



**Universidad**  
Zaragoza

# Trabajo Fin de Grado

Adaptación del Carro de Combate Leopard 2E  
para el combate en el desierto

Autor

Juan Álvarez Báñez

Director/es

Dña. Silvia Guillén Lambea

Cte. D. Raúl López Resusta

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

Año 2015

# **ADAPTACIÓN DEL CARRO DE COMBATE LEOPARDO 2E PARA EL COMBATE EN EL DESIERTO**

## **RESUMEN**

El presente proyecto aborda un estudio riguroso sobre la posibilidad de adecuar el Carro de Combate del Ejército de Tierra al combate en el desierto, un escenario muy presente en las Operaciones que realiza en la actualidad, mediante un análisis de sus características técnicas identificando los requisitos funcionales a tener en cuenta para ganar un nivel óptimo de operatividad en dichas misiones.

Partiendo de los manuales técnicos y de instrucción del Leopardo sumado a las lecciones aprendidas por personal profesional con distintos carros de combate se han determinado los requerimientos técnicos para una correcta adecuación al desierto. Posteriormente, se han listado una serie de soluciones basadas en el mercado actual y en adaptaciones reales llevadas a cabo por ejércitos extranjeros.

## **ABSTRACT**

This project is a strict study about the possibility of adapt the Spanish Army Main Battle Tank (MBT) to desert combat, a very common scenario on the current performed operations, through a technical analysis identifying the functional requirements in order to provide an optimal operability level in such missions.

Starting from the technical and instruction handbooks added to lessons learned by professional staff with different MBTs, it has been determined some technical requirements to a properly adapt to the desert. Then, it has been listed a set of solutions based on the current market and adaptations carried out by foreign armies.

## ÍNDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	3
1.1.	Objetivo del proyecto	3
1.2.	Metodología	3
1.3.	Ámbito de aplicación	4
<b>2.</b>	<b>ESTADO DEL ARTE</b>	5
2.1.	El Leopard 2E	5
2.2.	La familia Leopard	5
2.3.	Otros MBTs	7
2.4.	Conclusiones del Estado del Arte	8
<b>3.</b>	<b>VIABILIDAD</b>	9
3.1.	Diagrama de Kano	9
3.2.	Análisis DAFO	10
<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS TÉCNICO</b>	11
<b>4.1.</b>	<b>Sistemas relacionados con el funcionamiento del CC.</b>	11
4.1.1.	Grupo Motopropulsor (GMP)	11
4.1.1.1.	El Motor	11
4.1.1.2.	Sistema de refrigeración	13
4.1.1.3.	Sistema de admisión	13
4.1.2.	Sistema de calefacción	15
4.1.3.	Sistema de Aire Acondicionado (AA)	15
4.1.4.	Unidad de Potencia Auxiliar (UPA)	17
4.1.5.	Electrónica	18
4.1.6.	Sistemas relacionados con la movilidad	19
<b>4.2.</b>	<b>Sistemas relacionados con la seguridad del CC</b>	20
4.2.1.	Sistema Contraincendios (SCI)	21
4.2.2.	Sistema Nuclear-Biológico-Químico (NBQ)	21
4.2.3.	Sistemas de protección exterior	21
4.2.4.	Armamento y munición	23
<b>4.3.</b>	<b>Adaptaciones relacionadas con el confort de la tripulación</b>	24
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS DEL ESTUDIO</b>	25
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	27
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	28

## **1. INTRODUCCIÓN**

Desde hace dos décadas ha recobrado gran importancia como zona geoestratégica Oriente Medio y Oriente Próximo y en los últimos años el Magreb y el Sahel. Lamentablemente se han desarrollado en estos escenarios conflictos armados en los que las fuerzas internacionales han tenido que tomar parte ante la amenaza de los Derechos Humanos y de los intereses de las organizaciones globales. Una de las características que pone en común estos lugares es la presencia de clima y ambiente desértico, en mayor o menor medida.

Una fuerza operativa debe ser capaz de desplegar sus medios de manera que puedan combatir a pleno rendimiento sea cual sea el escenario en el que participen. Así pues, ante la creciente tendencia de enviar tropas acorazadas a zonas desérticas [1], los ejércitos están tratando de adaptar y desarrollar sus MBTs para que sean capaces de aprovechar su gran potencia de fuego, movilidad, protección y poder de disuasión en condiciones de altas temperaturas y grandes concentraciones de partículas.

El Ejército de Tierra (ET) español se encuentra en la situación de tener un carro de combate (CC), el Leopard 2E, que pese a ser uno de los más modernos y potentes del mundo no está adaptado al combate en el desierto, donde las temperaturas y concentraciones de partículas son extremadamente altas. Es preciso, dada la situación estratégica actual, contar con un medio acorazado que sea plenamente operativo en dichas condiciones.

### **1.1. Objetivo del proyecto**

El objetivo del proyecto es analizar y proponer una serie de cambios, adaptaciones y mejoras en el Leopard 2E para que sea capaz de combatir en un escenario desértico con un alto nivel de operatividad. Se trata de realizar una recapitulación de los diferentes estudios, tratados y pruebas que se ha realizado al respecto, analizar los sistemas existentes en el mercado e identificando soluciones prácticas para que las unidades acorazadas obtengan una guía de partida que facilite la labor de acondicionar el Leopard. Así pues, se pretende dar un primer paso en la carrera hacia la preparación plena del Leopard al combate en el desierto.

### **1.2. Metodología**

Para la realización del presente estudio, un primer paso ha sido recopilar una serie de necesidades planteadas por profesionales de las unidades de carros de combate mediante entrevistas personales o tomadas de informes de lecciones aprendidas. Posteriormente, se han analizado uno por uno aquellos sistemas del Leopard susceptibles de ser adaptados al combate en el desierto, bien por recomendación de los propios "carristas" o por las características técnicas consultadas en los manuales del carro de combate. Para cada sistema, se han buscado los problemas a los que se enfrentaría en el desierto. A partir de cada sistema estudiado se han propuesto una o varias soluciones basadas en adaptaciones existentes, productos del mercado o aportaciones propias. Para finalizar, se han clasificado a modo de resumen estas adaptaciones por orden de prioridad en función de la gravedad que supone no disponer de ellos.

### **1.3. Ámbito de aplicación**

En la actualidad existen 219 carros de combate Leopard 2E (figura 1) repartidos entre las unidades acorazadas del ET. Hasta la fecha, no ha existido ninguna misión internacional en la que hayan desplegado carros de combate españoles, sea por limitaciones tácticas, técnicas o económicas. De los 219 carros, se deberán distribuir las adaptaciones sobre las distintas unidades de Infantería acorazada (BRIMZ X, BRIMZ XI y BRIAC XII), de Caballería (GRECO X, GRECO XI, GRECO XII) y el CENAD, de tal manera que el número de carros adaptados sea proporcional a las probabilidades de desplegar en ambiente desértico. Una posible solución sería convertir una de las tres unidades de infantería acorazada en una fuerza plenamente adaptada al combate en el desierto, de manera que se ahorre dinero en repuestos y gastos de transporte y se gane en nivel de instrucción y especificidad. Las otras dos unidades continuarían manteniendo sus capacidades actuales para poder desplegar en ambientes no desérticos.

No es necesario destinar carros adaptados a las unidades de formación (ACINF, ACAB, CENAD San Gregorio), dado que las adaptaciones no repercuten en la instrucción técnica del sistema de armas, sino en el correcto funcionamiento de los materiales en condiciones extremas. Por la misma razón, no es necesario realizar ningún cambio en los Simuladores de Torre (STO), Simuladores de Enseñanza Asistida por Ordenador, Simuladores de Conducción y Simuladores de Duelo, repartidos en las Unidades anteriormente citadas y en el Centro de Instrucción de Unidades Acorazadas (CIUACO).

Con todo ello, partiendo de que se adaptaran la totalidad de los carros del RIAC "Alcázar de Toledo" (BRIAC XII), al ser la unidad más específicamente "carrista" y potente del ET, habría que convertir 88 carros de combate Leopard 2E. Si se optara por adaptar las unidades acorazadas de la BRIMZ X o de la BRIMZ XI, tendríamos un total de 44 carros respectivamente. Las unidades de Caballería cuentan con 13 carros cada una [2].

Por otra parte y aunque las adaptaciones se realizarán sobre el Leopard 2E (modelo español del Leopard 2 alemán), estas novedades podrían plantearse para ser introducidas en la familia Leopard al completo por parte de los ejércitos aliados que comparten MBT con el ET. De hecho, algunas de estas mejoras serán tomadas de estudios realizados por ejércitos extranjeros sobre la base del Leopard 2.



*Figura 1. Leopard 2E, objeto del estudio. El MBT del ET está fabricado íntegramente en España [2].*

## 2. ESTADO DEL ARTE

En este apartado se ofrece una visión detallada de los diferentes carros existentes en el panorama actual de manera que se pueda extraer de ellos la información necesaria para tomar las primeras lecciones aprendidas y adaptaciones que posteriormente se analizarán en mayor profundidad en el análisis técnico. Para ello, primero se analizará el CC objeto del estudio, posteriormente aquellos carros del mismo origen que el español (de la familia Leopard) y finalmente otros MBTs de diferentes familias y ejércitos.

### 2.1. El Leopard 2E

El carro de combate Leopard 2E fue adquirido por el ET en diciembre de 1998 (fecha de firma del contrato) y entregados desde 2004 hasta la actualidad, llegando a contar sus unidades con 219 carros [2]. Anteriormente, en 1995 se habían incorporado a las unidades acorazadas 108 Leopard 2A4 directamente de la plantilla del *Heer* (Ejército de tierra alemán), de los cuales 50 se encuentran almacenados en hangares en la actualidad. Comenzó a ser fabricado en 2003 por la empresa Santa Bárbara Sistemas-General Dynamics (SBB), la cual ensambla las piezas provenientes de diferentes compañías, entre ellas la alemana Krauss-Maffei (KMW) [3] (ver **Anexo A**).

Al tratarse de un CC que, pese a ser fabricado en España, forma parte de la familia del Leopard 2, la mayoría de sus especificaciones técnicas provienen del carro alemán. Por esta razón, el Leopard 2E no está en principio pensado para el combate en el desierto sino que se adapta al clima predominante en el suelo europeo y en general, a las demandas del *Heer*. Pese a que en un primer momento los requerimientos del Ministerio de Defensa para la adquisición del CC contaban con un módulo de aire acondicionado suficientemente potente para operar a altas temperaturas, la opción se acabó desestimando por no existir una solución técnica en el momento de la firma del contrato. Con todo ello, nos encontramos con un CC de combate, que pese a ser considerado por muchos expertos como el mejor del mundo y operar en suelo español (con las altas temperaturas que ello supone; no en vano se instruye en el CENAD San Gregorio, Madrid, Córdoba y Badajoz), no cuenta con los requerimientos necesarios para ser totalmente operativo en un escenario desértico.

En 2011, comenzaron una serie de negociaciones con Arabia Saudí para proveer a su ejército de, en un principio 250 y posteriormente 150 carros de combate. Para ello, SBB fabricó un modelo adaptado (que básicamente incorporaba un Sistema Prototipo de Aire Acondicionado) para que los saudíes pudieran testarlo en el desierto. De esta forma entre el 25 de junio y el 24 de julio de 2011 (en pleno verano, las condiciones más extremas posibles), dicho carro junto con una tripulación española perteneciente al BICC IV/X "Málaga" estuvo probándose en el desierto arábigo [4]. Posteriormente, más por motivos políticos que técnicos, la oferta quedó en *stand-by*. Sin embargo, de esta experiencia los miembros de la BRIMZ X pudieron extraer numerosas lecciones aprendidas que, junto a sus informes diarios son de gran utilidad para confeccionar un estudio acerca de las adaptaciones necesarias para el Leopard 2E.

### 2.2. La familia Leopard

Internacionalmente, la familia del Leopard 2 está sólidamente consolidada. Sus usuarios actuales son: Alemania (versiones 2A5, 2A6, 2A7, 2A7+, LAHAT Leopard 2), Austria (2A4), Canadá (2A6M), Catar (2A6), Chile (2A4CHL, 2A5), Dinamarca (2A5DK), Finlandia (2A4), Grecia (2A6 HEL), Indonesia (2A6), Noruega (2A4NO, 2A5), Polonia

(2A4, 2A5), Portugal (2A6), Singapur (2A4), Suecia (2A5S/ Strv 122), Suiza (2A4/Pz 87), Turquía (2A4) y por supuesto, España (2E, versión del 2A6) [5]. Como podemos ver, muchos de los usuarios, a partir de un modelo base de la familia (el 2A7 es el más moderno) han aportado sus especificaciones propias dando lugar a las diferentes versiones (la nomenclatura no es más que las iniciales del país).

- ✓ Leopard 2A4CHL: del Ejército de Chile. A partir del modelo 2A4 añadió una serie de mejoras para hacer posible el funcionamiento a gran altitud y en clima seco, actualizando la planta del motor MTU [5].
- ✓ Leopard 2A6CAN de las Fuerzas Canadienses: desplegaron en Afganistán en 2007. Eran el modelo 2A6M alemán modificado por KMW, pues presentaba espacio suficiente para implementar un sistema de aire acondicionado (AA) y producían menos calor que su antecesor el Leopard C2 (versión del 1A5) con el que usaban monos refrigeradores para aliviar los 60°C que se llegaban a registrar en la cámara de combate [5].
- ✓ Leopard 2A5DK: El Ejército Danés desplegó a sus carros en Afganistán en 2007. Las adaptaciones realizadas, como podemos comprobar en la figura 2, fueron de protección exterior: mimetizado árido, faldones para proteger el tren de cadenas de las dunas, toldo sobre las escotillas de la torre para no exponer al jefe de carro (JC) y al cargador al sol y al enemigo [5].



*Figura 2. Leopard 2A5 DK. Versión danesa desplegada en Afganistán en 2007 [5].*

- ✓ Stridsvagn 122 y su versión mejorada MBT-122 B: carros suecos sobre la base del Leopard 2A5. Tienen fama de ser los más resistentes del mundo al haber sido testados tanto en climas extremadamente calurosos como en el frío de Escandinavia. Las pruebas de calor extremo (42-45°C y aire seco en San Gregorio) se realizaron en España [6]. Las principales innovaciones aportadas fueron:
  - Para la torre: transistores MOSFET (EWNA), *ultracaps*, monos refrigerados para la tripulación, SLB (*Battle Management System*, BMS, mejorado)

- Para la barcaza: AA para barcaza y conductor, radiadores de refrigeración mejorados con nuevas entradas de aire, *ultracaps* y mayor ventilación del motor.
- Utilización de munición Canister: apta para temperaturas superiores a 71°C.
- Focos frontales más potentes.
- Sistema Saab Barracuda: consiste en una capa superpuesta a la cubierta del carro que además de ofrecerle mimetizaje desértico, reduce la temperatura exterior de la torre y de la barcaza.

### 2.3. Otros MBTs

Ante la aparición de escenarios bélicos en la zona de Oriente Próximo y Oriente Medio, donde existen amplias zonas desérticas, las fuerzas armadas de los países contendientes se han visto en la necesidad o en la posibilidad de tener que desplegar tropas acorazadas. Algunos países han enviado a los carros directamente sin apenas adaptaciones previas, como es el caso del M1 Abrams A2 estadounidense durante las guerras del Golfo, Irak o Afganistán. Gracias a ello, se ha podido comprobar que las características y parámetros de funcionamiento de los MBTs no eran los óptimos para su operatividad en el desierto, por lo que se han realizado numerosos estudios sobre los diferentes carros para poder dotarlos de las características necesarias para operar en estos escenarios.

Fuera de la familia Leopard, se puede comprobar cómo los MBTs de los países que no se encuentran en zonas desérticas se encuentran en la misma situación que el Leopard; sin embargo, las versiones de estos carros adquiridas por países de Oriente Próximo y Oriente Medio han sido objeto de adaptaciones y son, de hecho, los únicos ejemplos que cuentan con un equipo preparado para las altas temperaturas y concentraciones de arena.

- ✓ Leclerc EAU: la versión de los Emiratos Árabes Unidos del carro francés. Presenta un sistema de aire acondicionado generado mecánicamente (refrigera el carro sin la necesidad de corriente eléctrica, pero tácticamente es un fallo al poder revelar su posición) y un motor MTU diseñado especialmente para las condiciones desérticas [7].
- ✓ Al-Khalid pakistaní: versión del MBT-2000 chino. Durante su diseño se prestó gran atención al desarrollo de sistemas de enfriamiento y filtrado de alto rendimiento. Se instaló un sistema de transmisión SESM ESM500 (el propio del AMX-56 Leclerc), desechando un primer prototipo propenso a fallos por arena alojada en los mecanismos de funcionamiento. Además la versión Al-Khalid II (figura 3) contiene un sistema de aire acondicionado mejorado [8].
- ✓ Ramsés II egipcio: contiene un potente sistema de filtros de aire complementario [9].
- ✓ T-90 SA: versión argelina del carro ruso. Está dotado de un sistema de aire acondicionado tanto para la cámara del motor como para la cámara de combate del personal. Turkmenistán también es usuario de este MBT [10].
- ✓ T-90 S Bhisma: versión india del carro ruso. Se encuentra en estado de pruebas porque se han detectado problemas con las miras térmicas debido al calor del desierto [10].





*Figura 3. Al-Khalid Pakistání, versión adaptada al desierto del MBT-2000 chino [8].*

#### **2.4. Conclusiones del Estado del Arte**

Por lo tanto, las conclusiones que derivan de un profundo análisis del estado del arte de los MBTs son:

- ✓ Los carros de combate occidentales no están plenamente adaptados a las condiciones desérticas, pero se ven en la necesidad de implementarlas al existir una alta probabilidad de actuación en estos escenarios en lo que, de hecho, los MBTs ya han combatido (Irak, Afganistán).
- ✓ El Leopard 2E no ha llegado a ser desplegado en una misión desértica, si bien ha sido testado puntualmente en Arabia Saudí. Por esta razón, apenas existen lecciones aprendidas a cerca de la actuación del carro español en el desierto.
- ✓ El sistema de AA es la adaptación más repetida en los MBTs que han introducido mejoras para el desierto, a excepción del Leopard 2A4 CHL.
- ✓ La mejora del motor y sus capacidades es la segunda adaptación más implementada, si bien la familia Leopard no la ha desarrollado profundamente.
- ✓ Por último, existen otros elementos secundarios a los que se les ha aplicado mejoras y deben ser estudiados: sistema de refrigeración, electrónica y protección exterior.

### 3. VIABILIDAD

Para poder determinar si el proyecto es viable, se realizará un análisis DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades). Antes de ello, se ha de partir del conocimiento de la situación del Leopardo 2E (vista en la introducción), de un análisis del mercado (visto en el Estado del Arte) y de un listado de las necesidades de los usuarios, organizadas mediante un Diagrama de Kano.

#### 3.1. Diagrama de Kano

Los requisitos recopilados de las necesidades de los usuarios finales han sido clasificados siguiendo el análisis de Kano. Gracias a esta herramienta, se intuyen cuales serán las características técnicas en las que centrar el esfuerzo de la adaptación, así como las de mayor valor en el futuro. Estos requisitos se dividen en tres grandes grupos según el grado de cumplimiento de las expectativas y satisfacción de los usuarios finales [11]:

- ✓ Características de Calidad Básica: triviales para los usuarios.
- ✓ Características de Calidad Expresadas: se esperan del producto, pero merece la pena resaltarlas.
- ✓ Características de Calidad Sorprendentes: el usuario no las espera y hacen al producto atractivo.

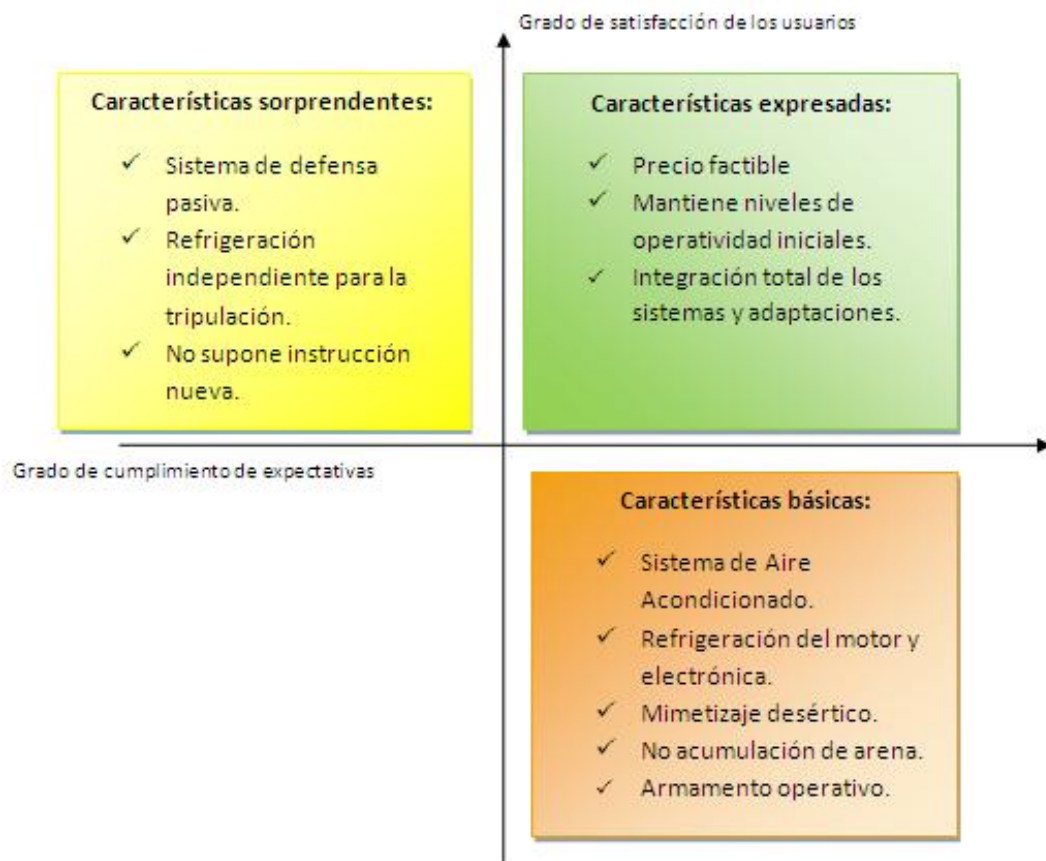


Figura 4. Diagrama de Kano. Fuente: el autor.

### 3.2. Análisis DAFO

Una vez ha sido analizado el estado actual del producto y conociendo las necesidades de los usuarios, es necesario realizar un análisis de mercado mediante la herramienta DAFO que permita examinar a simple vista la viabilidad del proyecto, evaluando los puntos débiles del estudio para solventarlos por medio de las fortalezas que presenta. Del mismo modo, permite identificar las amenazas al éxito del trabajo para poder equilibrarlas con las oportunidades que ofrece el mercado.

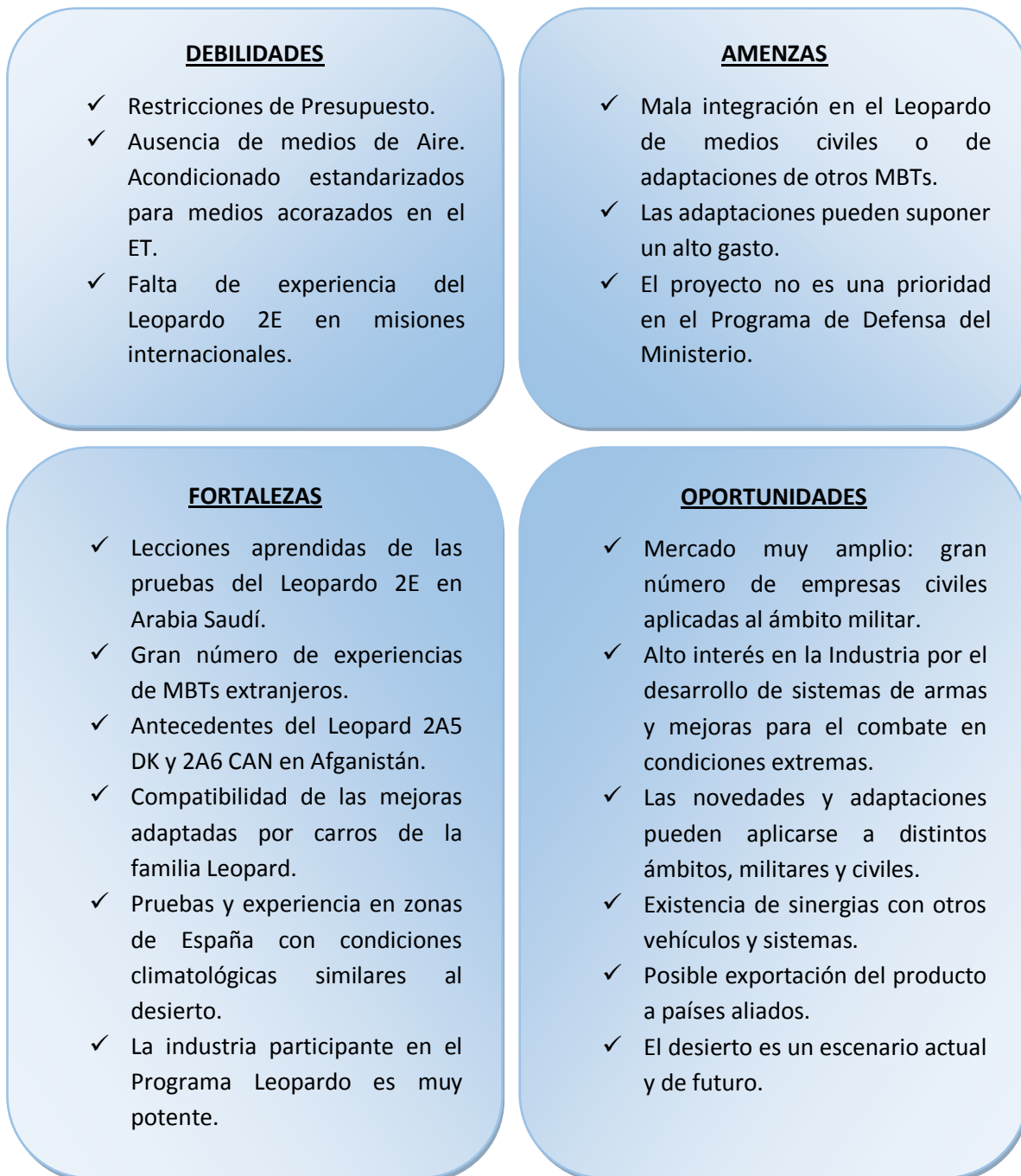


Figura 5. Análisis DAFO. Fuente: el autor.

A partir de los resultados obtenidos de la matriz DAFO se puede comprobar que el proyecto es aparentemente viable, ya que si confrontamos debilidades contra fortalezas y amenazas contra oportunidades, se comprueba que las segundas contrarrestan a las primeras ofreciendo una rápida visión de que las ventajas de realizar el proyecto son mucho mayores que los obstáculos que se presentan. Así, existe un amplio mercado al que acudir y un aún mayor número de lecciones aprendidas de diferentes MBTs, sin olvidar la enorme importancia geoestratégica de los escenarios desérticos en la actualidad y presumiblemente, en el futuro.

#### **4. ANÁLISIS TÉCNICO**

En este apartado se analizarán los distintos sistemas y componentes del CC Leopard 2E susceptibles de ser adaptados al combate en el desierto. Para ello se tomarán los distintos manuales técnicos y de instrucción del carro para identificar los problemas que podrían presentar en condiciones desérticas. Junto a ello, se tomarán informes de pruebas del funcionamiento del Leopard en España y Arabia Saudí dentro de los estudios realizados para implementar mejoras en el mismo. Además, se identificarán requisitos y adaptaciones que contrarresten las limitaciones del CC basándose en lo que nos ofrece el mercado de la ingeniería militar actual y en las experiencias de profesionales pertenecientes a unidades acorazadas del ET. Para hacer el análisis más claro, se han dividido los diferentes sistemas y elementos del Leopard en tres grandes grupos: los relacionados con su funcionamiento, los relacionados con elementos de seguridad y los que proporcionen confort a la tripulación.

##### **4.1. Sistemas relacionados con el funcionamiento del CC.**

En este apartado se aborda un estudio de aquellos sistemas que repercuten directamente sobre el funcionamiento del Leopard. Entre ellos, el Grupo Motopropulsor, el Sistema de Calefacción, el Sistema de AA, la Unidad de Potencia Auxiliar (UPA), los elementos de electrónica y aquellos sistemas relacionados con la movilidad del CC. El Sistema de Calefacción y el de AA, si bien podrían tratarse en el grupo de sistemas que proporcionan confort, también afectan de manera fundamental a la actividad del Leopard, adecuando sus sistemas a una temperatura óptima.

##### **4.1.1. Grupo Motopropulsor (GMP)**

El GMP además del motor propiamente, integra el sistema de admisión, el sistema de escape, el sistema de refrigeración y el sistema eléctrico, por lo que su funcionamiento, carencias y posibles adaptaciones están íntimamente ligados a las de dichos elementos del CC.

##### **4.1.1.1. El Motor**

El CC Leopard 2E tiene un motor MTU (figura 6) cuyas características técnicas están descritas en el Anexo A.

Los aspectos críticos del motor más destacables a la hora de operar en condiciones extremas son las siguientes:

- ✓ La temperatura normal de funcionamiento del motor no debe superar los 100°C; el sistema de seguridad integrado del Leopard

indica con una alarma en el panel del conductor que la temperatura está sobrepasando los 110°C e impide el funcionamiento del CC si la temperatura no se reduce inmediatamente [12].

- ✓ El sistema de admisión del motor no está suficientemente protegido contra la alta concentración de partículas (arena y polvo), por lo que podría acumularse en la cámara en la que se ubica, dañando los sistemas (la arena es muy abrasiva), ocluyendo los conductos y obstruyendo los filtros.

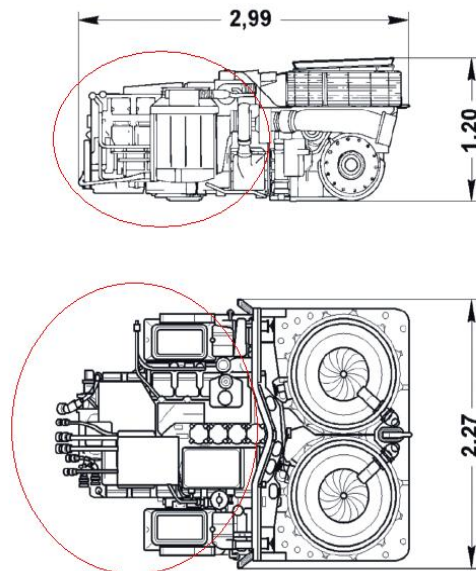


Figura 6. GMP. Dentro del círculo rojo, el motor [12].

Durante las pruebas realizadas en Arabia Saudí en 2011, se detectaron los siguientes problemas, los cuales no pudieron ser resueltos sobre el terreno:

- ✓ Con el CC en funcionamiento a más de 40 km/h la temperatura del motor se elevaba a 110°C, impidiendo el sistema de seguridad continuar con su funcionamiento. Debido a ello, cada 5 km a esta velocidad, había que parar 15 minutos para enfriar el motor [4].
- ✓ Se acumulaba mucha cantidad de arena en la cámara del motor, por lo que las tareas de mantenimiento y limpieza aumentaban en el tiempo.

Como soluciones para optimizar la temperatura del motor se propone mejorar el flujo de aire de los ventiladores del motor (aumentando su velocidad y superficie y por tanto su potencia). La empresa LMB Fans and Motors, trabaja en adaptaciones al MBT francés Leclerc e incluso en la familia Leopard 2 [13] con algunos prototipos alemanes aportando ventiladores de mayor frecuencia (400 Hz) y tamaño (300 mm de radio) [14]. Por otra parte, se deben adaptar las superficies de disipación y el líquido refrigerante. Para la operación en suelos de arena, se debe otorgar una mayor protección a las entradas de aire del sistema de admisión y refrigeración. En los apartados correspondientes a estos sistemas se tratarán más en profundidad dichas adaptaciones.

Otra solución es proporcionar aislamiento térmico a la cámara del motor, fabricando una cubierta a su compartimento con planchas de kevlar o poliuretano.



#### 4.1.1.2. Sistema de refrigeración

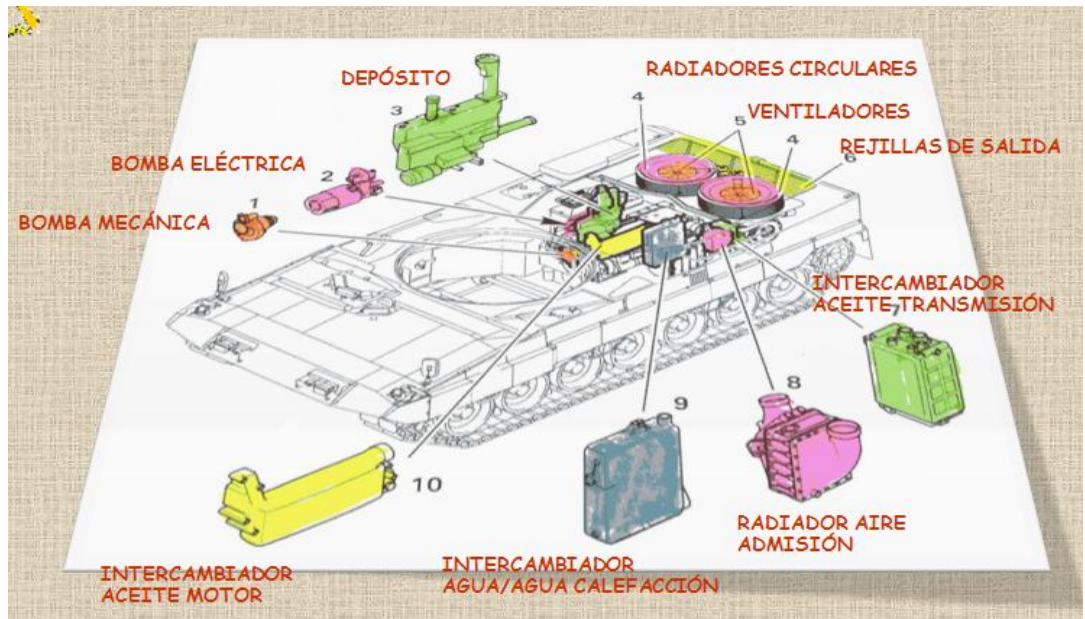


Figura 7. Componentes del sistema de Refrigeración [3].

Es un circuito refrigerante con bomba, cuyo líquido de refrigeración contiene una mezcla de agua y anticongelante definida. La temperatura mínima de dicho líquido para el funcionamiento normal del motor debe ser 30°C [12].

Durante las pruebas en el desierto de Arabia, para intentar solucionar los problemas del GMP, se extrajo éste íntegramente, se comprobó el sistema de refrigeración y el líquido. Para optimizarlo, se estableció para el combate en ambiente de calor extremo una temperatura del refrigerante de 5°C y se rellenó el depósito con agua pura. Por tanto, en lo referente al líquido refrigerante la solución propuesta por los expertos de la comisión a Arabia es variar la proporción del refrigerante, siendo el anticongelante nunca más del 5% de la mezcla y el agua “sin dureza”

Por otra parte, se sacó la conclusión de sellar las juntas del sistema de refrigeración contra la acumulación de polvo y arena [4].

#### 4.1.1.3. Sistema de admisión

Este sistema es el encargado de tomar el aire del exterior y llevarlo, libre de impurezas y partículas a diversos sistemas del CC tales como el GMP, el sistema de refrigeración, el de calefacción y el contraincendios. Para ello, se compone de una serie de entradas de aire, filtros, toberas y válvulas de salida de partículas (figura 8) que son objeto de continuo mantenimiento en condiciones normales. Por tanto, al operar en ambiente desértico este sistema se convierte en un aspecto crítico.

El flujo de aire entra por las tapas de absorción, se desplaza por las toberas de aspiración y llega al primer filtro, el ciclónico, que realiza una limpieza previa reteniendo las partículas más grandes. A través del impulsor

estas impurezas llegan a la válvula de salida y se expulsan. El aire filtrado llega a cartuchos de filtros finos de papel, que eliminan las impurezas restantes; el aire limpio llega a los turbocompresores y de ahí a los radiadores que introducen el aire a baja temperatura y alta presión en la cámara de combustión [15].

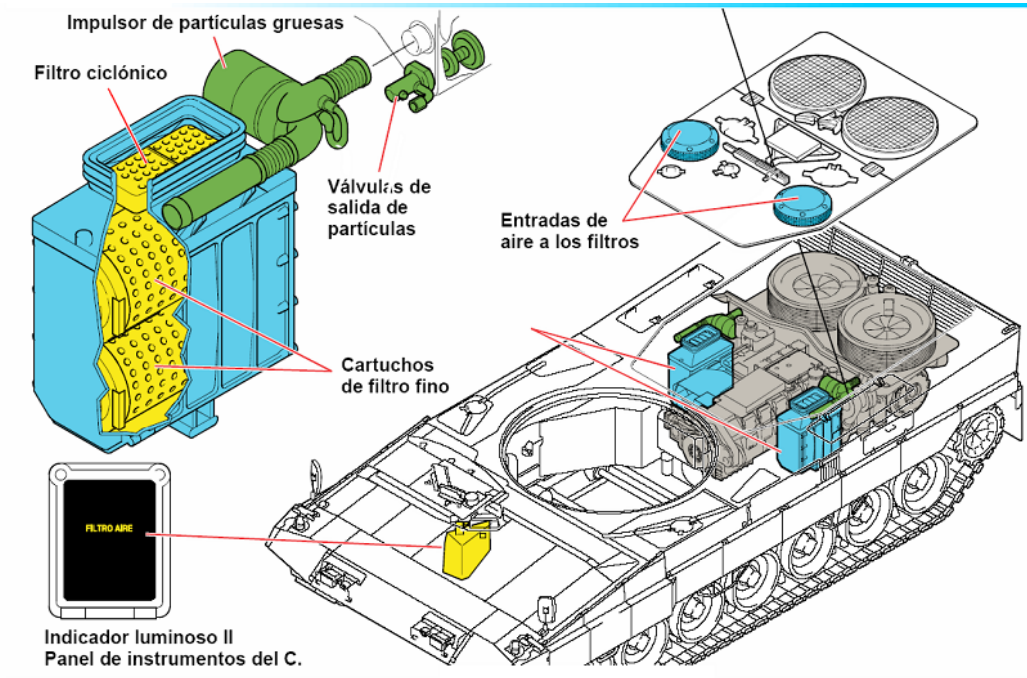


Figura 8. Sistema de Admisión [3].

El problema llega si existe una gran acumulación de polvo en los filtros, pues puede producir un descenso en la presión del aire y obstruir las vías de admisión. En caso de fallo del filtro ciclónico de polvo grueso o de activación del interruptor de depresión, la unidad de control del motor (MKA) recibe una señal y salta la alarma [12].

El combate en el desierto puede llevar a este fallo en menos tiempo que en condiciones estándar debido a la alta concentración de partículas y a las elevadas temperaturas. La experiencia de las pruebas del Leopard en Arabia mostró la necesidad de revisar y limpiar los filtros 7 de los 12 días de prácticas en el desierto, a razón de una revisión cada 168 km [4].

Para realizar un mantenimiento óptimo del sistema de admisión se deben desmontar los filtros ciclónicos y los cartuchos de filtros de papel y limpiarlos con aire a presión a menos de 5 bar de dentro hacia fuera. Si existiera el más mínimo daño en los filtros, deben sustituirse obligatoriamente [12]. Además, se debe revisar y limpiar las tapas de los filtros y la carcasa (ver **Anexo B**).

#### 4.1.2. Sistema de calefacción

Este sistema permite calentar las cámaras de combate y conducción, renovar el aire de las mismas y precalentar el motor si está a menos de  $-20^{\circ}\text{C}$ . Funciona mediante una estufa que utiliza gasóleo como combustible y un sistema de radiadores que se integra en las entradas de aire del CC [12].

Aunque este sistema es de gran importancia en escenarios euroasiáticos de clima continental y oceánico, la temperatura mínima en algunos desiertos puede llegar a bajar de  $0^{\circ}\text{C}$ , al menos durante la noche. Hay que decir que este no es el caso de los desiertos arábigo, sirio y libio, que son las zonas desérticas de mayor interés geoestratégico en la actualidad y en un futuro próximo.

Por otra parte, este sistema está ligado al de admisión mediante las entradas de aire. Durante las pruebas del Stridsvagen 122B (Leopard 2A5 sueco) en San Gregorio, se utilizó un prototipo con nuevas entradas de aire que servían tanto a los radiadores como a la refrigeración indirecta de la cámara de combate, recogándose un descenso de la temperatura de la misma de  $5^{\circ}\text{C}$  [6].

#### 4.1.3. Sistema de Aire Acondicionado (AA)

Se trata de la adaptación obligatoria por excelencia de cualquier MBT para el combate en el desierto. Como se ha visto en el apartado del Estado del Arte, la mayoría de los carros de combate no cuentan con este sistema por haberse desarrollado en climas que no lo hacían necesario. Por otra parte, los países de las zonas desérticas lo consideran un requerimiento primario en sus programas de MBT y algunos de ellos disponen de él (Pakistán, Egipto) [8].

Tras una serie de entrevistas con expertos, éstos consideran este sistema como la primera adaptación que se debe hacer al CC para que opere en el desierto a un buen nivel de operatividad, para la refrigeración de la cámara de combate, torre y electrónica.

El test del Leopardo 2E en el desierto de Arabia Saudí se realizó con un carro estándar del ET cuya única adaptación fue la implementación de un sistema prototipo de AA de KMW. Su instalación se realizó en un arcón destinado al transporte de equipo personal de la tripulación, justo detrás del compartimento de electrónica (EWNA), en la parte posterior de la torre, como se describe en la figura 9 [4]. Si bien es cierto que facilitó la actividad de la tripulación bajo las altísimas temperaturas del desierto de Rub al-Jali, al tratarse tan solo de un prototipo presentó continuos fallos en su funcionamiento e integración con el resto del carro (ver **Anexo B**).

La primera solución posible ante esta necesidad sería desarrollar el prototipo del sistema de AA que se integre plenamente al funcionamiento del CC por parte de la empresa KMW, con la que el Ministerio de Defensa tiene contrato al tratarse de uno de los principales fabricantes del Leopardo 2E (barcaza y torreta fundamentalmente) [3].

Por otra parte, existen numerosas empresas de ingeniería internacionales que han desarrollado sistemas de AA e incluso los han llegado a implementar en prototipos de los principales MBTs:

- ✓ El MBT estadounidense M1A2 SEP (versión más moderna del M1 Abrams) contiene un TMS (Sistema de Gestión Térmica). Éste a su vez se divide en AHU (Unidad de Tratamiento de Aire) y VCSU (Sistema de Compresión de



Vapor). Proporciona 7.5kW de capacidad de refrigeración, manteniendo la temperatura de la tripulación a menos de 35°C y de la electrónica a menos de 50°C. El líquido refrigerante que usa el TMS está adaptado para lograr la mayor eficiencia posible con una mezcla de propileno, glicol y agua pura, que además es respetuoso con el medio ambiente. El montaje del TMS se encuentra en la parte posterior de la torre, junto a la Unidad de Potencia Auxiliar (UPA) [16] (ver **Anexo C**).

- ✓ La empresa Kinetics, que trabaja en el desarrollo de las nuevas versiones del MBT israelí Merkava, produce el LSS (Sistema de Apoyo a la Vida) que contiene el HVAC (Calefacción y Aire Acondicionado), con capacidad de refrigeración y filtración de agentes peligrosos para el carro [17] [18].
- ✓ La empresa británica Elite Automotive Systems participa en el programa Challenger desarrollando su propia versión de HVAC [19].
- ✓ Specialist Mech Engineers (SME) y Booyco Engineering son empresas sudafricanas muy unidas a la industria de defensa por su participación en el vehículo RG-31 Nyala (que opera en el ET). Diseñan HVACs a medida de los requerimientos del cliente. Utilizan 20kW de la UPA proporcionando 22°C al interior del vehículo para temperaturas exteriores de 55°C [20] [21].



Figura 9. Lugar del Leopard 2E en el que fue instalado el sistema prototipo de aire acondicionado de KMW durante las pruebas realizadas en el desierto de Arabia Saudí [3] [4].

#### 4.1.4. Unidad de Potencia Auxiliar (UPA)

Se trata de un grupo electrógeno auxiliar con un motor diesel que, controlado desde el puesto del conductor proporciona corriente a la torre con el motor principal parado. Ofrece una potencia de 7.5 kW [15].

Los componentes (figura 10) a tener en cuenta para su adaptación son: unidad motor-generador (arranque eléctrico o manual por manivela), sistema de admisión (contiene filtros de aire), sistema de refrigeración (compuesto por ventilador y radiador), sistema de escape y sistema eléctrico (con sistema de alarma: si el motor sobrepasa 120°C, se para).



Figura 10. Esquema de los componentes de la UPA [12].

La UPA del Leopard 2E está fabricada por SAPA y ha sido exportada a otros países usuarios de la familia Leopard tales como Alemania, Suecia y Grecia.

Su rango de temperaturas operacional está entre -31°C y 49°C. El generador lleva una sonda de temperatura, si hay sobrecalentamiento, baja la velocidad de giro del motor diesel y aumenta la de los ventiladores de su sistema de refrigeración. Este sistema de ventilación consta de dos ventiladores con motor eléctrico de 380W [12].

La UPA es un elemento muy importante del CC, ya que ofrece un excelente servicio como elemento de defensa pasiva al poder hacer funcionar la torre y con ella sus elementos de fuego sin el ruido que provoca el GMP. Además, según los usos que se le quiera dar, podría integrarse a otros sistemas del carro para no sobrecargar el sistema eléctrico central. Por ejemplo, una medida que se está tomando en la implementación de sistemas de AA es conectarlos a UPAs montadas *ad hoc* (M1A2 SEP del ejército estadounidense [16]).

El mantenimiento de la UPA en el desierto ha de ser exhaustivo. En ambiente estándar, se realiza cada 200 horas de operación. Se deben limpiar las guías telescópicas que la integran al carro, los filtros de aire (con paño o aire a presión menor de 686 kPa; cada cuatro limpiezas, sustituirlo), la rejilla de admisión y el radiador. Así mismo, se deben verificar la manguera de entrada de agua y el nivel de refrigerante [12].

Durante las pruebas en el desierto saudí, la UPA fue una constante preocupación para la tripulación española. Bajo una temperatura exterior de

entre 50°C y 59°C al sol, la unidad dio constantes errores de temperatura, por lo que no arrancó. De igual manera, se probó el accionamiento manual mediante manivela sin éxito. Pese al mantenimiento y despiece *in situ* no se logró solucionar el problema [4] (ver **Anexo B**).

El principal problema de la UPA del Leopard 2E se halla en su rango operacional de temperatura, que no sobrepasa los 49°C. Es preciso por tanto, aumentar este parámetro, bien por la implementación de una UPA más potente que sea capaz de operar un sistema de ventilación más dinámico (por ejemplo, el moderno Leopard 2A7 opera una UPA de 17 kW fabricada por KMW [22]; o el del M1A2 SEP, de 10kW [16]) o mediante la adaptación de la misma para que sea capaz de operar en ambientes extremos (cambiar el actual motor eléctrico de 380 W por uno más potente, así como los ventiladores). Así, la empresa israelí Kinetics, participante en el MBT Merkava, ha desarrollado una UPA tremendamente compacta que, sin ser tan potente como la del 2A7 (cuenta con 8kW), está especialmente diseñada para rendir en condiciones con gran volumen de partículas, altas temperaturas y altitudes [17]. La solución podría pasar por contar con dos UPAs: una integrada en el carro (como la actual) con un rango mayor de temperatura y otra más compacta alojada en la parte posterior de la torre (al modo del M1A2) que alimente otros sistemas del CC como el importantísimo AA. De hecho, existen sistemas que integran tanto el AA como una pequeña UPA destinada específicamente al mismo [17] (ver **Anexo C**).

#### 4.1.5. Electrónica

Este sistema está muy unido al de refrigeración, pues necesitamos que este último sea capaz de hacer funcionar al primero a pleno rendimiento en condiciones de muy altas temperaturas.

Por otra parte, durante las pruebas del Strv 122B sueco en San Gregorio, se realizaron una serie de adaptaciones al combate en condiciones desérticas relacionadas con elementos electrónicos [6]:

- ✓ Implementación de transistores MOSFET para el sistema electrónico de la torre (EWNA). A diferencia de los transistores bipolares usados en el Leopard, estos no fallaron durante las pruebas en un entorno con altas temperaturas (40°C) ya que los MOSFET son mucho más estables en lo que a temperatura se refiere que los BJT. Otras ventajas son su bajo consumo en modo estático, su alta velocidad de conmutación y su menor tamaño. Esta última característica facilita la integración del AA en el CC. La ubicación de este último durante las pruebas en Arabia se fijó en un compartimento anexo a la EWNA (figura 11) y su sistema eléctrico pasaba por en medio de los sistemas electrónicos de la torre, dando lugar a continuos problemas de integración. Gracias al menor tamaño de estos transistores, podrían integrarse ambos sistemas sin tener que buscarles una nueva ubicación.
- ✓ *Ultracaps* (ultracondensadores) en la torre, que permiten mover la torre sin hacer contacto con las baterías de la barcaza. Así mismo los *ultracaps* de la barcaza mejoran la capacidad de arranque en frío ya que potencian la estabilidad y eficiencia del sistema eléctrico. Los ultracondensadores generan menos calor y más potencia de salida que las baterías, recargando más rápido, almacenando 100 veces más volumen de energía por unidad de masa y operando en un mayor rango de temperaturas. Además, presentan un ciclo de vida más largo.

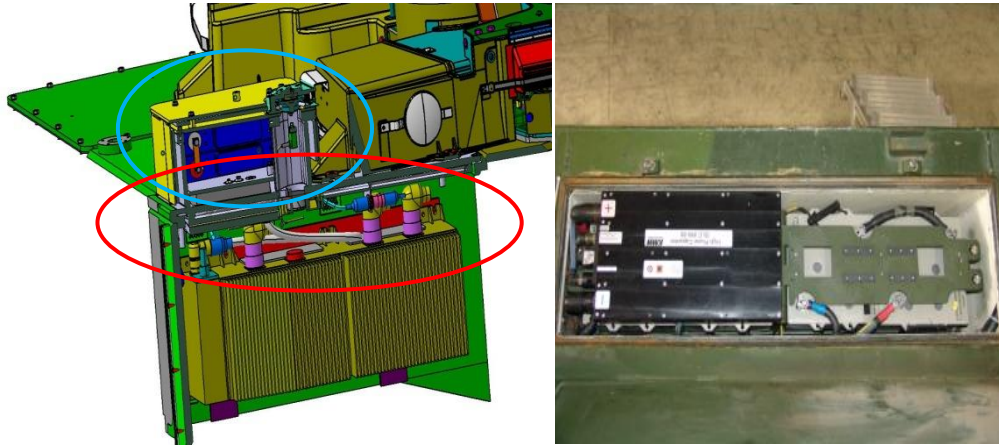


Figura 11. Ubicación de los nuevos transistores (círculo rojo) MOSFET en la EWNA (círculo rojo). De la misma manera se instalaron ultracondensadores (círculo azul e imagen derecha) [6].

#### 4.1.6. Sistemas relacionados con la movilidad

La movilidad, una de las características fundamentales de los medios acorazados, la otorgan el sistema de suspensión (barras de torsión), el tren de rodaje (de cadenas con siete ruedas de rodaje) y la transmisión (hidromecánica Renk con freno hidrostático de doble disco refrigerado con aire). Todos estos sistemas fabricados por SAPA bajo licencia de la empresa alemana Renk AG.

La autonomía del carro es de 340 km (a 50 km/h) y su velocidad máxima (por carretera, en la arena del desierto será menor) es de 70km/h [15].

Durante las pruebas en Arabia Saudí se superaron satisfactoriamente las capacidades del carro de superación de pendiente longitudinal (60%), transversal (30%), de zanja (3 metros) y obstáculo vertical (1.10 metros) [4].

Bajo unas temperaturas de entre 45°C y 59°C en Sharorah (Arabia Saudí), se testó la movilidad del Leopard y se hicieron patentes las peculiaridades de los desplazamientos en ambiente desértico. Debido a su peso, el carro se hundía ligeramente en la arena y la visibilidad de la tripulación era reducida a causa de la concentración de partículas que transportaba el viento (para moverse hay que tener en cuenta la dirección del viento). En sus desplazamientos, el carro levantaba una enorme columna de polvo (ver **Anexo B**), por lo que supone un problema en el plano táctico al mostrar que las distancias de detección son mucho mayores que en un ambiente estándar. Este punto es crítico por lo que, aunque a priori no existe una solución técnica, ha de tenerse muy en cuenta en el planeamiento táctico de las operaciones en el desierto (quizás priorizando los desplazamientos nocturnos intentando hacer valer la superioridad de los medios de visión térmicos) y debe ser objeto de estudio para su perfeccionamiento de cara a la seguridad de las tropas propias. Por otra parte, los movimientos del CC propiciaron una gran acumulación de arena en la cámara del motor, por lo que se debe optar por cubrir parcialmente las entradas de aire y aumentar la superficie de los faldones (figura 12). El Leopard lleva de serie unos faldones cortos que simplemente han de sustituirse por unos de mayor superficie. Los Leopard 2A6CAN, el 2A5DK y Stridsvagn 122B los han integrado y los dos primeros carros los utilizaron en Afganistán [23].





*Figura 12. Faldones implementados en el Leopard 2A7 para combatir la entrada y acumulación de partículas, así como para disminuir la firma térmica del tren de rodaje (los faldones están protegidos por el Sistema Saab-Barracuda) [22]*

Los problemas del sobrecalentamiento del motor con la velocidad están ligados a la movilidad del Leopard, pero este punto se trató en el apartado del GMP.

En lo que respecta a las cadenas, un cambio por rotura en el desierto dificulta la operación, ya que es muy complicado extraerla ante la gran cantidad de arena que la entierra parcialmente. Por ello, es fundamental contar con carros de recuperación que puedan remolcar al CC hacia una zona llana en la que el terreno sea más duro (para ello, una solución de circunstancias podría ser “regar” la arena con agua para hacerla más compacta [4]). A partir de ahí, se podría seguir el procedimiento de cambio de cadena como se indica en los manuales de mantenimiento [24]. Por último, hay que destacar el desgaste mínimo sufrido por las zapatas de la cadena, en las cuales se duplica su vida útil, propiciando un cambio de las mismas cada 1500 km frente a los 800 km en España [4].

#### **4.2. Sistemas relacionados con la seguridad del CC**

En este apartado se integran aquellos sistemas que proporcionan seguridad directa o indirecta tanto a los sistemas de funcionamiento como a la propia tripulación. Agrupa el Sistema Contraincendios, el NBQ, los sistemas de protección exterior y el armamento y munición.

#### 4.2.1. Sistema Contraincendios (SCI)

De gran importancia durante el combate en el desierto por el posible sobrecalentamiento del GMP y los sistemas electrónicos.

Se compone de cuatro cilindros extintores de nitrógeno con un sistema de seguridad por el cual el carro solo funciona si tiene al menos tres operativos. Posee un cable detector que acciona los extintores al detectar una temperatura mayor a 180°C en el motor y soporta temperaturas de 800°C. Por último tiene tapas de estanqueidad y entrada de aire que deben ser objeto de mantenimiento para evitar la acumulación de arena [12].

Durante las pruebas del Leopardo 2E en el desierto de Arabia, el SCI no dio ningún problema aunque tampoco fue necesario su uso.

#### 4.2.2. Sistema Nuclear-Biológico-Químico (NBQ)

Permite a la tripulación del Leopardo combatir en ambiente contaminado o durante una amenaza NBQ. Al accionar el sistema, entran en funcionamiento los ventiladores y el sistema de admisión para limpiar el aire de la cámara de combate [12]. Está compuesto por una serie de filtros y tapas exteriores que deben limpiarse de igual modo que los del sistema de admisión.

Durante las pruebas en Arabia Saudí se realizó tiro simulando condiciones NBQ y haciendo funcionar el sistema con resultados satisfactorios [4].

#### 4.2.3. Sistemas de protección exterior

Otra de las características principales de los MBTs es la gran protección que ofrecen. Sin embargo, al operar en el desierto necesitan una serie de adaptaciones no relacionadas con su blindaje, el cual rinde perfectamente en estas condiciones. Sin embargo, las condiciones de altas temperaturas y concentraciones de partículas hacen necesario implementar las siguientes mejoras:

- ✓ Los elementos de visión y óptica (periscopio del Jefe de Carro PERI; periscopio del tirador EMES; visor telescópico FERO; visión térmica) deben ser protegidos, no solo con mantenimiento continuo, sino contra la acumulación de arena y la proyección de partículas durante el movimiento del carro. Por tanto se debe implementar un mecanismo que impida dicho problema. Una buena opción es adaptar el sistema de limpieza de los periscopios de visión del conductor de manera que tenga salidas al resto de elementos de óptica mediante unos conductos distribuidores.
- ✓ Sistema Saab Barracuda: se trata de un MCS (Sistema de Camuflaje Móvil) que consiste en una red de camuflaje multiespectral. Su misión principal es disminuir la firma visual y térmica del carro protegiéndolo contra sistemas de detección y localización de objetivos (figura 13). Protege al carro ante bandas de ondas de radar, IR cercano, IR térmico y banda ancha (1-100 GHz), otorgando al CC una clara ventaja táctica y operativa.

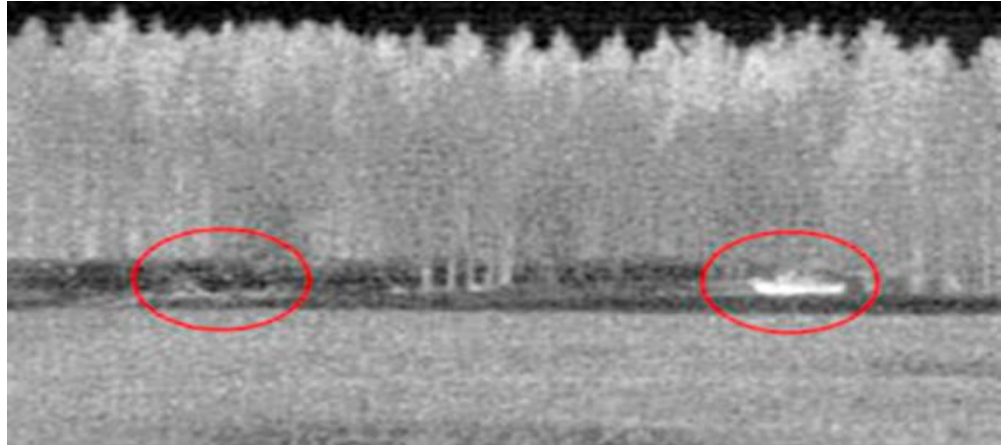


Figura 13. Disminución de la firma térmica que provee el Sistema Saab Barracuda [25].

Por otra parte, reduce el contraste térmico con el desierto. Su material de tecnología *Coolcam* (HTR, Sistema de Reducción de Calor) reduce la absorción de calor, disminuyendo la carga de temperatura de los sistemas de admisión de aire, electrónicos y de la cámara de combate. Además este sistema evita la acumulación de polvo, mejorando el mantenimiento de filtros y entradas de aire. A su vez podría ser una solución a la acumulación de arena en los elementos de visión, pues desde el interior del sistema es posible ver el exterior a la perfección. También se utiliza para proporcionar un techado, a modo de sombrilla al CC de forma que proteja al JC y al cargador cuando salgan por la escotilla. Por último, su superficie sin brillo y la opción de darle un mimetizaje (figura 14) según los requerimientos del cliente, hacen del Barracuda un sistema de camuflaje tremendamente completo y efectivo. Es muy ligero ( $250 \text{ g/m}^2$ ), proporciona un despliegue y adaptación al carro rápida y tiene una gran resistencia química y a temperaturas de hasta  $80^\circ\text{C}$  [25] [26]. Ha sido testado por los Leopard mencionados anteriormente en este apartado y por el Leopard 2E durante su prueba en Arabia (ver **Anexo B**), si bien al tercer día fue removido para probar el rendimiento del carro sin él [4].



*Figura 14. Se puede observar el perfecto mimetizaje que aporta el Sistema Barracuda así como el total recubrimiento del Leopardo [5].*

#### **4.2.4. Armamento y munición**

Una última característica fundamental de los MBTs es su gran potencia de fuego. Pese a que en las operaciones exteriores el Leopard no ha sido empleado a este efecto sino más bien como elemento de disuasión y protección de tropas, su posible uso ante nuevas amenazas como carros de combate capturados por la insurgencia o de su propia dotación es cada vez una realidad mayor.

El Strv 122, durante sus pruebas en España desarrolló con éxito el uso de munición HiT Canister, apta para altas temperaturas y de tecnología capaz de provocar no más daños de los necesarios (debido a las estrictas Reglas de Enfrentamiento de las misiones internacionales) [6].

Por otra parte, el Leopard en Arabia Saudí pasó con nota una serie de pruebas de tiro a corta, media y larga distancia, parado y en movimiento, en ambiente diurno, nocturno y NBQ, con las siguientes armas del CC: cañón 120mm, ametralladora coaxial MG-3 y lanzaartificios 76 mm Luegmann. Se utilizaron distintas municiones: HE-T (rompedor-trazador), TPCSDS y APFSDS (perforante). En todo momento los sistemas funcionaron a plena operatividad y la puntería, pese a la falta de visibilidad debida al viento y arena fue óptima. Como no podía ser de otra manera, la única diferencia yace en la necesidad de aplicar un mayor mantenimiento a las armas (sobre todo a las secundarias) dado que la arena es muy abrasiva, aplicando una limpieza exhaustiva con paños y lonas e intentando aceitar lo mínimo los mecanismos [4].



#### 4.3. Adaptaciones relacionadas con el confort de la tripulación

Las altas temperaturas alcanzadas en la cámara de combate hacen necesario mejorar las condiciones de vida y combate de la tripulación del CC. En este apartado podrían incluirse los sistemas de calefacción y aire acondicionado, pero dado que se han tratado en el apartado 6.1. debido a los servicios que otorgan con sus capacidades al correcto funcionamiento de los sistemas del CC, no se vuelven a considerar. De esta forma, el estudio se centra en la protección individual de la tripulación.

Una de las adaptaciones más comunes para facilitar estas condiciones es el empleo de monos refrigerados (Leopard 2A6CAN). La tripulación de los CC viste un mono ignífugo que puede aguantar las altas temperaturas de dos formas diferentes:

- ✓ Estando conectados mediante cables al sistema de refrigeración o al de AA directamente.. La empresa israelí Kinetics ha desarrollado estos monos mediante el sistema ICECS (Sistema de Refrigeración Individual de la Tripulación y Equipo), que se encuentran unidos a los sistemas HVAC de los que se habló en el apartado del AA. Está adaptándolo a los combatientes del MBT Merkava [17] (ver **Anexo C**).
- ✓ Mediante chalecos que en su interior llevan insertos con contenido de PCM (Material de Cambio de Fase), sustancias que al aumentar la temperatura absorben el calor fundiéndose y llegando a mantener una temperatura de confort de 15°C al portador. No son tóxicos ni inflamables y son un 30% más ligeros que el agua. La empresa Techniche ha desarrollado estos chalecos que proporcionan la temperatura de confort durante 3 horas, posteriormente, pueden intercambiarse con repuestos como se observa en la figura 15 [27].



Figura 15. Chalecos refrigerados por PCM (Material de Cambio de Fase). Llevan en su interior unos bolsillos en los que insertar dicho material, que puede reponerse una vez esté obsoleto [27].

En cuanto a lo que a régimen de vida se refiere en el combate en el desierto (disciplina de hidratación, uniformidad recomendada y otros demás aspectos tener en cuenta), existen dos publicaciones de obligada consulta antes de realizar una misión de este tipo:

- ✓ *Doctrina de empleo de las Fuerzas Terrestres en zona desértica y semidesértica* [28].
- ✓ *Manual de Operaciones en el Desierto (Rgto. Soria 9)* [29].

## 5. RESULTADOS DEL ESTUDIO

Mediante la Tabla 1 se consigue dar una imagen global y esquemática del presente estudio. El cuadro se divide en los diferentes sistemas del Leopardo que han sido estudiados en el análisis técnico. A cada uno de ellos se le asocian los problemas que han sido detectados y el grado de gravedad de los mismos (G=Grave; M=Moderado; L=Leve).

Este parámetro (Gravedad) se ha relacionado al problema en función de la magnitud de la dificultad que entraña y el consiguiente peligro para el carro y la tripulación. De esta manera, aquellos problemas que implican un fallo irreversible en el funcionamiento de sus correspondientes sistemas, se han catalogado con una G (sobrecalentamiento del motor, UPA, sistema de admisión, electrónica; inoperatividad de elementos de óptica), así como el hecho de que no se haya instalado un sistema de AA, adaptación fundamental. Por otra parte, aquellos problemas que implican una gravedad moderada por no dañar irreversiblemente a los sistemas a los que afectan se les ha otorgado una M (acumulaciones de arena, temperatura de la cámara de combate y exterior del carro). Por último, aquellos problemas que apenas afectan (por lo menos a corto plazo) y son de fácil solución, les corresponde una L.

A continuación, se han listado las adaptaciones propuestas para solucionar los problemas mencionados. Se distinguen entre aquellas ya existentes implementadas por carros de la familia Leopard u otros MBTs y aquellas acciones propuestas aún no consideradas en las experiencias desérticas.

Para terminar, a raíz de los problemas y sus posibles adaptaciones, se han clasificado estas últimas por orden de prioridad de implementación (de 1 a 3 siendo el 1 altamente prioritario). A aquellos sistemas cuyo problema está catalogado como Grave se les ha otorgado una prioridad 1, además de la implementación del Sistema Barracuda, solución a un problema no grave por no dañar irreversiblemente los sistemas, pero altamente recomendable de adaptar. El nivel 2 de prioridad es más heterogéneo. Se ha asociado a:

- ✓ Cambiar las proporciones de refrigerante. Se trata de un problema de gravedad M y por tanto no tiene una prioridad fundamental, pero se ha de tener en cuenta tras solucionar los de nivel 1.
- ✓ Sellar juntas del sistema de refrigeración, por la misma razón.
- ✓ Superficie de los faldones. Si bien es un problema leve, a largo plazo podría complicarse por la acumulación de arena en el tren de rodaje, además de ser una adaptación muy repetida en los diferentes MBTs.
- ✓ Mantenimiento del Sistema NBQ. Se trata de un problema leve ya que este sistema no ha dado fallos en el desierto. Sin embargo su mantenimiento continuo por contener filtros eleva su prioridad a nivel 2.
- ✓ Mantenimiento de armamento. No ha dado problemas en el desierto, pero el armamento debe ser siempre objeto de riguroso mantenimiento.

Por último, el nivel 3 de prioridad se ha dado a las adaptaciones que solucionan problemas leves, aquellas que mejoran aspectos que mediante otros sistemas de mayor prioridad ya han sido adaptados (la refrigeración del personal se consigue antes mediante el sistema de AA que mediante la adopción de chalecos refrigerados) o las que solucionan problemas de baja probabilidad (hundimiento en la arena del CC).

Adaptación del Carro de Combate Leopard 2E para el combate en el desierto

Categoría	SISTEMA		PROBLEMAS DETECTADOS	GRAVEDAD	SOLUCIONES Y ADAPTACIONES			PRIORIDAD
					Adaptaciones existentes		Acción propuesta	
					Experiencia familia Leopard	Ejércitos con otros MBTs		
FUNCIONAMIENTO	GMP	MOTOR	Sobrecalentamiento (Tª>110°C)	G			Mejorar flujo de aire (ventiladores más potentes) Aislamiento térmico cámara motor	1
			Acumulación de arena en la cámara del motor	M	Mantenimiento exhaustivo			2
		SIST. REFRIGERACIÓN	Alta Tª del líquido refrigerante	M	Cambiar proporciones refrigerante			2
			Acumulación de arena	M	Sellar juntas			2
	SIST.ADMISIÓN	Obstrucción por arena en filtros	G		Protección entradas de aire		1	
					Mantenimiento exhaustivo filtros			
	SISTEMA AIRE ACONDICIONADO	No está implementado y el prototipo da fallos de integración	G		Desarrollar prototipo KMW			
						Implementar TMS, HVAC		
						Conectar sist.AA a UPA auxiliar		
	UPA	Tª operacional: límite máximo 49°C	G	Desarrollar mejoras en la actual	Merkava: UPA adaptada (LSS)		1	
		Baja potencia (7.5 kW)	G	2A7 tiene una UPA de 17 kW		Implementar una 2ª UPA de mayor potencia	1	
	ELECTRÓNICA	Fallos a altas Tª	G	implementar MOSFET			1	
		Baterías descargadas	L	implementar ULTRACAPS			3	
MOVILIDAD	Hundimiento en la arena	M	Carros de recuperación acompañamiento			3		
	Acumulación de arena en el tren de rodaje	L	Aumentar superficie de los faldones			2		
	Visibilidad reducida	M						
SEGURIDAD	SISTEMA NBQ		Problemas relacionados con Sist. Adm.	L			Mantenimiento filtros y tapas del sistema	2
	PROTECCIÓN EXTERIOR	Acumulación de arena en la óptica	G			Mecanismo limpieza periscopios	1	
		Ausencia de camuflaje desértico	M					
		Alta Tª exterior del carro	M	Sistema Saab Barracuda			1	
		Firma térmica	M					
	ARMAMENETO Y MUNICIÓN	Fallos por acumulación arena	L	Mantenimiento; no aceitar			2	
Munición no apta a altas Tª		L	Pruebas munición HiT Canister			3		
CONFORT	VIDA DE LA TRIPULACIÓN		Alta Tª en cámaras de combate y conducción	M	Monos refrigerados			3
						Chalecos de PCM		
		Deshidratación	G			Seguir pasos de publicaciones doctrinales	1	

Tabla 1. Cuadro de resultados del estudio.

## 6. CONCLUSIONES

A partir de las herramientas utilizadas en el estudio, el análisis técnico y el cuadro resumen con el que se ha identificado la gravedad de los problemas y la prioridad de sus soluciones se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- ✓ Es prioritario solucionar el sobrecalentamiento del motor, mediante la mejora del flujo de aire o desarrollando un sistema de aislamiento térmico de la cámara en el que se aloja.
- ✓ De igual manera es obligatorio implementar un Sistema de Aire Acondicionado, bien sea desarrollando el prototipo de KMW o adquiriendo uno de los existentes en los ejércitos extranjeros.
- ✓ Adaptar la Unidad de Potencia Auxiliar de manera que sea completamente eficiente y operativa es también una prioridad. La mejor opción sería desarrollar la existente, aunque la opción de implementar una segunda UPA que comparta servidumbres con la actual, daría una mayor eficiencia al CC debido al gran número de sistemas en funcionamiento en condiciones desérticas.
- ✓ El mantenimiento de los elementos del carro (filtros, tapas, toberas, etc.) se hace más importante durante el combate en el desierto, ya que muchos de los fallos de los sistemas están relacionados con la enorme acumulación de arena en los mismos.
- ✓ Debido al anterior punto, los sistemas de óptica, fundamentales para un combate eficaz, deben ser correctamente protegidos, haciéndose necesaria la implementación de un sistema capaz de impedir su obstrucción automáticamente. La mejor solución pasa por adaptar las vías de limpieza de la óptica del conductor de manera que tengan también salida en el PERI, el FERRO y el EMES.
- ✓ Existen una serie de medidas que si bien son importantes, su adaptación no es compleja. Es el caso del Sistema Saab Barracuda, pues ya ha sido testado en el Leopard con buenos resultados o del correcto funcionamiento del armamento, que en las distintas pruebas que se ha realizado sobre él no ha dado problemas destacables.
- ✓ Por último, no se ha de olvidar la fundamental disciplina de hidratación de la tripulación, responsabilidad individual y del JC. El elemento más valioso con el que cuenta el Mando en la batalla es el factor humano, por lo que se ha de mantener siguiendo las premisas de las publicaciones doctrinales de combate en el desierto.

Con todo ello, se han asentado las premisas para la adaptación del Leopard 2E al combate en el desierto. Una vez realizado este análisis, un siguiente paso contaría con un estudio económico de las adaptaciones aquí propuestas, necesario para la óptima elección de las soluciones técnicas y con ello, el mejor acondicionamiento del que ya es uno de los mejores carros del mundo.

Se ha probado que el ET cuenta con un magnífico Carro de Combate, además tenemos la experiencia de los carristas y la tecnología está en el mercado. Solo falta decidir si ha llegado el momento de desplegar junto a nuestras fuerzas ligeras los elementos más potentes del Ejército.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] CANO, F. (2008). *Futuro de los CC Leopard*. Madrid, ESFAS.
- [2] PROGRAMA LEOPARDO (2004). *Generalidades Carro de Combate Leopard 2E*
- [3] Dpto. Sistema de Armas. *Carro de Combate Leopard 2E*, ACINF
- [4] VVAA (2011). *Informe Final de Pruebas* (Leopardo 2E en Arabia Saudí)
- [5] <http://www.army-technology.com/projects/leopard/> *Leopard 2 Main Battle Tank, Germany* (consultado el 14/07/2015).
- [6] ABAD, J. (2013) *Informe Conferencia Internacional Master Gunner*, Rena.
- [7] <http://www.army-technology.com/projects/leclerc/>, *Leclerc Main Battle Tank, France* (consultado el 18/07/2015).
- [8] <http://www.army-guide.com/eng/forum/post.php?topicID=84>, *Al-Khalid* (consultado el 18/07/2015).
- [9] <http://mainbattletanks.czweb.org/Tanky/Ramses2.htm>, *Ramses II* (consultado el 18/07/2015).
- [10] <http://www.army-technology.com/projects/t-90ms-main-battle-tank/>, *T90MS Main Battle Tank, Russia* (consultado el 18/07/2015).
- [11] ACERO, R. , PASTOR, J., SANCHO, J., TORRALBA, M. (2011). *Ingeniería de la calidad*. Textos Docentes del Centro Universitario de la Defensa, Zaragoza.
- [12] MADOC (2008). *Manual de Instrucción. Tripulación del Carro de Combate Leopard 2E (MI6-102)*
- [13] <http://www.army-technology.com/contractors/hvac/lmb-/>, *LMB - Fans and Motors for Aerospace and Defence Applications* (consultado el 26/07/2015).
- [14] <http://www.lmbaerospace.com/products/product-families/hyperfans/40> (consultado el 04/08/2015).
- [15] MADOC (2008). *Manual Técnico. Tripulación del Carro de Combate Leopard 2E (MT6-049)*.
- [16] <http://fas.org/man/dod-101/sys/land/m1.htm>, *M1 Abrams Main Battle Tank* (consultado el 02/08/2015).
- [17] <http://www.army-technology.com/contractors/hvac/kinetics3/>, *Kinetics - Auxiliary Power Units (APU) Heating, Ventilation and Air-Conditioning (HVAC), NBC/CBRN Systems* (consultado el 04/08/2015).
- [18] ESHEL, T. (2011). *Kinetics Ltd. Company Profile*. [http://defense-update.com/20110112\\_kinetics\\_lts.html#.VdnqAyXtmko](http://defense-update.com/20110112_kinetics_lts.html#.VdnqAyXtmko), *Kinetics Ltd. Company Profile* (consultado el 04/08/2015).
- [19] <http://www.army-technology.com/contractors/hvac/elite-automotive/>, *Elite Automotive - HVAC Systems, Cooling Packs, and Auxiliary Power Units (APUs) for Military Vehicles* (consultado el 04/08/2015).
- [20] <http://www.army-technology.com/contractors/hvac/specialist-mechanical-engineers1/>, *Specialist Mechanical Engineers - Custom Military HVAC, Dust and NBC Filtration Systems* (consultado el 04/08/2015).

- [21] <http://www.specialistmechanicalengineers.com/militarydivision/hvac>, *HVAC Military Division* (consultado el 04/08/2015).
- [22] <http://www.kmweg.com/home/tracked-vehicles/main-battle-tanks/leopard-2-a7/product-specification.html>, KMW-Leopard 2A7+ (consultado el 14/07/2015).
- [23] GARCÍA, A. (2012) *Tendencias de los medios acorazados y mecanizados*, Memorial de Infantería nº65, 2012, pp. 73-74.
- [24] DIMA (2008). *Norma Técnica 08-09. Mantenimiento del CC Leopardo 2E*.
- [25] *Saab Barracuda, The art of deception* (2015). <http://saab.com/region/singapore/about-saab/stories/saab-singapore-stories/2014/saab-barracuda-the-art-of-deception/>
- [26] *MCS MOBILE CAMOUFLAGE*, PDF disponible en: [http://saab.com/land/signature-management/force-integrated-systems/mcs\\_mobile\\_camouflage\\_system/](http://saab.com/land/signature-management/force-integrated-systems/mcs_mobile_camouflage_system/).
- [27] <http://www.techniche-intl.com/catalogus/phase-change-cooling.html>, *TechKewl™ Phase Change Cooling*.
- [28] CENTRE D'EMPLE DES FORCES (2013), *Doctrina de empleo de las Fuerzas Terrestres en zona desértica y semidesértica (Ed. Provisional)*, Francia.
- [29] Rgto. Soria 9, Bón. Fuerteventura I/9 (2010), *Manual de Operaciones en el Desierto*.

**ANEXOS**

Anexo A. Características técnicas del Leopard 2E

Anexo B. Pruebas del Leopard 2E en Arabia Saudí

Anexo C. Adaptaciones de MBTs extranjeros

## Anexo A. Características técnicas del Leopardo 2E

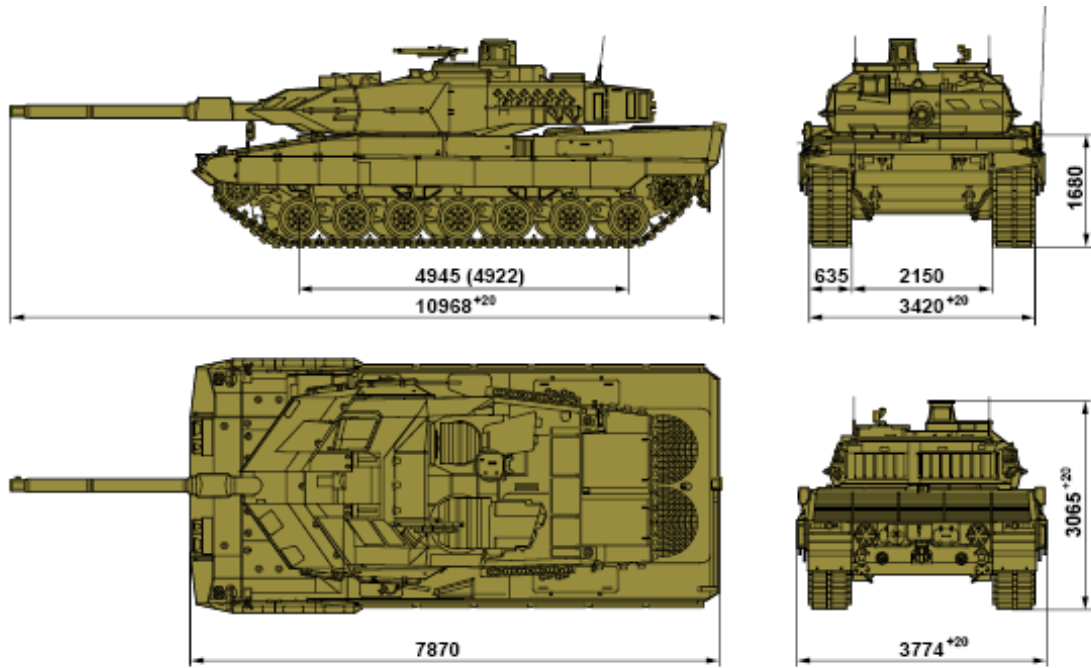
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS LEOPARDO 2E			
<b>Tripulación</b>	4: Jefe de Carro, Tirador, Cargador, Conductor		
<b>Dimensiones</b>	Longitud	9.67 m	
	Anchura	3.75 m	
	Altura	3 m	
	Peso	62.8 toneladas	
<b>Movilidad</b>	Velocidad máxima	70 km/h	
	Relación Peso/potencia	24 CV/tonelada	
	Autonomía máxima	340 km	
	Pendiente long. máx. superable	60%	
	Pendiente transv. máx.	30%	
	Zanja máx. superable	3 m	
	Obstáculo vertical superable	1.10 m	
	Capacidad de vadeo con preparación	4 m	
<b>Armamento</b>	Principal	Cañón 120 mm L55 y 44 proyectiles	Rheinmetall, ensamblado por SBS
	Secundario	2 ametralladoras MG-3 7.62mm y 8000 disparos	Rheinmetall
		Lanza artificios 76 mm ; 4 baterías de 4 tubos	Wegmann
<b>Blindaje</b>	Planchas de acero mecanosoldadas		Krauss-Maffei, ensamblado por SBS
	Compuesto en torre, frotal y faldones	1350 mm en la parte frontal	
	Adicional techo de la torre		
<b>GMP</b>	Motor	MTU 12V 873 Ka 501, diesel turboalimentado	MTU, ensamblado por Izar
		12 cilindros en V a 90º	
		Cilindrada 47600 cm <sup>3</sup>	
		Potencia máx. 1500 CV	
	Transmisión	Renk HSWL-354 hidromecánica con marcha atrás	SAPA, bajo licencia de Renk AG
		Cambio automático con convertidor de par; 4 velocidades	
Freno hidrostático y mecánico de doble dico refrigerado por aire			



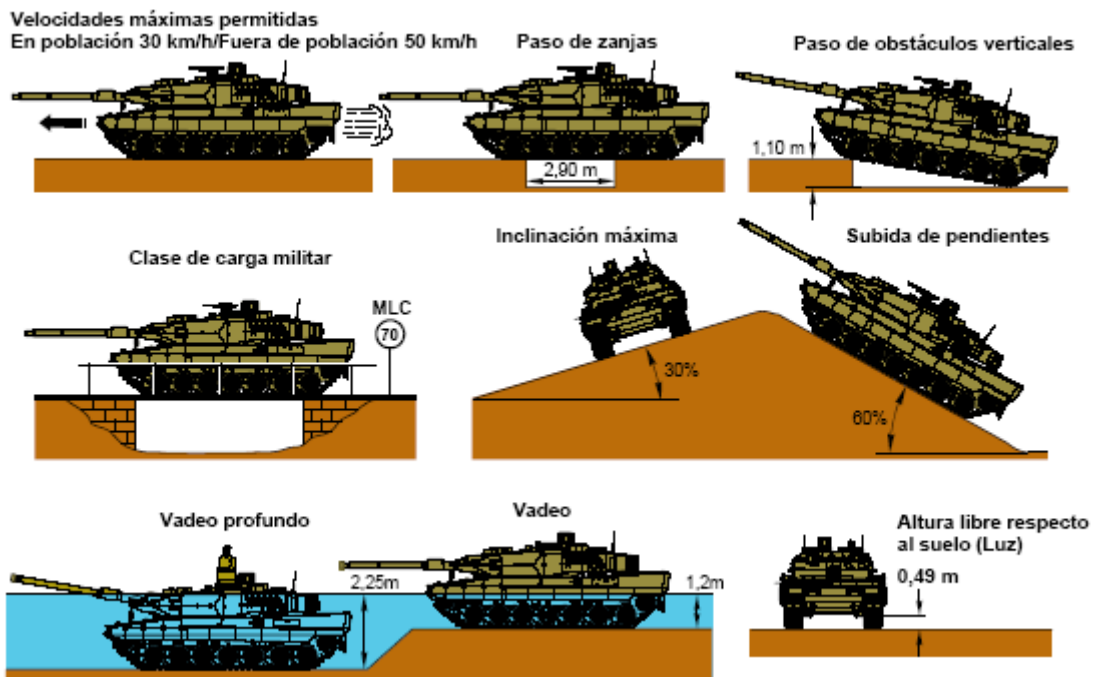
Adaptación del Carro de Combate Leopard 2E para el combate en el desierto

<b>Tren de rodaje y suspensión</b>	Cadenas		Sapa, bajo licencia de Diehl BGT Defence
	7 ruedas de rodaje y 4 rodillos de apollo a cada lado		SAPA, bajo licencia de Renk AG
	Suspensión mediante barras de torsión		SAPA, bajo licencia de Renk AG
<b>Dirección de tiro</b>	Amortiguadores rotativos y 5 topes hidráulicos a cada lado		SAPA, bajo licencia de Renk AG
	Calculador digital		INDRA STN
	Sistema integrado de Mando y Control		Amper Programas
	Cañón con movimiento electromecánico estabilizado en dos ejes		Electroloop
	Visores independientes y estabilizados para JC y Tirador		INDRA STN
<b>Equipos complementarios</b>	Cámara térmica en visor del Tirador y otra indep. para JC		INDRA STN
	Sistema colectivo de protección NBQ por sobrepresión en la cámara de combate		
	Sistema contra incendios en la cámara del motor		
	Calefacción		
	Unidad de Potencia Auxiliar	7.5 kW a 28V de corriente continua Tª operacional: -31°C a +49°C	SAPA
<b>Sistema de comunicaciones</b>	3 PR4G: JC, Cargador y datos (Sistema Lince)		Amper Programas, bajo licencia de Thomson CSF
<b>Coste (unidad)</b>	11 millones €		

Características técnicas y fabricantes del Leopard 2E [2] [3].



Dimensiones (mm) Leopard 2E [2]



Movilidad [2]

## **Anexo B. Pruebas del Leopard 2E en Arabia Saudí**

Mediante el siguiente anexo se muestra gráficamente los diferentes problemas y situaciones acaecidas durante las pruebas del Leopard 2E en Arabia Saudí en 2011 [4], descritas en el análisis técnico del presente proyecto.



Cambio del GMP por mal funcionamiento de los ventiladores durante las pruebas del Leopard en Arabia Saudí en 2011.



Acumulación de arena en la cámara del motor y posterior limpieza del GMP.



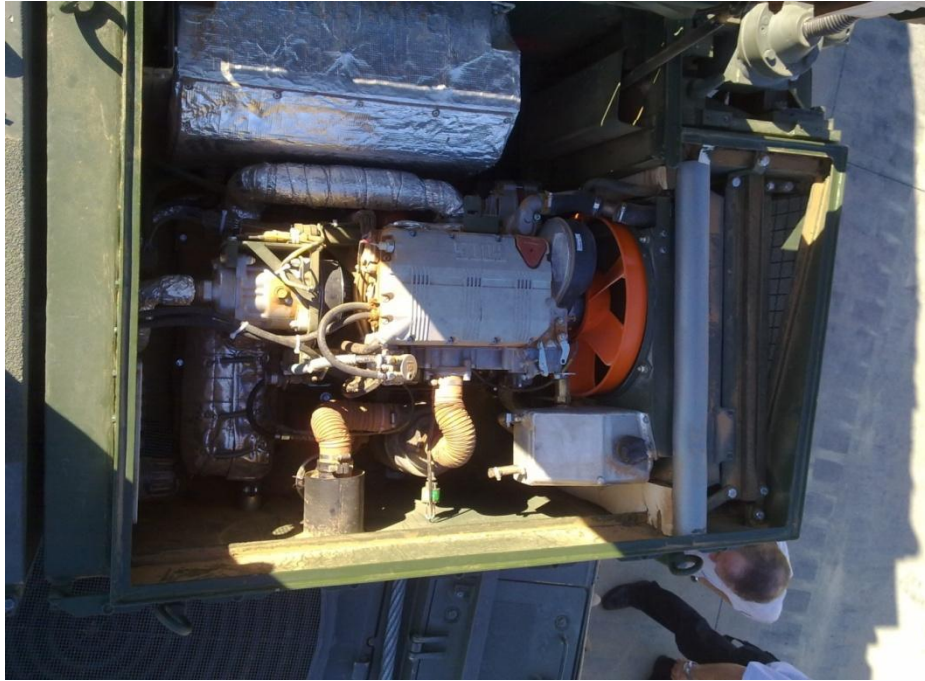
Extracción del líquido refrigerante de su depósito durante las pruebas en Sharorah.



Limpieza de filtros durante las pruebas en Arabia Saudí. La gran acumulación de arena y polvo hizo que algunos se rompieran y hubiera que cambiarlos mucho antes de lo normal.



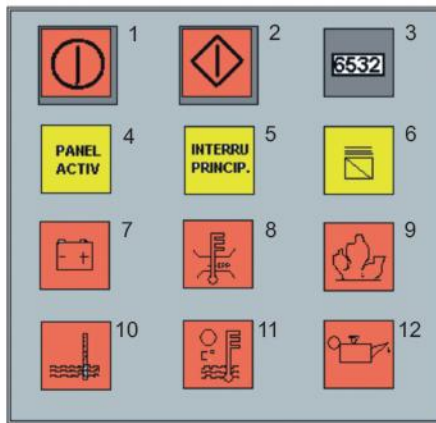
*Adaptación del Carro de Combate Leopard 2E para el combate en el desierto*



Sistema de Aire Acondicionado prototipo de KMW, instalado en el Leopard 2E durante las pruebas en Arabia Saudí.



Integración del Sistema de AA. Partiendo de su instalación en la parte posterior de la torre, unos conductos hacían llegar el aire a la cámara de combate.



Los problemas que surgieron durante las pruebas en Arabia fueron dos: sobrecalentamiento del generador y motor (se encienden los pilotos 8 y 11 respectivamente del panel de control de la UPA) y la imposibilidad de arrancar la UPA eléctrica o manualmente (imagen de la derecha).



Enorme polvareda que levanta un MBT durante su movimiento en el desierto, un gran problema táctico. Imagen tomada del despliegue de Leopard 2A5 DK en Afganistán en 2007 [6].

*Adaptación del Carro de Combate Leopard 2E para el combate en el desierto*



Rotura de cadena durante las pruebas del Leopard en Arabia. El problema fue, sin duda, la arena que dificultó enormemente el procedimiento de cambio de cadena. Hubo que remolcar el carro con un vehículo de recuperación y “regar” la arena del desierto para poder efectuar el cambio sobre un terreno más compacto. La operación se alargó 24 horas.

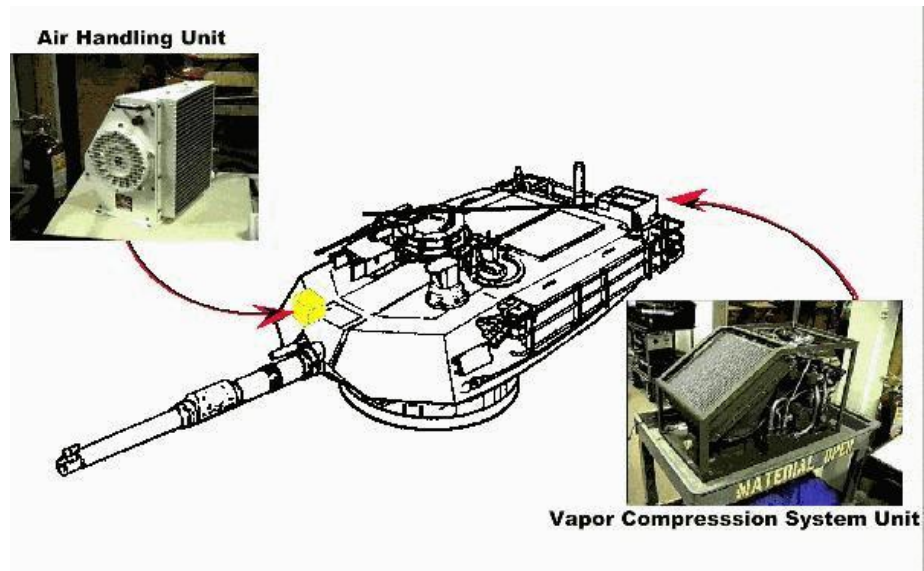


Montaje del Sistema Barracuda sobre el Leopard 2E.

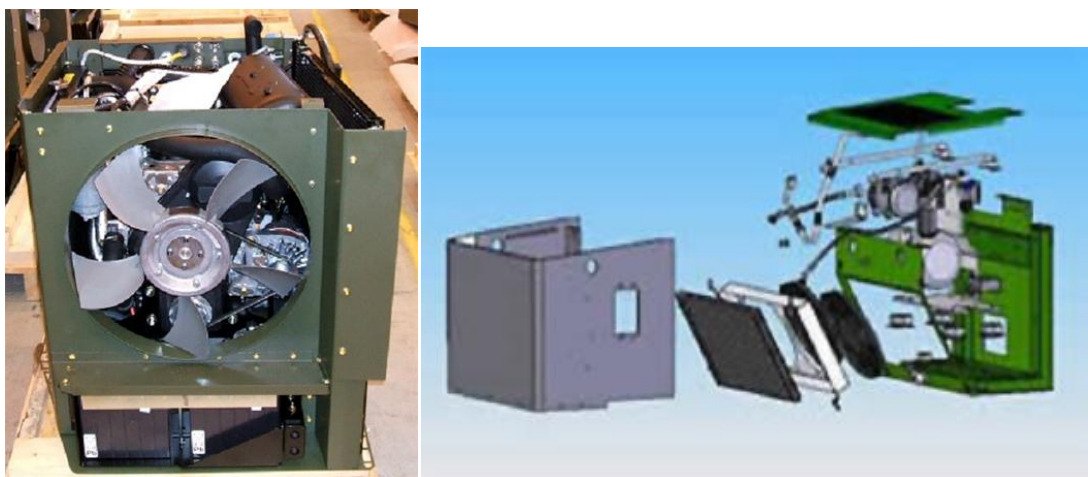


### Anexo C. Adaptaciones de MBTs extranjeros

En el presente anexo se describen las adaptaciones más significativas realizadas por otros ejércitos o existentes en el mercado descritas anteriormente en sus respectivos apartados del análisis técnico.



Sistema implementado en el M1A2 SEP del ejército americano. Se trata de un TMS (*Thermal Mangement System*; Sistema de Tratamiento de Aire), compuesto por un AHU (*Air Handling Unit*; Unidad de Tratamiento de Aire) y un VCSU (*Vapor Compression System Unit*; Sistema de Compresión de Vapor). Proporcionan 7.5kW de capacidad de enfriamiento tanto a la tripulación como a los sistemas electrónico [16].



Sistema HVAC (*Heating Ventilation and Air-Conditioning*; Aire Acondicionado y Calefacción) fabricado por la empresa británica Elite Automotive Systems, participante del MBT Challenger [19].



Adaptación del Carro de Combate Leopard 2E para el combate en el desierto



La empresa israelí Kinetics, participante en el MBT Merkava y de muchos otros vehículos militares (VTTs, VCI, etc), ha diseñado los LSS (*Life Support System*) mencionados en el apartado del Aire Acondicionado. Estos sistemas integran un sistema de aireación junto a una compacta UPA de 2 a 10 KW destinada únicamente a servirlo [17].



Monos ignífugos refrigerados desarrollados por la empresa israelí Kinetics, unidos al sistema HVAC [17].