



Trabajo Fin de Grado

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL USO DE MEDIDAS DE GUERRA ELECTRÓNICA ENEMIGAS EN LA CAPACIDAD DE OBJETIVOS DEL RADAR ARTHUR

Rebeca Estévez Cabrera

Director académico: Dr. Francisco Aznar Tabuenca

Director militar: Tte. D. Javier Sardina Mogrovejo

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2023



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer al Grupo de Artillería de Información y Localización II/63 (GAIL II/63) por abrirme las puertas del grupo y, de forma más específica, a la 2^a Batería de Adquisición de Objetivos (2^a BAO), batería donde tuve el privilegio de realizar mis prácticas externas. Desde el primer día me hizo sentir unas más y la experiencia compartida con todo el personal de la batería, así como la integración en todas las actividades realizadas durante ese período de tiempo ha sido fundamental en mi formación como futura oficial del Ejército de Tierra.

Agradecer en particular al Director Militar, el teniente D. Javier Sardina Mogrovejo, la capitán Dña. Inés Vacas Aliaga y al capitán D. Ignacio Andía Echávarri por su dedicación y orientación constantes durante mi período de prácticas, así como en el guiado a lo largo de todo el trabajo. También agradecer al sargento D. Wylian Alexi Sánchez García y al capitán D. Juan Ramón Pérez Quintanar por compartir sus conocimientos y perspectivas en sus respectivos campos profesionales.

En segundo lugar, dar las gracias al Director Académico, el Dr. Francisco Aznar Tabuenca, por su apoyo constante en la elaboración de este trabajo. Su rápida disposición para dar recomendaciones y orientaciones me ha servido como guía para la realización del trabajo.

Por último, mi agradecimiento especial a toda mi familia, en particular a mi hermano, mi madre, mi padre y mi pareja, por su apoyo constante durante todo mi proceso de formación. También dar las gracias a mi abuela, quien desde el primer día confió en mí cuando ingresé en la Academia y, aunque no pueda verme finalizar esta etapa, su apoyo ha sido fundamental siempre.



RESUMEN

Tras los recientes conflictos internacionales surgidos entre Rusia y Ucrania, la Artillería ha comenzado a tener una gran relevancia a nivel mundial. Esto ha llevado a un aumento de los refuerzos en la misión de Letonia eFP (*enhanced Forward Presence*) con el objetivo de incrementar la disuasión de Rusia en los países ubicados al este de la Alianza Atlántica. En 2022, el Grupo de Artillería de Información y Localización II/63 (GAIL II/63) desplegó de manera permanente un Radar ARTHUR (*Artillery Hunting Radar*), un sistema HALO (*Hostile Artillery Locating System*) y una decena de militares pertenecientes a este grupo. A raíz de estos acontecimientos, el ARTHUR ha empezado a tener una gran importancia al convertirse en un elemento de apoyo fundamental para las unidades de Artillería de Campaña (ACA) del Ejército de Tierra debido a su eficaz capacidad de contrabatería. Esta característica lo ha convertido en un objetivo prioritario para la Guerra Electrónica (EW) enemiga.

En este contexto, surge el objetivo general de este trabajo que consiste en el estudio de la influencia del uso de medidas de EW enemigas en la capacidad de objetivos del Radar ARTHUR. Para ello, se ha tomado como caso de estudio el GAIL II/63, ya que es la única unidad de ACA que opera con este tipo de radares. Para alcanzar este objetivo, se llevó a cabo un estudio exhaustivo del Radar ARTHUR y del Radar AN/TPQ-36, que es su predecesor, además de explorar las capacidades de la EW con el apoyo de manuales y entrevistas con personal militar experto. A continuación, se realizó una comparativa entre los dos radares disponibles en la unidad, basándose en una encuesta elaborada al personal del grupo y, se detallaron los tipos de perturbaciones de EW que más afectan al Radar ARTHUR. Debido a la falta de información de las capacidades reales de los medios de EW enemigos, el estudio se ha realizado basándose en las unidades de EW propias.

Los resultados obtenidos reflejaron que, hasta el momento, las unidades de EW españolas, con las que se ha realizado el estudio y con las que se han llevado a cabo las diferentes pruebas, no lograron perturbar la antena del Radar ARTHUR. Sin embargo, sí que han podido interferir en sus comunicaciones y localizarlo cuando se encontraba emitiendo. Por lo tanto, se presentaron dos posibles soluciones para poder combatir estas perturbaciones. Una de estas soluciones se fundamenta en la suposición de que la antena podría ser radiada, mientras que la otra está enfocada en la posible localización del radar. Se concluyó así que las principales medidas de perturbación no pudieron ser empleadas para inutilizar al Radar ARTHUR debido principalmente a que las unidades de EW españolas trabajan en frecuencias superiores a las que trabaja el ARTHUR.

PALABRAS CLAVE

Contrabatería, Contramedidas Electrónicas, Guerra Electrónica, Medidas de Perturbación, Radares de Artillería de Campaña.



ABSTRACT

Following the recent international conflicts between Russia and Ukraine, the Artillery has begun to have a great relevance worldwide. This has led to an increase in reinforcements in the Latvian eFP (enhanced Forward Presence) mission with the aim of increasing Russia's deterrence in countries located east of the Atlantic Alliance. In 2022, the Information and Locating Artillery Group II/63 (GAIL II/63) permanently deployed an ARTHUR Radar (Artillery Hunting Radar), a HALO system (Hostile Artillery Locating System) and about ten military personnel belonging to this group. As a result of these events, the ARTHUR has become very important as it has become a fundamental support element for the Field Artillery units of the Spanish Army due to its effective counter-battery capability. This characteristic has made it a priority target for enemy Electronic Warfare (EW).

In this context, the general objective of this work is to study the influence of the use of enemy EW measures on the targeting capability of the ARTHUR Radar. For this purpose, the GAIL II/63 has been taken as a case study since it is the only Field Artillery unit operating with this type of radars. To achieve this objective, an exhaustive study of the ARTHUR Radar and the AN/TPQ-36 Radar, which is its predecessor, was carried out, in addition to exploring the capabilities of the EW with the support of manuals and interviews with expert military personnel. A comparison between the two radars available in the unit was then carried out based on a survey developed with the group's personnel and, the types of EW disturbances that most affect the ARTHUR Radar were detailed. Due to the lack of information on the actual capabilities of enemy EW assets, the study was conducted on the basis of the EW units own.

The results obtained showed that, so far, the Spanish EW units, with which the study has been conducted and with which the different tests have been carried out, have not been able to disturb the ARTHUR Radar antenna. However, they were able to interfere with its communications and locate it when it was transmitting. Therefore, two possible solutions were presented to combat these disturbances. One of these solutions is based on the assumption that the antenna could be radiated, while the other is focused on the possible location of the radar. It was thus concluded that the main disturbance measures could not be used to disable the ARTHUR Radar mainly due to the fact that the Spanish EW units work at higher frequencies than the ARTHUR.

KEYWORDS

Counterbattery, Disruption Measures, Electronic Counter Measures, Electronic Warfare, Field Artillery Radars.



ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	I
RESUMEN	II
PALABRAS CLAVE	II
ABSTRACT	III
KEYWORDS	III
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS	IX
1 INTRODUCCIÓN	1
2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	3
2.1 OBJETIVOS Y ALCANCE	3
2.2 METODOLOGÍA	4
3 ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO	7
3.1 INTRODUCCIÓN DEL GAIL II/63	7
3.2 RADAR AN/TPQ-36	8
3.3 RADAR ARTHUR	9
3.3.1 COMPOSICIÓN DEL SISTEMA	10
3.4 SISTEMA HALO	11
3.5 GUERRA ELECTRÓNICA	12
4 DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS	15
4.1 CARACTERÍSTICAS Y OBJETIVOS DEL RADAR ARTHUR	15
4.1.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS	15
4.1.2 FUNCIONAMIENTO	16



4.1.3 FUNCIONES TÁCTICAS	20
4.2 CAPACIDADES DE LA GUERRA ELECTRÓNICA	21
4.2.1 ACCIONES DE GUERRA ELECTRÓNICA	21
4.2.2 MEDIDAS DE GUERRA ELECTRÓNICA.....	22
4.2.3 APOYO A LAS OPERACIONES	24
4.3 MEDIDAS DE PERTURBACIÓN Y COMO PUEDEN AFECTAR AL RADAR ARTHUR	25
4.3.1 TIPOS DE PERTURBACIÓN.....	26
4.3.2 EJERCICIO TARÁNTULA I/21	28
4.3.3 MANIOBRAS GAMMA AZOR	29
4.4 PROPUESTAS PARA COMBATIR LA GUERRA ELECTRÓNICA.....	30
4.4.1 PLAN EMCON	31
4.4.2 MODELO DE ACCIÓN	33
5 CONCLUSIONES	35
5.1 LÍNEAS FUTURAS.....	36
6 BIBLIOGRAFÍA	37
ANEXO I. ENCUADRAMIENTO Y ESTRUCTURA ORGÁNICA DEL GAIL II/63.	40
ANEXO II. COMPOSICIÓN DEL RADAR ARTHUR.....	43
ANEXO III. ENCUESTA SOBRE LOS RADARES ARTHUR Y AN/TPQ-36... 	46
ANEXO IV. ENTREVISTA CON EL CAPITÁN D. JUAN RAMÓN PÉREZ QUINTANAR	50
ANEXO V. ENTREVISTA CON EL SARGENTO D. WILYAN ALEXI SÁNCHEZ GARCÍA.....	53
ANEXO VI. COMPOSICIÓN DE UNA ULAO	54



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Calendario de tareas del proyecto. Elaboración propia	6
Figura 2. AN/TPQ-36. Fuente (GAIL II/63).....	8
Figura 3. Radar ARTHUR. Fuente (Sgto. Garrido)	9
Figura 4. Sistema HALO. Fuente (Manual MI-309).....	12
Figura 5. Espectro Electromagnético. Fuente (MADOC).....	13
Figura 6. Radar en la función de búsqueda. Fuente (Cap. Geijo)	17
Figura 7. Mediciones con cuatro haces. Fuente (Saab, 2008)	18
Figura 8. Seguimiento simultáneo modo hostil y amigo. Fuente (Memorial de Artillería 169/2, 2013)	19
Figura 9. Modos funcionales del ARTHUR. Fuente (Saab, 2008)	21
Figura 10. Restricciones de las emisiones. Fuente (GAIL II/63).....	31
Figura 11. Matriz de sincronización de distintos radares. Fuente (GAIL II/63)	32
Figura 12. Modos de empleo del Radar ARTHUR. Fuente (GAIL II/63)	33
Figura 13. Posible despliegue de los Radares ARTHUR y sistema HALO. Elaboración propia	34
Figura 14. Organización del Ejército de Tierra. Fuente (MINISDEF, 2020).....	40
Figura 15. Mando de Artillería de Campaña. Fuente (Táctica y Logística III, 2021)	41
Figura 16. Estructura orgánica del GAIL. Elaboración propia.....	41
Figura 17. Estructura orgánica de una BAO. Fuente (Cap. Geijo)	42
Figura 18. Contenedor acoplado a un camión todo terreno. Fuente (Saab, 2008)	43
Figura 19. Radar de localización de arma. Fuente (Saab, 2008)	44
Figura 20. Vista general de interior. Fuente (Saab, 2008)	44
Figura 21. Preguntas realizadas al personal de GAIL II/63	46
Figura 22. Gráfico del porcentaje del personal que refleja el uso de ambos radares. Elaboración propia.....	47
Figura 23. Gráfico del porcentaje de personas que prefieren cada radar. Elaboración propia ..	47



Figura 24. Gráfico sobre las preferencias de cada usuario respecto al Radar ARTHUR.
Elaboración propia 48

Figura 25. Composición de una ULAO. Elaboración propia 54



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Opiniones del personal del GAIL II/63 sobre el Radar ARTHUR. Elaboración propia .	10
Tabla 2. Comparación entre el Radar ARTHUR y el Radar AN/TPQ-36. Elaboración propia ...	10
Tabla 3. Resumen de las Capacidades de la Guerra Electrónica. Elaboración propia	14
Tabla 4. Resumen de los sistemas y medios de Guerra Electrónica. Elaboración propia	14
Tabla 5. Ventajas y desventajas de los Modos de Ruido. Elaboración propia	16
Tabla 6. Características más importantes del Radar ARTHUR. Elaboración propia.....	20
Tabla 7. Tipos y subtipos de Contramedidas Electrónicas. Elaboración propia	28



ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AAA	Artillería Antiaérea
ACA	Artillería de Campaña
ACU	<i>Air Conditioning Unit</i> (Unidad de Aire Acondicionado)
AD	Artillería Divisionaria
AGM	Academia General Militar
A/O	Adquisición de Objetivos
ARTHUR	<i>Artillery Hunting Radar</i> (Radar Cazador de Artillería)
BAO	Batería de Adquisición de Objetivos
BDEW	Base de Datos de Guerra Electrónica
BEW	Batallón de Guerra Electrónica
BJAM	<i>Band Jamming</i> (Perturbación en la Banda)
C2	<i>Command and Control</i> (Mando y Control)
CAESAR	<i>Camion Équipé d'un Système d'Artillerie</i> (Camión Equipado con Sistema de Artillería)
Cap	Capitán
C/B	Contra-Batería
CCEEW	Centro de Control y Evaluación de Guerra Electrónica
CENAD	Centro de Adiestramiento
Cía	Compañía
CP	<i>Command Post</i> (Puesto de Mando)
CPBW	<i>Charged Particle Beam Weapons</i> (Armas de Haz de Partículas Cargadas)
CUD	Centro Universitario de la Defensa
D	Don
DEW	<i>Directed Energy Weapons</i> (Armas de Energía Dirigida)
Dña	Doña
Dr	Doctor
EA	<i>Electronic Attack</i> (Ataque Electrónico)
EAO	Elemento de Adquisición de Objetivos
EB	Estación Base
EC	Estación de Control
ECM	<i>Electronic Counter Measures</i> (Contramedidas Electrónicas)



ECU	<i>Electronic Cooling Unit</i> (Unidad de Refrigeración Electrónica)
ED	<i>Electronic Defense</i> (Defensa Electrónica)
EDC	Estación de Evaluación de Guerra Electrónica
eFP	<i>enhanced Forward Presence</i> (Presencia Avanzada mejorada)
EMCON	<i>Emission Control</i> (Control de Emisiones)
EP	Estación Perturbadora
EPM	<i>Electronic Protective Measures</i> (Medidas de Protección Electrónica)
ES	<i>Electronic Surveillance</i> (Vigilancia Electrónica)
ESM	<i>Electronic Support Measures</i> (Medidas de Apoyo Electrónico)
ET	Ejército de Tierra
EW	<i>Electronic Warfare</i> (Guerra Electrónica)
EX	<i>Exercise</i> (Ejercicio)
FAS	Fuerzas Armadas
FC	<i>Fire Control</i> (Control de Fuego)
FRAGO	<i>Fragmentary Order</i> (Orden Complementaria)
GAIL II/63	Grupo de Artillería de Información y Localización
GALCA I/63	Grupo de Artillería Lanzacohetes de Campaña
GESTA	Sistema de Guerra Electrónica Táctico
GPS	<i>Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamiento Global)
GU	Gran Unidad
HALO	<i>Hostile Artillery Locating System</i> (Sistema de Localización de Artillería Hostil)
HDC	<i>High Density Confussion</i> (Confusión de Alta Densidad)
HDT	<i>High Duty Technique</i> (Técnica de Alto Rendimiento)
HEL	<i>High Energy Laser</i> (Láser de Alta Potencia)
HF	<i>High Frequency</i> (Alta Frecuencia)
HIMARS	<i>High Mobility Rocket System</i> (Sistema de Cohetes de Alta Movilidad)
HPM	<i>High Power Microwave</i> (Microondas de Alta Potencia)
INS	<i>Inertial Navigation System</i> (Sistema de Navegación Inercial)



ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organización Internacional de Estandarización)
ISTAR	<i>Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance</i> (Inteligencia, Vigilancia, Adquisición de Objetivos y Reconocimiento)
JEMAD	Jefe de Estado Mayor de la Defensa
JEULAO	Jefe de la Unidad de Localización y Adquisición de Objetivos
LCU	<i>Liquid Cooling Unit</i> (Unidad de Refrigeración por Líquido)
MADOC	Mando de Adiestramiento y Doctrina
NBQ	Nuclear, Biológica y Química
NTLC	No-Telecomunicaciones
OBE	Orden de Batalla Electrónico
OPORD	<i>Operations Order</i> (Orden de Operaciones)
ORBAT	Orden de Batalla
OTAN	Organización del Tratado del Atlántico Norte
PCART	Puesto de Mando de Artillería
PEXT	Prácticas Externas
RACA 63	Regimiento de Artillería de Campaña
RACTA 4	Regimiento de Artillería de Costa
RALCA 63	Regimiento de Artillería Lanzacohetes de Campaña
REW-31	Regimiento de Guerra Electrónica
RGPO	<i>Range Gate Pull Off</i> (Robo de la Compuerta de Distancia)
RPAS	<i>Remotely Piloted Aircraft System</i> (Sistema de Aeronaves Pilotadas a Distancia)
RT	Regimiento de Transmisiones
Saab	<i>Svenska Aeroplan Aktiebolaget</i> (Corporación Sueca de Aviones)
Sgto	Sargento
SHF	<i>Super High Frequency</i> (Súper Alta Frecuencia)
SIGINT	<i>Signals Intelligence</i> (Inteligencia de Señales)
SJAM	<i>Specific Jamming</i> (Perturbación Específica)
SP	<i>Sensor Post</i> (Estación Sensora)
TFG	Trabajo de Fin de Grado



TLC	Telecomunicaciones
Tte	Teniente
TWS	<i>Track While Scan</i> (Seguimiento Durante el Escaneo)
TWT	<i>Travelling-Wave Tube</i> (Tubo de Onda Viajera)
UEW	Unidad de Guerra Electrónica
ULAO	Unidad de Localización y Adquisición de Objetivos
VAC	<i>Voltage Alternating Current</i> (Voltaje de Corriente Alterna)
VDC	<i>Voltage Direct Current</i> (Voltaje de Corriente Continua)
VGPO	<i>Velocity Gate Pull-Off</i> (Robo de la Compuerta de Velocidad)
VHF	<i>Very High Frequency</i> (Muy Alta Frecuencia)
WISPR	<i>Wideband Intercom & Secure Packet Radio</i> (Intercomunicador de Banda Ancha y Radio Segura por Paquetes)
WL	<i>Weapon Locating</i> (Localización del arma)
WLR	<i>Weapon Locating Radar</i> (Radar de Localización de arma)
WLS	<i>Weapon Locating System</i> (Sistema de Localización de arma)



1 INTRODUCCIÓN

Las Fuerzas Armadas (FAS) llevan cuatro décadas en constantes cambios y no es hasta las dos últimas, donde su forma de actuación ha progresado hasta llegar al principio de acción conjunta (Maíz, 2018), que se define como el *“principio básico de actuación de las fuerzas armadas que se concreta en el empleo coordinado e integrado de capacidades militares que, aun siendo específicas, operan bajo una única estructura de mando, con unos procedimientos y unos criterios de apoyo mutuo comunes para alcanzar la máxima eficacia operativa en el cumplimiento de las misiones que les sean encomendadas”* (MADOC, 2023.b). Esta acción ha permitido el empleo coordinado e integrado de las capacidades militares entre el Ejército de Tierra (ET), el Ejército del Aire y del Espacio, la Armada e Infantería de Marina.

La Artillería Española y en concreto la Artillería de Campaña (ACA) se define como el arma del fuego y la función primordial de las unidades que la forman es dar apoyo y protección al resto de las fuerzas en acciones terrestres mediante sus fuegos potentes, precisos y profundos. También tienen la competencia para auxiliar al mando en la integración de todos los apoyos de fuego que actúan en beneficio de la maniobra (Tierra, 2021). En la ACA destaca la Función de Combate Fuego¹ donde se describe la principal misión del Grupo de Artillería de Información y Localización II/63 (GAIL II/63), que consiste en proporcionar a las unidades de ACA los datos necesarios para cumplir adecuadamente sus misiones de apoyo y protección, colaborar con la vigilancia y con el reconocimiento del campo de batalla con el fin de obtener información sobre el enemigo y el terreno (MADOC, 2016).

En los últimos años y, particularmente, tras el inicio de la guerra entre Ucrania y Rusia que comenzó en 2014, pero que se acrecentó entre finales del 2021 y principios del 2022, desembocó en la invasión rusa en territorio ucraniano el 24 de febrero de 2022. A partir de esta situación, se ha manifestado la gran importancia y el papel fundamental que ha tomado la Artillería a nivel mundial. Tras el comienzo de la guerra, Ucrania ha sido dotada con numerosos sistemas artilleros como los sistemas autopropulsados CAESAR (CAmion Équipé d'un Système d'Artillerie) de Francia, los lanzamisiles HIMARS (*High Mobility Rocket System*) de Estados Unidos o munición de 105 mm y 155 mm por parte de España (Passolas, 2023). El ministro de Exteriores ucraniano, Dmytro Kuleba, declaró en 2022 en la cumbre de la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN), que tuvo lugar en Madrid, que la guerra actual es una guerra de Artillería y que tanto él como el presidente del país, Volodímir Zelenski, pedían armas pesadas, especialmente obuses de 155 mm para poder combatir a Rusia (Noël, 2022).

A partir de esta guerra entre Rusia y Ucrania, se reforzó la misión de Letonia eFP (*enhanced Forward Presence*), que comenzó en 2017 tras un acuerdo por parte de los jefes de Estado y del Gobierno de la OTAN. Su cometido era aumentar la disuasión en el flanco este de la Alianza Atlántica frente a Rusia a través de un despliegue de naturaleza defensiva con presencia

¹ El manual de Doctrina (MADOC, 2011) “Empleo de las Fuerzas Terrestre” define la Función de Combate Fuegos como *“conjunto de actividades de fuego indirecto y de empleo de la energía electromagnética con propósitos ofensivos encaminadas a destruir, neutralizar o influir al enemigo o adversario. Integra la detección, localización, adquisición y seguimiento de posibles objetivos”*.



permanente en Estonia, Letonia, Lituania y Polonia (Tierra, 2018). Este último año las FAS han aumentado la presencia con 150 militares más el contingente español, uniéndose a los casi 350 hombres y mujeres que se encontraban ya desplegados allí (Defensa, 2022). Como ejemplo se encuentra el GAIL II/63 que lleva desplegado permanentemente desde 2022 con un Radar ARTHUR (*Artillery Hunting Radar*), un sistema HALO (*Hostile Artillery Locating System*) y una decena de militares de esta unidad (J.L.B., 2022).

Es de imperativa necesidad de emplear los medios de Artillería de manera eficiente, rápida y en el momento oportuno donde el Radar ARTHUR juega un papel fundamental. Además, los medios de la Artillería Divisionaria (AD)² siempre han sido considerados como críticos, pero el conflicto actual ha demostrado que es vital su supervivencia por encima del resto de medios empleados.

Otro punto importante que impulsa este trabajo es la evolución de las medidas de Guerra Electrónica (EW) en cuanto a tecnología y a cantidad. Actualmente ha aumentado su proliferación en todos los Ejércitos, pero más importante si cabe, es la reducción del tamaño de los medios que hacen que un usuario a pie pueda transportar un equipo de EW. Estos equipos ya no se emplean solo contra las emisiones electromagnéticas y ahora se considera su empleo en cualquier actuación militar para conseguir el dominio total del espectro electromagnético.

Descripción la importancia que han alcanzado los medios de Artillería y el peligro que representa la EW para todos los medios emisores, es donde entra el desarrollo de este proyecto que pretende analizar cómo influye la EW en el Radar ARTHUR. Su aplicación afecta exclusivamente al GAIL II/63, ya que es la única unidad de España que cuenta con este tipo de radar, pero su importancia es mayor por su extrapolación directa a la misión de Letonia.

La memoria del trabajo se ha dividido en cuatro apartados que se describen a continuación:

- Objetivos y metodología: en este apartado se exponen los objetivos del trabajo realizado además de las tareas intermedias que permiten alcanzar el objetivo principal. Por otro lado, se exponen las herramientas empleadas para conseguir el propósito establecido.
- Antecedentes y marco teórico: en él viene explicado las bases teóricas para alcanzar el propósito. Además, se recoge la comparación entre los dos radares, el ARTHUR y el AN/TPQ-36, que es el antecesor del Radar ARTHUR.
- Desarrollo, análisis y resultados: este apartado constituye el cuerpo del trabajo y en él se recoge el desarrollo de las herramientas utilizadas y el resultado final obtenido aportando una serie de propuestas para solucionar o evitar el problema.
- Conclusiones: en este apartado se analizan los resultados obtenidos a lo largo de todo el proyecto y los problemas que han ido surgiendo a lo largo del proceso.

² Según el Glosario de Términos Militares (MADOC, 2023.b), Artillería divisionaria se define como “la Artillería que el general jefe de la división conserva bajo su mando y no cede a las unidades subordinadas”.



2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

2.1 OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo general y principal de este Trabajo de Fin de Grado (TFG) es realizar un estudio de cómo influyen las medidas de Guerra Electrónica enemigas en la capacidad de objetivos del Radar ARTHUR. Para ello, se toma como caso de estudio el GAIL II/63, grupo donde se han desarrollado las Prácticas Externas (PEXT), perteneciente al Regimiento de Artillería Lanzacohetes de Campaña Nº 63 (RALCA 63). Para el desarrollo de este objetivo es fundamental el cumplimiento de unos determinados objetivos que se exponen a continuación:

- Conocer el Radar ARTHUR y explicar sus principales características, su principio de funcionamiento y sus funciones tácticas.
- Comparar las características del Radar ARTHUR frente al Radar AN/TPQ-36.
- Conocer las capacidades de la Guerra Electrónica, sus acciones, sus medidas y el apoyo que ofrece a los distintos tipos de operaciones.
- Explicar los tipos de perturbaciones de EW y cómo pueden afectar al Radar ARTHUR.
- Proponer una serie de soluciones para poder combatir las perturbaciones de la Guerra Electrónica.

Es importante establecer a quién va a ir dirigido este trabajo, el carácter que tiene, hasta dónde se va a llegar y las limitaciones que ha tenido. Este trabajo surge de la necesidad con la que cuenta el GAIL, único grupo de Artillería de Campaña dentro del ET que se caracteriza por disponer de unidades de información y adquisición de objetivos, de establecer una serie de soluciones o propuestas para poder combatir las medidas de posibles ataques realizados por los dispositivos de Guerra Electrónica enemigos, además de poder calcular los modelos de acción a través del ORBAT (Orden de Batalla) y calcular el tiempo del que disponen dichos radares para sobrevivir ante un posible ataque del adversario. Dentro de este grupo, el estudio tiene su ámbito de aplicación en las BAOs (Baterías de Adquisición de Objetivos) que son las que cuentan con el ARTHUR. Así pues, este trabajo combina un enfoque de estudio teórico para conocer al ARTHUR y las medidas de EW enemigas, con uno práctico, ya que el estudio del funcionamiento del radar se hizo durante las maniobras realizadas con este grupo del 4 al 8 de octubre de 2023 en el Centro de Adiestramiento (CENAD) "San Gregorio". En el transcurso del 8 al 17 de octubre se llevó a cabo un ejercicio entre el GAIL y el Regimiento de Guerra Electrónica Nº 31 (REW-31) para poner a prueba la capacidad de perturbar al ARTHUR. El informe obtenido de estas maniobras ha sido remitido por parte del GAIL para poder incluirlo en este trabajo.

La limitación más representativa de este trabajo ha sido la falta de información y el desconocimiento de las capacidades reales de los medios de EW de las unidades de otros países y, por tanto, el estudio que se ha realizado ha sido basándose en las unidades de EW del Ejército de Tierra, específicamente en las unidades del REW-31. Cabe destacar también que este trabajo se restringe exclusivamente a abordar los radares disponibles en las unidades de ACA de España, siendo estos el Radar ARTHUR y el Radar AN/TPQ-36. Durante el desarrollo del trabajo, se hacen menciones de radares específicos utilizados en Artillería Antiaérea (AAA), como el Radar COAAASL y el Radar ROLAND, que cumplen propósitos distintos, por lo que no se realizan comparaciones con los radares de ACA. También se hace referencia el Radar AN/TPQ-37, una versión actualizada del AN/TPQ-36 y que está en funcionamiento en Estados Unidos y otros países entre los que no se encuentra España.



2.2 METODOLOGÍA

La metodología seguida para la obtención del objetivo general se basa en el uso de herramientas, tanto cualitativas como cuantitativas, que a continuación se describen:

- **Consulta de bibliografía del Ejército de Tierra y presentaciones:** se ha llevado a cabo un análisis de los manuales del Mando de Adiestramiento y Doctrina acerca del Radar ARTHUR, la Guerra Electrónica, el AN/TPQ-36 y el GAIL II/63. Dentro de estos temas se han utilizado diversos manuales sobre su funcionamiento, procedimientos operativos y empleo táctico con el objetivo de obtener información técnica a cerca de estos temas. Por otro lado, se han utilizado presentaciones elaboradas por capitanes que han estado destinados dentro del grupo y en el REW-31 que cuentan con información más actualizada y real sobre estas materias.
- **Análisis comparativo:** consiste en evaluar dos o más procesos, productos, alternativas, datos y cualquier otro elemento que pueda ser confrontado para el propósito de análisis y toma de decisiones basadas en los resultados obtenidos. Esta metodología permite verificar si existen similitudes, equivalencias o diferencias, así como realizar un seguimiento del progreso de los aspectos y elementos que están siendo contrastados (Añez, 2023). Este análisis se desarrolla a lo largo del trabajo entre el Radar ARTHUR y el Radar AN/TPQ-36 donde se comparan sus principales características técnicas para obtener una visión objetiva de sus prestaciones.
- **Análisis de las ventajas y desventajas:** se trata de una herramienta que permite realizar una evaluación objetiva de las distintas partes de un tema. Facilita la identificación y valoración de los aspectos positivos y negativos, lo que proporciona una visión integral y equilibrada que respalda la toma de decisiones informadas (Gil, 2023). A lo largo de este proyecto, esta herramienta de análisis se emplea para ofrecer los principales aspectos favorables y desfavorables del Radar ARTHUR.
- **Encuesta:** se define como un método de obtención de datos mediante la aplicación de un cuestionario a un grupo de personas representativas. A través de las encuestas, es posible adquirir información sobre las opiniones, las actitudes y los comportamientos de los individuos (CIS, 2022). Esta encuesta, en concreto, se realizó con el fin de obtener información acerca de las personas que han trabajado con el Radar ARTHUR y el AN/TPQ-36 y ver cuál es su opinión a la hora de trabajar con estos radares. Las personas que respondieron a la encuesta son miembros del GAIL II/63 que han tenido experiencia laboral con uno o ambos radares, y no se hizo distinción entre empleos o escalas dentro de este personal con el fin de obtener una visión global. Los resultados de las encuestas incluyeron datos cuantitativos y cualitativos. Por un lado, se generaron gráficos que representaban las respuestas a preguntas cerradas formuladas y, por otro lado, se compiló una tabla con las opiniones expresadas por el personal del grupo sobre el ARTHUR en respuesta a las preguntas abiertas realizadas.
- **Entrevistas:** se entiende por entrevista como la conversación que se establece entre dos o más personas que asumen los roles de entrevistador y entrevistado, con el propósito de que el primero obtenga del segundo, información acerca de un asunto específico (Significados, 2020). En este trabajo se llevaron a cabo dos entrevistas a profesionales expertos en sus áreas. La primera de ellas fue una entrevista libre, en la que no se predefinieron preguntas específicas de antemano sobre un esquema estructurado, sino que se buscaba fomentar al entrevistado para que se expresara libremente sobre la materia a tratar. El entrevistado fue



el sargento D. Wylian Alexi Sánchez García. El sargento lleva siete años ejerciendo de operador del Radar ARTHUR y tiene una amplia experiencia y conocimiento sobre dicho radar. La segunda entrevista realizada fue al capitán D. Juan Ramón Pérez Quintanar perteneciente al Regimiento de Guerra Electrónica Nº 31. La entrevista fue mixta donde no existe una lista de preguntas concretas, pero sí una guía sobre los temas que se consideran claves, (UCO, 2020) y aportó información necesaria y útil sobre la Guerra Electrónica y su actuación frente al Radar ARTHUR.

- **Maniobras:** se entiende por maniobras los ejercicios tácticos realizados por tierra, mar o aire, que simulan situaciones de guerra (MADOC, 2023.b). En el transcurso del mes de octubre y durante el desarrollo de las PEXT, se llevaron a cabo dos maniobras. Las primeras que se realizaron fueron conjuntas entre el GAIL II/63 y el Grupo de Artillería Lanzacohetes de Campaña (GALCA I/63) en el CENAD "San Gregorio" del 4 al 8 de octubre de 2023, con el propósito de instruir y adiestrar al personal perteneciente a ambos grupos. Las segundas maniobras se llevaron a cabo del 8 al 17 de octubre de 2023 donde participaron el GAIL II/63 y el REW-31 en el mismo lugar que las anteriores y donde se pretendía perfeccionar los resultados obtenidos por el ARTHUR en ejercicios previos.
- **Informe de maniobras:** un informe es un documento destinado a comunicar un conjunto de información que ha sido recopilada y previamente sometida a un análisis basado en criterios específicos. En consecuencia, el informe documenta información y eventos que han sido verificados y evaluados por su autor (Coll Morales, 2020). Cuando se menciona el informe de maniobras, se hace referencia a un documento generado durante la ejecución de unas maniobras o ejercicios realizados por una unidad. En este caso, el GAIL II/63 proporcionó dos informes de distintas maniobras. El primero de ellos fue tras la realización del ejercicio Tarántula I/21 realizado en 2021 y en él se recopilaba el desarrollo del ejercicio, así como los problemas que surgieron y los resultados finales que obtuvieron. El segundo informe de maniobras se centra en las maniobras Gamma Azor, que tuvieron lugar del 8 al 17 de octubre de 2023, y presenta un contenido similar al informe anterior.

En cuanto al ámbito temporal del proyecto, se indican algunas tareas que se consideran necesarias para alcanzar los objetivos intermedios y, por consiguiente, el objetivo principal. A continuación, se describen estas acciones:

- La recopilación y análisis de la información obtenida por parte del GAIL II/63 y el REW-31 se inicia el 5 de septiembre y se extiende durante un período de dieciocho días. Simultáneamente, se da inicio a las entrevistas con el personal que opera con el radar y con miembros del REW-31 acerca de temas relacionados con la Guerra Electrónica. Además, se realizan exposiciones por parte del grupo para conocer el material y los recursos disponibles.
- La realización de la encuesta se lleva a cabo durante el período desde el 25 de septiembre hasta el 6 de octubre, con el propósito de recabar las opiniones de los distintos miembros del grupo acerca del Radar ARTHUR y el AN/TPQ-36, con el fin de contribuir con su experiencia y conocimiento técnico a este proyecto.
- Finalmente, las maniobras realizadas junto al GAIL II/63, que se inician el 4 de octubre y se extienden durante 4 días, aportan un conocimiento más completo del funcionamiento del ARTHUR en un supuesto táctico para contribuir a un mayor conocimiento en este sentido.

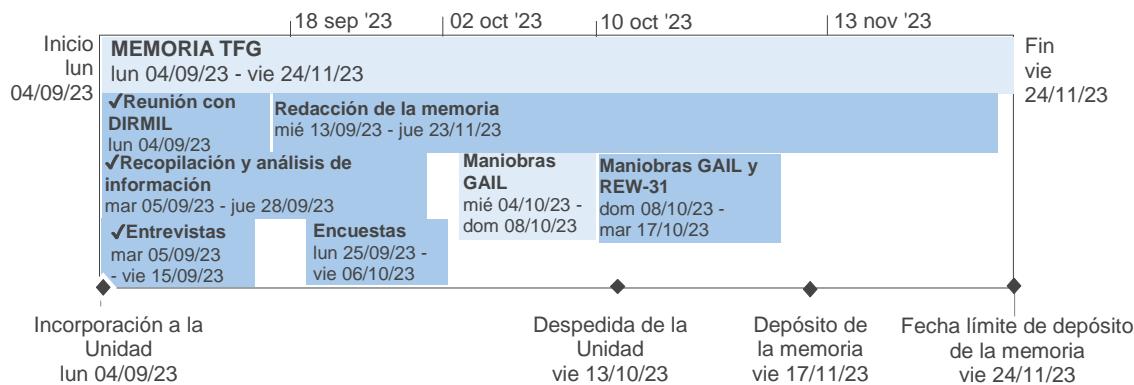


Figura 1. Calendario de tareas del proyecto. Elaboración propia

En la Figura 1 se puede observar un calendario de los distintos hitos del proyecto que comienza con las tareas realizadas a lo largo del período de duración de las PEXT realizadas en el GAIL II/63 y que finaliza con la fecha límite de depósito de la memoria. Estas prácticas comenzaron el 4 de septiembre y finalizaron el 13 de octubre de 2023 y forman parte del Grado de Ingeniería de Organización Industrial, perfil defensa, que se imparte en el Centro Universitario de la Defensa (CUD) en la Academia General Militar (AGM). El TFG finaliza el día de su defensa.



3 ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

A continuación, como antecedentes y marco teórico que guían la realización de este trabajo, se lleva a cabo una breve introducción del GAIL II/63. Seguidamente se expondrá una explicación sobre el AN/TPQ-36, el Radar ARTHUR, el sistema HALO y la Guerra Electrónica.

3.1 INTRODUCCIÓN DEL GAIL II/63

El Grupo de Artillería GAIL II/63 (puede consultar el encuadramiento y la estructura orgánica en el [Anexo I](#)), ubicado en la Base “Conde de Gazola”, en San Andrés del Rabanedo, León, se encuentra encuadrado dentro del RALCA 63 junto al GALCA I/63, emplazados estos dos últimos en el Acuartelamiento Santocildes, Astorga. El RALCA 63 fue creado el 31 de diciembre de 2015 bajo la fusión del Regimiento de Artillería de Campaña Nº 63 (RACA 63) y el RALCA 62 (Tierra, 2021). El GAIL se caracteriza por tener encuadradas unidades de información y adquisición de objetivos que apoyan a organizaciones operativas terrestres a nivel Brigada o superior a la vez que a agrupamientos tácticos de entidad pequeña unidad. Las capacidades con las que cuenta este grupo son: equipos de medida, como estaciones meteorológicas y materiales de topografía de alta precisión; sensores pasivos, como los sistemas de localización por el sonido HALO y equipos optoelectrónicos como el láser o estaciones topográficas; radares de exploración y de adquisición de objetivos como el Radar ARTHUR y el AN/TPQ-36; y sistemas de aeronaves pilotadas remotamente (RPAS – *Remotely Piloted Aircraft System*) (MADOC, 2016).

La principal misión de la Artillería de Campaña es proporcionar apoyo de fuego indirecto a las organizaciones operativas terrestres de forma oportuna, decisiva y ajustada a la situación y auxiliar al mando integrando todos los fuegos. El GAIL, a través del núcleo de inteligencia de objetivos del Puesto de Mando de Artillería (PCART) de la organización operativa apoyada, colabora con el proceso de *Targeting*³, inteligencia, vigilancia, adquisición de objetivos y reconocimiento. Para ello, se apoya de sus medios, que le permiten tener una correcta precisión de los objetivos, tanto los que se encuentren en contacto, como los que se hallen en mayor profundidad. Su principal cometido consiste en proporcionar con oportunidad y precisión, a las unidades de Artillería de Campaña de las Grandes Unidades (GU), los datos necesarios para cumplir adecuadamente sus misiones de apoyo y protección en acciones terrestres y colaborar con la vigilancia y reconocimiento del campo de batalla, con el fin de obtener información sobre el enemigo y el terreno. Como misiones secundarias se encuentran la del ajuste de la eficacia del tiro propio y la evaluación de la dispersión del tiro (MADOC, 2016).

Por tanto, el GAIL se convierte en un componente fundamental en el esfuerzo ISTAR (*Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance*) que desarrolla la GU en la que se encuadre, por su contribución a la adquisición de objetivos, por la vigilancia y reconocimiento de la zona de operaciones, por el refuerzo a la protección de la fuerza en todo tipo de acciones militares tácticas y por su colaboración en el refuerzo de la seguridad del personal, equipos y elementos desplegados (MADOC, 2016).

³ Según el Glosario de Términos Militares (MADOC, 2023.b), *Targeting* hace referencia al “proceso de sincronización e inteligencia de objetivos”.



Figura 2. AN/TPQ-36. Fuente (GAIL II/63)

3.2 RADAR AN/TPQ-36

El Radar AN/TPQ-36 (Figura 2), antecesor al Radar ARTHUR, es un sistema que entró en servicio en España en la década de los años 80 y desplegó en operaciones en Bosnia y Herzegovina entre 1994 y 1996. La idea inicial era ser sustituido en el año 2007 por el Radar ARTHUR, ya que era un sistema más moderno (Ejército, 2017).

El equipo Radar AN/TPQ-36 es un radar de reconocimiento de gran movilidad TWS (*Track While Scan*) y de impulsos *Doppler*. Fue diseñado para localizar de forma totalmente autónoma y al primer disparo, los proyectiles de morteros y piezas de la artillería enemiga. Puede ser utilizado tanto para corregir el tiro propio como para localizar bocas de fuego enemigas y en condiciones normales, el número de operadores es de seis personas que tienen la capacidad de entrar en posición en veinte minutos o menos. Este radar tiene la posibilidad de trabajar en tres modos de control distintos: control centralizado, control descentralizado y control mixto. Entre sus principales componentes se encuentran: un remolque antena, un *shelter* y un remolque con grupos electrógenos.

El equipo radar cuenta con dos modos de funcionamiento, amigo y hostil, aunque no puede trabajar simultáneamente con el uno y el otro. A continuación, se explican ambos:

1. Modo amigo: en este modo el radar proporciona las coordenadas de la zona de caída de proyectiles y se utiliza con el fin de ayudar a los radares amigos en la corrección del tiro.
2. Modo hostil: es el principal modo de funcionamiento del radar y consiste en localizar el origen de fuego de las unidades artilleras enemigas (MADOC, 2008).

Entre sus características más destacadas se encuentran:

- Tiene un alcance máximo de entre 1,65 km a 24 km seleccionable.
- Tiene un alcance mínimo de entre 750 m a 23 km seleccionable.
- Tiene un seguimiento simultáneo de hasta 6 proyectiles en modo amigo y 10 en modo hostil.
- Cuenta con un sector de orientación de 1600º máximo y 89º en elevación.



Figura 3. Radar ARTHUR. Fuente (Sgto. Garrido)

En cuanto al funcionamiento del radar, está basado en un cerco de haces muy finos y ajustables que barren el horizonte del sector de exploración que tiene designado. Cuando un objeto atraviesa este cerco, el radar dispara un haz de verificación con el fin de descartar los que no siguen una trayectoria balística. En el momento que cumple las condiciones requeridas, el ordenador inicia una rápida sucesión de haces de seguimiento a gran velocidad y simultáneamente, el radar continúa explorando y localizando otros posibles proyectiles.

Para concluir, aunque el GAIL II/63 cuenta con el Radar ARTHUR y en un inicio, cuando fue adquirido por España e implementado en el grupo, tenía como finalidad sustituir al AN/TPQ-36, debido al elevado coste de los repuestos para arreglar el ARTHUR, ha hecho que en la actualidad se siga empleando y se trabaje conjuntamente con los dos.

3.3 RADAR ARTHUR

El radar de localización de Artillería ARTHUR (Figura 3), es un sistema de localización de armas (WLS-*Weapon Locating System*) de alcance medio y muy móvil. Ofrece una eficaz capacidad de contrabatería (C/B), mediante el cálculo de los puntos de lanzamiento, a la vez que proporciona un control de fuego (FC), calculando y transmitiendo los puntos de impacto, una vez realizada la detección de proyectiles de morteros, cañones o cohetes balísticos (MADOC, 2018.a). El radar fue desarrollado conjuntamente por Noruega y Suecia en 1994 aunque más tarde fue comprado por la empresa sueca Saab (*Svenska Aeroplan Aktiebolaget*). No fue hasta 2007 cuando España compró cuatro modelos de este radar y a partir de 2008 entró en servicio en el ET. En la actualidad se encuentra en funcionamiento en doce países, entre ellos Noruega, Suecia, Corea del Sur y el Reino Unido (Carrasco, 2022).

ARTHUR fue diseñado principalmente para operaciones tácticas de C/B, pero también se emplea en operaciones de mantenimiento de paz utilizando el radar para detectar y registrar fuego artillero en violación de los acuerdos de paz. Para esta función, el sistema incorpora funciones para el registro de todos los datos principales de los eventos detectados (SAAB, 2008).

Su principal misión en un entorno de combate asimétrico es ejercer una labor de escudo detector ante amenazas de incursiones por parte de elementos insurgentes mientras que, en un entorno de las fuerzas propias, establece una labor de apoyo y FC.



Entre sus principales características están que los radares ARTHUR fueron adquiridos por España e implantados en el RALCA 63, en concreto en el GAIL II/63; se incorporó con la finalidad de sustituir al radar AN/TPQ-36 aunque en la actualidad se emplean los dos radares; puede trabajar en dos modos, hostil, también conocido como “localización de armas”, y amigo o también llamado “control de fuegos”; utiliza una potente base de datos para identificar gran parte de los proyectiles para ayudar a completar el ORBAT enemigo y para el conocimiento de la situación táctica en el campo de batalla; y el sistema cuenta con un terminal remoto para controlarlo a distancia, un sistema de auto chequeo, un sistema de acondicionamiento y un grupo electrógeno entre otros (MADOC, 2016).

3.3.1 COMPOSICIÓN DEL SISTEMA

En cuanto a la composición del radar, el ARTHUR se encuentra sobre un contenedor que está colocado mediante una estructura de adaptación a un camión todo terreno y puede ser transportado por aire con un C-130 Hercules o como una carga externa en los helicópteros. Entre sus principales componentes se encuentran (MADOC, 2018.a): (Para más información ver el [Anexo II](#))

- Contenedor.
- Sistema de alimentación.
- Unidad transmisora-receptora.
- Unidad de señal y datos.
- Unidad de antena y unidad de plato giratorio.
- Radar de localización de arma (WLR).
- Sistema de navegación inercial (INS).
- Control del operador y sistema de pantalla.
- Sistema de climatización del contenedor.
- Iluminación.
- Sistema de comunicaciones.
- Sistema NBQ (Nuclear, Biológica y Química).
- Vehículo.

De modo que, la disposición en forma de contenedor y el poco personal que se requiere para su funcionamiento le confiere una alta movilidad táctica y operacional. Esto se traduce en que el ARTHUR entra en funcionamiento de forma más eficaz que el AN/TPQ-36 (nivel táctico) y puede ser desplegado rápidamente desde territorio nacional a zona de operaciones (nivel operacional).

Durante el desarrollo de las Prácticas Externas se llevó a cabo una encuesta al personal perteneciente al GAIL II/63 y que ha trabajado con uno o ambos radares. En esta entrevista participaron un total de 26 personas, con empleos que van desde capitán hasta soldado. El propósito de esta encuesta era recabar la opinión de los miembros del grupo acerca de su experiencia en ejercicios reales y confirmar si realmente consideraban que trabajar con el Radar ARTHUR constituía un avance frente a trabajar con el Radar AN/TPQ-36, tal como sugieren los datos teóricos. Los resultados recabados en la encuesta revelaron que el 61% de los encuestados había tenido experiencia con ambos radares, y dentro de ese porcentaje, un 94% de ellos expresó su preferencia por trabajar con el Radar ARTHUR. La encuesta también recoge que los principales atributos escogidos por el personal del grupo para justificar la preferencia por el Radar ARTHUR eran la facilidad de uso del radar, su eficacia, la tecnología avanzada que incorpora y el reducido número de personal que se requiere para operar con él. Estos resultados se encuentran detallados en el [Anexo III](#).



Tabla 1. Opiniones del personal del GAIL II/63 sobre el Radar ARTHUR. Elaboración propia

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none">- Radar muy fiable.- Eficacia de localización muy exacta.- Trabajo muy intuitivo y fácil de manejar.- Una gran evolución frente al AN/TPQ-36.- Precisión exacta para corregir el tiro amigo.- Es fundamental en el proceso ISTAR.- Necesario poco personal para manejarlo.	<ul style="list-style-type: none">- Gran dependencia del grupo electrógeno.- Gran consumo del grupo electrógeno.- Alcance limitado para ser un Radar Contra Batería (C/B).- Necesidad de una nueva actualización para conseguir un mayor alcance.- Objetivo prioritario para el enemigo.- El camión no está blindado.

En la Tabla 1 se refleja los principales comentarios extraídos de la encuesta realizada al personal del GAIL II/63 en relación al Radar ARTHUR y a su funcionamiento en base, a su experiencia trabajando con él en supuestos tácticos. Aunque la mayoría de las opiniones fueron positivas y concordaban con los datos técnicos, lo más relevante fueron los aspectos a mejorar: la gran dependencia que tiene el ARTHUR del grupo electrógeno, lo que supone un gran gasto para el grupo por el elevado consumo de gasoil; y que el radar supone un objetivo prioritario para las unidades adversarias al representar una gran pérdida para las unidades amigas por su papel fundamental.

Tabla 2. Comparación entre el Radar ARTHUR y el Radar AN/TPQ-36. Elaboración propia

CARACTERÍSTICAS	RADAR ARTHUR	RADAR AN/TPQ-36
Alcance máximo	40 km	24 km
Seguimiento	8 proyectiles	10 proyectiles
Sector de búsqueda en acimut	1600º	1600º
Sector de búsqueda en elevación	148º	89º
Personal	4 personas	6 personas
Modos de funcionamiento	2 modos simultáneos	2 modos alternos
Posicionamiento	Mediante GPS	Mediante topografía
Rango de frecuencias	5,4 – 5,9 GHz	9,33 – 9,97 GHz



Por tanto, en la Tabla 2 se hace una comparación entre el Radar ARTHUR y el Radar AN/TPQ-36. Aunque los dos sean radares activos, fáciles de detectar frente al enemigo, tengan el mismo sector de búsqueda en acimut y cuenten con los mismos modos de funcionamiento, el ARTHUR tiene la capacidad de operar con ambos simultáneamente mientras que el AN/TPQ-36 no cuenta con esta posibilidad. Por otro lado, el ARTHUR tiene menor capacidad para hacer seguimientos de proyectiles simultáneamente. Por último, el AN/TPQ-36 tiene un menor alcance, un menor sector de búsqueda en elevación, un mayor rango de frecuencias, requiere de más personal para poder ser operado y necesita al pelotón de topografía para poder posicionarse y tener las coordenadas correctas de su posición mientras que el ARTHUR tiene un GPS (Sistema de Posicionamiento Global) incorporado y lo hace de manera automática.

3.4 SISTEMA HALO

El HALO es un sistema avanzado de localización acústica de armas que, combinando los datos meteorológicos y geográficos junto a las señales acústicas captadas, permite identificar de forma aproximada la zona de origen del fuego. Cada HALO cuenta con una estación sensora (SP-Sensor Post) que es la encargada de procesar las señales de los micrófonos y transmitirlas al Puesto de Mando (CP-Command Post), desde donde se envían todos estos datos en tiempo real a las unidades encargadas de su explotación, como son los radares. El HALO tiene como principal cometido localizar, de manera rápida, la posición de las armas de Artillería, morteros y carros de combate entre otros elementos. El número de micrófonos que se recomienda emplear para trabajar de manera ideal son 4 que, mediante la intersección de sus direcciones, forman un triángulo donde está localizada la zona del origen del fuego.

La característica más destacada de este sistema es que se trata de un elemento pasivo, lo que significa que no emite radiación electromagnética y, por consiguiente, resulta complicado de detectar por parte del enemigo, particularmente por la EW enemiga. Esta ventaja le permite una escucha continua de forma indefinida, a diferencia del Radar ARTHUR y del AN/TPQ-36. Sin embargo, su principal inconveniente reside en la falta de precisión a la hora de localizar el punto exacto de impacto de proyectiles y el origen de fuego, ya que el HALO proporciona una orientación de estas zonas, pero no su posición concreta (MADOC, 2018.b).

Las capacidades de este sistema, en cuanto al alcance de las localizaciones y precisión se detallan a continuación (MADOC, 2016):

- Rango de alcances:
 - 40 km para artillería de 155 mm con carga máxima.
 - 15 km para artillería de 105 mm con carga máxima.
 - 8 km para artillería de 120 mm con carga máxima.
 - 5 km para artillería de 81 mm con carga máxima.
- Precisión de las localizaciones de orígenes de fuego:
 - 100 m entre 0 y 8 km.
 - 200 m entre 8 y 15 km.

Las medidas de 155, 105, 120 y 81 mm hacen referencia al calibre del proyectil que se va a disparar. Los calibres de 155 y 105 mm hacen referencia a piezas de Artillería, el de 120 mm pertenece al Leopardo de Caballería e Infantería y el calibre de 81 mm pertenece a morteros de Infantería.



Figura 4. Sistema HALO. Fuente (Manual MI-309)

Se puede concluir que el sistema HALO (Figura 4) es un sistema capaz de integrarse tanto con el Radar ARTHUR como con el Radar AN/TPQ-36. Por lo tanto, no se realiza un análisis comparativo entre ellos, ya que este sistema complementa a los radares a la hora de localizar el origen del fuego.

3.5 GUERRA ELECTRÓNICA

La Guerra Electrónica se define como el conjunto de acciones militares que, utilizando la energía electromagnética, permiten explotar el espectro electromagnético para contribuir al conocimiento de la situación y conseguir efectos ofensivos y defensivos. Tiene como finalidad obtener la superioridad en el uso del espectro electromagnético para reducir su uso hostil y garantizar su empleo de manera eficaz por parte de las fuerzas propias y aliadas (MADOC, 2023.a). Se pueden distinguir dos maneras de clasificar la EW. Una de ellas atiende a los efectos operativos que persiguen y se definen como “Acciones de EW”. Entre estas acciones se encuentran el Ataque Electrónico (EA), la Defensa Electrónica (ED) y la Vigilancia Electrónica (ES). Esta clasificación está dirigida a los responsables de las operaciones (MADOC, 2017).

La otra forma de clasificación se conoce como “Medidas de EW” que son las acciones que se planean y ejecutan por el personal de EW y se centran en las actividades que desarrollan las unidades de EW. Se pueden diferenciar tres tipos de medidas: por un lado, están las Medidas de Apoyo Electrónico (ESM), que hacen referencia al principio de protección y se basan en la búsqueda, interceptación e identificación de las radiaciones electromagnéticas y localización de sus fuentes de emisión. Por otro lado, se encuentran las Contramedidas Electrónicas (ECM), que forman la acción ofensiva y que utilizan, por un lado, el espectro electromagnético para reducir o dañar los sistemas electromagnéticos enemigos y, por otro lado, para confundir, distraer o engañar al enemigo y sus sistemas. Por último, las Medidas de Protección Electrónica (EPM), que corresponden al aspecto defensivo y que tienen como fin proteger las emisiones propias de las acciones del enemigo.

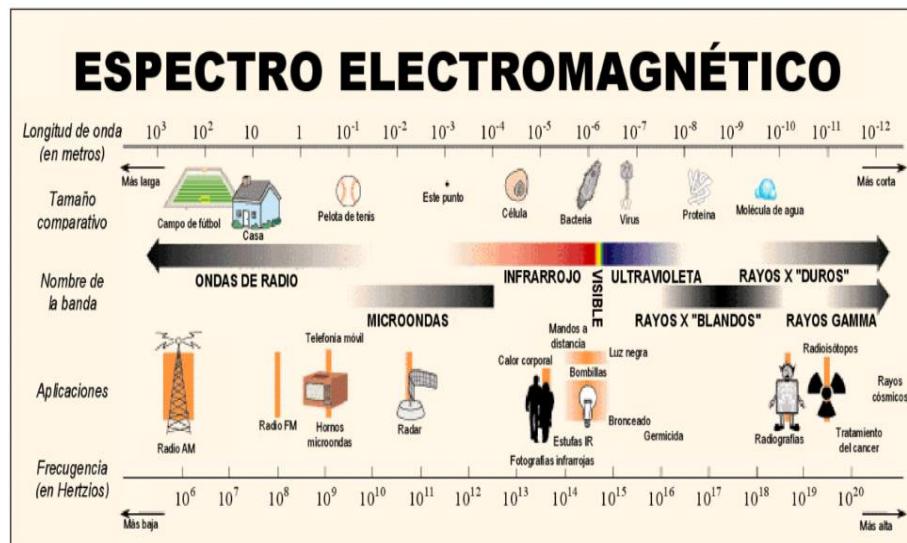


Figura 5. Espectro Electromagnético. Fuente (MADOC)

El ámbito en el que actúa la EW es el Espectro Electromagnético (Figura 5), en el que se abarcan todas las frecuencias utilizadas por los distintos sistemas electrónicos de la EW y los radares. En este caso, el Radar ARTHUR trabaja en la banda de microondas, ya que su rango de frecuencia oscila entre 5,4 – 5,9 GHz.

La actual Doctrina sitúa a la EW dentro del concepto “Función de Combate⁴” formado por las siguientes funciones: Maniobra, Apoyos de Fuego, Inteligencia; Defensa Aérea; Mando y Control; Guerra Electrónica; Movilidad, Contramovilidad y Protección; y Apoyo Logístico. Estas funciones están relacionadas entre sí convirtiéndose en un elemento fundamental para planear y controlar las operaciones tácticas a la vez que selecciona los medios necesarios para cada operación a nivel operacional. La EW se guía por los mismos principios operativos que cualquier función que forme parte de una operación militar, pero es fundamental la centralización en el control y la descentralización en la ejecución de sus acciones. El principio de centralización hace referencia a considerar las operaciones militares como un todo (MADOC, 2009).

En último lugar, se encuentra el Sistema de Guerra Electrónica, que hace referencia al conjunto de recursos tanto humanos, como materiales y procedimientos que permiten realizar las acciones de EW en apoyo a las operaciones militares. Dentro de los medios materiales se encuentran los de Captación de Señales, de Emisión de Señales, de Análisis y Evaluación y de Dirección y Control (MADOC, 2014).

Cabe destacar los principales medios de Guerra Electrónica con los que cuenta ahora mismo España que son las Estaciones Perturbadoras (EP). Dentro de estas EP se pueden diferenciar tres tipos distintos: EP Telecomunicaciones (TLC) HF (*High Frequency*), EP Telecomunicaciones VHF (*Very High Frequency*) y EP No Telecomunicaciones (NTLC) (REW-31, 2022).

⁴ El manual de Doctrina (MADOC, 2011) “Empleo de las Fuerzas Terrestres” define la Función de Combate como la “herramienta conceptual para relacionar, agrupar, describir y coordinar las acciones de las fuerzas terrestres, que facilita el planeamiento y la ejecución de las operaciones, además de la instrucción y del adiestramiento de las unidades en el nivel táctico”.



Tabla 3. Resumen de las Capacidades de la Guerra Electrónica. Elaboración propia

Acciones de EW	Ataque Electrónico (EA)	Defensa Electrónica (ED)	Vigilancia Electrónica (ES)	
Medidas de EW	Contramedidas Electrónicas (ECM)	Medidas de Protección Electrónica (EPM)	Medidas de Apoyo Electrónico (ESM)	
Sistemas de EW	Captación de señales	Emisión de Señales	Análisis y Evaluación	Dirección y Control
Medios de EW	EP Telecomunicaciones HF	EP Telecomunicaciones VHF	EP No Telecomunicaciones	

Tabla 4. Resumen de los sistemas y medios de Guerra Electrónica. Elaboración propia

Sistemas de EW	Captación de señales	Emisión de Señales	Análisis y Evaluación	Dirección y Control
Medios de EW	EP Telecomunicaciones HF	EP Telecomunicaciones VHF	EP No Telecomunicaciones	
Sistemas de EW	EP Telecomunicaciones HF	EP Telecomunicaciones VHF	Análisis y Evaluación	Dirección y Control
Medios de EW	EP Telecomunicaciones HF	EP Telecomunicaciones VHF	Análisis y Evaluación	Dirección y Control

En la Tabla 3 se puede ver un esquema de cómo se divide la Guerra Electrónica según sus capacidades. Por un lado, se encuentran el EA y las ECM que tienen fines ofensivos, en un segundo lugar, la ED y las EPM que hacen referencia a la protección de las fuerzas propias, y por último se tiene a la ES y las ESM que se entienden como funciones que tratan de conocer la amenaza.

En la Tabla 4 se puede ver un esquema de cómo se divide la Guerra Electrónica según los Sistemas de EW y según los Medios de EW. En este caso, la tabla solo tiene relación horizontalmente.

En particular para este proyecto lo más destacado es el EA y las ECM, que hacen referencia a la manera que tienen las unidades de EW para influir sobre los radares como el ARTHUR; la ES y las ESM, que se basan en conseguir información de la localización del adversario; y por último las EP No Telecomunicaciones, que son las estaciones que utilizan las unidades de EW para detectar los radares.



4 DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este nuevo apartado se profundizará más en el Radar ARTHUR, explicando sus características y sus principales objetivos; y en la Guerra Electrónica, donde se abordarán sus capacidades. También se comentarán las principales medidas de perturbación que afectan al radar y que propuestas se pueden plantear para combatirlas.

4.1 CARACTERÍSTICAS Y OBJETIVOS DEL RADAR ARTHUR

Anteriormente se ha introducido al Radar ARTHUR con sus principales características. A continuación, se va a explicar sus principales ventajas y desventajas, su funcionamiento y sus funciones tácticas.

4.1.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Como principal ventaja está el poco personal que necesita para ser operado, ya que puede serlo por tan solo dos personas: un conductor y un operario, aunque la manera ideal de trabajar es contando con un equipo de cuatro personas:

1. El jefe de equipo, encargado de operar el sistema.
2. Un conductor con carnet tipo C para conducir el camión.
3. El operador encargado del sistema TALOS y de las telecomunicaciones.
4. Un conductor con carnet tipo B como conductor del vehículo ligero de reconocimiento.

Por lo general, el radar siempre está equipado con un grupo electrógeno externo, lo que hace necesario un conductor con carnet tipo C+E para llevar remolques. Por consiguiente, es requisito obligatorio que el conductor cuente con el carnet C+E por si se diera el caso de tener que llevar remolque. Será necesario contar con personal adicional en un supuesto de operación (GAIL, 2022).

Entre otras ventajas a destacar están:

- Cuenta con un sistema de transmisiones integrado que le permite enviar datos en tiempo real a las unidades oportunas.
- El Sistema de Navegación Inercial con el que cuenta le permite levantarse topográficamente de forma automática.
- Tiene un gran alcance y amplio sector de exploración.
- Al ser un sistema completamente digital, tiene la capacidad de “auto-chequeo” permitiéndole detectar averías.

ARTHUR también cuenta con ciertas desventajas como (MADOC, 2016):

- Al ser un elemento de emisión activo facilita su localización por parte de las unidades de EW enemigas.
- No detecta proyectiles de pequeño tamaño o con trayectorias muy cortas y tensas.
- Tiene que contar con una orientación adecuada para realizar las detecciones.



Tabla 5. Ventajas y desventajas de los Modos de Ruido. Elaboración propia

CHANGE		STAGGER	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">- Mejores resultados cuando el ruido es generado cerca del Radar.- Favorable con lluvia intensa o bandadas de pájaros.- Tres PRFs para cubrir todas las velocidades detectables.	<ul style="list-style-type: none">- Distancias ciegas que reducen la tasa de búsqueda efectiva.	<ul style="list-style-type: none">- Ofrece cobertura inmediata de la velocidad.- Mejores resultados con buen tiempo.- Modo favorable a máximo alcance.- Dificultad para capturar la señal por el enemigo.	<ul style="list-style-type: none">- Más ecos falsos.- Interferencias.- No disponible para el modo de distancia de 40 km.

4.1.2 FUNCIONAMIENTO

El radar cuenta con un sensor de pulsos *Doppler* que funciona en la banda C, que es un rango del espectro electromagnético de las microondas que comprende frecuencias de entre 4 GHz y 8 GHz, aunque el rango de frecuencias de este radar es 5,4 GHz y 5,9 GHz. Funciona con un transmisor TWT (*Travelling-Wave Tube*) y en función del modo que sea utilizado, puede trabajar con un alcance que oscila entre 20, 30 o 40 kilómetros. Cuenta con la capacidad de rastrear hasta ocho proyectiles al mismo tiempo mientras continúa con la búsqueda de otros cuando se pretende tener una alta capacidad y rastrea hasta un máximo de cinco proyectiles simultáneamente cuando se pretende tener una alta precisión. También es capaz de localizar hasta 100 disparos por minuto (SAAB, 2008).

A la hora de transmitir, el generador de radiofrecuencia suministra dos conjuntos de 24 frecuencias diferentes dentro del rango de frecuencias del radar ARTHUR. El cambio de frecuencias se puede realizar de las siguientes formas:

- **Automáticamente:** cuando se detecta una interferencia, el procesador de señal intenta primero aumentar la elevación del haz mediante un incremento de 6,4º y luego mide la interferencia de nuevo. Si esto no ayuda, la elevación del haz se vuelve a aumentar aún más con otro incremento.
- **Manualmente:** se emplea para reducir el riesgo de interferencias entre dos radares que se encuentran funcionando en la misma zona.
- **Bloqueo de frecuencia:** existe la posibilidad de bloquear hasta la mitad del volumen de elevación de búsqueda.

En lo que respecta al Modo de Ruido, el ARTHUR tiene la capacidad de operar en uno de los dos modos de ruidos disponibles que son el Cambio de Frecuencia de Repetición de Pulsos (*PRF-Pulse Repetition Frequency*) o *Change* y, la Alternancia de PRF conocida como *Stagger*.

La Tabla 5 detalla las principales ventajas y desventajas de los dos Modos de Ruido existentes, tanto *Change* como *Stagger* (GAIL, 2022).



Figura 6. Radar en la función de búsqueda. Fuente (Cap. Geijo)

Su principio de funcionamiento se basa en buscar proyectiles tanto en el horizonte como por encima del horizonte, explorando un sector de 1600° ⁵ en acimut de izquierda a derecha y un sector de 148° en elevación, y seguir los que detecte durante varios segundos. Después de dicho seguimiento, se calcula la trayectoria, el punto de impacto, la posición del origen de fuegos y la zona de impactos y mediante estas dos últimas, se priorizan los blancos para la artillería propia y se emite una petición para contrarrestar el fuego. Mediante el punto de impacto, también se ofrece un control de los fuegos para la artillería propia. Para las mediciones durante el seguimiento, se utilizan cuatro haces que se inician a través de una orden del procesador de datos. A continuación, se explica este funcionamiento en sus tres fases:

1. Búsqueda

En esta función de búsqueda se aplica la técnica conocida como efecto *Doppler* que consiste en que el radar ARTHUR envía una señal que se ve reflejada en un blanco móvil produciéndose así un cambio de frecuencia desde el punto de vista del radar. Esto permite calcular la velocidad del blanco a la vez que permite filtrar los objetos no deseados como pueden ser el terreno, la vegetación o las nubes. Es importante conocer e introducir las coordenadas y altura exactas de la posición del radar para calcular con mayor exactitud los datos de los blancos.

El radar cuenta con un generador de radiofrecuencia que genera la frecuencia de transmisión que cambia pulso a pulso y su función es seleccionar el conjunto de frecuencias para disminuir el riesgo de interferencias entre dos radares funcionando en la misma zona. ARTHUR explora un sector de 148° en elevación y 1600° de ancho. El sector en acimut está dividido en 16 subsectores de igual tamaño cubriendo cada uno de ellos 100° . (En la Figura 6 se muestra la señal que envía un Radar ARTHUR).

Cada subsector puede explorarse independientemente en el modo de Localización del Arma o en el modo de Control de Fuego. Cada subsector puede tener distintas prioridades en cuanto

⁵ $^{\circ}$ hace referencia a milésimas artilleras que es una unidad de medida angular utilizada en el ámbito militar, principalmente en Artillería. La equivalencia de 6400° corresponde a 360° .



a intensidad de la exploración se refiere pudiendo ponerse cada uno de ellos en Apagado (*Off*), Baja (*Low*) o Alta (*High*). *Off* significa que la exploración no se realiza en este subsector y se aumenta la velocidad de exploración en los otros subsectores. La diferencia entre Baja (*Low*) y Alta (*High*) es que la exploración se realiza solo cuando el haz principal pasa cada dos veces por el sector explorado cuando se selecciona una intensidad Baja (*Low*), mientras que la exploración se realiza cada vez que pasa el haz por el subsector cuando se selecciona una intensidad Alta (*High*). De los subsectores que están habilitados, solo pueden establecerse a alta velocidad el 50% de ellos.

2. Adquisición

Esta función se realiza para todas aquellas señales que en la función de búsqueda se clasificaron como nuevos proyectiles y son marcadas según el orden en el que fueron detectadas. La adquisición cuenta con dos mediciones precisas de ángulo y distancia, medidas con cuatro haces, pero solo con un haz cada vez, respecto a la posición estimada.

Durante la primera medida de adquisición, la elevación se establece de manera que el centro del grupo de haces tenga la misma elevación que el haz que detectó al proyectil. Si la señal no es adquirida durante la primera medición, se repite inmediatamente. Si en la segunda medición, la señal no vuelve a ser adquirida, el proceso de adquisición termina.

En la adquisición, la velocidad radial tiene que ser superior a la establecida por un umbral determinado, que es de 36 m/s, aunque puede ser ajustada manualmente por el operador entre 18 m/s y 50 m/s, de no ser así, este proceso se da por finalizado. Mediante la realización de dos medidas con cuatro haces, la velocidad radial del blanco puede acercarse rápidamente, por lo que, si dicha velocidad es lo suficientemente elevada, las coordenadas de la primera y segunda adquisición son enviadas a la función de seguimiento para determinar la posición, pero si la velocidad es demasiado baja, este proceso se da por finalizado.

Hay que tener en cuenta que, si el valor del umbral se ajusta manualmente hacia un valor inferior del determinado, existe un aumento del riesgo de iniciar seguimientos sobre ruidos y de recibir blancos falsos o blancos fantasma, disminuyendo así la capacidad de búsqueda. Por otro lado, también hay que tener en cuenta que, si este valor umbral aumenta, existe la posibilidad de perder algunos blancos reales.

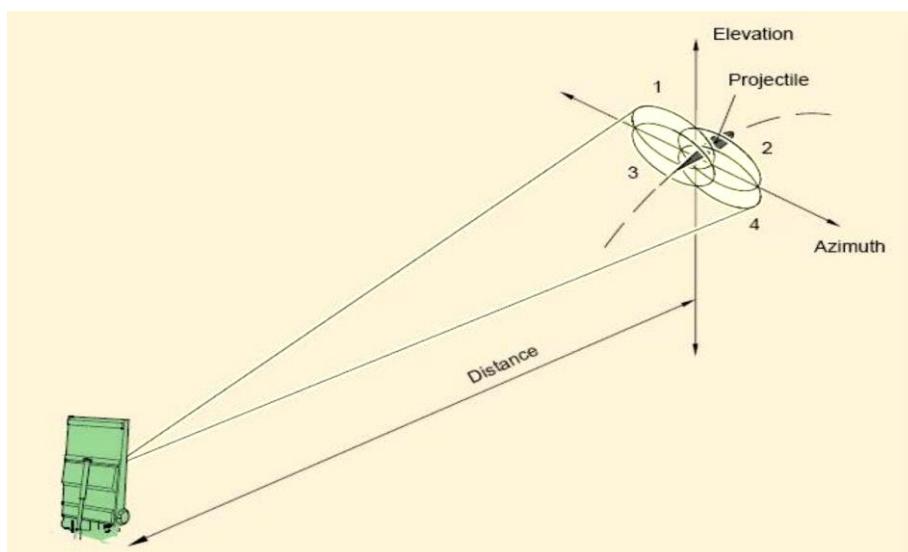


Figura 7. Mediciones con cuatro haces. Fuente (Saab, 2008)



Durante las mediciones con cuatro haces (Figura 7), realizadas a lo largo del intento de adquisición, tanto la distancia como la velocidad, la dirección y la elevación del proyectil van a ser medidas de gran exactitud. Esto es fundamental para poder calcular la siguiente posición estimada.

3. Seguimiento

Esta función tiene como objetivo estimar donde estará el proyectil en un tiempo posterior mediante las mediciones realizadas anteriormente, de la trayectoria del proyectil, en la función de adquisición. Existen dos factores que controlan la exigencia de precisión: el primer factor es que los cuatro haces que miden la distancia y los ángulos no pueden perder por completo a los proyectiles, ya que si no las medidas fallarán; y el segundo, que el punto central de los cuatro haces tiene que apuntarse en la dirección estimada, ya que cuanto más cerca esté el punto del proyectil, mejor será la precisión.

Para cada nuevo proyectil, se realiza una nueva tabla de puntos medidos en el procesador de datos mediante un algoritmo de predicción, calculando así, la desviación respecto a la predicción que había medido previamente en el procesador de señal. Estas desviaciones se añaden a la predicción y el procesador de señal crea un punto de medición correcto que puede ser enviado al procesador de datos.

Cuando se termina el seguimiento de la trayectoria de un proyectil, se crea un archivo con la posición del proyectil en determinados tiempos y todos los blancos de radar detectados se guardan en un registro de blancos, que forma parte de la base de datos del procesador de datos. Esta tabla se utiliza para el cálculo de la trayectoria y proporciona los siguientes datos: punto de intersección de la trayectoria con el terreno, que puede calcularse hacia delante y hacia atrás respecto al tiempo en función del modo de funcionamiento, que puede ser localización de arma o control de disparo; dirección de disparo, que se utiliza para los cálculos del punto de impacto en el modo de localización de arma; elevación y velocidad inicial, que se utilizan junto con la intensidad de la señal para realizar una primera clasificación en clases de blancos; cañón (pesado/ligero); mortero (pesado/ligero); y lanzador de cohetes (pesado/ligero) (SAAB, 2008).

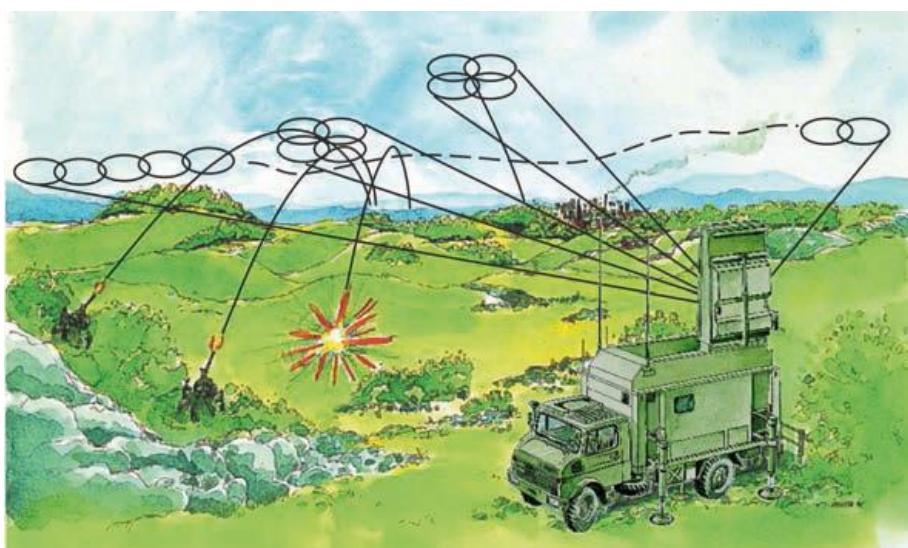


Figura 8. Seguimiento simultáneo modo hostil y amigo. Fuente (Memorial de Artillería 169/2, 2013)



Tabla 6. Características más importantes del Radar ARTHUR. Elaboración propia

Alcance máximo	40 km
Distancia ciega	Entre 2,7 y 2,9 km
Rango de frecuencia	5,4 – 5,9 GHz
Sector de búsqueda en acimut	1600º
Sector de búsqueda en elevación	148º
Capacidad	100 proyectiles/min
Seguimiento máximo	8 proyectiles simultáneamente
Velocidad de seguimiento	Entre 100 y 1400 m/s

En la Figura 8 se puede ver un seguimiento del radar en modo amigo y en modo hostil simultáneamente.

En la Tabla 6 se pueden ver las principales características cuantitativas del Radar ARTHUR como su alcance máximo, la distancia ciega, el sector de búsqueda en acimut y en elevación o la velocidad de seguimiento. La distancia ciega hace referencia a la distancia mínima medible del radar durante el tiempo de emisión.

4.1.3 FUNCIONES TÁCTICAS

El Radar ARTHUR tiene dos modos de funcionamiento, localización de armas y control de fuegos, que se eligen a través de la interfaz de usuario y su selección determina cómo se va a emplear el radar. Una de las grandes ventajas que tiene este radar es que permite trabajar simultáneamente en los dos modos tácticos, lo que le convierte en un sistema muy útil. A continuación, se explican estos dos modos de funcionamiento:

1. Localización del arma (WL)

Es la principal función táctica del ARTHUR, ya que fue diseñado para operaciones de contrabatería. Estas operaciones se basan en buscar proyectiles a lo largo del horizonte y realizar un seguimiento de los detectados durante varios segundos en la parte ascendente de la trayectoria. El origen de fuego se calcula cuando el sistema recibe un número suficiente de mediciones del proyectil, a continuación, se calcula la trayectoria y la posición del origen de fuego para poder establecer la zona de impacto y se emite una petición para contrarrestar el fuego.

Existe la posibilidad de que se detecten varios blancos únicos, es decir, distintas armas dentro de una zona ya predefinida. En este caso, se define como un blanco compuesto y se calcula el punto central.

Un efecto lateral que posee este modo de funcionamiento es que el radar puede calcular la predicción del punto de impacto de los proyectiles detectados con el objetivo de determinar donde caerán los disparos dentro de las zonas amigas.

El fin de este modo de trabajo es poder localizar las unidades artilleras hostiles que hacen fuego sobre las zonas amigas, por tanto, la necesidad de que el cálculo del punto de impacto sea preciso no es tan crítica.

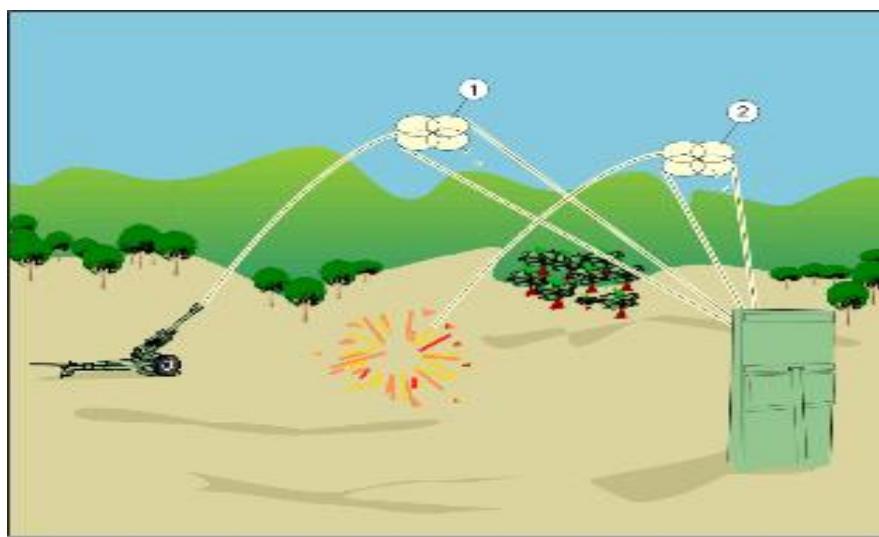


Figura 9. Modos funcionales del ARTHUR. Fuente (Saab, 2008)

2. Control de Fuego (FC)

Por otro lado, existe la función de control de fuego de la artillería propia. En este modo de funcionamiento, el radar busca por encima del horizonte y hace un seguimiento de los proyectiles en la parte final de su trayectoria para poder identificar el punto de impacto. Este punto se calcula superponiendo la trayectoria calculada en un mapa digital, en donde el punto de intersección entre la trayectoria y el terreno es dicho punto. El objetivo de este modo de trabajo es la corrección del fuego de artillería de las unidades amigas y el ajuste del tiro de dichas unidades (MADOC, 2018.a).

En la Figura 9 se puede apreciar que el número 2 corresponde con el modo de Localización del arma, mientras que el número 1 representa el modo Control de Fuego.

4.2 CAPACIDADES DE LA GUERRA ELECTRÓNICA

Anteriormente, se citaron dos maneras de clasificar la EW. La primera atiende a los efectos operativos que persiguen y se definen como “Acciones de EW”. La otra forma que hay se conoce como “Medidas de EW” y se definen como las acciones que se planean y ejecutan por el personal de EW y se centran en las actividades que desarrollan las unidades de EW. En la Tabla 3, explicada anteriormente, quedan mencionadas las formas de clasificación de la EW. En este apartado se amplía la información de los dos tipos de clasificación de la EW para, posteriormente, explicar cuáles de ellas afectan al Radar ARTHUR.

4.2.1 ACCIONES DE GUERRA ELECTRÓNICA

Las acciones de EW se clasifican en función de los efectos que persiguen y se dividen en:

1. Ataque electrónico (EA)

Su función se basa en el empleo de la energía electromagnética con fines ofensivos con el objetivo de destruir, neutralizar, negar, degradar, interrumpir o engañar las capacidades de Mando y Control (C2) del enemigo para conseguir disminuir sus oportunidades de explotar el entorno operativo. Incluye también armas de energía dirigida cuando se utilizan de forma ofensiva como las microondas. La EA se emplea también como un elemento de la función



combate de fuegos y como norma general nunca se emplea sola, sino complementada con la ED y la ES.

2. Defensa electrónica (ED)

Utiliza la energía electromagnética para proteger las operaciones propias contra los ataques electrónicos enemigos, asegurar el empleo del ESM y colaborar con la protección de la fuerza. Tiene una función fundamental en la lucha contra los artefactos explosivos improvisados y controlados por radiofrecuencia, ya que proporciona protección al personal que se acerca a zonas con este riesgo.

3. Vigilancia electrónica (ES)

Utiliza la energía electromagnética para conseguir información de la localización tanto de los medios propios como de los medios enemigos para poder reconocer la amenaza, dar protección a la fuerza y ayudar en la toma de decisiones del mando (MADOC, 2014).

4.2.2 MEDIDAS DE GUERRA ELECTRÓNICA

Las medidas de EW son las herramientas para conseguir los efectos que determina el mando de las operaciones y se pueden clasificar en tres grupos, en base, a la finalidad que tengan. A continuación, se explicarán los distintos conjuntos.

Debido a la necesidad de ampliar información en la temática de EW se llevó a cabo una entrevista con el capitán D. Juan Ramón Pérez Quintanar perteneciente al REW-31 (puede leer la entrevista en el [Anexo IV](#)). Dicha entrevista se produjo durante las PEXT y fue realizada vía telefónica debido a que este Regimiento se encuentra ubicado en Madrid. El propósito de la entrevista fue obtener información adicional sobre la EW, como por ejemplo las lecciones aprendidas que obtuvo durante los ejercicios realizados conjuntamente con el GAIL II/63 o cuáles son las perturbaciones más frecuentes empleadas frente al radar. También explicó cómo actúa una unidad de EW cuando va a perturbar al Radar ARTHUR.

1. Medidas de Apoyo Electrónico (ESM)

Estas acciones se ejecutan para buscar, interceptar e identificar las emisiones electromagnéticas y localizar su fuente con el objetivo de reconocer a la amenaza inmediata. Comprenden una importante fuente de información, ya que, por un lado, son el principal medio del escalón de mando al que apoya para realizar el control del espectro electromagnético de forma continua y, por otro lado, proporciona la información técnica necesaria para posibilitar la ejecución de otras acciones. Entre sus principales funciones se encuentran:

- Obtener información con el objetivo de cooperar al conocimiento de la situación, al reconocimiento inmediato de las amenazas y a la toma de decisiones del jefe.
- Proporcionar los datos para el planeamiento y la ejecución de acciones EPM y ECM.
- Valorar la eficacia de las actividades ECM.
- Obtener los datos para mejorar la seguridad y adoptar medidas EPM.
- Obtener datos para apoyar otros sistemas de armas.
- Alimentar las bases de datos de Guerra Electrónica.



Las actividades que se realizan dentro de las ESM son las siguientes:

- Búsqueda: exploración continua del espectro electromagnético para descubrir cualquier tipo de actividad que sirva de interés.
- Interceptación: analiza la emisión descubierta con el objetivo de extraer información para poder identificarla y explotarla.
- Identificación: estudio de los parámetros técnicos y del contenido de la señal para poder reconocer si es hostil, identificar su grado de amenaza, la alerta que representa o determinar su interés.
- Localización: determina la situación geográfica del emisor mediante el empleo de diversos medios como técnicas de triangulación.

Finalmente, todos los datos obtenidos se someten a un proceso de análisis para poder obtener información fiable. Los resultados que se obtienen son: informes de EW, que son informes sobre las actividades que se han realizado junto a sus resultados; Bases de Datos de EW (BDEW); y Órdenes de Batalla Electrónicos (OBE), que hacen referencia al conjunto de la información disponible sobre los emisores electromagnéticos de cualquier tipo en una determinada zona.

2. Contramedidas Electrónicas (ECM)

Este tipo de acciones son aquellas que, mediante el uso de la energía electromagnética, se realizan con el fin de reducir o impedir el uso eficaz del espectro electromagnético por parte del adversario. Tienen un carácter plenamente ofensivo, aunque en alguna circunstancia puede tener también un carácter defensivo o de protección. Su cometido es engañar al adversario, desorganizar sus equipos y sistemas electrónicos e impedir su uso. Una característica esencial para poder ejecutar la acción ECM es que deben estar perfectamente integradas con la operación que se va a realizar porque forman un apoyo para que el escalón al mando pueda alcanzar una finalidad táctica determinada.

Estas acciones pueden llevarse a cabo de tres formas diferentes:

- Perturbación electrónica: hace referencia a la radiación deliberada, re-radiación o reflexión de energía electromagnética para dificultar o impedir la utilización del equipo enemigo. Las interferencias que provoca pueden degradar nuestros sistemas, por lo que deben estar bien coordinadas para evitar daños en las fuerzas propias, da información al enemigo sobre nuestra posición y equipos, reduciendo así la capacidad de sorpresa y es eficaz por tiempo limitado, por lo que debe aplicarse de manera rápida en el momento y lugar oportuno. La perturbación electrónica puede ser: puntual, de barrera, de barrido, combinado y respondedor.
- Decepción electrónica: es la radiación deliberada, re-radiación, alteración, absorción o reflexión de energía electromagnética con la finalidad de manipular o falsificar las emisiones electromagnéticas para confundir, distraer o engañar al enemigo y sus sistemas. Es muy vulnerable a la detección por parte del adversario, sin embargo, si se emplea adecuadamente no se detecta con tanta facilidad, llegando a ser más eficaz en un mayor período de tiempo. La decepción electrónica se puede diferenciar en tres grupos: manipulativa, que consiste en alterar las características de las emisiones propias para provocar confusión al enemigo; simulativa, efectúa emisiones electromagnéticas destinadas a hacer creer al adversario la presencia de unidades donde no las hay; y, por último,



imitativa, que consiste en introducir radiaciones parecidas a las enemigas en sus sistemas electrónicos para hacerles llegar información falsa o crear confusión.

- Neutralización electrónica: es el uso deliberado de la energía electromagnética para dañar temporal o permanentemente los dispositivos enemigos que utilizan el espectro electromagnético para su funcionamiento. Sus efectos son inmediatos, aunque suponen un peligro para las fuerzas propias, por lo que se deben extremar las precauciones a la hora de utilizarlos. La neutralización electrónica puede realizarse empleando medios como rayos láser de alta energía, haces de partículas de alta velocidad o emisiones electromagnéticas de microondas de alta potencias, entre otros.

Finalmente, se evalúan los resultados obtenidos mediante informes de resultados en donde se valora si los objetivos que se tenían previstos se han cumplido, se comprueba el grado de conocimiento que el adversario ha podido obtener de los equipos propios y se detiene la acción en caso de haber obtenido los objetivos previstos.

3. Medidas de Protección Electrónica (EPM)

Son las medidas adoptadas para asegurar el uso eficaz del espectro electromagnético por las fuerzas propias, a pesar del uso hostil que el enemigo pueda hacer de ellas. Las medidas surgen de un estudio de las capacidades EW enemigas, de las vulnerabilidades de nuestros sistemas electrónicos y de la información que se quiera proteger. A diferencia de las acciones ESM y ECM, estas deben ser adoptadas por todas las unidades.

Se pueden clasificar en dos tipos:

1. Según el empleo que hagan las fuerzas propias con ellas: técnicas, tácticas y de procedimientos.
 - EPM de tipo técnico: se trata de dispositivos técnicos que se encuentran incorporados a los sistemas electrónicos propios para oponerse a las acciones del enemigo.
 - EPM de tipo táctico: las aplican los Jefes de Unidades tanto para desplegar los medios y sistemas electrónicos sobre el terreno, como para establecer el régimen general de empleo de los mismos.
 - EPM de procedimiento: son las normas de empleo y utilización de los medios electrónicos que deben aplicarse para reducir los efectos del adversario.
2. Según la posible detección por parte del adversario: activas y pasivas.
 - EPM activas: son medidas detectables para garantizar el uso eficaz propio del espectro electromagnético.
 - EPM pasivas: son medidas indetectables para asegurar el uso eficaz propio del espectro electromagnético.

El éxito de utilizar las acciones EPM está sujeto al conocimiento de las capacidades de EW del enemigo para detectar su presencia y emplear las medidas oportunas (MADOC, 2023.a).

4.2.3 APOYO A LAS OPERACIONES

La EW es un elemento fundamental a la hora de planear operaciones por su capacidad de aportar seguridad y libertad de acción en el empleo de las fuerzas propias. Se puede emplear en cualquier tipo de acción táctica militar y el carácter de sus acciones variará en función del nivel de mando que se trate. Se puede dividir la Guerra Electrónica en tres tipos de niveles: el nivel



estratégico, el nivel operacional y el nivel táctico. A continuación, se explican los tres niveles existentes:

1. La EW en el nivel estratégico

Este nivel se caracteriza porque es el Jefe de Estado Mayor de la Defensa (JEMAD) quien ejerce la conducción de las operaciones militares bajo la dirección del nivel político. Su principal misión consiste en recabar información para que, después de analizarla, fusionarla, evaluarla y difundirla, permita la correcta:

- Elaboración y gestión de las bases de datos de EW.
- Elaboración y actualización de los órdenes de batalla electrónico-estratégicos.
- Obtención de información para la posterior elaboración de SIGINT (Inteligencia de Señales).

2. La EW en el nivel operacional

En este tipo de operaciones hay que tener en cuenta que corresponde al más alto escalón de este nivel de conducción, por lo que se deberá emitir toda la normativa que permita una correcta actuación de los sistemas de EW mediante la ejecución de las correspondientes acciones de Guerra Electrónica a la vez que el planeamiento debe abarcar todas las fases, alternativas y operaciones futuras.

3. La EW en el nivel táctico

En este tipo de operaciones, las Grandes Unidades cuentan, o, con unidades orgánicas de EW, o con unidades predesignadas.

- En el caso de Cuerpo de Ejército, este tendrá las máximas capacidades donde su unidad de EW tendrá entidad Regimiento/Batallón. Contará también con medios de EW a bordo de helicópteros o sobre vehículos aéreos no tripulados para poder llevar a cabo acciones de EW en profundidad.
- En el caso de tener una División, se contará con una unidad de EW de entidad Compañía, que tenga la capacidad de realizar, como mínimo, acciones ESM y ECM mediante el empleo de sistemas de EW colocados sobre vehículos terrestres.
- En caso de contar con una Brigada, contará con el apoyo de EW del escalón superior que le proporcionará capacidades para realizar acciones ESM y ECM sobre plataformas con base en tierra (MADOC, 2014).

4.3 MEDIDAS DE PERTURBACIÓN Y COMO PUEDEN AFECTAR AL RADAR ARTHUR

Como se ha mencionado previamente, en el apartado “Medidas De Guerra Electrónica”, se detallan las principales medidas de perturbación que pueden ser empleadas por las unidades de Guerra Electrónica. Entre estas medidas, destacan las ECM, las cuales se realizan con el fin de reducir o impedir el uso eficaz del espectro electromagnético por parte del adversario. Por lo tanto, son las medidas que emplean las unidades de EW contra los Radares ARTHUR con el propósito de inutilizarlos. Estas ECM se implementan a través de tres modalidades distintas: perturbación electrónica, decepción electrónica y neutralización electrónica (MADOC, 2009).



4.3.1 TIPOS DE PERTURBACIÓN

A continuación, se explican únicamente los tipos de ECM que pueden afectar al radar y sus principales subtipos:

1. Perturbación electrónica

Su propósito principal es ocultar los ecos verdaderos en el radar mediante la transmisión de ruido. Para ello hay diferentes técnicas y a continuación se explican las más frecuentes:

- Perturbación de punto o puntual (*Spot Jamming*): esta técnica consiste en radiar una señal de ruido de banda estrecha. Esto permite confinar toda la potencia disponible del perturbador en un pequeño margen de frecuencias, lo que implica una perturbación de alta potencia. Su principal contramedida es que se requiere conocer de forma exacta la frecuencia de transmisión del radar al que se va a atacar. Otros inconvenientes son que solo puede perturbar a un radar a la vez cuando lo habitual es que un Sistema de Armas cuente con varios y que esa perturbación es ineficaz contra radares con agilidad de frecuencias.
- Perturbación de barrera: consiste en radiar ruido con un gran ancho de banda, es decir, la potencia disponible con la que cuenta el equipo se reparte en un ancho margen de frecuencias. Esto implica que la densidad de potencia para cada frecuencia es mucho menor que la que se conseguía con la perturbación puntual y que la distancia de transparencia del radar aumenta. Esta técnica tiene la ventaja de perturbar a varios radares a la vez y a radares con agilidad de frecuencia.
- Perturbación de barrido: esta técnica trata de aprovechar las ventajas de la perturbación de punto y la de barrera conjuntamente. Esto consiste en que este tipo de perturbadores transmiten una señal de perturbación de banda estrecha, como en la perturbación de punto, a lo largo de una banda de frecuencias amplias, igual que en la perturbación de barrera. La frecuencia central se desplaza dentro de un ancho de banda de interés con velocidades que van variando de lenta a muy rápida. Como principal ventaja es que afectan a todos los radares que tienen alta densidad de potencia, pero el inconveniente es que la perturbación no es continua.

2. Decepción electrónica

Su cometido es engañar al enemigo en la interceptación de la información recibida a través de sus equipos electrónicos. La decepción se puede clasificar en tres tipos diferentes que son seguimiento en distancia, seguimiento en velocidad y seguimiento angular. Cada tipo se divide a la vez en subtipos, no obstante, solo se explicarán los más importantes de cada uno:

- Robo de la compuerta de distancia (RGPO-*Range Gate Pull Off*): esta técnica consiste en enviar pulsos de mayor amplitud que los ecos que se sitúan en la puerta de distancia, que es el intervalo de tiempo donde se prevé que llegará el pulso del eco, para que esta se enganche en ellos. A continuación, se desplazan en distancia haciendo que se pierda el seguimiento.
- Robo de la compuerta de velocidad (VGPO-*Velocity Gate Pull-Off*): este tipo de seguimiento utiliza la velocidad radial que se mide a partir del efecto *Doppler* entre la señal transmitida y la recibida. Su forma de utilización se basa en capturar la puerta de velocidad de los radares y cesar la contramedida, provocando así la rotura del enganche.



- Ganancia inversa: es una técnica para decepción angular contra sistemas de seguimiento radar y su funcionamiento consiste en retransmitir los pulsos recibidos con una modulación de amplitud por un tono de la misma frecuencia, pero desfasada 180º de manera que lo dirija en la dirección opuesta.

3. Neutralización electrónica

Se entiende como el uso deliberado de la energía electromagnética con el fin de dañar temporal o permanentemente los dispositivos enemigos y su empleo se basa en el uso de armas de energía dirigida (*DEW-Directed Energy Weapons*). Estas armas son aquellas que tienen la capacidad de destruir o neutralizar los objetivos contra los que se aplica a través de un haz de radiación o de energía de partículas atómicas o subatómicas. Podemos diferenciar tres tipos de armas y, por tanto, tres maneras diferentes de atacar al radar:

- Láser de Alta Potencia (HEL): se trata de un haz de luz muy concentrado, coherente y de una sola frecuencia que tiene como objetivo producir daños térmicos sobre los objetos donde se aplica. Los efectos que produce son, mediante el deslumbramiento, poder saturar los sistemas electro-ópticos del radar y a través de la potencia que emite, provocar daños estructurales en el objetivo debido al incremento de temperatura que se produce. El factor más delimitante para usar el HEL es la dificultad que tiene para propagarse correctamente a través de las nubes, lluvia... por lo que tiene que ser utilizado en un entorno favorable.
- Microondas de Alta Potencia (HPM): este tipo de armas basa su funcionamiento en la introducción de un pulso de elevada potencia en su objetivo. Sus principales efectos son quemar los componentes electrónicos del radar, detonar los aparatos electroexplosivos como los depósitos de combustible y generar averías lanzando falsas señales. La radiofrecuencia puede penetrar en los sistemas a través de la puerta delantera, que son las antenas, o a través de la puerta trasera, que hace referencia a enchufes. Este tipo de microondas se suele aplicar para perturbar los sistemas de control electrónico en ordenadores destinados a mando y control de la unidad enemiga, contra municiones inteligentes o contra sistemas de radar entre otros.
- Armas de haz de partículas cargadas (CPBW): a través de este tipo de armas se crea un haz de partículas atómicas o subatómicas, como electrones, protones, neutrones o iones pesados, y se acelera casi hasta alcanzar la velocidad de la luz mediante medios de equipos aceleradores. Cuando la energía cinética del haz de electrones es transferida al blanco, el efecto que se produce es una pequeña explosión en un orificio de la estructura, por lo que es imposible poder protegerse solo con blindaje. Aparte de esa pequeña explosión, otro efecto que tienen los CPBW es que pueden producir la muerte por radiación a la tripulación que se encuentre cerca del radar. Su principal ventaja es que puede ser utilizado en prácticamente cualquier entorno, tanto lluvia como niebla, no obstante, no podrá ser empleado durante tormentas eléctricas.



Tabla 7. Tipos y subtipos de Contramedidas Electrónicas. Elaboración propia

Perturbación electrónica	Perturbación de punto	Perturbación de barrera	Perturbación de barrido
Decepción electrónica	Robo de la compuerta de distancia (RGPO)	Robo de la compuerta de velocidad (VGPO)	Ganancia inversa
Neutralización electrónica	Láser de alta potencia (HEL)	Microondas de alta potencia (HPM)	Haces de partículas cargadas (CPBW)

En la Tabla 7 se resume brevemente los tipos de Contramedidas Electrónicas que existen en el ET y, estos a su vez, se clasifican en los principales subtipos que afectan al radar. En dicha tabla se remarca en color gris el único subtipo de ECM que no está disponible aún, ya que se encuentra en desarrollo.

La entrevista al sargento D. Wylian Alexi Sánchez García (puede consultar la entrevista en el [Anexo V](#)) tuvo lugar durante el mes de septiembre en el desarrollo de las PEXT dentro de las instalaciones del GAIL II/63. El Sgto. cuenta con una experiencia de siete años como operador del Radar ARTHUR, además de haber participado en diversos ejercicios. Aunque no participó en el Ejercicio Tarántula I/21 (EX TARÁNTULA I/21), sí que lo hizo en las maniobras Gamma Azor en colaboración con el REW-31 y en otros ejercicios que tuvieron lugar en Letonia. Consistió en una entrevista en un ambiente distendido con el propósito de obtener una perspectiva en primera persona sobre la experiencia del Sgto. en estos ejercicios, conocer los resultados obtenidos y cómo reaccionaron ante los ataques de las unidades de EW. Además, ha proporcionado información detallada sobre el radar complementando la lectura de los manuales. Por último, compartió su opinión sobre las principales medidas que debería implementar el grupo para evitar ser perturbado por la EW enemiga.

4.3.2 EJERCICIO TARÁNTULA I/21

Tras definir brevemente los tipos de ECM y los principales subtipos que pueden afectar al Radar ARTHUR, se expondrá cuáles de estos son verdaderamente los que influyen en él. Para ello se contará con los informes que se realizaron tanto por parte del GAIL II/63 como por parte del REW-31 durante los dos ejercicios que han realizado conjuntamente para poner en práctica estas medidas y comprobar, si efectivamente, los medios con los que cuenta el Regimiento son capaces de perturbar al Radar para llegar a dejarlo inoperativo o, por el contrario, no llegan a ser idóneos.

El primer ejercicio que realizaron el GAIL y el REW-31 conjuntamente para poner en práctica estas medidas fue el EX TARÁNTULA I/21 realizado en el CENAD “San Gregorio” durante el período del 18 de noviembre al 22 de noviembre de 2021. La finalidad de este ejercicio era realizar la ejecución de ESM y ECM en los diferentes medios de A/O (Adquisición de Objetivos) integrados en la Unidad de Localización y Adquisición de Objetivos (ULAO) (puede consultar su composición en el [Anexo VI](#)) desplegada, así como promover el conocimiento e interoperabilidad



de las capacidades y procedimientos en lo relativo al espectro electromagnético. Los tipos de ECM empleados en este ejercicio fueron la perturbación de punto y la perturbación de barrido. El análisis que obtuvieron del EX TARÁNTULA I/21 viene reflejado en un documento confidencial que no se puede compartir, no obstante, las principales deducciones que se obtuvieron fueron las siguientes:

- El REW-31 tuvo la capacidad de localizar al Radar ARTHUR a través de las ondas electromagnéticas que produce cuando está radiando. Este proceso se lleva a cabo a través de las capacidades de la ESM, que operan en un amplio espectro de frecuencias, abarcando desde 0,5 hasta 18 GHz. Dicho rango facilita la detección de cualquier objeto que emita dentro de esa área de frecuencias. A pesar de que tuvieron la habilidad de determinar su posición, los tiempos para la localización eran superiores a treinta minutos en todos los casos, lo que permitía al radar continuar emitiendo sin necesidad de cambiar su ubicación durante ese tiempo.
- Las unidades de EW lograron perturbar las comunicaciones tanto del radar como del HALO en sus mallas de fonía y de datos a través de las radios PR4G que llevan incorporadas. No obstante, no se identificaron perturbaciones en el Elemento de Adquisición de Objetivos (EAO), nombre que recibe el Puesto de Mando del GAIL. Esta acción generó desconcierto tanto entre el personal que operaba en el radar como entre los presentes en el EAO. Esto se debió a que enviaron mensajes por radio en un intento de obtener información sobre las posiciones de las unidades de Artillería amigas desplegadas en ese momento con el propósito de poder atacarlas.
- A pesar de poder interferir en las comunicaciones, el REW-31 no tuvo la capacidad de perturbar la antena del radar, lo que significa que no pudieron aplicar ninguna de las ECM. La razón principal de esto radicó en que las frecuencias de funcionamiento del Radar ARTHUR, que oscilan entre 5,4 y 5,9 GHz, resultaron ser inferiores a las frecuencias manejadas por las unidades de EW. Los equipos utilizados por el REW-31 operan en un rango de frecuencias de entre 6 y 18 GHz, por lo que nunca lograron perturbar al radar.

Por lo tanto, las conclusiones que obtuvieron después de este ejercicio fueron, por un lado que, en lo referente a las ESM, los Radares ARTHUR son visibles debido a su radiación y, por tanto, es posible detectar su posición. Por otro lado, con respecto a las ECM, debido a que las capacidades de perturbación de los radares son inferiores a las de las unidades de EW que desplegaron en esas maniobras, fue imposible perturbar la antena del ARTHUR. No obstante, en cuanto a las comunicaciones queda demostrado que el REW-31 ha conseguido perturbar parte de las radios de la ULAO, entre las que se encuentra la radio del radar. Estas interferencias, si bien no afectan al funcionamiento del radar, sí permiten a las unidades de EW escuchar todas las conversaciones de las radios perturbadas y, además, tener la capacidad de comunicarse a través de ellas con el fin de crear confusión (Vacas, 2021).

4.3.3 MANIOBRAS GAMMA AZOR

Durante el transcurso de las PEXT se llevó a cabo un segundo ejercicio, realizado por el GAIL II/63 y el REW-31, que también tenía como finalidad volver a poner en práctica las mismas medidas ECM, la perturbación de punto y la perturbación de barrido, pero en esta ocasión, con los mismos medios actualizados por parte de las unidades de EW. El ejercicio realizado se llevó a cabo durante las maniobras Gamma Azor realizadas en el CENAD "San Gregorio" en las fechas entre el 9 de octubre y el 17 de octubre de 2023. Estas maniobras fueron realizadas por la Brigada "Galicia" VII y, tanto el GAIL II/63 como el REW-31 iban a proporcionar apoyo a los distintos



ejercicios que se iban a realizar. El propósito de este ejercicio era nuevamente poner en práctica las ESM y ECM, esta vez en el Radar ARTHUR y en el Radar AN/TPQ-36, y evaluar si había habido cambios en comparación con el ejercicio anterior, el EX TARÁNTULA I/21. Al igual que en las anteriores maniobras, los resultados obtenidos han sido reflejados en un documento confidencial, por lo que solo se expondrán alguno de los hitos obtenidos:

- Al igual que en el ejercicio Tarántula I/21, el REW-31 demostró la capacidad de localizar tanto al Radar ARTHUR como al AN/TPQ-36 cuando ambos se encontraban emitiendo. Las unidades de EW operaban en el mismo rango de frecuencias que en el ejercicio anterior, que iba desde 0,5 GHz hasta 18 GHz, lo que facilitó en gran medida la determinación de sus posiciones, dado que ambos radares emiten siempre dentro de ese espectro de frecuencias. A diferencia de las anteriores maniobras, durante las Gamma Azor, los tiempos de localización se redujeron significativamente, consiguiendo localizar al ARTHUR en diez minutos aproximadamente. Esto requería que el radar cambiara de asentamiento con mayor frecuencia y rapidez.
- En lo que respecta a las Telecomunicaciones, las unidades del REW-31 lograron nuevamente interferir en las mallas de fonía y de datos tanto del Radar ARTHUR, como del AN/TPQ-36 y del sistema HALO a través de las radios PR4G que llevaban instaladas en su interior. Sin embargo, en esta ocasión tampoco consiguieron perturbar las mallas del EAO debido a su ubicación distante con respecto a los radares. Por lo tanto, los medios de EW no tenían la capacidad de alcanzar esa distancia.
- En cuanto a las No-Telecomunicaciones, las unidades del REW-31 enfrentaron una vez más la incapacidad de perturbar la antena del Radar ARTHUR debido a la misma limitación que se encontraron en el EX TARÁNTULA I/21: las frecuencias en las que trabajaban las unidades de EW diferían de las utilizadas por el ARTHUR. No obstante, con el Radar AN/TPQ-36 se realizaron pruebas con distintas frecuencias, y en este caso, tuvieron éxito para perturbarlo, lo que resultó en que el sistema reconociera que estaba siendo objeto de un ataque.

Por consiguiente, las conclusiones obtenidas tras las maniobras Gamma Azore fueron muy similares a las que se extrajeron durante el EX TARÁNTULA I/21. En lo referente a las medidas de apoyo, tanto los Radares ARTHUR como el AN/TPQ-36 son detectables debido a su emisión de señales, lo que permite conocer su ubicación, aunque en esta ocasión se ha requerido menos tiempo para lograr ser localizados. Por otro lado, en cuanto a las contramedidas electrónicas, se ha comprobado de nuevo que los ARTHUR no pueden ser perturbados debido a que operan en frecuencias diferentes a las utilizadas por los medios de EW en estas maniobras. Sin embargo, el AN/TPQ-36 sí ha podido ser interferido, lo que implica que las unidades de EW tienen la capacidad de dejarlo inoperativo. Con relación a las Telecomunicaciones, queda comprobado nuevamente que el REW-31 tiene la capacidad de perturbar las radios de los equipos pasivos y activos de la ULAO, lo que les otorga la capacidad de escuchar las conversaciones que se realizan a través de estas radios y comunicarse a través de ellas.

4.4 PROPUESTAS PARA COMBATIR LA GUERRA ELECTRÓNICA ENEMIGA

En este último apartado, se presentan las propuestas que se han planteado a lo largo de la realización de las PEXT con el propósito de que el Radar ARTHUR pueda combatir la Guerra Electrónica enemiga. Estas dos propuestas son el Plan EMCON (Control de Emisiones) y el Modelo de Acción. A pesar de que los ejercicios se llevaron a cabo en colaboración con el REW-



31, que es una unidad de EW del Ejército de Tierra, las soluciones propuestas son aplicables en enfrentamientos con unidades de EW de otros países enemigos. Esto se debe a que, aunque los medios empleados son distintos, se presupone que las medidas con las que las unidades de EW atacan son muy similares a las de España. Por otra parte, teniendo en cuenta que las unidades de EW no han sido capaces de perturbar al Radar ARTHUR, las propuestas que a continuación se explican están destinadas al supuesto de que sí se consiguiera perturbar el radar.

4.4.1 PLAN EMCON

El término EMCON hace referencia a un control selectivo de la energía electromagnética o acústica emitida con el objetivo de reducir al mínimo la detección y explotación de la información obtenida por el enemigo, además de disminuir la interferencia electromagnética con el fin de mejorar la eficacia de los sensores amigos (MADOC, 2023.b).

Por otro lado, cuando se hace referencia al Plan EMCON, se entiende como un documento que viene integrado dentro de una Orden de Operaciones (OPORD). En este documento se detallan los diferentes modos de funcionamiento que debe adoptar el Radar ARTHUR cuando existan situaciones en las que se encuentre cerca del enemigo. Este plan se llevó a cabo tras diversos ejercicios realizados por el GAIL II/63 en colaboración con el REW-31, con el propósito de establecer estos modos. El objetivo principal de la elaboración de este plan es poder implementarlo en conflictos potenciales en los que el ARTHUR podría verse enfrentado y perturbado por la EW enemiga, como puede ser el ejemplo del radar que se encuentra desplegado en Letonia.

En caso de conflicto, el Plan EMCON puede ser activado, modificado o cancelado en función de la OPORD y de la Orden Complementaria (FRAGO); por lo que no tiene un formato preestablecido, sino que se conforma ad hoc, expresión empleada para referirse a acciones o palabras que se llevan a cabo con un fin específico, en función de las necesidades de la misión. La autorización de radiar no depende del personal que se encuentra en el radar ni del Jefe de la ULAO, sino que depende de quien manda la operación, ya que solo se radiaría en la más estricta necesidad por ser las emisiones fáciles de interceptar.

INDICADOR DEL ESTADO DE RADIACION		INDICADOR COMSEC	
S	SILENCIO	L	PLAN DE LENGUAJE/TEXTO
X	SILENCIO TOTAL	X	ENCRYPTADO
E	EMISIONES MINIMAS		
K	COMUNICACIONES MINIMAS		
U	NINGUNA RESTRICCIÓN		
M	SIN RESTRICCIÓN EN LAS COMUNICACIONES		
T	MINIMA POTENCIA DE EMISION		
R	RADARES		

Figura 10. Restricciones de las emisiones. Fuente (GAIL II/63)



UNIDADES	SHF					ACUSTIC	
	AN/TPQ-37	AN/TPQ-36	RDR. COAAASL	RdV. ROLAND	MOTORES	SEÑALES	
	I 1 2-3 4-5	I 1 2-3 4-5	I 1 2-3 4-5	I 1 2-3 4-5	I 1 2-3 4-5	I 1 2-3 4-5	I 1 2-3 4-5
I/22 MIBde CP					E E U U	E E U U	
BG MZ IRABIA					E E U U	E E U U	
BG MZ BUBAL					E E U U	E E U U	
BG MZ OLIANA					E E U U	E E U U	
BG AC SAU					E E U U	E E U U	
LACG	S S R R	S S R R			E E U U	E E U U	
FA Bn A/D			R R R R	R R R R	E E U U	E E U U	
Eng Bn					E E U U	E E U U	
BS Bn IMBde I/22					E E U U	E E U U	
ATAM					E E U U	E E U U	

Figura 11. Matriz de sincronización de distintos radares. Fuente (GAIL II/63)

El Plan EMCN se estructura en diversos apartados en función de la finalidad que persigan. A continuación, se explican los más destacados: restricciones de las emisiones, matriz de sincronización de los radares y modos de empleo del Radar ARTHUR.

1. Restricciones de las emisiones:

En la Figura 10 se muestran las diferentes restricciones relacionadas con las emisiones que pueden ser implementadas según la naturaleza de la maniobra que se vaya a realizar. En otras palabras, de acuerdo al estado en el que se encuentre una operación, el jefe de esta puede dictaminar qué restricciones hay que tener en cuenta para evitar ser detectados por el enemigo.

2. Matriz de sincronización de los radares:

En la Figura 11 se observa un ejemplo de una matriz de sincronización empleada en un ejercicio de fuego real en el que se involucraban unidades de ACA con el Radar AN/TPQ-36, unidades de AAA con los radares COOASL y ROLAND, y unidades americanas con el Radar AN/TPQ-37 operando simultáneamente. La letra y los números ubicados en la parte superior de la matriz corresponden con:

- I: momento inicial de la maniobra.
- 1: primer salto de la maniobra.
- 2-3: segundo y tercer salto de la maniobra.
- 4-5: cuarto y quinto salto de la maniobra.

Se denomina “salto” a las fases que se emplean en las pequeñas unidades.

Se puede contemplar que en la columna “SHF” se enumeran los distintos radares que participaron en dicho ejercicio, y directamente debajo de cada radar aparece la letra “R” o la letra “S”. Según la Figura 9, estas letras corresponden a “Radares” y “Silencio” respectivamente. Esto señala cuándo los radares tienen permitido emitir durante las distintas fases de la maniobra y cuándo deben permanecer en silencio. La Figura 11 proporciona un ejemplo claro de cómo estarían integrados los radares en un ejercicio conjunto con otras unidades.



MODOS			MODO 3	MODO 2	MODO 4	MODO 5	MODO 7	MODO 6	MODO 8	MODO 9	MODO 10
Configuración		20 km				30 km				40 km	
FIRE CONTROL // WEAPON LOCATION	SENSOR	HIGH CAPACITY	HIGH ACCURACY		HIGH CAPACITY	HIGH ACCURACY		HIGH CAPACITY		HIGH ACCURACY	
	SET	A									
		B									
	PRF	CHANGE	STAGGER	CHANGE	STAGGER	CHANGE	STAGGER	CHANGE	STAGGER	CHANGE	CHANGE
	INTENSIDAD	OFF									
		LOW									
	HIGH										

Figura 12. Modos de empleo del Radar ARTHUR. Fuente (GAIL II/63)

3. Modos de empleo del Radar ARTHUR:

En último lugar, la Figura 12 muestra los diversos modos en los que puede operar el Radar ARTHUR, en función de la configuración que tenga establecida en cada momento. Estas modificaciones pueden variar según la distancia a la que se encuentre del enemigo, si está en alta precisión o en alta capacidad o, según la intensidad con la que esté emitiendo, entre otros factores. Estos modos de funcionamiento se establecen de acuerdo a la unidad contra la que el ARTHUR esté operando. Cada modo está vinculado a una frecuencia de emisión específica, que se determina en función de los factores previamente mencionados. Sin embargo, debido a que estas frecuencias son confidenciales, no se pueden revelar.

Por consiguiente, el Plan EMCON se erige como un recurso extremadamente valioso y eficiente, desarrollado a raíz de numerosas pruebas y ejercicios llevados a cabo por el GAIL y el REW-31 en la preparación para enfrentar unidades de Guerra Electrónica enemigas. Debido a que el Radar ARTHUR no ha experimentado perturbaciones por parte de ningún medio de EW español, su capacidad de defensa se está poniendo a prueba con medios de EW de otros ejércitos aliados para evaluar su efectividad durante la misión eFP desarrollada en Letonia.

4.4.2 MODELO DE ACCIÓN

El Modelo de Acción es un documento utilizado exclusivamente por Artillería y se define como una hipótesis de planeamiento que especifica la conducta a seguir en situaciones normales con el objetivo de maximizar la eficacia propia y minimizar la exposición a la contrabatería enemiga. Además, permite conocer una estimación de la cantidad de fuego disponible durante un período específico de la operación (MADOC, 2023.b).

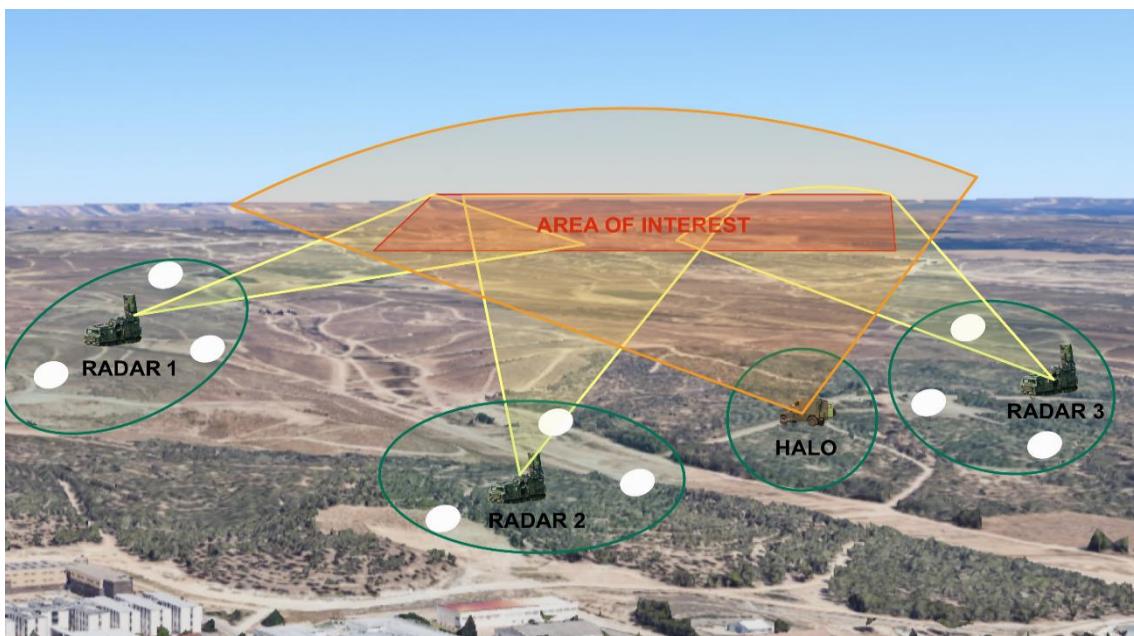


Figura 13. Posible despliegue de los Radares ARTHUR y sistema HALO. Elaboración propia

El Modelo de Acción de radiaciones ideal que puede establecer el GAIL II/63 es contar con 3 radares ARTHUR y un sistema HALO. La razón de esta disposición es que el sistema HALO permanezca constantemente escuchando hasta obtener una posible orientación de las bocas de fuego enemigas. A continuación, un Radar ARTHUR comenzará a radiar en la dirección proporcionada por el HALO para localizar de manera exacta y precisa el punto de origen del fuego. El motivo de contar con tres radares es debido a que son fácilmente localizables, por lo que el primer radar emitirá durante tres minutos, que es el tiempo establecido por el grupo para mantener el radar emitiendo. Un segundo ARTHUR estará colocado en una posición alejada del primero y preparado para comenzar a radiar cuando este termine. El tercero ARTHUR estará cambiando de asentamiento por si hubiera sido localizado mientras estaba emitiendo. Cuando el primer radar termina de radiar, se hará una rotación y este cambiará su posición a otra preestablecida. El segundo radar comenzará a radiar, mientras que el tercero se prepara para emitir. Los tres radares irán rotando sucesivamente en ese orden hasta que finalice la localización de bocas de fuego enemigas.

En la Figura 13 se presenta un posible despliegue de los tres Radares ARTHUR y del sistema HALO sobre un área de interés enemigo. En la figura se ha marcado en color verde la zona de desplazamiento de cada radar ARTHUR y el área de despliegue del HALO que, aunque no cambie de posición, cuenta con varios elementos dispersos; en color amarillo el sector de radiación de los ARTHUR; en color naranja la zona de escucha del HALO, aunque hay que destacar que este sistema tiene un radio de escucha de 360°; y en color rojo la zona de interés de la ULAO y donde estarían localizadas las piezas de Artillería enemigas. Los puntos blancos representan los distintos asentamientos de cada radar dentro de su área de movimiento.

Por tanto, con el fin de prevenir que los radares sean fácilmente detectados por el enemigo, y como consecuencia, puedan quedar inoperativos, se plantean dos posibles soluciones para evitar esta situación. La primera de ellas es el Plan EMCON, donde se establecen unas frecuencias específicas para un funcionamiento correcto del radar en función del adversario al que se enfrente. La segunda es el Modelo de Acción, donde viene explicado principalmente la disposición que deben tomar los elementos activos y pasivos que lo conforman para evitar ser descubiertos por parte del enemigo.



5 CONCLUSIONES

Después de concluir este proyecto y para finalizar, es factible extraer una serie de conclusiones con relación a los objetivos específicos que se plantearon al inicio de este estudio y, que a lo largo de la memoria se han desarrollado. Cada objetivo se evalúa según el grado de cumplimiento que se detalla a continuación.

En primer lugar, en lo que respecta al Radar ARTHUR, se ha podido elaborar un estudio exhaustivo de sus principales características, su principio de funcionamiento y sus funciones tácticas. Esta investigación se basó en la lectura de distintos manuales sobre el Radar proporcionados por el personal de la unidad y en presentaciones realizadas por el GAIL II/63. Además, a través de las exposiciones del material y de la participación en las maniobras realizadas con el grupo, se tuvo la oportunidad de conocer en primera persona como opera el ARTHUR en un ejercicio de fuego real. También, se ha contado con la experiencia del Sgto. Sánchez para enriquecer el conocimiento sobre el radar.

En lo que respecta a la comparación entre el Radar ARTHUR y el Radar AN/TPQ-36, se ha logrado establecer una comparativa precisa y completa. Esto fue posible debido a la disponibilidad de los manuales de ambos radares, lo que permitió obtener información de sus principales datos técnicos y realizar una comparación detallada de sus características. También se contó con la participación del grupo en el desarrollo de la encuesta, donde se pudo conocer la opinión del personal con relación a estos dos radares. Esta información permitió sacar una comparativa más acertada con la realidad, llegando a la conclusión de que el personal del grupo prefiere trabajar con el ARTHUR debido a sus ventajas en comparación con el AN/TPQ-36.

En segundo lugar, se ha adquirido un profundo entendimiento de las capacidades de la EW, sus acciones, sus medidas y el apoyo que ofrece a los distintos tipos de operaciones. Este conocimiento se ha obtenido a través de los manuales proporcionados por el REW-31. La entrevista con el Cap. Quintanar ha sido especialmente esclarecedora, proporcionando aclaraciones sobre un tema previamente desconocido y compartiendo concluir cómo afectan las perturbaciones de las unidades de EW españolas frente al ARTHUR.

En tercer lugar, con respecto a cómo los diferentes tipos de perturbaciones de la EW pueden afectar al Radar ARTHUR, se ha adquirido conocimientos sobre los tipos y subtipos de las ECM más influyentes en el radar. Durante las maniobras realizadas en el mes de octubre, en las que participaron el GAIL II/63 y el REW-31, no se consiguió perturbar al Radar ARTHUR, sin embargo, sí que se logró interferir al Radar AN/TPQ-36 y esto posibilitó la comprobación de estas ECM. Cabe destacar que el Radar ARTHUR desplegado en Letonia se encuentra en fase de pruebas con los países allí presentes para intentar ser perturbado.

Finalmente, en lo que respecta a las propuestas planteadas para poder combatir las perturbaciones de la EW, estas se han establecido en función de las dos maniobras llevadas a cabo en conjunto por el GAIL II/63 y el REW-31, el EX TARÁNTULA I/21 y las Gamma Azor. En ambos casos, no se logró perturbar la antena del radar, pero sí sus transmisiones. Por lo tanto, las dos soluciones dadas se fundamentan en la suposición de que la antena pudiera ser radiada, aunque no se ha comprobado que dificulten los intentos de perturbación por parte de las unidades de EW. No obstante, lo que sí ha quedado demostrado es que estas propuestas han contribuido a que el ARTHUR sea menos detectable.



En resumen, como conclusión general con relación al objetivo principal, este estudio se centra en analizar el impacto de las medidas de EW enemigas en la capacidad de objetivos del Radar ARTHUR y en proponer una serie de soluciones para prevenir posibles interferencias y garantizar que el radar continúe proporcionando apoyo a las unidades de ACA.

5.1 LÍNEAS FUTURAS

Después de evaluar la situación actual con relación a como las medidas de perturbación de la EW afectan al Radar ARTHUR, resulta apropiado identificar las posibles líneas de investigación que puedan contribuir a futuras mejoras.

Sería esencial realizar un análisis de las limitaciones del Radar ARTHUR en la detección de tiros de proyectiles de pequeño tamaño o con trayectorias muy cortas y tensas. Asimismo, habría que estudiar el corto alcance que tiene el radar, considerando su clasificación como Radar C/B. De esta forma, se podrían determinar las capacidades del radar, para tenerlas en cuenta en el desarrollo del planeamiento y, en caso necesario, poder compensar sus deficiencias con otros sistemas.

En lo que concierne a otras características del Radar ARTHUR, se requeriría una mejora en el grupo electrógeno que lleva incorporado en su interior. En la actualidad, la capacidad del grupo electrógeno interno del radar resulta insuficiente, lo que conlleva una dependencia del grupo electrógeno externo. Esto se traduce en un consumo considerable de combustible para mantener operativos dos grupos electrógenos de manera simultánea. Además, implica la necesidad de contar con un conductor con carnet tipo C+E para llevar remolques, lo cual presenta un desafío adicional al buscar personas con este carnet, en comparación con el carnet tipo C.

Una alternativa adicional para mejorar las capacidades del GAIL II/63 sería realizar un estudio y una optimización de la logística necesaria para comprobar si es necesario un aumento de la inversión. Esto se debe a la tendencia del Radar ARTHUR a sufrir averías con cierta frecuencia. Esta inversión permitiría mantener a los ARTHUR siempre operativos, evitando así la necesidad de recurrir al AN/TPQ-36, que se encontraba en desuso.

Finalmente, sería interesante, como línea de investigación futura, fortalecer los medios disponibles para el REW-31 con el fin de mejorar su capacidad para perturbar al Radar ARTHUR. Este enfoque podría contribuir a la elaboración de nuevas propuestas en las que el radar pueda defenderse de estas radiaciones y, en caso necesario, poder utilizarlas contra los países enemigos.



6 BIBLIOGRAFÍA

- Añez, J., 2023. *Economía360*. [En línea] Available at: <https://www.economia360.org/analisis-comparativo/> [Último acceso: 24 Octubre 2023].
- Carrasco, B., 2022. *infodefensa.com*. [En línea] Available at: <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/3514064/asi-radar-arthur-ejercito-espanol-desplegado-letonia-junto-obuses-m109> [Último acceso: 27 Septiembre 2023].
- CIS, 2022. *CIS*. [En línea] Available at: https://www.cis.es/cis/opencms/ES/1_encuestas/ComoSeHacen/queesunaencuesta.html [Último acceso: 2 Octubre 2023].
- Coll Morales, F., 2020. *economipedia*. [En línea] Available at: <https://economipedia.com/definiciones/informe.html#:~:text=Un%20informe%20es%20un%20documento%20que%20tiene%20como,y%20hechos%20verificados%20y%20analizados%20por%20su%20autor> [Último acceso: 24 Octubre 2023].
- Defensa, M. d., 2022. *Ministerio de Defensa*. [En línea] Available at: <https://www.defensa.gob.es/gabinete/notasPrensa/2022/03/DGC-220301-letonia.html> [Último acceso: 3 Octubre 2023].
- Ejército, R., 2017. *Revista Ejército*. [En línea] Available at: https://ejercito.defensa.gob.es/Galerias/multimedia/revista-ejercito/2017/911/accesible/Revista_Ejercito_Accesible.pdf [Último acceso: 12 Octubre 2023].
- GAIL, I., 2022. *Presentaciones teóricas*. León: s.n.
- Gil, M. B., 2023. *Ventajas y desventajas top*. [En línea] Available at: <https://ventajasydesventajastop.com/definicion-de-ventajas-y-desventajas/> [Último acceso: 24 Octubre 2023].
- González, J. I. F., 2013. *Memorial de Artillería*. [En línea] Available at: https://bibliotecavirtual.defensa.gob.es/BVMDefensa/es/catalogo_imagenes/grupo.do?path=145_073 [Último acceso: 18 Septiembre 2023].
- J.L.B., 2022. *León noticias*. [En línea] Available at: <https://www.leonoticias.com/alfoz/sanandresdelrabanedo/militares-ferraldespliegan-20220926142044-nt.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.leonoticias.com%2Falfoz%2Fsanandresdelrabanedo%2Fmilitares-ferraldespliegan-20220926142044-nt.html> [Último acceso: 3 Octubre 2023].

MADOC, 2008. *MI6-304. Sirvientes del pelotón radar AN/TPQ-36*. Granada: MINISDEF.

MADOC, 2009. *ACART-VA-05*. Granada: MINISDEF.



- MADOC, 2011. *PD1-001. Empleo de las Fuerzas Terrestres*. Granada: MINISDEF.
- MADOC, 2014. *PD3-312. Guerra Electrónica*. Granada: MINISDEF.
- MADOC, 2016. *PD4-301. Empleo táctico del Grupo de Artillería de Información y Localización*. Granada: MINISDEF.
- MADOC, 2017. *PD4-504. Empleo de las unidades de EW desplegables*. Granada: MINISDEF.
- MADOC, 2018.a. *MI-308. Radar ARTHUR*. Granada: MINISDEF.
- MADOC, 2018.b. *MI-309. Sistema de adquisición por el sonido HALO*. GRANADA: MINISDEF.
- MADOC, 2023.a. *MP-501. Procedimiento operativos de Guerra Electrónica*. Granada: MINISDEF.
- MADOC, 2023.b. *PR-01. Glosario de términos militares*. Granada: MINISDEF.
- Maíz, J., 2018. *defensa.com*. [En línea]
Available at: <https://www.defensa.com/en-abierto/cuatro-decadas-grandes-cambios-fuerzas-armadas-espanolas>
[Último acceso: 3 Octubre 2023].
- Noël, S., 2022. *Radio France Internationale*. [En línea]
Available at: <https://www.rfi.fr/es/europa/20220629-la-guerra-actual-es-una-guerra-de-artiller%C3%ADa-dice-a-rfi-ministro-de-exteriores-ucraniano>
[Último acceso: 3 Octubre 2023].
- Passolas, F., 2023. *The Political Room*. [En línea]
Available at: <https://thepoliticalroom.com/el-papel-de-la-artilleria-en-la-contraofensiva-ucraniana>
[Último acceso: 3 Octubre 2023].
- REW-31, 2022. *Introducción a la EW: Sistema de Guerra Electrónica GESTA*. Segovia: s.n.
- SAAB, 2008. *ARTHUR es manual del operador*. s.l.:s.n.
- Significados, 2020. *Significados*. [En línea]
Available at: <https://www.significados.com/entrevista/>
[Último acceso: 2 Octubre 2023].
- Tierra, E. d., 2018. *Ejército de Tierra*. [En línea]
Available at: https://ejercito.defensa.gob.es/reportajes/2018/62_mision_letonia.html
[Último acceso: 3 Octubre 2023].
- Tierra, E. d., 2021. *Ejército de Tierra*. [En línea]
Available at: <https://ejercito.defensa.gob.es/unidades/Leon/ralca63/Historial/index.html>
[Último acceso: 21 Septiembre 2023].
- Tierra, E. d., 2021. *Ejército de Tierra*. [En línea]
Available at: <https://ejercito.defensa.gob.es/unidades/Leon/maca/Organizacion/funciones.html>
[Último acceso: 3 Octubre 2023].



UCO, 2020. UCO. [En línea] at:
Available
https://udc.gal/export/sites/udc/emprego/orientacion/Entrevista_Tipos_cast.pdf_2063069294.pdf
[Último acceso: 2 Octubre 2023].

Vacas, C., 2021. *Informe final de Ejercicio Tarántula I/21*, León: s.n.



ANEXOS

ANEXO I. ENCUADRAMIENTO Y ESTRUCTURA ORGÁNICA DEL GAIL II/63.

En este anexo se muestra, en primer lugar, el encuadramiento del GAIL II/63 dentro del Ejército de Tierra y, a continuación, su orgánica.

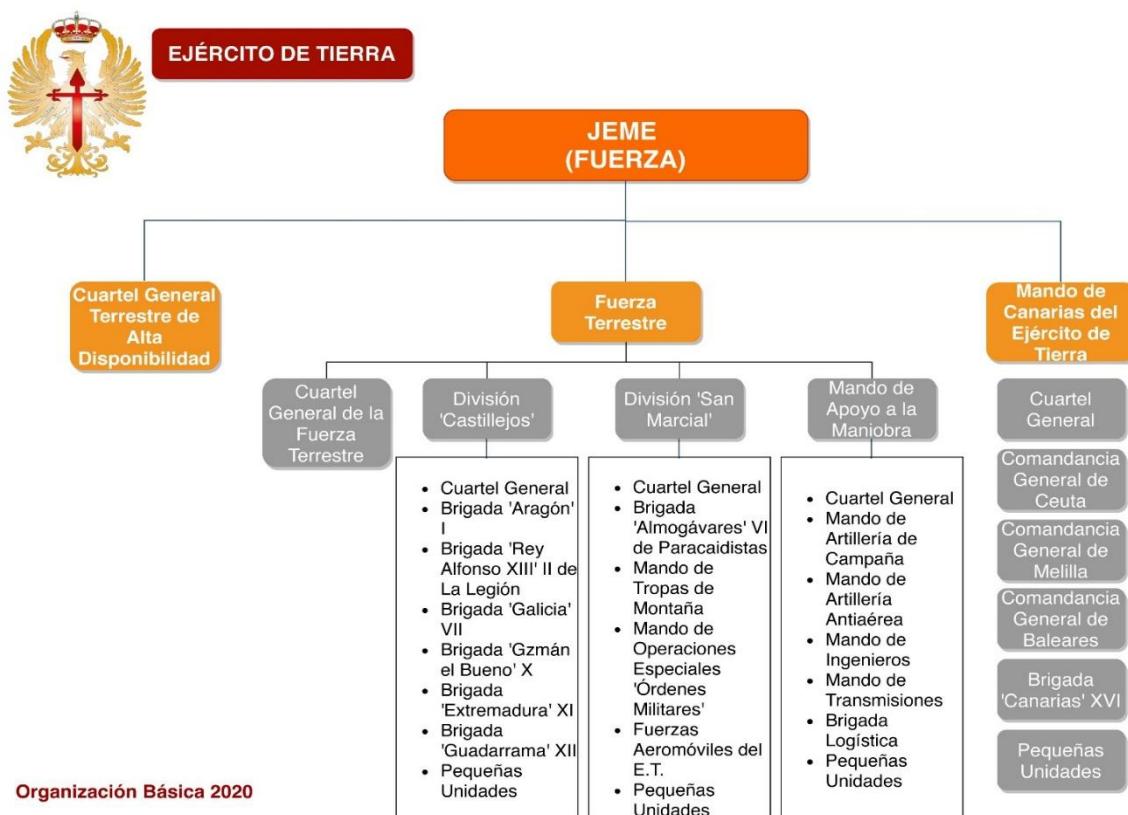


Figura 14. Organización del Ejército de Tierra. Fuente (MINISDEF, 2020)

Dentro de la Fuerza, el GAIL se encuentra dentro del Mando de Apoyo a la Maniobra, en concreto, en el Mando de Artillería de Campaña (ver en la Figura 14).

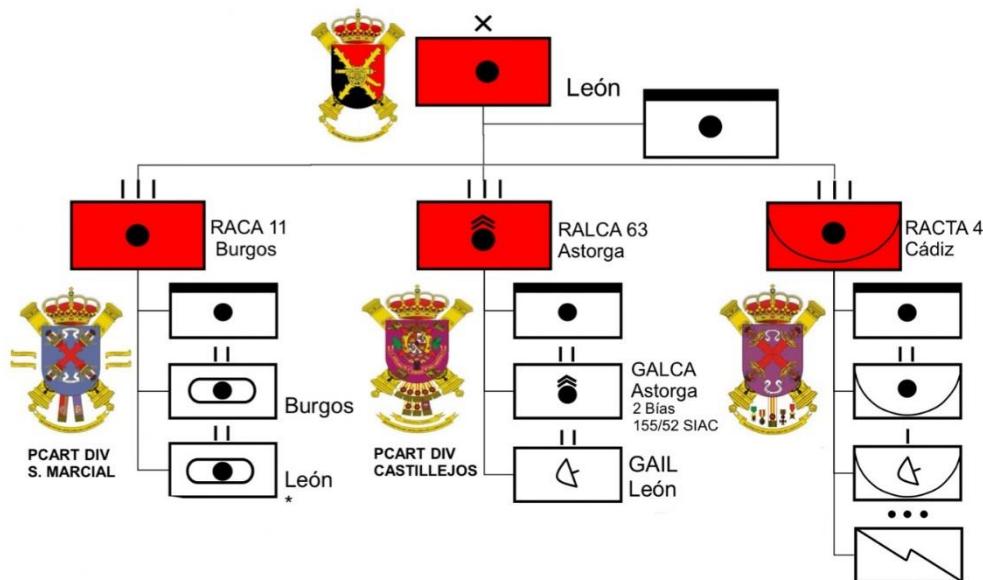


Figura 15. Mando de Artillería de Campaña. Fuente (Táctica y Logística III, 2021)

El Mando de Artillería de Campaña se divide en tres Regimientos: EL RACA 11 en Burgos, el RALCA 63 en Astorga y el Regimiento de Artillería de Costa N.º 4 (RACTA 4) en Cádiz. El GAIL se encuentra dentro de RALCA 63 (ver en la Figura 15).

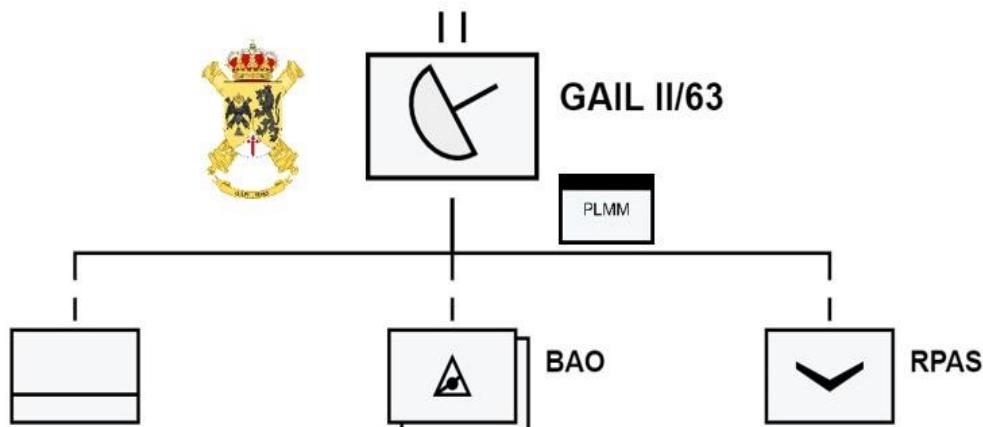


Figura 16. Estructura orgánica del GAIL. Elaboración propia



En cuanto a la orgánica del GAIL II/63, está dividido en cuatro baterías: dos BAOs, una batería RPAS y una batería de Plana Mayor y Servicios (ver en la Figura 16).

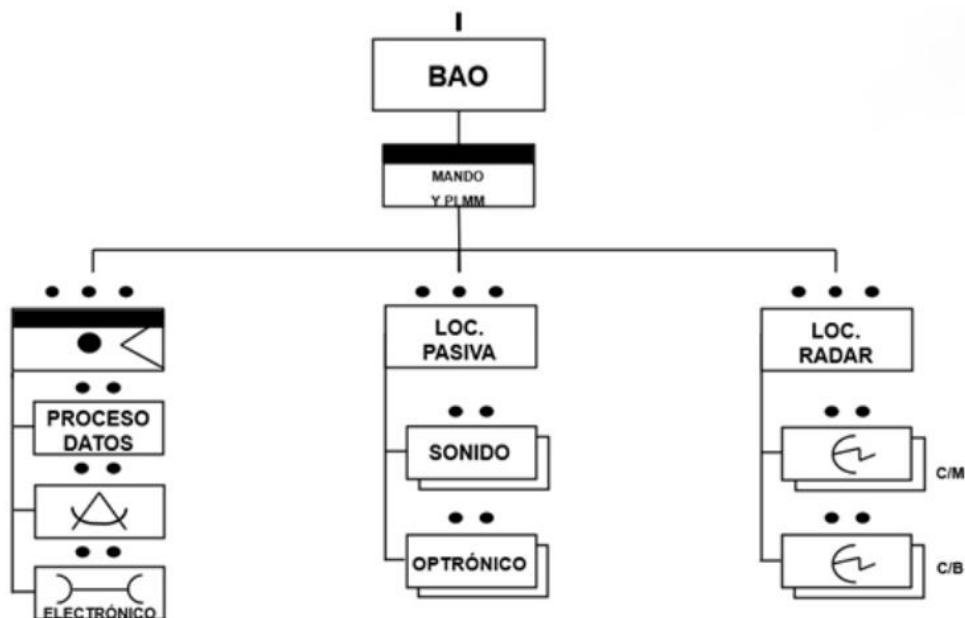


Figura 17. Estructura orgánica de una BAO. Fuente (Cap. Geijo)

Una BAO es la Unidad fundamental para la localización, A/O de la Artillería de Campaña y para la obtención de la información. Establece la fuente fundamental de objetivos de contrabatería para la ACA durante el combate (González, 2013). Está compuesta por tres secciones: una sección de Plana de Mando, una sección de localización pasiva y una sección de localización radar (ver en la Figura 17).



ANEXO II. COMPOSICIÓN DEL RADAR ARTHUR.

En este anexo se va a explicar con más detalle los principales componentes que forman al Radar ARTHUR.



Figura 18. Contenedor acoplado a un camión todo terreno. Fuente (Saab, 2008)

1. Contenedor: (Figura 18) tiene unas dimensiones de un contenedor estándar ISO (*International Organization for Standardization*) y se coloca mediante una estructura de adaptación en un camión todo terreno IVECO 72/26. Tiene un peso, totalmente equipado, de 4.000 kg y cuenta con protección NBQ en su interior.
2. Sistema de navegación inercial (INS): el radar cuenta con un sistema de navegación inercial que calcula la posición y la dirección cuando está en movimiento, pero su principal función es cuando la antena está elevada, que calcula entonces la antena en acimut, elevación y cabeceo.
3. Control del operador y sistema de pantalla: consta de una pantalla plana de color, teclado y seguidor de bola (*trackball*) También dispone de una unidad de control remoto portátil con pantalla plana y teclado que permite operar el sistema en la distancia.
4. Iluminación: el radar cuenta con iluminación normal y con iluminación de guerra.
5. Sistema NBQ: el contenedor proporciona protección NBQ y cuenta con un sistema de filtración NBQ, válvula de sobrepresión y de seguridad y control remoto NBQ.
6. Vehículo: el radar ARTHUR va montado sobre un camión todo terreno IVECO 72/26.

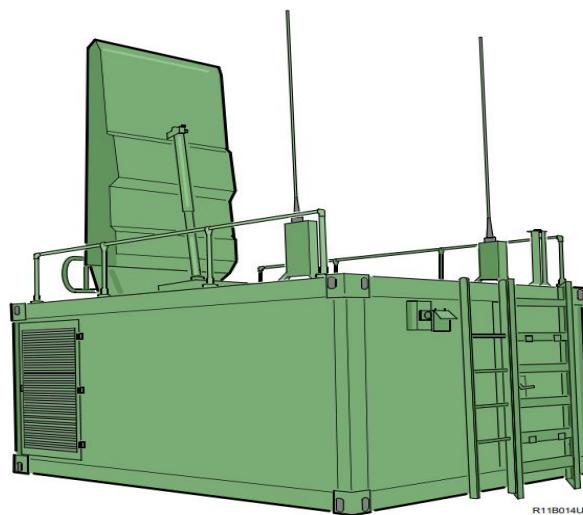


Figura 19. Radar de localización de arma. Fuente (Saab, 2008)



Figura 20. Vista general de interior. Fuente (Saab, 2008)

7. Radar de localización de arma (WLR): (Figura 19) el radar está compuesto por la unidad transmisora-receptora (Corresponde al número 5 en la Figura 20), la unidad de señal y datos, la unidad de antena, la unidad de plato giratorio y la estación de trabajo del operador (Corresponde al número 2 en la Figura 20). El radar se puede controlar desde la estación de trabajo del operador y también a través de un control remoto (Corresponde al número 1 en la Figura 20) conectado al sistema.
8. Sistema de alimentación: el radar está alimentado a través de un grupo eléctrico interno de gasoil (Corresponde al número 6 en la Figura 20) con una potencia de 26,6 kW que cuenta con dos baterías de 12 VDC (Voltaje de Corriente Continua), un depósito de combustible de 90 L y dos baterías auxiliares de 28 VDC. El ARTHUR tiene la posibilidad de conectarse a una fuente de alimentación externa de 400 VAC (Voltaje de Corriente Alterna).



9. Sistema de climatización: cuenta con un sistema de climatización tanto para los equipos como para el personal. Está compuesto por una Unidad de Aire Acondicionado (ACU) (Corresponde al número 4 en la Figura 20), una Unidad de Refrigeración Electrónica (ECU), una Unidad de Refrigeración por Líquido (LCU) y un termostato.
10. Sistema de comunicaciones: se encarga de proporcionar comunicaciones internas y externas. Las transmisiones internas (Corresponde al número 3 en la Figura 20) van integradas dentro del sistema WISPR (*Wideband Intercom & Secure Packet Radio*) mediante el que se puede realizar la comunicación por fonía, datos y la intercomunicación entre el contenedor y la cabina. Las transmisiones externas proporcionan comunicaciones de datos entre el ARTHUR y las unidades externas mediante dos radios PR4G V3, que son propias del sistema (MADOC, 2018.a).



ANEXO III. ENCUESTA SOBRE LOS RADARES ARTHUR Y AN/TPQ-36.

Durante el desarrollo de las PEXT en el GAIL II/63, se llevó a cabo una encuesta dirigida a todo el personal que ha tenido experiencia con uno o ambos radares. El propósito principal por el que se realizó esta encuesta fue recopilar información sobre las opiniones del personal del grupo con relación al Radar ARTHUR y al Radar AN/TPQ-36 y poder obtener, así, conclusiones sobre el uso del Radar ARTHUR dentro del grupo.

Apellidos y empleo *

Texto de respuesta corta

Puesto táctico que desempeña *

Texto de respuesta corta

¿Ha trabajado con alguno de los dos radares? *

- Sí, con los dos
- Sólo con el ARTHUR
- Sólo con el AN/TPQ-36
- Con ninguno

¿Con cuál prefiere trabajar?

- AN/TPQ-36
- Radar ARTHUR

¿Por qué lo prefiere?

Texto de respuesta larga

¿Cuál es su opinión sobre el ARTHUR?

Texto de respuesta larga

Figura 21. Preguntas realizadas al personal de GAIL II/63

La encuesta (Figura 21) se ha diseñado utilizando la plataforma *Google Forms* y consta de preguntas con respuesta múltiple y preguntas abiertas con respuesta corta. Además de recoger las opiniones del personal, se solicitó información sobre los puestos tácticos que ocupaban dentro del grupo. Esto permitió tener un mejor conocimiento de la calidad de las respuestas y asegurarse de que la encuesta llegara a quienes han trabajado con los radares. Era fundamental confirmar si los usuarios preferían emplear el Radar ARTHUR y, en caso afirmativo, conocer las razones de esa preferencia.



A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la encuesta a través de las distintas gráficas:

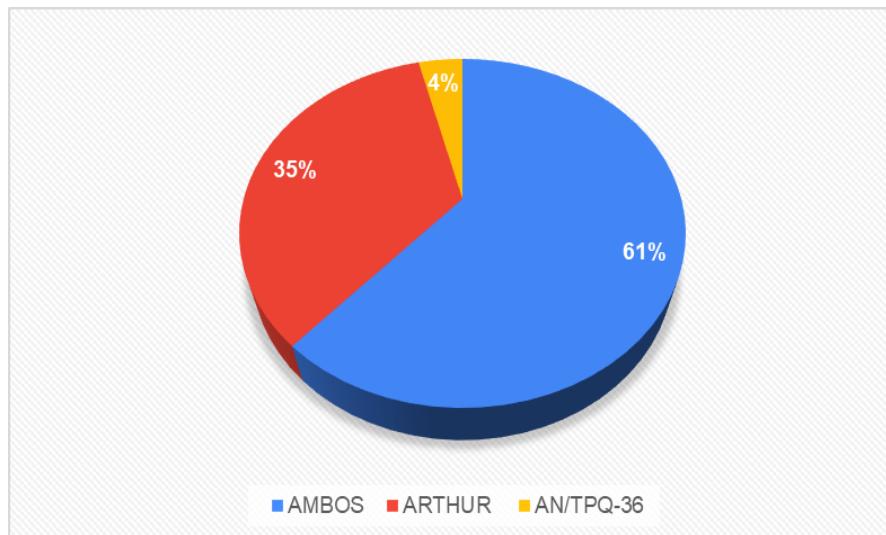


Figura 22. Gráfico del porcentaje del personal que refleja el uso de ambos radares. Elaboración propia

En la Figura 22, se puede observar la proporción de individuos que han tenido experiencia con cada uno de los radares. Según los datos reflejados, la mayoría de los encuestados han trabajado con ambos tipos de radares, lo que ofrece una información muy valiosa para poder sacar conclusiones sobre las mejoras reales que ofrece el ARTHUR.

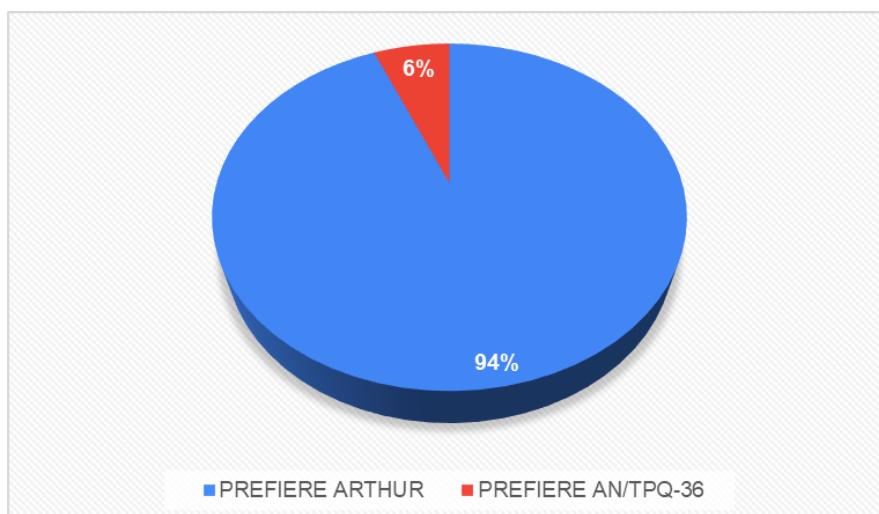


Figura 23. Gráfico del porcentaje de personas que prefieren cada radar. Elaboración propia



En la Figura 23 se visualiza que, entre aquellos encuestados que indicaron haber tenido experiencia con ambos radares en la pregunta anterior, un 94% manifestó su preferencia por el Radar ARTHUR. Para comprender las razones que hay detrás de esta elección, se planteó otra pregunta adicional sobre porque optaron por el radar seleccionado.

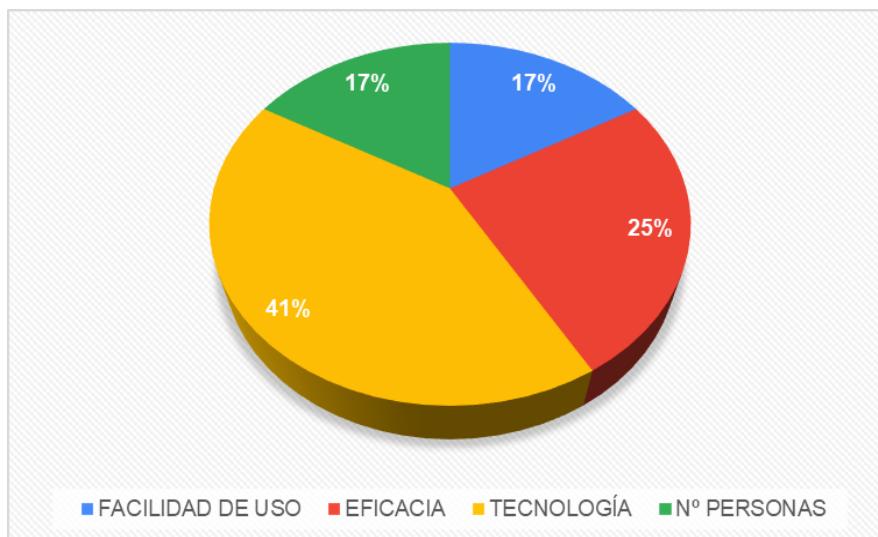


Figura 24. Gráfico sobre las preferencias de cada usuario respecto al Radar ARTHUR. Elaboración propia

La Figura 24 presenta los principales atributos seleccionados por el personal participante en la encuesta para justificar su preferencia por el radar escogido. En este caso, solo se han exhibido las cualidades relacionadas con el Radar ARTHUR, dado que los encuestados que optaron por el Radar AN/TPQ-36 expresaron opiniones similares de la razón de su elección. En este caso, el motivo fue el costo reducido que se necesita para mantener el AN/TPQ-36 en funcionamiento.

En lo que respecta al ARTHUR, las cualidades que se mencionaron con mayor frecuencia incluyeron la facilidad de uso a la hora de trabajar con él, su eficacia, lo que evita que se produzcan tantos fallos, la tecnología avanzada que incorpora y el reducido número de personal que se requiere para poder operar con el radar.

Finalmente, se formuló una pregunta acerca de la opinión del grupo con relación al Radar ARTHUR. A continuación, se presentan las distintas opiniones a través de una tabla.



Tabla 1. Opiniones del personal del GAIL II/63 sobre el Radar ARTHUR. Elaboración propia

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none">- Radar muy fiable.- Eficacia de localización muy exacta.- Trabajo muy intuitivo y fácil de manejar.- Una gran evolución frente al AN/TPQ-36.- Precisión exacta para corregir el tiro amigo.- Es fundamental en el proceso ISTAR.- Necesario poco personal para manejarlo.	<ul style="list-style-type: none">- Gran dependencia del grupo electrógeno.- Gran consumo del grupo electrógeno.- Alcance limitado para ser un Radar Contra Batería (C/B).- Necesidad de una nueva actualización para conseguir un mayor alcance.- Objetivo prioritario para el enemigo.- El camión no está blindado.

En la Tabla 1 se han extraído los principales comentarios del personal del GAIL II/63 con relación al Radar ARTHUR y a su funcionamiento en base, a su experiencia trabajando con él en supuestos tácticos. Aunque la mayoría de las opiniones fueron positivas y concordaban con los datos técnicos, los más relevantes fueron los aspectos a mejorar: la gran dependencia que tiene el ARTHUR del grupo electrógeno, que supone un gran gasto para el grupo por el elevado consumo de gasoil; y que el radar supone un objetivo prioritario para las unidades adversarias al representar una gran pérdida para las unidades amigas.



ANEXO IV. ENTREVISTA CON EL CAPITÁN D. JUAN RAMÓN PÉREZ QUINTANAR.

El REW-31 está ubicado en el Acuartelamiento “Zarco del Valle”, en El Pardo, Madrid. Este regimiento depende del Mando de Transmisiones junto al Cuartel General y otro regimiento, el Regimiento de Transmisiones Nº 21 (RT-21) ubicado en la Base “General Almirante de Marines”, Valencia, y en la Base “Cid Campeador”, en Castrillo del Val, Burgos. El REW-31 se trata del único regimiento de EW táctico de España y opera a nivel Cuerpo de Ejército.

En cuanto a su estructura orgánica, el REW-31 cuenta con: Mando y Plana Mayor de Mando del Regimiento; el Batallón de Guerra Electrónica I/31 (BEW I/31) que a su vez está formado por seis compañías que son la Compañía de Plana Mayor de Mando, la Compañía de Plana Mayor y Servicios, la Compañía de Mando y Control, la Compañía de Guerra Electrónica de Telecomunicaciones, la Compañía de Guerra Electrónica de no-Telecomunicaciones y la Compañía de Ciberdefensa; y, por otro lado, está la Unidad de Guerra Electrónica (UEW II/31), que tiene entidad Compañía, ya que es mandada por un Comandante, y está formada por la Plana Mayor de Mando, la Compañía de Plana Mayor y Servicios y la Compañía de Guerra Electrónica Ligera.

Con el fin de obtener más información sobre el funcionamiento de la Guerra Electrónica y sobre cómo actúa frente al Radar ARTHUR en este caso, se ha recurrido a contactar con el capitán D. Juan Ramón Pérez Quintanar, capitán de Transmisiones, Jefe de la Compañía de Guerra Electrónica de no-Telecomunicaciones (Cía. EW NTLC BEW I/31).

- **¿Qué es el Sistema GESTA?**

El sistema Gesta (Sistema de Guerra Electrónica Táctico) es un programa que dota al Ejército de Tierra de Sistemas de Guerra Electrónica Tácticos con la capacidad de captar, interceptar, escuchar, localizar y perturbar todo tipo de señales en las bandas de HF, VHF y SHF (*Super High Frequency*). En el REW-31, se establece de la siguiente manera: hay un Centro de Control y Evaluación de Guerra Electrónica (CCEEW) formado por Inteligencia, Operaciones, Logística, Evaluación y Mando, es decir, un Puesto de Mando convencional. Este CP está conectado a la Estación de Evaluación de Guerra Electrónica (EDC) que a su vez se conecta con TLC y NTLC, que son las dos unidades principales. Por un lado, se encuentra la TLC, que cuenta con dos estaciones sensoras denominadas Estaciones Bases (EB/TLC) y tienen la misión de interceptar y localizar las emisiones de radio de las bandas HF, VHF y SHF que se encuentran dentro de su alcance. Con esta información, hacen una bisección y lo envían a la Estación de Control (EC/TLC) que realiza un filtrado de todas las emisiones recibidas y se las envía al EDC, que se lo manda a su vez al CCEEW. Por otro lado, se encuentra el NTLC, que también cuenta con dos unidades sensoras EB/NTLC y aparte, con una Estación Perturbadora (EP SHF) que tiene la peculiaridad de que es también una estación sensora y, por tanto, puede hacerse una triangulación para localizar de manera exacta la posición de los radares. La función de la Estación Perturbadora es que puede hacer una perturbación dirigida donde captura un pulso, lo modifica y lo vuelve a enviar al radar (esto también se conoce como robo de puerta). Igual que el TLC, la EC/NTLC filtra toda la información recibida y se la manda al EDC que lo envía al CCEEW.

- **¿Cuál es la diferencia entre TLC y NTLC?**

TLC hace referencia a Telecomunicaciones y afecta a las radios principalmente. Se encarga de estudiar el interior de la onda y la modulación y, su contenido es independiente de la frecuencia a la que opera. Una onda de telecomunicación envía tanto voz como datos y lo más



importante es el código que crea dicha onda.

NTLC significa No-Telecomunicaciones y afecta en su mayoría a radares. Estudia la forma de la onda, sus rebotes y su forma de propagarse. Se trata de una imagen.

- **¿Cómo actúa una unidad de EW?**

Para que una unidad de EW pueda intervenir en un Radar ARTHUR, es fundamental que el radar lo localice como objetivo, de aquí surge el problema y es que el ARTHUR solo localiza como objetivos a las unidades que realizan tiro, ya que detecta los proyectiles. La principal solución es que la unidad de EW se sitúe cerca de una unidad de tiro enemiga y se ponga en modo sensora, es decir, ponerse en modo escucha. Como el radar estará radiando para enganchar los proyectiles, será fácil localizarlo. Una vez ocurra esto, la unidad de EW roba un pulso del radar, lo modifica y lo vuelve a enviar causando confusión en el radar. En un primer barrido el radar se confundirá, pero en un segundo barrido, lo discrimina, ya que es falso, por lo que la unidad de EW tendrá que mandar numerosos pulsos seguidos para que el radar lo considere un proyectil.

- **¿Qué perturbaciones puede causar una unidad de EW?**

Una unidad de EW puede perturbar a un radar de dos formas distintas.

La primera es mediante capacidades ESM que son las de búsqueda, intercepción, identificación y localización. Para poder llevar a cabo este tipo de medidas, se utilizan dos tipos de sensores: los de exploración, que se encienden siempre y son omnidireccionales, y los de análisis, que se encienden cuando el radar está localizado para tener una mayor resolución y precisión y son direccionales. Estas capacidades tienen un margen de frecuencia para localizar de entre 0,5 – 18 GHZ.

La segunda manera es mediante capacidades ECM que son la perturbación, la decepción y la neutralización. Dentro de la perturbación se pueden diferenciar entre las BJAM (*Band Jamming*), que son ruidos con un gran ancho de banda y se utilizan cuando no se sabe la frecuencia en la que emite el radar, y las SJAM (*Specific Jamming*), que son ruidos con un pequeño ancho de banda y son más precisas porque conoce la frecuencia en la que trabaja el radar. Dentro de los tipos de engaños, que solo afectan a las No-Telecomunicaciones y su finalidad es modificar la señal robando un pulso para engañar al radar, se encuentran el engaño de distancia, el engaño en ángulo y el engaño en velocidad, HDC (*High Density Confussion*) y HDT (*High Duty Technique*) aunque están en fase de prueba.

- **¿Cuál es la diferencia entre ESM y ECM?**

La principal diferencia entre ellos es que las medidas ESM son pasivas, se dedican a escuchar y no son detectables, mientras que las medidas ECM son activas, emiten energía y son fáciles de detectar.

- **¿Cuál cree que es la distancia máxima a la que deben encontrarse el radar y la unidad de EW para que siga siendo detectable?**

La distancia varía en función de las condiciones en las que se encuentren en cada momento y depende de diversos factores como el terreno, la altura y los obstáculos. Si las condiciones son ideales, es decir, la unidad se encuentra a la máxima altura posible y se evitan todos los obstáculos, se pueden encontrar a una distancia de 40 kilómetros. Pero si se encuentran en terreno con orografía y montañas, la distancia se reduciría a unos 15 – 20 kilómetros.



- **¿Qué soluciones cree que puede adoptar el radar para no ser detectados?**

La única manera de que no sea detectado es que no emita, pero se pueden tomar ciertas medidas para ser mínimamente detectables. Entre estas medidas están las de determinar franjas horarias o adiestrar al personal, entre otras.

- **¿Qué lecciones aprendidas ha sacado de los ejercicios realizados con el GAIL?**

La principal lección es que el Radar ARTHUR trabaja con frecuencias por debajo de las que trabaja las unidades de EW. La unidad de EW emite a una frecuencia superior a 6 GHz en su unidad perturbadora, pero la sensora trabaja entre 0,5 -18 GHz, por tanto, no han conseguido perturbar al radar, pero sí han conseguido localizarlo y meterse en sus comunicaciones para escuchar las conversaciones.



ANEXO V. ENTREVISTA CON EL SARGENTO D. WILYAN ALEXI SÁNCHEZ GARCÍA.

La entrevista se desarrolló en un ambiente distendido dentro de las instalaciones del GAIL II/63 y el objetivo es conocer en primera persona la opinión del sargento D. Wilyan Alexi Sánchez García, sargento encuadrado en la 1^a batería del GAIL II/63 y con una experiencia de siete años en el Radar ARTHUR. Ha estado de misión en Letonia con el radar y también ha participado en ejercicios junto al REW-31 tanto en territorio nacional como en el extranjero. Entre los contenidos a tratar destacan: los problemas que han tenido con el REW-31, el funcionamiento del radar y las medidas que se deberían tomar.

El sargento explica que durante los ejercicios realizados junto al REW-31, estos no fueron capaces de perturbar al radar, aunque sí pudieron localizarlo e interferir en sus comunicaciones. El principal motivo de no poder perturbar al radar es que en la actualidad no cuentan con los medios necesarios para alcanzar las frecuencias en las que trabaja. En estos ejercicios también se hicieron distintas pruebas, moviendo al radar de sitio, cambiando el modo en el que trabaja... A raíz de estos ejercicios se elabora el plan EMCN que consiste en un documento donde vienen los modos de trabajos en los que tiene que trabajar el radar cuando hay enemigo cerca, por ejemplo, determina a qué distancia, en qué precisión y capacidad tiene que encontrarse el radar en cada momento de la operación para emitir lo menos posible.

Por otro lado, hace hincapié en el funcionamiento del radar, donde se centra, en primer lugar, en el funcionamiento de los cuatro haces. Consiste en que una vez el radar empieza a radiar, salen los cuatro haces y en un determinado momento confluyen los cuatro, dejando un punto en común, que hace referencia al momento en el que engancha al proyectil, a partir de ese momento, el radar recrea la trayectoria que va a seguir el proyectil. En la figura 3 se muestra cómo se hace una medición con los cuatro haces. En segundo lugar, explica en qué se basa para elegir entre Baja (*Low*) y Alta (*High*). *High* se pone cuando se quiere incidir en una zona en concreto. En un primer momento, el radar hace un barrido de todo, en el segundo barrido, incide en los sectores en donde pone *High*, en el tercero vuelve a barrer todo y así sucesivamente. En el caso de poner un sector en *Off*, el radar deja de radiar en esa zona en todos los barridos. Por último, explica que colocación deben tener dos radares si se encuentran juntos y expone que los radares nunca pueden estar enfrentados entre ellos, pero sí que pueden estar uno al lado de otro y cada uno con un sector distinto.

Por último, cuenta cuáles considera que serían las medidas que debería tomar el Radar ARTHUR, teniendo en cuenta que una vez que se enciende, es muy fácil de detectar, ya que siempre está radiando. También destaca que la forma ideal de trabajar sería con tres radares, mientras uno radia, otro se encuentra preparado para emitir y el tercero se encuentra en movimiento. Entre estas medidas destacan: el Modelo de Acción, que serían los distintos cambios de posiciones que puede ocupar el radar una vez termine de emitir; poner el modo Alternancia, que se basa en ir cambiando el tiempo que emite y la amplitud de la onda de manera automática para que dificulte a las unidades de EW capturar al radar; apoyarse en el HALO, ya que al ser un elemento pasivo no puede ser detectado; evitar llevar el móvil encima, puesto que puede ser detectable; un buen enmascaramiento de los radares; y la instrucción individual.



ANEXO VI. COMPOSICIÓN DE UNA ULAO

Una ULAO es una organización operativa de carácter eventual, de composición variable, bajo un mando único y estructurada para el cumplimiento de una misión o cometido limitado, tanto en tiempo como en espacio. Esta misión se realiza mediante el empleo de diversos medios de adquisición de objetivo de dotación en el GAIL.

La unidad mínima de generación para organizar un ULAO consta de los siguientes elementos:

- Un equipo de Mando y Control formado por:
 - Jefe de la ULAO (JEULAO).
 - Elemento de adquisición de objetivos.
 - Equipo de meteorología.
 - Un pelotón de localización radar, que incluye un equipo de mantenimiento electrónico radar.
 - Un pelotón de localización pasiva, formado por un HALO y un equipo topográfico.
 - Una unidad RPAS, formada por una unidad de vuelo y una unidad de tierra.

Esta unidad mínima hace referencia al modelo más completo de medios y personal con el que se dispone de las máximas capacidades de apoyo al proceso de *Targeting*. En función de la unidad a la que se vaya a apoyar, este modelo puede variar.

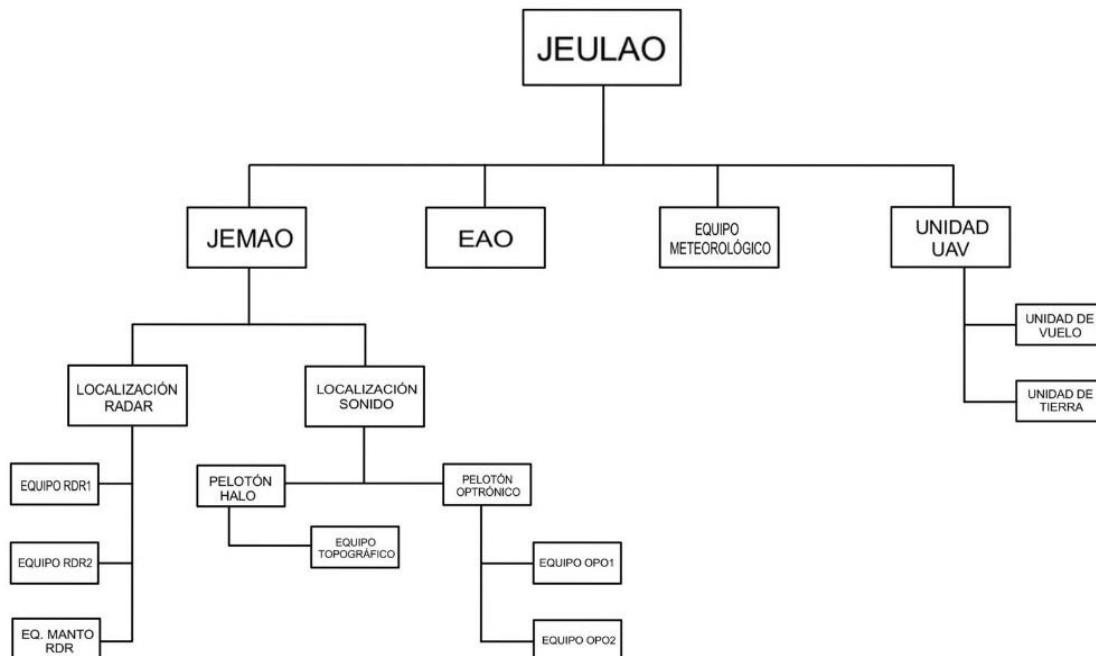


Figura 25. Composición de una ULAO. Elaboración propia

En la Figura 25 se muestra la composición de una ULAO con todos los medios y material del que disponen.