

# ARTÍCULOS



## BOLETÍN CIENTÍFICO TECNOLÓGICO

ACADEMIA POLITÉCNICA MILITAR

**DISEÑO DE UN PLAN DE VIGILANCIA PARA EL FUSIL  
GALIL ACE 22 NC, PARA SER APLICADO EN LA ETAPA DE  
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL CICLO DE VIDA**

**MAY. FELIPE TORRES ARIAS**





# DISEÑO DE UN PLAN DE VIGILANCIA PARA EL FUSIL GALIL ACE 22 NC, PARA SER APLICADO EN LA ETAPA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL CICLO DE VIDA

MAY. Felipe Torres Arias.<sup>1</sup>

**Resumen:** *en el presente artículo se dará a conocer la metodología ocupada para desarrollar una herramienta de ingeniería de mantenimiento que tiene por objetivo controlar los parámetros técnicos más relevantes durante la etapa de empleo del fusil Galil ACE 22 NC. Se recopiló antecedentes relativos al proceso de adquisición del fusil, estrategias de mantenimiento institucional y la actual forma de cómo se controlan los parámetros técnicos, a partir de los cuales se determinaron fallas y debilidades del proceso, principalmente, debido a que no existen modelos de seguimiento para el control. Con el empleo de herramientas de ingeniería de mantenimiento y apoyado por normas chilenas, se desarrolló un Plan de Vigilancia con el objeto de implementar un control efectivo, a través de una muestra representativa a nivel nacional para someterlas a evaluación de la conformidad y verificar que los fusiles empleados en la Fuerza Terrestre (después de la certificación inicial), cumplen con los requisitos especificados en toda la etapa de operación y mantenimiento del ciclo de vida.*

**Palabras clave:** *Fusil, parámetros técnicos, ciclo de vida, evaluación de la conformidad y plan de vigilancia.*

**Abstract:** *the aim of the present article is to present the methodology used to develop a maintenance engineering tool which aims to control the most relevant technical parameters during the stage of employment for the Galil ACE 22 NC rifle. Background information was collected on the acquisition process of the rifle, institutional maintenance strategies and the current way of controlling technical parameters, finding failures and*

---

<sup>1</sup> Ingeniero Politécnico Militar en Sistemas Logísticos, mención Mantenimiento.



*weakness of the current system, mainly because there are no monitoring models to control. With the use of maintenance engineering tools and supported by Chilean standards, a Monitoring Plan was developed in order to implement effective control, through a representative sample at the national level, for conformity assessment, and to verify that the guns used in the land force (after the initial certification), meet the specified requirements throughout the life cycle operation and maintenance stage.*

**Key words:** Rifle, technical parameters, lifecycle, conformity assessment and surveillance plan.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Ejército de Chile está en un proceso de modernización y se encuentra adquiriendo nuevos sistemas de armas y/o material militar, dentro de ellos los fusiles Galil ACE 22 NC para ser empleados en la Fuerza Terrestre.

La institución, a través del mantenimiento, asegura la capacidad operacional que se requiere para accionar en tiempo de paz, así como en el desarrollo de operaciones militares. Es por esto que el mantenimiento comprende el conjunto de acciones destinadas a conservar y/o restablecer el normal funcionamiento del inventario bélico y a actualizar y/o mejorar sus características operacionales. Bajo este concepto, la estrategia de mantenimiento institucional destinada a los fusiles está encuadrada en un mantenimiento preventivo inspectivo y programado, el cual abarca las correspondientes Listas de Operación del Material (LOM) y Listas de Inspección del Material (LIM), con tareas de mantenimiento como engrasar, lubricar, limpiar y controlar.

Por otro lado, la institución requiere del fusil un desempeño mínimo en todo su ciclo de vida, por ejemplo, batir objetivos a 300 metros con una energía remanente de 420 Julios, exigencia que solo se controla en la etapa de materialización de la inversión, donde los fusiles son sometidos a controles de calidad, los que certifican el cumplimiento de las exigencias requeridas. En función de lo aquí expresado se puede inferir que no existe otra instancia de control en la etapa de operación y mantenimiento, tal como un mantenimiento predictivo que analice, examine, evalúe, investigue o diagnostique si el fusil sigue cumpliendo con el desempeño mínimo. Por lo tanto, se evidencia una incertidumbre en el desempeño de los rendimientos técnicos durante la etapa de empleo.

En virtud de lo anterior, y al no contar con métodos de control o un sistema que permita evaluar, surge la necesidad de diseñar un Plan de Vigilancia, con el propósito de controlar periódicamente el desempeño técnico en la etapa de operación y mantenimiento.



## 2. DESARROLLO

### 2.1. Problema de Investigación

En las políticas institucionales no existe una metodología que controle los parámetros técnicos de un sistema de armas en la etapa de operación y mantenimiento, ya que esta solo existe en la etapa de recepción. Producto de lo anterior, queda de manifiesto una incertidumbre en la consolidación de la capacidad militar adquirida en la institución.

Para seleccionar la mejor alternativa de solución se aplicará la metodología AHP<sup>2</sup>, la que utiliza comparaciones entre pares de elementos, al construir matrices y usar álgebra matricial para establecer prioridades entre los elementos de un nivel. Las tres alternativas de solución que se estudiarán son las siguientes:

- A. Alternativa 1: adquirir nuevo material de control técnico para las unidades.
- B. Alternativa 2: crear un plan de vigilancia para el fusil Galil ACE 22 NC.
- C. Alternativa 3: mantener el sistema actual.

Luego se conformó un panel de expertos con personal del Instituto de Investigación y Control del Ejército de Chile (IDIC), especialistas en el área de interés de las alternativas de solución. El personal es el siguiente:

- A. Jefe del Laboratorio de Armamento y Munición.
- B. Jefe del Laboratorio de Resistencia Balística.
- C. Analista de Armamento y Munición.
- D. Analista de Ensayos Balísticos.

Los cuatro criterios determinados por el panel de expertos se relacionan con las tres alternativas de solución, con el fin de obtener un resultado metodológico lo más real posible, como se detalla en la figura N° 1.

---

2 Corresponde al acrónimo de "Analytic Hierarchy Process", lo que significa en español: Proceso Jerárquico Analítico.



Figura N° 1: "Definición de criterios".

Fuente: TORRES Arias, Felipe. (IPM) Diseño de un Plan de Vigilancia para el fusil Galil ACE 22 NC, memoria, año 2017.

El objetivo de seleccionar los cuatro criterios es encontrar la mejor alternativa de solución, para obtener de una mejor forma un eficiente control de los parámetros técnicos del fusil Galil ACE 22 NC, en la etapa de operación y mantenimiento. Una vez definidos los criterios, se realiza la ponderación correspondiente a través de la metodología de Saaty:<sup>3</sup>

Tabla N° 1: "Aplicación de la metodología Saaty"

	Costo	Calidad	Seguridad	Equipamiento	Matriz normalizada				Vector Promedio
Costo	1,00	0,11	0,14	1,00	0,06	0,02	0,03	0,19	<b>0,074</b>
Calidad	9,00	1,00	3,00	0,20	0,50	0,16	0,67	0,04	<b>0,341</b>
Seguridad	7,00	0,33	1,00	3,00	0,39	0,09	0,22	0,58	<b>0,310</b>
Equipamiento	1,00	5,00	0,33	1,00	0,06	0,78	0,07	0,19	<b>0,275</b>
Suma	18,00	6,44	4,48	5,20					1,00

Fuente: TORRES Arias, Felipe. (IPM) Diseño de un Plan de Vigilancia para el fusil Galil ACE 22 NC, memoria, año 2017.

Una vez realizado los correspondientes cálculos, se obtienen las ponderaciones de los cuatro criterios como se muestra en la figura N° 2.

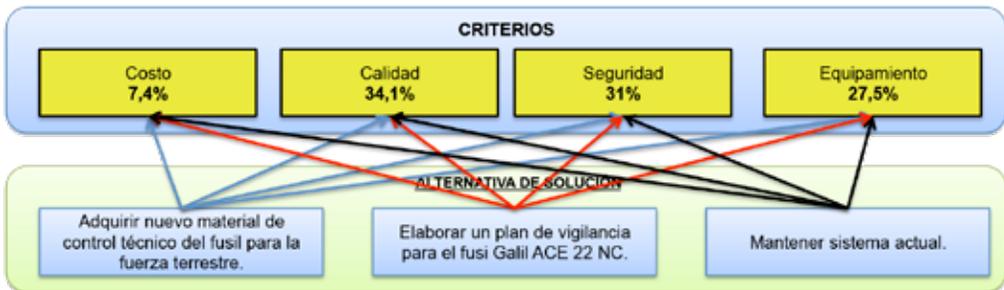


Figura N° 2: "Ponderación de criterios".

Fuente: TORRES Arias, Felipe. (IPM) Diseño de un Plan de Vigilancia para el fusil Galil ACE 22 NC, memoria, año 2017.

3 Metodología basada en matemática y psicología, fue creada en los años 70 por Thomas L. Saaty, quien utilizó en su diseño el Proceso Jerárquico Analítico para decisiones complejas.



Obtenidas las ponderaciones de cada criterio y normalizada la matriz, se realizó la evaluación de las alternativas de solución como se muestra en la tabla N° 2:

**Tabla N° 2: “Evaluación de las alternativas”.**

COSTO	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Matriz normalizada			Vector Promedio
Alternativa 1	1,00	0,14	0,11	0,06	0,03	0,08	0,06
Alternativa 2	7,00	1,00	0,33	0,41	0,24	0,23	0,29
Alternativa 3	9,00	3,00	1,00	0,53	0,72	0,69	0,65
Suma	17,00	4,14	1,44				1,00

CALIDAD	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Matriz normalizada			Vector Promedio
Alternativa 1	1,00	0,33	3,00	0,23	0,22	0,33	0,26
Alternativa 2	3,00	1,00	5,00	0,69	0,65	0,56	0,63
Alternativa 3	0,33	0,20	1,00	0,08	0,13	0,11	0,11
Suma	4,33	1,53	9,00				1,00

SEGURIDAD	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Matriz normalizada			Vector Promedio
Alternativa 1	1,00	3,00	7,00	0,68	0,71	0,54	0,64
Alternativa 2	0,33	1,00	5,00	0,23	0,24	0,38	0,28
Alternativa 3	0,14	0,20	1,00	0,10	0,05	0,08	0,07
Suma	1,48	4,20	13,00				1,00

EQUIPAMIENTO	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Matriz normalizada			Vector Promedio
Alternativa 1	1,00	0,33	0,11	0,08	0,05	0,08	0,07
Alternativa 2	3,00	1,00	0,20	0,23	0,16	0,15	0,18
Alternativa 3	9,00	5,00	1,00	0,69	0,79	0,76	0,75
Suma	13,00	6,33	1,31				1,00

Fuente: elaboración propia.

Una vez realizada la totalidad de las comparaciones de la metodología de Saaty, se realiza una razón de consistencia (*RC*) para buscar la tolerancia permitida con el fin de verificar que las ponderaciones calculadas no tengan incongruencias, de lo que se obtuvieron los siguientes resultados por criterio:

- A. Costo :  $RC = - 0,107$
- B. Calidad :  $RC = 0,041$
- C. Seguridad :  $RC = 0,073$
- D. Equipamiento :  $RC = 0,039$

Finalmente, la mejor alternativa de solución fue la número 2 con un 37,5%, por sobre la alternativa 1 con un 31,2% y la alternativa 3 con un 31,3%, como se detalla en la tabla N° 3:



**TABLA Nº 3: “RESULTADOS DE EVALUACIÓN”**

	Costo	Calidad	Seguridad	Equipamiento	Total	Ranking
Alternativa 1	0,06	0,26	0,64	0,07	0,312	3º
Alternativa 2	0,29	0,63	0,28	0,16	0,375	1º
Alternativa 3	0,65	0,11	0,07	0,75	0,313	2º
Ponderación	0,074	0,341	0,31	0,275		

Fuente: elaboración propia.

De esta forma, se concluye que elaborar un Plan de Vigilancia para el fusil Galil ACE 22 NC para la etapa de operación y mantenimiento es la mejor alternativa de solución. Finalmente, con dicho propósito, se desarrolló una secuencia metodológica viable para un correcto avance en cada una de las tareas.



Figura Nº 3: “Metodología y secuencia metodológica”.

Fuente: TORRES Arias, Felipe. (IPM) Diseño de un Plan de Vigilancia para el fusil Galil ACE 22 NC, memoria, año 2017.

## 2.2. Estado del Arte

La investigación comienza con la identificación, estudio y análisis de protocolos de seguimiento de control a nivel institucional, extrainstitucional y nacional, a partir de lo cual se obtuvieron los siguientes resultados:



Diseño de un plan de vigilancia para el fusil Galil ACE 22 NC, para ser aplicado en la etapa de...

- A. En IDIC se identificó el análisis de la munición como seguimiento de control. Luego de conocido el proceso, se examinó la metodología adoptada y se determinó que su objetivo principal era la extensión de la vida útil y verificar el estado.
- B. En la FACH se identificó el seguimiento del comportamiento del fuselaje del avión F-16 MLU. Se analizó la metodología que se ocupa para realizar el seguimiento y se determinó que el objetivo principal de este sistema era poder controlar el comportamiento del fuselaje conforme a los respectivos vuelos y, así, calcular la vida útil del avión. El sistema es denominado “Proceso de integridad estructural de avión”.



Figura N° 4: “Sistema de control y análisis de ASIP”.

Fuente: Lockheed Martin Aeronautics Company, [www.lockheedmartin.com](http://www.lockheedmartin.com)

- C. En Metro de Santiago S.A., se identificó el seguimiento a los rieles de las vías en líneas de alta velocidad de Europa. Se logró reconocer la metodología que se emplea en este control y se estableció que el objetivo principal es determinar la degradación de los parámetros del perfil del riel.

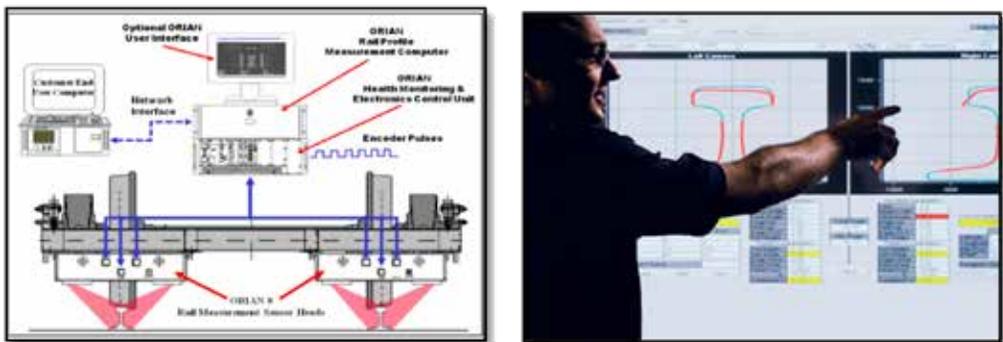


Figura N° 5: “Proceso y análisis de la información de inspección de rieles”.

Fuente: [www.rail-vision.com](http://www.rail-vision.com)



### 2.3. Diseño de la metodología

Para realizar el diseño se analizaron las metodologías aplicadas en cada uno de los seguimientos identificados en el punto anterior, siendo estas desagregadas en un diagrama de flujo como se muestra a continuación:

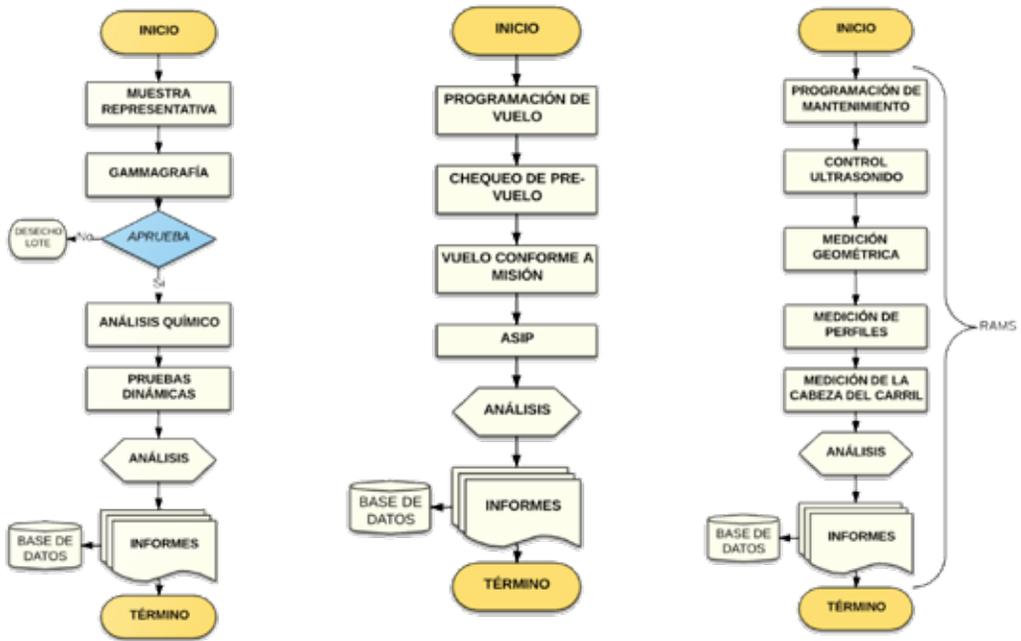


Figura N° 6: “Metodología de seguimiento de IDIC, FACH y METRO, respectivamente”

Fuente: [www.rail-vision.com](http://www.rail-vision.com)

Obtenidos estos resultados, se analizaron los siguientes antecedentes:

- A. Requerimientos Operacionales del proyecto “Esparta”.
- B. Protocolos de pruebas de recepción del fusil Galil ACE 22 NC.
- C. Informe de verificación de calidad de IDIC.

Los antecedentes relacionados con los informes de verificación de calidad realizados por IDIC se analizaron con un herramienta que permitiera detectar cuáles de las novedades eran más relevantes que las otras. Para tal efecto se realizó un análisis de Pareto, el cual dio como resultado que el 80% de las novedades eran causadas por dos pruebas: “Inspección técnica al fusil desarmado” y “Control operacional”, como se detalla en la figura N° 7.



Diseño de un plan de vigilancia para el fusil Galil ACE 22 NC, para ser aplicado en la etapa de...

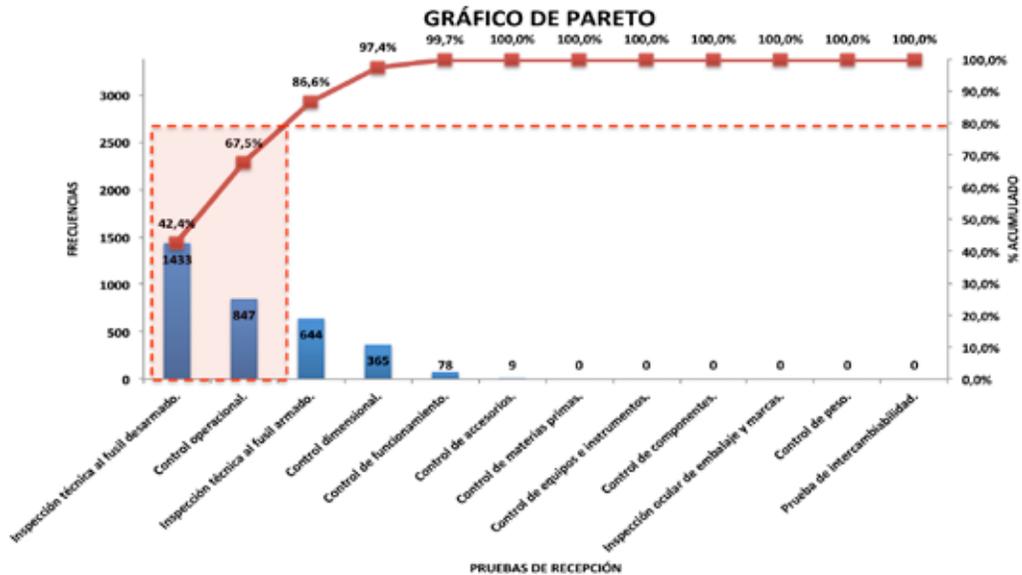


Figura N° 7: "Análisis de Pareto".

Fuente: TORRES Arias, Felipe. (IPM) Diseño de un Plan de Vigilancia para el fusil Galil ACE 22 NC, memoria, año 2017.

Finalmente, con el estudio y análisis de todos los antecedentes recopilados, se determinó la metodología a ocupar para diseñar el Plan de Vigilancia, como se detalla en la figura N° 8.

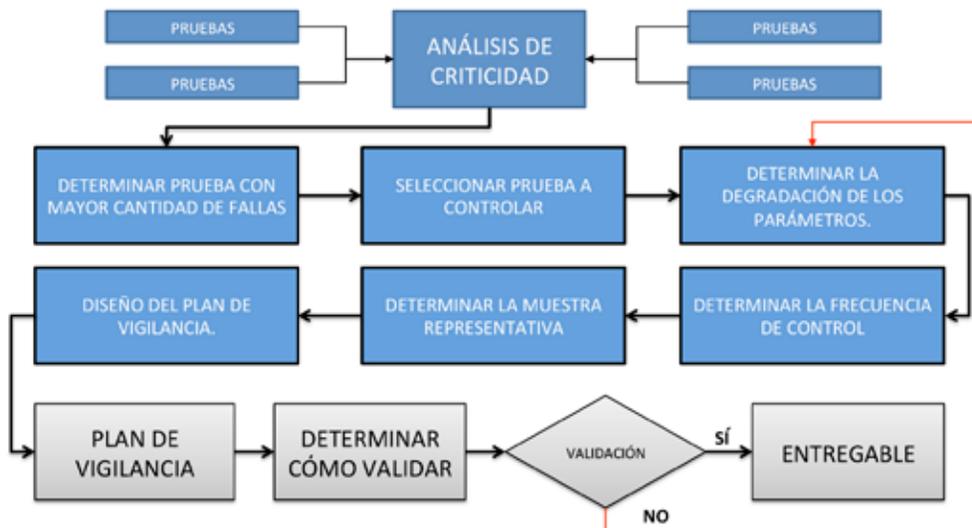


Figura N° 8: Metodología para diseñar el Plan de Vigilancia.

TORRES ARIAS, Felipe. (IPM) Diseño de un Plan de Vigilancia para el fusil Galil ACE 22 NC, memoria, año 2017.



## 2.4. Diseño del Plan de Vigilancia

Para poder diseñar metodológicamente el Plan de Vigilancia se ocuparon normas chilenas y herramientas de ingeniería. Como primera medida, se analizaron los resultados de Pareto, con el propósito de crear una estructura que facilite la toma de decisiones acertadas y efectivas y permita direccionar a qué prueba debe ir destinado el Plan de Vigilancia. Para tal efecto, se realizó un “Análisis de criticidad” a las dos pruebas de la recepción cualitativa.

Modo falla	Frecuencia	Consecuencia	CONSECUENCIA					Criticidad
			Seguridad	Tiempo de abastecimiento	Falla oculta	Impacto operacional	Lugar de mantenimiento	
A1 Terminación superficial interior de la recámara: con desgarramiento de material, oxidación o discontinuidades.	1433	42,00	9	6	9	9	9	60186
A2 Prueba de sobrepresión	13	42,00	9	6	9	9	9	546
A3 Prueba de funcionamiento simple	185	10,00	1	6	1	1	1	1850
A4 Prueba de cadencia	107	34,00	1	6	9	9	9	3638
A5 Prueba de precisión	63	34,00	1	6	9	9	9	2142
A6 Prueba de inspección técnica final	478	10,00	1	6	1	1	1	4780
A7 Prueba de velocidad	1	37,00	1	9	9	9	9	37

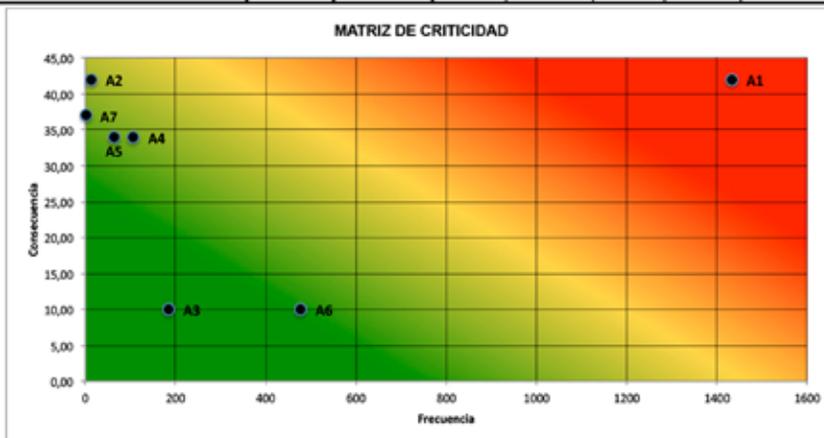


Figura N° 9: “Análisis de criticidad”.

Fuente: TORRES Arias, Felipe. (IPM) Diseño de un Plan de Vigilancia para el fusil Galil ACE 22 NC, memoria, año 2017.

Se obtuvo como resultado que la “Terminación superficial interior de la recámara” es la más crítica con 60.186 puntos como se detalla en la figura N° 9. Además, se presenta con las figuras N° 10 y 11 las inspecciones de control.

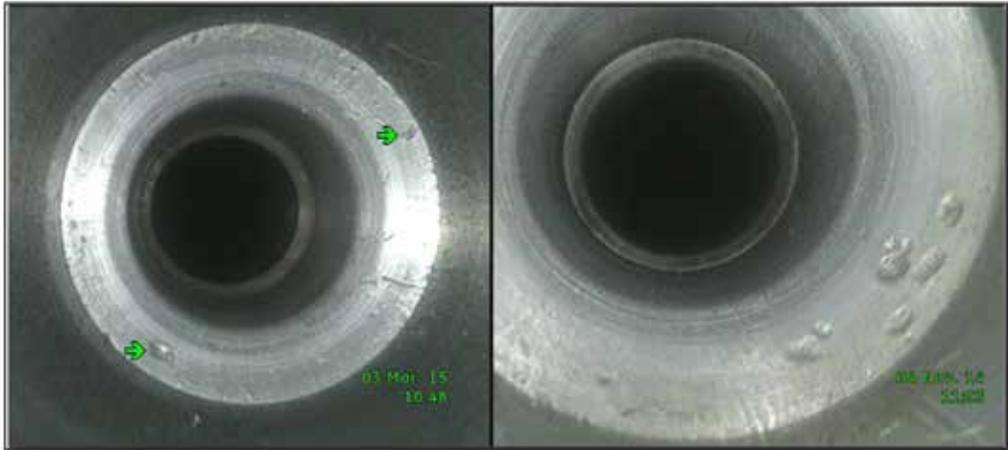


Figura N° 10: "Desgarramiento y desprendimiento de material en recámara del cañón".

Fuente: Control de calidad, IDIC.

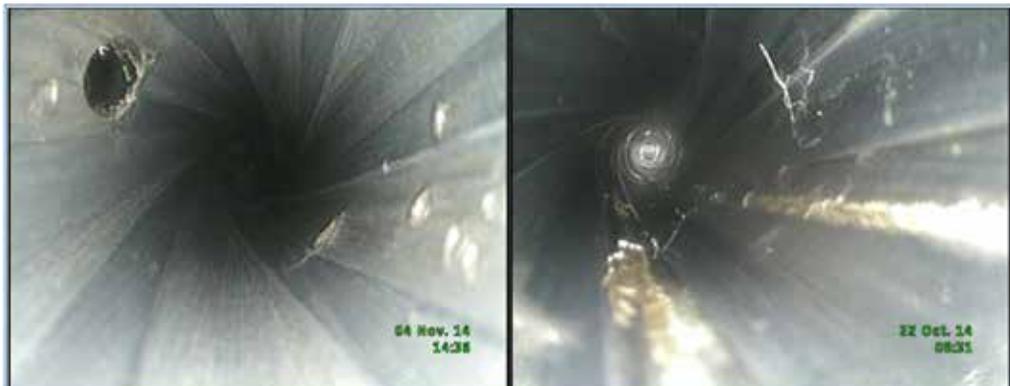


Figura N° 11: "Discontinuidades y rayaduras en el cañón".

Fuente: Control de calidad, IDIC.

Posterior a este resultado, se realizó un "Análisis de Modo de Falla y Efectos" (AMFE) al componente más crítico que resultó ser del análisis de criticidad, con el propósito de levantar predicciones de posibles fallas que podrían ocurrir. Los resultados obtenidos por el AMFE antes de aplicar las acciones de vigilancia nos permiten tener como observación que las causas más críticas que deben ser atendidas son "Desprendimiento de material (cromo, estrías o campo)", "Desformaciones plásticas en recámara" y "Discontinuidad de rectitud de cañón", conforme al gráfico de la figura N° 12.

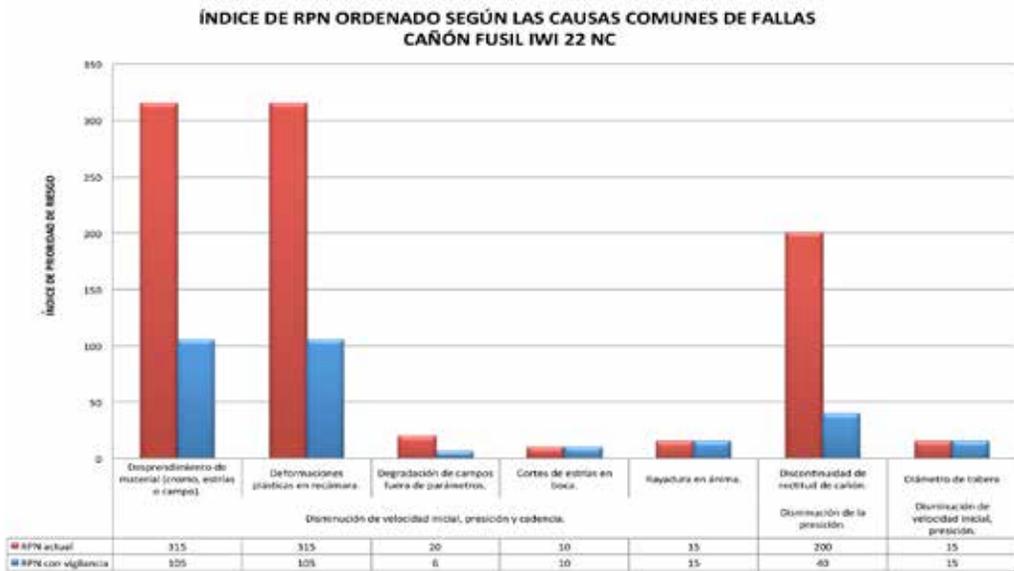


Figura N° 12: “Índice de prioridad de riesgo AMFE”.

Fuente: TORRES Arias, Felipe. (IPM) Diseño de un Plan de Vigilancia para el fusil Galil ACE 22 NC, memoria, año 2017.

Luego se determinó la degradación del parámetro técnico seleccionado, con el propósito de estimar, en función al uso, cuál es la degradación que debiera tener en el ciclo de vida. Para tal efecto, se realizó un experimento balístico en el Laboratorio de Armamento y Munición del IDIC. La metodología aplicada, conforme a la literatura *Metodología de la Investigación* de Hernández, Fernández y Baptista, corresponde a un estudio de enfoque cuantitativo, con nivel de investigación explicativa y de diseño experimental, empleando la recolección de datos a través de la observación, medición numérica y el análisis estadístico.

Como primer requisito para realizar el experimento, se establecieron las variables dependientes e independientes. Las variables dependientes fueron aquellas cuyo valor dependiera del valor numérico que adopta la variable independiente, tales como: la velocidad inicial, precisión, cadencia y medición de avance de cono en la recámara. Por otro lado, la variable independiente es el factor que permite manipular sistemáticamente el resultado de la variable dependiente, lo que da como resultado la “causa” en relación con lo que se está estudiando. Para este efecto, la variable independiente será la cantidad de tiros disparados en el fusil.

La prueba consiste en disparar 6.000 (seis mil) tiros, a través de un protocolo dispuesto y especificado en la “STANAG AC225/D14” y “ST-QCL-R-0041-00, AC22NC Rifle 5,56 mm Final Inspection Specification & Acceptance Test Procedure”. Con la



finalidad de dar inicio a la prueba experimental fue necesario tener determinadas las variables dependientes e independientes y, así, poder escoger el material a ocupar, el cual se muestra a continuación:

#### A. Armamento

Se utilizó el Fusil Galil ACE 22 NC N° 46181533, como se muestra en la figura N° 13, el cual ya había sido sometido a una prueba de resistencia (6.000 tiros), el 31 de mayo de 2016.



Figura N° 13: "Fusil Galil ACE 22 NC N° 46181533".

Fuente: TORRES Arias, Felipe. (IPM) Diseño de un Plan de Vigilancia para el fusil Galil ACE 22 NC, memoria, año 2017.

#### B. Munición, cargadores y portacargadores

Se utilizaron 6.000 tiros 5,56 x 45 mm, 50 cargadores de 30 tiros estándar OTAN y 5 portacargadores, como lo muestra la figura N° 14.



Figura N° 14: "Munición 5,56 x 45, cargadores y portacargadores".

Fuente: TORRES Arias, Felipe. (IPM) Diseño de un Plan de Vigilancia para el fusil Galil ACE 22 NC, memoria, año 2017.



### C. Cronógrafo Balístico (Optical Target System)

Es un instrumento de medición de velocidades, compuesto por pórticos sensoriales de mecanismo cronográfico opto-electrónico (combina óptica y electrónica), detallado en la figura N° 15. Funciona por medio de células fotoeléctricas que detectan la sombra de la bala al atravesar un haz de luz y calcula, mediante un algoritmo, la velocidad instantánea de la bala.



Figura N° 15: "Cronógrafo Balístico".

Fuente: TORRES Arias, Felipe. (IPM) Diseño de un Plan de Vigilancia para el fusil Galil ACE 22 NC, memoria, año 2017.

### D. Programa computacional

El programa se encuentra conectado al cronógrafo balístico, procesando datos y entregando información en boletines de velocidad, precisión, cadencia y evaluaciones estadísticas, como se muestra en figura N° 16.



Figura N° 16: "Programa computacional".

Fuente: TORRES Arias, Felipe. (IPM) Diseño de un Plan de Vigilancia para el fusil Galil ACE 22 NC, memoria, año 2017.



#### E. Pie de metro digital y calibrador de avance de cono en recámara.

Se utilizó para medir longitudes en fracciones milimétricas en el avance de cono en recámara del cañón. Se muestra en la figura N° 17.



Figura N° 17: "Pie de metro digital y calibrador de avance de cono".

Fuente: TORRES Arias, Felipe. (IPM) Diseño de un Plan de Vigilancia para el fusil Galil ACE 22 NC, memoria, año 2017.

#### F. Videoscopio Everest XLG3

Herramienta tecnológica que permite la inspección visual remota y medición exacta de defectos. En el experimento se utilizó para inspeccionar el cañón del fusil cada 600 tiros disparados, de tal forma de observar el comportamiento de posibles desprendimientos de material (cromo, estrías o campos), deformaciones plásticas en recámara, cortes de estrías en boca.

El videoscopio es fundamental, ya que todos los análisis estudiados hasta ahora en el presente trabajo derivan en el comportamiento de posibles fallas del cañón. El instrumento se muestra en la figura N° 18.



Figura N° 18: "Videoscopio Everest XLG3".

Fuente: TORRES Arias, Felipe. (IPM) Diseño de un Plan de Vigilancia para el fusil Galil ACE 22 NC, memoria, año 2017.



## G. Documentación

Se recopiló la información de las variables dependientes mencionadas anteriormente, siendo estos antecedentes llevado a fichas técnicas, informes finales y boletines de información balística certificados por IDIC.

## 3. EXPERIMENTO

El experimento tiene como objetivo verificar la resistencia al desgaste del ánima del cañón, de los mecanismos y de los componentes del arma. La principal obtención de datos es el comportamiento del poder de fuego del arma en función a los tiros disparados. Cabe mencionar que el fusil dispuesto para el experimento ha disparado 6.000 tiros en la prueba de resistencia de la recepción cualitativa. Por lo tanto, los datos que se incorporarán al estudio serán del tiro 6.001 al 12.000 y el estudio final corresponderá al comportamiento de los 12.000 tiros.

El procedimiento seguido en el experimento es el siguiente:

- Inicialmente, se disparan 20 cartuchos, detallado en la figura N° 19 (10 velocidad inicial-precisión y 10 para cadencia), luego se efectúa revisión técnica con calibres.



Figura N° 19: "Polígono de tiro, IDIC".

Fuente: TORRES Arias, Felipe. (IPM) Diseño de un Plan de Vigilancia para el fusil Galil ACE 22 NC, memoria, año 2017.



Diseño de un plan de vigilancia para el fusil Galil ACE 22 NC, para ser aplicado en la etapa de...

- 30 disparos tiro a tiro en 50 segundos.
- 30 disparos en ráfagas cortas (3 a 5 disparos) en 40 segundos.
- 30 disparos en tiro automático en 20 segundos.
- 30 disparos en ráfagas cortas (3 a 5 disparos) en 40 segundos.
- Después de cada serie (120 disparos) se enfría el arma en un tambor con agua, durante 60 segundos agitándolo, como se muestra en la figura N° 20. Posteriormente se seca el ánima y, luego de 3 minutos de descanso, se reinicia la siguiente serie de 120 tiros.



Figura N° 20: "Enfriamiento de fusil en agua fría".

Fuente: TORRES Arias, Felipe. (IPM) Diseño de un Plan de Vigilancia para el fusil Galil ACE 22 NC, memoria, año 2017.

- Después de cada serie de 600 disparos, se realiza el aseo, la revisión técnica con calibradores y se controla la precisión y velocidad, mediante 1 serie de 10 disparos, en modalidad tiro a tiro a 100 metros con el arma apoyada. Posteriormente, se realiza una nueva serie de 10 tiros, en modalidad automática, para medir cadencia.



- También se controló con un blanco de papel el posible volteo de las balas al momento del impacto y se verificó que, producto del desgaste de ánima del cañón, la bala se desestabilizará para comenzar a cabecear, hasta voltearse.

#### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el experimento fueron analizados de manera estadística, a través de un modelo de pronóstico de regresión lineal, el cual determinó la relación que existe entre la variable dependiente e independiente, con lo que se aseguró una proyección con el coeficiente de correlación.

De esta forma, se desarrolló el método de mínimos cuadrados, a partir del cual se obtuvo la mejor ecuación de la recta y un coeficiente de correlación que se ajusta a los datos obtenidos del experimento de la siguiente forma:

- Se inició con la ecuación lineal:

$$y = a + bX$$

Donde :

*y = Variable independiente.*

*a = Intercepto con el eje y.* 1.1

*X = Variable dependiente.*

*b = pendiente.*

Para el cálculo de *a*, se determinó a través de la siguiente fórmula:

$$a = \frac{\sum y - b \sum x}{n} \quad 1.2$$

Para el cálculo de *b*, se determinó a través de la siguiente fórmula:

$$b = \frac{n \sum x \cdot y - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad 1.3$$



Para el cálculo del coeficiente de correlación, se determinó a través de las siguientes fórmulas:

Error del estándar estimado

$$Se = \sqrt{\frac{\sum y^2 - a \sum y - b \sum x \cdot y}{n - 2}} \quad 1.4$$

Varianza de las variables separables

$$S_y^2 = \frac{\sum y^2}{n} - \bar{y}^2 \quad 1.5$$

Correlación

$$R^2 = 1 - \frac{Se^2}{S_y^2} \quad 1.6$$

De esta forma, con las respectivas variables dependientes, se determinó la proyección del comportamiento del poder de fuego del arma en 12.000 tiros disparados.

Es importante mencionar que el resultado obtenido en el experimento corresponde a un fusil Galil ACE 22 NC, por lo que no se asegura que el comportamiento de los 21.960 fusiles sean de la misma forma, debido a que no es una muestra representativa del lote completo. Sin embargo, para fines docentes, se trata de una metodología experimental que se basa en lo disponible y realizable.

El experimento tuvo como objetivo estudiar el comportamiento de las pruebas balísticas en función a la cantidad de disparos efectuados, a través de una prueba de resistencia. Se obtuvieron los siguientes resultados:

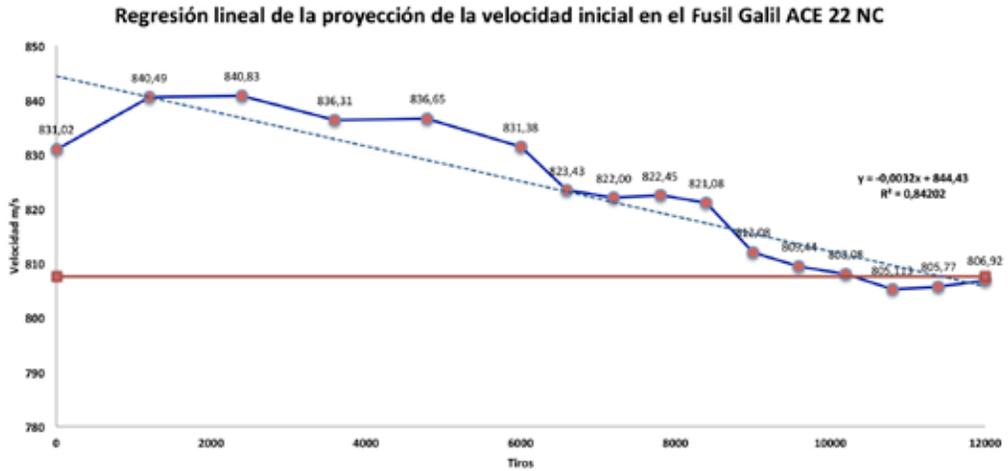


Figura N° 21: “Gráfico de velocidad inicial, prueba de resistencia”.

Fuente: TORRES Arias, Felipe. (IPM) Diseño de un Plan de Vigilancia para el fusil Galil ACE 22 NC, memoria, año 2017.

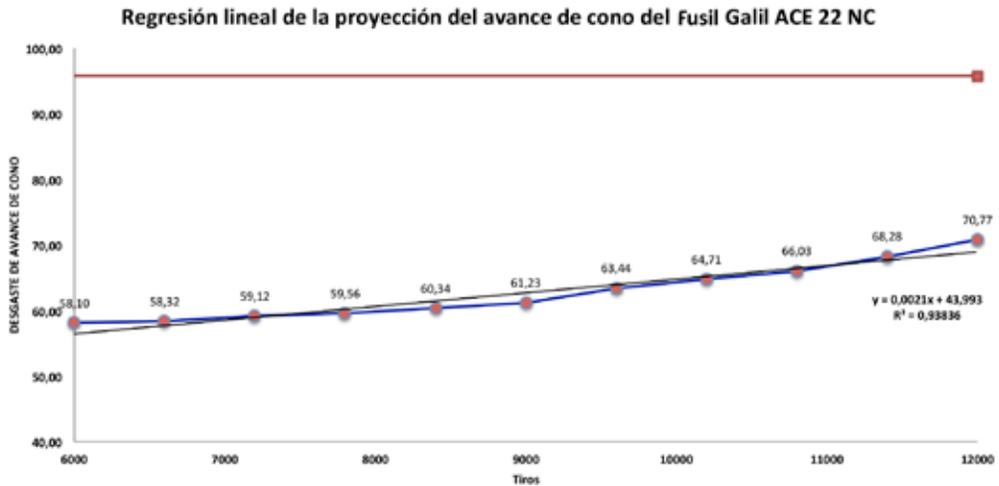


Figura N° 22: “Gráfico de avance de cono, prueba de resistencia”.

Fuente: TORRES Arias, Felipe. (IPM) Diseño de un Plan de Vigilancia para el fusil Galil ACE 22 NC, memoria, año 2017.

Obtenido estos resultados, se realizó una proyección del comportamiento de la variable independiente (tiros) en el resto del ciclo de vida, a través de una regresión lineal, a partir de lo cual se obtuvo el siguiente resultado:



**Tabla N° 4: “Tabla de degradación de parámetros técnicos”**

		Velocidad inicial	Avance de cono
TIROS	0 – 3.000	844 a 834 m/s	43,99 a 50,29 mm
	3.000 – 6.000	833 a 825 m/s	50,28 a 56,59 mm
	6.000 – 9.000	824 a 815 m/s	56,58 a 62,89 mm
	9.000 – 12.000	814 a 806 m/s	62,88 a 69,19 mm
	12.000 – 15.000	805 a 796 m/s	69,18 a 75,49 mm
	15.000 – 18.000	795 a 786 m/s	75,48 a 81,79 mm
	18.000 – 20.000	785 a 780 m/s	81,78 a 85,99 mm

Fuente: TORRES Arias, Felipe. (IPM) Diseño de un Plan de Vigilancia para el fusil Galil ACE 22 NC, memoria, año 2017.

Finalmente, se realizó el “Plan de Inspección” a través de un “Plan de muestreo” apoyado de las normas NCh 44 y NCh 17067. Con este último punto, se procedió a diseñar metodológicamente el Plan de Vigilancia.

## 5. CONCLUSIONES

El presente artículo sirvió para comprobar que es de vital importancia que los controles de calidad que se realizan a los nuevos sistemas de armas no solo se ejecuten en la recepción cualitativa, sino, por el contrario, en todo el ciclo de vida. Existe material o sistemas de armas que deben cumplir con ciertos parámetros para su correcto funcionamiento, por lo que se vuelve una condición esencial que debe perdurar en toda la etapa de operación y mantenimiento.

La implementación del experimento incidió positivamente en la correlación de las variables que se analizaron, debido a que se pudo establecer, a través de una regresión lineal, la tabla de degradación de los parámetros técnicos que se controlarán en el ciclo de vida del arma. Si bien dos de las cuatro variables obtuvieron un coeficiente de correlación propicio para proyectar un comportamiento, se estimó necesario realizar como medida preventiva e investigativa, la inspección a las dos variables que no están consideradas en la tabla de degradación (precisión y cadencia).

Además, se determinó que la implementación del Plan de Vigilancia es una herramienta de ingeniería de mantenimiento que podría estar encuadrada como Mantenimiento Preventivo Predictivo (MPP), declarado en el Reglamento RDL-20003 “Mantenimiento”, acción que ayudaría a complementar las programaciones de mantenimiento institucional.



Por otro lado, para poner en ejecución el Plan de Vigilancia y asegurar el correcto funcionamiento, existe un punto muy importante que es la entrega de información fidedigna de los tiros realizados por cada fusil. Esta responsabilidad se encuentra en los guardalmacenes de cada armerillo de la institución. Por lo tanto, y en virtud a que el control de los tiros disparados se encuentre en una plataforma de rápida inspección, se recomienda incorporarlo a la plataforma SIGLE institucional, en especial al módulo EAM. En esta plataforma, se mantendrá un control exhaustivo de cada lección de tiro y, en especial, cada tiro disparado por cada fusil, con lo cual se logra mantener una trazabilidad del uso de la munición y se pueden obtener los datos necesarios para ejecutar el Plan de Vigilancia.

El Plan de Vigilancia se caracteriza por no ser un programa rígido en sus resultados. El fusil se encuentra en una condición de inicio de la vida útil, por lo tanto, existirá data que sea relevante para retroalimentar la planificación de inspecciones. De esta forma, se recomienda por cada inspección realizada, hacer un nuevo estudio del comportamiento de los fusiles en el período de uso y realizar nuevos cálculos para determinar el muestreo, frecuencia y parámetros a controlar.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] DIVDOC. RDL-20003 Reglamento "Mantenimiento". Santiago de Chile: División Doctrina, 2013.
- [2] HERNÁNDEZ, Roberto; FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar (2006). *Metodología de la Investigación*. México D.F.: Infagon, 2006.
- [3] DIVDOC. Reglamento "Proceso de desarrollo de capacidades militares y administración del ciclo de vida". Santiago de Chile: DIVDOC, 2014.
- [4] INSTITUTO Nacional de Normalización. NCh-ISO 17067. Evaluación de la conformidad-Fundamentos de la certificación de productos y directrices para los esquemas de certificación de productos . Santiago de Chile: INN, 27 de septiembre de 2013.
- [5] INSTITUTO Nacional de Normalización.NCh 44. Of2007. Procedimientos de muestreo para inspección por atributos - Planes de muestreo indexados por nivel de calidad aceptable (AQL) para la inspección lote por lote. Santiago de Chile: INN, 27 de septiembre de 2007.
- [6] CARREÑO BARRERA, Carlos. (n.d.). Tecnología de Armamento. Santiago de Chile: Academia Politécnica Militar.



- [7] GONZÁLEZ MORALES, Agustín. *Fundamentos de Balística*. Cádiz: Ministerio de Defensa Nacional, 5 de abril de 2000.
- [8] TORRES, Leandro (2015). *Gestión Integral de Activos Físicos y Mantenimiento*. Barcelona: Alfaomega Grupo Editor Argentino S.A.
- [9] TORRES ARIAS, Felipe. “Diseño de un Plan de Vigilancia para el fusil Galil ACE 22 NC, para ser aplicado en la etapa de operación y mantenimiento del ciclo de vida previsto por el Ejército de Chile”. Director: Mayor Óscar Rodríguez Undurraga. [Memoria para la obtención de título]. Academia Politécnica Militar: Santiago de Chile, 2017.
- [10] ISRAEL WEAPON INDUSTRIES (IWI) Ltd. Galil ACE 22 NC, Manual de mantenimiento de niveles A y B. Israel: IWI.