, se muestra en la siguiente figura

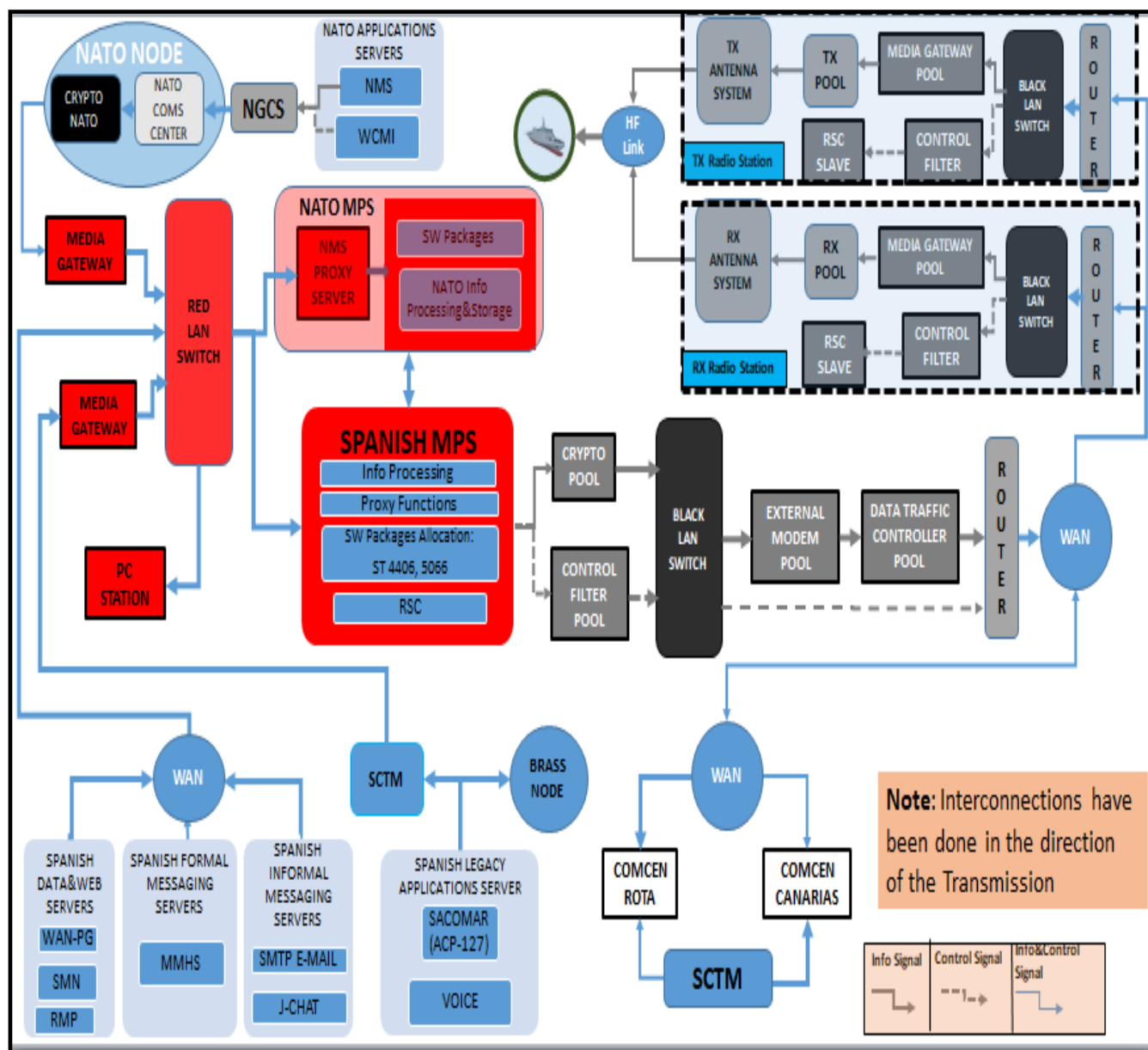


Figura Anexo IV. 0-1 Diagrama de Bloques particularizado para el CECOM de Madrid y las estaciones Radio de Madrid

ANEXO V: RESUMEN BRE1TA

La siguiente tabla resume los elementos más significativos de la solución técnica propuesta para el BRE1TA español y el número de estos elementos en cada sitio. Adicionalmente, también se describe si estos elementos podrían ser aprovechables del sistema BRASS existente

Tabla Anexo V 1: Equipamiento más relevante del Sistema BRE1TA en CECOMs y Estaciones Radio

SITIO	Elemento	Nº Elementos	Elmento Resusable
CECOM Madrid	MPS: Main Server+ Redundant Server+ NATO Server+SW Packages	1	NO
	Working Station (WS)	2	NO
	Routers and LAN Equipment	1	NO
	LAN Switches	2	NO
	Media Gateway	2	NO
	Control Signal Filter	2	NO
	Cryptos (*)	20	SI
	External Modems	10	NO
	Data Traffic Controller	20	NO
	RSC Master	1	NO
	NMS Proxy Server	1	NO
TX STATION SAN TORCAZ	Routers and LAN Equipment	1	NO
	LAN Switches	1	NO
	Media Gateway	2	NO
	Control Signal Filter	1	NO
	Transmitter (5+5 Kw) upgradeable to BRE2TA	3	NO
	Internal Modems (TX Modems)	3	NO
	Transmitter (5+5 Kw) NOT upgradeable to BRE2TA	2	SI
	RSC Slave	1	NO
	Antenna System	-	SI
RX STATION BERMEJA	Routers and LAN Equipment	1	NO
	LAN Switches	1	NO
	Media Gateway	2	NO
	Control Signal Filter	1	NO
	Receiver upgradeable to BRE2TA	6	NO
	Internal Modems (RX Modems)	6	NO

	Receiver NOT upgradeable to BRE2TA	4	SI
	RSC Slave	1	NO
	Antenna System	-	SI
CECOM DE LA FLOTA (ROTA)	MPS: Main Server+ Redundant Server+ NATO Server +SW Packages	1	NO
	Working Station (WS)	2	NO
	Routers and LAN Equipment	1	NO
	LAN Switches	2	NO
	Media Gateway	1	NO
	Control Signal Filter	2	NO
	Cryptos (*)	20	SI
	External Modems	10	NO
	Data Traffic Controller	20	NO
	RSC Master	1	NO
TX STATION CHICLANA	Routers and LAN Equipment	1	NO
	LAN Switches	1	NO
	Media Gateway	2	NO
	Control Signal Filter	1	NO
	Transmitter (5+5 Kw) upgradeable to BRE2TA	1	NO
	Internal Modems (TX Modems)	1	NO
	Transmitter (5+5 Kw) NOT upgradeable to BRE2TA	2	SI
	RSC Slave	1	NO
	Antenna System	-	SI
RX STATION PUERTO REAL	Routers and LAN Equipment	1	NO
	LAN Switches	1	NO
	Media Gateway	2	NO
	Control Signal Filter	1	NO
	Receiver upgradeable to BRE2TA	2	NO
	Internal Modems (RX Modems)	2	NO
	Receiver NOT upgradeable to BRE2TA	4	SI
	RSC Slave	1	NO
	Antenna System	-	SI
CECOM DE LAS	MPS: Main Server+ Redundant Server+ NATO Server +SW Packages	1	NO
	Working Station (WS)	2	NO

PALMAS	Routers and LAN Equipment	1	NO
	LAN Switches	2	NO
	Media Gateway	1	NO
	Control Signal Filter	2	NO
	Cryptos (*)	20	SI
	External Modems	10	NO
	Data Traffic Controller	20	NO
	RSC Master	1	NO
TX STATION ALMATRICHE	Routers and LAN Equipment	1	NO
	LAN Switches	1	NO
	Media Gateway	2	NO
	Control Signal Filter	1	NO
	Transmitter (5+5 Kw) upgradeable to BRE2TA	1	NO
	Internal Modems (TX Modems)	1	NO
	Transmitter (5+5 Kw) NOT upgradeable to BRE2TA	1	SI
	RSC Slave	1	NO
	Antenna System	-	SI
RX STATION PICACHO	Routers and LAN Equipment	1	NO
	LAN Switches	1	NO
	Media Gateway	2	NO
	Control Signal Filter	1	NO
	Receiver upgradeable to BRE2TA	2	NO
	Internal Modems (RX Modems)	2	NO
	Receiver NOT upgradeable to BRE2TA	2	SI
	RSC Slave	1	NO
	Antenna System	-	SI

ANEXO VI: EQUIPAMIENTO BRE1TA EN BUQUES

Nota: La descripción de los elementos de la arquitectura de la solución BRE1TA propuesta para barcos, se ha dejado en inglés ya que se pretende usar estas descripciones como requisitos para la Especificación Técnica de Compra (ETC) que está previsto ser enviada a la industria con objeto de adquirir el equipamiento de los buques para el proyecto BRE1TA en el programa de las F-110 y en el marco de modernización de las F-100.

Ships equipped with BRE1TA capabilities, will be able to connect to the nearest⁹⁸ radio Station depending on the Maritime zone ships are located. This functionality will be done automatically thanks to the implementation of Directory Services based on the ACP 133 NATO Standard for Military Directory. IPv4 mobility standard will be implemented as well, but it will be a technology with a view to the future. This is because is not a sufficiently proven technology to be used with HF communications.

A ship equipped with BRE1TA capabilities, should dispose at least of two⁹⁹ BRE1TA Channels. It is obvious that those Channels must have the same technical characteristic as the BRE1TA Channel placed in the ACMSs in order to guarantee a compatibility.

It is foreseen to install BRE1TA System in five new frigates F-110, as well as in five existent frigates F-100

- “Alvaro de Bazán” (F-101).
- “Almirante Juan de Borbón” (F-102).
- “Blas de Lezo” (F-103).
- “Mendez Nuñez” (F-104).
- Cristobal Colón” (F-105)

Every of these Frigates will be able to provide three BRE1TA Channels.

The most important issues to take into account are:

⁹⁸ Either the nearest Station or the one which offers a better channel quality to the ship.

⁹⁹ In normal conditions, one of these channels will be dedicated to Legacy Applications and the other one to Enhanced Applications. Moreover, having two channels provide some BRE1TA capability redundancy to the ship.

- Most of the BRE1TA Ships equipment will be the same as BRE1TA Equipment in ACMSs.
- BRE1TA System in Ships will have neither a Transmitter nor a Receiver, but a single 1 KW Transceiver.
- There will not be a Data Traffic Controller (DTC), since the transmission and reception function is implemented in the same place (the transceiver), and consequently the synchronization of the transmitted and the received data is done by the transceiver itself.
- Classified Information will pass through the Ship Crypto Pool, and unclassified information (like unclassified voice) will pass through the Ship Control Signal Filter.
- There will be, as in the ACMSs, a MPS and a RSC, but in ships they will be called “MPS Ship” and “RSC Ship” respectively.
- BRASS Legacy System will be uninstalled, so unlike the ACMSs, there will be only one System: BRE1TA System.
- Since communication equipment in a ship, is an essential and limited resource, some of the BRE1TA Equipment such as Modems, Cryptos, Transceivers and Antennas, will be shared by other applications.
- Current Transceivers placed in F-101, F-102, F-103 and F-104 are totally incompatible with BRE1TA, so it will be necessary to acquire new transceivers. These new acquired transceivers will have HW compatibility with narrowband and both contiguous and non-contiguous wideband according to STANAG 4203 Edition 4, and upgradeable via SW to fulfil the Wideband STANAGS (BRE2TA) when ratified.
- Equipment placed in F-110 will be necessary to be acquired since F-110 is a new ship.
- Implementation of BRE1TA Waveforms STANAG 4539¹⁰⁰ via SW, is also required.
- Current Transceiver placed in F-105 is compatible with BRE1TA only with an upgrade via SW from ALE 2G to ALE 3G. However, this transceiver is not upgradeable to the WBHF, and consequently not valid for the BRE2TA.
- Current Modems placed in the five frigates are compliant with STANAG 4539, so these elements could be reusable in ships, as long as they are compliant with the modems acquired in COMCENs. If they were not compliant with COMCENs modems, then it would be necessary to acquire new ones. In case of acquiring new modems for ships, those modems should be IP controlled.

¹⁰⁰ Waveforms based on STANAG 4539 are paramount, but Waveforms based on HDL and LDL traffic according to STANAG 4538 will be implemented as well, in order to achieve compatibility with deployed Land Units.

- There will not be a BRE1TA Antenna system, since all the antennas intended to be used, belong to the Ship Antenna System.

Following tables summarizes BRE1TA major elements, installed on ships. Moreover, it describes as well whether these elements are reusable or not from existing equipment on ships.

Tabla Anexo VI-1: BRE1TA Ship equipment description.

PLACE	Element	Number of Elements	Reusable Element
SHIP TYPE F-100	MPS Ship	1	NO
	Routers and LAN Equipment	1	NO
	LAN Switches	2	NO
	Media Gateway	5	NO
	Control Signal Filter	1	NO
	Cryptos (*)	3	SI
	External Módems	3	SI
	RSC Ship	1	NO
	Transceiver (1 Kw) upgradeable to BRE2TA	3	NO
SHIP TYPE F-105	MPS Ship	1	NO
	Routers and LAN Equipment	1	NO
	LAN Switches	2	NO
	Media Gateway	5	NO
	Control Signal Filter	1	NO
	Cryptos (*)	3	SI
	External Módems	3	SI
	RSC Ship	1	NO
	Transceiver (1 Kw) NOT upgradeable to BRE2TA	3	SI
SHIP TYPE F-110	MPS Ship	1	NO
	Routers and LAN Equipment	1	NO
	LAN Switches	2	NO
	Media Gateway	5	NO
	Control Signal Filter	1	NO
	Cryptos (*)	3	NO
	Internal Módems	3	NO
	RSC Ship	1	NO
	Transceiver (1 Kw) upgradeable to BRE2TA	3	NO

