

ARTÍCULOS



BOLETÍN CIENTÍFICO TECNOLÓGICO

ACADEMIA POLITÉCNICA MILITAR

**DISEÑO CONCEPTUAL DE LA MODIFICACIÓN DE LA
POSICIÓN DEL SELECTOR DE AUMENTO ÓPTICO DE
LA CÁMARA TÉRMICA DEL TANQUE LEOPARD 2A4**

MAY. JUAN ANDRÉS BEYER PEÑA



DISEÑO CONCEPTUAL DE LA MODIFICACIÓN DE LA POSICIÓN DEL SELECTOR DE AUMENTO ÓPTICO DE LA CÁMARA TÉRMICA DEL TANQUE LEOPARD 2A4

MAY. Juan Andrés Beyer Peña¹

Resumen: este trabajo de investigación nace de la inquietud de buscar una forma innovadora y de bajo costo que aporte al empleo del sistema de control de fuego del tanque Leopard 2A4. De lo anterior, es que se definió optimizar, de la manera menos invasiva posible, la modificación de la posición del selector de aumento de la cámara térmica del tanque, a través de la metodología de ingeniería de sistemas, lo que permitirá que los cambios se realicen desde el mando del artillero, optimizando así su operación en tiempo, ergonomía y seguridad.

Palabras clave: tanque Leopard 2A4, sistema de control de fuego, cámara térmica, selector Klein/Gross, demostrador tecnológico.

Abstract: this research emerges from the need to look for an innovative and low cost solution to make a contribution to handle the Leopard 2A4 tank fire control system. Hence, to optimize, in the least invasive way possible, the modification of the raise selector position of the tank's thermal camera. Using the systems engineering methodology, changes will be made from the gunner command, optimizing its operation in time, ergonomics and security.

Keywords: Leopard 2A4 Tank, fire control system, thermal camera, Klein/Gross selector, technological demonstrator.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de armas² modernos se caracterizan por dar al comandante la posibilidad de emplear sus medios de forma rápida, oportuna y efectiva contra las unidades

1 Ingeniero Politécnico Militar en Sistemas Logísticos, mención Mantenimiento.

2 Sistema de armas: plataforma de combate móvil o estática, aérea o terrestre, que integra dos o más subsistemas de armas ofensivas (cañones, ametralladoras, lanzagranadas, misiles, cohetes u otros) o defensivas (lanzafumígenos, blindajes activos reactivos, sensores u otros) y los componentes necesarios para detectar, identificar y disparar los distintos proyectiles o artificios que incorpora.



opositoras, permitiéndole proyectar sus unidades en la totalidad del campo de batalla. En este sentido, el tanque constituye el sistema de armas de mayor relevancia en este escenario (Figura N° 1).



Figura N° 1: "Tanque Leopard 2A4".

Fuente: www.ejercito.cl/noticias

Es un sistema que integra, armónicamente, la capacidad de desplazarse por casi todo tipo de terreno con una protección blindada y potencia de fuego a gran distancia. Los tanques utilizan de manera eficiente sus capacidades en el combate móvil, a la mayor velocidad posible y lejos de su objetivo, a través del alcance máximo efectivo de su cañón, fortalezas que deben ser explotadas en toda oportunidad (División Doctrina, 2011, p. 15).³

Es en este contexto donde surge la necesidad de aumentar estas fortalezas, buscando una forma innovadora, eficiente y económica, que permita mejorar el desempeño del artillero del tanque en la localización de objetivos y en el tiro.

Por lo descrito anteriormente y, con posterioridad a un análisis sobre la base de ingeniería de sistemas, se decidió realizar un diseño conceptual destinado a optimizar la ergonomía del selector de aumento de la cámara térmica (Klein/Gross), que permita disminuir al mínimo los tiempos de búsqueda y adquisición de objetivos y entregar mayor comodidad al usuario, lo que influye, finalmente, en el tiro y en la efectividad del sistema de armas, tanto en el combate diurno como nocturno, a la vez que aminora sus limita-

3 Manual de Tanque y Pelotón de Tanque, CDO-60303.



ciones, como lo son, entre otras, la falta de cubierta y protección, debido a su volumen o, simplemente, el incorrecto aprovechamiento de esta. Por otra parte, mimetizar un tanque ante la óptica diurna es relativamente fácil, pero es tarea casi imposible ante la visión térmica, por lo que la rápida reacción del comandante y su tripulación frente a la detección o enfrentamiento con el adversario es imprescindible y solo segundos pueden marcar la diferencia entre dar de baja un objetivo o ser dado de baja.

2. SISTEMA DE ARMA

El sistema de armas en cuestión, como se mencionó anteriormente, es el tanque de combate Leopard 2A4 (Figura N° 2), vehículo de combate que destaca por sus características técnicas en 3 grandes grupos: poder de fuego, protección y movilidad (División Doctrina, 2009, p. 15).⁴

La potencia de fuego del tanque está íntimamente ligada a la implementación y características de sus equipos de observación y puntería (División Doctrina, 2014, p. 29).⁵ Es en estos equipos, pertenecientes al subsistema control de fuego, donde cobra relevancia el proyecto en comento, específicamente en el empleo del componente “cámara térmica”.



Figura N° 2: “Tanque Leopard 2A4.”

Fuente: www.ejercito.cl/noticias.

4 Manual de Operación del Tanque Leopard 2A4, CDO-70301.

5 Manual de Tiro de Tanque, MDO-80302.



3. SISTEMA DE CONTROL DE FUEGO

Al sistema de control de fuego (División Doctrina, 2014, pp. 37-39)⁶ pertenecen todos los subsistemas y aparatos necesarios para adquirir un objetivo (Figura N° 3), así como también los necesarios para dirigir el cañón y la ametralladora coaxial.

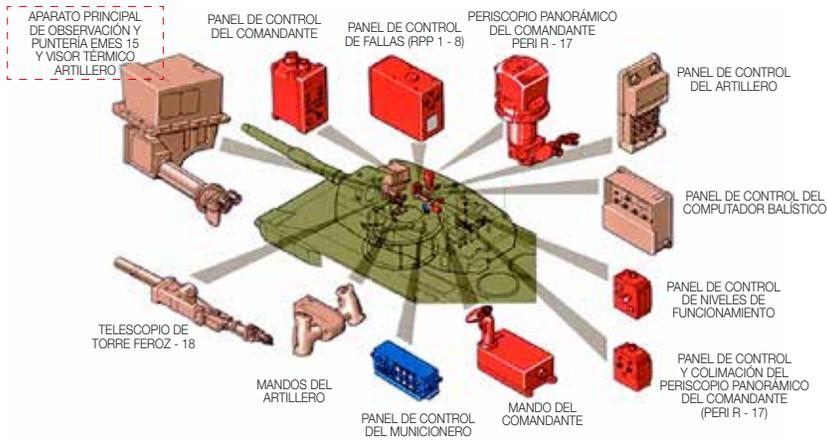


Figura N° 3: "Sistema control de fuego del tanque Leopard 2A4."

Fuente: CECOMBAC, Curso artillero, 2016.

Dentro de los principales aparatos del sistema, como ya se destacó anteriormente, el aparato de observación y puntería es el de interés para el proyecto, ya que este es el empleado por el artillero en forma permanente para identificar y apuntar sobre objetivos detenidos y/o en movimiento, colocando la cruz de visado del retículo de encuadramiento sobre estos (Figura N° 4).

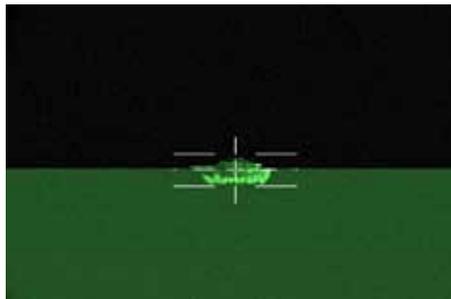


Figura N° 4: "Cruz de visado del tanque Leopard 2A4".

Fuente: CECOMBAC, Curso artillero, 2016.

6 Manual de Tiro de Tanque, MDO-80302.



La observación nocturna es efectuada por la cámara térmica, por medio de visores termográficos o térmicos, los que, en la actualidad, son los más perfeccionados y empleados que existen en materia de observación y puntería, ya que proporcionan imágenes de la zona de combate, al detectar y presentar la irradiación calórica propia de los objetivos que allí se encuentran.

3.1. Cámara Térmica

La cámara térmica que posee el tanque Leopard 2A4 chileno es el modelo WBG-X, la que pertenece a la primera generación de este tipo, fabricada y producida entre los años 1981 y 2000 por la empresa Airbus, Defence & Space (Figura N° 5).



Figura N° 5: "WBG-X Tanque Leopard 2A4".

Fuente: Krauss, 2018.

Estos sistemas de visión se caracterizan y se diferencian por tres capacidades esenciales: la detección, el reconocimiento y la identificación.

Sin embargo, la empresa Airbus, Defence & Space, el año 2015, finalizó su soporte logístico, lo que ha influido directamente en el mantenimiento de sus capacidades y funcionamiento. Esto, debido a la producción de cámaras de tercera generación utilizadas por las nuevas versiones Leopard, como el 2A7, que posee la versión ATTICA.

Para el control de la cámara, el artillero dispone en su habitáculo del panel de control denominado "Unidad de Control del Tirador" (UCT), el que se encuentra instalado a la derecha, frente a su puesto (Figura N° 6).

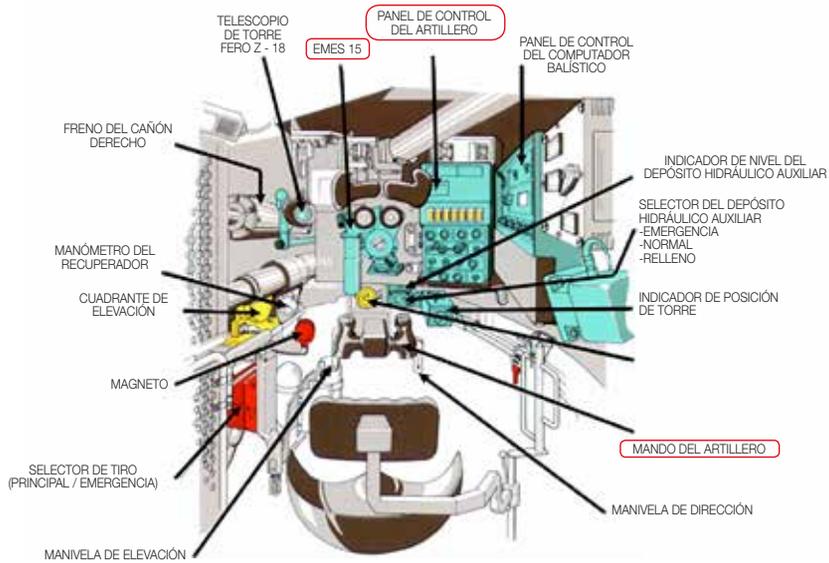


Figura N° 6: “Habitáculo del artillero del tanque Leopard 2A4”.

Fuente: CECOMBAC, Curso Artillero, 2016.

En este panel de control se encuentra el selector de aumento modo “grande o pequeño” (Klein/Gross), donde finalmente se centra esta investigación (División Doctrina, 2014, p. 241)⁷ (Figura N° 7).



Figura N° 7: “Unidad de Control del Tirador, Tanque Leopard 2A4”.

Fuente: elaboración propia.

⁷ Manual de Operación del Tanque Leopard 2A4, CDO-70301.



4. IDENTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD

Con los antecedentes adquiridos, se establece que la potencia de fuego del tanque está íntimamente ligada a la implementación y características de sus equipos de observación y puntería. Por otra parte, que en el combate moderno se hace indispensable que los sistemas de armas posean un nivel de respuesta cada vez más rápido en su empleo, como consecuencia de lo vertiginoso del combate moderno. Por ello, surge la necesidad de aportar, de forma innovadora, eficiente, económica y factible, para mejorar el desempeño del artillero tanto en el combate como en su entrenamiento, teniendo en consideración la serie de problemas de obsolescencia tecnológica de los componentes de su sistema de control de fuego. Lo anterior, sobre la base de la ingeniería de sistemas, en un tiempo de ejecución de 12 meses, durante el cual fue posible implementar la solución, comprobar y verificar su calidad.

En la fase inicial de búsqueda, fue de gran importancia contar con la experiencia de quienes están involucrados con el sistema de armas, específicamente, quienes lo utilizan, por lo que se identificaron a los *stakeholders*⁸ (Figura N° 8), donde destacan FAMAE (CMEOT), DIVEDUC, DIVDOC, COT (con sus grupos blindados), DIVMAN, ACAPOMIL y CECOMBAC,⁹ los que desde un inicio aportaron con su experiencia e interés en mejorar las capacidades de tan vital componente de la Fuerza Terrestre.



Figura N° 8: "Stakeholders".

Fuente: elaboración propia.

- 8 *Stakeholders*: cualquier persona, grupo de personas u organización que tenga una necesidad o espere algo del sistema, aquella que tenga influencia directa o indirecta sobre los requerimientos del sistema.
- 9 En el mismo orden: Fábricas y Maestranzas del Ejército; Centro de Mantenimiento Electrónico, Optrónico y Telecomunicaciones; División de Educación; División Doctrina; Comando de Operaciones Terrestres; División de Mantenimiento; Academia Politécnica Militar; Centro de Entrenamiento de Combate Acorazado.



En cuanto al funcionamiento, cabe destacar que el selector Klein/Gross (pequeño/grande) tiene la función de realizar el cambio de imagen de la cámara térmica (Figura N° 9), pasando, una vez detectado un posible objetivo, del campo de búsqueda *Gross* (grande), cuya característica principal es su mayor amplitud de visión del campo de batalla, al campo de visión *Klein* (pequeño), donde aparece la cruz de visado y se procede a reconocer e identificar el blanco para, finalmente, ejecutar el tiro.

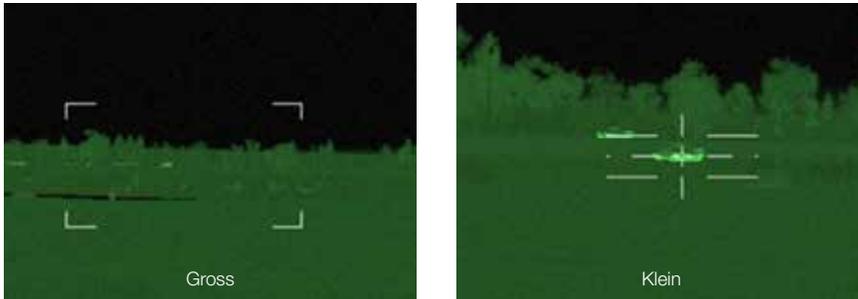


Figura N° 9: “Campo de visión Gross y Klein”.

Fuente: CECOMBAC, Curso Artillero, 2016.

Una vez identificados los *stakeholders*, se procedió a trabajar, específicamente, con los grupos blindados y el CECOMBAC, a quienes se les consultó, entre otras cosas, si este selector de imagen les generaba algún tipo de inconveniente por su ubicación y si consideraban que se podría optimizar su uso ubicándolo en otro lugar. Se obtuvo un total de 86 especialistas consultados (Figura N° 10), de los cuales un 76% cree que ubicar el selector en otro lugar del puesto del artillero sí optimizaría su empleo y que este lugar es el mando (78% de las opiniones; donde 11% corresponde a “binoculares de la cámara térmica”, 6% corresponde a “alcance de la mano cerca del mando” y 5% corresponde a “en los pies en forma de pedal”).

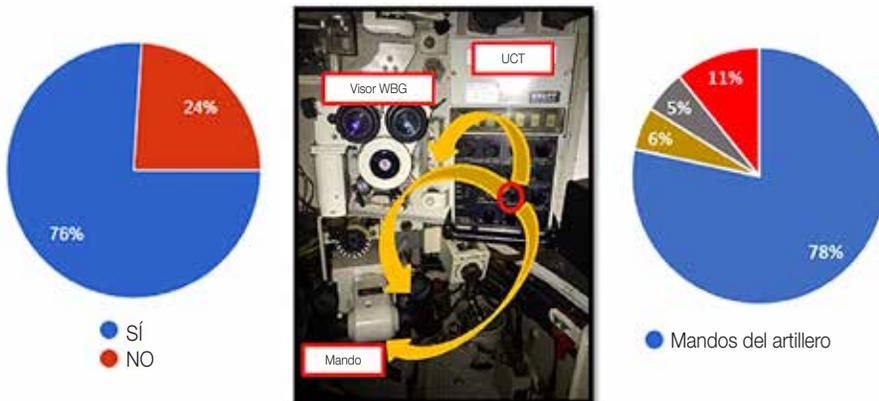


Figura N° 10: “Puesto del artillero y gráfica de respuestas de posible ubicación del selector”.

Fuente: elaboración propia.

5. ESTADO DE ARTE

Posteriormente, se indagó si en otros países se había efectuado algún tipo de modificación que se relacione con el tema en estudio, para lo cual se contactó al GDB (R) Roberto Ziegele Kerber, quien se encuentra encuadrado en la DIVDOC, donde ostenta el cargo de asesor de doctrina y encargado del grupo de desarrollo Leoben¹⁰ Chile. Recabando antecedentes de Leoben, se pudo constatar que en “Leoben Combat Developed Working Group Meeting”, reunión para los integrantes de Leoben realizada en la ciudad de Viena, Austria, entre el 14 y 18 de septiembre del año 2015, se expuso, entre otros temas, la situación actual del material de la familia Leopard (proyectos, investigaciones, etc.), donde destaca Suecia, país que presentó su proyecto referido a la mejora ergonómica en el switch de magnificación (Klein/Gross), para cambiar los canales de visión, en versiones del tanque Leopard 2A4 y 2A5 (Figura N° 11), con buenos resultados y gran aceptación por su personal, ya que ayudó a disminuir los errores de los artilleros en su utilización nocturna y aportó mayor rapidez en la ejecución del cambio de visión, entre otras mejoras.

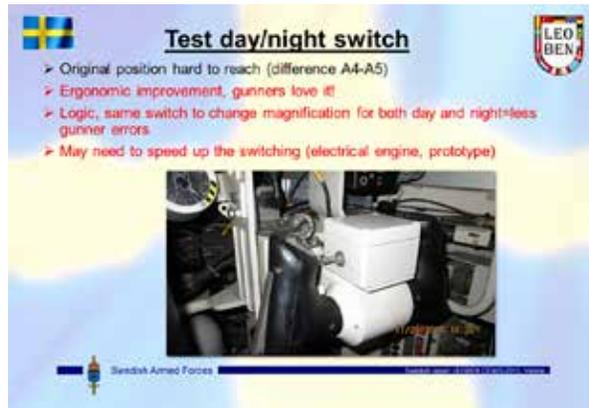


Figura N° 11: “Prueba día y noche del proyecto realizado por Suecia”.

Fuente: Leoben, 2015.

A pesar de que no se pudo acceder al proyecto (lo que habría facilitado el estudio), esta información confirmó la factibilidad de la ejecución y que su implementación sería de utilidad incluso si el tanque recibiera un *Up Grade* (actualización) de su sistema de control de fuego, referido al cambio de la cámara térmica por una de III generación, ya que, específicamente la UCT y los mandos no tienen modificaciones, tanto de componentes como de estructura, ergonomía y ubicación del selector Klein/Gross en las nuevas versiones Leopard.

10 LEOBEN: grupo que reúne a usuarios de tanques Leopard, compuesta por países como Alemania, Austria, Noruega, Dinamarca, Polonia, España, Portugal, Suecia, Finlandia, Canadá, Singapur y Chile.



6. EJECUCIÓN DEL PROYECTO

Siguiendo con la ejecución del proyecto, se procedió a levantar los requerimientos operacionales (RO) del sistema, los que se definen como: “las necesidades o requerimientos del usuario, relacionados con la utilización del sistema y el cumplimiento de la misión”, en el Reglamento RAA 03008 “Proceso de Desarrollo de Capacidades Militares y de Administración del Ciclo de Vida”.

Luego los requerimientos fueron priorizados conforme al objetivo principal, que es diseñar conceptualmente una modificación de la ubicación del selector Klein/Gross de la cámara térmica del tanque Leopard 2A4, que permita optimizar su ergonomía, como sigue:

1. Fácil detección por el artillero.
2. Rápida operación.
3. Óptima ergonomía.
4. Sistema seguro.

Terminado el levantamiento de los requerimientos y las respectivas verificaciones y validaciones, se procedió al análisis funcional, que constituye el siguiente paso en el proceso de ingeniería de sistemas y que cumple la misión de transformar los requisitos del sistema en criterios detallados de diseño y la identificación de los requisitos de recursos específicos a nivel del subsistema e inferior (Blanchard, 1995, p. 47).

Finalmente se procedió a utilizar el *software* PSM32, basado en una “matriz n^2 ”, que tiene por objetivo identificar la relación entre las funciones determinadas con anterioridad, facilitando la conformación de subsistemas que poseerá el sistema de selección de imagen Klein/Gross (Figura N° 12), concluyendo en los siguientes:

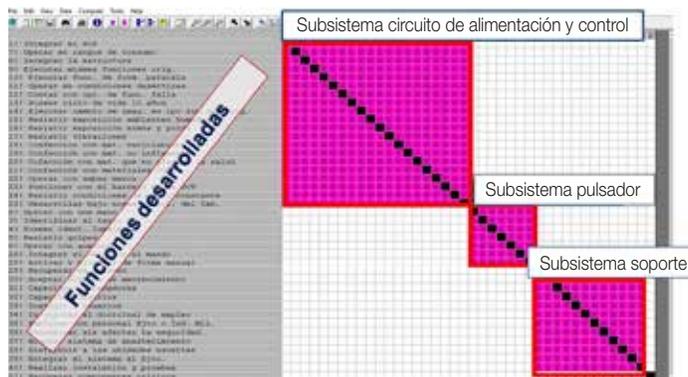


Figura N° 12: “Software PSM32 Matriz n^2 ”.

Fuente: elaboración propia.



7. DISEÑO DEL SISTEMA

Una vez definida la arquitectura funcional, se procedió a diseñar metodológicamente el selector de aumento óptico de la cámara térmica. Como primera medida, se estudió la ergonomía, con la finalidad de establecer la ubicación. Dentro de la amplia gama de estudios que realiza la ergonomía, se decidió investigar los aspectos biomecánicos, que se refieren a posturas y movimientos durante el trabajo, con la finalidad de conocer los procesos, las cargas y su distribución dentro del sistema.

Lo anterior se encuentra basado en el análisis de las diferentes posturas realizadas por el artillero en su interacción con el selector. Se comenzó por la evaluación de las condiciones físicas del puesto de trabajo asociadas al análisis de la actividad, para continuar con el procedimiento, el objeto y, finalmente, el sujeto, tal como se muestra en la Figura N° 13, “Proceso de estudio ergonómico”.



Figura N° 13: “Proceso de estudio ergonómico”.

Fuente: elaboración propia.

En resumen, el procedimiento hace que el movimiento del brazo sea de forma repetitiva en una dirección prácticamente horizontal, lo que genera un desgaste para el usuario, debido a esta acción, además de tener que operar el mando con una mano en ese momento (Figura N° 14).



Figura N° 14: “Movimiento de la mano para el cambio de imagen”.

Fuente: elaboración propia.



El objeto, finalmente, consiste en seleccionar el lugar óptimo de ubicación del selector, con la intención de mejorar la eficiencia del artillero en su empleo, teniendo presente los requerimientos desarrollados en el capítulo anterior, pero viendo la factibilidad tanto estructural como técnica de la implementación, además de cinco variables, analizadas con expertos y usuarios, establecidas como prioritarias a cumplir: distancia a la posición base del artillero, movimiento para su accionamiento, comodidad, seguridad, tiempo de ejecución.

Para poder determinar cuál de las cuatro opciones establecidas es la que reúne las mejores condiciones para la implementación del sistema selector secundario, sin considerar lo solicitado por los usuarios, se utilizó la herramienta “proceso jerárquico analítico” (AHP), a través del programa “Expert Choice” sobre la base de cuatro opciones, cuyo resultado arrojó (Figura N° 15) como el lugar con mayor ponderación las empuñaduras del mando, con un 49,8%.

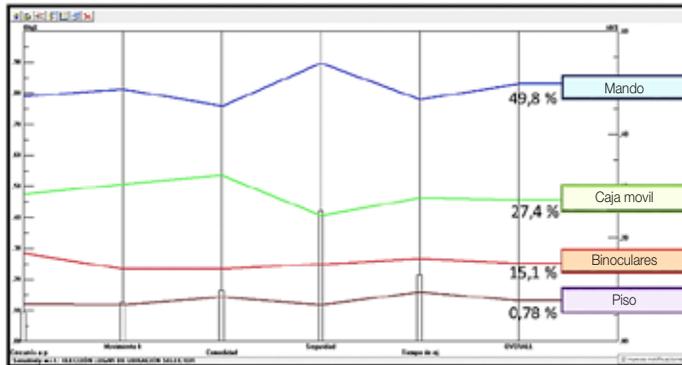


Figura N° 15: “Gráfico del resultado entregado por el programa Expert Choice”.

Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, se verificó con expertos en electrónica, las posibles ubicaciones donde la configuración del mando permitiera insertar un selector (Figura N° 16).



Figura N° 16: “Empuñaduras del mando, vista interior”.

Fuente: elaboración propia.



Analizada la empuñadura en cuanto a los espacios y electrónica, se establecieron cuatro opciones, las que se consultaron a los usuarios del sistema, brigadas acorazadas y CECOM-BAC. Si bien hubo algunas opiniones diferentes, la opción seleccionada fue en la empuñadura izquierda y derecha, en forma de espejo, que quiere decir a ambos lados de igual forma, como los demás componentes del mando, para no limitar al artillero a una sola mano en su empleo, dándole, en último término, mayor libertad de elección y facilidades para su utilización.

Si bien el resultado arrojó que el sistema debía instalarse en el mando, era necesario tener mayor información para establecer el lugar exacto de ubicación, que permitiera que la operación se realizase a una altura alrededor del codo, sin inclinación ni giros del cuerpo, a través de un agarre del mando con una presión dígito-palmar.

Para tal efecto, ocho dimensiones de la mano fueron identificadas como útiles para el diseño de la ubicación del selector: longitud de la mano, longitud de la palma, ancho de la mano, ancho máximo de la mano, diámetro de agarre, espesor de la mano, circunferencia de la mano y circunferencia máxima de la mano. Además de lo anterior, se consideró la longitud de las falanges de los dedos, especialmente la del dedo pulgar, que será el que ejecutará la acción.

Para esto, se consideró un estudio de la mano efectuado por la Escuela de Kinesiología de la Universidad de Chile, titulado “Estudio Piloto de Medidas Antropométricas¹¹ de la Mano y Fuerzas de Prensión, Aplicables al Diseño de Herramientas Manuales”, año 2010 (Tabla N° 1).

DIMENSIONES DE LA MANO	MEDIA DE LAS DIMENSIONES DE LA MANO (CM)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÍNIMO (CM)	MÁXIMO (CM)	POSICIÓN DÍGITO PALMAR
Largo mano	10,43	0,71	9,1	12	
Largo máximo	18,83	1	17,1	21,1	
Ancho mano	8,53	0,56	7,0	9,8	
Ancho máximo	10,55	1,29	8,8	16,5	
Diámetro de agarre	14,97	1,09	12,3	17	
Espesor de la mano	2,8	0,33	2,0	4,0	
Circunferencia de la mano	20,53	1,21	17,8	23,5	
Circunferencia máxima	25,1	1,32	22,1	27,7	
Longitud falange 1	6,47	0,52	5,2	7,4	
Longitud falange 2	9,51	0,62	8,4	11,0	
Longitud falange 3	10,68	0,65	9,4	12,0	
Longitud falange 4	10,12	0,75	8,4	11,8	
Longitud falange 5	7,88	0,62	6,3	9,3	

Tabla N° 1: “Características antropométricas de la mano”.

Fuente: Cubillos, 2010.

11 Antropometría es una rama de las ciencias humanas que se dedica al estudio de las proporciones y las medidas del cuerpo humano.



Debido a esto, se adaptó, finalmente, a la postura natural de asimiento de la mano, lo que derivó en la siguiente ubicación (Figura N° 18).

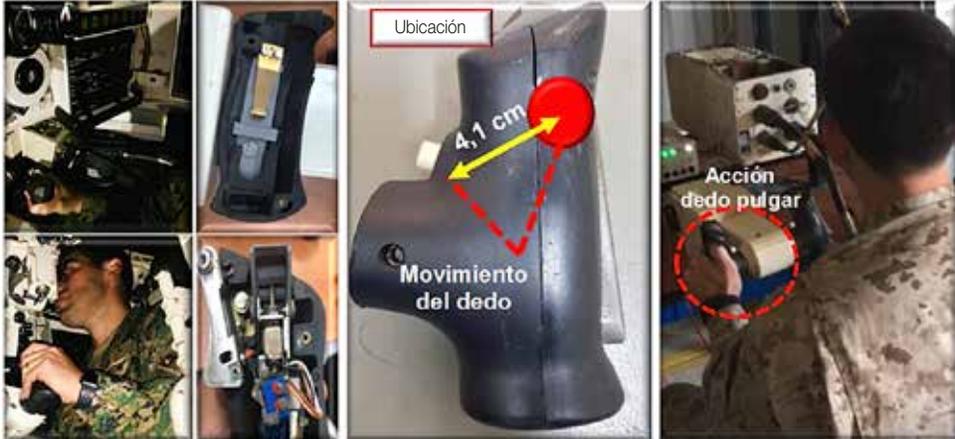


Figura N° 18: "Ubicación propuesta del selector Klein/Gross".

Fuente: elaboración propia.

La ubicación seleccionada permite dar cumplimiento a lo esperado y mencionado con anterioridad, ya que entrega una flexión del dedo pulgar que hace posible transmitir con facilidad la fuerza hacia el selector, reduciendo en gran medida los movimientos y la distancia de desplazamiento que se realizan al utilizar el selector principal de la UCT.

8. SISTEMA DE SELECCIÓN DE IMAGEN KLEIN/GROSS

Para la fase final, en la síntesis del sistema, se procedió a transformar la descripción funcional del sistema en una configuración física de *hardware*, *software*, personal e instalaciones. Es decir, en esta etapa los "qué" se transforman en "cómo", obteniéndose una definición del sistema en términos de sus componentes (configuración preliminar).

Con los antecedentes antes descritos, se procedió a realizar el diseño de un circuito que permitiera ejecutar las mismas funciones que el original, pero esta vez de un pulsador fuera de la UCT. Este trabajo fue realizado en instalaciones de FAMAE, específicamente en el CMEOT con el Sr. Francisco Dechent, donde se llegó a la conclusión que, para cumplir el objetivo planteado, primero había que partir por anclarse a los pines del circuito que se enlazan con la cámara térmica, como también a los pines del selector, circuito que debe poseer toda la electrónica original con la integración del nuevo sistema, que permitiera adaptarse a la UCT. Diseño que finalmente logró, de forma exitosa, el funcionamiento esperado, sin influir en el consumo ni tampoco en el voltaje. Para ello, se cumplió con cierto protocolo de activación como a continuación se detalla:



Diseño conceptual de la modificación de la posición del selector de aumento óptico de la cámara térmica...

- Para activar el nuevo sistema, el selector original de la UCT debe estar en posición Gross y presionar una vez el nuevo pulsador, quedando activado el nuevo sistema, en condiciones de ejecutar los cambios de visión a requerimiento del artillero.
- Para desactivarlo, solo se debe cambiar la posición del selector original de la UCT. Esto quiere decir posición Klein, el cual a su vez realizará el cambio de imagen.
- Para volver a activarlo, solo se debe repetir el punto número uno.
- En caso de falla del nuevo sistema, no afecta el normal funcionamiento del selector original.

Consecuente con lo anterior, se procedió a identificar la tecnología y electrónica necesaria para poder dar cumplimiento a la totalidad de requerimientos y funciones establecidas.

Los componentes y partes de cada subsistema definidos dieron como resultado la arquitectura física definitiva conforme a la Figura N° 19, lo que permitió, a su vez, tener una visión más concreta de cómo sería este diseño (Figura N° 20).

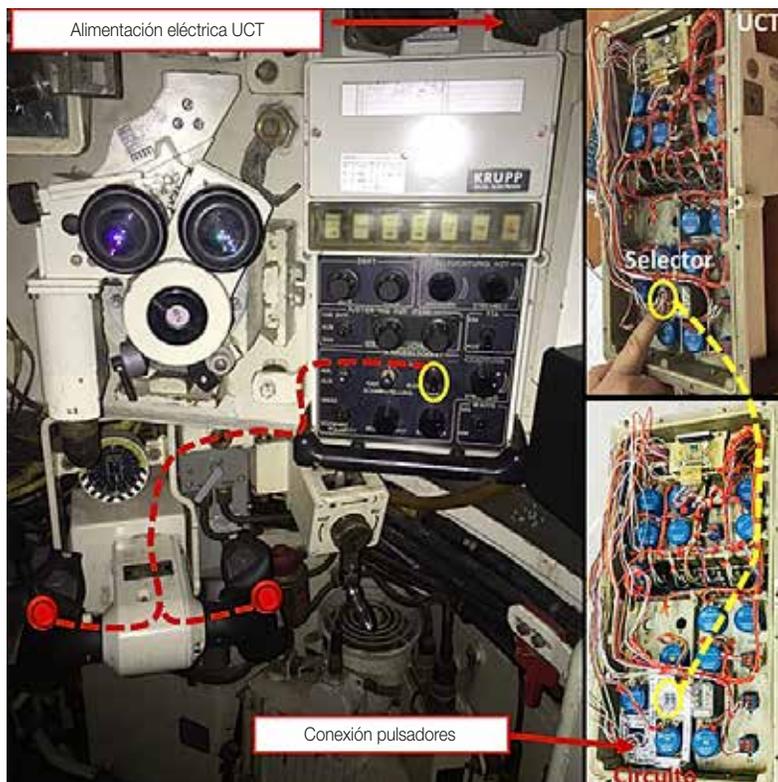


Figura N° 19: "Diseño de arquitectura física".

Fuente: elaboración propia.

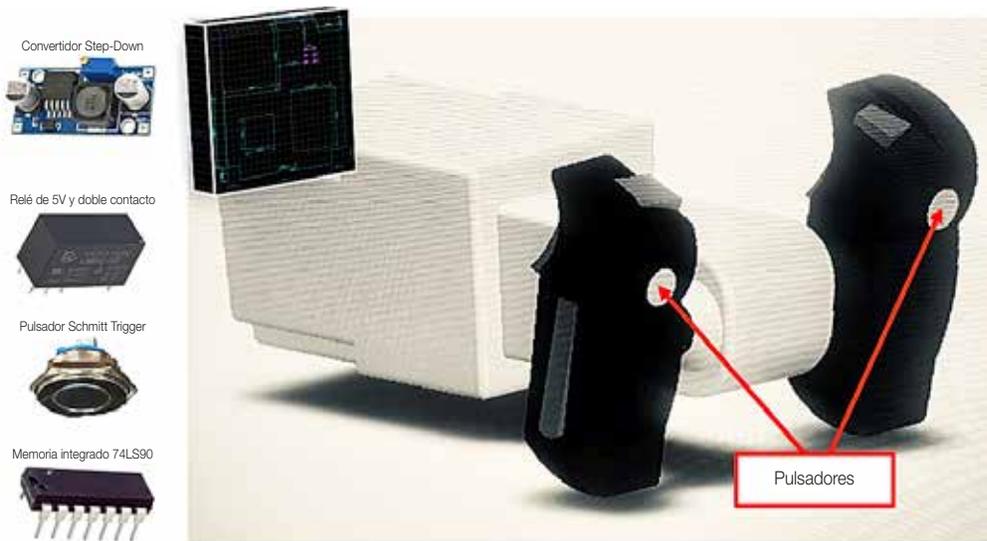


Figura N° 20: "Visión de diseño del sistema".

Fuente: elaboración propia.

9. VALIDACIÓN DEL DISEÑO CONCEPTUAL DEL SELECTOR DE AUMENTO ÓPTICO DE LA CÁMARA TÉRMICA

La validación se realizó a través de un demostrador tecnológico, que incorporó los componentes y partes de los subsistemas seleccionados de acuerdo con sus características técnicas y físicas, el que fue integrado al Sistema de Control de Fuego (SCF) del tanque con la finalidad de someterlo a las pruebas que permitieron la validación correspondiente.

Este trabajo se realizó, principalmente, en dependencias del CMEOT FAMA E, pero, a la vez, contó con la importante participación de la empresa TRES DP, con quien se trabajó el diseño final del mando, específicamente de la empuñadura en impresión 3D. En la fase de validación, en tanto, se trabajó con el Instituto de Investigación y Control del Ejército (IDIC), para la ejecución y validación del sistema sometido a pruebas ambientales de temperatura, humedad y vibraciones.

Finalmente, posterior a las pruebas, se procedió a analizar los datos obtenidos, con la finalidad de establecer los cambios necesarios al diseño y validar el proyecto.

9.1. Construcción del demostrador tecnológico

La construcción del demostrador tecnológico tuvo varias etapas, las que consideraron tanto la confección del circuito de alimentación y control, integración



al SCF y la adaptación del pulsador del mando del artillero, según se detalla a continuación.

9.1.1. Confección del circuito

El circuito, en función al diseño conceptual establecido y a la selección de partes y componentes, derivó en un diseño de circuito conforme a la Figura N° 21 que a continuación se detalla:

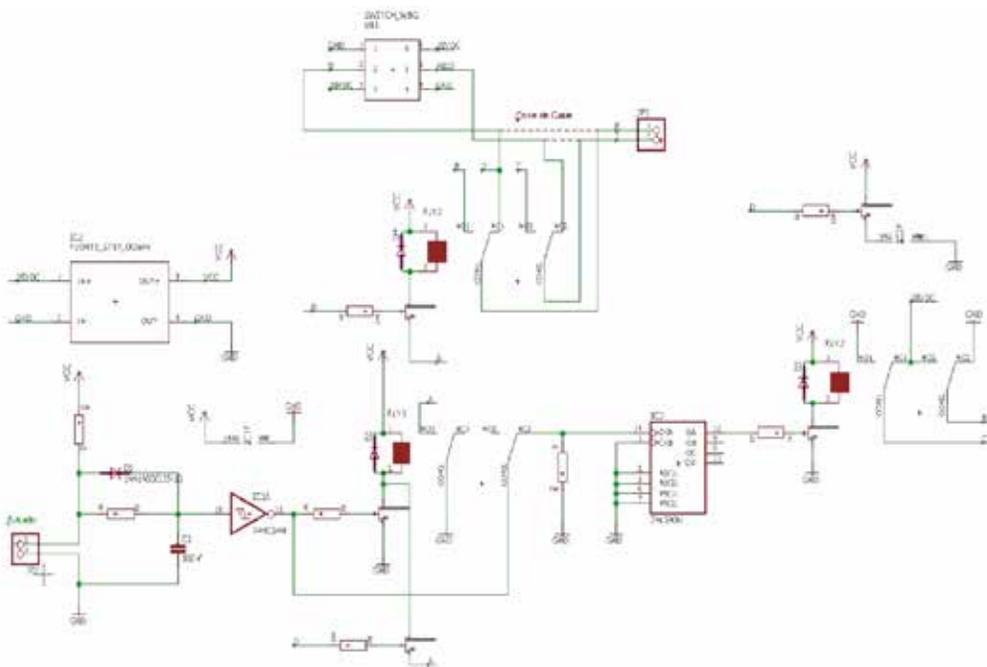


Figura N° 21: "Diseño final del circuito de alimentación y control".

Fuente: Dechent, 2018.

Seguidamente este circuito fue integrado a la tarjeta de circuito impreso (PCB), con las medidas disponibles de la UCT, de lo que se obtuvo el diseño (Figura N° 22), que incluye la totalidad de componentes y partes seleccionados para su funcionamiento, donde se destacan los siguientes:

- N° 1: fuente de alimentación Step-Down.
- N° 2: memoria 74LS90.
- N° 3: control debouncing 74CH14.
- N° 4: conexión pulsador pines 28VDC y 0VDC.
- N° 5: conexión pines R y T que van al motor de la cámara.

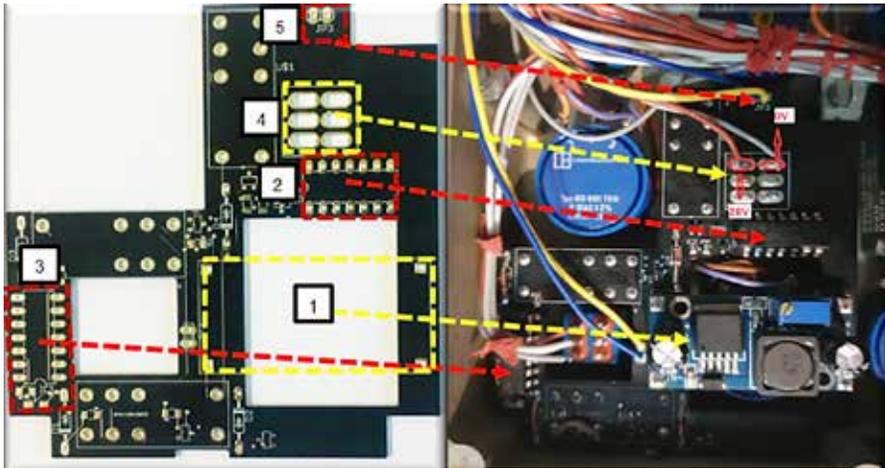


Figura N° 22: "Circuito impreso con integración de componentes y partes".

Fuente: Dechent, 2018.

9.1.2. Integración del pulsador al mando

Ya en funcionamiento el circuito, se hizo necesario ver la forma de insertar el pulsador en el mando con las consideraciones vistas en el análisis ergonómico, la cual siguió la siguiente secuencia:

1) Prueba N° 1: consistió en perforar la empuñadura exterior del mando y ubicar el selector en el lugar seleccionado, conforme al estudio ergonómico de la mano, específicamente del movimiento del dedo pulgar como se muestra en la Figura N° 23.

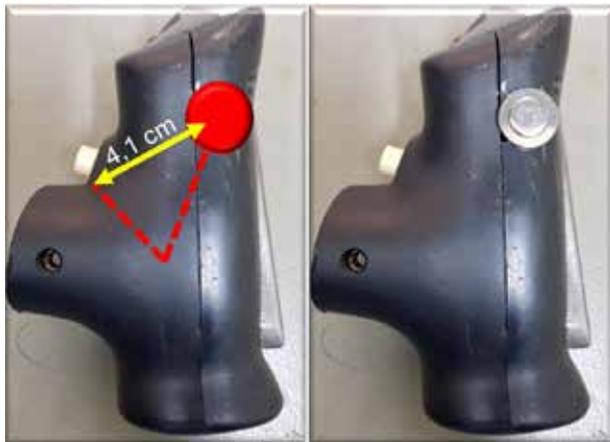


Figura N° 23: "Pulsador, prueba N° 1".

Fuente: elaboración propia.



La ubicación seleccionada permitió instalar el pulsador sin problema. La electrónica interna de la empuñadura no se vio afectada. Sin embargo, existieron puntos a mejorar, ya que el afianzamiento a la estructura no era el óptimo.

2) Prueba N° 2: se buscó la forma de dar solución a este problema añadiendo acero líquido, que permitiera fijar el pulsador a la pieza con la finalidad de poder manipularlo y que este no se mueva al ejercer presión (Figura N° 24).



Figura N° 24: "Pulsador, prueba N° 2".

Fuente: elaboración propia.

Funcionalmente el pulsador cumplía con los requerimientos esperados, pero quedaba la inquietud de mejorar la estética de este, además de revisar la forma de entregar un mejor soporte al pulsador, lo que se fue trabajando en forma paralela mientras se realizaban pruebas de verificación tanto de la funcionalidad como de la integración del sistema.

9.2. Montaje en el banco de pruebas

Para realizar las pruebas de funcionamiento, se procedió a montar los componentes del SCF que están involucrados en el cambio de imagen de la cámara térmica en un banco de pruebas, de manera de integrarlos y poder comprobar que el sistema cumplía con lo esperado, como a continuación se detalla en la Figura N° 25.

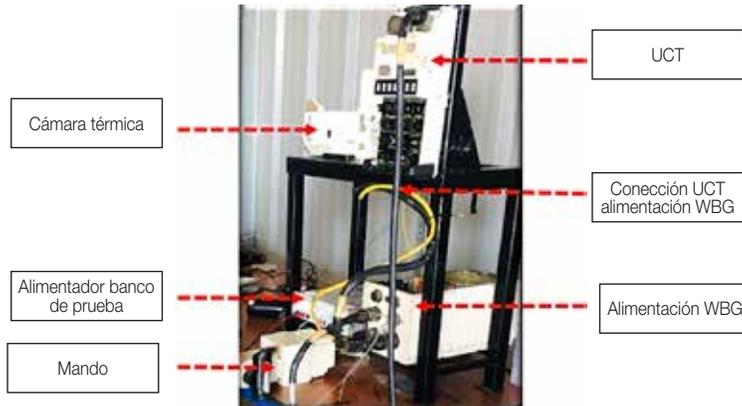


Figura N° 25: “Banco de pruebas demostrador tecnológico”.

Fuente: elaboración propia.

Puesto en funcionamiento el demostrador tecnológico, se pudo verificar, de manera exitosa, el cumplimiento de los objetivos esperados, cumpliendo con el protocolo de activación y requerimientos relevantes como a continuación se detalla:

- 1) Selector original de la UCT en posición Gross.
- 2) Presionar una vez el nuevo pulsador, quedando activado el nuevo sistema, en condiciones de ejecutar los cambios de visión a requerimiento del artillero.
- 3) Desactivarlo, cambiando a posición del selector original de la UCT a Klein, el que realiza, a la vez, el cambio de imagen.
- 4) Activar nuevamente el pulsador, repitiendo punto números uno y dos.
- 5) Simular falla del nuevo sistema, sin afectar el normal funcionamiento del selector original.

Para analizar los tiempos de activación, se utilizó el osciloscopio, midiendo en escala de tiempo el rendimiento de los dos sistemas: el selector original y el propuesto por el proyecto (Figura N° 26).



Figura N° 26: “Osciloscopio con señal de tiempo de activación Zoom Óptico”.

Fuente: Dechent, 2018.



En escala de tiempo de 250 microsegundos, se pudo analizar que el tiempo de alimentación o cambio de polaridad utilizando el sistema original es de 370 microsegundos, además de incluir una gran cantidad de ruido y rebotes a causa del mecanismo interno del interruptor.

En la misma escala de tiempo, el prototipo produce mucho menos ruido que el sistema original, además de concretarse en 200 microsegundos, con lo que se puede determinar que el sistema nuevo puede funcionar de manera más rápida y con menos ruido eléctrico.

9.3. Pruebas ambientales

Posteriormente era necesario someter a pruebas ambientales los equipos UCT y Mando, con los componentes y partes integrados, pruebas que simularán el ambiente de trabajo del tanque Leopard 2A4.

En esta etapa se contó con el apoyo del IDIC, que monitoreó los equipos sometidos a tres pruebas: temperatura, vibración y humedad (Figura N° 27).

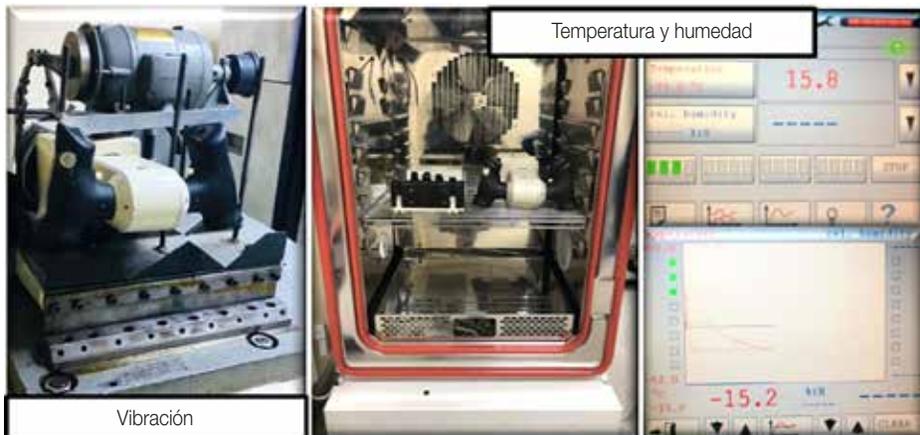


Figura N° 27: "Pruebas de vibración, temperatura y humedad".

Fuente: elaboración propia.

Lo anterior se realizó bajo normas MIL-STD,¹² cuyos resultados (Tabla N° 2) fueron exitosos, ya que en las tres pruebas se cumple con los parámetros de funcionamiento requeridos para su empleo en las condiciones que ofrece el norte del país.

12 Estándar emitido por el Comando de Pruebas de Desarrollo del Ejército de Estados Unidos. El estándar consiste en una serie de pruebas ambientales para demostrar que el equipo cumple con lo necesario para sobrevivir en el campo de batalla.



PRUEBA	REQUERIMIENTO	MÉTODO	CONDICIÓN DE LA PRUEBA	EQUIPO	
				MANDO DEL ARTILLERO	UCT
Inspección visual y funcionamiento	Vibración	MIL-STD-810G w/CHANGE 1 METHOD 514.7	Frecuencia entre 10 a 20 Hz, 1.6 g, durante 30 min vertical y horizontal	Cumple	Cumple
	Alta temperatura y humedad	MIL-STD-810G w/CHANGE 1 METHOD 501.6 y 507.6	Sometido a 50 °C, humedad relativa de 40% durante 4 horas	Cumple	Cumple
	Baja temperatura	MIL-STD-810G w/CHANGE 1 METHOD 501.6	Sometido a -15 °C, durante 4 horas	Cumple	Cumple

Tabla N° 2: "IDIC, resultado de pruebas ambientales".
Fuente: IDIC, 2018.

9.4. Diseño de una empuñadura 3D

Como se mencionó anteriormente, de manera paralela, se estudió la forma de mejorar la ubicación del pulsador, que le entregará un mejor soporte al pulsador y evitará tener que perforar las empuñaduras de los mandos. Es así como se llegó a la empresa Tresdp, especialista en impresiones 3D,¹³ que realizó un trabajo de levantamiento de la estructura del mando del artillero, con la finalidad de trabajar en un diseño que permitiera la instalación del pulsador (Figura N° 28), manteniendo la estructura original de la empuñadura.



Figura N° 28: "Reunión y trabajo de empresa Tresdp".
Fuente: elaboración propia.

13 La tecnología de impresión 3D puede utilizarse para crear todo tipo de cosas, desde prototipos y piezas simples hasta productos finales altamente técnicos, como piezas para aeronaves, edificios ecológicos, implantes médicos que pueden salvar vidas e, incluso, órganos artificiales que se producen con capas de células humanas.



En este trabajo se pasó por varias iteraciones del diseño que, finalmente, derivaron en el modelo de prueba que presenta la Figura N° 29, el que se adapta perfectamente al mando y componentes originales.



Figura N° 29: "Fases Tresdp".

Fuente: elaboración propia.

Una vez finalizado el trabajo de impresión, se procedió a instalar la totalidad de los componentes para ejecutar la prueba final, en el habitáculo del artillero del tanque.

9.5. Implementación en el tanque

Con todos los componentes analizados y probados en el banco de pruebas, se procedió a la implementación en el tanque, con la finalidad de realizar la validación con expertos tanto usuarios como electrónicos (Figura N° 30).



Figura N° 30: "Implementación del sistema en el tanque para su validación".

Fuente: archivo del autor.



La implantación consistió, al igual que en el banco de pruebas, en instalar la UCT con el subsistema circuito y alimentación integrado y el mando con los pulsadores en las bases impresas en 3D, los que debían permitir el cambio de imagen de la cámara térmica, esta vez en forma de espejo, en ambas empuñaduras, sin presentar diferencias a lo anteriormente verificado en el banco de pruebas con un solo pulsador.

Una vez realizada la verificación de funcionamiento, se procedió a efectuar las pruebas de validación (Figura N° 31), conforme a un protocolo confeccionado para este efecto, el que pone finalmente a prueba el sistema y verifica el cumplimiento de los requerimientos que fueron establecidos durante el desarrollo de la presente investigación.



Figura N° 31: "Pruebas de validación".

Fuente: elaboración propia.

9.6. Análisis de datos preestablecidos

Los resultados de las pruebas de validación fueron exitosos prácticamente en su totalidad. El único requerimiento con el que no se cumplió fue el de ser identificado en la oscuridad, el cual es de categoría "deseable", no relevante para el funcionamiento y operación del sistema por parte del artillero.

Por otra parte, se cumplieron los objetivos establecidos en el estudio ergonómico, que buscaban: disminuir la distancia del pulsador a la posición base del artillero; poder realizar un movimiento horizontal para su accionamiento; entregar comodidad; y, a la vez, ser un sistema seguro de manipular, que disminuya los tiempos de activación, aspecto que cumple a cabalidad la modificación de la ubicación del selector propuesta.



De este análisis destacan los tiempos de ejecución de cambios de imagen, el que consistió en pasar del campo *Gross* al campo *Klein*, desde una posición de inicio con ambas manos en el mando del artillero, obteniendo los siguientes resultados (Tabla N° 3).

N°	TIEMPO SELECTOR ORIGINAL UCT	DEMOSTRADOR TECNOLÓGICO
1	2,7 s	0,6 s
2	2,1 s	0,3 s
3	1,98 s	0,4 s
4	2,3 s	0,3 s
5	2,6 s	0,4 s
Promedio	2,34 s	0,4 s

Tabla N° 3: "Comparación de tiempos de ejecución".

Fuente: elaboración propia.

Lo anterior se realizó bajo condiciones ideales de uso y en forma estática, logrando una diferencia de tiempo promedio a favor de 1,94 segundos, lo que en movimiento y, bajo situación de estrés de combate, puede ser incrementado.

Otro punto importante a destacar fue la tranquilidad que dio la nueva ubicación al artillero que ejecutó las pruebas, cumpliendo, como se mencionó en el primer párrafo, con éxito prácticamente la totalidad de los requerimientos operacionales planteados, destacando el no perder la concentración sobre el objetivo y lograr completa integración al sistema de control de fuego, entre otros, lo que finalmente se concluyó con la impresión en 3D de la empuñadura final (Figura N° 32).



Figura N° 32: "Impresión 3D final".

Fuente: elaboración propia.



Con los antecedentes y resultados obtenidos, se da por validada la presente investigación, resultado gratificante, ya que este trabajo mejora de manera trascendental la eficiencia de combate del sistema de armas más importante que posee la Fuerza Terrestre, el tanque Leopard 2A4.

10. CONCLUSIONES

Se dio cumplimiento al objetivo de la investigación, que consistía en desarrollar un diseño conceptual de la modificación de la posición del selector de aumento óptico de la cámara térmica del tanque Leopard 2A4, que optimice su ergonomía y entregue una mayor eficiencia tanto en la búsqueda de objetivos como en el tiro.

El nuevo sistema permite una mayor concentración en el visor térmico y disminuye los movimientos que se realizan al tener que ubicar y utilizar el selector de la UCT, lo que, a la vez, entrega tranquilidad para el usuario en un ambiente de estrés.

Se redujo en un 83% el tiempo en el cambio de imagen, lo que se traduce en una disminución en el tiempo del tiro y de la probabilidad de ser dado de baja por el adversario, en caso de enfrentamiento.

El levantamiento metodológico de los requerimientos permitió que, finalmente, se diera cumplimiento al 97,5% de estos.

Se alcanzó la meta impuesta por el investigador, la cual consistía en buscar una solución innovadora, eficiente y económica. Lo anterior, debido a que los costos de los materiales para la implementación del nuevo sistema fue de \$151.081, sin considerar la mano de obra. Es importante destacar que este trabajo puede ser ejecutado tanto por la industria militar (FAMAE), como por las unidades de mantenimiento del Ejército, con la correspondiente capacitación.

El proyecto es, sin lugar a dudas, una demostración de la capacidad tanto del personal de ingenieros que prepara la Institución como el de la Industria Militar, quienes poseen competencias para incorporar tecnología en la optimización de sistemas de armas, mejorando sus prestaciones de diseño y facilitando el empleo de los usuarios.

BIBLIOGRAFÍA

Blanchard, B. (1995). *Ingeniería de sistemas*. Madrid: ISDEFE.

Bursuk, C. (2018). Entrevista hecha por Juan Beyer. Santiago de Chile: ACAPOMIL.



CECOMBAC (2016). Curso Artillero. *Presentación de aparatos de observación y puntería del tanque Leopard 2A4*. Iquique, Chile: Ejército de Chile.

Cerda, E. (2014). *Apuntes de la cátedra de ergonomía*. Santiago de Chile: ACAPOMIL.

Cubillos, N. (2010). *Estudio piloto de medidas antropométricas de la mano y fuerzas de prensión, aplicables al diseño de herramientas manuales*. Santiago, Chile: Universidad de Chile.

Dechent, F. (2018). *Ingeniero electrónico*. Santiago, Chile: CMEOT, FAMAE.

División Doctrina (2011). *Manual del Tanque y Pelotón de Tanque, MDO-60303*. Santiago, Chile: Ejército de Chile.

División Doctrina (2014). *Manual de Operación del Tanque Leopard 2A4, CDO-70301*. Santiago, Chile: Ejército de Chile.

División Doctrina (2014). *Manual de Proceso de Desarrollo de Capacidades Militares y Administración del Ciclo de Vida, RAA-03008*. Santiago, Chile: Ejército de Chile.

IDIC (2018). *Informe técnico de pruebas ambientales*. Santiago, Chile: Ejército de Chile.

Krauss, Maffei (2018). *Presentación propuesta cámara térmica ATTICA*. Santiago, Chile: FAMAE.

Leoben Combat Developmed Working Group Meeting. (2015). *Presentación Swedish Armed Forces*. Viena, Austria.

Quiñones, E. (2018). *Clases de Ingeniería de Sistemas*. Santiago, Chile: ACAPOMIL.

Díaz, M. (2018). *Clases de Sistemas Tecnológicos Militares*. Santiago, Chile: ACAPOMIL.