

## **DISEÑO PRELIMINAR DE UNA HERRAMIENTA TECNOLÓGICA QUE MEJORE LA MANTENIBILIDAD DE LOS TANQUES LEOPARD 2A4, A BASE DE REALIDAD AUMENTADA**

**Fecha de recepción:** 28 de diciembre de 2022

**Fecha de aceptación:** 28 de febrero de 2023

MAY. Karolin Núñez Sánchez <sup>1</sup>

**Resumen:** *el propósito del presente artículo es el diseño de una herramienta que permita asistir remotamente las actividades de mantenimiento, empleando realidad aumentada, a fin de disminuir la brecha de conocimiento de los mecánicos que no han sido capacitados formalmente, y reducir el tiempo empleado en diagnosticar y reparar fallas, considerando el caso de los tanques Leopard 2A4 del Ejército de Chile. El análisis de las necesidades se realizó mediante la metodología de ingeniería de sistemas, llegándose a la identificación de los factores que afectan la mantenibilidad de dichos tanques en los aspectos pertinentes. Como resultado, se obtuvo una herramienta interactiva validada que puede ser ocupada por un mecánico que requiera asistencia proporcionada por un mecánico experto ubicado en otro lugar.*

**Palabras clave:** *mantenibilidad, requerimientos, competencias, asistencia remota.*

## **PRELIMINARY DESIGN OF A TECHNOLOGICAL TOOL TO IMPROVE THE MAINTAINABILITY OF LEOPARD 2A4 TANKS, BASED ON AUGMENTED REALITY**

**Abstract:** *the purpose of this article is to design a tool that allows remote assistance for maintenance activities using augmented reality, in order to reduce the knowledge gap of mechanics who have not been formally trained and to reduce the time spent on diagnosing and repairing faults, considering the case of Leopard 2A4 tanks of the Chilean Army. The needs analysis was carried out using the systems engineering methodology, leading to the identification of the factors that affect the maintainability of these tanks in the relevant aspects. As a result, a validated interactive tool was obtained that can be used by a mechanic who requires assistance provided by an expert mechanic located elsewhere.*

**Key words:** *maintainability, requirements, competencies, remote assistance.*

---

<sup>1</sup> Ingeniero Politécnico Militar con mención en Mantenimiento de la Academia Politécnica Militar, Santiago, Chile. Actualmente se desempeña como Jefa del Departamento IV de la 4ta. Brigada Acorazada "Chorrillos". Email: karolin.nunez@icloud.com

## **1. INTRODUCCIÓN**

El Ejército de Chile debe cumplir con las exigencias que derivan del Ministerio de Defensa, y por ello se organiza y define cinco áreas de misión, las que satisfacen los espacios de acción y las tareas que orientan el trabajo diario de la institución. Dichas áreas orientan los esfuerzos, recursos humanos y materiales disponibles, buscando como fin último proteger el territorio, la soberanía, la población y los recursos e intereses nacionales, además de cumplir con los compromisos internacionales.

Por todo lo anterior, las unidades a cargo del sostenimiento deben contar con una estructura sólida basado en la doctrina institucional, recursos humanos y materiales, soporte logístico y estrategias levantadas desde un punto de vista sistémico, y de acuerdo con la realidad tecnológica institucional.

Considerando lo antes señalado, en la presente investigación se indaga respecto de las nuevas tecnologías disponibles para la ejecución de actividades de mantenimiento y, en seguida, diseña un sistema que permita integrarlas a los procesos de mantenimiento institucional ya establecidos y en actividades docentes, orientando su aplicación a aquellos activos bélicos que demandan mayores recursos en la ejecución del mantenimiento recuperativo. Como nuevas tecnologías se utilizaron los beneficios de la Realidad Aumentada, herramienta que permite la introducción de hologramas digitales a un ambiente real, donde se permite la interacción y manipulación de ellos de acuerdo con las necesidades de los usuarios.

El activo bélico seleccionado fue el tanque Leopard 2 A4, por ser el vehículo que ha requerido mayor inversión de recursos en su recuperación cuando se presentan fallas, de acuerdo con la información entregada por los organismos destinados a la gestión de su ciclo de vida.

Una vez determinado el activo bélico a considerar primero, en la fase de estudio, se recopiló la información de su comportamiento, luego se diseñó un sistema que permita realizar asistencia remota y, finalmente, se validó la herramienta tecnológica.

Con el desarrollo metodológico de las actividades definidas en la secuencia metodológica, se dio satisfacción al objetivo general de la investigación.

## **2. DESARROLLO**

### **2.1. Planteamiento del problema**

El Ejército de Chile se organiza y estructura sus procesos para dar cumplimiento a las tareas dispuestas por el escalón ministerial, a través de la operación y mantenimiento del potencial

de guerra como un valor estratégico, operacional y táctico, el cual debe estar disponible al momento de afrontar un conflicto. Lo anterior requiere, primero, definir cuáles serán las capacidades militares requeridas de acuerdo con los planes dispuestos a nivel político y, en seguida, dar solución al problema planteado en el contexto operacional analizado.

El nivel de repuesta a los requerimientos ministeriales estará ligado a las capacidades militares con que cuenta la institución y a la jerarquización asociada a la significancia estratégica que presentan sus medios, dentro de los cuales se encuentran los carros Marder 1 A3, piezas M-109 y tanques Leopard 2 A4.

En este tenor, dentro del material antes señalado, al que se han dedicado los mayores recursos para mantenimiento recuperativo básico (actividades del tipo correctivas) son los tanques Leopard 2 A4. Es dable esperar que las necesidades a este respecto tiendan a crecer, debido a que dichos medios se encuentran en fase de desgaste y obsolescencia técnica; dada su antigüedad y ambiente de empleo.

Por otro lado, en la presentación realizada por el subdirector del CESIM, Crl. Pablo León Gould, el día 27 de agosto del año 2021, en la Academia Politécnica Militar, se expuso el trabajo realizado durante el año 2020 por ese organismo para levantar las principales problemáticas presentes en el Ejército, las que pueden ser mitigadas en algún nivel con el producto de la presente investigación. Además, se expuso que la línea de esfuerzo principal de la institución desde el año 2021 al 2030 será la transformación digital y la modernización o transformación de los sistemas operativos, todo esto con el objetivo de incrementar y contar con el nivel de preparación y disponibilidad de los medios ante la necesidad de ser empleados.

De estos antecedentes se desprende que el desgaste de ese material, las competencias del personal y la obsolescencia tecnológica afectan la eficiencia del mantenimiento al material antes señalado. Ahora bien, lo anterior repercute directamente en las capacidades de contar con estos activos bélicos,<sup>1</sup> disponer de ellos en el menor tiempo posible, realizar actividades de instrucción y entrenamiento y, finalmente, actuar como componente del esfuerzo conjunto si es que fuera necesario afrontar una crisis.

## **2.2. Definición del problema**

Para definir el problema a investigar, se realizó una lluvia de ideas con personal que tiene relación con la operación y el mantenimiento de los tanques Leopard 2 A4, para luego utilizar la metodología árbol Causa y Efecto con el propósito de identificar los motivos que originan

---

<sup>1</sup> Activo bélico: componente del inventario bélico que puede ser sujeto a mantenimiento.

el problema central. Así, se detectaron los factores que son negativos para la ejecución de actividades de mantenimiento a ese material, para luego clasificarlos y definirlos como parte del problema principal:

***“El desafío en mantenibilidad de los tanques Leopard 2 A4 de cargo en el Ejército”.***

Posteriormente, siguiendo los pasos de la metodología antes señalada, se identificaron los efectos que produce el problema principal, para luego positivizarlos junto a las causas y conseguir los Medios y Fines. Estos últimos permitieron identificar las acciones a realizar, para luego conformar las alternativas de solución al problema. Este proceso se efectuó mediante el método AHP<sup>2</sup> con el software “Expert Choice”, realizando la selección de la alternativa de solución de acuerdo con los criterios establecidos por un panel de expertos.

### **2.3. Acciones a realizar**

Como acciones a realizar se definieron:

- Capacitar al personal para el mantenimiento de tanques Leopard 2 A4.
- Levantar necesidades de infraestructura y herramientas necesarias para capacitar al personal.
- Definir estándares mínimos de competencias para el mantenimiento de tanques Leopard 2 A4.
- Desarrollar una herramienta tecnológica para ayudar a estandarizar competencias y apoyar el diagnóstico de fallas.
- Validar la herramienta tecnológica mediante su utilización en actividades de mantenimiento.
- 

Con el propósito de investigar acerca de las nuevas herramientas que pueden ser empleadas en la ejecución del mantenimiento, se realizó una reunión online (plataforma Zoom) con el Doctor (PhD) José Ignacio Guzmán Montolo, docente e investigador adjunto del Laboratorio de Realidades Extendidas de la Universidad del Desarrollo (UDD), quien entregó información relacionada con el empleo de realidad aumentada y virtual en la carrera de Medicina de la UDD y los beneficios que se han obtenido en los procesos docentes y de entrenamientos previos a las cirugías, los que podrían ser implementados durante la ejecución de actividades de mantenimiento.

Es en esta reunión donde se obtienen los beneficios de la Realidad Aumentada, cuyo empleo se basa en la aplicación de técnicas que permiten la implementación de elementos virtuales en ambientes reales, logrando que los usuarios puedan manipular estos objetos de acuerdo a

---

<sup>2</sup>AHP: corresponde al método jerárquico analítico.

sus necesidades. Esto último es lo que la diferencia de la Realidad Virtual, en atención a que la última introduce al usuario en un ambiente virtual para manipular objetos virtuales.

Al analizar el escenario de empleo en actividades de mantenimiento, se determinó que la Realidad Aumentada se ajusta a las necesidades institucionales al permitir la manipulación de repuestos o componentes virtuales del tanque en cualquiera de los diversos talleres de mantenimiento institucionales (ambiente real), mientras que la Realidad Virtual obliga la implementación de un escenario virtual que simule el ambiente real. La utilización de la herramienta seleccionada requiere de la generación de hologramas que simulen las características físicas y de funcionamiento de los componentes de un vehículo.

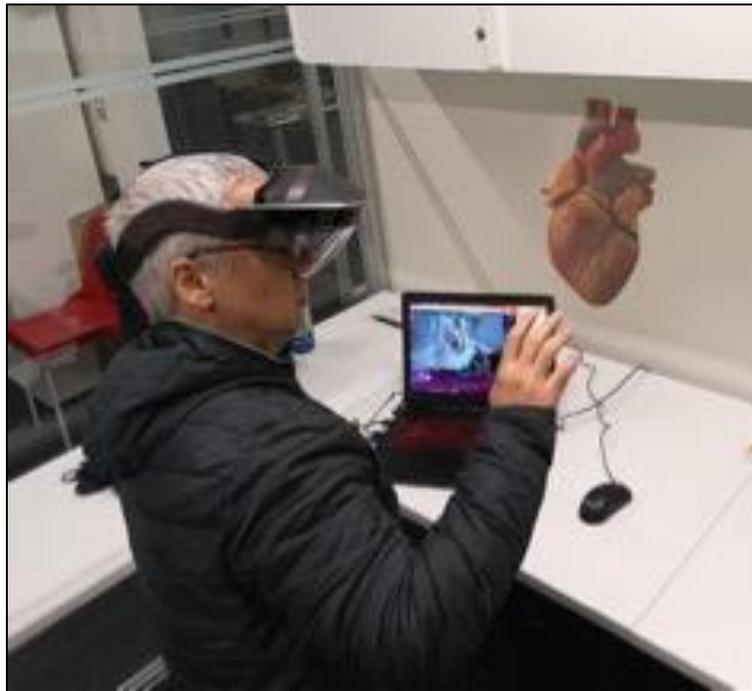


Figura N° 1: Ejemplo de empleo de Realidad Aumentada en medicina.  
Fuente: Elaboración propia (2022).

Analizados los antecedentes, las acciones a realizar y los beneficios demostrados al emplear Realidad Aumentada en el entrenamiento y asistencia remota de actividades específicamente técnicas, como sistema solución se definió una herramienta tecnológica que mejore la mantenibilidad de los tanques Leopard 2 A4, basada en Realidad Aumentada.

Finalmente, se estableció que la herramienta tecnológica será diseñada a través del desarrollo de un sistema de asistencia remota al mantenimiento.

#### **2.4. Objetivos de la investigación**

## Objetivo general

Diseñar preliminarmente una herramienta tecnológica que mejore la mantenibilidad de los tanques Leopard 2 A4, a base de Realidad Aumentada.

## Objetivos específicos

- Identificar la situación actual de mantenimiento en la institución y los beneficios de la Realidad Aumentada.
- Determinar los factores que afectan la mantenibilidad de los tanques Leopard 2 A4.
- Diseñar conceptualmente la herramienta tecnológica que mejore la mantenibilidad de los tanques Leopard 2 A4.
- Diseñar preliminarmente la herramienta tecnológica que mejore la mantenibilidad de los tanques Leopard 2 A4.
- Validar el diseño preliminar de la herramienta tecnológica para mejorar la mantenibilidad de los tanques Leopard 2 A4.

## 2.5. Metodología y secuencia metodológica

La metodología empleada durante el desarrollo de la presente investigación es del tipo analítico/descriptiva, siendo estructurada a través de tres fases (estudio, diseño y validación), como se muestra en la siguiente figura:

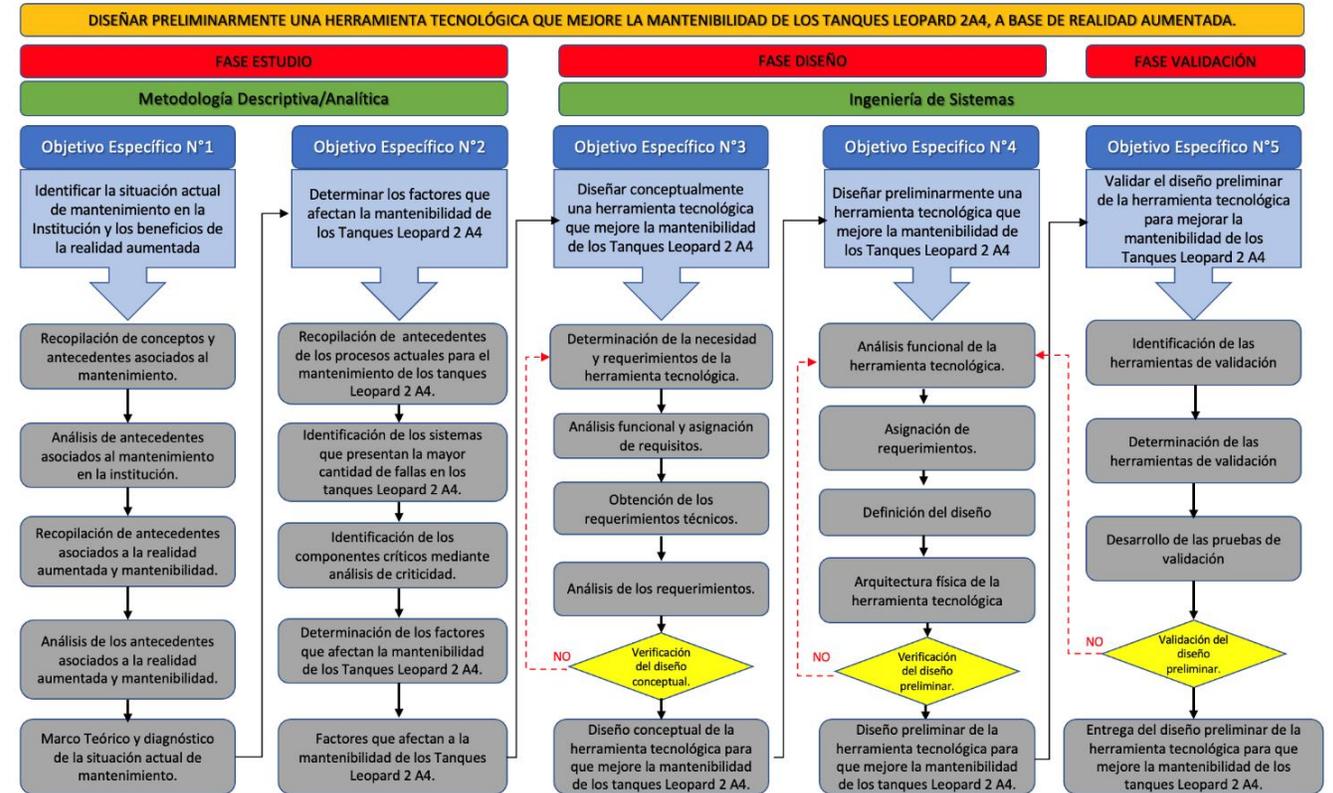


Figura N° 2: “Secuencia metodológica”.  
Fuente: Elaboración propia (2022).

## **2.6. Alcances de la presente investigación**

Los antecedentes para el estudio del comportamiento de los tanques Leopard 2 A4 se obtendrán de la base de datos disponible en FAMAE. No se considerarán antecedentes registrados en las órdenes de trabajo del módulo EAM del SIGLE o las cartillas de registro de vehículos (DIVDOC, 2012).

Se incluirá el análisis de criticidad de los sistemas del chasis del tanque Leopard 2 A4. No se considerarán los sistemas de la torre del tanque.

Contemplará el levantamiento de subsistemas críticos mediante un diagrama de dispersión logarítmica que compara la frecuencia y tiempo de duración de fallas, siendo el período de análisis desde el mes de agosto de 2015 al mes de enero de 2022. Se considerará como tiempo fuera de servicio el tiempo de reparación del subsistema, asumiendo que el repuesto se encuentra en el almacén de repuestos.

Se contemplará la obtención de los sistemas críticos del chasis del tanque, sin considerar el cálculo de disponibilidad y confiabilidad.

La investigación se realizará previo al estudio de la factibilidad económica de su implementación, proyección del mantenimiento y ciclo de vida del sistema.

## **2.7. Proposición respecto de la validación**

La validación del diseño por parte de un ente externo se hará en forma limitada, mediante la operación de un demostrador tecnológico en el CMIF “Talagante”. En efecto, atendiendo a la limitación de recurso temporales y financieros, no se involucrará al personal de la totalidad de los talleres de mantenimiento institucionales, como habría sido más deseable.

Se mejorará la mantenibilidad de los tanques Leopard 2 A4 mediante la implementación de nuevas herramientas tecnológicas y la estandarización de las competencias de los mecánicos, buscando con ello disminuir los tiempos de ejecución de mantenimiento recuperativo. Otros factores que afecten a la mantenibilidad podrán ser analizados y mejorados mediante procesos de investigación posteriores.

El análisis de factores que afectan a la mantenibilidad de los tanques Leopard 2 A4 estará enfocado en tiempos de paz, ya que en tiempos de crisis y guerra los parámetros o factores que afectan a la mantenibilidad son diferentes.

## 2.8. Factores que afectan la mantenibilidad y selección de componente a digitalizar

Los tanques Leopard 2 A4, al ser parte del material de significación estratégica, están sujetos a la ejecución de las actividades de mantenimiento que se encuentran contempladas en el Contrato de Prestación de Servicios de Mantenimiento con FAMAE. Para el análisis del proceso de investigación se utilizará el contrato correspondiente al año 2021-2022, ya que es el último contrato que se encuentra finalizado al momento de iniciar la recopilación de los antecedentes necesarios para el proceso de investigación. Este contrato fue firmado con fecha 23 de febrero de 2021 y su vigencia es de 253 (doscientos cincuenta y tres) días hábiles administrativos, equivalentes a 12 (doce) meses de la factura proforma, contados desde la total tramitación de la resolución que aprueba el contrato.

Bajo este contrato se encuentran establecidas las actividades asociadas al Mantenimiento Recuperativo Básico<sup>3</sup> (MRB) y Mantenimiento Preventivo Conservativo<sup>4</sup> (MPC), los que se subdividen en Mantenimiento LIM2F1 y LIM2F2, que consideran actividades en función de diferentes frecuencias y condiciones para su aplicación. Estas tienen la finalidad de corregir fallas en el funcionamiento a través de la inspección, reemplazo y/o reparación de componentes que han completado su vida útil o han perdido sus características o capacidades debido a su uso.

El tiempo de reparación de una falla es el factor predominante en el proceso de determinación de la probabilidad de que un activo bélico sea reparado, En la figura N° 3 se presentan gráficamente las tareas demandantes de tiempo que pertenecen al proceso de mantenimiento correctivo.

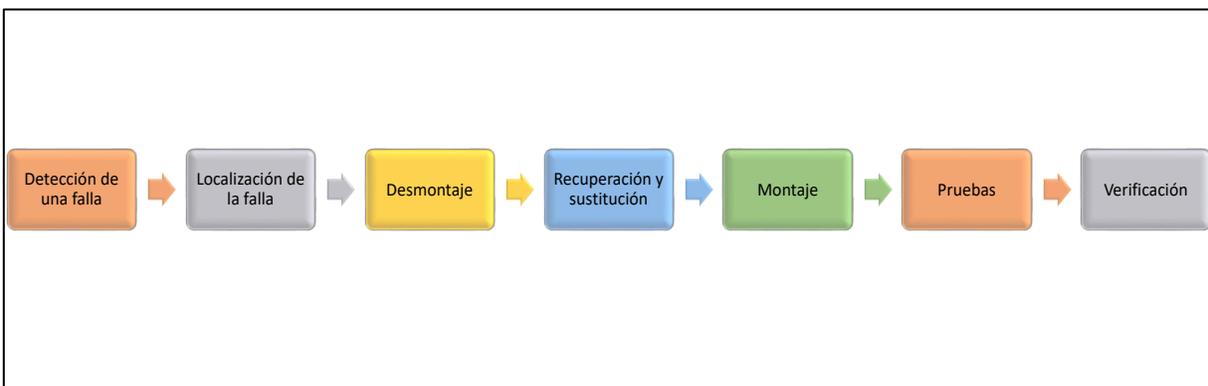


Figura N° 3: Tareas de mantenimiento correctivo.

Fuente: Elaboración propia, a partir de mantenibilidad (Mora, 2009).

<sup>3</sup> Conjunto de tareas de mantenimiento correctivas que tienen la finalidad de restituir la funcionalidad perdida.

<sup>4</sup> Corresponde a un conjunto de tareas de mantenimiento que tienen la finalidad de preservar la funcionalidad y prevenir fallas del material.

Se debe tener en cuenta que el tiempo empleado en reparar es una consecuencia negativa, ya que disminuye el tiempo disponible para realizar actividades de instrucción y entrenamiento de las unidades operativas que emplean los tanques Leopard 2 A4. Por ello, el análisis de criticidad debe ser analizado de acuerdo con la frecuencia de las fallas en los subsistemas y al tiempo necesario para repararlas.

Para realizar el análisis de criticidad, se utilizaron datos entregados mediante un reporte del Jefe del Departamento de Ingeniería de Mantenimiento de FAMAE, señor Pablo Maybe Narváez, el que contiene antecedentes históricos de las fallas presentadas por los tanques Leopard 2 A4. Dicho reporte se considera como tiempo fuera de servicio (TFS) el tiempo empleado en la ejecución de la actividad de mantenimiento.

Posteriormente, se utilizó el método de gráficos de dispersión logarítmica para identificar en forma gráfica cuáles son los subsistemas que presentan la mayor frecuencia de fallas (asociado a la confiabilidad), los subsistemas que han requerido más tiempo para ser reparados (asociado a la mantenibilidad) y aquellos subsistemas que tienen las dos características señaladas anteriormente, es decir, su frecuencia de ocurrencia es alta y requieren más tiempo para ser reparados (asociado a la indisponibilidad).

Posteriormente, se calcularon las coordenadas para determinación de los cuadrantes y se graficó: con una recta color azul, los Tiempos Promedios Fuera de Servicio (TPFS); con una recta color naranja, los promedios de la Frecuencia de Fallas en (1/min); y con una recta color gris, aquellos subsistemas críticos que presentan mayor frecuencia de fallas y más tiempo empleado en ser reparados. Esta metodología se utilizó para la determinación de subsistemas críticos en los tres centros de mantenimiento analizados, obteniéndose los resultados que se presentan en las figuras 4, 5 y 6.

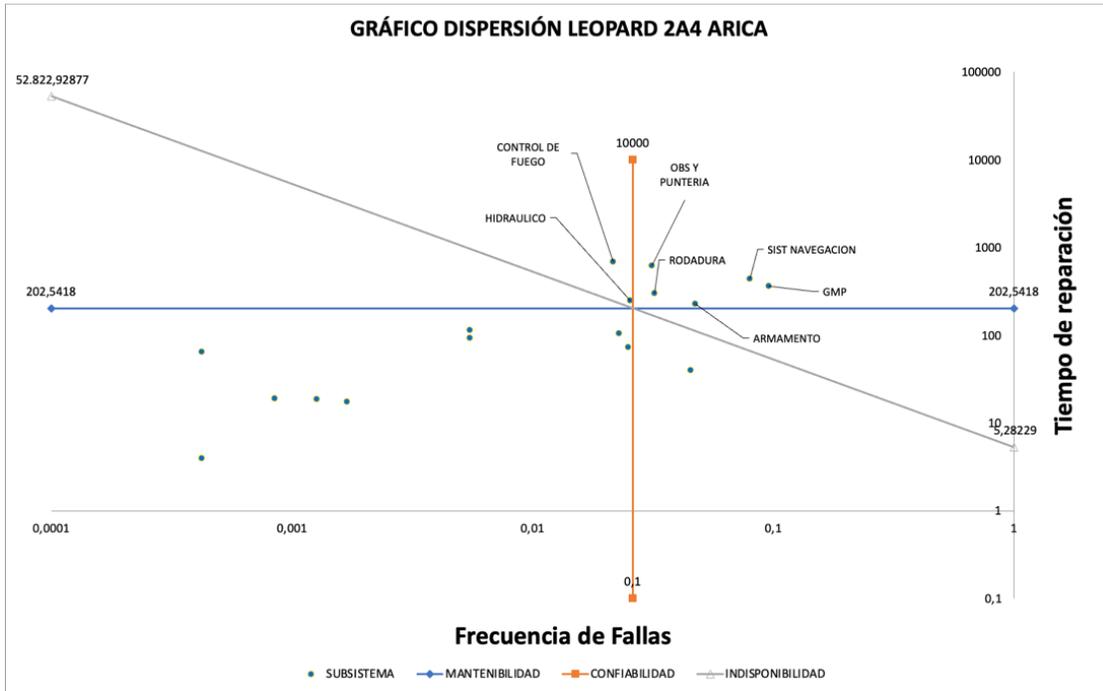


Figura N° 4: Gráfico de dispersión logarítmica CMIF Arica.  
Fuente: Elaboración propia (2022).

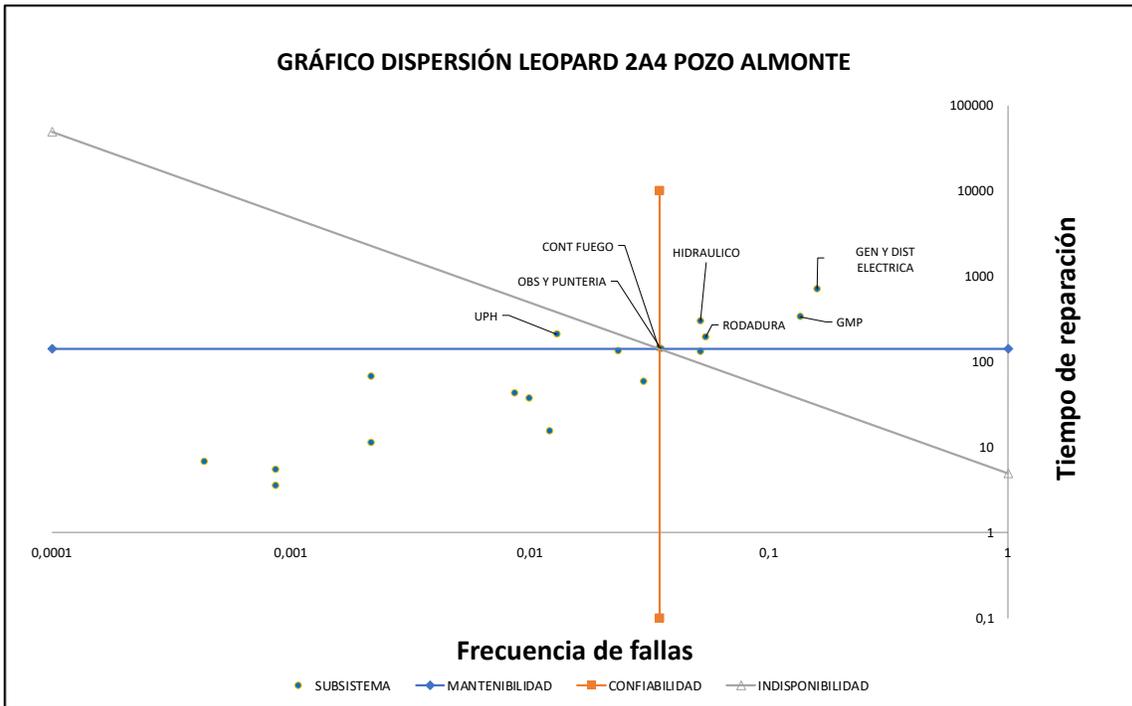


Figura N° 5: Gráfico de dispersión logarítmica CMIF Pozo Almonte.  
Fuente: Elaboración propia (2022).

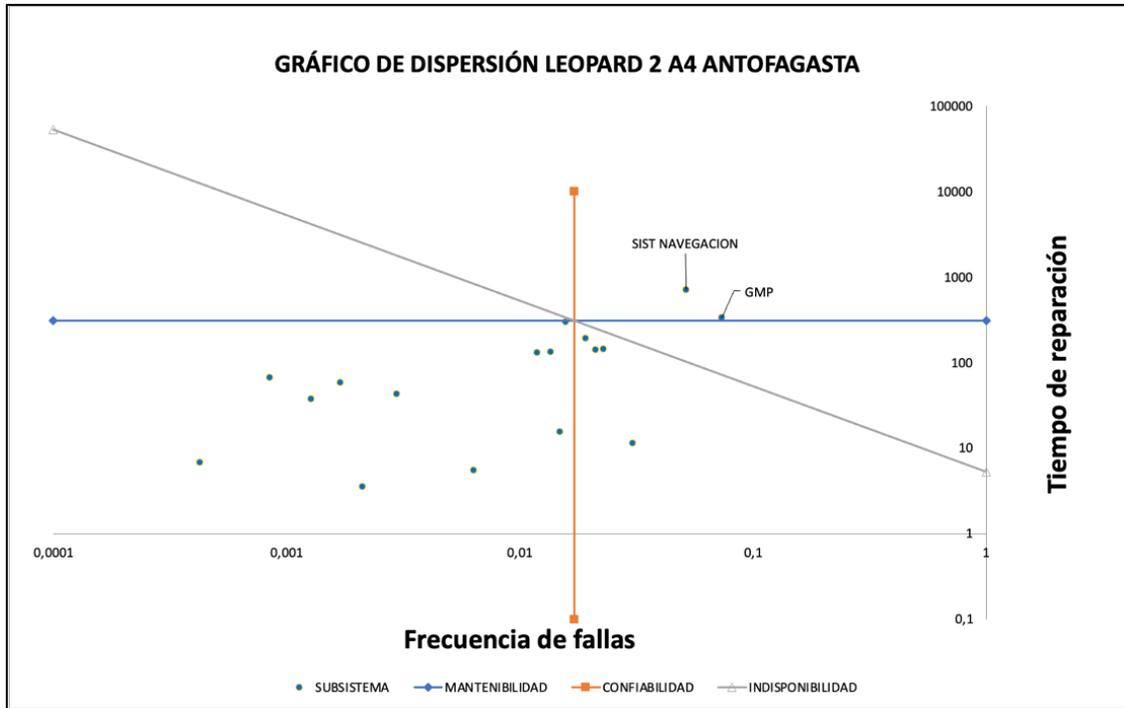


Figura N° 6: Gráfico de dispersión logarítmica CMIF Antofagasta.  
Fuente: Elaboración propia (2022).

Ya determinados los subsistemas críticos de los tanques Leopard 2 A4 por cada centro de mantenimiento, se observó que ellos presentan un comportamiento similar y que el Grupo Motopropulsor es el subsistema que presenta fallas con características de crónicas y agudas, es decir, que tienen una alta tasa de ocurrencia y alto tiempo de reparación.

De los componentes de ese subsistema, se seleccionó el alternador para ser digitalizado como holograma 3D y emplea en el sistema de asistencia remota, por los siguientes motivos:

- El alternador puede ser extraído del Grupo Motopropulsor y ser manipulado en forma independiente, facilitando el proceso de digitalización.
- Dado que la digitalización se debía realizar en un laboratorio externo, se seleccionó un componente de general utilización en cualquier vehículo.

## 2.9. Diseño conceptual y preliminar del sistema de asistencia remoto al mantenimiento

El diseño conceptual del sistema comenzó con la determinación de la necesidad a través del levantamiento de los requerimientos de alto nivel realizado por personal de la División de Mantenimiento. Los requerimientos establecidos fueron los siguientes:

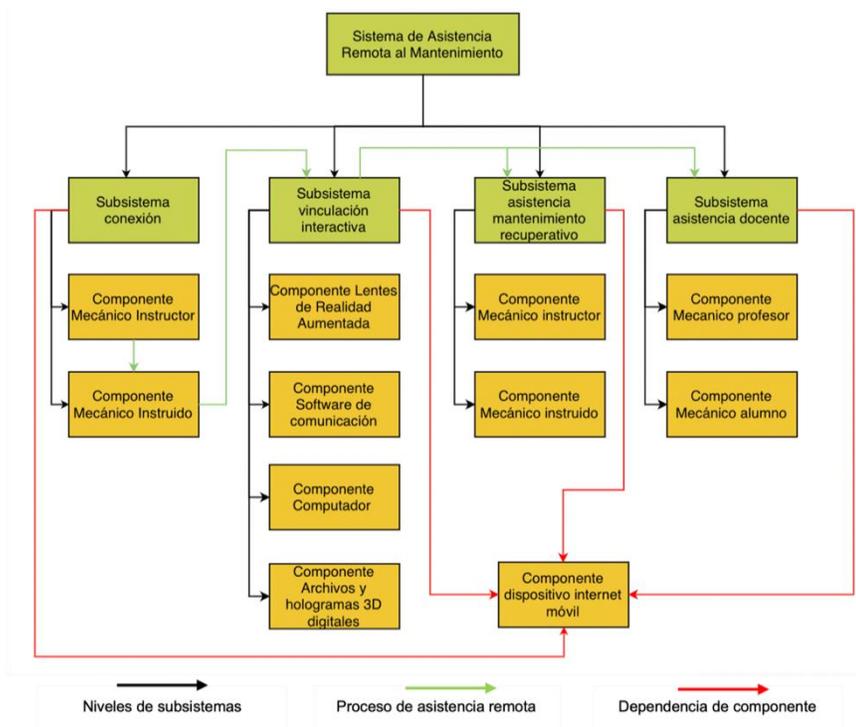
- El sistema deberá disminuir la brecha de conocimiento de los mecánicos de tanques Leopard 2 A4.

- El sistema deberá disminuir el tiempo empleado en el diagnóstico de fallas de los tanques Leopard 2 A4.
- El sistema deberá disminuir el tiempo de ejecución de mantenimiento recuperativo de los tanques Leopard 2 A4.
- El sistema deberá incrementar el empleo de herramientas tecnológicas en mantenimiento.

Después, se utilizó la herramienta “House of Quality”<sup>5</sup> para definir los requerimientos operacionales, los que derivaron en la obtención de los requerimientos técnicos una vez aplicada la herramienta antes señalada nuevamente.

Posteriormente, se ejecutó un análisis funcional a través de la elaboración del “Diagrama de bloques funcionales”, lo que permitió identificar las subfunciones y tener trazabilidad en las herramientas de asignación de requisitos que se emplearon posteriormente.

Con la obtención de la arquitectura funcional del sistema, se dio término al proceso del diseño preliminar, el que fue verificado al comprobar si cada uno de los requerimientos fue satisfecho, siendo ordenados de acuerdo con el grado de importancia del proyecto. El diseño preliminar se inició con la elaboración de la arquitectura física, para lo que se elaboró el esquema de componentes de la figura 7.



<sup>5</sup> House of Quality: Casa de la calidad.

Figura N° 7: Esquema componentes de la arquitectura física.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Considerando las competencias adquiridas como alumna de la Academia Politécnica Militar y el tiempo disponible para el desarrollo de la presente investigación, se utilizaron componentes comerciales construidos y probados previamente, llamados COTS (Commercial-Off-The-Shelf). Es por este motivo que el proceso de diseño se enfocó en la identificación de las características que debían tener estos componentes, para ser parte del sistema y dar satisfacción a los requerimientos funcionales de este. Así mismo, se consideraron componentes disponibles en la institución.

Para conocer de mejor forma las aplicaciones de Realidad Aumentada, se tuvo acceso a un proceso de inducción en la utilización del equipos y software, realizada por la empresa “GIMO” (empresa chilena de servicios y soluciones tecnológicos), ver figura 8, en el marco de levantamiento del Laboratorio de realidad virtual/mixta que realiza el Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de la ACAPOMIL. Este proceso de inducción estuvo liderado por la Annie Haberland, Senior Technical Manager de la empresa, como se muestra en la figura 8.



Figura N° 8: Inducción empresa GIMO.

Fuente: Elaboración propia (2022).

En esta oportunidad se pudo visualizar la forma en que se debe diseñar el sistema, teniendo en consideración que los componentes de este han sido diseñados previamente.

Con la finalidad de obtener una abstracción básica de la interacción de los componentes, se elaboró un diagrama de representación, ver figura N° 9 y tabla N° 1.

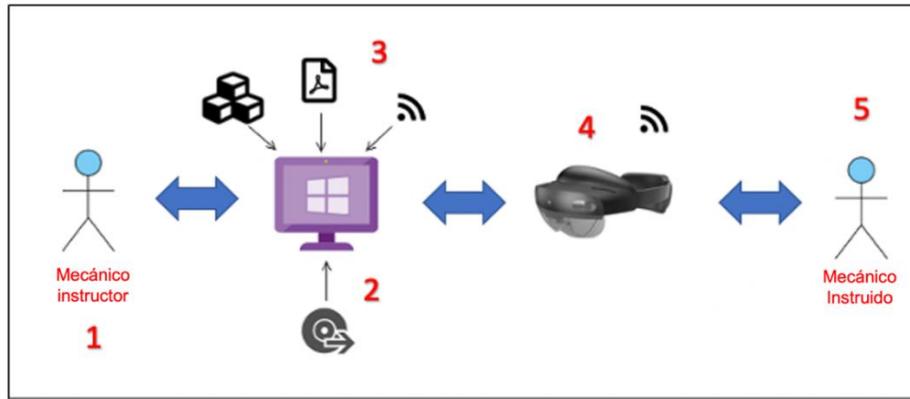


Figura N° 9: Diseño de arquitectura del Sistema de Asistencia Remoto.  
Fuente: Elaboración propia (2022).

Para identificar de mejor forma los componentes que son parte del sistema, se detallan en la tabla N° 1, según su número de identificación proporcionado en la figura N° 9.

Tabla identificación del sistema de asistencia remota al mantenimiento	
1	Mecánico instructor
2	Software de interfaz y computador
3	Archivos digitalizados (manuales y hologramas 3D) y conexión Wifi
4	Lentes de RA Hololens2
5	Mecánico instruido

Tabla N° 1: Componentes del sistema de asistencia remoto.  
Fuente: Elaboración propia (2022).

Para la obtención de los hologramas 3D de un tanque Leopard 2 A4, se contó con el apoyo de la Universidad del Desarrollo (UDD), a través del profesor Guzmán, quien, con su equipo de trabajo realizó la digitalización de un alternador de Tanque Leopard 2 A4, con el propósito de integrarlo al sistema y apoyar la transmisión de conocimientos entre el mecánico instructor y el mecánico instruido.

Figura N° 10: Proceso de digitalización del alternador.  
Fuente: Elaboración propia (2022).

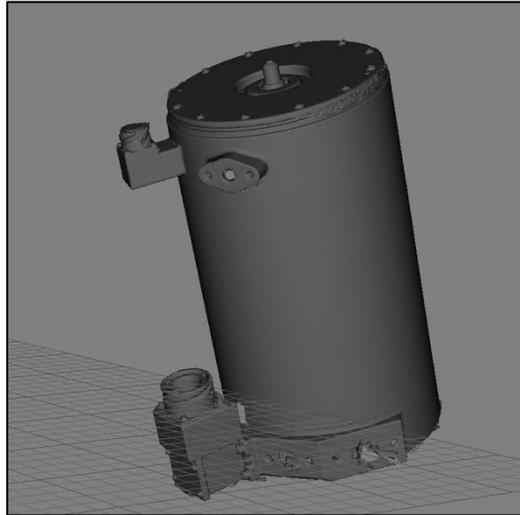


Figura N° 11: Holograma 3D del alternador.  
Fuente: Elaboración propia (2022).

Para la verificación del diseño preliminar, se desarrolló un demostrador tecnológico del sistema de asistencia remota, el que requiere de una serie de pasos que tienen relación con su manipulación y con la familiarización del operador instructor, para operar el software, y del operador instruido en la utilización de los lentes Hololens 2.

El proceso de pasos a seguir es declarado como “experiencias”, las que tienen diversos enfoques de acuerdo al objetivo final de la utilización del sistema. Las experiencias fueron ejecutadas usando los componentes del demostrador tecnológico del sistema de asistencia remota al mantenimiento.

El proceso de inducción realizada lo estableció la empresa “GIMO”, definiendo la investigadora esta inducción como experiencia N° 1, siendo la que determinará los procedimientos a seguir en cada oportunidad que se requiera utilizar el sistema.

Como proceso de verificación se procedió con la experiencia N° 2 para ejecutar la asistencia remota en una actividad de mantenimiento, realizando los procedimientos establecidos en la experiencia N° 1. El rol de mecánico instructor se asignó a la Senior Technical Manager de “GIMO” (ubicada en la comuna de Las Condes), mientras que el rol de mecánico instruido lo ejecutó la investigadora.

La actividad de mantenimiento a realizar una verificación de niveles de aceite de un automóvil Hyundai Grand i10, la que requiere destrezas asociadas al mantenimiento básico que todo conductor de vehículo civil y militar debe tener.

Se realizó la transmisión de archivos digitales del manual de mantenimiento del vehículo antes señalado y la indicación detallada de las actividades que se debía realizar para ejecutar la tarea de mantenimiento pertinentes, ver figuras N° 12 y N° 13.



Figura N° 12: Vista manual digital en lentes de Realidad Aumentada.

Fuente: Elaboración propia (2022).

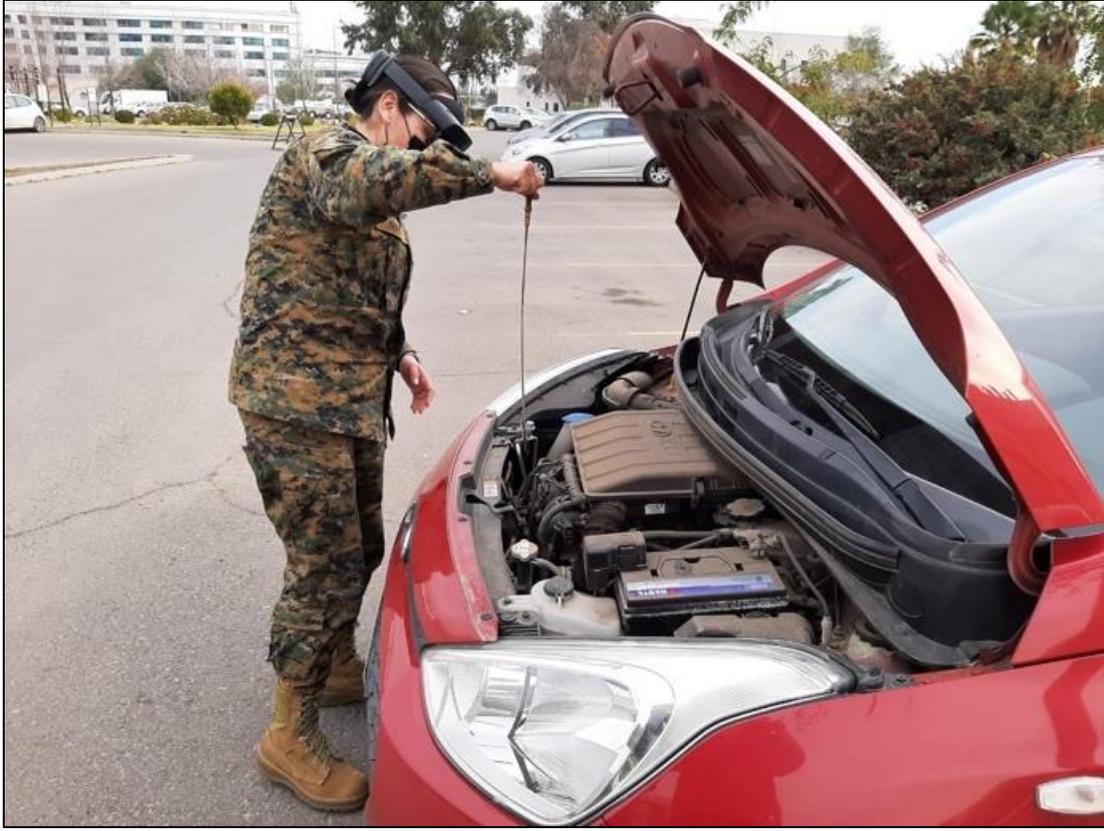


Figura N° 13: Ejecución de asistencia remota al mantenimiento.  
Fuente: Elaboración propia (2022).

Como una forma de estructurar las tareas a ejecutar para dar cumplimiento a la experiencia, se elaboró una pauta de prueba funcional del sistema de asistencia, con los requerimientos necesarios para su ejecución y las actividades a realizar.

Una vez finalizada la experiencia N° 2, quedó demostrado que los procedimientos realizados dan cumplimiento a la pauta de prueba funcional y, por lo tanto, se verificó el diseño preliminar del sistema.

## **2.10. Validación del diseño preliminar**

Como parte del proceso de investigación se contempló la validación del diseño preliminar del sistema de asistencia remoto, el que es un instrumento para evaluar si el diseño preliminar del sistema cumple con los requerimientos establecidos previamente, y si puede ser aplicado a un grupo de personas relacionadas con ciertas temáticas que pueden representar a un conjunto con similares características. A diferencia de la verificación que indica si el sistema fue desarrollado correctamente desde el punto de vista del fabricante, la validación indica si el sistema desarrollado es el que esperaba el cliente o usuario final del sistema.

Es por ello que la validación del sistema de asistencia remota se de desde dos puntos de vista:

- a. Funcionalidad: la validación alinea los requisitos con las expectativas de las partes interesadas, logrando minimizar el riesgo de que al diseñar el sistema no se alcance el rendimiento requerido (INCOSE, 2015).
- b. Usabilidad:<sup>6</sup> evalúa factores de eficacia (si los usuarios pueden completar una tarea), eficiencia (la cantidad de esfuerzo que necesitan los usuarios para lograr su objetivo) y grado de satisfacción (si los usuarios piensan que es fácil usar un determinado producto).

Para validar los aspectos antes mencionados, se definen como protocolos de validación la “Escala de Usabilidad de un Sistema”, para medir la usabilidad, y la “Pauta de Prueba Funcional del Sistema de Asistencia Remoto al Mantenimiento”, para medir la funcionalidad. Esta última fue utilizada en el punto anterior para verificar el diseño preliminar del sistema, con el propósito de esgrimir los beneficios previamente logrados durante la ejecución de la asistencia de mantenimiento remoto en dependencias de la Academia Politécnica Militar.

### **2.11. Validación funcional**

Relacionado con la validación de funcionalidad, se realizó en el taller de motores de tanques Leopard 2 A4 del CMIF “Talagante”, apoyado por la Jefatura de Mantenimiento. Esta prueba de validación siguió la siguiente secuencia:

El comandante del CMIF “Talagante” designó como mecánico instructor al ECF. Mauricio Urbina Muñoz (mecánico de vehículos motorizados capacitado en mantenimiento de los tanques Leopard 2 A4 en España, cuenta con 15 años de experiencia) y, como mecánicos aún no formalmente capacitados, a dos ayudantes de mecánico. Estos últimos para que se desempeñaran como mecánicos instruidos: la señorita Elba Zamorano (Nº 1) y señor Fabio Carreño F. (Nº 2) quienes, a esa fecha, trabajaban en la reparación de motores de tanques Leopard 2 A4.

---

<sup>6</sup>Definido según la ISO 9241-1



Figura N° 14: Sujetos de prueba para operación del sistema.  
Fuente: Elaboración propia (2022).

- a. Se consideró como requerimiento para la ejecución de esta actividad a un motor de tanque Leopard 2 A4, cuyos componentes requieren realizar una tarea de mantenimiento guiada por un mecánico instructor. Véase figura N° 15.



Figura N° 15: Motor de tanque Leopard 2 A4.  
Fuente: Elaboración propia (2022).

- b. La actividad de mantenimiento definida para realizar es el cambio de recámara de inyección del motor, la que cuenta con 14 pasos, con un rango de tiempo de ejecución de entre 15 y 60 minutos, sin empleo de Realidad Aumentada.

- c. En el taller de motores se realizó la conexión a Internet del sistema, y se entregó una inducción al mecánico instructor y mecánicos instruidos sobre la utilización del sistema de acuerdo con el formato de experiencia de empleo del sistema.

Luego se ejecutó una prueba de familiarización mediante la generación de instrucciones por parte de la investigadora y la ejecución de estas por parte de los mecánicos, ver figuras 16, 17 y 18.



Figura N° 16: Inducción empleo del sistema. (1)

Fuente: Elaboración propia (2022).



Figura N° 17: Inducción empleo del sistema. (2)

Fuente: Elaboración propia (2022).



Figura N° 18: Inducción empleo del sistema. (3)  
Fuente: Elaboración propia (2022).

- d. La experiencia de prueba de funcionalidad del sistema se inició con el mecánico instruido N° 1 y mecánico instructor ubicado en distintas partes del taller, para que ninguno de ellos pudiera escuchar la voz del otro o ver qué actividad se encontraba realizando.

La actividad de mantenimiento señalada en el punto c. se inició mediante la emisión de instrucciones en forma remota del mecánico instructor al mecánico instruido N° 1, quien debió ejecutar actividades de mantenimiento al motor del tanque Leopard 2 A4. Como parte de esta experiencia el mecánico instructor transmite manuales digitalizados y hologramas 3D con el propósito de explicar de mejor forma la ubicación de los componentes y actividades específicas a realizar.

El mecánico instructor visualizaba al detalle los componentes del motor y herramientas correspondientes al entorno real, así como los archivos digitales correspondientes al entorno virtual. Véase figuras 19, 20 y 21.

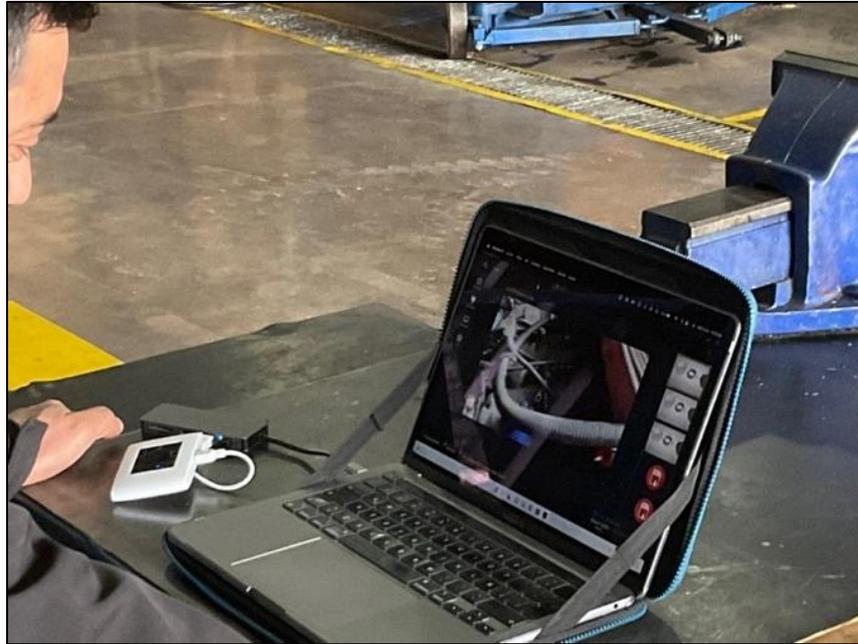


Figura N° 19: Vista del mecánico instructor a través del computador.  
Fuente: Elaboración propia (2022).



Figura N° 20: Vista ambiente real y virtual del mecánico instruido con lentes de RA. (1)  
Fuente: Elaboración propia (2022).



Figura N° 21: Vista ambiente real y virtual del mecánico instruido con lentes de RA. (2)  
Fuente: Elaboración propia (2022).

- e. La experiencia de prueba de funcionalidad del sistema se inició ahora con el mecánico instruido N° 2. Se ejecutaron las mismas actividades realizadas con el mecánico instruido N° 1. Véase figuras 22 y 23.



Figura N° 22: Experiencia mecánico instruido N° 2.  
Fuente: Elaboración propia (2022).



Figura N° 23: Visualización de archivos digitales y hologramas 3D.  
Fuente: Elaboración propia (2022).

- f. Al finalizar las experiencias de prueba funcional del sistema se solicitó a los mecánicos participantes que validasen la ejecución de las actividades realizadas.

Al lograr como resultado que se ejecutaran todas las actividades definidas para corroborar el funcionamiento del sistema de mantenimiento remoto, se obtuvo la validación funcional del sistema.

## 2.12. Validación de usabilidad

Como se señaló anteriormente, para esta etapa de validación se utilizó la escala de usabilidad del sistema (SUS), un método que permite medir la usabilidad mediante la aplicación de una encuesta que tiene 10 preguntas prediseñadas con una escala de Likert,<sup>7</sup> donde 1 corresponde a total desacuerdo y 5 a total acuerdo. Los resultados obtenidos de la encuesta aplicada a los usuarios del sistema pueden ser “aceptable”, “marginal” o “inaceptable”.

Para ejecutar esta validación se solicitó a los mecánicos que operaban el sistema que respondiesen una encuesta de 10 preguntas diseñadas para esta metodología, obteniendo los resultados individuales que se presentan en las tablas N° 2, N° 3 y N° 4:

---

<sup>7</sup>Escala de satisfacción con un rango de opiniones que va de un extremo a otro.

Nº Pregunta	Valor asignado por usuario	Cálculo SUS
1	4	3
2	3	2
3	3	2
4	4	1
5	4	3
6	3	2
7	4	3
8	3	2
9	4	3
10	3	2
<b>SUMA TOTAL</b>		<b>35</b>
<b>PUNTAJE SUS</b>		<b>87,5</b>

Tabla Nº 2: Escala de usabilidad mecánico instructor.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Nº Pregunta	Valor asignado por usuario	Cálculo SUS
1	4	3
2	2	3
3	3	2
4	5	0
5	4	3
6	2	3
7	4	3
8	3	2
9	4	3
10	2	3
<b>SUMA TOTAL</b>		<b>33</b>
<b>PUNTAJE SUS</b>		<b>82,5</b>

Tabla Nº 3: Escala de usabilidad mecánico instruido Nº 1.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Nº Pregunta	Valor asignado por usuario	Cálculo SUS
1	4	3
2	3	2
3	2	1
4	5	0
5	3	2
6	2	3
7	3	2
8	3	2
9	4	3
10	2	3
<b>SUMA TOTAL</b>		<b>31</b>
<b>PUNTAJE SUS</b>		<b>77,5</b>

Tabla N° 4: Escala de usabilidad mecánico instruido N° 2.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Finalmente, el promedio de usabilidad del sistema obtiene un puntaje de 82,5, lo que indica que tiene un nivel de usabilidad “Aceptable”, donde los participantes afirman que el sistema cumple con su cometido, en el sentido de que satisface los requerimientos establecidos previamente.

Lo anterior, permite validar el sistema en su funcionalidad y usabilidad, logrando visualizar su futura incorporación en actividades docentes y ejecución de mantenimiento recuperativo.

### 3. CONCLUSIONES

Finalizado el proceso de investigación, se obtuvo como resultado un sistema de solución que da satisfacción a los requerimientos planteados por los involucrados en el mantenimiento de los tanques Leopard 2 A4.

Lo anterior, se llevó a cabo mediante un primer acercamiento al problema de investigación, pudiéndose observar que, si bien existen mecánicos capacitados para realizar mantenimiento a los tanques Leopard 2 A4, no constituyen la totalidad del personal que se desempeña en esa área. Lo anterior ocasiona un efecto negativo que se refleja en el extenso tiempo empleado en el diagnóstico y reparación de fallas, provocando su deficiente mantenibilidad. Dicho acercamiento permitió evaluar competencias técnicas y definir un estándar mínimo necesario para un desempeño eficiente.

Por lo expuesto, fue trascendental la estructuración de la secuencia metodológica guiada por la ingeniería de sistemas para organizar el trabajo de investigación y el análisis de los datos

y antecedentes disponibles, entregando, además, herramientas útiles para descomponer y jerarquizar los requerimientos derivados de la estructuración del diseño conceptual y preliminar del sistema.

Con el logro secuencial de los objetivos específicos se dio cumplimiento al objetivo general, donde, como conclusión final, resalta la importancia de la identificación y priorización de los diversos factores que acompañan a las actividades de mantenimiento, los que condicionarán la eficiencia en la gestión del ciclo de vida de los activos bélicos y, finalmente, el desempeño de las unidades de mantenimiento. La determinación de estos factores fue el desafío principal de la investigación.

Lograr diseñar el sistema de asistencia remota requirió un proceso de inducción secuencial que llevó a la identificación de los múltiples beneficios que conlleva la utilización de la Realidad Aumentada en diferentes actividades, lo que se obtuvo por medio de la ejecución de experiencias prácticas ejecutadas en dependencias de la ACAPOMIL (comuna de La Reina), en primera instancia, para luego recibir instrucciones desde otra comuna de la comuna de Las Condes.

Con la prueba funcional del sistema se confirmaron los beneficios de emplear la Realidad Aumentada en actividades de mantenimiento, entregando a los mecánicos expertos la oportunidad de transmitir los conocimientos adquiridos, como también el beneficio a los mecánicos instruidos de solicitar apoyo que pudiera ser precisado cuando no cuenten con las competencias y experiencia profesional para enfrentar una tarea técnica en la que se requiera preparación y conocimientos previos. Esta interacción se vio enriquecida al contar con archivos digitalizados y hologramas que fueron transmitidos a través de los lentes de Realidad Aumentada, siendo en este caso los mecánicos instruidos los mayormente beneficiados.

Luego se dio inicio a la prueba de usabilidad, instancia en la que los usuarios evaluaron cada uno de los componentes del sistema; hologramas 3D del alternador del tanque y manuales digitalizados, lentes de Realidad Aumentada Hololens2, software de interfaz entre usuarios Remote Spark y conexión a un dispositivo de Internet inalámbrico. Todos estos elementos son los que configura el sistema y permitieron los resultados descritos previamente.

Por otro lado, fue del todo beneficioso ser parte de las experiencias de operación de los usuarios, a través del demostrador tecnológico del sistema de asistencia remota. Mediante esta experiencia se pudieron notar una serie de beneficios que mejoran la mantenibilidad de los tanques Leopard 2 A4, los que se señalan a continuación:

- La inducción y familiarización del sistema se efectuó en 10 minutos, lo que indica que el sistema podrá integrarse a las actividades de mantenimiento sin interferir negativamente en los procesos de mantenimiento actuales.
- Durante la ejecución de la actividad de mantenimiento, al utilizar el sistema de asistencia remota se cronometró el tiempo empleado en la actividad N° 7 *sacar tapas de válvulas*, logrando la disminución del tiempo definido en el Anexo N° 14 (sin empleo del sistema) en un minuto, lo que corresponde al 30 % del tiempo empleado sin la herramienta de Realidad Aumentada. Esto se logró debido a que el mecánico instructor guió las actividades del mecánico instruido en forma remota.
- La conexión a Internet se realizó mediante la utilización de una banda ancha móvil, que tiene características similares a las de un teléfono móvil, obteniendo un buen desempeño del sistema.
- El mecánico instructor, además de entregar orientaciones del trabajo a realizar, pudo notar errores durante su ejecución y dar solución a ellos, logrando disminuir los riesgos asociados a las malas prácticas producto del desconocimiento de mecánicos sin capacitación.

Finalmente, la presente investigación pretende que su producto sea de utilidad para potenciar el empleo de herramientas tecnológicas en actividades de mantenimiento, contribuyendo a la eficiente explotación de las capacidades humanas con que se cuenta y a acortar las brechas actuales.

## **BIBLIOGRAFÍA**

INCOSE (2006). *System Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities*. Whashington: John Wiley & Sons.

INCOSE (2006). *System Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities*. Whashington: John Wiley & Sons.

Mora, A. (2009). *Mantenimiento, planeación, ejecución y control*. México: Alfaomega.

RAA-03008 (2018). *Reglamento de Proceso de Desarrollo de Capacidades Militares y Administración del Ciclo de Vida*. Santiago: División Doctrina.