



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Influencia del BOMET en la precisión de las localizaciones al operar el Radar ARTHUR.

Autor

CAC D. Alejandro Fuerte López

Directores

Director académico: D. Jorge Martín Morales

Director militar: Cap. D. David Geijo Marcos

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

Año 2020

Repositorio de la Universidad de Zaragoza – Zagan

<http://zagan.unizar.es>

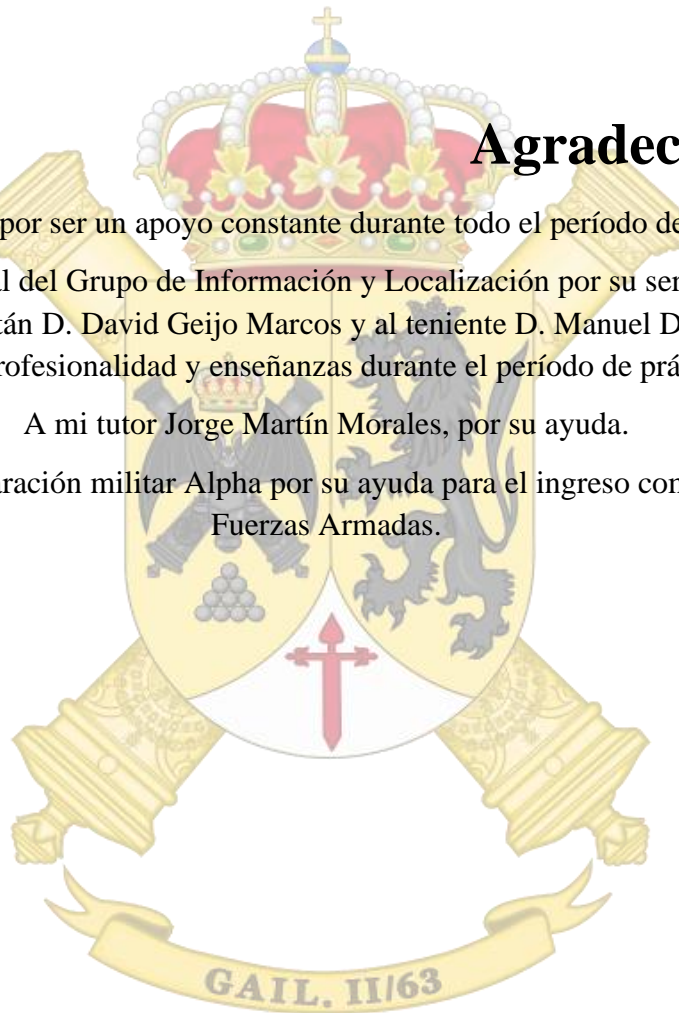
Agradecimientos

A mi familia, por ser un apoyo constante durante todo el período de formación.

A todo el personal del Grupo de Información y Localización por su servicio a España; en especial al capitán D. David Geijo Marcos y al teniente D. Manuel De Toro Hermoso por su profesionalidad y enseñanzas durante el período de prácticas.

A mi tutor Jorge Martín Morales, por su ayuda.

Al centro de preparación militar Alpha por su ayuda para el ingreso como Oficial de las Fuerzas Armadas.



Resumen

Para el año 2025 está previsto que el 85% de la población mundial resida en ciudades. Esta rápida urbanización del planeta ha cambiado el contexto en el que se desarrollan las operaciones militares y requiere sistemas más precisos para evitar daños colaterales. Pese a que la modernización de los sistemas de armas ha proporcionado una primera solución eficaz al problema, si los datos de localización del objetivo no son lo suficientemente exactos, la precisión de las armas pierde utilidad.

Desde el año 2008 en el que se comienza a operar con el radar ARTHUR, se ha ido perfeccionando la utilización de este sofisticado medio de adquisición de objetivos en diferentes colaboraciones con las Fuerzas Armadas. Dentro de ese ámbito cobra importancia este trabajo, centrado en determinar la influencia del boletín meteorológico o BOMET en las localizaciones al operar el radar ARTHUR de cara a obtener la máxima precisión.

Con este objetivo se ha estudiado la balística, para determinar los factores que modifican la trayectoria del proyectil. Del mismo modo, se ha estudiado el funcionamiento del radar ARTHUR, el proceso de detección, sus modos de funcionamiento, así como los factores que pueden afectar a su rendimiento.

Posteriormente, se ha profundizado en los diferentes procedimientos para obtener el BOMET, valorando sus ventajas y desventajas cuando se integran en el ARTHUR. Para ello, se ha empleado la experiencia de personal del GAIL y se han utilizado herramientas cualitativas como el análisis DAFO o el análisis de riesgos.

Se ha estudiado la compatibilidad de varios boletines con el radar ARTHUR y el tiempo necesario para integrar el BOMET en el ARTHUR mediante un análisis cuantitativo. Además, se ha obtenido una gran cantidad de información a través de la entrevista a un experto de la empresa Saab, fabricante del ARTHUR, que ha permitido dar respuesta a algunas de las incógnitas surgidas en el desarrollo del trabajo, identificar debilidades y proponer líneas de investigación futuras.

Pese a que en este trabajo se estudian unas propuestas de mejora, es necesario continuar trabajando en el desarrollo de procedimientos que aumenten la eficiencia en la obtención e integración del BOMET en el ARTHUR.

Abstract

By 2025, 85% of the world's population is expected to reside in cities. This quick urbanization of the planet has changed the context in which military operations take place and requires more accurate systems to avoid collateral damage. Although the modernization of weapon systems has provided a first effective solution to the problem, if the target location data is not sufficiently accurate, weapon accuracy loses utility.

Since 2008, when ARTHUR radar began operations, the use of this sophisticated means of target acquisition has been perfected in various collaborations with the Armed Forces. Within this scope, this work is important, as it focuses on determining the influence of the meteorological bulletin or BOMET on the locations when operating the ARTHUR radar in order to obtain maximum accuracy.

To this end, ballistics has been studied to determine the factors that modify the trajectory of the projectile. Similarly, the operation of the ARTHUR radar, the detection process, its modes of operation, as well as the factors that can affect its performance have been studied.

Subsequently, the different procedures to obtain the MET report have been studied, assessing their advantages and disadvantages when integrated in the ARTHUR. For this purpose, the experience of GAIL personnel has been used and qualitative tools such as SWOT analysis or risk analysis have been used.

The compatibility of various MET reports with the ARTHUR radar and the time required to integrate the BOMET into the ARTHUR have been studied by quantitative analysis. In addition, a large amount of information was obtained through an interview with an expert from Saab, the manufacturer of the ARTHUR, which made it possible to answer some of the questions that arose in the course of the work, identify weaknesses and propose future lines of research.

Although this work has studied some proposals for improvement, it is necessary to continue working on the development of procedures that increase the efficiency in obtaining and integrating the MET report in ARTHUR.

Índice

Resumen	iii
Abstract	iv
Índice de ilustraciones.....	vii
Índice de tablas	viii
Listado de acrónimos y abreviaturas	ix
Capítulo 1. Introducción	1
1.1. Contexto	1
1.2. Objetivos y alcance.....	2
1.3. Metodología.....	3
Capítulo 2. Balística	5
2.1. Resistencia aerodinámica	5
2.2. Deriva tabular del proyectil	6
2.3. Efecto de la meteorología	7
Capítulo 3. Radar ARTHUR	9
3.1. Composición del sistema.....	9
3.2. Funcionamiento	10
3.2.1. Búsqueda.....	10
3.2.2. Adquisición.....	11
3.2.3. Seguimiento	13
3.3. Modos de funcionamiento	14
3.3.1. Control de Fuegos (FC)	14
3.3.2. Localización de arma (WL)	14
3.4. Pérdidas de la antena	15
3.5. Informe meteorológico del radar ARTHUR.....	15
Capítulo 4. Obtención del BOMET	17
4.1. Obtención del BOMET a partir del sistema MARWIN MW32.....	17
4.1.1. Componentes del sistema MARWIN MW32	17
4.1.2. Análisis DAFO del sistema MARWIN MW32	18

4.1.3. Procedimiento completo de obtención e integración en ARTHUR	20
4.1.4. Análisis de riesgos del procedimiento	20
4.1.5. Estudio del precio del radiosondeo	22
4.2. Obtención del BOMET a partir de la AEMET e integración en ARTHUR.....	23
4.3. Obtención del BOMET a partir de una estación de superficie y TALOS e integración en ARTHUR	24
4.4. Obtención del BOMET combinado e integración en ARTHUR.....	25
Capítulo 5. La integración del BOMET en ARTHUR	27
5.1. Boletín meteorológico de adquisición de objetivos.....	27
5.2. Boletín meteorológico calculador.....	28
5.3. Entrevista a personal de la empresa Saab.....	28
5.4. Introducción de los datos del BOMET en el ARTHUR.....	30
5.5. Análisis del estudio necesario para determinar la influencia del BOMET en la precisión de las localizaciones al operar el radar ARTHUR.....	31
Capítulo 6. Líneas de trabajo futuro.....	33
Capítulo 7. Conclusiones	35
Bibliografía.....	36

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Compresión del aire ante el avance del proyectil. Fuente (González Morales, 2000).....	6
Ilustración 2. Efecto del viento de cola en el proyectil. Fuente (US Army, 2007)	7
Ilustración 3. Radar ARTHUR. Fuente (Cap. Geijo)	9
Ilustración 4. Sector de exploración del ARTHUR. Fuente (Saab, 2008).....	11
Ilustración 5. Medición con cuatro haces. Fuente (Saab, 2008).....	11
Ilustración 6. Configuración del radar para la búsqueda. Fuente (Saab, 2008).....	12
Ilustración 7. Modos de funcionamiento del ARTHUR. Fuente (Saab, 2008)	14
Ilustración 8. Informe meteorológico del ARTHUR. Fuente (Saab, 2008)	15
Ilustración 9: Sistema MW32. Fuente (Cap Geijo)	17
Ilustración 10. Estación WST7000C. (elaboración propia).....	24
Ilustración 11. METREP C transformado. Fuente (GACA I/20)	25
Ilustración 12. Análisis cuantitativo: minutos por prueba. (elaboración propia)	30
Ilustración 13. Organización del Ejército de Tierra. Fuente (Cap. Geijo).....	39
Ilustración 14. Organización de la Fuerza Terrestre. Fuente (Cap. Geijo).....	39
Ilustración 15. Organización del Mando de Artillería de Campaña. Fuente (Cap. Geijo)	40
Ilustración 16. Organización del Regimiento de Artillería Lanzacohetes 63. Fuente (Cap. Geijo).....	40
Ilustración 17. Estructura orgánica del GAIL. Fuente (Cap. Geijo).....	41
Ilustración 18. Estructura orgánica de la BAO. Fuente (Cap. Geijo).....	41
Ilustración 19. Comparación de la trayectoria entre cañón y mortero. (Nota Cultural del Día, 2010)	42
Ilustración 20. Sistema lanzacohetes Teruel. Fuente. (Fuente Simón, 2014).....	42
Ilustración 21. Contenedor acoplado a un camión todoterreno. Fuente (Saab, 2008)....	44
Ilustración 22. Antena del radar ARTHUR. Fuente (Saab, 2008).....	44
Ilustración 23. Pantalla del ARTHUR. (elaboración propia)	45
Ilustración 24. Organigrama de la Batería PLMS. Fuente (Cap. Geijo)	46
Ilustración 25. Medios en dotación del pelotón meteorológico. (elaboración propia) ...	46
Ilustración 26: Consola y radiosonda del sistema. Fuente (Cap. Geijo).....	47
Ilustración 27. Radiosonda RS41 unida al globo meteorológico. Fuente (Cap. Geijo) .	47
Ilustración 28. Antena CG31. (elaboración propia)	48
Ilustración 29. Operador con el globo antes de lanzarlo. Fuente (Cap. Geijo)	48
Ilustración 30. NOTAM de globo meteorológico aprobado. (elaboración propia)	49
Ilustración 31. Coste de la radiosonda en SIGLE. (elaboración propia)	52
Ilustración 32. Coste del globo meteorológico en SIGLE. (elaboración propia)	52
Ilustración 33. Página del Órgano Central. (elaboración propia)	53
Ilustración 34. Página de Meteorología de la AEMET. (elaboración propia).....	53
Ilustración 35. Página de Meteorología / CENAD. (elaboración propia)	54
Ilustración 36. METREP C en el CENAD de San Gregorio. (elaboración propia)	54
Ilustración 37. Posición de la estación WST7000C en TALOS. (elaboración propia) ..	55

Ilustración 38. Boletines en TALOS. (elaboración propia).....	55
Ilustración 39. Boletín meteorológico a ras de suelo. (elaboración propia)	56
Ilustración 40. Novena de las treinta mediciones. (elaboración propia)	56
Ilustración 41. Condiciones meteorológicas a nivel de superficie. (elaboración propia).....	57
Ilustración 42. Boletín extrapolado. (elaboración propia).....	57
Ilustración 43. Boletín calculador en ".txt". (elaboración propia).....	58
Ilustración 44. Código de octantes. Fuente (MADOC).....	59
Ilustración 45. Extracto del Manual del operador del ARTHUR. Fuente (Saab, 2008). 65	

Índice de tablas

Tabla 1. Diferencia de alcance entre el vacío y la atmósfera para distintas bocas de fuego. Fuente (González Morales, 2000)	5
Tabla 2. Análisis DAFO. (elaboración propia)	18
Tabla 3. Clasificación de los riesgos en función de su probabilidad e impacto. (elaboración propia).....	21
Tabla 4. Número de riesgos en función de su clase antes y después de las medidas. (elaboración propia).....	21
Tabla 5. Análisis de riesgos completo (primera parte). (elaboración propia)	50
Tabla 6. Análisis de riesgos completo (segunda parte). (elaboración propia).....	51
Tabla 7. Comparación entre las líneas del BOMET calculador y las líneas del informe meteorológico. (elaboración propia)	64

Listado de acrónimos y abreviaturas

En este apartado se recogen todos los acrónimos y abreviaturas usados en el trabajo, aunque se describirán la primera vez que se usen.

A/O	Adquisición de Objetivos
ACA	Artillería de Campaña
AEMET	Agencia Estatal de Meteorología
ARTHUR	Artillery Hunting Radar
BAO	Baterías de Adquisición de Objetivos
BOD	Boletín Oficial de Defensa
BOMET	Boletín Meteorológico
Cap	Capitán
CENAD	Centro de Adiestramiento
CMT	Campo de Maniobras y Tiro
DAFO	Debilidades, Amenazas, Fortalezas, Oportunidades
EAO	Elemento de Adquisición de Objetivos
ECAO	Escuadrilla de Control Aéreo Operativo
ET	Ejército de Tierra
FAS	Fuerzas Armadas
FC	Fire Control o Control de Fuegos
GAIL	Grupo de Artillería de Información y Localización
GALCA I/63	Grupo De Artillería Lanzacohetes de Campaña I/63
°	Grado sexagesimal
°K	Grado Kelvin
MADOC	Mando De Adiestramiento y Doctrina
MET	Meteorological
METCM	Boletín Meteorológico Calculador
METREP	Meteorological Report
m	Metro
METTA	Mensaje meteorológico de adquisición de blancos
°°	Milésima

mb	Milibar
NBQ	Nuclear, Biológica y Química
NOTAM	Notice To Airmen
OTAN	Organización del Tratado del Atlántico Norte
PLMS	Plana de Mando y Servicios
PRF	Pulse Repetition Frequency o Frecuencia de Repetición del Pulso
RALCA 63	Regimiento De Artillería Lanzacohetes de Campaña 63
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System
SIGLE	Sistema Integrado de Gestión Logística del Ejército
STANAG	Standardization Agreement
TFG	Trabajo de Fin de Grado
ULAO	Unidad de Localización y Adquisición de Objetivos
WISPR	Wideband Intercom & Secure Packet Radio
WL	Weapon Location o Localización de Arma
WLS	Weapon Locating System

Capítulo 1. Introducción

La siguiente memoria expone las actividades llevadas a cabo durante la realización del Trabajo de Fin de Grado (TFG) en Ingeniería de Organización Industrial, realizado por el Caballero Alférez Cadete Alejandro Fuerte López durante el período de prácticas en el Grupo de Artillería de Información y Localización (GAIL) (véase [Apéndice A](#)).

1.1. Contexto

En los últimos veinte años, la forma de actuación de las Fuerzas Armadas (FAS) ha evolucionado hasta llegar al principio de acción conjunta, concretado en el empleo coordinado e integrado de las capacidades militares entre Ejército de Tierra (ET), Ejército del Aire, Armada e Infantería de Marina. La Artillería de Campaña (ACA) no es una excepción, y materializa su misión apoyando y protegiendo a las organizaciones operativas, de una forma oportuna, decisiva y ajustada a la situación, así como auxiliando al Mando e integrando todos los fuegos en la Maniobra.

Dentro de la función de combate Fuegos, destaca la misión del GAIL; proporcionar a las unidades de ACA, los datos que necesitan para cumplir adecuadamente sus misiones de apoyo y protección, y colaborar en la vigilancia y reconocimiento del campo de batalla a fin de obtener información sobre el enemigo y el terreno.

Las misiones que normalmente se asignan al GAIL se hallan íntimamente ligadas a la adquisición de objetivos (A/O) de superficie, destacando las armas de tiro indirecto del adversario, pudiendo también apoyar a las unidades propias en la corrección del tiro. La A/O consiste en la detección, identificación y localización de un objetivo con el suficiente detalle para permitir el empleo eficaz de los sistemas de armas.

Los medios específicos que el GAIL utiliza para desempeñar sus cometidos son sofisticados y pueden agruparse en cuatro categorías:

- Sensores activos (radares ARTHUR y AN/TPQ-36).
- Sensores pasivos (HALO).
- Sistemas de aeronaves pilotadas remotamente.
- Equipos de medida (estaciones meteorológicas y materiales de topografía).

La orgánica del GAIL se estructura en la Batería de Adquisición de Objetivos (BAO). La BAO es la unidad fundamental de generación de objetivos de contrabatería para la ACA, siendo ésta su misión principal pudiendo apoyar a las unidades propias en la corrección del tiro, así como contribuir al esfuerzo general de inteligencia de la organización operativa apoyada. La BAO puede actuar como base para la creación de una organización operativa eventual de composición variable, denominada Unidad de Localización y Adquisición de Objetivos (ULAO) cuyo puesto de mando se denomina Elemento de Adquisición de Objetivos (EAO).

En el año 2008, se recepcionó en las dos BAOs cuatro radares ARTHUR adquiridos a la empresa noruega Ericsson AS, la cual actualmente forma parte de la sueca Saab. El Ministerio de Defensa pagó 69 millones de euros por los cuatro radares, un entrenador de aula y el apoyo logístico integrado. La reseña del Consejo de Ministros explicaba que este radar: "permite el empleo en zona de conflicto, donde las unidades del Ejército español despliegan para garantizar el mantenimiento de la paz. Este radar es capaz de detectar y registrar trayectorias de fuego cuya realización implica en algunos casos claras violaciones de los acuerdos de paz alcanzados".

La adquisición del radar de localización ARTHUR supuso un avance en las capacidades de A/O. El antiquísimo AN / TPQ-36, aún en dotación, pero con un uso marginal, no disponía de capacidad para distinguir entre proyectiles de distintos calibres y no se podía integrar en los sistemas de mando y control actuales como TALOS.

1.2. Objetivos y alcance

En los conflictos actuales entre otros conceptos, cobran creciente importancia la superioridad de la información, la minimización de bajas propias, la proporcionalidad de la respuesta y la adecuada aplicación de la fuerza sobre el objetivo. Por ello resulta imprescindible determinar con precisión el punto u objetivo (Target) sobre el que se van a ejecutar las acciones tácticas, idea que en el marco de la OTAN (Organización del Tratado del Atlántico Norte) es conocida con el nombre de Precision Engagement.

En este ámbito cobra interés la propuesta de la que surge este proyecto, estudiar la influencia del boletín meteorológico (BOMET) en la precisión de las localizaciones del radar ARTHUR, y para ello será necesario valorar ciertos aspectos:

- Los factores que modifican la trayectoria del proyectil.
- El funcionamiento del radar ARTHUR.
- Los métodos para obtener el BOMET.
- La integración e influencia del BOMET en el radar ARTHUR.

Estudiar estos factores permitirá responder a las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es la influencia del BOMET en las localizaciones proporcionadas por el ARTHUR?
- ¿Cuáles son los procedimientos de obtención del BOMET? ¿Qué ventajas y desventajas tienen? ¿Cuál es el más preciso?
- ¿Qué BOMET se debe utilizar en el ARTHUR? ¿Por qué se debe usar ese BOMET?
- ¿Qué información se podría añadir al *Manual del operador del ARTHUR* de Saab?
- ¿Cuáles son las futuras líneas de investigación?

Asimismo, se profundizará en el procedimiento de integración entre el BOMET y el ARTHUR, buscando reducir el tiempo empleado, y permitiendo de esta manera que el ciclo de información en la ACA se reduzca.

1.3. Metodología

La metodología seguida ha sido principalmente cualitativa, aunque también se han empleado métodos cuantitativos. Se destaca la búsqueda de información bibliográfica y asesoramiento de expertos, ya sea del GAIL o de la empresa Saab. Para poder cumplir los objetivos marcados en el TFG, se han realizado las siguientes actividades:

En el primer capítulo, centrado en explicar el GAIL y la motivación y estructura del trabajo, se han empleado los manuales del ET *PD4-301 Empleo Táctico del Grupo de Artillería de Información y Localización* y *PD4-304 Empleo De La Artillería de Campaña*.

En el segundo capítulo, dedicado al estudio de balística, se ha utilizado la asignatura de *Balística Curso 2019-2020* así como manuales militares tanto del ET como del Cuerpo de Marines de Estados Unidos.

En el tercer capítulo, dedicado al funcionamiento del radar ARTHUR, sus capacidades y las pérdidas que puede sufrir la antena, se ha empleado principalmente el *Manual del operador del ARTHUR* proporcionado por la empresa Saab.

En el cuarto capítulo, dedicado a la obtención del BOMET, se han realizado entrevistas al personal del GAIL, que han permitido la elaboración de herramientas cuantitativas como el análisis DAFO o el análisis de riesgos. También se ha empleado manuales como el *PD4-318 Procedimientos operativos del FDC Tomo I o el Manual De Usuario Del Portal De Información Meteorológica* y publicaciones militares entre las que destaca el *Memorial de Artillería*.

En el quinto capítulo, centrado en la integración entre el BOMET y el ARTHUR, se han utilizado algunos manuales ya mencionados y se ha realizado un estudio cuantitativo del tiempo necesario para introducir el BOMET en el ARTHUR. Se ha planteado teóricamente las condiciones del estudio que determinaría la influencia del BOMET en las localizaciones del radar ARTHUR. Con las consultas al experto de la empresa Saab se ha posibilitado dar respuesta a algunas de las preguntas que se planteaban en el trabajo, así como identificar deficiencias.

En el sexto capítulo, se han establecido las posibles líneas de investigación para mejorar en el futuro los materiales, técnicas y procedimientos. Se han obtenido tanto de la opinión de los expertos como de los aspectos que se han identificado durante el trabajo.

En el séptimo capítulo, se han detallado las conclusiones más importantes que se han deducido a lo largo del trabajo.

[PÁGINA INTENCIONADAMENTE EN BLANCO]

Capítulo 2. Balística

La balística es la ciencia que estudia el movimiento y efecto de los proyectiles de las armas de fuego. La balística se divide en cuatro fases: interior, de transición, exterior y de efectos. Este estudio se centrará en la balística exterior, que estudia el movimiento del proyectil desde que cesa la acción de los gases hasta que llega al objetivo. Para comprender cómo funciona y detecta el radar ARTHUR, es necesario analizar la trayectoria del proyectil y los factores que pueden modificarla. Como el ARTHUR es capaz de distinguir entre cañón, mortero y lanzador de cohetes se explican sus diferencias en el [Apéndice B](#).

Para analizar el movimiento de los proyectiles es necesario considerar una serie de factores que afectan a la trayectoria; unos dependen del propio proyectil, como su masa, calibre, geometría y la rotación a la que esté sometido; otros, sin embargo, son inherentes al medio donde se mueve, como la densidad, la temperatura o la presión. Todos estos factores varían la precisión y el alcance del proyectil para cualquier sistema de armas. En la tabla 1, se presenta la diferencia de alcance entre el vacío, donde no se consideran estos factores, y la atmósfera real para distintos sistemas de armas.

Tipo de proyectil	Velocidad inicial (m/s)	Alcance en vacío (km)	Alcance en aire (km)
Cañón 40/70 Bofor Breda	985	99	12
Cañón 5"/54 Mk45	808	66	9
Obús 76/62 Oto-Melara	925	87	16
Obús 155 FH79	700	50	24
Obús 155/39 HE M107	684	48	18
Obús 105/14 Oto-Melara	420	18	10
Mortero 300 mm	396	16	11
Rifle 7.62 mm L1A1	840	72	4

Tabla 1. Diferencia de alcance entre el vacío y la atmósfera para distintas bocas de fuego. Fuente (González Morales, 2000)

A continuación, se introducirán los principales factores que modifican la trayectoria del proyectil.

2.1. Resistencia aerodinámica

La resistencia aerodinámica de un proyectil tiene 4 componentes principales:

- **Resistencia al avance:** el proyectil al moverse en la atmósfera comprime el aire que tiene inmediatamente delante, creando así una perturbación, en forma de onda de presión, que se propaga en el medio a la velocidad del sonido. Cuando el proyectil avanza a velocidad subsónica (por debajo de la velocidad del sonido), la perturbación se traslada más rápido que el propio proyectil y se separa de él, sin embargo, cuando avanza a velocidad supersónica, la perturbación no se puede separar del frente del proyectil y se crea una onda de choque, más intensa cuanto mayor es la velocidad del proyectil.

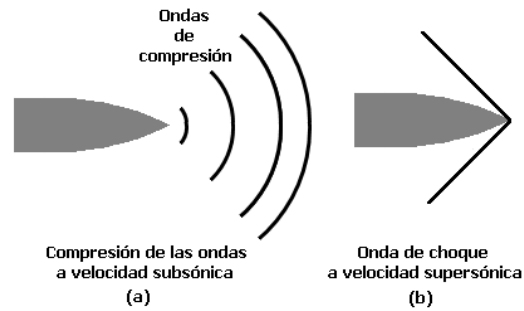


Ilustración 1. Compresión del aire ante el avance del proyectil. Fuente (González Morales, 2000)

- **Resistencia de culote:** la estela que genera el proyectil en su base crea una zona de bajas presiones, ya que el aire no es capaz de rellenar esta zona a la velocidad adecuada. Este vacío genera un efecto de succión que se opone al movimiento, reduciendo tanto el alcance como la precisión.
- **Rozamiento superficial:** surge cuando las moléculas del fluido en contacto con la superficie del proyectil se mueven a la velocidad del proyectil, pero las moléculas próximas se mueven a menor velocidad. Para reducir este efecto es importante una superficie pulimentada y lisa del proyectil.
- **Resistencia residual:** se debe a las protuberancias que tiene la superficie del proyectil. Para minimizarla es necesario prestar especial atención al diseño.

2.2. Deriva tabular del proyectil

La deriva tabular es consecuencia del movimiento de rotación del proyectil alrededor de su centro de masas y el correspondiente rozamiento con las partículas de aire al girar sobre su eje. Es el resultado de la superposición de tres efectos, aunque solo se explicarán dos de ellos debido a que la influencia del efecto Poisson es casi inapreciable.

- **Efecto giroscópico:** surge en el proyectil por la no coincidencia del centro de gravedad y el centro de empuje aerodinámico. El efecto giroscópico se manifiesta en dos movimientos combinados, de precesión y nutación, que provocan que un proyectil animado con giro a derechas (visto desde la parte posterior) se desvíe hacia la derecha y otro que gire a izquierdas se desvíe hacia la izquierda.
- **Efecto Magnus:** se produce cuando las moléculas de aire en contacto con la superficie de un cilindro en rotación son arrastradas por rozamiento, como resultado, parte del flujo es acelerado y parte del flujo es frenado. Esta diferencia de velocidades entre capas de aire lleva asociada una diferencia de presión que provoca una fuerza sobre el proyectil. La presión es menor donde la velocidad es mayor. El efecto Magnus produce que el proyectil con rotación a la derecha (visto desde la parte posterior) se desvíe a la izquierda y el proyectil con rotación a la izquierda se desvíe a la derecha.

2.3. Efecto de la meteorología

Los efectos meteorológicos son uno de los factores más importantes en el vuelo de los proyectiles, se divide en tres componentes:

- **Viento:** el viento balístico tiene dos componentes. La componente transversal ocasiona un empuje sobre el proyectil que lo desplaza lateralmente en el sentido de la velocidad del viento. La componente longitudinal es paralela a la trayectoria y puede ser: viento de cola, en el sentido de avance del proyectil, por tanto, aumenta el alcance o viento de cabeza, en sentido contrario al avance del proyectil, por tanto, disminuye el alcance. En la siguiente ilustración se puede observar cómo varía el alcance de un proyectil de 155mm, como el usado en algunos sistemas de armas en dotación en el ET, debido al viento de cola para un tiro a 11000 metros.



Ilustración 2. Efecto del viento de cola en el proyectil. Fuente (US Army, 2007)

- **Densidad del aire:** el peso del aire presionando sobre sí mismo produce presión atmosférica. La presión está cambiando continuamente, principalmente debido a los cambios en la densidad del aire provocados por las variaciones en la temperatura y el contenido de humedad. A mayor altura de la columna de aire, menor presión atmosférica, porque hay menos aire por encima. La densidad del aire a través del cual pasa el proyectil crea fricción reduciendo el alcance del proyectil. El efecto de densidad es inversamente proporcional al alcance del proyectil.
- **Temperatura:** las variaciones en la temperatura del aire causan dos efectos separados en un proyectil. Un efecto es causado por la variación inversa de la densidad con la temperatura que se compensa cuando se tienen en cuenta los efectos de la densidad. El segundo efecto es el resultado de la relación entre la velocidad del proyectil y la velocidad de las ondas de compresión de aire, que se forman delante o detrás del proyectil, la resistencia al avance explicada antes. Estas ondas de compresión de aire se mueven con la velocidad del sonido, que es directamente proporcional a la temperatura del aire. La relación entre la variación en la temperatura del aire y el arrastre en el proyectil es difícil de determinar. Un aumento en la temperatura del aire puede aumentar, disminuir o no tener ningún efecto en el alcance, dependiendo de la elevación inicial y de la velocidad inicial del arma.

[PÁGINA INTENCIONADAMENTE EN BLANCO]

Capítulo 3. Radar ARTHUR

El Artillery Hunting Radar (ARTHUR) es un sistema de localización de arma (Weapon Locating System) (WLS) de rango medio y muy móvil. Proporciona una eficaz capacidad contrabatería calculando los puntos de lanzamiento, así como permite el control de los fuegos propios, calculando los puntos de impacto, una vez realizada la detección de proyectiles de morteros, cañones o cohetes balísticos.

El ARTHUR ha sido diseñado principalmente para operaciones tácticas de contrabatería. En operaciones de mantenimiento de paz es capaz de desarrollar un importante cometido cuando se utiliza para detectar y localizar proyectiles. Para ello, permite crear un registro de almacenamiento de las localizaciones del fuego de artillería en violación de los acuerdos de paz correspondientes.

Según el modo utilizado, el rango de trabajo del sistema puede ser de hasta 20, 30 o 40 kilómetros. El sistema puede rastrear simultáneamente hasta ocho proyectiles, localizar el origen y transferir los datos recopilados a las unidades de artillería aliadas.

Una de sus mayores ventajas es que necesita poco personal. El equipo radar está compuesto por un jefe de equipo que es el encargado de operar el sistema, un conductor clase C como conductor del camión, un operador del sistema TALOS (véase [Apéndice C](#)) y de las telecomunicaciones y un conductor clase B como conductor del vehículo ligero de reconocimiento.



Ilustración 3. Radar ARTHUR. Fuente (Cap. Geijo)

3.1. Composición del sistema

ARTHUR está instalado en un contenedor único como plataforma única para el sistema completo. Está montado mediante una estructura de adaptación a un camión todo terreno. El sistema es muy versátil; es transportable por aire con C-130, así como carga externa de los helicópteros.

El sistema está formado por los siguientes componentes: (véase [Apéndice D](#))

- Contenedor.
- Sistema de alimentación.
- Radar de localización.
- Sistema de navegación inercial.
- Control del operador y sistema de pantalla.
- Sistema de climatización.
- Sistema de comunicaciones.

3.2. Funcionamiento

El principio de funcionamiento del ARTHUR es buscar proyectiles a lo largo del horizonte y seguir los detectados unos pocos segundos. Para ello utiliza un radar Doppler de pulsos con el que puede seguir simultáneamente hasta 8 proyectiles mientras se continúa la búsqueda. El procesador de señal recibe las señales del receptor, extrae de los datos los ecos del proyectil y los convierte en trazas, especificando las posiciones del proyectil. A continuación, se explicará el funcionamiento en sus tres fases:

3.2.1. Búsqueda

El radar ARTHUR envía una señal, que se refleja en un blanco móvil produciéndose un efecto de cambio de la frecuencia desde el punto de vista del radar. Esta técnica se denomina efecto Doppler, y permite calcular la velocidad del blanco, pero, además posibilita filtrar los retornos de objetos estacionarios no deseables, tales como el terreno, vegetación o las nubes.

El sistema tiene un generador de radiofrecuencia, el cual genera la frecuencia de transmisión que cambia pulso a pulso. Tiene una función que permite 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 milésimas en elevación y 1600 milésimas de ancho. Cada sector está dividido en 16 subsectores de igual tamaño, cubriendo cada uno de ellos 100 milésimas.

Se pueden otorgar a los subsectores distintas prioridades en cuanto a intensidad de la exploración, cada subsector puede ponerse en Off, Baja (Low) o Alta (High). Si se selecciona Off la exploración no se realiza en el subsector y se aumenta la velocidad de exploración en los otros subsectores, cuando se selecciona una intensidad Baja (Low) la exploración se realiza solamente cada dos veces de las que el haz principal pasa por el subsector, mientras que en Alta (High) la exploración se realiza cada vez que pasa el haz por el subsector. Cada subsector puede explorarse independientemente en el modo de localización de arma o en el modo de control de disparo, que se explicarán posteriormente.

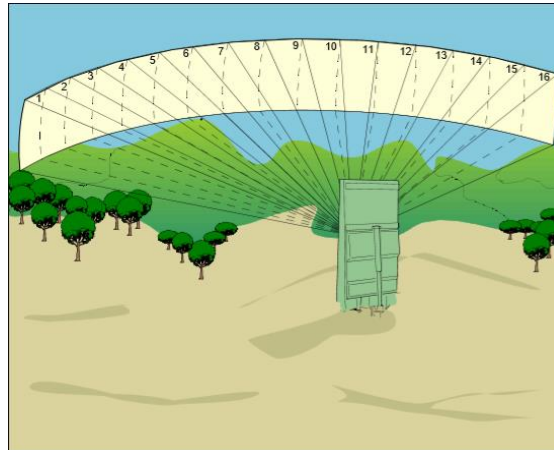


Ilustración 4. Sector de exploración del ARTHUR. Fuente (Saab, 2008)

3.2.2. Adquisición

La función de adquisición se realiza para todas las señales que la función de búsqueda clasifica como nuevos proyectiles. La adquisición consta de dos mediciones precisas de ángulo y distancia (medidas con cuatro haces, pero sólo con un haz cada vez) respecto a la posición estimada.

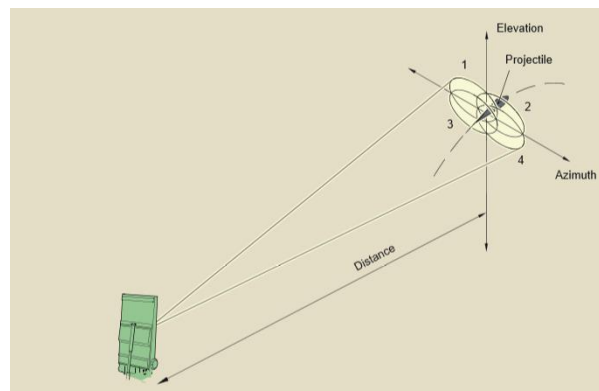


Ilustración 5. Medición con cuatro haces. Fuente (Saab, 2008)

Durante la primera medida de adquisición, la elevación se establece de tal modo 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 la medición inmediatamente. Si la señal no es adquirida la segunda vez, el proceso de adquisición se termina.

Durante las mediciones con cuatro haces que se hacen durante el intento de adquisición, la distancia, la velocidad, la dirección y la elevación del proyectil son calculadas, con gran exactitud para calcular la siguiente posición estimada.

Mediante la realización de dos medidas con cuatro haces, la velocidad radial del blanco puede aproximarse rápidamente. Si la velocidad es suficientemente elevada, las coordenadas de la primera y segunda adquisición son enviadas a la función de seguimiento para determinar la posición, y si es demasiado baja el proceso de adquisición se da por terminado.

ARTHUR puede establecerse en uno de dos **modos sensor** diferentes: alta capacidad y alta precisión. En alta precisión el intervalo de tiempo entre los distintos puntos de medida es menor que en alta capacidad, en alta precisión se calculan más puntos de medida en la misma cantidad de tiempo. El modo alta precisión utiliza un tiempo de seguimiento mayor comparado con el modo de alta capacidad, pero mejora la precisión. En alta capacidad el número máximo de seguimientos simultáneos permitidos es de 8 proyectiles y en alta precisión es de 5 proyectiles.

En la siguiente captura de la pantalla del radar se puede observar los 16 sectores de exploración, el modo de funcionamiento en cada uno de ellos y la intensidad de la exploración.

La dirección esperada del proyectil se establece seleccionando “Approaching” si se cree que el proyectil se aproxima al radar, “Receding” si se cree que el proyectil se aleja o “Both” si no se conoce la dirección esperada del proyectil. Esta función permite agilizar el proceso en la búsqueda.

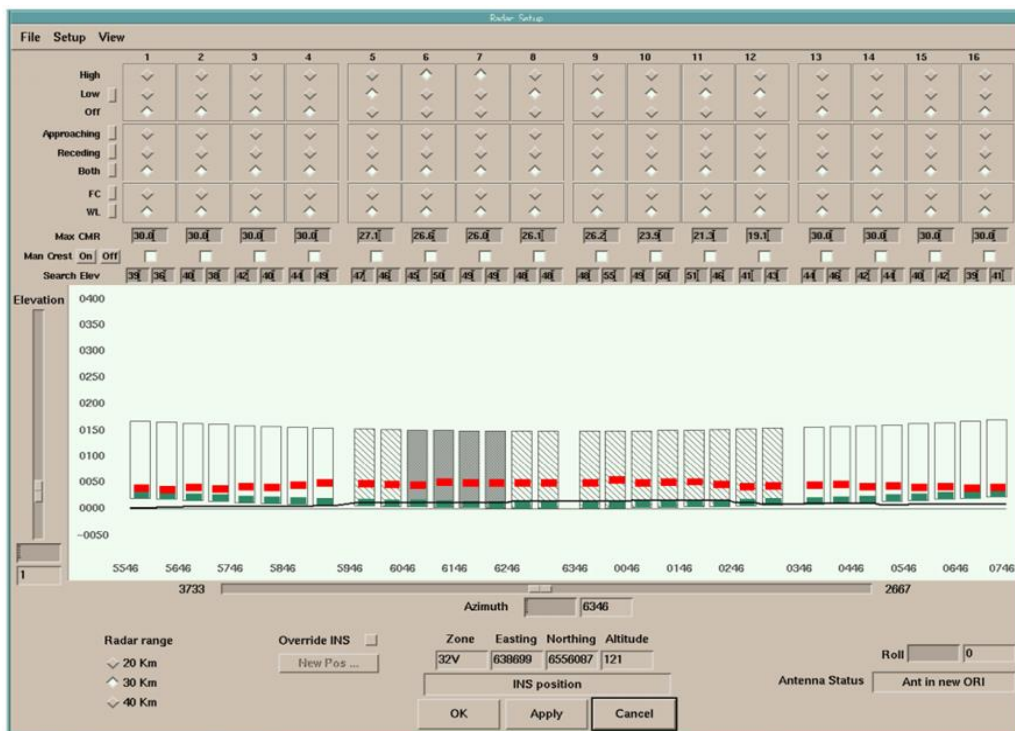


Ilustración 6. Configuración del radar para la búsqueda. Fuente (Saab, 2008)

Antes de realizar la exploración se debe realizar una medición de la cresta, es decir, calcular la máxima elevación del terreno en el sector de exploración. En la ilustración 6, la línea negra marca la línea del horizonte, la línea verde marca de forma automática la elevación desde la que se realizará la búsqueda, mientras que la línea roja marca el mismo dato si se introduce de forma manual. Para obtener una mejor precisión los proyectiles deben adquirirse lo más cerca del suelo posible.

ARTHUR puede establecerse en uno de dos **modos de ruido** diferentes: cambio de PRF y alternancia de PRF. Se utilizan durante la búsqueda y la adquisición. Se define la frecuencia de repetición de pulso (PRF) como el número de pulsos transmitidos por segundo.

Cuando se utiliza el cambio de PRF, los pulsos en un grupo de pulsos se transmiten utilizando el mismo intervalo de tiempo. El cambio de PRF proporciona los mejores resultados cuando el ruido está generado cerca del radar. Este modo es favorable cuando hay lluvia intensa, nubes con una gran densidad de agua o un gran número de pájaros.

Cuando se utiliza la alternancia de PRF, el tiempo entre cada pulso varía según un patrón irregular. Esto ofrece una cobertura inmediata de la velocidad y una buena supresión del ruido procedente de tierra dentro de una distancia dada. Este modo es favorable con buen tiempo. Proporciona una tasa de búsqueda total y máximo alcance.

3.2.3. Seguimiento

La finalidad de la función de seguimiento es estimar donde estará el proyectil en un tiempo posterior, utilizando las mediciones anteriores de la trayectoria. Para cada nuevo proyectil se crea una nueva tabla de puntos medidos en el procesador de datos mediante un algoritmo de predicción, se calcula la desviación respecto a la predicción que había medido previamente en el procesador de señal. Añadiendo las desviaciones medidas a la predicción, el procesador de señal crea un punto de medición correcto. El pulso de eco recibido es llevado al receptor a través de la antena y de la unidad de microondas, en el receptor la señal de eco es amplificada y convertida en señales de vídeo adaptadas al procesador de señal.

Cuando termina el seguimiento de la trayectoria de un proyectil, se crea un archivo con la posición en determinados tiempos. Todos los blancos de radar detectados (proyectiles) son guardados en el registro de blancos. El registro de blancos es parte de la base de datos del procesador de datos. Este archivo incluye:

- El punto de intersección de la trayectoria con el terreno: este punto de intersección puede calcularse hacia delante y hacia atrás respecto al tiempo, dependiendo del modo de funcionamiento.
- Dirección de disparo: este parámetro se utiliza para los cálculos del punto de impacto en el modo de localización de arma.
- Elevación y velocidad inicial: estos parámetros se pueden utilizar junto con la intensidad de la señal para realizar una primera clasificación en clases de blancos.
 1. Cañón (G) (pesado/ligero) (L/H).
 2. Mortero (M) (pesado/ligero) M (L/H).
 3. Lanzador de cohetes (R) (pesado/ligero) (L/H).

3.3. Modos de funcionamiento

La selección del modo de funcionamiento determina como se va a emplear el ARTHUR. Tiene dos modos de funcionamiento con una finalidad táctica diferente.

3.3.1. Control de Fuegos (FC)

En el modo control de fuego, ARTHUR busca por encima del horizonte y hace un seguimiento de los proyectiles detectados mientras descienden. El punto de impacto se calcula entonces superponiendo la trayectoria calculada en un mapa digital, en donde el punto de intersección entre la trayectoria y el terreno es el punto de impacto. Este modo se utiliza para la dirección técnica de fuegos propios. Corresponde al número 1 de la ilustración 7.

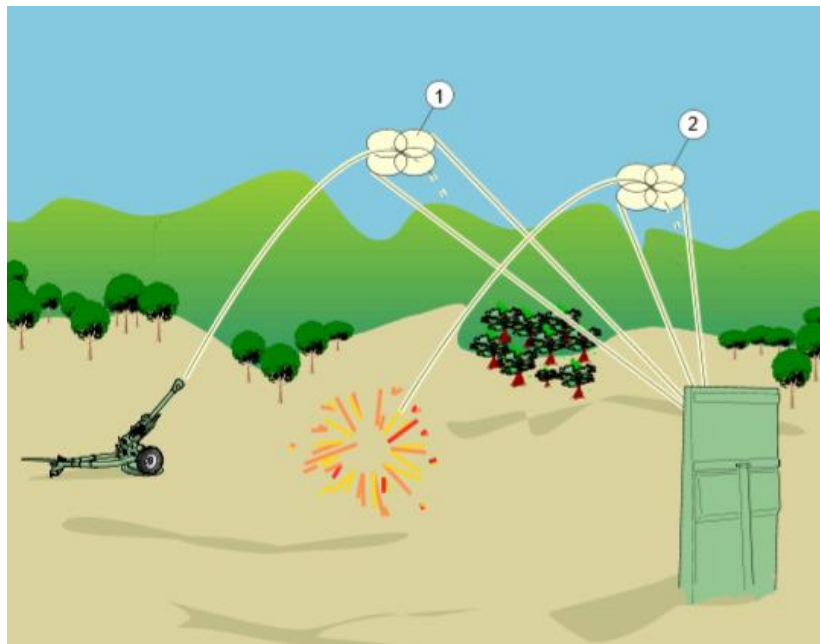


Ilustración 7. Modos de funcionamiento del ARTHUR. Fuente (Saab, 2008)

3.3.2. Localización de arma (WL)

En el modo de localización de arma, ARTHUR explora el horizonte y realiza un seguimiento de los proyectiles mientras aún están subiendo. El punto de lanzamiento se calcula cuando el sistema ha recibido un número suficiente de mediciones del proyectil. Si se detectan varios blancos únicos (armas) dentro de una zona predefinida, se define como un blanco compuesto. Para este tipo de blancos, se calcula el punto central.

Como un efecto lateral de este modo, ARTHUR puede también calcular el punto de impacto de los proyectiles detectados. Se utiliza para determinar dónde está disparando el enemigo dentro de la zona de acción aliada. Las necesidades de precisión en el cálculo del punto de impacto no son, por consiguiente, tan críticas. Corresponde al número 2 de la ilustración 7.

3.4. Pérdidas de la antena

El radar puede sufrir pérdidas asociadas a diferentes factores entre las que se pueden distinguir:

- Pérdidas por la meteorología: la lluvia, niebla o las nubes afectan a la señal transmitida por el radar.
- Plumbing loss: pérdidas en las líneas de transmisión y circuito de entrada y salida, pérdidas de conexionado.
- Pérdidas por la forma del haz explorador: la antena no ilumina con la misma ganancia durante el tiempo de escaneo sobre el mismo punto. La ganancia expresa la relación entre la amplitud de una señal de salida respecto a la señal de entrada.
- Pérdidas del operador: debido al factor humano, ya que el operador puede saltarse algún blanco por distracción o cansancio.
- Pérdidas por degradación: el material se va degradando con el uso.

3.5. Informe meteorológico del radar ARTHUR

Los datos meteorológicos se utilizan en el procesador de datos para aumentar la precisión. Son introducidos manualmente en el sistema mediante el menú de la ilustración 8. Incluye la siguiente información:

- La posición de la estación meteorológica (3 primeros dígitos hacia el este y 3 últimos dígitos hacia el norte).
- Período de validez (día / hora / mes).
- Número de zona (26 líneas).
- Dirección del viento (10 milésimas).
- Velocidad del viento (nudos).
- Temperatura virtual (0,1 Kelvin).
- Presión atmosférica (milibar).

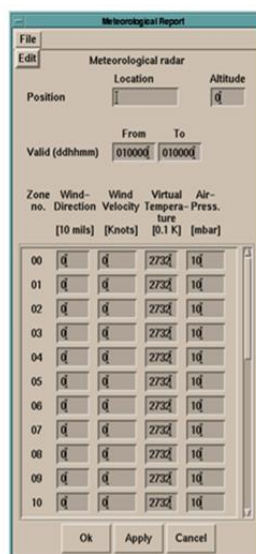


Ilustración 8. Informe meteorológico del ARTHUR. Fuente (Saab, 2008)

[PÁGINA INTENCIONADAMENTE EN BLANCO]

Capítulo 4. Obtención del BOMET

En este capítulo se exponen varios procedimientos para la obtención del boletín meteorológico. Comienza por el más preciso, a través del sistema de radiosondeo MW32, del que se hará un análisis más extenso. Para su realización se ha contado con la experiencia de dos sargentos encuadrados dentro del pelotón meteorológico (véase [Apéndice E](#)).

4.1. Obtención del BOMET a partir del sistema MARWIN MW32

El sistema de sondeo MW32 consiste en un receptor/procesador y antenas que rastrean la radiosonda sujeta a un globo de vuelo libre. El sistema proporciona un perfil atmosférico del viento, presión, temperatura y humedad desde la superficie hasta las altitudes para el cálculo meteorológico balístico. El sistema proporciona mensajes en los formatos STANAG (Standardization Agreement) en formato “.txt” en menos de 25 minutos incluyendo el tiempo de preparación.

4.1.1. Componentes del sistema MARWIN MW32

El MW32 consta de las siguientes partes principales en dotación, aunque se puede complementar con otros sistemas:

- Caja con display y consola integrados.
- Antena CG31.
- Radiosonda RS41.
- Verificador de la radiosonda en superficie MWH322.
- Globo meteorológico.

En el [Apéndice F](#) se explica brevemente cada componente.



Ilustración 9: Sistema MW32. Fuente (Cap Geijo)

4.1.2. Análisis DAFO del sistema MARWIN MW32

La herramienta de análisis cualitativo DAFO permite obtener de manera esquemática las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades del sistema. Para la realización del DAFO se ha utilizado el manual *Sistema de sondeo MARWIN de Vaisala MW32*, contrastado con la experiencia del sargento destinado en el pelotón meteorológico. En el análisis se ven diferenciados primero los factores internos, referentes al sistema, y después los factores externos, referentes al entorno del sistema.

ANÁLISIS DAFO	
Factores internos	Factores externos
Debilidades - No integrado en TALOS - Sin conexión WLAN - Sin conexión con radio PR4G - Coste logístico - Permiso aéreo para lanzar el globo	Amenazas - Desarrollo de boletines AEMET - Mejora en las estaciones meteorológicas de superficie - Aparición de un modelo superior
Fortalezas - Fácil de transportar - Interfaz sencilla - Resistente a golpes, caídas e inclemencias meteorológicas - Puerto USB / Conexión LAN - Boletines OTAN - Interoperable con varias antenas	Oportunidades - Precisión necesaria en las operaciones actuales - Posibilidad de actualización

Tabla 2. Análisis DAFO. (elaboración propia)

Factores internos:

Fortalezas:

- El sistema es fácil de transportar, solo es necesario un camión para transportar la consola MARWIN y los materiales auxiliares. Al reducir el número de vehículos se reduce el personal, el combustible y el mantenimiento de los vehículos.
- Es un sistema sencillo de utilizar, por lo que se reduce la posibilidad de cometer errores. Además, la instrucción de nuevos operadores se puede realizar rápidamente, en una media de aproximadamente veinte horas.
- La solidez de los componentes del sistema MW32 ante golpes o situaciones climáticas extremas, permitiendo operar el sistema en todas las condiciones necesarias, es una característica fundamental para cualquier material de dotación en las FAS.
- Posee un puerto USB y conexión LAN con un ordenador que posibilita el envío de los distintos boletines a los puestos de mando.
- El sistema permite obtener los BOMET acordes a las STANAG de la OTAN; por lo que en misiones internacionales de cooperación con otros ejércitos se podría compartir la información obtenida.
- El sistema es compatible con varios modelos de antenas, proporcionando flexibilidad de empleo.

Debilidades

- El sistema no está integrado en TALOS, por lo que no es posible enviar la información rápidamente, se necesita utilizar un dispositivo de almacenamiento. Se debería contactar con la empresa GMV, responsable del desarrollo de TALOS, para estudiar la actualización. Permitiría reducir el tiempo empleado en enviar el BOMET a los diferentes puestos.
- El sistema no tiene conexión WLAN por lo que no puede ser integrado en red, es una limitación para enviar los BOMET.
- El sistema no es compatible con la PR4G para el envío de datos, reduciendo la interoperabilidad y la flexibilidad del sistema.
- Obtener el BOMET implica un coste logístico considerable. Por cada radiosondeo se necesita una radiosonda, un globo meteorológico y gas para inflar el globo.
- El espacio aéreo y la coordinación necesaria para evitar accidentes es una gran desventaja, ya que en ocasiones el permiso para lanzar el globo no obtiene respuesta.

Factores externos:

Oportunidades:

- La evolución de la ACA se ha volcado hacia la búsqueda de la máxima precisión para evitar los daños colaterales. Este sistema entra dentro de ese concepto; una mejor localización del enemigo y unos datos más exactos implican menores posibilidades de incurrir en efectos no deseados.
- La posibilidad de actualización para integrar nuevos boletines o integrarse en el sistema de mando TALOS son fundamentales para evitar que el sistema quede obsoleto.

Amenazas:

- Actualmente, las predicciones del METREP solo están disponibles para dos Centros de Adiestramiento (CENAD), una limitación importante. Si estuviesen disponibles en todos los campos de maniobras y teatros de operaciones supondrían una amenaza importante para el sistema.
- La interpolación de los datos obtenidos por una estación de superficie es una predicción, pero podría suponer una amenaza si se mejorase el procedimiento teniendo en cuenta la orografía; o en situaciones donde la velocidad y la dirección del viento no varíen de forma relevante en las distintas capas.
- La aparición de otro modelo más preciso, con mayores posibilidades de integración y más barato puede dejar obsoleto el sistema.

4.1.3. Procedimiento completo de obtención e integración en ARTHUR

Los pasos operativos reducidos al mínimo son:

1. La batería de plana mayor y servicios del GAIL envía el Notice to Airmen (NOTAM) (véase [Apéndice G](#)) por conducto reglamentario al Ejército del Aire.
2. Se comprueba a través de INTRANET o a través de diversas páginas civiles si el NOTAM ha sido aprobado.
3. Se pide permiso vía telefónica a la Escuadrilla de Control Aéreo Operativo (ECAO).
4. Se pide permiso vía telefónica a la torre de control de la zona correspondiente.
5. Se enciende el sistema MW32.
6. Se infla el globo con helio.
7. Se conecta la radiosonda al sistema MW32.
8. Se inicia el sistema MW32 y la radiosonda.
9. Se ata la radiosonda al globo meteorológico.
10. Se lanza el globo.
11. Se genera boletín meteorológico hasta la capa deseada.
12. Se introduce un pendrive en el sistema MW32 y se descarga el BOMET.
13. Se envía el BOMET a través del ordenador con TALOS al EAO.
14. El EAO envía por TALOS el BOMET al ARTHUR.
15. Se introduce el BOMET en el ARTHUR manualmente.

4.1.4. Análisis de riesgos del procedimiento

Para estudiar en profundidad el procedimiento se ha realizado un análisis de riesgos cualitativo, con el fin de identificar las amenazas más graves a las que se enfrenta el GAIL cuando se obtiene el BOMET mediante el sistema MARWIN MW32 y se integra en el ARTHUR.

Cada riesgo está catalogado según un ID, la descripción del riesgo, la categoría del riesgo, la causa, el impacto, la probabilidad de ocurrencia, la calificación del riesgo, el efecto de dicho riesgo, las medidas a tomar y la nueva calificación del riesgo tras la implementación de medidas (véase [Apéndice H](#)). En el análisis se han dividido los riesgos en dos tipos, riesgos técnicos y riesgos tácticos.

- Riesgos técnicos: responden a las limitaciones y/o características técnicas. Estos riesgos se han obtenido del estudio del procedimiento, así como de la experiencia de los operadores.
- Riesgos tácticos: responden a un mal planeamiento, tanto de despliegues como de rotación del personal. Estos riesgos se han obtenido gracias a las lecciones aprendidas de los ejercicios de instrucción llevados a cabo por el GAIL.

A cada riesgo se le ha asignado una probabilidad de ocurrencia (con un rango del 1 al 3) y un impacto (que podrá ser Alto (H), Medio (M) o Bajo (L)). Posteriormente, se ha clasificado los riesgos en: riesgos bajos, riesgos medios y los riesgos altos/críticos. Se han obtenido los siguientes resultados:

Probabilidad	3	0	0	1
	2	1	1	1
	1	4	5	5
		Low	Medium	High
		Impacto		

Tabla 3. Clasificación de los riesgos en función de su probabilidad e impacto. (elaboración propia)

Para cada riesgo, se han propuesto medidas que permitan evitar la posibilidad de que se produzca y/o mitigar sus efectos. Posteriormente, se ha clasificado de nuevo los riesgos, obteniéndose los siguientes resultados:

	Antes de las medidas	Después de las medidas
Muy baja	0	10
Baja	4	0
Media	12	7
Alta	1	1
Muy alta	1	0
Total	18	18

Tabla 4. Número de riesgos en función de su clase antes y después de las medidas. (elaboración propia)

Se han obtenido las siguientes conclusiones del procedimiento:

- El riesgo crítico en el procedimiento es el fallo al introducir los datos del BOMET en el ARTHUR, un proceso manual que requiere introducir una gran cantidad de datos en situaciones de estrés. A pesar de que la instrucción del personal puede disminuir la cantidad de errores y aumentar la velocidad con la que se introduce los datos, es necesario explorar posibles soluciones para reducir el tiempo empleado y la posibilidad de que el operador se equivoque.

- El segundo riesgo más alto identificado es la no aprobación del documento NOTAM ya sea por no recibir respuesta o por una respuesta negativa. El procedimiento para la tramitación del NOTAM no está claro y es necesaria una revisión. Sin la aprobación de este documento no es posible lanzar el globo meteorológico ni obtener el BOMET, influyendo de forma directa en los cometidos del pelotón meteorológico.
- La comunicación con la ECAO y la torre de control correspondiente a la zona de despliegue supone un riesgo de nivel alto, sin embargo, el procedimiento es claro y un planeamiento correcto es suficiente para evitar que se materialice el riesgo.
- Una de las tareas más importantes en el ET es el correcto mantenimiento de sus equipos con el objetivo de mantener la operatividad y alargar la vida útil. Es fundamental realizar estas tareas en todos los vehículos, en el ARTHUR, en el sistema MW32, así como en el resto del material.
- La instrucción es el principal cometido de las FAS, conocer los sistemas y como emplearlos. El GAIL tiene un alto nivel de instrucción en todos sus materiales, por lo que no se considera que los riesgos relacionados con la instrucción supongan una amenaza grave en el procedimiento.
- Las comunicaciones, especialmente en los sistemas de mando y control, permiten el correcto despliegue táctico y el envío de datos a distancia. Es necesario seguir actualizando los procedimientos para aumentar la velocidad con la que se transmite la información.
- Hay varios riesgos que no suponen una amenaza para el proceso si se lleva material de repuesto, como, por ejemplo, que la radiosonda pierda el enlace con la estación MARWIN o que el globo estalle.

4.1.5. Estudio del precio del radiosondeo

En el siguiente apartado expresa el coste económico que supone al ET obtener el BOMET con el sistema MW32. El coste desglosado (véase [Apéndice I](#)) asciende a:

- Coste de la radiosonda: 223,55 €.
- Coste del globo: 18,96 €.
- Coste de la bombona de helio: 303,80 €.
- Coste proporcional de la bombona por cada radio sondeo: 50,63 €.
- Coste Total: 293,14 €.

Por cada radiosondeo es necesario una radiosonda, un globo meteorológico y una bombona de helio, que según la opinión del experto operador del sistema MW32 permitiría inflar entre seis globos. Como se puede observar a partir del coste total, este método incurre en un coste considerable.

4.2. Obtención del BOMET a partir de la AEMET e integración en ARTHUR

La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) proporciona información meteorológica a las Fuerzas Armadas a través del convenio entre el Ministerio de Defensa y la AEMET.

El apoyo meteorológico a Defensa se presta mediante el Servicio de Aplicaciones para la Defensa, encargado del suministro de información meteorológica necesaria para las Fuerzas Armadas, así como de la prestación del apoyo meteorológico adecuado para el cumplimiento de sus misiones en el extranjero; como en el caso de la Operación Atalanta en el golfo de Adén.

El método consiste en explotar las predicciones meteorológicas realizadas por la AEMET y publicadas en la INTRANET del ET. En la INTRANET se obtiene el Meteorological Report (METREP), un mensaje específico orientado a operaciones de desembarco aéreo, aeromóviles o paracaidistas. Existen varios tipos de METREP según los parámetros que proporcionan y las unidades en la que se expresan. Este boletín consiste en una predicción de radiosondeo para el CENAD de San Gregorio y el CENAD de Chinchilla. Es importante enfatizar en el hecho de que son previsiones y no se apoyan en ninguna medición real.

Este boletín es generado con datos de predicciones meteorológicas realizadas a una escala mucho mayor que la de la zona donde despliega la unidad, los valores locales (orografía fundamentalmente, así como naturaleza del terreno y vegetación) no son recogidos con suficiente precisión. Esto supone una fuente de error. Los datos más imprecisos corresponden a las líneas iniciales, es decir, las cercanas a la superficie. Cuanta más alta es la línea del BOMET empleada, mejor funciona la predicción.

La mayor ventaja de este procedimiento es la posibilidad de obtener un boletín sin implicar apenas medios, tanto personales como materiales. Una sola persona puede realizar el proceso completo, en menos de cinco minutos si dispone de un ordenador con acceso a INTRANET.

La precisión de estos boletines es mucho menor de la que se obtiene a través del MW32. Este método está muy limitado, solo se puede aplicar para los CENAD de San Gregorio y Chinchilla, además no se pueden obtener todos los boletines meteorológicos aprobados por la OTAN. La mayor desventaja, ya sea en ejercicios de instrucción o en operaciones, es el acceso a un ordenador con INTRANET.

En el [Apéndice J](#) se explica cómo obtener el METREP C en el CENAD de San Gregorio del día 13/10/2020.

4.3. Obtención del BOMET a partir de una estación de superficie y TALOS e integración en ARTHUR

Para la obtención de este boletín se utilizó la ayuda de personal del Grupo de Artillería de Campaña II / 11. Actualmente, las unidades de ACA tienen en dotación la estación de superficie WST7000C, que proporciona mediciones meteorológicas en la superficie. El método está basado en realizar una serie de mediciones de dirección y velocidad del viento, temperatura y densidad a ras de suelo, que se extrapolan a las diferentes capas basándose en la atmósfera ICAO. En la ilustración se puede observar la estación WST7000C junto al camión con el shelter donde se encuentra el ordenador con el TALOS.



Ilustración 10. Estación WST7000C. (elaboración propia)

Este método está muy limitado porque no se puede extrapolar la dirección y velocidad del viento, se usa el valor de la superficie en todas las capas. Por lo tanto, solo se obtiene la temperatura y la densidad en cada capa, calculadas basándose en unas condiciones estándar. La precisión de este boletín es muy baja si se compara con el obtenido por el sistema MW32, por lo que siempre que se posible, al tener en dotación el sistema MARWIN MW32, se utilizará dicho método.

La principal virtud de este método es que se obtiene un formato intuitivo para el operador que permite disminuir los errores humanos a la hora de introducir los datos en el ARTHUR. Se puede aplicar en cualquier terreno y requiere de dos personas para el montaje de la antena y operar el TALOS. El procedimiento completo requiere de unos veinte minutos y se explica en el [Apéndice K](#).

4.4. Obtención del BOMET combinado e integración en ARTHUR

El boletín meteorológico combinado es aquel que unifica los datos del boletín a ras de suelo obtenido con la estación meteorológica WST7000C con el boletín meteorológico de predicción obtenido a través de INTRANET. Esta función del sistema TALOS permite emplear unos datos más fiables que los que proporcionan estos boletines de forma separada. Para obtenerlo, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Configurar TALOS para trabajar con la estación meteorológica a ras de suelo.
2. Adaptar el boletín de predicción obtenido de INTRANET para que TALOS pueda leerlo.
3. Obtener el Boletín de Predicción.
4. Obtener el Boletín Meteorológico a Ras de Suelo.
5. Combinar el Boletín Meteorológico a Ras y el Boletín de Predicción para obtener el boletín combinado.

Es un proceso muy sencillo, una vez obtenidos los dos boletines solo es necesario transformar una línea del boletín de predicción METREP C para que TALOS lo pueda leer. La transformación consiste en separar los cuatro primeros grupos de datos, de manera que los dos primeros grupos de datos se encuentren en la primera fila y los dos siguientes en la segunda fila del archivo “.txt”, antes de introducirlo en TALOS.



Ilustración 11. METREP C transformado. Fuente (GACA I/20)

Las ventajas y desventajas de cada uno de los boletines que conforman el combinado no varían. Por lo tanto, solo se puede aplicar en los dos CENAD en los que está disponible el METREP C, es necesario el acceso a INTRANET y montar la estación WST7000C. El tiempo necesario para emplear el boletín combinado es la suma del tiempo necesario para obtener los dos BOMET de manera individual más el tiempo necesario en combinarlos.

[PÁGINA INTENCIONADAMENTE EN BLANCO]

Capítulo 5. La integración del BOMET en ARTHUR

Los pelotones meteorológicos proporcionan a las unidades artilleras la información meteorológica en un formato fijo llamado boletín meteorológico (BOMET). Los boletines meteorológicos permiten realizar correcciones en las condiciones que afectan tanto al vuelo del proyectil como al funcionamiento del ARTHUR; condiciones tales como la dirección y velocidad del viento, la temperatura o la densidad del aire.

En este capítulo se analizarán el BOMET de adquisición de objetivos, el BOMET calculador y su integración con el ARTHUR. Se realizará una entrevista con un experto que permitirá obtener respuestas a algunas de las incógnitas surgidas en el trabajo. Se realizará un análisis cuantitativo para estimar el tiempo necesario para introducir el BOMET calculador en el ARTHUR. Por último, se plantearán las características del estudio necesario para determinar la influencia del BOMET en el ARTHUR.

5.1. Boletín meteorológico de adquisición de objetivos

El boletín meteorológico de adquisición objetivos (METTA) es un mensaje codificado que contiene datos atmosféricos que utilizan los sistemas de adquisición de objetivos en el campo de batalla.

El boletín se compone de una introducción y un cuerpo (véase [Apéndice L](#)). La introducción tiene cinco grupos, el quinto grupo correspondiente a la información sobre las nubes y al índice de refracción no se puede introducir en el informe meteorológico.

El cuerpo contiene 26 líneas que van separadas cada 100 metros, por lo que este parámetro coincide con el informe meteorológico necesario en el ARTHUR. Por otra parte, cada línea del cuerpo está formado por cuatro parámetros: dirección y velocidad del viento, temperatura del aire y humedad relativa. Los tres primeros parámetros coinciden tanto en magnitud medida como en unidades en las que se mide, pero el ARTHUR requiere presión atmosférica y no humedad, por lo que no son compatibles. Resulta sorprendente que un sistema de adquisición de objetivos no sea compatible con el boletín de adquisición de objetivos aprobado mediante STANAG.

5.2. Boletín meteorológico calculador

El boletín meteorológico calculador (METCM) es un mensaje codificado que indica las condiciones atmosféricas en determinadas alturas, partiendo de la superficie y extendiéndose hasta una altura que incluye la altura máxima de las trayectorias de las armas que emplean estos datos.

El boletín MET calculador se compone de una introducción y un cuerpo (véase [Apéndice M](#)). El cuerpo está formado por cuatro parámetros: dirección y velocidad del viento, temperatura del aire y presión atmosférica. Todos los parámetros coinciden, tanto en magnitud medida, como en unidades, aunque presenta un problema de compatibilidad con el ARTHUR.

Si se atiende al *Manual del operador del ARTHUR* y se comparan las líneas del BOMET calculador y el informe meteorológico del ARTHUR, no coinciden, ya que el BOMET calculador no está formado por líneas con un intervalo de 100 metros. Se usaría hasta la línea 7 correspondiente a una altura entre 2500 metros y 3000 metros del BOMET, introduciendo las mismas líneas del METCM en distintas líneas del informe meteorológico. El BOMET calculador aprobado mediante STANAG tampoco sería compatible con los parámetros requeridos por el radar.

5.3. Entrevista a personal de la empresa Saab

A fin de solventar las cuestiones planteadas anteriormente en el trabajo, se ha recurrido a contactar con la empresa fabricante del ARTHUR, Saab. La entrevista al experto, Mr Bård Frostad, ha sido muy fructífera para obtener información sobre la influencia del BOMET en el funcionamiento del ARTHUR, así como para detectar los errores en todos los ámbitos posibles y proponer soluciones. La entrevista se hizo en inglés y no se ha traducido para no cambiar el sentido de las respuestas del experto. En el [Apéndice N](#) se puede leer la entrevista completa. A continuación, se analiza la información proporcionada por el experto.

Desafortunadamente, no se ha realizado ningún estudio cuantitativo acerca de la influencia real del BOMET en las mediciones del ARTHUR. Al igual que en los sistemas de armas de artillería, la influencia de la meteorología será mayor, cuanto mayor sea la distancia a la que se localizan los proyectiles. Asimismo, la orografía influye, en terrenos irregulares, donde la altura varíe mucho a lo largo de la trayectoria del proyectil, las condiciones meteorológicas tendrán una mayor relevancia. Actualmente, los campos de maniobras en España no permiten realizar tiros a larga distancia. Incluso el experto ha puesto como ejemplo de campo de tiro pequeño, el más grande en España, el CENAD San Gregorio. Dentro de las limitaciones presupuestarias, sería productivo realizar algún ejercicio en un campo de maniobras de un país aliado de la OTAN para evaluar las capacidades no solo del ARTHUR, si no de la ACA en distancias mayores a 20 km.

El boletín que se debe emplear en el ARTHUR es el BOMET calculador, acorde a la STANAG 4082. Cuando se diseñó el ARTHUR se decidió usar éste debido a que es el boletín que se introduce en los sistemas de armas, así se reducía la cantidad de boletines necesarios. Además, se puede enviar por voz y datos.

Actualmente en la OTAN, se está trabajando con el BOMET de rejilla, acorde a la STANAG 6062, este boletín incluye información de varias fuentes, aumentando la precisión. Aunque tiene dos desventajas que disminuyen su utilidad, no puede ser introducido manualmente ni enviado mediante voz. Este boletín podría ser implementado en el ARTHUR, pero no se contempla en los planes a corto plazo de Saab.

El experto recalca la importancia de la integración entre el ARTHUR y el sistema de mando y control (TALOS), no solo para introducir automáticamente el boletín, si no para enviar la información a los puestos de mando y realizar la contrabatería en el menor tiempo posible.

La entrevista ha permitido descubrir un error muy grave de traducción en el *Manual del operador del ARTHUR*, las 26 líneas según el manual son cada 100 metros. Sin embargo, las líneas no siguen un intervalo de 100 metros y se corresponden con las líneas del BOMET calculador. Se debe corregir la errata y tenerla en cuenta cuando se opere el ARTHUR. Asimismo, es necesario completar la información del manual, ya que apenas dedica dos páginas de las seiscientas cuarenta y ocho que lo conforman, para explicar el informe meteorológico.

Uno de los puntos que se ha estudiado en el trabajo son los cuatro parámetros del informe meteorológico (dirección y velocidad del viento, temperatura del aire y presión atmosférica). A partir de la opinión del experto, se ha descubierto que el ARTHUR solo emplea la velocidad y la dirección del viento para corregir los errores en la localización, por lo que no es necesario introducir manualmente temperatura y presión atmosférica. De esta manera, se reduce el tiempo empleado para entrar en posición. Esta información tampoco está incluida en el *Manual del operador del ARTHUR*.

El experto ha comentado las mejoras que se han implementado en el ARTHUR desde el modelo B, el actual en España, hasta el modelo D. El modelo D ha reducido el volumen y peso del sistema. Además, ha mejorado la antena tanto en precisión como en alcance, siendo éste de hasta 100 km. Los alcances en los sistemas de armas del ET no superan los 40 km, por lo que no se considera prioritario actualizar el sistema. No supondría una mejora en el modo de control del tiro propio. En el caso de la implementación de la munición mejorada o la adquisición de un sistema de lanzacohetes, el alcance de los sistemas superaría los 40 km y resultaría necesario estudiar la actualización del ARTHUR.

Respecto a la misión principal para el ARTHUR, el experto afirma que es apoyar la operación de la Brigada/ División localizando las unidades de artillería enemigas para las operaciones de contrabatería. Como misión secundaria contempla operaciones de apoyo a la paz u operaciones contrainsurgencia, aunque el trabajo que realizaría el ARTHUR podría ser realizado por otros sistemas como drones o radares multipropósito.

Como futuras líneas de investigación, el experto destaca mejorar la precisión por encima del rango. Un rango de 100 km es suficiente teniendo en cuenta los sistemas de armas, la organización y las tácticas enemigas. Destaca la importancia de la instrucción, no del operador, ya que el ARTHUR es un sistema sencillo de manejar. Se refiere a la instrucción de los cuadros de mando para conocer las capacidades del sistema, las zonas más adecuadas para posicionarlo y las tácticas para la supervivencia.

5.4. Introducción de los datos del BOMET en el ARTHUR

El día 07/10/2020 se realizó un análisis cuantitativo para estimar el tiempo necesario para introducir el BOMET calculador en el Radar ARTHUR. Para ello el sargento operador del ARTHUR introdujo 6 veces las 26 líneas del informe meteorológico del ARTHUR. Este análisis se realizó antes de la entrevista con el experto y se utilizaron los cuatro parámetros del cuerpo del METCM.

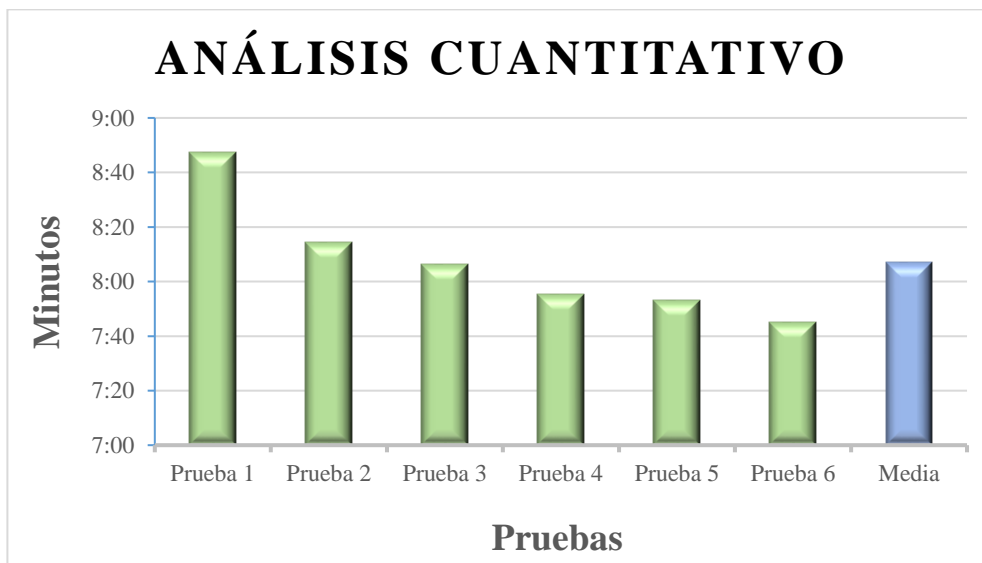


Ilustración 12. Análisis cuantitativo: minutos por prueba. (elaboración propia)

Como se puede observar, el proceso requiere de media un tiempo muy alto de 8 minutos y 7 segundos. Este tiempo se suma al tiempo necesario para obtener el boletín y a revisar que los datos introducidos son correctos. Si solo se introdujera dirección y velocidad del viento, el tiempo empleado sería menor, alrededor de un minuto y medio según el operador del ARTHUR.

El cansancio, el estrés de las operaciones y el gran volumen de datos pueden llevar a que el operador cometa algún error. La integración de los medios del GAIL permitiría disminuir la cantidad de errores y reducir el tiempo necesario para introducir el BOMET.

5.5. Análisis del estudio necesario para determinar la influencia del BOMET en la precisión de las localizaciones al operar el radar ARTHUR

Las limitaciones logísticas no han permitido llegar a una conclusión concisa sobre la influencia real del METCM en la precisión del radar. De manera empírica el GAIL podría clarificar los resultados a lo largo de distintos ejercicios de instrucción variando los siguientes factores:

- Radar ARTHUR: en el GAIL y en el ET, solo hay 4 radares en dotación por lo que se deberían ir variando a fin de reducir los errores inherentes a cada sistema.
- Tripulación del ARTHUR: al igual que en el resto de los materiales del ET, la destreza del operador y el nivel de instrucción juegan un papel fundamental en el correcto empleo y funcionamiento.
- Modos de funcionamiento: sería necesario discernir los resultados atendiendo al propósito con el que se emplea el radar. En el modo de localización de arma sería más fácil logísticamente, ya que se puede conocer la ubicación de los sistemas de armas propios mediante TALOS táctico y compararlos con la posición obtenida del radar. En el modo de control de fuegos sería más complicado, porque es más fácil saber la ubicación de un sistema de armas aliado, que el punto de impacto exacto de un proyectil.
- Meteorología: evidentemente sería fundamental realizar el estudio en distintas condiciones atmosféricas.
- Orografía: como ha comentado el experto en la entrevista el terreno influye en el funcionamiento del ARTHUR, por lo que se debería emplear el sistema en distintos campos de maniobras nacionales e internacionales si surgiera la ocasión.
- Sistemas de armas y rango de disparo: sería necesario realizar numerosos tiros, considerando el alcance al que es capaz de detectar el ARTHUR y con distintos sistemas de armas (cañón, mortero y cohete). No será igual la influencia del BOMET en un tiro tenso de un cañón que en un tiro de mortero.

Por ejemplo, en un ejercicio de instrucción se podría utilizar un radar que introdujera el BOMET y otro que no lo introdujera y después comparar los resultados realizando un análisis y llevando un registro.

[PÁGINA INTENCIONADAMENTE EN BLANCO]

Capítulo 6. Líneas de trabajo futuro

Una vez conocida la situación actual para la obtención del BOMET y su aplicación en el radar ARTHUR, resulta conveniente establecer posibles líneas de investigación para mejorar en el futuro.

Sería necesario estudiar las deficiencias que ARTHUR tiene para detectar tiros muy bajos sobre la superficie o tiros muy tensos. De esta manera, se definirían las prestaciones del radar, para tenerlas en cuenta en el planeamiento y suplir sus deficiencias con otro sistema como el HALO.

Respecto a otras características del ARTHUR podría ser conveniente estudiar su movilidad, cambiando la plataforma en la que se transporta. La movilidad de los medios de A/O es fundamental porque despliegan en profundidad y deben realizar cambios de posición, que permitan detectar todos los orígenes de fuego necesarios. Un vehículo de cadenas aumentaría su movilidad en terrenos inaccesibles para el camión IVECO actual.

Otra de las opciones que permitiría aumentar las prestaciones, sería una plataforma 8x8 que aumentaría la protección como la velocidad, tanto en carretera como en terrenos complicados. El Ejército Británico compró el vehículo Boxer, que servirá como plataforma para el ARTHUR.

También sería interesante como línea de estudio futuro, examinar la variación en las distintas capas de los datos meteorológicos, utilizando el boletín obtenido desde el sistema MW32 y el boletín combinado obtenido mediante el boletín a ras de suelo de una estación de superficie y el boletín de predicción obtenido a través de INTRANET.

Finalmente, sería de interés estudiar el despliegue de una ULAO en Zona de Operaciones, en aquellas misiones destinadas a vigilar los acuerdos de paz o en aquellas donde se trate de proteger un punto sensible como una base de operaciones. En caso de un ataque, los medios del GAIL serían de gran utilidad para detectar el origen de fuegos y proporcionar información que sería trasladada a los órganos de inteligencia, para su análisis y explotación. El ARTHUR ha demostrado su efectividad en combate, por ejemplo, en las misiones internacionales en Iraq o Afganistán cuando fue desplegado por el Ejército Británico.

[PÁGINA INTENCIONADAMENTE EN BLANCO]

Capítulo 7. Conclusiones

Actualmente, sería muy difícil llegar a una conclusión definitiva acerca de la influencia real que tiene el BOMET en la precisión de las mediciones del ARTHUR. Las necesidades logísticas necesarias para un estudio de esta magnitud son muy difíciles de alcanzar con las limitaciones presupuestarias actuales.

Según la investigación, cuanto mayor sea la distancia a la que detecta el ARTHUR y mayor sea la variación de la orografía, mayor será la necesidad de introducir el BOMET en el ARTHUR. Los tiros en los campos de maniobras del ET son distancias cortas y el ARTHUR puede funcionar correctamente sin utilizar el BOMET, no obstante, en una situación real o en un futuro próximo cuando el empleo de las municiones de alcance extendido sea mayor, la necesidad de trabajar con BOMET en el ARTHUR será mayor.

A pesar de tener menor influencia en tiros de corto alcance, es recomendable trabajar con el BOMET porque las líneas de trabajo actuales en ACA en la OTAN se enfocan en la obtención de la máxima precisión posible. Si se reducen los errores a la hora de adquirir los objetivos con el ARTHUR se reducen los daños colaterales cuando se baten dichos objetivos.

Una de las mayores dificultades en el desarrollo del trabajo ha sido la obtención de información. El manual *PD4-318 Procedimientos operativos del FDC Tomo I* necesita una actualización de las distintas formas de obtener los boletines. Otra opción, sería confeccionar un manual con información acerca de los distintos boletines y como obtenerlos, ya sea a nivel ET o como norma operativa en el GAIL, a fin de clarificar el proceso de decisión del mando.

Durante el desarrollo el trabajo y gracias a la entrevista de la empresa se ha detectado una errata en el *Manual del operador del ARTHUR* que puede llevar a un incorrecto funcionamiento del radar. Las líneas necesarias en el informe meteorológico no son cada 100 metros. Es necesario corregir ese error y ampliar la información del manual aclarando que el BOMET que se necesita en el ARTHUR es el METCM y que la versión C del ARTHUR tan solo necesita dirección y velocidad del viento para funcionar. Asimismo, se debería revisar el manual completo para comprobar que no existen más errores de traducción.

Es necesario estudiar a fondo el procedimiento del NOTAM de cara a obtener un proceso rápido y fiable. Mejorar la coordinación con las autoridades aéreas es fundamental para obtener el BOMET mediante radiosondeo.

La integración entre el ARTHUR y TALOS es prioritaria para automatizar el sistema, introducir automáticamente el boletín y reducir el tiempo para enviar la información a los puestos de mando.

Por último, el radar ARTHUR es un medio muy preciso, capaz de proporcionar resultados fiables en cualquier situación. Es necesario conocer el sistema, sus prestaciones y sobre todo sus limitaciones para emplear el sistema correctamente.

Bibliografía

- AEMET. (2008). *Manual De Usuario Del Postal De Información Meteorológica*.
- Army Czech Republic. (2011). *ARTILLERY RADAR SYSTEM ARTHUR*.
<http://www.army.cz/scripts/detail.php?id=6667>
- Cogan, James y Sauter, David. (2013).
Generation of Ballistic Meteorological Messages - Surface to Surface (METB3s) from Computer Meteorological Messages.
- DEFPOST. (2010).
Saab Receives UK MoD Order to Support for Arthur Weapon Locating Systems
<https://defpost.com/saab-receives-uk-mod-order-to-support-for-arthur-weapon-locating-systems/>
- Escuela Superior de las Fuerzas Armadas. (2014).
El apoyo meteorológico a las operaciones del siglo XXI.
- Estado Mayor de la Defensa. (2008).
PDC-3.11.1 Manual de Apoyo Meteorológico a las Fuerzas Armadas.
- Fernández González, Ignacio. (2013).
Memorial de Artillería 169/2.
Radar contrabatería Arthur. Cinco años de trabajo en las ULAO del GAIL.
- Fuente Simón, Jesús. (2014). InfoDefensa.
<http://www.infodefensa.com/es/2014/08/19/noticia-teniente-coronel-fuente-incuestionable-necesidad-lanzacohetes.html>
- González Morales, Agustín. (2000).
Fundamentos de Balística.
Capítulo 1. Balística Interior.
- González Rubio, Jorge. (2019).
Trabajo de Fin Grado: Integración de una Unidad de Localización y Adquisición de Objetivos en la defensa de una base militar sobre la base del concepto C-RAM.
- Grupo de Artillería de Campaña I/20. *Guía de TALOS Técnico*.
- Headquarters, Department Of The US Army. (2007).
TACTICS, TECHNIQUES, AND PROCEDURES FOR FIELD ARTILLERY METEOROLOGY.

Izquierdo Núñez, David. (Curso 2019-2020).

Radares.

Tema 2: Conceptos Básicos. Radares Pulsados

Jover Galtier, Jorge. (Curso 2019-2020). *Asignatura de Balística.*

Mando de Adiestramiento y Doctrina. (2018). *MI-308 Radar ARTHUR.*

Mando de Adiestramiento y Doctrina. (2016).

PD4-301 Empleo Táctico del Grupo de Artillería de Información y Localización.

Mando de Adiestramiento y Doctrina.

PD4-301 Empleo de la Artillería de Campaña.

Mando de Adiestramiento y Doctrina. (2015).

PD3-315 Apoyos de Fuego.

Mando De Adiestramiento y Doctrina.

PD4-318 PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS DE FDC (TOMO I).

Martín Moya, Francisco y González Mené, Francisco. (2017).

Memorial de Artillería 173/1.

Posicionamiento preciso de objetivos (Target Mensuration).

NATO. (2005). *NATO METEOROLOGICAL CODES MANUAL.*

NATO. (1969).

STANDARDIZATION AGREEMENT: ADOPTION OF A STANDARD ARTILLERY COMPUTER.

Nota Cultural del Día. (2010).

<https://notaculturaldeldia.blogspot.com/2010/04/diferencia-entre-mortero-y-obus.html>

Rivera Moreno, José María. (2005).

Memorial de Artillería 161/2.

BOMET Balístico de predicción.

Saab. (2008). *ARTHUR ES Manual del operador.*

Sancho Val, Joaquín y Torralba Gracia, Marta. (Curso 2019-2020).

Oficina de Proyectos.

Tema 5: Gestión de riesgos.

U.S. Marine Corps. (1999).

Tactics, Techniques, and Procedures for the Field Artillery Manual Cannon Gunnery.

Vaisala. (2009). *Vaisala MARWIN Sounding System User Guide.*

Vaisala. (2009). *Sistema de sondeo Vaisala MARWIN® MW32.*

Vaisala. (2009). *Equipo de Sondeo Vaisala, Helsinki.*

Apéndice A. Encuadramiento y estructura orgánica del GAIL

Las siguientes ilustraciones muestran la cadena orgánica del GAIL dentro del Ejército de Tierra.



Ilustración 13. Organización del Ejército de Tierra. Fuente (Cap. Geijo)

Está encuadrado dentro del Ejército de Tierra y a su vez en la Fuerza Terrestre.



Ilustración 14. Organización de la Fuerza Terrestre. Fuente (Cap. Geijo)

Forma parte de Regimiento De Artillería Lanzacohetes de Campaña 63 dentro del Mando de Artillería de Campaña.

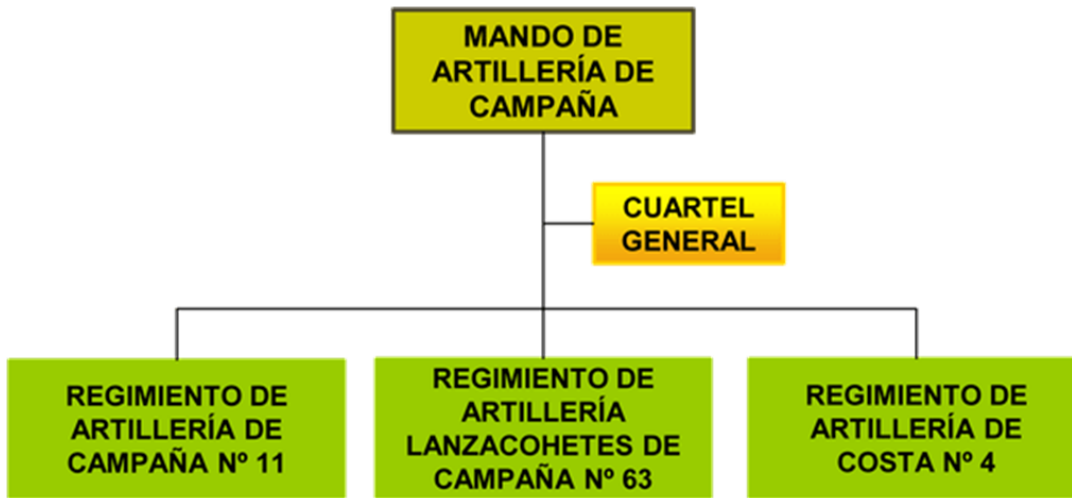


Ilustración 15. Organización del Mando de Artillería de Campaña. Fuente (Cap. Geijo)

El Regimiento De Artillería Lanzacohetes de Campaña 63 se divide en el Grupo De Artillería Lanzacohetes de Campaña I/63 (GALCA I/63) y en el Grupo de Artillería de Información y Localización (GAIL).

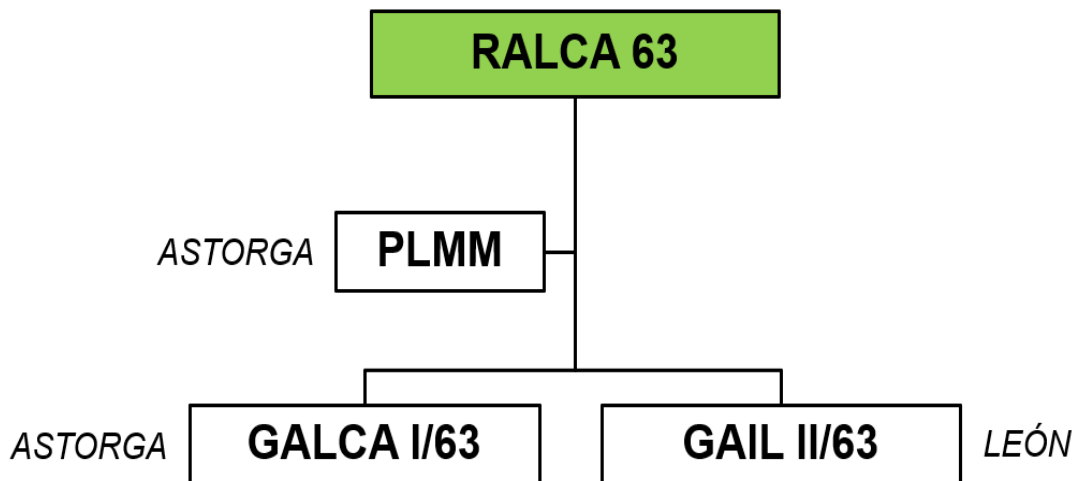


Ilustración 16. Organización del Regimiento de Artillería Lanzacohetes 63. Fuente (Cap. Geijo)

El GAIL está dividido en cuatro baterías: dos BAOs, una batería RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) y una batería de Plana Mayor y Servicios (PLMS).

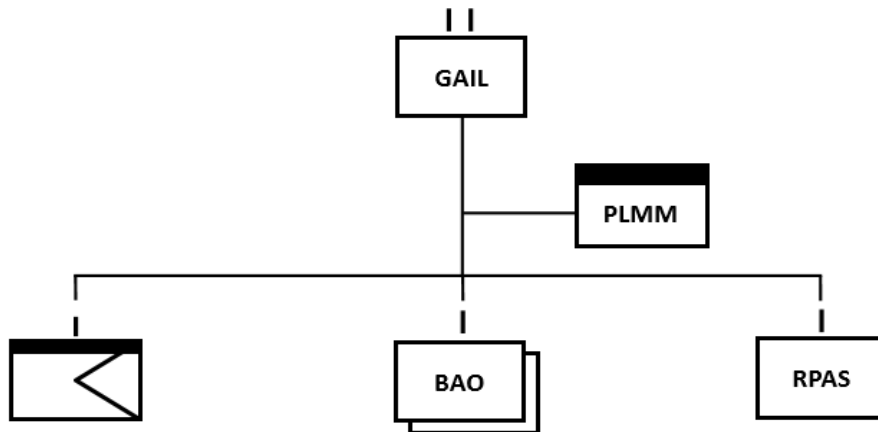


Ilustración 17. Estructura orgánica del GAIL. Fuente (Cap. Geijo)

La BAO está compuesta por tres secciones: Plana de Mando, localización pasiva y localización radar, en la que está encuadrada el radar ARTHUR.

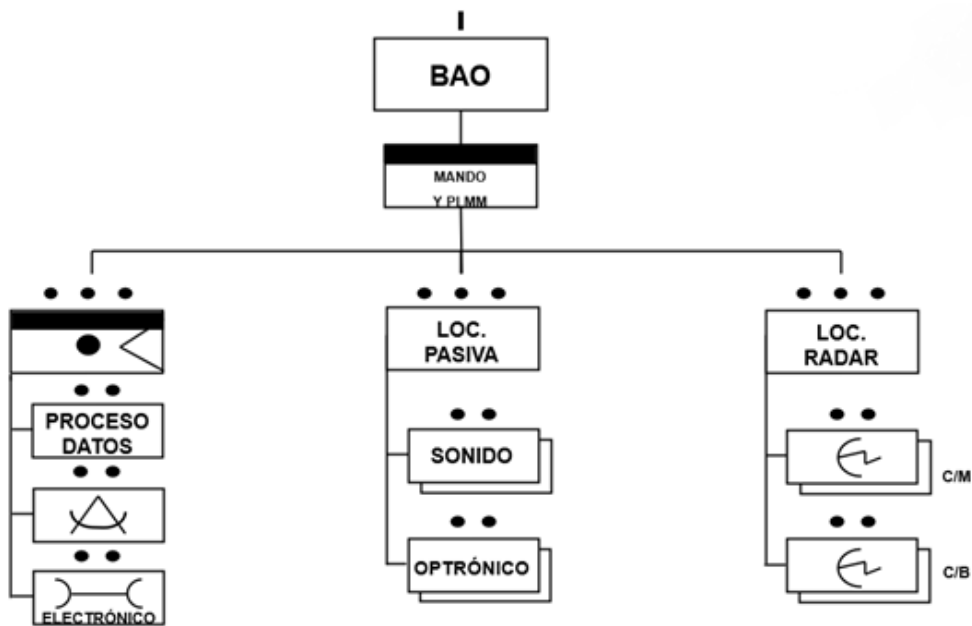


Ilustración 18. Estructura orgánica de la BAO. Fuente (Cap. Geijo)

Apéndice B. Diferencia entre cañón, mortero y cohete

Tanto el cañón como el mortero son armas que disparan proyectiles sin propulsión propia, describen una trayectoria balística en su totalidad: una vez que han recibido un impulso inicial dentro de la pieza (balística interior), su trayectoria queda sujeta únicamente a la fuerza de gravedad y a las fuerzas aerodinámicas debidas al contacto entre proyectil y aire.

El cañón presenta un tiro más tenso que los morteros (sus ángulos de elevación típicos están por debajo de 45°), por lo que su alcance horizontal es mayor. Además, presentan una mayor longitud de tubo.

El mortero tiene el tubo muy corto en proporción a su calibre, y se suele disparar con ángulos más verticales que los 45° , por lo que produce una parábola muy acusada. Se utilizan para batir zonas desenfiladas del fuego, que no pueden ser alcanzadas por un tiro directo.



Ilustración 19. Comparación de la trayectoria entre cañón y mortero. (Nota Cultural del Día, 2010)

El cohete obtiene su empuje por la reacción de la expulsión rápida de gases de combustión desde un motor integrado. Los lanzadores cohetes permiten fuegos potentes y masivos, con un gran alcance e ideales para batir zonas. En España no hay lanzadores cohetes desde el 2011, cuando se dio de baja el lanzacohetes Teruel (LCM-40/Teruel-2).



Ilustración 20. Sistema lanzacohetes Teruel. Fuente. (Fuente Simón, 2014)

Apéndice C. Sistema Talos

El sistema unificado de Mando y Control de los apoyos de fuego TALOS constituye un sistema de apoyo a las unidades de Artillería desde el año 2009. TALOS está conformado por células diferenciadas según la función que deben cumplir, cada una de ellas con diferentes capacidades. Estas células se agrupan en dos subsistemas principales que pueden trabajar de forma coordinada o por separado. A continuación, se explicará el uso en el GAIL:

- **Talos Táctico:** se usa para planeamiento y coordinación de los apoyos de fuego. Se encuentra integrado en un ordenador portátil dentro del EAO (un ordenador diferente al que integra TALOS técnico). Con este ordenador se controla todos los medios del GAIL y se comunican los datos a la unidad a la que se apoya.
- **Talos Técnico:** se utiliza para gestión y coordinación técnica del tiro. Es el subsistema empleado tanto en el ARTHUR como en el EAO. En el ARTHUR se utiliza para trasladar al EAO la posición de los sistemas de armas detectados y la predicción o el punto de impacto de los proyectiles. En el EAO hay un portátil con cada subsistema, táctico para comunicarse con la unidad a la que se apoya y técnico para comunicarse con el ARTHUR. El subsistema también se usa para enviar el BOMET desde el EAO al ARTHUR.

Apéndice D. Composición del radar ARTHUR

En este apéndice se explica detalladamente los componentes del ARTHUR.

- **Contenedor**

En el contenedor están ubicados los sistemas para operar el ARTHUR.



Ilustración 21. Contenedor acoplado a un camión todoterreno. Fuente (Saab, 2008)

- **Sistema de alimentación**

El ARTHUR está alimentado mediante un grupo electrógeno de gasoil integrado, aunque tiene la posibilidad de conectarse a una fuente de alimentación externa de 400 V.

- **Radar de localización**

El radar está compuesto por la unidad transmisora-receptora, la unidad de señal de datos, y la unidad de antena y afuste giratorio.

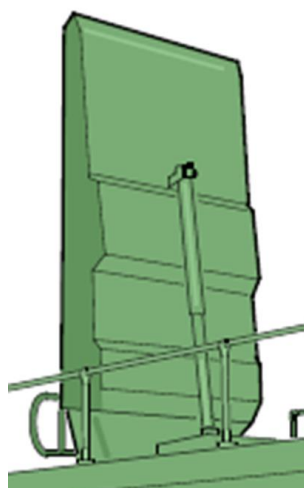


Ilustración 22. Antena del radar ARTHUR. Fuente (Saab, 2008)

- **Sistema de navegación inercial**

El sistema de navegación inercial calcula la posición, la velocidad y la dirección del sistema cuando se encuentra en movimiento. Sin embargo, su función principal es proporcionar al procesador de datos la dirección de la antena en acimut, elevación y cabeceo. El sistema de navegación permite aumentar la agilidad, el tiempo de reacción y la precisión del sistema.

- **Control del operador y sistema de pantalla**

El sistema posee dentro del contenedor una estación de trabajo con pantalla plana de color de 20 pulgadas con teclado y seguidor de bola (trackball). Además, posee una unidad de control portátil remoto que permite operar el sistema a distancia.



Ilustración 23. Pantalla del ARTHUR. (elaboración propia)

- **Sistema de climatización**

El sistema de climatización del contenedor cumple cuatro funciones principales: ventilación y protección NBQ (Nuclear, Biológica y Química), refrigeración de aire, refrigeración de la electrónica y el intercambio de calor entre los sistemas de refrigeración de aire y de refrigeración de electrónica.

- **Sistema de comunicaciones**

La finalidad del sistema de comunicaciones es proporcionar comunicaciones internas y externas. El sistema de comunicaciones externo proporciona comunicaciones de datos entre el ARTHUR y las unidades externas mediante: dos radios PR4G V3 y dos conexiones analógicas por cable.

Las transmisiones internas van integradas dentro del sistema WISPR (Wideband Intercom & Secure Packet Radio), mediante el cual se puede realizar la comunicación por fonía y datos y la intercomunicación entre el contenedor y la cabina.

Apéndice E. Encuadramiento del Pelotón Meteorológico y de la Oficina Técnica

En la Batería de PLMS del GAIL, dentro de la sección de meteorología y topografía, se encuentra encuadrado el pelotón meteorológico. A su vez en la sección de mantenimiento, se encuentra encuadrada la Oficina Técnica.

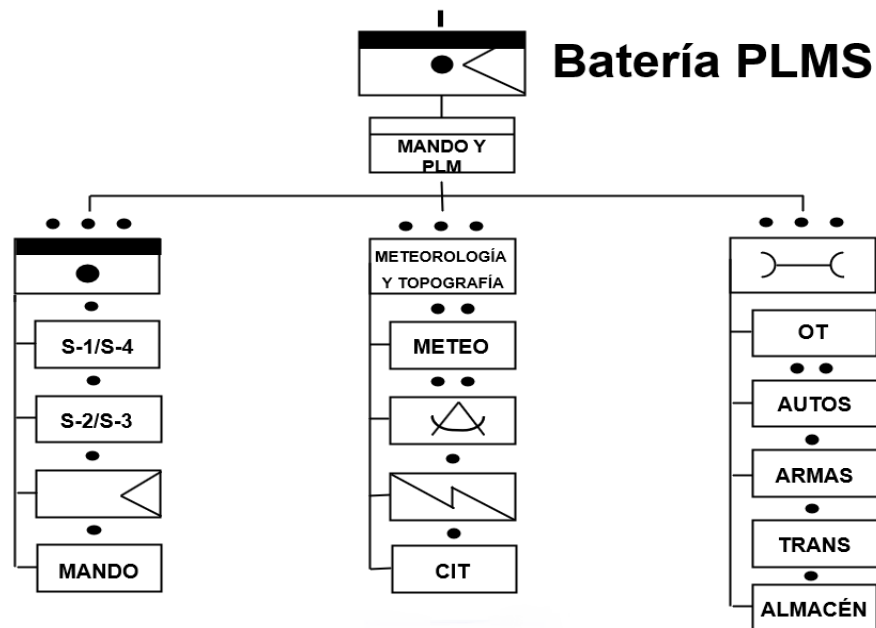


Ilustración 24. Organigrama de la Batería PLMS. Fuente (Cap. Geijo)

El pelotón meteorológico está formado por un sargento, dos cabos y dos soldados y tiene en dotación un vehículo ligero y un camión.



Ilustración 25. Medios en dotación del pelotón meteorológico. (elaboración propia)

Apéndice F. Componentes del sistema de sondeo MARWIN MW32

El MW32 incluye numerosos mensajes meteorológicos aprobados por la OTAN. Se puede obtener mensajes meteorológicos balísticos, mensajes meteorológicos para la lluvia, mensajes meteorológicos de adquisición de objetivos y mensajes meteorológicos de alcance del sonido. A continuación, se explican brevemente los componentes del sistema de sondeo MW32.

- **Caja con display y consola integrados**

Es el componente principal y permite operar el sistema.



Ilustración 26: Consola y radiosonda del sistema. Fuente (Cap. Geijo)

- **Radiosonda RS41**

La radiosonda se emplea unida al globo meteorológico para medir varios parámetros atmosféricos y transmitirlos a la consola MARWIN MW32. Se activa automáticamente cuando se ubica en el verificador de la radiosonda.



Ilustración 27. Radiosonda RS41 unida al globo meteorológico. Fuente (Cap. Geijo)

- **Antena CG31**

La antena omnidireccional de frecuencia ultra alta tiene un alcance de hasta 150 km. Se conecta al sistema MW32 antes de empezar el sondeo mediante cable y se ubica en una posición donde no haya grandes obstáculos como edificios, árboles o mástiles metálicos, en un radio de unos 20 metros.



Ilustración 28. Antena CG31. (elaboración propia)

- **Verificador de la radiosonda en superficie MWH322**

El MWH322 es un dispositivo verificador de la radiosonda en superficie que se emplea para conectar la radiosonda al sistema MW32.

- **Globo meteorológico**

El globo meteorológico se infla mediante unas bombonas de helio y permite que la radiosonda alcance las alturas necesarias para generar el BOMET.



Ilustración 29. Operador con el globo antes de lanzarlo. Fuente (Cap. Geijo)

Apéndice G. NOTAM

Los NOTAM son avisos distribuidos por medio de telecomunicaciones que informan sobre el establecimiento, condición o modificación de cualquier instalación aeronáutica, servicio, procedimiento o peligro. También pueden incluir alertas meteorológicas y avisos sobre zonas reservadas que no pueden ser atravesadas por aeronaves.

Se puede comprobar si el NOTAM ha sido aprobado a través de INTRANET o diversas páginas web civiles. La siguiente ilustración muestra el NOTAM de globo meteorológico aprobado para las maniobras de 30/10/2020 al 03/11/2020 en la página notams.faa.gov.

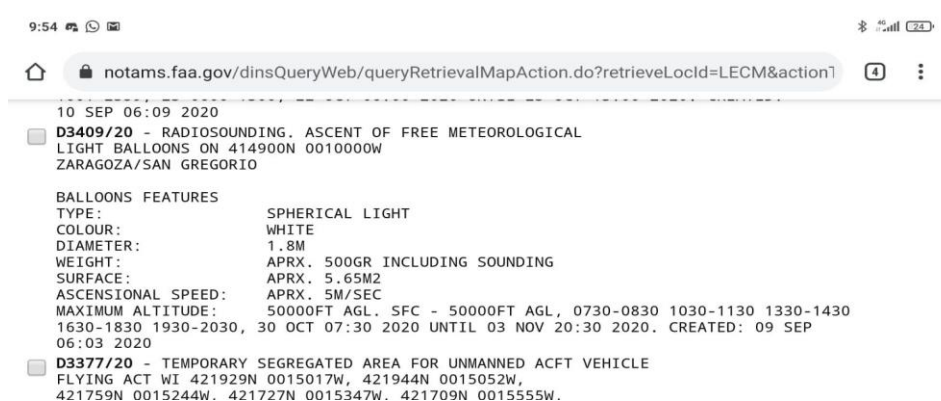


Ilustración 30. NOTAM de globo meteorológico aprobado. (elaboración propia)

En la siguiente página puede observar el NOTAM enviado mediante conducto reglamentario al Ejército del Aire para lanzar el globo meteorológico en un ejercicio del GAIL.

Apéndice H. Análisis de riesgos

ID	Descripción riesgo	Categoría riesgo	Causa del riesgo	Impacto (H,M,L)	Probabilidad (1,2,3)	Clase riesgo	Efectos riesgo	Medida / Alternativas	Clase riesgo tras medida
1	El vehículo que transporta el sistema MW32 sufre una avería	Técnico	Desgaste del material / Mantenimiento inadecuado	M	1	1M	Retraso en la obtención del BOMET	Mantenimiento preventivo	1L
2	El NOTAM no es aprobado	Táctico	Espacio aéreo ocupado / No se ha obtenido respuesta	H	2	2H	No se puede obtener el BOMET	Planeamiento exhaustivo	2M
3	La ECAO no autoriza lanzar el globo	Táctico	Espacio aéreo ocupado	H	1	1H	No se puede obtener el BOMET	Planeamiento exhaustivo	1M
4	La torre de control no da permiso para lanzar el globo	Táctico	Espacio aéreo ocupado	H	1	1H	No se puede obtener el BOMET	Planeamiento exhaustivo	1M
5	El operador no sabe utilizar correctamente el sistema MW32	Táctico	Falta de instrucción	M	1	1M	Retraso en la obtención del BOMET	Instrucción	1L
6	La consola MARWIN no tiene batería	Técnico / Táctico	La batería no está en buen estado / El operador ha olvidado cargarla	L	1	1L	Retraso en la obtención del BOMET	Utilizar una fuente de alimentación externa	1L
7	La consola MARWIN no funciona	Técnico / Táctico	Desgaste del material / Mantenimiento inadecuado	H	1	1H	No se puede obtener el BOMET	Mantenimiento preventivo / Planeamiento exhaustivo	1M
8	La bombona de helio no infla el globo	Técnico / Táctico	Desgaste del material / Mantenimiento inadecuado	L	1	1L	Retraso en la obtención del BOMET	Utilizar la bombona de repuesto	1L
9	La radiosonda no tiene batería	Técnico	La batería no está en buen estado	L	2	2L	Retraso en la obtención del BOMET	Utilizar otra batería / Utilizar otra radiosonda	1L

Tabla 5. Análisis de riesgos completo (primera parte). (elaboración propia)

ID	Descripción riesgo	Categoría riesgo	Causa del riesgo	Impacto (H,M,L)	Probabilidad (1,2,3)	Clase riesgo	Efectos riesgo	Medida / Alternativas	Clase riesgo tras medida
10	El cable de conexión de la radiosonda no funciona correctamente	Técnico	El cable se encuentra en mal estado	L	1	1L	Retraso en la obtención del BOMET	Mantenimiento preventivo / Utilizar otro cable	1L
11	La radiosonda pierde la conexión con el sistema MW32	Técnico	Fallo de conexión	M	2	2M	Retraso en la obtención del BOMET	Lanzar un globo con otra radiosonda	2L
12	El globo estalla	Técnico	El globo era defectuoso	M	1	1M	Retraso en la obtención del BOMET	Lanzar un globo con otra radiosonda	1L
13	El operador no tiene un dispositivo USB	Táctico	Falta de planeamiento	L	1	1L	Retraso en la obtención del BOMET	Planeamiento exhaustivo	1L
14	El pelotón meteorológico no tiene enlace radio con el EAO	Técnico / Táctico	Fallo de conexión / Falta de planeamiento	M	1	1M	Retraso en el envío del BOMET	Llevar el USB hasta el EAO / Planeamiento exhaustivo	1L
15	El EAO no tiene enlace radio con el ARTHUR	Técnico / Táctico	Fallo de conexión / Falta de planeamiento	M	1	1M	Retraso en el envío del BOMET	Llevar el USB al ARTHUR / Planeamiento exhaustivo	1L
16	El operador no sabe operar el ARTHUR	Táctico	Falta de instrucción	H	1	1H	Funcionamiento incorrecto del ARTHUR	Instrucción	1M
17	Fallo al introducir los datos del BOMET en el ARTHUR	Táctico	Error humano	H	3	3H	Funcionamiento incorrecto del ARTHUR	Instrucción / Repasar el procedimiento	2H
18	El ARTHUR sufre una avería	Técnico / Táctico	Desgaste del material / Mantenimiento inadecuado	H	1	1H	No se puede cumplir la misión	Mantenimiento preventivo	1M

Tabla 6. Análisis de riesgos completo (segunda parte). (elaboración propia)

Apéndice I. Coste del radio sondeo en SIGLE

El precio del globo meteorológico y de la radiosonda se ha obtenido a través de SIGLE, el Sistema Integrado de Gestión Logística del Ejército, un sistema informático diseñado para la gestión de los recursos materiales del ET y que integra las actividades y métodos logísticos del Ejército. El precio de la bombona se ha obtenido entrevistando al sargento de la Oficina Técnica, ya que la bombona se obtiene a través de un contrato con una empresa externa. En las siguientes ilustraciones se observa el coste de la radiosonda y del globo meteorológico.

The screenshot displays the 'CONSULTAR DATOS ARTÍCULO' window in the SIGLE system. The article is identified as 'RADIOSONDA, EQUIPO' with a NIN of 580001591. The 'Abastecimiento' section is highlighted, showing a 'Precio Estándar' of 223.55. Other details include 'Clase/Subclase' 0901 (C.I.X.a PIEZAS DE REPUESTO), 'Estado' 2 (NOC ACTIVO), and 'Tipo' K (RESTO DE ARTICULOS EN SIGLE).

Ilustración 31. Coste de la radiosonda en SIGLE. (elaboración propia)

The screenshot displays the 'CONSULTAR DATOS ARTÍCULO' window in the SIGLE system for a meteorological balloon. The article is identified as 'GLOBO, METEREOLOGIA' with a NIN of 982037776. The 'Abastecimiento' section is highlighted, showing a 'Precio Estándar' of 18.96. Other details include 'Clase/Subclase' 0901 (C.I.X.a PIEZAS DE REPUESTO), 'Estado' 2 (NOC ACTIVO), and 'Tipo' K (RESTO DE ARTICULOS EN SIGLE).

Ilustración 32. Coste del globo meteorológico en SIGLE. (elaboración propia)

Apéndice J. Obtención del BOMET a partir de la AEMET

En el apéndice se detalla el procedimiento de obtención del METREP C que proporciona la AEMET. Tras acceder al ordenador, se selecciona a “BOD” (Boletín Oficial de Defensa). Después, en la página del Órgano Central se selecciona “Meteorología” en la parte derecha de la ilustración.

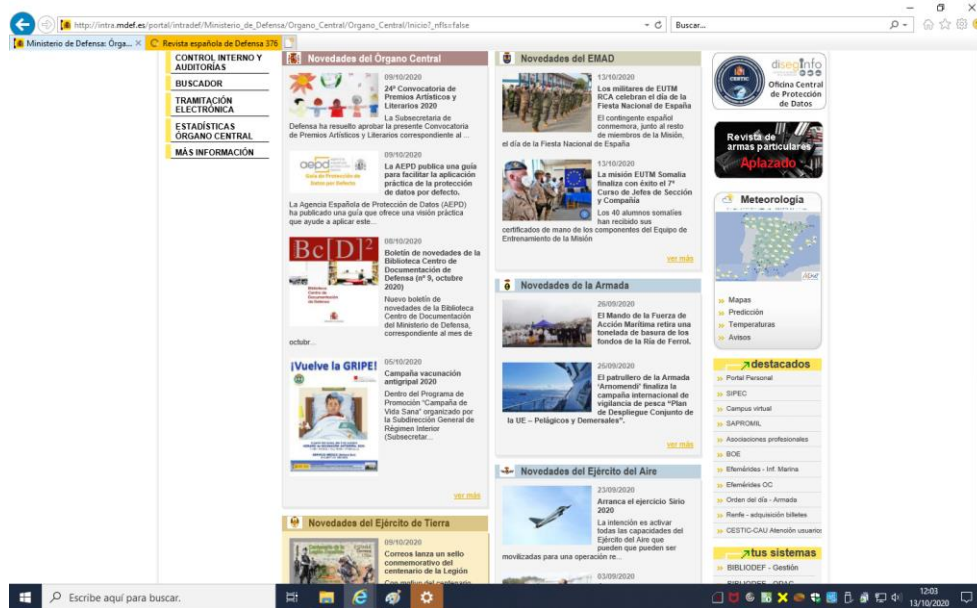


Ilustración 33. Página del Órgano Central. (elaboración propia)

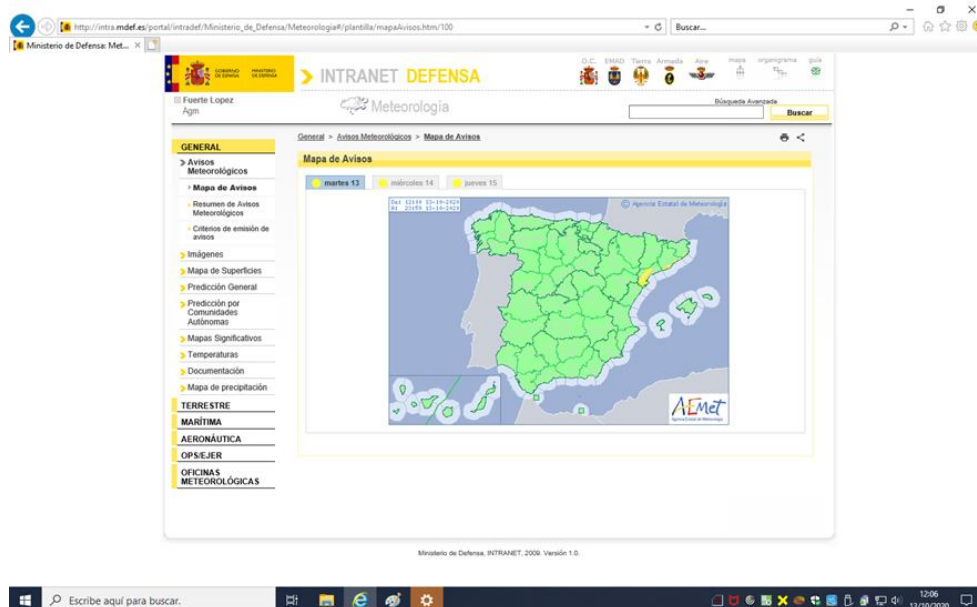


Ilustración 34. Página de Meteorología de la AEMET. (elaboración propia)

En la página de la AEMET, se selecciona “Terrestre” y después “CENAD”.

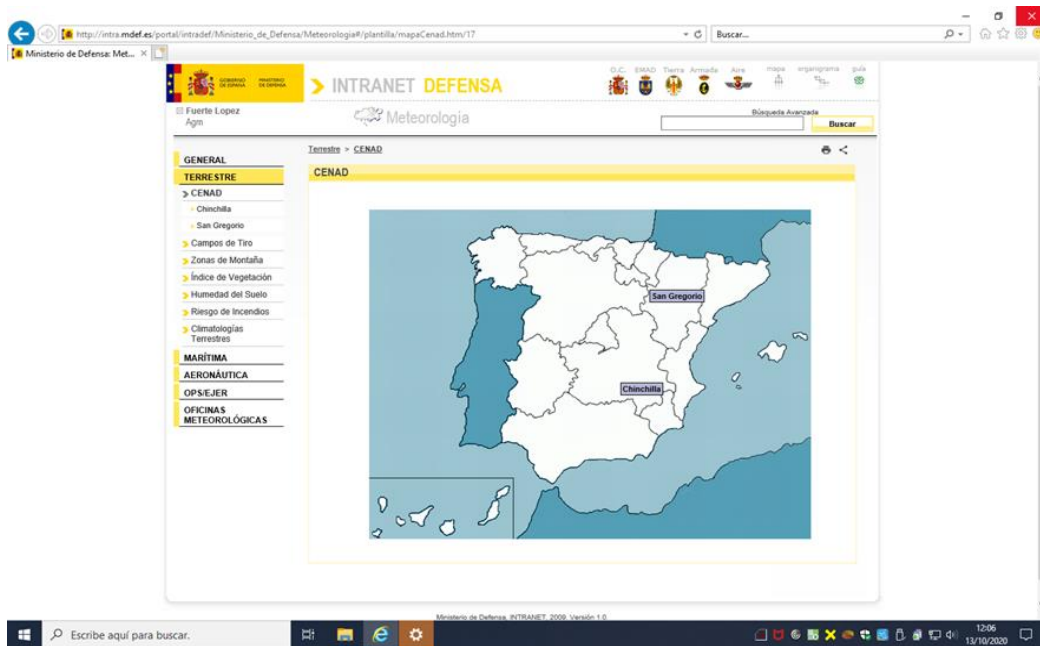


Ilustración 35. Página de Meteorología / CENAD. (elaboración propia)

Se puede seleccionar la información de los campos de maniobras y de los dos CENAD. Por último, se accede al METREP C.

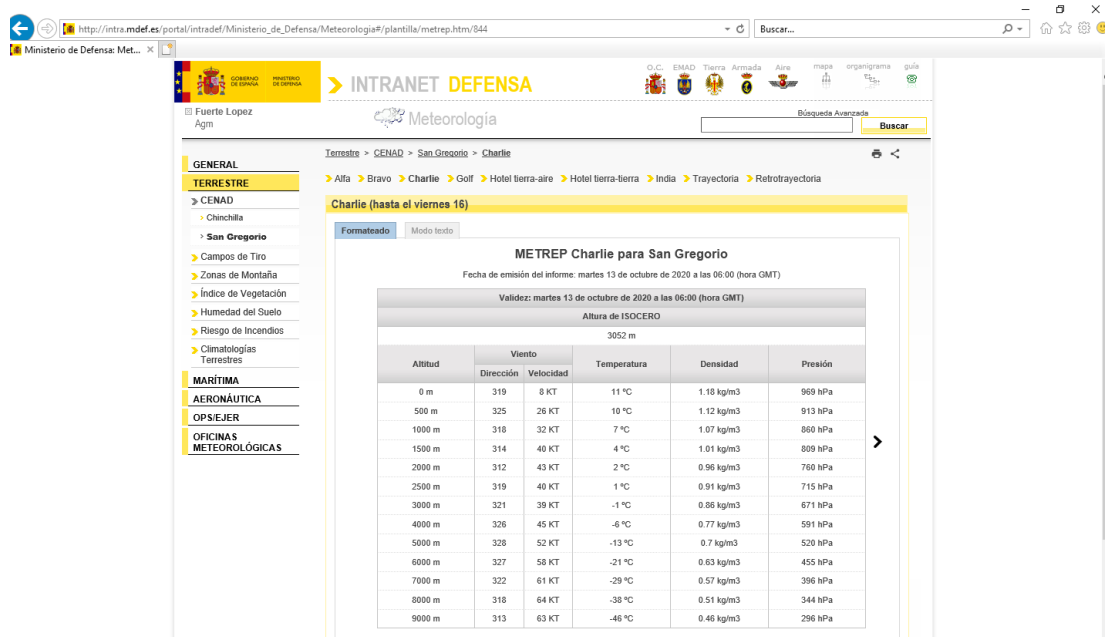


Ilustración 36. METREP C en el CENAD de San Gregorio. (elaboración propia)

Como ejemplo, se puede observar en la ilustración 36 el METREP C para el día 13/10/2020 en el CENAD de San Gregorio. Para ser utilizado en el ARTHUR se debería cambiar las unidades de temperatura de grados centígrados a grados Kelvin y la presión de hectopascales a milibares.

Apéndice K. Obtención del BOMET a partir de una estación de superficie y TALOS

Las siguientes ilustraciones recogen el proceso completo de obtención del BOMET interpolando con TALOS.

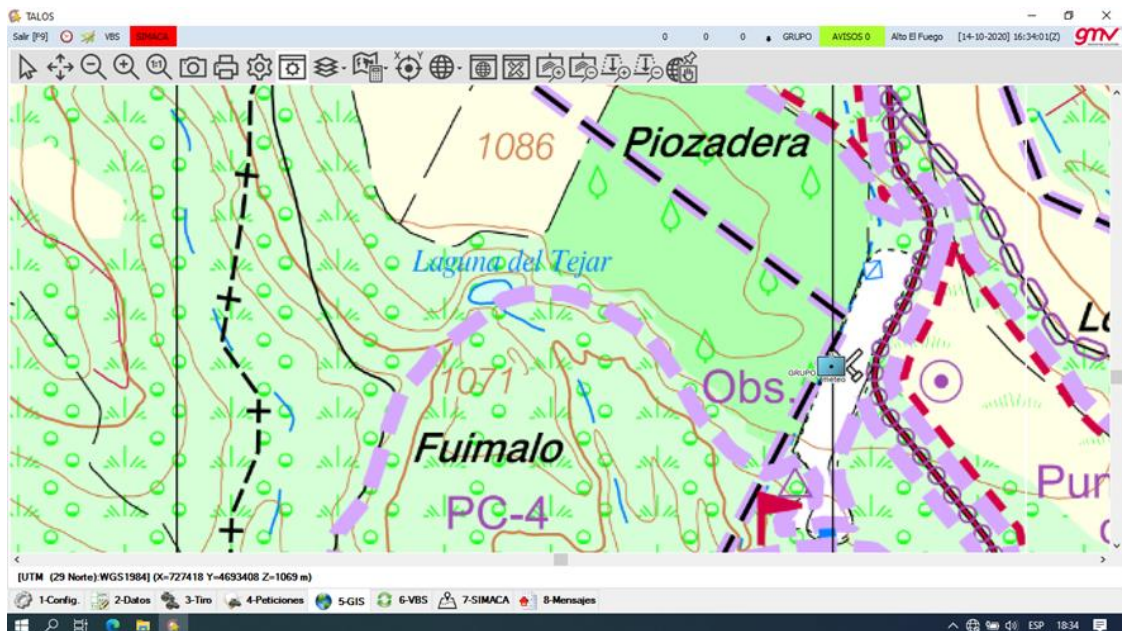


Ilustración 37. Posición de la estación WST7000C en TALOS. (elaboración propia)

Se selecciona la “pestaña boletines” en TALOS.

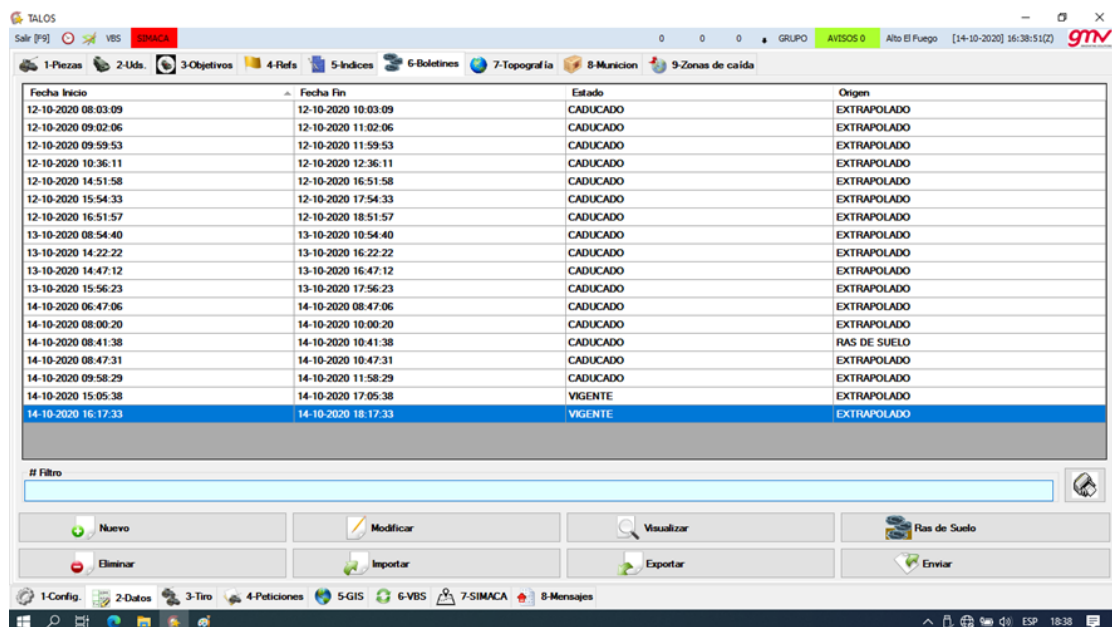


Ilustración 38. Boletines en TALOS. (elaboración propia)

Se selecciona “A ras de suelo” para obtener el boletín en la superficie.

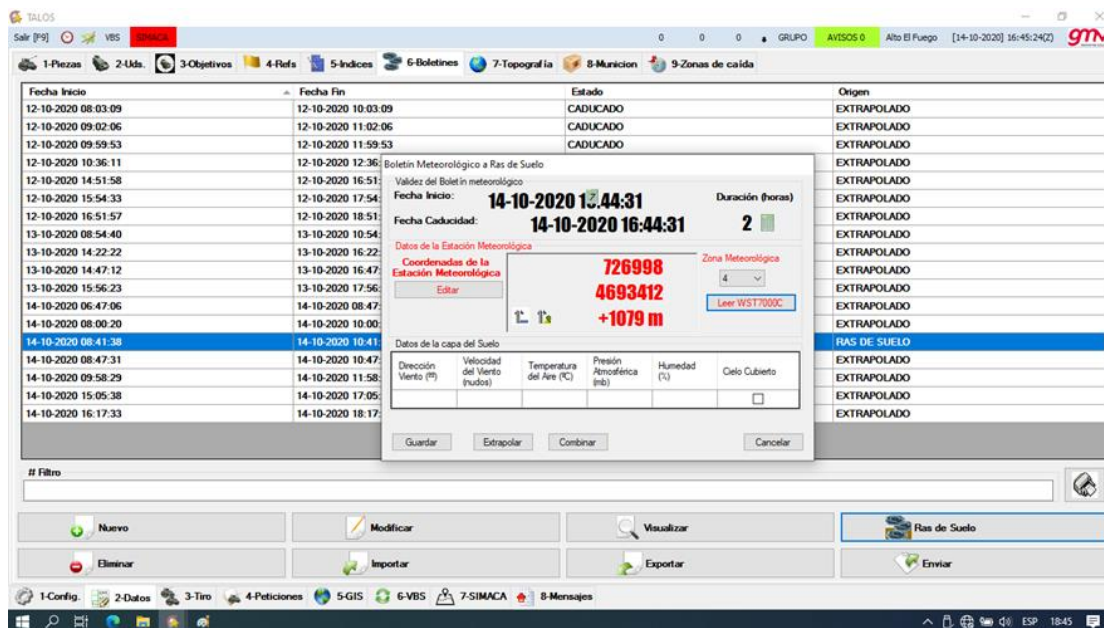


Ilustración 39. Boletín meteorológico a ras de suelo. (elaboración propia)

La estación realiza el número de mediciones que se seleccione, como mínimo treinta mediciones. Cuantas más mediciones de las condiciones a nivel de superficie, mayor precisión.

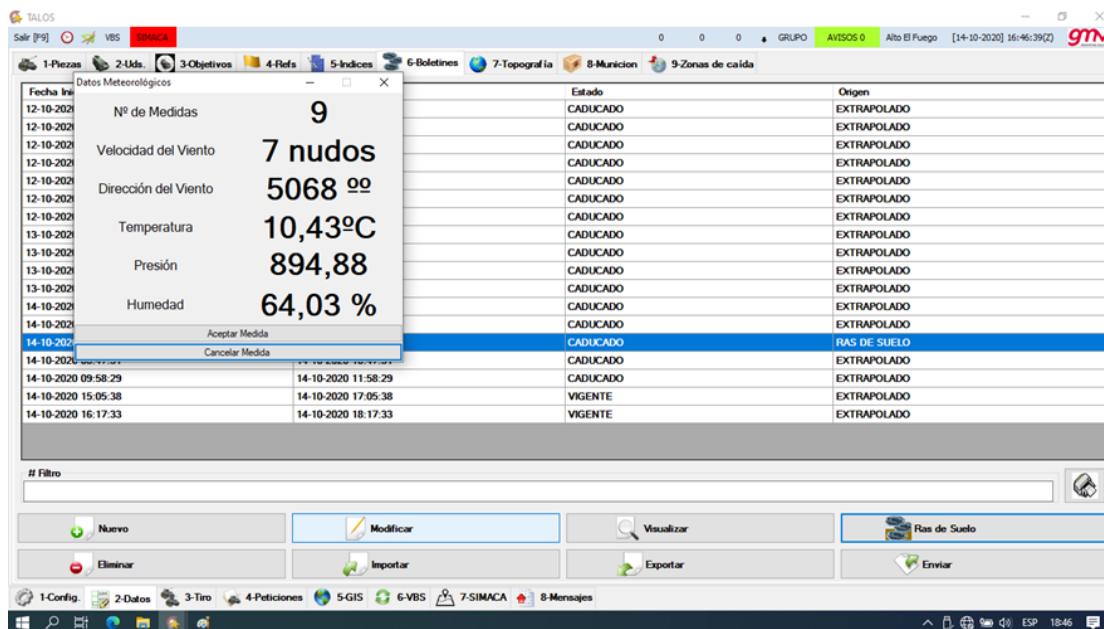


Ilustración 40. Novena de las treinta mediciones. (elaboración propia)

De esta manera, se obtiene las condiciones meteorológicas a nivel de superficie.

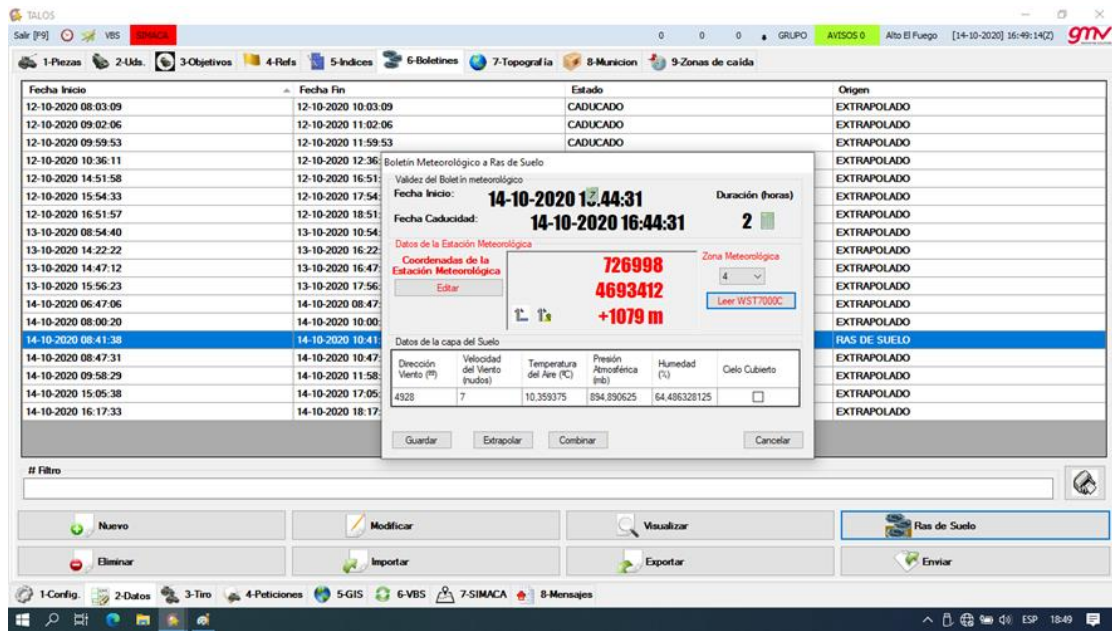


Ilustración 41. Condiciones meteorológicas a nivel de superficie. (elaboración propia)

Mediante TALOS se interpolan los datos y se obtiene el BOMET.

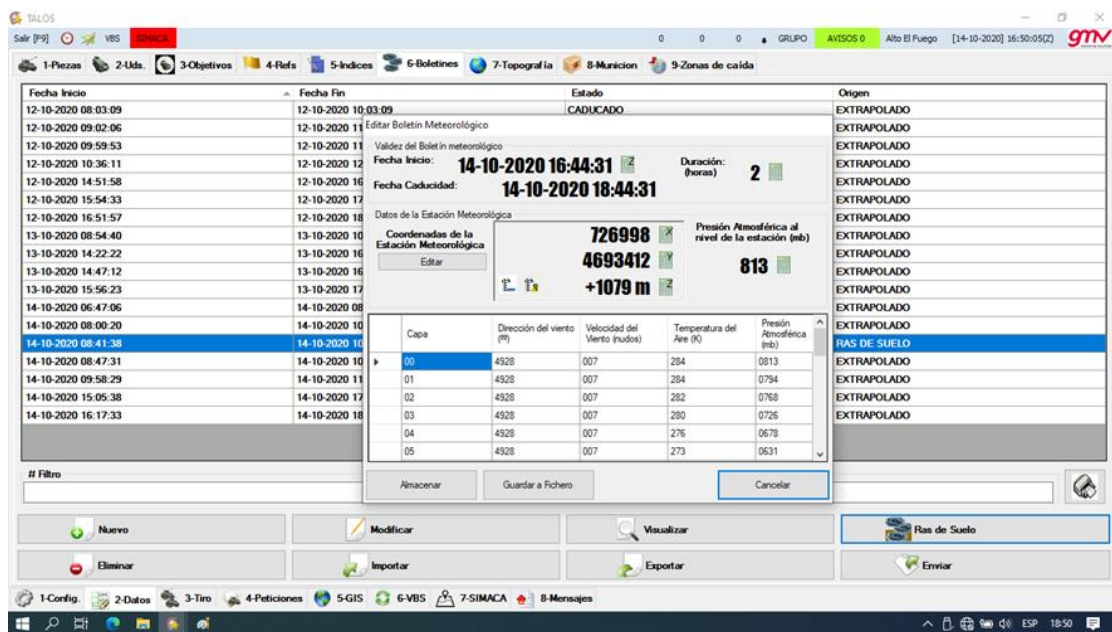


Ilustración 42. Boletín extrapolado. (elaboración propia)

El boletín se puede enviar por TALOS a los puestos de mando o al radar ARTHUR, con este formato:

```

bomet: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
Boletín Meteorológico Calculador
*****

Cabecera
*****
Hora Inicio Validez: 14-10-2020 16:44:31
Duración: 2
Longitud de la Estación: -6.24
Latitud de la Estación: 42.36
Altura de la Estación Meteorológica sobre el Mar: 1079
Presión de la Estación Meteorológica: 813

Capa  Dirección del Viento  Velocidad del Viento  Temperatura  Presión
*****
00    4928                    007            284          0813
01    4928                    007            284          0794
02    4928                    007            282          0768
03    4928                    007            280          0726
04    4928                    007            276          0678
05    4928                    007            273          0631
06    4928                    007            270          0588
07    4928                    007            266          0549
08    4928                    007            263          0512
09    4928                    007            260          0477
10    4928                    007            257          0444
11    4928                    007            253          0413
12    4928                    007            248          0370
13    4928                    007            242          0320
14    4928                    007            235          0271
15    4928                    007            229          0236
16    4928                    007            222          0196
17    4928                    007            219          0168
18    4928                    007            219          0139
19    4928                    007            219          0130
20    4928                    007            219          0107
21    4928                    007            219          0098
22    4928                    007            219          0080
23    4928                    007            219          0073
24    4928                    007            219          0065

```

Ilustración 43. Boletín calculador en ".txt". (elaboración propia)

Apéndice L. Boletín de adquisición de objetivos completo

La introducción consta de cinco grupos de seis caracteres.

Introducción (Grupos 1 - 5):

- Grupo 1
 - Las primeras cinco letras (METTA) indican que se trata de un boletín de adquisición de objetivos.
 - El último dígito (1) designa el octante de la Tierra en el que está situada la estación meteorológica. En este caso, 0, indica que la estación meteorológica está entre 0° a 90° W de longitud y su latitud es Norte.

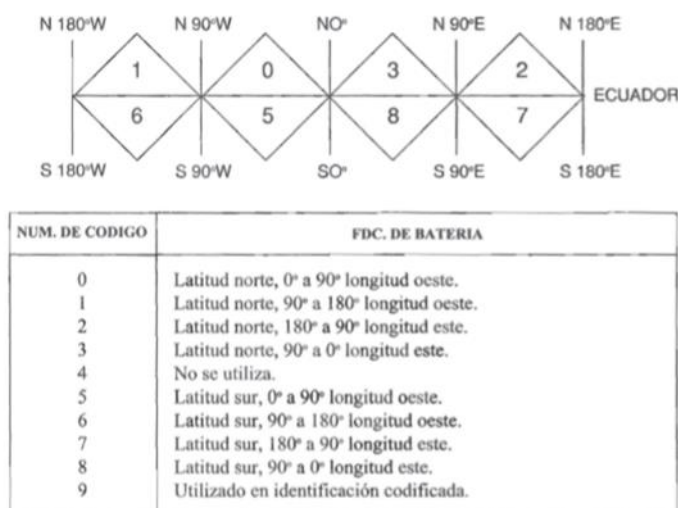


Ilustración 44. Código de octantes. Fuente (MADOC)

- Grupo 2

Está constituido por las coordenadas geográficas del centro del área en la cual es válido el BOMET. Viene expresado en decenas, unidades y décimas de grado, tanto en longitud como en latitud.

 - Los tres primeros dígitos (506) indican la latitud, en este caso 50°36' Latitud Norte.
 - Los tres últimos dígitos (022) indican la longitud, en este caso 2°12' Longitud Oeste.

Si se emplea el número nueve (9) para designar el octante, las seis letras o números de este segundo grupo representan la posición de la estación meteorológica según un sistema determinado de codificación.

-
- Grupo 3
 - Los dos primeros dígitos (03) del grupo tercero representan el día del mes para el que el BOMET es válido.
 - Los tres dígitos siguientes indican la hora en decenas, unidades y décimas de hora (12,0 indica las 1200 horas) en la que el BOMET empieza a ser válido. La hora siempre está referida al meridiano de Greenwich.
 - El último dígito (2) del grupo 3° indica el número de horas en las que es válido el boletín. En este caso la validez es de dos horas. El número 9 indica 12 horas de validez.
 - Grupo 4
 - Los tres primeros dígitos (002) indican la altura, en decenas de metros, de la estación meteorológica sobre el nivel medio del mar (20 m).
 - Los últimos tres dígitos (010) indican la presión atmosférica, en milibares, al nivel de la estación meteorológica. Cuando la presión es superior a 1.000 milibares se suprime el primer dígito (1). Por ejemplo, en este caso 010 indica 1.010 mb.
 - Grupo 5
 - Los tres primeros dígitos (002) indican la altura sobre la estación meteorológica de la base de la nube más baja en el punto de observación, expresado en decenas de metros según un código de nubes. En este caso, el globo desapareció en la nube a 1.200 metros.
 - Los últimos tres dígitos (///) indican el índice de refracción media en la superficie en unidades. Este grupo es opcional y en caso de no incluirse los datos que no se transmiten se sustituyen por tres barras.

Cuerpo (Grupos 1-2)

- Grupo 1
 - Los dos primeros dígitos indican la línea meteorológica que identifica la zona. Las líneas están numeradas correlativamente desde 00 (condiciones en superficie) hasta 26. El número de zona 00 indica 0 metros.
 - Los tres dígitos siguientes (480) indican la dirección de donde viene el viento, en decenas de milésimas (4.800°).
 - Los últimos tres dígitos (008) indican la velocidad del viento expresada en nudos (8 nudos).
- Grupo 2
 - Los primeros cuatro dígitos (2908) indican la temperatura actual del aire expresada en grados Kelvin, aproximada a la décima de grado (290,8 °K).
 - Los últimos dos dígitos (80) indican la humedad relativa medida, en este caso del 80%.

Las líneas restantes del cuerpo del boletín se decodifican de una igual forma.

Apéndice M. Boletín calculador completo

La introducción consta de cuatro grupos de seis caracteres.

Introducción (Grupos 1-4)

- Grupo 1
 - Las primeras cinco (5) letras (METCM) indican que se trata de un boletín MET calculador.
 - El último dígito (1) designa el octante de la Tierra en el que está situada la estación meteorológica. En este caso, 1, indica que la estación meteorológica está entre 90° W y 180° W de longitud y su latitud es Norte.
- Grupo 2

Está constituido por las coordenadas geográficas del centro del área en la cual es válido el boletín MET. Viene expresado en decenas, unidades y décimas de grado, tanto en longitud como en latitud.

 - Los tres primeros dígitos (345) indican la latitud, en este caso 34 ° 30' Latitud Norte.
 - Los tres últimos dígitos (982) indican la longitud, en este caso 98 ° 12' Longitud Oeste.

Si se emplea el número nueve (9) para designar el octante, las seis letras o números de este segundo grupo representan la posición de la estación meteorológica según un sistema determinado de codificación.

- Grupo 3
 - Los dos primeros dígitos (27) del grupo tercero representan el día del mes para el que el BOMET es válido.
 - Los tres siguientes dígitos indican la hora en decenas, unidades y décimas de hora (095 indica las 0930) en la que el BOMET empieza a ser válido. La hora siempre está referida al meridiano de Greenwich.
 - El último dígito (4) del grupo 3° indica el número de horas en las que es válido el boletín MET. En este caso la validez es de cuatro horas. El número 9 indica 12 horas de validez.
- Grupo 4
 - Los tres primeros dígitos (049) indican la altura, en decenas de metros, de la estación meteorológica sobre el nivel medio del mar (490 m).
 - Los últimos tres dígitos (987) indican la presión atmosférica, en milibares, al nivel de la estación meteorológica. Cuando la presión es superior a 1.000 milibares se suprime el primer dígito (1). Por ejemplo, 009 = 1.009 mb.

Cuerpo (Grupos 1-2)

- Grupo 1
 - Los dos primeros dígitos indican la línea meteorológica que identifica la zona. Las líneas están numeradas correlativamente desde 00 (condiciones en superficie) hasta 26.
 - Los tres dígitos siguientes (260) indican la dirección de donde viene el viento, en decenas de milésimas (2.600°).
 - Los últimos tres dígitos (018) indican la velocidad del viento expresada en nudos (18 nudos).
- Grupo 2
 - Los primeros cuatro dígitos (2698) indican la temperatura actual del aire expresada en grados Kelvin, aproximada a la décima de grado (269,80 K).
 - Los últimos cuatro dígitos (0987) indican la presión atmosférica real aproximada al milibar (0987 mb).

Las líneas restantes del cuerpo del boletín se decodifican de una igual forma.

Apéndice N. Entrevista completa a personal de Saab AB

Con el fin de obtener más información que ayude a resolver las cuestiones que se han observado durante el desarrollo del trabajo, se ha recurrido a contactar con los expertos de la empresa Saab, fabricantes del ARTHUR. En el apéndice se puede leer la entrevista completa, que se ha mantenido en el idioma original para que la traducción no cambie el sentido de la opinión del experto.

Mr Bård Frostad (Senior Military Advisor in Field Artillery for Saab AB): fue suboficial de artillería durante dos años y oficial de Artillería durante 18 años en las Fuerzas Armadas Noruegas en las que ha desempeñado puestos como jefe de pelotón, sección y batería. Asimismo, ha trabajado para el departamento de ciencia del Ejército Noruego y posee varias patentes.

Ha trabajado como consejero militar en el campo de Artillería de Campaña para Saab durante casi veinte años, especializándose en el departamento de radares de superficie. Su experiencia laboral tiene un valor incalculable para el desarrollo de este trabajo.

- **How important is the met report in the location accuracy of ARTHUR? There has been any research about this topic?**

When howitzer batteries are firing weather, data will have increasing influence on the accuracy of the impact the longer the firing distance is.

For ARTHUR, the influence of weather data will increase the longer distance it is between the radar track and the ground. If you are in a small firing range as San Gregorio where the ranges are short and the crest profile is low, the influence is minimal. At longer ranges and if the crest profile is higher, the ballistic trajectory that needs to be calculated can be quite long and weather data will have a larger influence on the accuracy.

Unfortunately, there has not been a complete studio about this topic, but it would be useful.

- **Which met report should be used in ARTHUR? The Computer Met Message or the Target Acquisition Met Message?**

Early in the development of ARTHUR, we decided to use METCM (STANAG 4082) since this is the same met message used by the howitzer batteries and it can be circulated both by data and voice communication. The newest met message is METGM (STANAG 6062). This is a gridded weather report using data from several sources and NATO is studying its use.

- **What are the advantages and disadvantages of METGM? Could it be implemented in ARTHUR?**

It is more accurate as it uses multiple sources, but it has the back-draw that it cannot be circulated by voice and cannot be input manually. Yes, it could be implemented. It could be that we (or a customer) decide to start using METGM, but we do not have plans to implement that in the short term.

- **Which ways were designed to introduce the met report in ARTHUR?**

The operator can manually input the data directly, or it can be received as a data message that automatically update the met information in ARTHUR.

- **We cannot automatically send the data as ARTHUR is not integrated with our command-and-control system (TALOS), but I suppose that it could be solved. Do you consider this fact an important problem?**

Integration with the fire control system is one very important issue to get the sensor-to-shooter link as short as possible. It is also important for utilization of the imbedded Target Priority System.

- **As far as I know, the lines needed in the Meteorological report for ARTHUR do not fit with any of the lines of the meteorological reports approved by NATO.**

The lines in METCM fits with the input window of weather data in ARTHUR so the operator can manually input the data directly, or it can be received as a data message that automatically update the met information in ARTHUR.

- **The lines in ARTHUR for meteorological report are every 100 meters, you could see in the photo I have sent it to you, and the lines in METCM are not every 100, it could be 300 meters or 500 meters. You could see in the table the comparison I have made. Do we have to use the same line of METCM in different lines of ARTHUR?**

RADAR ARTHUR		BOMET CALCULADOR	
Número de línea	Intervalo de altura	Intervalo de altura	Número de línea
0	0	0	0
1	0-100	0-200	1
2	100-200		
3	200-300	200-500	2
4	300-400		
5	400-500		
6	500-600	500-1000	3
7	600-700		
8	700-800		
9	900-1000		
10	1000-1100	1000-1500	4
11	1100-1200		
12	1200-1300		
13	1300-1400		
14	1400-1500		
15	1500-1600	1500-2000	5
16	1600-1700		
17	1700-1800		
18	1800-1900		
19	1900-2000		
20	2000-2100	2000-2500	6
21	2100-2200		
22	2200-2300		
23	2300-2400		
24	2400-2500		
25	2500-2600	2500-3000	7

Tabla 7. Comparación entre las líneas del BOMET calculador y las líneas del informe meteorológico. (elaboración propia)

The Spanish table (RADAR ARTHUR column) you have is wrong. The METCM in ARTHUR is following the same zones as for BOMET CALCULADOR, e.g., zone 5 in ARTHUR is 1500-2000m.

- **I have read that information in the ARTHUR manual. It is written in Spanish, but you could see 26 lines (every 100 meters). I will let you see it.**

Hay 26 zonas distintas (100 metros de separación entre las distintas zonas). En cada una de estas zonas, el operador puede insertar condiciones meteorológicas. Cuando el operador pulsa el botón "Apply" o el botón "Ok", estos valores son guardados.

Ilustración 45. Extracto del Manual del operador del ARTHUR. Fuente (Saab, 2008)

Concerning the weather data, it seems that something is “lost in translation” from the English version.

- **To use met report in ARTHUR there are four parameters. Are all of them equally important?**

Today we use only the wind data to compensate when calculating the trajectory from the tracking and down to ground level. In the future, it is likely that we will also include the air density (virtual temp. + air pressure) for longer distances.

- **So, you could use only the wind? Does it matter if we do not use the temperature and the air density?**

If you input weather data manually you do not need to fill out temperature and pressure in the Spanish ARTHUR.

If you receive the METCM as a data message to ARTHUR, all areas will be filled out automatically.

- **If you could invest to improve the performance of the ARTHUR, what aspect would it be?**

As you maybe know, our current production version of ARTHUR is called Mod D. The Spanish ARTHUR systems are Mod B. There has been a lot of changes, but the main difference technically is that we now use solid state Gallium Nitride (GaN) transmitter/receivers in the antenna. That means that the central T/R unit in the radar is gone. Both the range and accuracy has been improved significantly. Instrumented range is now 100km compared with 40km in Mod B. At the same time, the system is smaller in volume and weight. It will be possible to upgrade the Spanish ARTHUR systems to Mod D in the same container.

- **What could the mission for ARTHUR in NATO operations?**

The main mission of ARTHUR is to support maneuver brigade (or division) operation by locating enemy artillery units for Counter Battery Operations. With today's highest threat picture (Russia) it will be paramount to be able to neutralize the enemy's artillery. In WWII about 50% of the casualties was caused by indirect fire. In Ukraine, it was >80%. Without artillery locating systems and a counter battery capacity, the land war is basically lost.

ARTHUR can also be used supporting COIN operations or Peace Support Operations, but both is secondary missions that can be supported by other systems as well (UAS, multi-mission radars etc.).

- **What could be the future lines of investigation talking about ARTHUR?**

Concerning future improvements of ARTHUR performance, I think improved accuracy will be the most important. Many believe that range is more important, but taking enemy weapon systems, organization, and tactics into consideration, we have more than enough range with Mod D. This can change in the future, but there is physical and tactical limitation to consider. Cost is also an issue. The most important additional factor is training. Not for the operators, but the command & control procedures, and the chain-of-command. If ARTHUR is not in the right position, at the right time and use well developed tactics for survivability, the system is worthless.