



Comunicaciones navales en banda HF



El papel de la Armada, así como los principios que rigen el empleo de sus fuerzas, han cambiado como consecuencia de las modificaciones en los escenarios estratégicos de las dos últimas décadas. Cada día es más frecuente que las operaciones se realicen a gran distancia de las bases y se exijan plenas garantías de éxito con limitado riesgo de sufrir bajas propias o afectar a la población civil. Los sofisticados ejercicios navales de la época de la Guerra Fría, se han visto reemplazados por un gran número de operaciones reales, en las que el control de determinadas zonas costeras es tan importante como el control del mar. Todo ello requiere una clara superioridad militar ante una amenaza lejana, impredecible y asimétrica. Una superioridad en la que los medios técnicos, y en particular las comunicaciones, juegan un papel esencial. Este artículo tiene como objeto presentar unos sistemas de extraordinaria importancia para las operaciones navales: las comunicaciones en HF, incluyendo la topología típica de los sistemas instalados en los buques y mostrando cómo su flexibilidad puede hacer que se adapten a las condiciones cambiantes del medio o del enlace a establecer.



Introducción

Existe un medio de comunicación que permite enlaces desde 0 Km hasta el otro extremo del mundo, con un grado de disponibilidad bastante alto, y que permite una independencia total de otros sistemas más costosos o más frágiles (en términos de susceptibilidad a la perturbación) como el satélite. Este medio tiene como principal contrapartida que su viabilidad está fuertemente ligada al estado del medio físico que la gobierna (densidad electrónica de la ionosfera en función de las manchas solares, y perturbaciones geomagnéticas del campo terrestre) y su reducida capacidad en términos de ancho de banda. La dependencia de esta banda en relación a la ionosfera la hace ciertamente impopular entre la mayoría de los operadores, ya que no existe el absoluto determinismo y predictibilidad de las bandas de MF, VHF, UHF y superiores. Hacer de la banda de HF un medio viable es función de numerosos parámetros que han de elegirse apropiadamente por el responsable del Plan de Comunicaciones. Esto también significa que, si se equivoca la elección de frecuencia y antena (y, a veces, la hora del día) lo que se pretende como un radioenlace útil acaba convirtiéndose en una multitud de transmisiones inútiles que sólo benefician a la capacidad COMINT de nuestra amenaza.

Modos básicos de propagación posibles

Son tres los modos básicos de propagación en HF: .

Onda de tierra. La comunicación por onda de tierra con frecuencias

“La maravilla de la diversidad espectral a bordo tiene un precio, y no es solamente el económico, sino el de la complejidad del mantenimiento”

de la banda de HF está sujeta a la inmediata proximidad de la estación colateral; tómese como referencia un alcance tipo máximo de unos 50 km, no mucho más allá del horizonte óptico (nótese que, de emplear frecuencias de la banda de MF, esto es, desde 300K Hz hasta 3 MHz, se pueden contar con alcances de varios cientos de kilómetros, e incluso más). Puede considerarse este modo de enlace como “de antena a antena” sin interacción con la ionosfera. En este caso, este modo de propagación puede emplearse para conseguir enlaces locales, de buque a buque, pero tiene el gran riesgo que la señal transmitida puede ser reflejada por la ionosfera a cientos o miles de kilómetros de distancia.

Reflexión ionosférica de ángulos elevados. Si imaginamos la ionosfera como un medio puramente reflexivo que se encuentra sobre nosotros, a unos 250 Km de altura (la realidad es infinitamente más compleja) podemos imaginar que, si se radia una señal hacia arriba, ésta volverá hacia la Tierra haciendo posible la cobertura hacia todas las estaciones que tengamos alrededor, a relativamente poca distancia (típicamente, entre 0 y 500 Km). Las antenas para explotar este modo de propagación tienen que estar diseñadas para radiar hacia arriba (los americanos las llaman “cloud bur-

ners”, “quemar nubes”), y pueden asemejarse al hecho de lanzar agua hacia arriba con una manguera en el jardín. El empleo de este modo de comunicación permite no sólo asegurar el enlace sin zonas de sombra o silencio, sino que posibilita limitar de un modo práctico la cobertura máxima, eligiendo apropiadamente la frecuencia, la antena y la potencia. Adicionalmente, aunque no es objeto de esta presentación, las señales con ángulos de propagación elevados son un handicap técnico casi insalvable para la capacidad COMINT de nuestra amenaza, ya que un radiogoniómetro que recibe señales que le llegan próximas a la vertical es incapaz de discernir con precisión la dirección de origen.

Reflexión ionosférica de ángulos bajos. Cuando, por el contrario, se busca que el alcance de nuestras comunicaciones sea muy grande, se han de radiar las señales con ángulos muy bajos, próximos a la horizontal. Las antenas para explotar este modo de propagación son diferentes a las que dan lugar a enlaces ionosféricos para ángulos elevados. En la práctica, dado el limitado espacio a bordo (y a la necesidad de mantener baja la huella radar del buque) no siempre se pueden disponer de las antenas óptimas para cada modo. Los alcances, si se escoge apropiada-



mente la frecuencia, pueden ser mundiales al darse varias reflexiones sobre la ionosfera y la Tierra, teniendo como contrapartida que existen zonas de silencio en las que no hay cobertura (la señal está viajando “sobre la cabeza” de nuestro colateral, por lo que no llega a tierra). Por otro lado, como se conoce a priori la existencia de zonas de silencio, se puede realizar una predicción (informática) de modo que nuestras comunicaciones en HF por reflexión ionosférica de ángulos bajos pasen en la mayoría de los casos por encima de las instalaciones COMINT de nuestra amenaza y no sean detectadas por ésta. Nótese que los radiogoniómetros en HF funcionan muy bien con señales de ángulos bajos, por lo que es muy fácil posicionar un transmisor en esta banda que explote este modo de propagación.

Topología de los sistemas desplegados a bordo

Cadena de Recepción

En la mayoría de los buques, existe un sistema de antenas receptoras, pasivas y activas, que confluyen en un multiacoplador (o varios según el buque). Este dispositivo multiacoplador provee señal de antena a todos los receptores de a bordo (incluso a los transceptores cuando están en modo recepción) y posibilita una absoluta flexibilidad, esto es, asignar la señal de cualquiera de las antenas a cualquiera de los receptores, sin límite y sin pérdidas de inserción. Incluso tiene un modo seguro para que, en caso de avería, haga una asignación preprogramada de antena-radio determinada, de modo que se mantenga un sistema mínimo de recepción en cualquier caso.



La configuración más simple (pero no por ello poco importante) es el de uso de antenas pasivas asociadas a multiacopladores. La máxima es que, cuanto mayor longitud, mejor, si bien la huella radar del buque, así como la interacción con otras antenas a bordo se dispara. Las antenas pasivas tienen como principal ventaja que las transmisiones a bordo no las perturban (no hay circuitos amplificadores activos que se saturen) por lo que son ideales para mantener la escucha aunque otras radios estén transmitiendo. Como contrapartida, su reducido tamaño (entre 6 y 8 metros) hace que sean muy poco eficientes en la parte inferior de la banda de HF, donde las longitudes de onda son mayores y se requieren antenas mucho más largas

Cuando las longitudes de onda son mayores, pero la antena receptora no puede ser lo grande que se desea por motivos de índole práctico o económico, se dispone un

amplificador que compense la poca eficiencia de una antena corta. El criterio de diseño consiste en que el ruido interno generado por este amplificador sea menor que el propio ruido de la banda de HF, de modo que el sistema no se degrade por el uso de este tipo de antenas, por lo que con una antena pequeña (entre 1 y 2 metros) se pueden recibir señales de frecuencias muy bajas. Su principal contrapartida consiste en que, dada una señal intensa transmitida a bordo, su amplificador puede salir de la zona de trabajo lineal y comenzar a generar gran cantidad de productos de intermodulación, lo que hace que todos los receptores asociados a la misma queden inoperantes. La posición de esta antena en el buque, alejada lo más posible de cualquier transmisión, es vital.

Cadena de Transmisión

Existen dos tipos de radios de HF a bordo, las pertenecientes a los sistemas de banda estrecha, y los pertenecientes a los sistemas de banda



ancha. Todos los elementos que forman estos sistemas son intercambiables, (por ejemplo, se puede mantener un sistema de banda ancha funcionando tomando como repuestos los radios de banda estrecha y viceversa), si bien el sistema de banda ancha es mucho más complejo de operar y mantener que el de banda estrecha.

La configuración más simple que existe a bordo es la de transmisores de banda estrecha asociados a monopolos. Se trata de un transceptor con capacidad de entre 500 W y 1 kW que se conecta a una antena monopolo (no resonante salvo en su frecuencia de diseño) a través de un acoplador de antena, también llamado "ATU", de "Antenna Tuning Unit". Este sistema puede ser autónomo y de último recurso (conectado a baterías) y es el elemento unitario de HF, la denominada "línea de HF". La recepción del transceptor puede hacerse a través del multiacoplador y el sistema de antenas de recepción, o a través del látigo a la que se encuentra asociado. Las ventajas e inconvenientes de recibir de una antena u otra exceden el objeto de esta presentación. Como curiosidad, nótese que al estar típicamente asociados a monopolos, y teniendo estas antenas un ángulo de radiación bajo, **no deben** emplearse para comunicaciones por reflexión ionosférica por ángulos elevados, puesto que se radia poca o ninguna energía hacia arriba.

El inconveniente que tiene la configuración anterior es que resulta relativamente fácil por parte de una amenaza perturbar las comunicaciones que tienen lugar en una frecuencia determinada, siendo esta conocida, y estando la víctima en la zona de influencia del pertur-

"De cara al futuro, estos sistemas deben evolucionar, como el resto de los actualmente utilizados en la Armada, con objeto de permitir una gestión lo más dinámica, inteligente y transparente posible y la capacidad para integrarse con enlaces IP externos"

bador. Por otro lado, la variabilidad de la banda de HF hace que unas frecuencias sean más viables que otras, por lo que la probabilidad de éxito y la susceptibilidad a interferencias de un radio de banda estrecha es elevada. Como alternativa, algunos buques (F100, BPE y BAC) disponen de un sistema de banda ancha, consistente en un conjunto de radios (desde 4 a 24, expandible) que pueden hacerse trabajar en la misma frecuencia (generando un máximo de 4 kW, límite impuesto por los combinadores y triplexores) o en frecuencias diferentes, ocupando hasta 24 frecuencias portadoras distintas dentro de la banda de HF, por lo que esta diversidad espectral sirve para hacer mucho más difícil la perturbación (la amenaza tiene ahora que perturbar hasta 24 frecuencias simultáneamente) y maximizar la confiabilidad de los enlaces (podemos dedicar varias frecuencias diferentes a retransmitir el mismo servicio, con la confianza de que alguna (o incluso todas) las señales llegarán al destino).

Las antenas empleadas por el sistema de banda ancha son complejas, e implican típicamente un sistema resonante para los segmentos bajos, medios y altos de la banda. La elección de las antenas, su posición, las redes de acoplamiento en banda ancha (pasivas) y las frecuencias de corte de los triplexores (los

que reparten la potencia a transmitir en las diferentes antenas, en función de su frecuencia) tienen una complejidad de diseño muy importante. Una pequeña modificación a bordo de los elementos metálicos que se encuentran en las inmediaciones de las antenas (típicamente abanicos para las frecuencias bajas y medias, y parejas de dipolos o disconos para las frecuencias altas) puede dar al traste con el sistema de banda ancha. Por otro lado, la maravilla de la diversidad espectral a bordo tiene un precio, y no es solamente el económico, sino el de la complejidad del mantenimiento (como curiosidad, nótese que el sistema de banda ancha va refrigerado por agua)

Amenazas a la compatibilidad electromagnética en HF

Todo el esfuerzo tecnológico, económico y humano puede quedar en nada si no se tienen en cuenta las acciones propias que pueden ser una amenaza a las comunicaciones, como si de fuego amigo se tratase.

Transmisiones locales

Es técnicamente muy difícil conseguir el aislamiento necesario entre transmisores y receptores en la banda de HF. Una transmisión local en la banda de HF, hecha en las proximidades (tanto físicas



como espectrales) de las antenas receptoras puede hacer que los todos los receptores que dependen de éstas se desensibilicen (“ensordezcan”) y queden inutilizados durante la transmisión. Es por ello que deben mantenerse las separaciones espectrales y físicas en la medida de lo posible, y radiar la menor potencia posible, sólo lo justo para establecer el enlace. En la práctica esta asignación de frecuencias y antenas transmisoras es compleja, y depende en la totalidad de la pericia del operador. Aunque el sistema a bordo es muy, muy flexible en configuración, es habitual ver fenómenos en los que una transmisión rutinaria, de poca importancia, compromete la recepción de comunicaciones de entidad mucho mayor.

Contaminación electromagnética a bordo (STANAG 4435,36,37 y otros)

Este punto es, por su importancia, merecedor de horas y horas de evaluación y estudio. Si bien en fase de diseño y fabricación del buque se pone especial cuidado a que el ruido electromagnético generado a bordo (ordenadores,

monitores, fuentes de alimentación, etc) se mantenga bajo mínimos y que no alcance nunca las antenas receptoras, no es menos cierto que, a medida que el buque va cumpliendo años de servicio se realizan determinadas obras de mantenimiento y ampliaciones que no siempre mantienen las reglas de diseño originales para mantener la contaminación bajo un mínimo. Cuando se entra en esta dinámica, es realmente difícil parar y realizar las medidas correctivas necesarias, por coste, tiempo y/o viabilidad. En la práctica, se puede aseverar sin temor a equivocarse que una parte muy importante del ruido que se recibe a bordo, y que degrada o imposibilita los enlaces está siendo generado por el propio buque. Cada vez que se perfora un mamparo para poner un paso de cables y no se despliegan las medidas de protección pertinentes, el ruido generado en una sala aprovecha los nuevos cables para pasar a la sala vecina. Si alguno de estos cables atraviesa la última cubierta o sale por los palos, funcionará como antena para radiar toda la contaminación generada en el interior del buque.

Conclusiones

La banda de HF, pese a su dependencia con el sol, la latitud, la estación del año, etc., es, en sí mismo, un medio de comunicación global, independiente, y seguro. La Armada Española dispone de capacidad embarcada para explotar cualquier modo de propagación, ya sea para comunicar voz y/o datos y datos tácticos en Link-11, con una alta probabilidad de enlace (técnicas de establecimiento automático de enlace incorporadas a un gran número de radios) y con una alta resistencia al desvanecimiento del canal y a las interferencias (sistemas de banda ancha).

De cara al futuro, estos sistemas deben evolucionar, como el resto de los actualmente utilizados en la Armada, con objeto de permitir una gestión lo más dinámica, inteligente y transparente posible y la capacidad para integrarse con enlaces IP externos. Para ello será necesario asegurar unas transmisiones digitales en HF estables y de mayor calidad, lo que requerirá introducir esquemas de modulación digital más complejos, técnicas de diversidad más sofisticadas (como las conocidas antenas MIMO) y nuevas tecnologías (como las asociadas a la radio definida por software). Sin olvidar la necesidad de disminución del tamaño y peso de los elementos radiantes.

En todo caso, es vital que la configuración de los sistemas (antenas, frecuencias, potencias) y las nuevas mejoras introducidas se hagan de un modo óptimo, lo que posibilitará no solamente las comunicaciones, sino dificultar las tareas COMINT de la amenaza. ☺