

Trabajo Fin de Grado

Sistema de jalonamiento mediante la utilización de cámaras térmicas

Autor

CAC Jorge Rubio García

Director/es

Director académico: Simona Bernardi
Director militar: Capitán D. Jesús Abad Sánchez

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar
2016

*****pagina intencionalmente en blanco*****

Agradecimientos

Este trabajo no podría haber sido realizado sin el apoyo y la supervisión de mis tutores civiles y militares, el doctor Barreras y la doctora Bernardi y el capitán D. Jesús Abad Sánchez. Aunque sin la ayuda prestada por todos los mandos del regimiento “Alcázar de Toledo” posiblemente este trabajo habría sido más tortuoso y de menor calidad, pero gracias a ellos los resultados del trabajo realizado ha dado sus frutos.

*****pagina intencionalmente en blanco*****

Resumen

El procedimiento del jalonamiento es un tipo de ejercicio esencial para el inicio de una misión y/u operación, ya que es la sección de reconocimiento la cual seleccionará el itinerario a seguir por toda la unidad una vez se inicie la marcha.

Las unidades acorazadas presentan diversos medios con los cuales se facilitaría el proceso del jalonamiento y se solventarían diversos problemas actuales en cuanto al jalonamiento en unidades acorazadas.

Un nuevo tipo de jalonamiento es necesario en este tipo de unidades, y para ello se investigará y se fabricarán unos jalones experimentales que sean visibles con las cámaras térmicas de los carros de combate, para que así, a partir de estos jalones experimentales se ideen nuevos procedimientos de jalonamiento.

Abstract

The stacking method is a kind of essential exercise for the beginning of a mission or a military operation. The stacking is performed by the reconnaissance platoon that will choose the itinerary to be followed by the entire unit once the march is started.

Nowadays, armoured units have different means to make stacking easier and these means could solve some current problems in the stacking of armoured units.

A new type of stacking is necessary for this kind of units. Therefore, in this work, new experimental rods that are visible to thermal cameras of the tanks will be investigated and built. Such rods will be the starting point to devise new ways of stacking.

Índice

ABREVIATURAS	7
LISTA DE FIGURAS.....	8
1 Introducción.....	9
1.1 Objetivos y alcance	9
1.2 Metodología.....	10
1.3 Estructura de la memoria	11
2 Estado del arte	12
2.1 Antecedentes en el jalonamiento	12
2.2 Antecedentes de las cámaras térmicas.....	13
2.3 Análisis de los medios disponibles en el ET.....	15
2.3.1 Carro de combate Leopard 2E.....	15
2.3.2 EMES 15 A2 (Tirador/Jefe de Carro)	16
2.3.3 PERI R17 A2 (Jefe de Carro).....	17
2.3.4 MVT-075-PC-LEO (Conductor).....	18
2.3.5 Cámara térmica Coral-CR.....	19
2.3.6 Transporte Oruga Acorazado (TOA) M-113A3.....	21
3 Análisis experimental	23
3.1 Análisis del jalonamiento, deficiencias y soluciones	23
3.2 Modelos experimentales de jalones térmicos	25
3.2.1 Jalón de agua.....	26
3.2.2 Jalón de spray.....	27
3.2.3 Jalón con calentadores.....	27
3.3 Criterios de evaluación de los jalones	28
3.4 Resultados de las pruebas	30
4 Conclusiones.....	33
5 Bibliografía.....	34
6 Anexos.....	36

ABREVIATURAS

APDS: Armour-Piercing Discording Sabot
BICC: Batallón de infantería de carros de combate
BON: Batallón
CAP: Capitán
CC: Carro de Combate
CIA: Compañía
CICC: Compañía de infantería de carros de combate
CG: Cuartel General
DT: Dirección de tiro
ET: Ejército de Tierra
EVJ: Electrónica del visor del tirador
EVT: Electrónica del visor del jefe de carro
JC: Jefe de carro
MAPO: Mando y Apoyo
NOP: Norma operativa
ONU: Organización de Naciones Unidas
OTAN: Organización del Tratado del Atlántico Norte
POSDEF: Posición defensiva
RIAC: Regimiento de infantería acorazada
SC: Sección
SERECO: Sección de reconocimiento
STJ: Sensor térmico de jefe de carro
STT: Sensor térmico de jefe de carro
TO: Teatro de operaciones
TOA: Transporte oruga acorazado
VTJ: Visor térmico de jefe de carro
VTT: Visor térmico del tirador
ZRN: Zona de reunión

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Carro de combate Leopard 2E

Figura 2: Terminal del PERI

Figura 3: Cámara térmica Coral-CR

Figura 4: Designación laser de la cámara térmica Coral-CR

Figura 5: Capacidad dual de la cámara térmica Coral-CR

Figura 6: TOA M-113A3

Figura 7: Jalón de agua

Figura 8: Jalón de spray

Figura 9: Jalón con calentadores

Figura 10: Estación meteorológica portátil Kestrel 5000

Figura 11: Tabla de condiciones atmosféricas durante las pruebas atmosféricas

Figura 12: Matriz de ponderación

1. Introducción

El jalonamiento en el aspecto militar es una acción esencial para la ejecución satisfactoria de las distintas misiones que se les puedan dar a las unidades de maniobra. Jalonar es señalar un itinerario, ya reconocido a priori, mediante la colocación de jalones o señales específicas para así dirigir correctamente la dirección de avance del grueso de la unidad que venga a retaguardia de los jalonadores [3].

Cada Batallón del Ejército de Tierra (ET) posee su Norma Operativa (NOP) que determina los distintos procedimientos y técnicas para la realización de los jalonamientos. Una unidad ligera realizará jalonamientos de menor envergadura y con unos medios más discretos que se puedan vislumbrar a simple vista pero, en cambio, las unidades mecanizadas y acorazadas ejecutarán jalonamientos de itinerarios más extensos y con medios mucho menos discretos, ya que estos tienen que ser vistos por las tripulaciones de los vehículos a una velocidad mucho más alta que una unidad a pie.

Pero aun aquí hay una gran distinción: las unidades mecanizadas no poseen de los mismos medios ópticos que las unidades acorazadas. Sin embargo los jalonamientos que se realizan en unidades acorazadas no explotan eficientemente los medios ópticos de los que posee el carro de combate (CC); durante el seguimiento de un itinerario jalonado, las cámaras térmicas del carro de combate se utilizan únicamente para observar el terreno de alrededor, ya que para comprobar el camino a seguir lo realiza el cargador o el conductor del CC con su visión ocular asomado fuera de este [3].

Esta forma de proceder es problemática ya que, en caso de conflicto real, ninguno de los integrantes del vehículo estaría asomado fuera del vehículos y todas las escotillas del CC estarían cerradas. Por lo tanto la única visión eficaz que pudiesen utilizar son las cámaras térmicas. Sin embargo, actualmente, no hay ningún procedimiento jalonador que utilice jalones que sean detectables por las cámaras térmicas.

1.1 Objetivos y alcance

El objetivo de este trabajo fin de grado es la obtención de unos jalones térmicos eficaces para el uso en cualquier terreno, y en cualquier condición atmosférica. Además de estas dos condiciones se le ha de sumar la de que su adquisición o construcción ha de ser económica, para que así además de contar con nuevos procedimiento jalonadores, sean

asequibles para su puesta en funcionamiento por las unidades y no suponga un esfuerzo económico importante.

Los únicos destinatarios a este tipo de jalones son las unidades acorazadas, ya que estas son las únicas que poseen vehículos del ET caracterizados por tres cámaras térmicas en su estructura, frente al Vehículos de combate de Infantería (VCP) Pizarro que solo posee una cámara térmica utilizada por el tirador. Este se encarga de barrer su sector de tiro/observación designado y, por lo tanto, no podría localizar los jalones térmicos.

1.2 Metodología

Para cumplir el objetivo propuesto anteriormente se han llevado a cabo diferentes procedimientos que han posibilitado la recopilación de información de cara a la realización del trabajo planteado así como de los jalones térmicos experimentales.

Se han utilizado dos fuentes de información oficial: las entrevistas con las partes interesadas y la intranet del ET.

La primera ha sido la base de la recogida de información de cara a afrontar el trabajo y se ha concretado en entrevistas al personal del Regimiento de Infantería Acorazada (RIAC) nº 61 “Alcázar de Toledo”, de la Compañía de Inteligencia del Cuartel General (CG) y de la Sección de Reconocimiento (SERECO) del segundo Batallón de Carros de Combate (BICC) “Uad Ras” del RIAC “Alcázar de Toledo”.

En particular, con respecto a la información del CC y de sus cámaras térmicas, se procedió a entrevistar a los mandos de la segunda compañía de CC del segundo BICC, del RIAC nº 61. Los tenientes de las secciones de la compañía se centraron en el aspecto táctico y los sargentos se focalizaron en el aspecto técnico del CC y de las cámaras térmicas.

La información sobre las capacidades tácticas y técnicas de la cámara térmica coral fueron proporcionadas por el cabo primero jefe, operador de la cámara coral, de la sección de obtención de la compañía de inteligencia. Dicho cabo primero se encargó de proporcionar además muestras empíricas de la utilidad de la cámara coral.

Los mandos y soldados de la SERECO de la Compañía de mando y apoyo (MAPO) del batallón se encargaron de proporcionar la información sobre las distintas técnicas y procedimientos utilizados hasta ahora así como las pruebas de jalonamiento efectuadas en tiempos pasados.

La segunda fuente de información, es decir la intranet del ET, ha sido utilizada para obtener la mayor parte de la información de las cámaras térmicas, del Leopard 2E, del TOA y de los procedimientos actuales de jalonamiento.

Con toda la información recopilada, se han realizado unos modelos de jalones experimentales y se han definido criterios de evaluación de los mismos con el objetivo de establecer el de mejor calidad a la hora de su posible utilización en el futuro profesional. Las pruebas, con los jalones propuestos, se han realizado en el campo de maniobras de “San Gregorio” (Zaragoza). Los resultados de las pruebas han sido posteriormente recopilados y analizados en una matriz ponderada que permite evaluar los modelos experimentales y averiguar el de mejor calidad [18].

1.3 Estructura de la memoria

En el capítulo 2, se introducirán la importancia histórica y actual del jalonamiento y de las cámaras térmicas en el aspecto militar. Además se introducirá brevemente el funcionamiento y las bases de la termografía para el mejor entendimiento del funcionamiento de las cámaras térmicas. Posteriormente, se describirán los medios relacionados directamente con el trabajo, las cámaras térmicas de los CC, los vehículos con los que se moverá la SERECO así como los medios ópticos que utilizarán estos para agilizar el proceso de jalonar y organizar la ZRN (cámara térmica Coral-CR).

En el capítulo 3, se expondrá el proceso del jalonamiento que se lleva a cabo en la mayoría de las unidades, basándose en la NOP del Regimiento, y se introducirán las deficiencias actuales del jalonamiento a las unidades acorazadas y su posible solución. Dichas soluciones serán expuestas detalladamente y se describirá el proceso de prueba que se ha llevado a cabo para luego identificar la mejor opción para el futuro. El capítulo 4 presenta las conclusiones. Por último, se incluyen la bibliografía y los anexos.

2 Estado del arte

A continuación se introducirá la importancia del jalonamiento en la historia y en la actualidad así como la importancia que han tenido las cámaras térmicas en la historia desde su creación en la Guerra Fría hasta la actualidad, además de explicar el funcionamiento de dichas cámaras para el mejor entendimiento de su uso. Por último se introducirán y se presentarán los diferentes medios actuales en el ET que tienen relevancia directa con el presente trabajo fin de grado.

2.1 Antecedentes en el jalonamiento

La finalidad última del jalonamiento es la señalización de un itinerario para una vez llegados al destino final se realice lo que en la misión nos venga impuesto. Los jalonamientos suelen hacerse en territorio amigo¹, sin probabilidad de que el enemigo pueda atacarnos, pero hay ejemplos en los cuales fue necesario de un jalonamiento en territorio no tan controlado para que unidades amigas pudiesen avanzar rápidamente a través de un itinerario para así evitar que el enemigo les localizase durante el trayecto.

Desde que apareció en nuestra doctrina el término zona de reunión (ZRN) el término de jalonamiento venía de la mano con él. Para llegar a una ZRN se necesita jalonar el camino hasta ella, se necesita de una señalización para que así las unidades amigas que vienen en retaguardia a la unidad que reconoce y jalona, sepan identificar el camino correcto y no dirigirse al sitio equivocado [3], [4].

El jalonamiento se efectúa en todo tipo de unidades, ya sean ligeras, motorizadas o acorazadas, pero el jalonamiento en las unidades acorazadas tiende a ser un punto crítico a la hora de ejecución. En particular si hay desbarajustes a la hora de tomar medidas de coordinación entre unidades, puede llegar el caso en el nadie sabe hacia dónde se dirige.

Irak fue el primer teatro de operaciones (TO)² en el cual las unidades acorazadas tuvieron un papel principal [11], y en las primeras operaciones que se llevaron a cabo en este país, se necesitó de un planeamiento del jalonamiento muy detallado, debido a la dificultad del terreno y al escaso apoyo logístico del que poseían (en los primeros

¹ En la actualidad, tanto la NOP como las publicaciones del ET reflejan esta tendencia.

² En la época actual, posterior a la Guerra Fría.

compases de la operación). Por lo tanto se requirió de un estudio del terreno previo para calcular porque itinerario los CC llegarían con menos necesidades logísticas a su destino; una vez que se identificaron los itinerarios, las secciones de reconocimiento jalonaron todo el itinerario para así los CC que venían de la retaguardia se movilizaran de la manera más rápida posible a la ZRN [3].

Desde Irak hasta Mali, pasando por el resto de misiones internacionales de OTAN u ONU, el jalonamiento en los primeros compases de las operaciones ha sido necesario, y en un futuro, seguirá siendo esencial para el buen inicio de una operación, y como los medios ópticos y los medios en los que operan las unidades aliadas cambian, los procedimientos también están destinados a cambiar.

2.2 Antecedentes de las cámaras térmicas

En 1958, la Guerra Fría estaba en su apogeo y no parecía tener fin, Kruschev y Eisenhower se disputaban la supremacía del mundo libre, la carrera espacial ya había comenzado un año atrás con la puesta en órbita del Sputnik soviético y el gran salto adelante chino se iniciaba dentro de la fronteras chinas. En estos años de Guerra Fría, la supremacía armamentística estaba a la orden del día y los dos grandes bloques invertían gran parte de las arcas del estado en Investigación y Desarrollo (I+D) y en industria armamentística.

Para antes de la mitad de la Guerra Fría, tanto EEUU como URSS habían ideado nuevas formas de hacer la guerra con distintos sistemas de armas. Empresas de muchos países aprovecharon este impulso en I+D para así favorecer de nuevos descubrimientos, uno de ellos fue la cámara térmica, diseñada por la empresa sueca AGA (actualmente denominada FLIR Systems). Lo novedoso de este tipo de cámara es que funcionaba tanto de día como de noche, así como con cualquier tipo de climatología. La esencia de este tipo de cámara es que se basa en la captación de diferencias mínimas de temperaturas para así convertirlas en una imagen térmica nítida en la que se pueden detectar hasta los más mínimos detalles [19].

El responsable de la captación de la energía electromagnética es el sensor infrarrojo. Un sensor es un dispositivo electrónico/mecánico que mapea un atributo ambiental resultando una medida cuantizada, normalmente un nivel de tensión eléctrica. En particular, el sensor infrarrojo es un dispositivo electrónico capaz de medir la radiación

electromagnética infrarroja de los cuerpos en su campo de visión. Todos los cuerpos reflejan una cierta cantidad de radiación, esta resulta invisible para nuestros ojos pero no para estos aparatos electrónicos, ya que se encuentran en el rango del espectro justo por debajo de la luz visible. Este sensor necesita de una refrigeración, e inicialmente se llevaba a cabo gracias a nitrógeno líquido que se introducía en la cámara del sensor.

En 1985 FLIR Systems (la antes conocida AGA) ideó un nuevo sistema de refrigeración, la refrigeración criogénica. En 1997 se ideó la manera de no tener que refrigerar las cámaras térmicas, con la creación del micro bolómetro el cual tenía la capacidad de realizar las mismas funciones que un bolómetro [ANEXO 1] pero sin tener que refrigerarse [17], [19].

En la actualidad, en el ámbito militar, solo se usan dos tipos de cámaras térmicas refrigeradas: las cámaras térmicas refrigeradas por criogenia (cámara térmica coral) y las refrigeradas mediante electrónica [ANEXO 1] (MK-1). Las diferencias esenciales entre estos dos tipos es la calidad de la imagen, el tiempo de preparación y el coste. La primeras presentan mejor resolución y un mayor coste, a expensas de un tiempo prolongado de preparación hasta que la cámara térmica esté lista y dispuesta para utilizarse. Por otro lado, las cámaras térmicas de refrigeración electrónica son más baratas, más rápidas de utilizar pero sacrificando calidad de imagen [17], [19].

En el ámbito civil, se utilizan también las cámaras térmicas que no precisan de enfriamiento (p.ej. las cámaras de vigilancia), pero ofrecen una calidad mínima de imagen. Sin embargo son baratas para la compra por parte de empresas con no mucho poder adquisitivo, y su bajo precio es gracias al micro bolómetro.

En resumen, la evolución de las cámaras térmicas ha atravesado diferentes generaciones, las cuales se diferenciaban las unas de las otras de cambios significativos de su funcionamiento. La primera generación fueron las cámaras básicas que estaban refrigeradas por nitrógeno líquido. La resolución y la distancia a la que llegaban a vislumbrar las cámaras fue aumentando, pero las generaciones se diferenciaban en el modo de refrigeración de las cámaras. La segunda generación se refrigeraba mediante criogenia, así como había cámaras que empezaron a no refrigerarse. La tercera generación innovó con la refrigeración electrónica y la cuarta generación se caracteriza por el uso de una refrigeración mixta (criogenia y electrónica) que permite obtener tiempos de preparación de la cámara mucho más cortos [19].

2.3 Análisis de los medios disponibles en el ET

A continuación se introducirán los distintos medios que están directamente relacionados con el desarrollo del presente trabajo fin de grado, el CC Leopard 2E y sus medios de visión ópticos y por último la cámara térmica Coral-CR y el Transporte acorazado (TOA). Este último vehículo es utilizado por la SERECO y al no disponer de medios ópticos propios [12], utiliza la cámara térmica Coral-CR para el jalonamiento térmico del itinerario y de la ZRN, así como para la identificación de los vehículos que entren en la ZRN.

2.3.1 Carro de combate Leopard 2E

El Leopard 2E (véase Figura 1) es un CC de cuarta generación que proviene de la modificación de su sucesor, el Leopard 1A1, en múltiples aspectos (blindaje, electrónica, sistema de mando y control, sistemas ópticos, etc.). Actualmente, el Leopard 2E (coloquialmente llamado “Leopardo”) es el CC más avanzado del mundo, ya no solo por sus capacidades técnicas y tácticas [ANEXO 2], por su mecánica y su blindaje si no por su pionero “BMS LINCE”. El BMS LINCE es un sistema de mando y control que proporciona la actualización constante de todos los aspectos del carro (munición que ha usado, munición que queda en la Santa Bárbara [ANEXO 1], fallos mecánicos o electrónicos, etc.) así como de su ubicación en el terreno para facilitar el control constante de la maniobra por parte de los mandos de la unidad.

El Leopard 2E presenta un cañón de 120mm con capacidad de disparar Armour-piercing discarding sabot (APDS), y munición explosiva. También presenta una ametralladora media coaxial (MG3) que se mueve solidariamente con el cañón.

Otra parte esencial del CC, relacionado con lo anteriormente mencionado, es su dirección del tiro (DT), la cual está compuesta por todos los elementos y aparatos necesarios tanto para alcanzar un objetivo como para dirigir el cañón y la ametralladora coaxial. Los principales componentes de la DT son:

- EMES 15 A2, sistema óptico utilizado por el Tirador y también en algunas ocasiones por el Jefe de Carro (JC).
- PERI R17 A2, sistema óptico que es usado solo por el JC.
- MVT-075-PC-LEO, cámara térmica del conductor.

A continuación, se describen los visores térmicos de los distintos sistemas ópticos de los diferentes puestos del CC (salvo en el caso del cargador, el cual no presenta ningún tipo de visor óptico). Los sistemas ópticos EMES y PERI presentan modos de visión ordinaria (sin ningún tipo de filtro térmico) y térmicos. En particular, se explicarán únicamente los componentes, el funcionamiento y las capacidades de las visiones térmicas de dichos visores [6], [7], [10].



Figura 1: Carro de combate Leopard 2E [10]

2.3.2 EMES 15 A2 (Tirador/Jefe de Carro)

Es un sistema óptico y optrónico que permite al tirador y al JC realizar puntería con la visión diurna (visión ordinaria) y la visión térmica del sistema. En el modo ordinario tiene dos tipos de aumentos (3x y 12x), mientras que en el modo ordinario presenta, 4x y 12x.

Este sistema óptico, integrado en la DT, es usado normalmente por el tirador mientras que el JC tiene su sistema óptico para utilizarlo en un sector diferente al del tirador. Pero en algunas situaciones el JC puede ver lo que el tirador ve, o controlar el EMES del tirador para realizar alguna acción en concreto (por ejemplo, apuntar a un enemigo que el tirador no logra ver).

El sistema de cámara térmica, llamado “visor térmico del tirador” (VTT), está compuesto por el “sensor térmico del tirador” (STT) y la “electrónica del visor del tirador” (EVT).

El STT recibe la radiación infrarroja de la escena a través de la ventana de entrada del periscopio, por lo que cuanto mayor sea la diferencia de temperatura, mayor contraste tendrá la imagen. La imagen generada por el micro monitor del STT se acopla mediante un dispositivo óptico al brazo ocular de dicho un periscopio por el que ve el tirador, de modo que la imagen térmica se ve por el binocular del tirador.

La EVT es la unidad que recibe la alimentación y sirve de interfaz con la unidad lógica central (UCL) y con la central de pruebas del BMS LINCE. La función primordial del EVT es la de estabilizar la tensión de alimentación a todo el VTT. Además el EVT permite al JC ver lo que ve el tirador en su propio monitor del PERI [8], [9], [13].

2.3.3 PERI R17 A2 (Jefe de Carro)

Es un sistema óptico y optrónico que permite al JC observar y discriminar blancos así como observar su sector de vigilancia. También concede el reemplazo al tirador en la materialización de la puntería, gracias a la visión auto estabilizada diurna y térmica de 360°. Tiene unos dos tipos de aumentos el visor ordinario (2x y 8x), mientras que el visor térmico presenta otros dos tipos de aumentos diferentes (3x y 8x).

El PERI, al contrario que el EMES, es de uso exclusivo del JC y presenta menor capacidad de aumentos a que el tirador precisa de mayor alcance para el tiro, aunque la calidad de los dos sistemas ópticos son iguales. Los sistemas térmicos de ambos sistemas son de cuarta generación, precisan de refrigeración mediante el uso de gases como el helio o el hidrógeno.

El visor térmico del JC (VTJ) es la parte del PERI que sustenta el uso de la visión térmica del JC, está compuesto por un sensor térmico del JC (STJ) y la electrónica del visor del JC (EVJ). El STJ se monta en el alojamiento existente en la parte posterior del periscopio del JC y la EVJ está alojada en la parte frontal del PERI (véase Figura 2).

Las funcionalidades del STJ y la EVJ son similares a las STT y EVT del EMES, y la finalidad por la que están instaladas en el PERI también lo son. En particular, la STJ capta las diferencias infrarrojas y las materializa en la pantalla del JC, pero tal materialización es debida a la EVJ que transforma las mediciones de la STJ en material sensible para el JC en el monitor del PERI que se aloja en la posición del JC [8], [9], [13].



Figura 2: Terminal del PERI

2.3.4 MVT-075-PC-LEO (Conductor)

Es un sistema de visión térmica de tercera generación, sin necesidad de refrigeración. Está adaptado al CC Leopard 2E, tanto en el amarre exterior del sensor, como en el interior para la visualización de la imagen por el conductor.

Anteriormente el conductor solo poseía una cámara de visión nocturna y un intensificador de la luz. Las noches en las cuales no había casi luz natural, dicha cámara era ineficaz, además de que con la anterior cámara nocturna el conductor no poseía de la capacidad de percibir la profundidad, por lo tanto la conducción era más difícil en terreno abrupto.

Este sistema de visión térmica está compuesto por varios componentes principales, el “conjunto sensor”, el “sistema de presentación del conductor” [ANEXO 1] y el “conjunto soporte del blindaje del sensor”.

La visión del sistema de visión térmica MVT es única para el conductor del CC, no hay forma de que el algún otro miembro de la tripulación vea lo que ve el conductor, salvo

en situaciones de emergencia en las cuales el JC puede visualizar lo que ve el conductor con el objetivo de solventar una situación crítica para el CC (por ejemplo, algún obstáculo o incidencia a pie de carro, en el cual ni la óptica del tirador ni la del JC pueden llegar).

El “conjunto sensor” tiene la misma utilidad que el STT o el STJ, la única diferencia es que el conjunto sensor del conductor no posee aumentos, ya que la cámara térmica MVT es utilizada para conducir no para observar, así que no necesita de aumentos, ya que estos entorpecerían la conducción.

El “sistema de presentación del conductor” integra los diferentes módulos electrónicos que transforman las señales infrarrojas captadas por el conjunto sensor en material sensible por el conductor. Este material puede ser visualizado a través del monitor que se encuentra en el puesto del conductor del CC. Este sistema también integra los diferentes módulos de alimentación eléctrica a toda la cámara térmicas, permitiéndola funcionar con la alimentación de las baterías del CC.

Por último, el “conjunto soporte del blindaje del sensor” no es más ni menos que el esqueleto que sostiene todo el software del sistema de visión térmica [14].

2.3.5 Cámara térmica Coral-CR

Es una cámara térmica israelí de cuarta generación, las primeras muestras llegaron a España en 2007-2008. Actualmente es de las cámaras térmicas más tecnológicamente novedosas del mercado (véase Figura 3).



Figura 3: Cámara térmica Coral-CR

Presenta múltiples componentes hardware, funcionalidades y herramientas en su software, como por ejemplo:

- Laser óptico integrado en la lente capaz de designar objetivos a medios aéreos o navales.
- Telemetro laser capaz de designar objetivos a una distancia eficaz de 10.000 metros con una desviación de ± 50 metros³ y con capacidad de designar coordenadas del objetivo al que hemos lanzado el láser, con una desviación de ± 10 metros (véase Figura 4).



Figura 4: Designación laser de la cámara térmica Coral-CR

³ Habrá más o menos desviación con respecto a la distancia real dependiendo del terreno sobre el que estemos tomando la predicción.

- Capacidad óptica dual (véase Figura 5)



Figura 5: Capacidad dual de la cámara térmica Coral-CR

- Posibilidad de enviar fotos (ya sean con la óptica ordinaria o la visión térmica) al PC con detalles de la ubicación del objetivo en tiempo real.

Su rango de visión eficaz, tanto de la visión ordinaria como de la visión térmica, es de 6.000-7.000 metros para vehículos, y unos 4.000 metros para personal a pie. Su peso es de 3,4kg con lo cual es una herramienta ligera para el sistema de armas del que se trata (hace menos de 10 años las cámaras térmicas no presentaban la capacidad de ser portátiles).

El rango de temperaturas que capta se encuentra comprendido entre los -30°C y los 45°C , cualquier diferencia de temperatura que oscile entre esos dos valores será captado por el sensor de infrarrojos de la cámara [15], [16].

2.3.6 Transporte Oruga Acorazado (TOA) M-113A3

Desde 1987 estos vehículos sobre cadenas han estado operativos en nuestro ejército, de procedencia americana (se nos dieron como obsequio) y desde ese año, el TOA ha sido un salvoconducto para las unidades mecanizadas de España. Los TOA son de los vehículos más resistentes y tenaces del ejército, casi no necesitando repuestos, solo arreglos menores es alguno de sus sistemas.

El TOA es un vehículo anfíbio (Figura 6) que se emplea para el transporte de personal y carga. Existen varios modelos de acuerdo con las diferentes características necesarias para el cumplimiento de las distintas misiones: ambulancia, porta morteros (M125A1) y Puesto de Mando (M577-A1).

Presenta una capacidad de 13 personas, un pelotón y dos tripulantes (el tirador y el conductor), este vehículo es el vehículo con el que se mueven la mayoría de SERECO,s de las unidades mecanizadas y acorazadas, aunque puede diferir dependiendo de la unidad en cuestión los medios que utilizan. En algunas unidades acorazadas, por ejemplo la SERECO del Batallón de Infantería de Carros de Combate (BICC) “Mérida” I/16, presenta tres CC y tres TOA, mientras que la SERECO del BICC “Uad Ras” solo tiene a su disposición de siete TOA sin ninguna posibilidad de utilizar los Leopard 2E.

Los medios ópticos de los que dispone el TOA son nulos, no presenta ningún tipo de periscopio, ni sistema óptico que facilite la visión del terreno. En cuanto a su potencia de fuego, dispone de una ametralladora pesada⁴ posicionada en la parte frontal del habitáculo del personal [12].



Figura 6: TOA M-113A3

⁴ Ametralladora pesada Browning M2 con un calibre de 12,7 mm

3. Análisis experimental

3.1 Análisis del jalonamiento, deficiencias y soluciones

La SERECO tiene múltiples funciones similares dentro del marco de cualquier Bon, ya sea ligero, mecanizado o acorazado, pero lo único que difiere de las distintas SERECO son los procedimientos de actuación, en particular las normas operativas (NOP) de cada Bon determinan la ejecución de cada tipo de ejercicio que tenga que realizar [1] y [2]. Cada SERECO tiene unos medios y unos procedimientos diferentes pero una de las actividades comunes que tienen que realizar todas es la de “jalonamiento de itinerario” que consiste en la señalización, mediante jalones o señales, de un itinerario concreto para al final llegar a una zona de reunión (ZRN) o una posición defensiva (POSDEF) y que allí cada Cía. del Bon tome posición en un despliegue específico [1].

En el caso de la SERECO de BICC “Uad Ras”, hay en plantilla cinco TOA, que normalmente llevan consigo la cámara térmica CORAL. Todos los vehículos llevan a bordo: el conductor, el tirador, el jefe de carro y un pelotón de 8-10 personas.

En la mayoría de los Bon⁵, el procedimiento general para el jalonamiento de un itinerario, es el siguiente. Dos vehículos van en vanguardia con respecto al resto de la columna, uno de dichos vehículos se encarga de jalonar el itinerario hasta la ZRN y el otro se encarga de jalonar los itinerarios desde el punto de dislocación, en el inicio de la ZRN, hasta la posición específica en la ZRN de cada una de las unidades de la columna. El jefe de la SERECO tiene la responsabilidad de iniciar la marcha de la columna que está a retaguardia del binomio que ha efectuado del jalonamiento, y se encargará, una vez llegado al punto de dislocación, de distribuir ordenadamente a las unidades hacia su zona específica en la ZRN.

Finalmente, un último vehículo se queda a retaguardia de toda la columna esperando, en el punto de partida, a que toda la columna haya partido. Es responsabilidad de este vehículo llevar un control de los vehículos que han salido y después corroborar, con el vehículo puerta de la ZRN, de que la misma cantidad de vehículos que han salido, han entrado a la ZRN.

⁵ Han sido consultadas las NOP de la Brigada “Guadarrama” y de la Brigada “Extremadura”.

En ausencia de vehículos que protejan al binomio jalonador, los propios vehículos destacarán personal a pie para proteger al resto de la tripulación en los momentos críticos como pueden ser la puesta de los jalones a lo largo del itinerario. Sin embargo, si hubiese vehículos para proteger a los jalonadores, dichos vehículos darían protección lejana a los vehículos cuando jalonan, mientras que la protección próxima la daría el personal a pie de los vehículos jalonadores.

Desde el inicio del jalonamiento y el comienzo de la marcha de la columna, normalmente se tarda una hora y media, y hasta que el toda la columna termine el jalonamiento, siempre que no sea un itinerario extremadamente extenso (es decir, más de 35 kilómetros⁶), se tarda otra hora y media. Por lo tanto, se tardan tres horas en jalonar, recorrer el itinerario completo y recoger el balizamiento a la par que se va recorriendo el itinerario [1], [2] y [3].

Actualmente las SERECO de las que se tiene constancia, realizan el jalonamiento mediante balizamiento lumínico, a través de pequeñas luces LED que utilizan pilas AAA para su alimentación.

Este tipo de balizamiento es útil y necesario para unidades ligeras o unidades motorizadas carentes de medios de visión térmica o nocturna, aunque es poco discreto y táctico, ya que presenta el inconveniente que esas luces pueden ser vistas por el enemigo de igual forma que las vemos nosotros cuando realizamos el jalonamiento. Normalmente un jalonamiento se realiza en terreno aliado, por lo tanto no hay peligro de enemigo. Sin embargo siempre se puede infiltrar algún binomio de tiradores de precisión, o algunos miembros de la SERECO enemiga, y observar nuestros movimientos. Si el enemigo puede ver por donde va nuestro camino, podría emboscarnos o informar a su unidad superior para que tengan constancia hacia qué dirección nos dirigimos.

En maniobras, o instrucción diaria con el CC, siempre tiene que haber un miembro del CC asomado fuera de este para vigilar que el terreno por el que se dirige el CC sea apropiado y no suponga un peligro para el mismo CC o la tripulación en conjunto. Sin embargo, en una situación de guerra ninguno de los ocupantes del CC tendría que asomarse fuera y todas las escotillas tendrían que estar cerradas para la seguridad tanto del CC como de los tripulantes. Por consiguiente, en esta situación, el jalonamiento que actualmente se está realizando es inadecuado [3] y [4].

⁶ Asumiendo que siempre se jalonan los itinerarios por terreno irregular y no por carreteras, por lo tanto los distintos vehículos van a velocidades por debajo de los 25 Km/Hora.

También el tipo de jalones utilizados (es decir, las luces LED) es inapropiado en caso de conflicto real. El CC no tiene instalado ningún intensificador de luz y el conductor, solo con la visión que le conceden las ventanas de observación, no sería capaz de realizar una conducción eficaz y correría peligro el CC y los tripulantes. Hay que considerar que el conductor precisa del uso de la cámara térmica instalada en el CC para una conducción eficaz, pero las luces LED no son visibles por las cámaras térmicas de ninguno de los miembros del CC.

Considerados los inconvenientes que tiene el jalonamiento actual, la solución que se plantea es la realización de un jalonamiento mediante jalones que sean detectables por las cámaras térmicas. Con esta solución, los sistemas de visión térmica de los CC serán explotados no solo para actividades de vigilancia. Los jalones que se proponen⁷ están basados en la firma térmica que dejan, por la radiación solar que hayan absorbido con anterioridad o por el calor que irradie debido al compuesto que esté en su interior⁸.

3.2 Modelos experimentales de jalones térmicos

La fabricación de los jalones se ha basado en el principio de la transmisión de calor de las radiaciones infrarrojas procedentes del sol. Las radiaciones infrarrojas alteran la temperatura de los materiales que componen los distintos jalones, provocando un contraste de temperatura de los jalones con el ambiente que les rodea, y así permiten a las cámaras térmicas captar esa diferencia de contraste y hacerla visible al operador.

Se han fabricado tres tipos de jalones térmicos distintos, cada uno está pensado para que funcione de una manera distinta a los otros, aunque todos tienen la base de alcanzar un cierto contraste en la imagen de la cámara térmica para que así sean reconocibles a bordo de un CC en movimiento.

⁷ Los jalones que se proponen son 3, uno basado en carbón activo, otro en pintura con base de aluminio y el último está basado en la diferencia de conductividad térmica del agua.

⁸ Materiales metálicos o materiales con carbón activo que con el movimiento se calientan.

3.2.1 Jalón de agua

El primer jalón térmico está compuesto por una base de cartón, sobre la cual se han instalado unos tubos de poliamida de dos milímetros de diámetro (como los que se usan en sistema de riego). Dichos tubos se han rellenado con agua y tapados por los extremos con tornillos de aluminio (véase Figura 7).

El principio físico del funcionamiento de este jalón reside en la diferencia de conductividad térmica entre el agua, el cartón y la poliamida [20]. El agua presenta una conductividad de $0.55 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ⁹, el cartón de $0.10 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ y la poliamida de $0.30 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ¹⁰.

Las radiaciones solares calientan el tubo con el agua en su interior¹⁰ y como hay gran diferencia de conductividad térmica entre el agua y el cartón, la diferencia de calor se mantiene durante un intervalo de tiempo (es decir, el tiempo que dure más caliente el agua que el cartón).



Figura 7: Jalón de agua

⁹ Unidades de la conductividad térmica en el Sistema Internacional.

¹⁰ El grosor de las paredes del tubo de poliamida son demasiado finos como para dificultar el calentamiento del agua de su interior, esto se basa en que según las formula de la ley de Fourier, que nos dicta que una superficie tan pequeña es despreciable.[21]

3.2.2 Jalón de spray

El segundo jalón térmico está compuesto de una base de cartón y una señal pintada con pintura con base de aluminio (véase Figura 8). La señal está delimitada por cinta americana de aluminio. La base del funcionamiento de este jalón es la alta conductividad térmica que posee este tipo de pintura, es decir $150 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ frente a los $0.55 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ del agua. La señal realizada con la pintura absorbe más eficazmente las radiaciones infrarrojas que el cartón, por lo tanto la señal tendrá un contraste de temperatura mayor que el cartón y la cámara térmica captará tal diferencia de temperatura.



Figura 8: Jalón de spray

3.2.3 Jalón con calentadores

El tercer jalón se compone de un jalón de metal, de un metro de longitud, y de dos calentadores de manos individuales de la marca APTONIA® (véase Figura 9). Estos calentadores están compuestos de polvo de hierro, carbón activo, vermiculita y sales. Dicha composición, una vez en contacto con el oxígeno que se encuentra en el aire, hace que los calentadores empiecen a reaccionar y a calentar poco a poco. Agitar los calentadores acelera el proceso. Los calentadores pueden dar calor hasta un máximo de cinco horas, sin embargo pruebas iniciales demuestran que en un ambiente frío solo duran como máximo unas tres horas y media. Estos calentadores poseerán una

diferencia de temperatura reseñable con el ambiente que le rodea, por lo tanto la cámara térmica los captará sin problemas, y el operador de la cámara térmica podrá identificarlo fácilmente.



Figura 9: Jalón con calentadores

3.3 Criterios de evaluación de los jalones

Los jalones propuestos se han sometido a pruebas experimentales para su evaluación posterior, siguiendo el método que se describe a continuación.

La evaluación de los diferentes tipos de jalones se basa en los criterios de duración, coste y contraste, que se pueden resumir en las siguientes preguntas, respectivamente:

- ¿Cuánto tiempo ha durado visible a la cámara térmica?
- ¿Cuánto ha costado la fabricación del jalón?
- ¿Cómo de visible era el jalón en la cámara térmica?

Se asignarán valores numéricos a las respuestas, en una escala del 1 (“nada de tiempo visible”, “altamente costoso”, “no había apenas contraste del jalón y el ambiente”, respectivamente) al 10 (“dos horas más del planeado”, “el coste han sido de céntimos de euro”, “el contraste del jalón con el ambiente era perfectamente captable sin necesidad de modificar el enfoque”, respectivamente).

Cada criterio tendrá una ponderación diferente (entre 1 y 3) dependiendo de la importancia que tenga en consideración con las capacidades tácticas.

En particular, el criterio de duración (“¿Cuánto tiempo ha durado visible a la cámara térmica?”) tendrá una ponderación máxima de **3**, ya que es el más importante en un jalonamiento, porque si por alguna circunstancia excepcional la columna tarda más de lo planeado en partir de la zona inicial, los jalones tienen que durar muchos más tiempo de planeado visibles a las cámaras térmicas.

Para comprobar su duración, se posicionaron los jalones a la última hora de la tarde, cuando el sol era más bajo (19.45, hora española¹¹) y ya no había apenas luz solar. Una vez posicionados, se midió el tiempo que tardaron los jalones en perder su eficacia y dejaron de ser observables por la cámara térmica. Dependiendo del tiempo medido, se adjudicarán las puntuaciones a los diferentes jalones.

Con respecto al criterio del coste (“¿Cuánto ha costado la fabricación?”), se le concederá una ponderación de **2**. Aumentar la capacidad operativa y expandir las posibilidades creando nuevos procedimientos es esencial, pero para ello lo más importante en la actualidad es realizarlo con métodos económicos.

La estimación de los costes se efectuará teniendo en cuenta el coste total de todos los materiales utilizados para la fabricación del jalón.

Finalmente, el criterio del contraste (“¿Cómo de visible era el jalón en la cámara térmica?”) tendrá una ponderación de **1**. Todas las cámaras del CC Leopard 2E poseen la capacidad de enfocar automáticamente, pero no es muy eficiente a la hora de observar en movimiento, por lo tanto en un movimiento en el cual se tiene que observar unas señales a lo largo de un itinerario, se necesitaría de enfocar manualmente. Por lo tanto este criterio tiene la ponderación más baja, ya que aunque con el enfoque automático no se vislumbra bien el jalón, con el enfoque manual seguramente sí se pueda distinguir. Para evaluar el contraste de cada jalón, se planificó un itinerario en el cual se pusieron los jalones en posiciones ocultas (como por ejemplo, detrás de arbustos, en una poza, en una vaguada pronunciada...), y el CC recorrió ese itinerario a una velocidad constante de 20 Km/Hora. Si con el enfoque automático no se vislumbraba el jalón, se enfocaba de la manera más rápida posible para así poder reconocer el jalón. Si se tuviese que parar o aminorar aún más la marcha, la prueba estaría suspensa para dicho jalón.

¹¹ <http://www.tutiempo.net/Calendario-Zaragoza-E50001.html>

3.4 Resultados de las pruebas

Las pruebas realizadas se ejecutaron en el campo de maniobras de San Gregorio (Zaragoza), en la zona de Casas Bajas de El Castelar (coordenadas UTM X: 671450 Y: 4636670). Las pruebas iniciaron a las 18:30 del martes 11 de Octubre, y finalizaron a las 20:30 del mismo día, y se llevaron a cabo con luz solar y también sin contar con dicha luz. Las pruebas consistieron en comprobar, con la cámara térmica de un CC, la visibilidad de los jalones. Se utilizó además la estación meteorológica portátil del binomio de tiradores de precisión encuadrados en la SERECO, para medir velocidad del viento, temperatura, humedad relativa y presión atmosférica de la zona en la cual se llevaron a cabo los experimentos.

Los jalones se posicionaron a una distancia de 200 metros del CC. A continuación se considera como **jalón 1** el jalón con los tubos de poliamida rellenos de agua, como **jalón 2** el jalón que posee una flecha pintada con spray de aluminio, y como **jalón 3** el jalón de los calentadores de manos. Todas las imágenes que se muestran están por duplicado, ya que las de la izquierda muestran el contraste de negro caliente y las de la derecha muestran el contraste de blanco caliente.

Desde las 18:30 hasta las 19:20 se tomaron muestras fotográficas de los jalones cada 10 minutos, a través de la cámara térmica del CC. Antes de tomar la primera muestra y después de tomar la última, se midieron las condiciones atmosféricas con la estación meteorológica mencionada previamente (véase Figura 10). Por último, desde las 19:40 hasta las 20:30 se tomaron otras muestras fotográficas, cada 10 minutos, y se midieron las condiciones atmosféricas antes de la primera prueba de las 19:40 y después de la última prueba de las 20:30.



Figura 10: Estación meteorológica portátil Kestrel 5000.

En el primer turno de pruebas, la variación del contraste y de la visibilidad de los jalones fue mínima, se veían igual tanto a las 18:30 como a las 19:20. Pero a las 19:35

anocheció, la luna estaba en fase de cuarto creciente y aun sin contar con lunes artificiales, la visión del todo lo que había alrededor era adecuada para trabajar.

Durante el segundo turno de pruebas, fue notoria la bajada de temperatura así como el aumento de la velocidad del viento, y la visión de los jalones térmicos por la cámara térmica fue en detrimento (véase Figura 11). En particular, los jalones 2 y 3 no vieron muy mermada sus capacidades en cuanto a ser observables con la cámara térmica, pero el jalón 1 perdió toda su eficacia casi al empezar esta tanda de pruebas [ANEXO 3].

	Primer turno de pruebas	Segundo turno de pruebas
Velocidad del viento	3 Km/Hora	5 Km/Hora
Presión atmosférica	0.948 Atm	0.950 Atm
Humedad relativa	40.3%	45%
Temperatura	21°C	16.8°C

Figura 11: Tabla de condiciones atmosféricas durante las pruebas atmosféricas

A raíz de los resultados obtenidos, la matriz de ponderación (véase Figura 12) con los resultados finales quedaría tal que así:

	Jalón 1 (Agua)	Jalón 2 (Spray)	Jalón 3 (calentador)
Duración (3x)	3	7.5	8
Costes (2x)	7.5	2	9
Contraste (1x)	2	8.5	8
Puntuación final (Suma)	26	35	50

Figura 12: Matriz de ponderación.

Lo primero a comentar es la duración de visibilidad de los jalones, el jalón 2 y 3 [ANEXO 4] y [ANEXO 5], fueron visibles a lo largo de las dos horas de experimentación, aun contando con la baja de temperaturas, aumento de la velocidad del viento así como de la humedad relativa. Aunque el Jalón 2 en torno a las 20:20 se le iba perdiendo la vista en la cámara térmica, había zonas del jalón, las cuales se fundían con el entorno a que ya se habían igualado las temperaturas, pero el jalón 3 permaneció constantemente visible a la cámara térmica, no obstante hay que mencionar que la forma del dicho jalón no es la correcta para dirigir una dirección de avance, los

calentadores de manos son manejables y se les pueden dar diversas formas, como el de una flecha por ejemplo, pero debido a problemas de tiempo y de material, no se pudo llevar a cabo. El jalón 1 [ANEXO 6] desde los primeros compases de las pruebas, no era del todo visible a simple vista y había que concentrarse en el para diferenciar la flecha del jalón, aunque para las 19: 50 el jalón era del casi imperceptible a ojos de la cámara térmica, y se tenía que utilizar mucho en contraste manual para divisarlo.

La construcción del Jalón 1 fue de un total de 6 €/unidad (tubo de poliamida, cartón y tornillos que tapaba el tubo). El jalón 2 costó un total de 11 €/unidad (spray con base de aluminio, cartón y cinta de aluminio), por último la cifra de la construcción del jalón 3 ascendió a un total de 3 €/unidad (calentadores de manos APTONIA®).

El jalón 1 poseía un gran contraste en los primeros compases de las pruebas, pero a medida que pasaba el tiempo de exposición a la intemperie, menos contraste había en la pantalla de la cámara térmica, llegando a tal punto que se necesitaba de contrastar manualmente la pantalla para atisbar levemente el jalón. Por otro lado, el jalón 2 era fácilmente identificable, aunque visualización de la flecha pintada con spray, no se visualizaba muy bien en los últimos compases de las pruebas, aunque si la forma de flecha hubiese sido mucho más simple, seguramente habría sido más sencillo de identificar la forma de dicha señal. Y por último, el jalón 3 era perfectamente identificable con el contraste automático de la cámara térmica, el único momento en el cual había que utilizar el contraste manual fue a partir de las 20:10, durante el resto de las pruebas, no hacía falta retoque alguno al contraste.

4. Conclusiones

El jalonamiento actual mediante pequeñas luces LED es útil en instrucción, pero prepara de una manera ficticia a la unidad en cuestión, ya que en una situación real nunca lo hará con las escotillas del CC abiertas y mucho menos alguno de los integrantes asomará la cabeza fuera del carro, para ver las luces con sus propios ojos.

Tras la realización de las entrevistas, del estudio de las actuales técnicas y procedimientos de jalonamiento y señalización de itinerarios y ZRN, y de la realización de las pruebas a los jalones experimentales térmicos, se llega a la conclusión que las unidades acorazadas necesitan de un sistema de jalonamiento mediante la utilización de cámaras térmicas.

En una unidad ligera, la única manera viable de jalonar un itinerario es con la utilización de luces LED, ya que el personal a pie no puede cargar consigo una cámara térmica, pero el caso de las unidades acorazadas es totalmente distinto ya que estas poseen tres cámaras térmicas en su haber, y por lo tanto, lo razonable sería la explotación de estos medios. En particular, la SERECO podría explotar la cámara térmica Coral-CR.

Los jalones que se probaron en el campo de maniobras “San Gregorio” presentan grandes posibilidades. Sin embargo una modificación de la forma estructural de los jalones sería necesaria, para así una vez se vislumbre a lo lejos, no induzca a error la dirección marcada por dicho jalón. Dicha modificación no supone un problema, ya que con el spray se puede pintar cualquier figura, mientras que los calentadores de manos se pueden moldear para formar una flecha o la figura en cuestión que se precise.

5. Bibliografía

- [1] MA4-111. “Sección de Reconocimiento Acorazada/Mecanizada” (2006). MADOC.
- [2] “Curso de ingeniería de la calidad”. (2014-2015). CUD Zaragoza.
- [3] OR5-007. “Seguridad, Reconocimiento y Exploración”. (2003). DIDOC.
- [4] PD4-204. “Unidades de reconocimiento: reconocimiento de itinerario”. (2013). MADOC.
- [5] <http://www.flir.es/cs/display/?id=51839>. “Evolución de las cámaras térmicas. (2016). FLIR
- [6] “Principios de la termografía”. (2010). Compañía de Inteligencia-Cuartel General-Brigada “Guadarrama” XII.
- [7] A-215. “Medios Mecanizados”. (1999). Academia de Infantería.
- [8] ACINF_LEOPARD2. “Manual Didáctico del Carro de Combate Leopard 2A4”. (2003). DIEN.
- [9] MT6-012. “Carro de combate Leopard 2A4”. (2003). MADOC.
- [10] MT6-049. “Carro de Combate LEOPARD 2E. Manual de Tripulación. (2004). MADOC.
- [11] MT6-051. “Carro de Combate LEOPARD 2E. Manual de Mantenimiento de 2º Escalón (TORRE). (2005). MADOC.
- [12] MT6-053. “Carro de Combate LEOPARD 2E. Manual de Mantenimiento de 3º/4º Escalón (TORRE). (2005). MADOC.
- [13] “Curso de mantenimiento de 2º y 3º escalón del sistema de combate Leopard 2E”. (2005). INDRA.
- [14] MT4-921. “Manual de usuario de mantenimiento de 1º y 2º escalón del sistema térmico no refrigerado MVT-075-PC-LEO para carro de combate Leopard 2E”. (2009). MADOC.
- [15] “Manual del operador de la cámara térmica Coral-CR”. (2008). ELBIT Electro-optics.
- [16] “Powerpoint CORAL-CR”. (2009). Compañía de Inteligencia-Cuartel General-Brigada “Guadarrama” XII.
- [17] NOP. 322/10 BICC. “Uad Ras” II/61 (Jalonamiento y señalización).
- [18] NOP. 303/14 BICC. “Uad Ras” II/61 (Ocupación de una ZRN. de batallón).
- [19] http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-165.htm. (2012). UNET

- [20]<http://www.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion2.REFRACTARIOS.PROPIEDADES.Termicas.pdf>. (2010). Universidad de Oviedo.

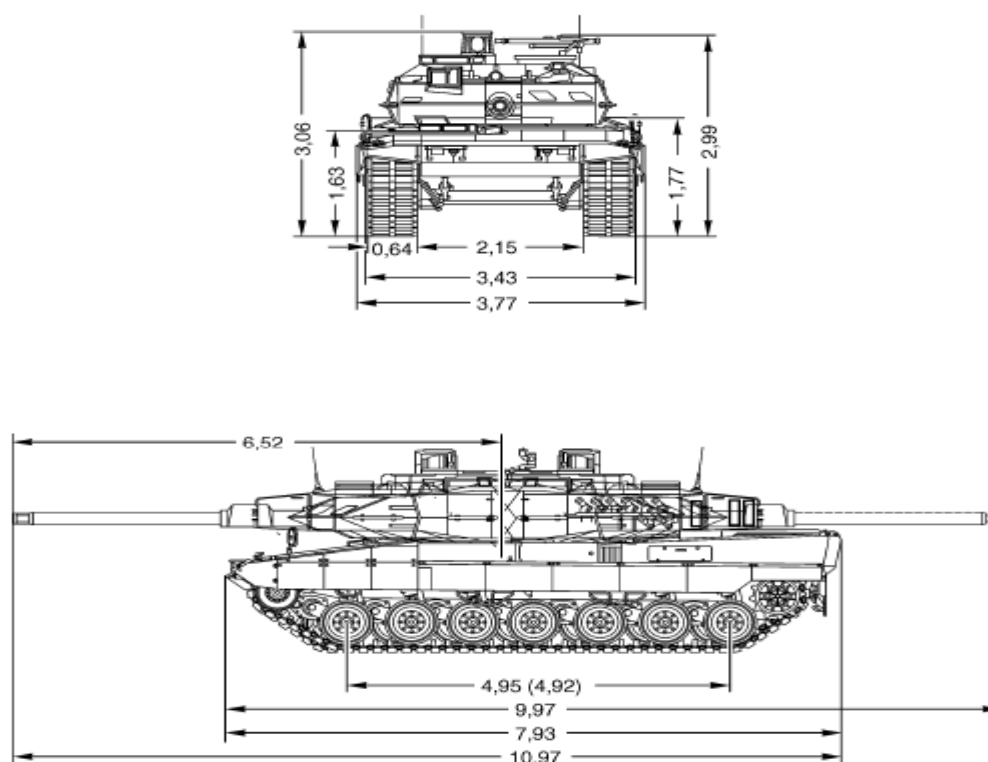
6. Anexos

- ANEXO 1: DEFINICIONES
- ANEXO 2: CARACTERÍSTICAS DEL LEOPARD 2E
- ANEXO 3: TIEMPO ATMOSFÉRICO
- ANEXO 4: FOTOS TERMICAS DEL JALÓN 2 (JALÓN DE SPRAY)
- ANEXO 5: FOTOS TERMICAS DEL JALÓN 3 (JALÓN CON CALENTADORES)
- ANEXO 6: FOTOS TERMICAS DEL JALÓN 1 (JALÓN DE AGUA)

Anexo 1: Definiciones

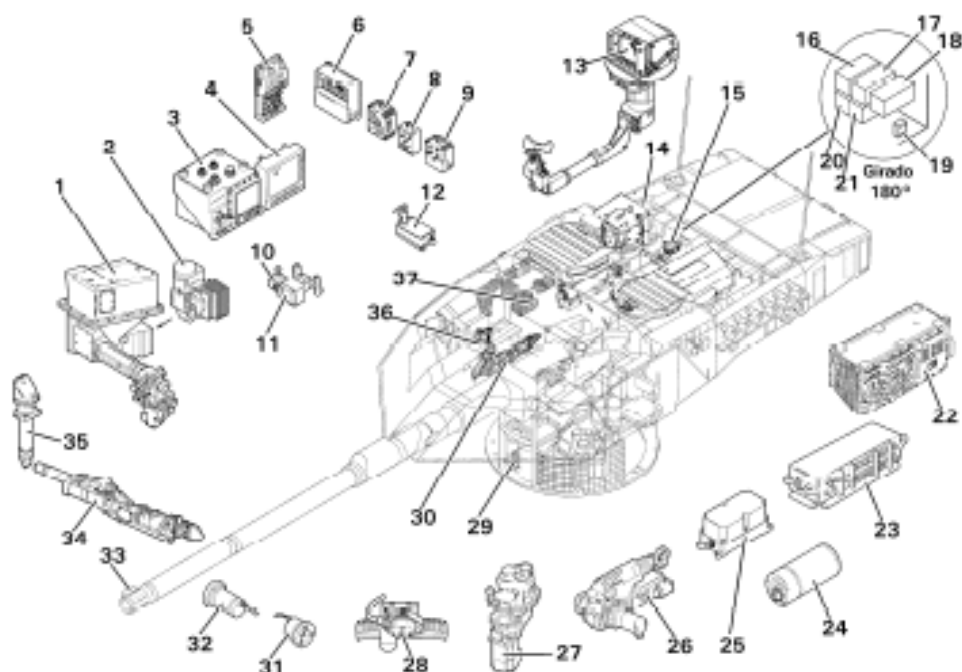
- **Bolómetro:** Un bolómetro es un artilugio que mide la cantidad total de radiación electromagnética que viene de un objeto en todas las longitudes de onda.
- **Refrigeración electrónica:** Complejo sistema de enfriamiento de cámaras térmicas mediante variación de parámetros con la finalidad de la sensibilización del sensor infrarrojo.
- **Santa Bárbara:** Ubicación del carro en el cual se guarda la munición del cañón de 120mm.
- **Sistema de presentación del conductor:** Sistema que recoge todas las funcionalidades electrónicas de la cámara térmica para que el conductor pueda visualizarla por el monitor.
- **Capacidad dual de la cámara térmica Coral:** Función de la cámara térmica Coral que posibilita la visión térmica y ordinaria en la misma pantalla al unísono.

ANEXO 2: Características del Leopard 2E



Velocidad máxima hacia delante (a 2 600 r/min)	68 km/h
Velocidad máxima hacia atrás	31 km/h
Velocidad de remolque	Aprox. 4 km/h
Pivotaje sobre cemento	11 s (360°)
Giro de la torre	9 s (360°)
Giro del periscopio panorámico PERI del JC.	36 s (360°)
Giro del periscopio panorámico PERI, con giro rápido	9 s (360°)
Peso máximo	62,5 t
Peso en combate	62,1 t
Presión específica sobre el suelo (peso en combate)	9,6 N/cm ²
Peso vacío	60,42 t
Torre (peso en combate)	22,0 t
Torre (peso en vacío)	21,0 t
Torre (peso en vacío sin blindaje batiente derecho/izquierdo)	19,64 t

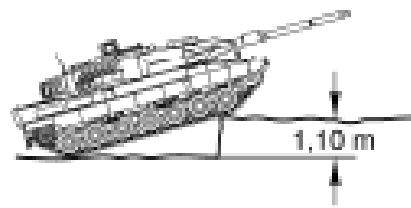
Dimensiones y capacidades técnicas



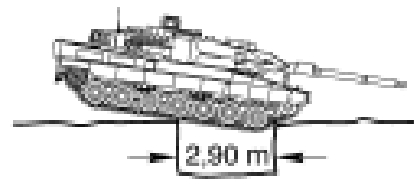
- | | |
|---|--|
| 1. Periscopio del T. (EMES) | 20. Unidad electrónica de estabilización |
| 2. Sensor térmico (STT) del VTT | 21. Ordenador de control y pruebas del LINCE (OCP) |
| 3. Monitor del JC. | 22. Unidad lógica central/distribución principal (ULC/DP) |
| 4. Terminal táctico | 23. Unidad de presentación del RC. (UPRC) |
| 5. Unidad de control del T. (UCT) | 24. Sensor de inclinación |
| 6. Unidad de control de la dirección de tiro (UCDT) | 25. Giróscopo del cañón |
| 7. Unidad de control de torre | 26. Mecanismo de elevación |
| 8. Unidad de control auxiliar del VTT | 27. Mecanismo de dirección |
| 9. Unidad de control del PERI | 28. Transmisor de dirección |
| 10. Mando de emergencia | 29. Electrónica de movimiento de emergencia |
| 11. Mandos del T. | 30. Sensor de giro de la torre |
| 12. Mando del JC. | 31. Resolución de elevación del PERI |
| 13. Periscopio del JC. (PERI) | 32. Resolución de elevación del EMES |
| 14. Electrónica de seguimiento del arma (EWNA) | 33. Collimador de boca del sistema de homogeneización en campaña (SHC) |
| 15. Terminal de datos de misión (MIDAT) | 34. Telescopio (FERO) |
| 16. Unidad electrónica del VTT (EVT) | 35. Periscopio para el FERO |
| 17. Unidad electrónica del PERI | 36. Transmisor de elevación |
| 18. Calculador de la DT | 37. Interruptor de velocidad del PERI |
| 19. Giróscopo de la torre | |

Componentes de la dirección de tiro

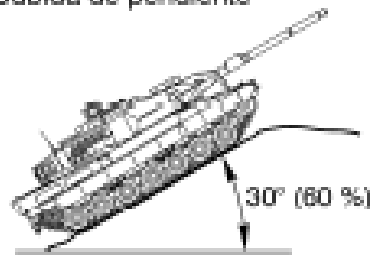
Paso de obstáculo vertical



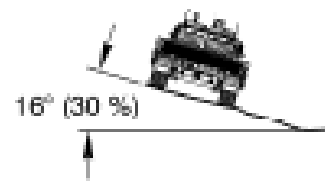
Paso de zanjas



Subida de pendiente



Inclinación



Características tácticas

ANEXO 3: Tiempo atmosférico en las pruebas experimentales



Temperatura y velocidad del viento

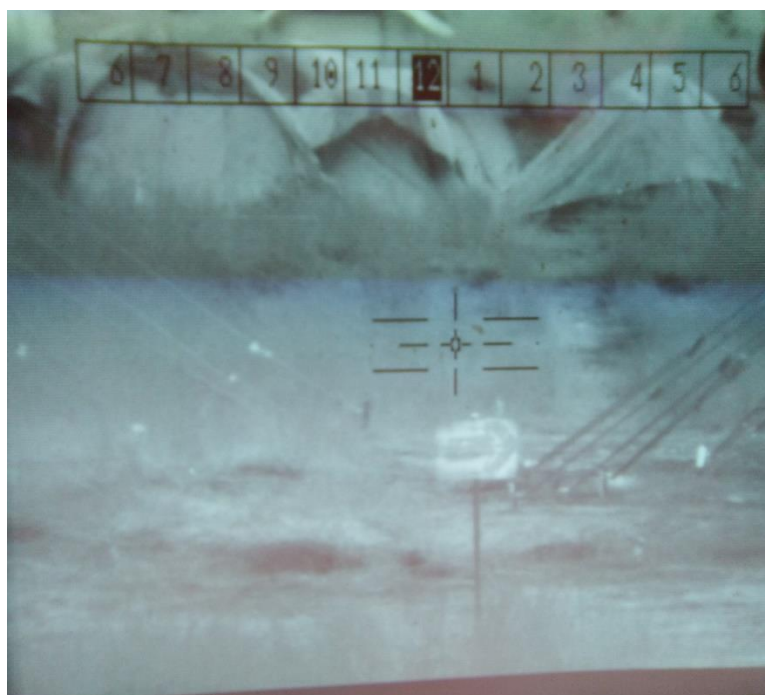


Presión atmosférica

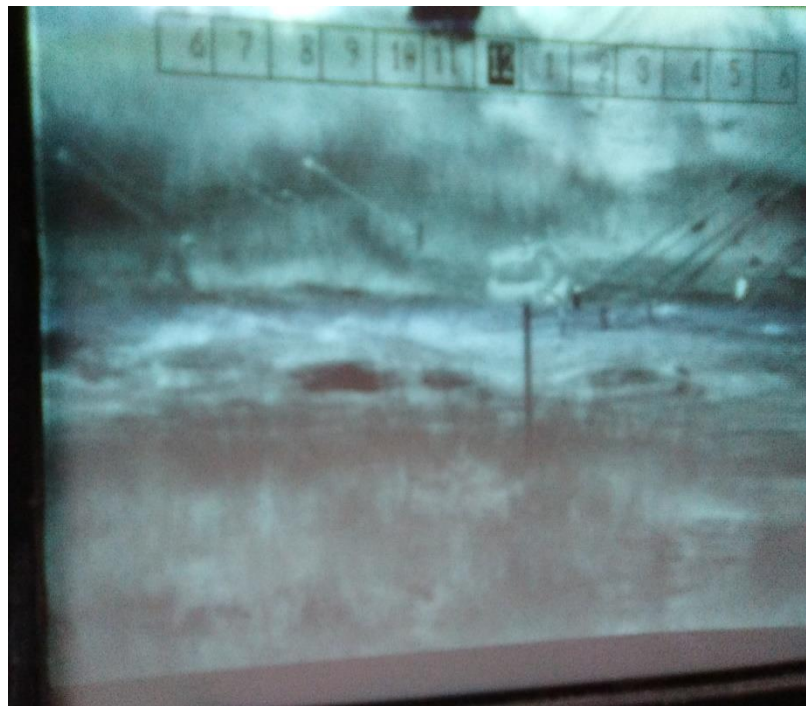
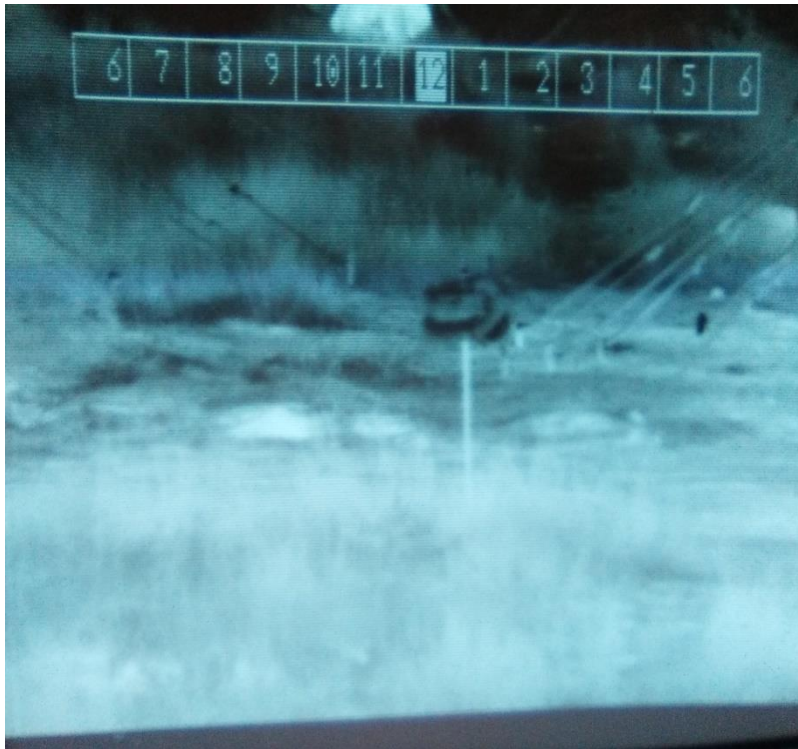


Humedad relativa

ANEXO 4: Fotos térmicas del jalón 2 (jalón de spray)

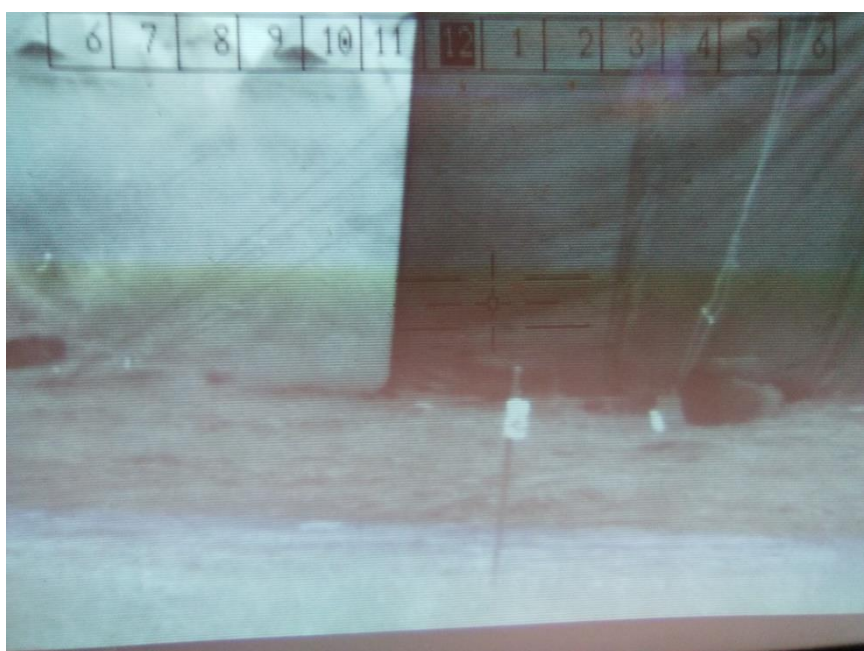
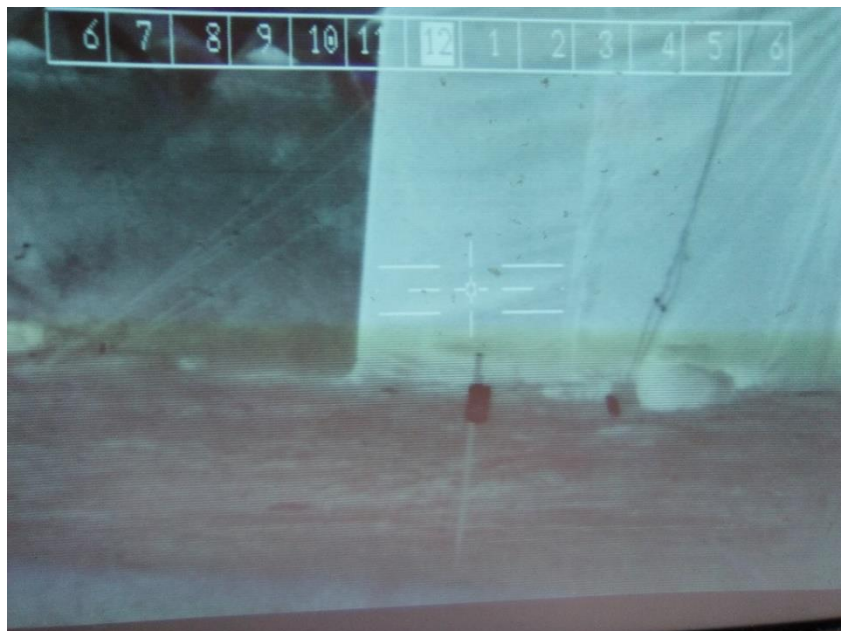


Fotos termicas del primer turno de pruebas del jalón 2 (jalón de spray)

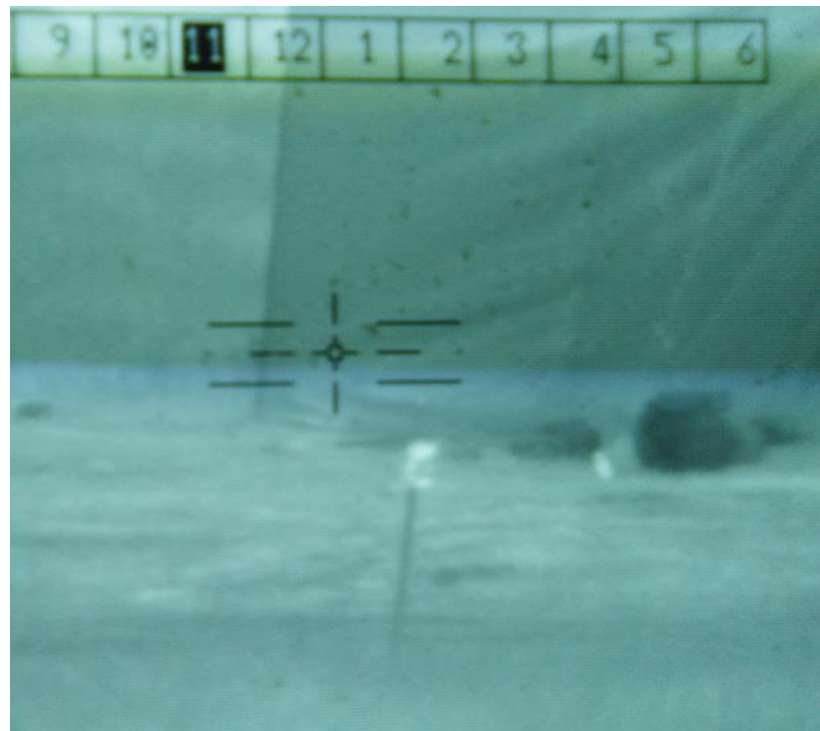
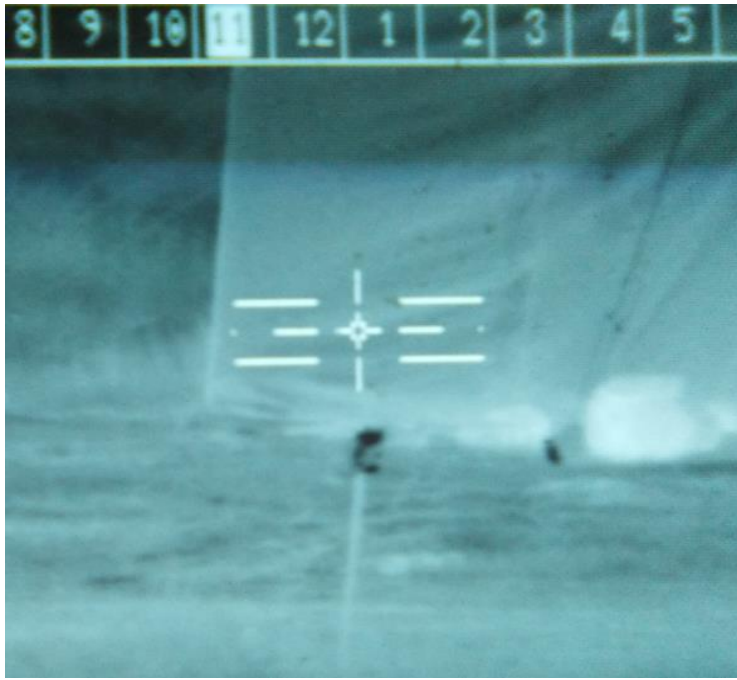


Fotos térmicas del segundo turno de pruebas del jalón 2 (jalón de spray)

ANEXO 5: Fotos térmicas del jalón 3 (jalón con calentadores)

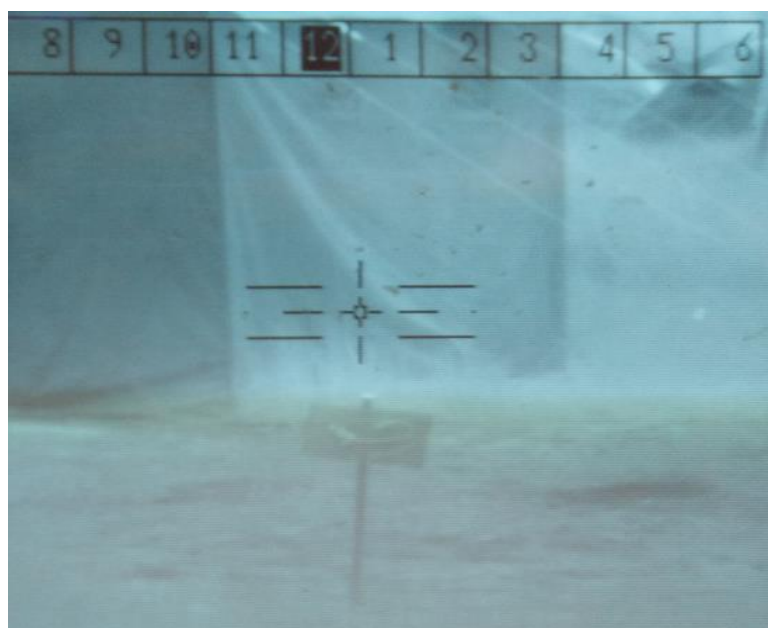
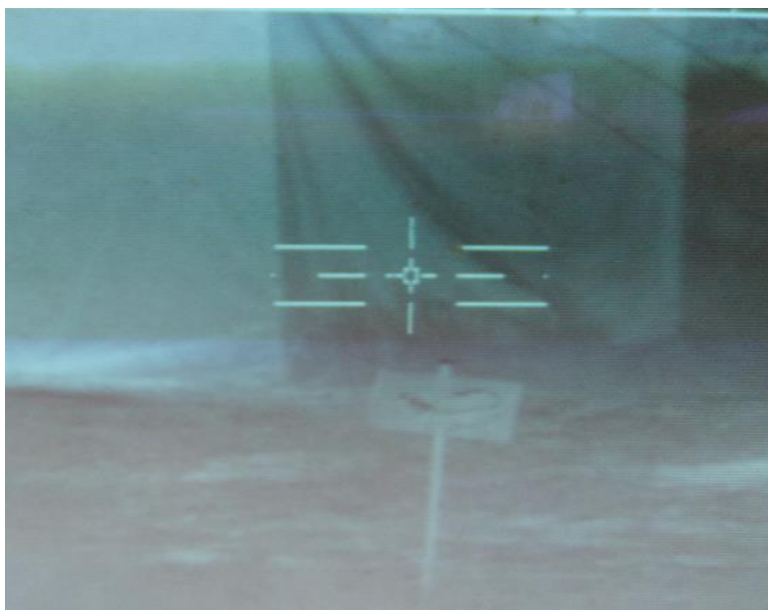


Fotos térmicas del primer turno de pruebas del jalón 3 (jalón con calentadores)

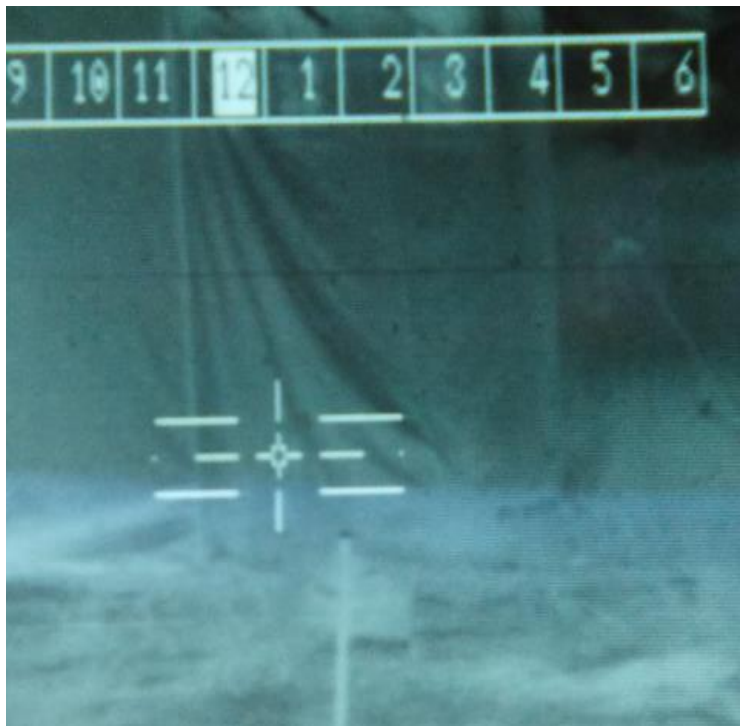
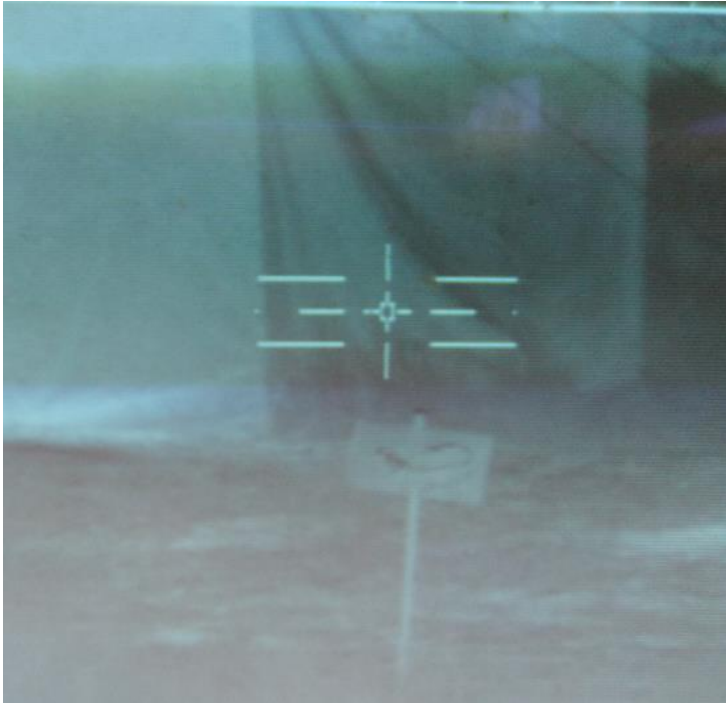


Fotos térmicas del segundo turno de pruebas del jalón 3 (jalón con calentadores)

ANEXO 6: Fotos térmicas del jalón 1 (jalón de agua)



Fotos térmicas del primer turno de pruebas del jalón 1 (jalón de agua)



Fotos térmicas del segundo turno de pruebas del jalón 1 (jalón de agua)