

Guerra Electrónica en plataformas ISTAR

**Estado del Arte de las
Tecnologías**

Cátedra Isdefe-UPM

Marzo 2018 – Julio 2018

Madrid, julio de 2018

Introducción

El concepto de ISTAR (Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance) se refiere a la capacidad integrada de adquirir procesos, explotarlos y diseminarlos en información útil para los servicios de inteligencia, con contenido apropiado y en un espacio de tiempo apropiado permitiendo que sea usado en la planificación y desarrollo de operaciones militares. **[ISTAR EW 0.1]**. Las plataformas ISTAR pueden ser satelitales, aéreas (tanto tripulados como no tripulados), marítimas o terrestres.

Dentro del concepto de ISTAR, nos vamos a centrar en los dispositivos utilizados en plataformas ISTAR para poder captar información sobre el objetivo, ya sea reconocerlo, vigilarlo o eliminarlo. Actualmente las plataformas ISTAR son limitadas, pero algunas como C4ISR (Command, Control, Communications, Computer, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance) o ISR (Intelligence, Surveillance and Reconnaissance), si están más desarrolladas, es por ello también se buscará dispositivos utilizados por este tipo de plataformas.

En este documento se va a redactar el estado del arte de las tecnologías de los sistemas de guerra electrónica utilizados en estas plataformas. Según la función realizada por estos sistemas se pueden dividir en tres **[ISTAR EW 0.2]**:

- Apoyo electrónico (ESM, Electronic Support Measurement): análisis del espectro magnético para determinar las fuentes de emisión.

- Contramedidas electrónicas (EA, Electronica Attack): acciones para evitar la utilización del espectro, como puede ser la utilización de técnicas jamming.

- Protección electrónica (EPM, Electronic Protection Measurement): acciones para eludir las contramedidas electrónicas.

Aquí nos vamos a centrar en aquellos sistemas relacionados con la inteligencia de señales (SIGINT) englobados dentro de los sistemas de apoyo electrónico. La inteligencia de señales consiste en obtener información a partir de las señales emitidas por el enemigo, se divide principalmente en dos ramas:

- Inteligencia de comunicaciones (COMINT): donde el principal objetivo del sistema es escuchar las comunicaciones del enemigo.

- Inteligencia electrónica (ELINT): donde el principal objetivo del sistema es detectar aquellas señales de radiofrecuencia que no son de comunicaciones como puede ser la señal de un radar.

Introducción.....	2
1. SIGINT.....	3
2. Algoritmos	5
3. PLATAFORMAS ISTAR.....	6
3.1. Satelitales	6
3.2. Aéreas.....	6
3.3. Marítimas	7
3.4. Terrestres.....	7
4. DRFM	9
4.1. DRFMs comerciales.....	10

1. SIGINT

Para obtener información de las señales del enemigo lo primero es captar la señal que emite, después es necesario reconocer una serie de características de la señal como la dirección de llegada (DOA), el tiempo de llegada (TOA), la frecuencia, en caso de un radar el tipo de pulso emitido, la frecuencia de repetición o la intramodulación del pulso.

Dentro de la guerra electrónica se distinguen distintos tipos de sistemas en función de la importancia de la latencia a la hora de tomar una decisión, en el caso de la inteligencia de señales la latencia no es un parámetro importante, como si puede ser en sistemas de guerra electrónica de contraataque, ya que el objetivo es escuchar las señales del enemigo, almacenarlas y posteriormente analizarlas para captar información del enemigo.



Ilustración 1. Base del programa ECHELON de SIGINT.

Para interceptar la señal, el primer paso es usar un receptor que funcione a la frecuencia de las señales del enemigo y con la suficiente sensibilidad. En ciertas ocasiones las señales captadas son escuchadas por un operador para escachar las señales en el caso de que sean inteligibles. El medio más común de búsqueda de la dirección desde la que se está transmitiendo una señal es el uso de antenas direccionales utilizándolas como radiogoniómetros. Hay principalmente tres tipos de sistemas que se utilizan para encontrar la dirección de una señal [ISTAR EW 1.1].

El primero de ellos es el Adcock Array el cual es un sistema formado por 4 monopolos o dipolos situados de forma ortogonal, dos en cada eje. Los voltajes obtenidos en cada uno de los elementos de la antena son combinados en dos voltajes diferenciales de igual fase, de donde se obtiene el ángulo de llegada de la señal.

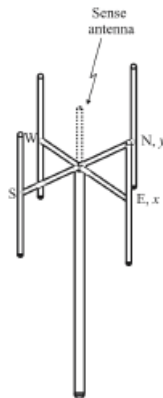


Ilustración 2. Sistema Adcock Array

El segundo es un sistema que aprovecha el efecto Doppler de una señal recibida en una antena que se está moviendo, si la antena se mueve hacia el emisor la frecuencia es algo más alta. En este caso el objetivo es explotar el efecto Doppler para determinar la dirección de llegada de la señal, que llegará a un sistema de guerra electrónica. El sistema está formado por dos antenas, una estática y la otra moviéndose alrededor de ella, la variación de la frecuencia obtenida en la antena que se mueve respecto a la frecuencia obtenida en la antena estática, está relacionada con el ángulo formado entre la señal recibida y la línea de intersección entre las dos antenas.

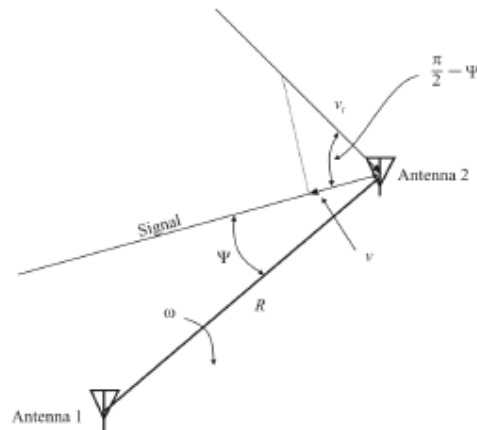


Ilustración 3. Cálculo del ángulo de llegada de la señal en un sistema que utiliza el efecto Doppler.

El tercero es un sistema que utiliza técnicas de interferometría para medir el ángulo de llegada de una señal que llega al receptor y por consiguiente determina la dirección de llegada. Puede medir tanto la diferencia de fase como la diferencia de tiempo. También es posible implementar un interferómetro activo, el cual emite una señal y mide la fase o diferencia de tiempos de la señal de vuelta, como si fuese un radar. El interferómetro de fase mide las diferencias de fase entre dos antenas y a partir de ese valor se puede deducir el ángulo de llegada. El interferómetro de tiempo mide las diferencias de tiempo de llegada de la señal en dos antenas, para realizar esta medida debe haber alguna característica asociada con la señal que pueda ser usada como una marca de tiempo, como el borde de un pulso radar, si no encontramos una característica de la señal, las señales que llegan a las dos antenas deben ser correladas una con otra para determinar esa diferencia de tiempo, ya que los picos de la correlación es una indicación de la diferencia de tiempos.

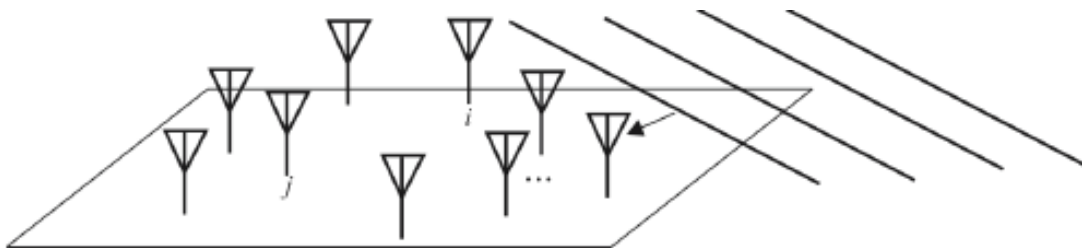


Ilustración 4. Conjunto de antenas utilizadas en técnicas de interferometría.

2. Algoritmos

La clasificación automática de la modulación de una señal es una etapa crucial en los sistemas de guerra electrónica entre la detección de una señal y la respuesta del sistema de guerra electrónica. Clasificar la modulación de una señal es una tarea complicada en un entorno no cooperativo, donde no hay conocimiento previo de los datos recibidos, del valor de la fase inicial de la señal, de la frecuencia de la portadora, de la duración del chip/símbolo o del ancho banda.

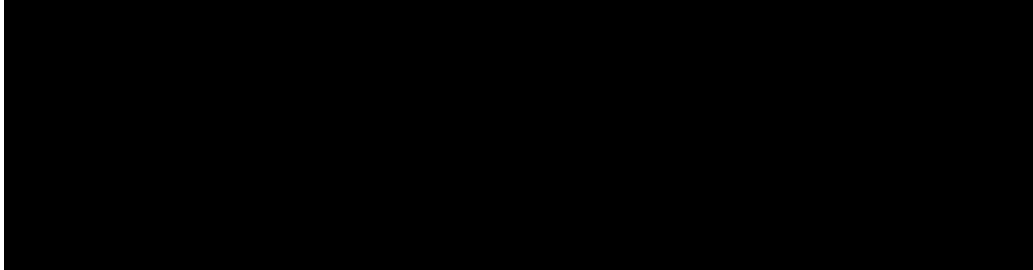


Ilustración 5. Esquema de la recepción de un sistema no cooperativo.

En términos generales, un clasificador automático de modulaciones (AMC, *Automatic Modulation Classifier*) consta de dos partes: el preprocesamiento de la señal y el algoritmo de clasificación. El preprocesamiento de la señal puede estimar el tiempo de llegada (TOA, *Time of Arrival*), el ancho del pulso (PW, *pulse width*), la potencia de la señal, la relación señal a ruido o la frecuencia de la portadora. Estas dos partes deben ser diseñadas de forma conjunta, de forma que el algoritmo de clasificación debe de estar adaptado la estimación realizada en la parte del preprocesamiento de la señal o al revés, la parte del preprocesamiento de la señal tiene que ser diseñada para cumplir con los requisitos del algoritmo de clasificación. Los algoritmos de clasificación pueden ser divididos en dos tipos [ISTAR EW 2.1]:

- Algoritmos basados en probabilidad también conocidos como algoritmos de decisión teórica. Estos algoritmos están basados en la función de probabilidad de las señales de entrada, La clasificación se lleva a cabo considerando múltiples hipótesis usando la prueba de razón de verosimilitud (LRT, *Likelihood ratio tests*) o algunas variantes comparando este resultado con un umbral. La solución de un algoritmo basado en probabilidad es óptima cuando los modelos son exactos, minimizando el error, pero es muy sensible a parámetros desconocidos y a desadaptaciones del sistema, es por ello que la implementación de este tipo de algoritmos está normalmente simplificada a aproximaciones subóptimas.

- Algoritmos basados en características de la señal o algoritmos de reconocimiento del patrón. Como bien dice su nombre estos algoritmos obtienen diferentes características de la señal de entrada. Una vez que estas características son extraídas de la señal, la clasificación es realizada procesando estas características acordes a varias técnicas, estos algoritmos no son óptimos, pero son más fácil de implementar que aquellos que están basados en probabilidad. El proceso de diseñar un clasificador basado en características de la señal puede estar separado en tres etapas, una primera en la que se determina las modulaciones de interés tanto de los sistemas de comunicaciones como de los radares; una segunda en la que se extrae características de la señal que permiten discriminar entre una modulación u otra como la varianza, la autocorrelación de la señal, la fase, la frecuencia; y por último seleccionar una técnica para tomar una decisión para obtener la modulación de las características extraídas, una de las técnicas más comunes es el árbol de decisión jerárquica (HDT, *Herarchy Decision Tree*).

3. PLATAFORMAS ISTAR

Las plataformas ISTAR pueden ser satelitales, aéreas, marítimas, terrestres e incluso portátiles, a continuación, se van a mostrar algunas de las plataformas han sido desarrolladas hasta la fecha.

3.1. Satelitales

En el contexto de la Guerra Fría, EEUU empezó a desplegar satélites SIGINT con el objetivo de interceptar las señales emitidas por la URSS y sus aliados, algunos de estos satélites son el Vortex [ISTAR EW 3.1.1], Aquacade [ISTAR EW 3.1.2] o Canyon [ISTAR EW 3.1.3].

Desde 1998 la agencia espacial francesa (CNES) está desarrollando una línea de microsátélites espías con los principales objetivos de obtener una base de datos utilizada para reconocer las señales del enemigo y el de detectar y monitorizar actividades durante las operaciones. En 2004 fueron enviados los 4 satélites que formaron la constelación Essaim [ISTAR EW 3.1.4]. En 2011 se lanzaron 4 satélites que formaron la constelación ELISA [ISTAR EW 3.1.5]. Y en 2020 está planeado el lanzamiento de 3 satélites para formar la constelación de microsátélites espías CERES [ISTAR EW 3.1.6]. El uso de microsátélites es una ventaja ya que su peso es considerablemente menor y por tanto su coste, es posible su uso ya que su carga de pago es considerablemente menor que la de un satélite de comunicaciones.

3.2. Aéreas

Otro tipo de plataformas usadas son las aéreas tanto tripuladas como no, cuya misión es la vigilar, adquirir el objetivo y reconocerlo, a continuación, se van a mostrar algunos ejemplos.

Flying Fish Airborne Satellite Monitoring System, 3rd Generation es una solución COMINT para interceptar comunicaciones móviles por satélite de la compañía Horizon Technologies, que puede ser integrada tanto en aeronaves tripuladas como no tripuladas [ISTAR EW 3.2.1]



Ilustración 6. Módulo de COMINT Flying Fish Airborne Satellite Monitoring, 3rd Generation

Horizon Technologies también dispone de un dispositivo similar al anterior dentro de la gama de productos de Flying Fish Airborne que es capaz de detectar las comunicaciones por satélites realizada por embarcaciones marítimas [ISTAR EW 3.2.2].

BAE Systems también cuenta con módulos que pueden integrarse en plataformas aéreas tanto tripuladas como no tripuladas algunos de estos productos son la familia S-3000, TSP (Tactical

SIGINT Payload) y ECLIPSE, algunos de estos pueden integrarse también en otras plataformas [ISTAR EW 3.2.3].

La compañía Leonardo Airborne &Space Systems ha diseñado una plataforma aérea llamada skyISTAR, con múltiples sensores que cubren múltiples capacidades ISTAR entre las que se encuentra la inteligencia de señales SIGINT [ISTAR EW 3.2.4].

3.3. Marítimas

También existen plataformas marítimas como FlyingFish Naval de la compañía Horizon Technologies [ISTAR EW 3.3.1] o UltraHawk INEWТ de la compañía Ultra Electronics, que es un simulador de guerra electrónica integrado en plataformas navales que es capaz tanto de ofrecer medidas de apoyo de guerra electrónica como de contrataque entre otras características [ISTAR EW 3.3.2].



Ilustración 7. Foto proporcionada por Ultra Electronics del sistema UltraHawk INEWТ

3.4. Terrestres

También existen plataformas ISTAR integradas en vehículos militares como el sistema ELINT UltraEAGLE ULR-501 de la compañía Ultra Electronics, el sistema está diseñado para trabajar en única estación o como parte de un despliegue de una red más amplia de sistemas UltraEagle ULR-501 [ISTAR EW 3.4.1].

Por último, cabe destacar el sistema UltraEAGLE ULR-543 también de la compañía Ultra Electronics, cuya principal característica es que es portátil y puede ser llevado por una persona sin la necesidad de instalarlo en una plataforma, aunque eso no significa que no pueda ser instalado en diferentes vehículos o en instalaciones fijas [ISTAR EW 3.4.2].



Ilustración 8. Sistema ELINT UltraEAGLE portátil

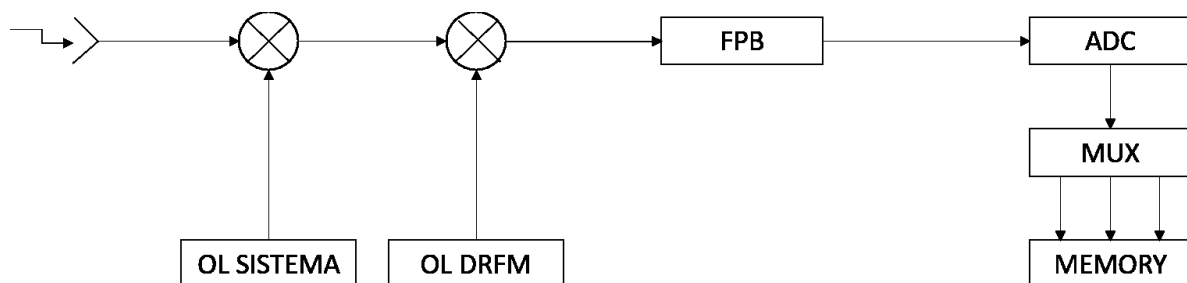
4. DRFM

Las memorias digitales de radiofrecuencia (Digital RF Memory, DRFM), permiten almacenar una señal de radiofrecuencia de un radar, lo cual es de vital importancia en la guerra electrónica ya que permite almacenar la señal de radiofrecuencia emitida por el enemigo, lo que permite poder tomar contramedidas como la utilización de técnicas jamming.

Los pulsos de la señal radar son por norma general de muy alta frecuencia, del orden de GHz, por lo que es importante realizar un muestreo rápido de la señal. Existen principalmente dos arquitecturas de DRFM: la estructura de banda ancha y la estructura múltiple de banda estrecha.

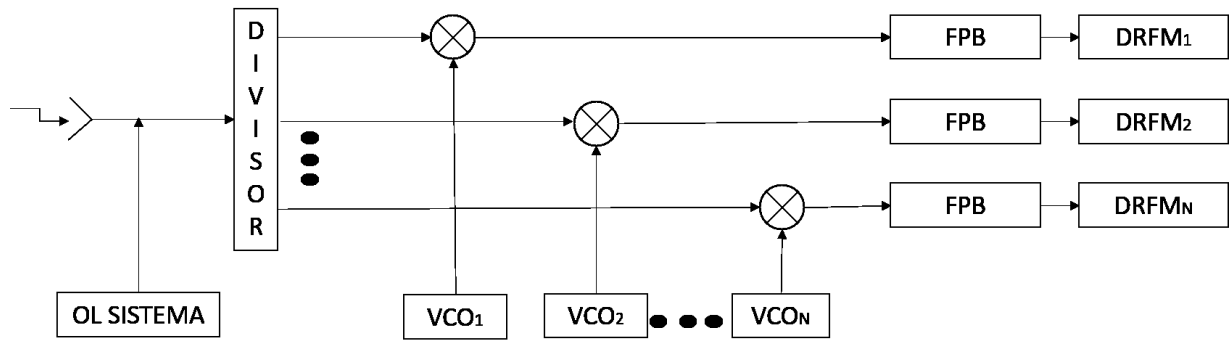
La estructura de banda ancha que cubre todo el rango de frecuencias del DRFM y almacena la señal sea cual sea su frecuencia. La estructura múltiple de banda estrecha contiene múltiples DRFM de banda estrecha, cada uno almacena la señal dentro de su banda, la principal diferencia entre las estructuras aparece en la tecnología utilizada para implementar cada tipo, el DRFM de banda ancha requiere conversores analógicos digitales que trabajen a una alta velocidad mientras que la estructura de banda estrecha, debe cubrir toda la banda utilizando múltiples conversores analógicos digitales pero con un menor ancho de banda y por tanto menos sofisticados y más fáciles de implementar.

Las desventajas de utilizar estructuras DRFM de banda estrecha es su flexibilidad limitada ya que la señal que se quiere capturar puede que exceda el ancho de banda del DRFM o la capacidad limitada de mantener varias amenazas de forma simultánea. La ventaja de la estructura DRFM de banda ancha yace en la facilidad de replicar la señal captada del radar dentro de la banda de frecuencia en la que trabaja, además no es susceptible a sobrecargarse ante la presencia de múltiples amenazas. Debido a su potencial para proveer una solución más efectiva la mayoría de las investigaciones en DRFM van dirigidas hacia el enfoque de una estructura de banda ancha [ISTAR EW 4.0.1].



- OL SISTEMA: Oscilador local del sistema.
- OL DRFM: Oscilador local del DRFM.
- FPB: Filtro paso bajo.
- ADC: Conversor analógico digital.
- MUX: multiplexor

Ilustración 9. Esquema de un DRFM de banda ancha



- OL SISTEMA: Oscilador local del sistema.
- DRFM: Digital RF Memory
- FPB: Filtro paso bajo.
- VCO: Oscilador controlado por tensión

Ilustración 10. Esquema de una estructura de DRFMs de banda estrecha.

4.1. DRFMs comerciales

Como se ha comentado anteriormente a la hora de diseñar DRFMs comerciales se ha optado por la estructura de banda ancha otra de, otras de las preocupaciones de los fabricantes de memorias digitales de radiofrecuencia es intentar hacer estos dispositivos cada vez más pequeños para facilitar su integración en un sistema SIGINT, a continuación, se va a hablar de algunos de ellos y de sus características más importantes.

La compañía Mercury Systems tiene varios dispositivos que pueden ser integrados en aeronaves o UAVs como el modelo 1225 con un ancho de banda instantáneo de 1.2 GHz, capaz de cuantificar con 12 bits, y ha sido integrado en varios aviones de combate con éxito [ISTAR EW 4.1.1].



Ilustración 11. DRFM de la compañía Mercury Systems modelo 1225

KOR Electronics es otra compañía que también diseña y fabrica DRFMs uno de ellos es el 10-bit 1GHz Digital RF Memory, este dispositivo tiene un receptor capaz de ofrecer un ancho de banda instantáneo de 1GHz, y un conversor analógico digital de 10 bits y un conversor digital analógico (para reconstruir la señal detectada) de 12 bits, y un rechazo de 50 dB de los espurios respecto a la portadora principal [ISTAR EW 4.1.2].

Referencias

[ISTAR EW 0.1] Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica (SOPT): “Monografía del SOPT N°2. La Guerra Electrónica en España”, 2009.

[ISTAR EW 0.2] Ministerio de Defensa: “ISTAR”. Disponible en: <http://www.tecnologiainnovacion.defensa.gob.es/en-us/Estrategia/HojasDeRuta/Pages/ISTAR.aspx> [Accedido 01/02/2019]

[ISTAR EW 1.1] Richard Poisel: “Electronic Warfare Receivers and Receiver Systems”, Artech House, 2014.

[ISTAR EW 3.1.1] Gunter’s Space Page: “Chalet / Vortex / Mercury 8, 9, 10, 11, 12, 13”. Disponible en: https://space.skyrocket.de/doc_sdat/chalet.htm [Accedido 01/02/2019]

[ISTAR EW 3.1.2] Gunter’s Space Page: “Rhyolite 1, 2, 3, 4 / Aquacade 1, 2, 3, 4. Disponible en: https://space.skyrocket.de/doc_sdat/rhyolite.htm [Accedido 01/02/2019]

[ISTAR EW 3.1.3] Gunter’s Space Page: “Canyon 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 (AFP-827). Disponible en: https://space.skyrocket.de/doc_sdat/canyon.htm [Accedido 01/02/2019]

[ISTAR EW 3.1.4] Gunter’s Space Page: “Essaim 1, 2, 3, 4”. Disponible en: http://space.skyrocket.de/doc_sdat/essaim-1.htm [Accedido 01/02/2019]

[ISTAR EW 3.1.5] Gunter’s Space Page: “Elisa 1, 2, 3, 4”. Disponible en: http://space.skyrocket.de/doc_sdat/elisa.htm [Accedido 01/02/2019]

[ISTAR EW 3.1.6] Gunter’s Space Page: “Ceres 1, 2, 3”. Disponible en: http://space.skyrocket.de/doc_sdat/ceres-1.htm [Accedido 01/02/2019]

[ISTAR EW 3.2.1] Horizon Technologies: “FlyingFish Airborne Satellite Phone Monitoring System – 3rd Generation (SD)”. Disponible en: <https://www.horizontechnologies.eu/products/flyingfish-3rd-generation-airborne-satellite-monitoring/> [Accedido 01/02/2019]

[ISTAR EW 3.2.2] Horizon Technologies: “FlyingFish Airborne Satellite Phone Monitoring System – Maritime”. Disponible en: <https://www.horizontechnologies.eu/products/flyingfish-maritime/> [Accedido 01/02/2019]

[ISTAR EW 3.2.3] BAE Systems: “Signals intelligence (SIGINT)”. Disponible en: <https://www.baesystems.com/en-us/product/signals-intelligence-sigint> [Accedido 01/02/2019]

[ISTAR EW 3.2.4] Leonardo: “SkyISTAR”. Disponible en: <http://www.leonardocompany.com/en/-/skyistar-1> [Accedido 01/02/2019]

[ISTAR EW 3.3.1] Horizon Technologies: “FlyingFish Airborne Satellite Phone Monitoring System – Naval”. Disponible en: <https://www.horizontechnologies.eu/products/flyingfish-naval/> [Accedido 01/02/2019]

[ISTAR EW 3.3.2] Ultra Electronics: “UltraHAWK INEWT – Integrated Naval Electronic Warfare Trainer”. Disponible en: https://www.ultra-tcs.com/uploads/downloads/ultra_tcs_ultrahawk_inewt_web.pdf [Accedido 01/02/2019]

[ISTAR EW 3.4.1] Ultra Electronics: “UltraEagle ULR-501 – Ground Mobile Tactical ESM/ELINT System”. Disponible en: https://www.ultra-tcs.com/uploads/downloads/ultra_tcs_ultraeagle_ulr-501_web_2.pdf [Accedido 01/02/2019]

[ISTAR EW 3.4.2] Ultra Electronics: “UltraEAGLE URL-543 – Man Portable ELINT System”. Disponible en: https://www.ultra-tcs.com/uploads/downloads/ultra_tcs_ultraeagle_ulr-543_web.pdf [Accedido 01/02/2019]

[ISTAR EW 4.0.1] D. Curtis Schleher: “Electronic Warfare in the Information Age”, Artech House, 1999.

[ISTAR EW 4.1.1] Mercury Systems: “Airborne 1225”. Disponible en: https://www.mrcy.com/products/microwave-rf/drfm/airborne_1225/ [Accedido 01/02/2019]

[ISTAR EW 4.1.2] KOR Electronics: “Wideband Digital RF Memory – 10-bit 1 GHz Digital RF Memory”. Disponible en: <http://www.rhombustechologies.com.au/10bit%20Insert%20FINAL.pdf> [Accedido 01/02/2019]