



**Construir un modelo físico para la validación de un prototipo de arma no-letal de impacto
con capacidad para adaptarse a un vehículo táctico militar**

Pineida Imbaquingo, José Andrés

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecánica

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico

Ing. Santiago Castellanos, PhD.

07 de febrero de 2023



CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

PINEIDA IMBAQUINGO, JOSE ANDRES_ Construcción de un modelo físico para la validación de un prototipo de arma no letal de impacto con capacidad para adaptarse a un vehículo militar

7% similitudes
 < 1% Texto entre comillas
 < 1% similitudes entre comillas
 1% idioma no reconocido

Nombre del documento: PINEIDA IMBAQUINGO, JOSE ANDRES_Construcción de un modelo físico para la validación de un prototipo de arma no letal de impacto con capacidad para adaptarse a un vehículo militar.pdf
 ID del documento: cdc102b7373ca8458c2f0558b3e112b000e082
 Tamaño del documento original: 200,52 kb

Depositarario: DAVID CRISTÓBAL MATOVILLER
 Fecha de depósito: 24/2/2023
 Tipo de carga: Interfase
 Fecha de fin de análisis: 24/2/2023

Número de palabras: 11.480
 Número de caracteres: 72.369

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	www.paulo.com 'Procesamiento térmico para armas de fuego: la aula licencial - Paulo' https://www.paulo.com.br/news/curso-de-tratamiento-termico-para-armas-de-fuego/	4%		Palabras idénticas: < 1% (41 palabras)
2	repositorio.espe.edu.ec 'Diseño y simulación de un prototipo de arma no letal de...' https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/10002/156/5/1-ESPE-018738.pdf 2 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: < 1% (21 palabras)
3	repositorio.espe.edu.ec https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/10002/156/1/1-ESPE-018738.pdf 2 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: < 1% (22 palabras)
4	procesoslaprimera.blogspot.com 'Fundición de Metales: Fundición de metales' https://procesoslaprimera.blogspot.com/2017/02/fundicion-de-metales.html 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (26 palabras)
5	repositorio.espe.edu.ec 'Repositorio de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE: D...' https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/10002/156/1/1-ESPE-018738.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (28 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.espe.edu.ec https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/10002/156/1/1-ESPE-018738.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (26 palabras)
2	www.creative3d.com 'Anyubic - Resina Resistente UV - Gris 1KG - Creativo 3D' https://www.creative3d.com/anyubic-resina-resistente-uv-gris-1kg-creativo-3d/	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (28 palabras)
3	es.wikihow.com 'cómo hacer un cañón de pistola 6 Pozos (con ingenieros)' https://es.wikihow.com/cómo-hacer-un-cañón-de-pistola-6-Pozos-(con-ingenieros)	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (29 palabras)
4	Documento de este usuario - nuevo documento privado de este grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (33 palabras)
5	www.tdx.cat https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/424194/pab0460c.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (33 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1	https://studylib.es/doc/4907872/-2075--aluminio--dinc
2	https://www.Elcomercio.com/Actua/Ides/Quito-Destruccion-Combo
3	https://www.Elcomercio.com/Actua/Ides/Quito-Destruccion-Combo
4	http://Tcrlinesgroup.com/Es/Como-Usar-La-Tecnica-Mlm-de-Moldado-de-Metales/
5	https://www.Catalystarma.com/Tech-Talk

Firma:



Santiago David
CASTELLANOS VILLA

Ing. Castellanos Villa, Santiago David PhD.
 Tutor del Trabajo de Integración Curricular



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecánica

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **"Construir un modelo físico para la validación de un prototipo de arma no-letal de impacto con capacidad para adaptarse a un vehículo táctico militar"** fue realizado por el señor **Pineida Imbaquingo, José Andrés**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 14 de marzo de 2023

Firma:



Castellanos Villa, Santiago David

C. C.1716962608



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecánica

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Pineida Imbaquingo, José Andrés**, con cédula de ciudadanía n°1717624157, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **“Construir un modelo físico para la validación de un prototipo de arma no-letal de impacto con capacidad para adaptarse a un vehículo táctico militar”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 14 de marzo 2023

Firma



Firmado digitalmente por:
**JOSE ANDRES PINEIDA
IMBAQUINGO**

.....
Pineida Imbaquingo, José Andrés

C.C.:1717624157



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecánica

Autorización de Publicación

Yo **Pineida Imbaquingo, José Andrés**, con cédula de ciudadanía n°1717624157, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **“Construir un modelo físico para la validación de un prototipo de arma no-lethal de impacto con capacidad para adaptarse a un vehículo táctico militar”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 14 de marzo del 2023

Firma



JOSE ANDRES PINEIDA
IMBAQUINGO

.....
Pineida Imbaquingo, José Andrés

C.C.:1717624157

Dedicatoria

El presente trabajo se lo dedico principalmente a Dios quien ha iluminado mi camino para enseñarme a diferenciar entre el bien y el mal, a mis padres, hermanas y sobrinos quienes fueron los principales actores para que yo culmine mi carrera universitaria como ingeniero mecánico. Además, a todas las personas que durante el transcurso de esta etapa de una u otra manera fueron guiando mis pasos con sus consejos, pero que por diversas situaciones de la vida no llegaron a ver con sus propios ojos el objetivo planteado, mi dedicatoria especial para ella.

Al Ing. Santiago Castellanos, PhD; quien con sus experiencia y conocimiento supo guiarme para el desarrollo de este proyecto que hoy me ha llevado a cumplir con un peldaño más de mi vida profesional.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecerme a mí, por creer en mí, por el trabajo duro, por no tener días libres, por nunca darme por vencido, por siempre dar a los demás y tratar de dar más de lo que recibo, quiero agradecerme por ser yo en todos los términos.

Agradecimiento

La vida no es un pasillo recto y fácil
Por el que viajamos libres y sin obstáculos
Sino un laberinto de pasajes
En el que debemos hallar nuestro camino,
Perdidos y confundidos, una y otra vez
Atrapados en un callejón sin salida
Pero, si tenemos fe,
Dios siempre nos abrirá una puerta
Que, aunque talvez no sea
La que queríamos
A fin será
Buena para nosotros.

A.J. Cronin.

Mi agradecimiento, a mis docentes de esta centenaria universidad, quienes formaron parte de este proceso de aprendizaje, al Sr Hendry Chillan, quien fue una pieza clave y fundamental para la elaboración del arma no-letal, a mis familiares por todo su apoyo incansable durante toda mi etapa de estudios universitarios y como no nombrar a Noe, que gracias a sus consejos siempre me guio de la mejor manera para la entrega de este proyecto.

Tabla de contenido

Certificación anti plagio	2
Certificación Tutor Académico	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento	7
Resumen	14
Abstract.....	15
Capítulo I: Generalidades	16
Antecedentes	16
Justificación e Importancia	18
Alcance del Proyecto.....	18
Objetivos	19
Objetivo General.....	19
Objetivos Específicos.....	19
Capítulo II: Estado del Arte	20
Estructura del modelo de arma no-letal antidisturbios.	20
Procesos constructivos de armas no-letales tipo fusil.....	26
Proceso de fabricación de las armas no-letales Tippmann	26
Tratamiento térmico de armas de fuego.....	31
Nitruración de gas.	31

Moldeado por inyección de metal (MIM).....	35
Manufactura Aditiva (AM).....	37
Fundición por revestimiento.....	38
Prensado isostático en caliente (HIP).....	39
Revestimiento de óxido negro.	41
Enfriamiento por gas a alta presión.	42
Manipulación y trazabilidad de los componentes de las armas de fuego.	42
Capítulo III: Procedimientos Constructivos.....	43
Modelado Tridimensional para la manufactura	43
Planificación de la manufactura.....	54
Diagrama de procesos	54
Capítulo IV: Validación y Pruebas.....	55
Fabricación.....	55
Ensamblaje	71
Pruebas de Funcionamiento.....	73
Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones	85
Conclusiones.....	85
Recomendaciones.....	86
Trabajos futuros	87
Bibliografía	88

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Módulos e interfases</i>	22
Tabla 2 <i>Resumen de las características del tubo cañón</i>	45
Tabla 3 <i>Resumen de las características de la culata</i>	47
Tabla 4 <i>Resumen de las características del mango</i>	48
Tabla 5 <i>Resumen de las características del codo de alimentación</i>	49
Tabla 6 <i>Resumen de las características del cargador</i>	51
Tabla 7 <i>Resumen de las características del cuerpo del arma no-lethal</i>	54

Índice de figuras

Figura 1 <i>Quema y destrucción del blindado Urutú 6x6</i>	16
Figura 2 <i>Uso de armas no-letales</i>	17
Figura 3 <i>Tres tipos de arquitecturas modulares</i>	21
Figura 5 <i>Arma no-letal tipo fusil</i>	22
Figura 6 <i>Marcadoras Comerciales</i>	25
Figura 7 <i>Pieza elaborada en moldes de presión</i>	27
Figura 8 <i>Vista interna de marcadora tippmann</i>	28
Figura 9 <i>Válvula principal</i>	29
Figura 10 <i>Operador de Tippmann realizando las pruebas de disparo</i>	30
Figura 11 <i>Paintball radar</i>	31
Figura 12 <i>Muestra realizada del tratamiento térmico por nitruración</i>	32
Figura 13 <i>Variación de la microdureza</i>	35
Figura 14 <i>Moldeado por inyección de metal</i>	36
Figura 15 <i>Piezas por proceso MIM</i>	36
Figura 16 <i>Proceso AM genérico</i>	37
Figura 17 <i>Etapas de la fundición por revestimiento</i>	38
Figura 18 <i>Tratamiento del prensado isostático en caliente</i>	40
Figura 19 <i>Armazón de arma de fuego</i>	41
Figura 20 <i>Modelo tridimensional del tubo cañón</i>	43
Figura 21 <i>Composición y propiedades del Aluminio 7075 T6</i>	44
Figura 22 <i>Acople entre la culata y el armazón del arma no-letal</i>	46
Figura 23 <i>Propiedades de los termoplásticos</i>	46
Figura 24 <i>Modelo tridimensional de la culata</i>	47
Figura 25 <i>Mango del arma no-letal</i>	48
Figura 26 <i>Componentes del codo de alimentación</i>	49

Figura 27 <i>Cargador del arma no-letal tipo fusil</i>	50
Figura 28 <i>Mecanismos de acople del cargador del arma no-letal</i>	51
Figura 29 <i>Componentes de propulsión del proyectil en 3D</i>	52
Figura 30 <i>Modela 3D del cuerpo del arma</i>	53
Figura 31 <i>Cuerpo del arma en impresión 3D</i>	54
Figura 35 <i>Cuerpo del arma no-letal (M6), en el torno CNC</i>	55
Figura 36 <i>Cuerpo del arma no-letal con las cavidades para sus elementos</i>	56
Figura 37 <i>Parte posterior del cuerpo del arma no-letal</i>	57
Figura 38 <i>Cuerpo del arma no-letal vista interna y externa</i>	58
Figura 39 <i>Rosca métrica ISO 22 X 1.5 en el cuerpo del arma no-letal</i>	58
Figura 40 <i>Obtención de medidas para la fabricación del tubo cañón</i>	59
Figura 41 <i>Obtención del paso de rosca para la fabricación del tubo cañón</i>	60
Figura 42 <i>Barra de aluminio 7075-T6</i>	61
Figura 43 <i>Barra de aluminio en el torno de precisión</i>	62
Figura 44 <i>Broca especial de agujeros profundos</i>	62
Figura 45 <i>Mecanizado del apagallamas</i>	63
Figura 46 <i>Buril de roscas y galga patrón</i>	64
Figura 47 <i>Mecanizado de la rosca del tubo cañón</i>	64
Figura 48 <i>Tubo cañón</i>	65
Figura 49 <i>Configuración del software Ultimake Cura, para la impresión 3D</i>	66
Figura 50 <i>Impresión de la culata para el arma no-letal</i>	66
Figura 51 <i>Configuración del software Lychee Slicer Resin, para la impresión 3D</i>	67
Figura 52 <i>Impresora AnyCubic Photon y codo de alimentación en 3D</i>	68
Figura 53 <i>Codo de Alimentación pintado de color negro</i>	68
Figura 54 <i>Configuración del software Lychee Slicer Resin, para la impresión 3D</i>	69
Figura 55 <i>Impresora Formlabs</i>	70

Figura 56 <i>Piezas impresas para el arma no-letal</i>	70
Figura 57 <i>Ensamblaje del cuerpo del arma no -letal</i>	71
Figura 58 <i>Ensamblaje de los componentes internos del arma no-letal</i>	72
Figura 59 <i>Ensamblaje completo del arma no-letal</i>	73
Figura 60 <i>Pruebas de funcionamiento de carga del arma no-letal</i>	74
Figura 61 <i>Comprobación de la sujeción del cargador falso</i>	75
Figura 62 <i>Pruebas de tiro con aire comprimido</i>	76
Figura 63 <i>Pasador guía, separado del martillo percutor</i>	77
Figura 64 <i>Accesorio de duralón</i>	77
Figura 65 <i>Fiador Roto</i>	78
Figura 66 <i>Fiador impreso en resina Anycubic UV Tough</i>	79
Figura 67 <i>Fiador de resina en el arma no-letal</i>	79
Figura 68 <i>Fiador de resina roto</i>	80
Figura 69 <i>Fiador y rabillo disparador de distintos materiales</i>	81
Figura 70 <i>Fiador y rabillo disparador en el arma no-letal</i>	81
Figura 71 <i>Proyectiles de pintura impactados en las pruebas de tiro</i>	82
Figura 72 <i>Peso de los proyectiles no-letales</i>	83
Figura 73 <i>Pruebas de proyectiles de energía cinética</i>	84

Resumen

El Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas -ESPE desarrolla el proyecto "Equipamiento militar del futuro: Sistemas de armas antidisturbios para vehículos militares usados en incidentes de desorden público", con el objetivo de colaborar en el desarrollo de las capacidades militares de las Fuerzas Armadas, con una duración de seis semestres, en los cuales se desarrollarán fusiles, pistolas y munición no-letales. En la primera etapa del proyecto realizado por el Ing. Sebastián Olivo, se desarrolló una investigación donde se obtuvo los resultados de esfuerzos, deformaciones, factores de seguridad, análisis de los mecanismos de propulsión y los planos de despiece del arma no-letal. En esta segunda etapa del proyecto se fabricó el arma no-letal y sus respectivos accesorios, con el soporte tecnológico existen en el país como es: CNC FADAL VMC 3016, Torno de precisión de alta velocidad Modelo S430 x 1000 G, impresora 3D Anet modelo E12, impresora 3D AnyCubic Photon e impresora 3D FormLabs. De igual manera los materiales utilizados para su fabricación son de venta libre y estos fueron: Aluminio 7075-T6 para el mecanizado del cuerpo del arma no-letal, este material permite que las piezas se sometan a grandes fatigas, por su dureza y alta densidad, el mismo, que es el más utilizado para la fabricación de armamento; adicional se utilizó PLA Plus y resina de ingeniería Anycubic UV Tough para la elaboración de los accesorios. El tiempo de fabricación del arma no-letal es aproximadamente de 168 horas, posterior a esto se realizaron las pruebas de tiro con proyectiles de pintura con lo que se pudo validar la funcionalidad del presente trabajo.

Palabras claves: Arma no-letal, factores de seguridad, fabricación, aluminio 7075-T6, impresora 3D.

Abstract

The Department of Energy and Mechanics Sciences of the Armed Forces University -ESPE is developing the project "Military equipment of the future: Anti-riot weapon systems for military vehicles used in incidents of public disorder", with the aim of collaborating in the development of the military capabilities of the Armed Forces, with a duration of six semesters, in which non-lethal rifles, pistols and ammunition will be developed.

In the first stage of the project carried out by Engineer Sebastián Olivo, an investigation was carried out where the results of efforts, deformations, safety factors, analysis of the propulsion mechanisms and the exploded views of the non-lethal weapon were obtained. In this second stage of the project, the non-lethal weapon and its respective accessories were manufactured, with the technological support that exists in the country, such as: CNC FADAL VMC 3016, High-speed precision lathe Model S430 x 1000 G, Anet 3D printer model E12, AnyCubic Photon 3D printer and FormLabs 3D printer. In the same way, the materials used for its manufacture are freely available and these were: Aluminum 7075-T6 for machining the body of the non-lethal weapon, this material allows the pieces to undergo great fatigue, due to its hardness and high density, the same, which is the most used for the manufacture of weapons; In addition, PLA Plus and Anycubic UV Tough engineering resin were used to make the accessories.

The manufacturing time of the non-lethal weapon is approximately 168 hours, after which the shooting tests with paint projectiles were carried out, with which the functionality of this work could be validated.

Keywords: Non-lethal weapon, safety factors, manufacturing, aluminum 7075-T6, 3D printer.

Capítulo I: Generalidades

Antecedentes

El 2019 fue un año de protestas violentas y disturbios en todo el mundo por varias razones. En este sentido, las fuerzas de seguridad de varios países requieren mantener el control de estos disturbios y utilizar varios sistemas de armas no-letales para sofocar estos hechos de violencia y restaurar el orden público. (Agencias de El Comercio, 2019).

En octubre de 2019 se dieron 11 días de disturbios en Ecuador, iniciados por varios grupos sociales: trabajadores, indígenas, estudiantes, transportistas, etc.(Agencias de El Comercio, 2019) .Sin embargo, en estos días de protesta, la frecuencia de los hechos de violencia se incrementó drásticamente causando daños a los bienes públicos y privados, al servicio de energía eléctrica y agua potable, y varios vehículos del ejército, ver **Figura 1**. (Bravo, 2019).

Figura 1

Destrucción del vehículo Urutú 6x6 durante las protestas



Nota: Tomado de *López Dóriga Digital*, 2019 Manifestantes indígenas queman en Ecuador un vehículo blindado del Ejército. ([https://Lopezdoriga.Com/Internacional/Manifestantes-Indigenas-Queman-En-Ecuador-Un-Vehiculo-Blindado-Del-Ejercito/.](https://Lopezdoriga.Com/Internacional/Manifestantes-Indigenas-Queman-En-Ecuador-Un-Vehiculo-Blindado-Del-Ejercito/))

Para sofocar estos actos de disidencia y vandalismo, las fuerzas del orden público utilizaron acciones policiales como granadas de gas lacrimógeno, toletes y balas de goma, ver **Figura 2**. (Infobae, 2019)

Figura 2

Utilización de armas no-letales



Nota: Tomado de *Infobae*, 2019, Decenas de heridos y casi 300 manifestantes detenidos tras la jornada de disturbios en Ecuador. (<https://www.infobae.com/america/2019/10/04/Cerca-de-200-Manifestantes-Fueron-Detenidos-Durante-La-Jornada-de-Disturbios-En-Ecuador/>.)

Según (Puente, 2020), los informes presentados por el Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas, indicaron que las armas no-letales con que contaban los militares eran “inadecuadas” y en algunos casos “obsoletos”, lo que obligó al Ministerio de Defensa Nacional a generar un proyecto de compra de nuevos equipos, considerando que nuestro país no ha desarrollado esta tecnología en los últimos años para la fabricación de este tipo de armamento.

Considerando los sucesos desarrollados anteriormente, el Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, propone desarrollar un proyecto titulado “EQUIPAMIENTO MILITAR DEL FUTURO: SISTEMA DE ARMAS ANTIDISTURBIOS PARA VEHÍCULOS MILITARES USADOS EN INCIDENTES DE DESORDEN PÚBLICO”. Uno de los objetivos es el desarrollo de armas de energía cinética.

Por lo tanto, para el desarrollo de este proyecto hemos tomado como guía el trabajo de titulación realizado por el Ing. Sebastián Olivo, en el cual se detallan los planos de las piezas que conforman el arma no-letal, como base para la fabricación en aleación de aluminio de un prototipo experimental.

La construcción de este prototipo conlleva algunas actividades como diseño, planificación y validación. Además, esto requiere una gran cantidad de tiempo y de un equipo de diseño que tenga conocimientos y destrezas en distintas áreas de la Ingeniería mecánica.

Justificación e Importancia

En resumen, Ecuador está claramente sujeto a la dependencia de otros países para la producción de armas, por lo que el objetivo de este proyecto es crear un modelo experimental para la validación del prototipo de arma no-letal tipo fusil en aleación de aluminio, mediante el uso de tecnología local.

El principal objetivo de este proyecto es contribuir el modelo experimental tipo fusil, con el DECEM en el desarrollo de proyectos militares a favor de las Fuerzas Armadas del Ecuador en la misión de desarrollar su propia tecnología militar.

Además, el proyecto contribuye con el desarrollo de estudios en la línea de investigación de Seguridad y Defensa del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica. También inspira a los estudiantes del departamento que estén interesados en participar en el desarrollo de la industria de la ingeniería militar de nuestro país.

Alcance del Proyecto

El presente proyecto busca desarrollar y entregar lo siguiente:

- La construcción de un modelo experimental para la validación del prototipo de arma no-letal de impacto propuesta en el proyecto de investigación “Armamento Militar del Futuro Sistemas de Armas Antidisturbios”, mediante el uso de tecnología local.
- Procesos constructivos del arma no-letal tipo fusil.

- Planificación de la manufactura para la fabricación del arma no-letal, así como para su ensamblaje.
- Diagramas de procesos para la fabricación del prototipo de arma no-letal.

Objetivos

Objetivo General

Construir el modelo experimental para la validación del prototipo de arma no-letal de impacto propuesta en el proyecto de investigación armamento militar del futuro sistemas de armas antidisturbios, mediante el uso de tecnología local.

Objetivos Específicos

- Identificar los procedimientos de fabricación de armas no-letales de impacto tipo fusil.
- Establecer un procedimiento constructivo para la fabricación del modelo de arma no-letal del proyecto armamento militar del futuro.
- Validar el procedimiento de fabricación para el modelo experimental del arma no-letal.

Capítulo II: Estado del Arte

Estructura del modelo de arma no-letal antidisturbios.

En este capítulo hablaremos de la arquitectura del arma no-letal, que es el mapeo de los elementos funcionales del producto a fabricar en bloques de construcción físicos, que se centran en la actividad de diseñar el producto con el objetivo de definir los elementos físicos básicos en términos de funcionalidad y cómo interactúan con el resto del arma no-letal.

(Ulrich & Eppinger, 2013a) menciona que “La arquitectura modular permite que un cambio de diseño se haga a un trozo sin requerir cambios a otros trozos para que el producto funcione correctamente” (p.185)

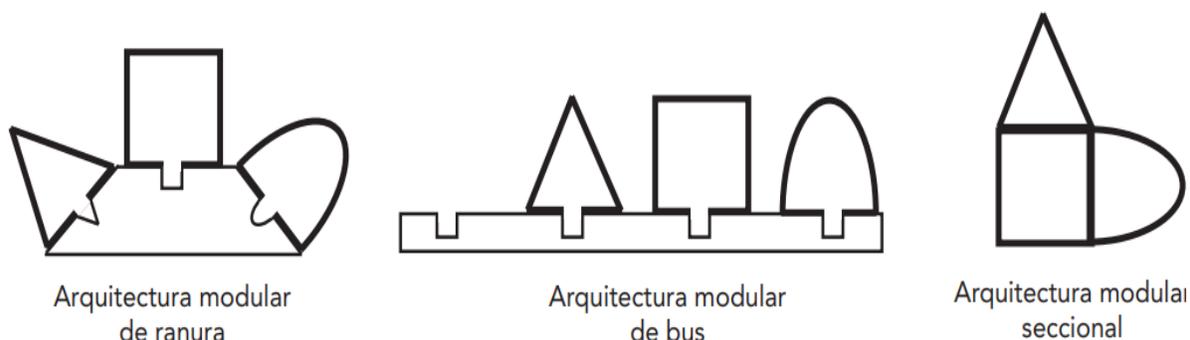
Por lo tanto, este proyecto se desarrolló en base a una arquitectura modular, misma que fue utilizada en el trabajo de titulación del Ingeniero Sebastián Olivo (Olivo, 2022), en el cual nos indica los beneficios de este tipo de arquitectura, ya que podemos reemplazar módulos de forma inmediata si este presenta algún tipo de anomalía, sin que esto afecte en su totalidad al arma no-letal, ya sea para repararlo o rediseñarlo.

Las arquitecturas modulares se clasifican en tres tipos: de ranura, bus y seccional. Cada tipo contiene un elemento funcional segmentado y un mapeo uno a uno de interfases bien definidas. La diferencia entre estos tipos es como se organiza la interacción entre los bloques.

En la **Figura 3** se muestran las diferencias conceptuales de las arquitecturas.

Figura 3

Tipos de arquitecturas modulares



Nota. Tomado de *Diseño y desarrollo de producto* (p.221), por Ulrich y Eppinger, 2013.

- Arquitectura modular de ranura: Cada interfaz entre bloques en la arquitectura del módulo de ranura es de un tipo diferente, por lo que los bloques de productos individuales no son intercambiables.
- Arquitectura modular de bus: en este tipo, hay un bus común al que se conectan otros componentes utilizando el mismo tipo de interfaz.
- Arquitectura modular seccional: maneja interfases que son todas del mismo tipo, pero ningún elemento único conecta todas las demás partes. El conjunto se construye conectando las partes usando la misma interfaz.

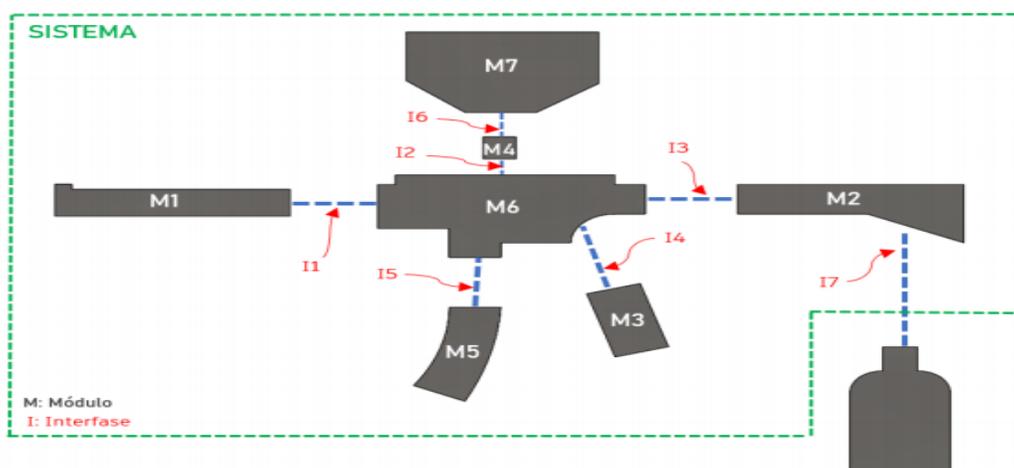
Por lo tanto, en este trabajo se plantearon 7 módulos y 7 interfases por medio de las cuales interactúan. Ver **Figura 4**. Estos módulos tienen sus propios elementos.

La arquitectura modular de ranura fue seleccionada como tipo de interacción en las interfases, ya que cada interfase debe ser única para evitar que los módulos se intercambien entre sí (Ulrich & Eppinger, 2013b), por lo tanto, solo pueden acoplarse en el lugar correcto. En la *Nota*: Tomado de *Repositorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas- ESPE*, por Ing. Sebastián Olivo, 2022, (<https://Repositorio.Espe.Edu.Ec/Handle/21000/28150>).

Tabla 1 se presentan las interfases y módulos existentes con base en la **Figura 5**.

Figura 4

Esquema modular del prototipo



Nota: Tomado de Repositorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas- ESPE, por Ing. Sebastián Olivo, 2022, (<https://Repositorio.Espe.Edu.Ec/Handle/21000/28150>).

Tabla 1

Módulos e interfases

	No	Descripción
Módulos	1	Tubo cañón o barril
	2	Culata
	3	Mango
	4	Codo de alimentación
	5	Cargador
	6	Cuerpo del arma no-letal
	7	Alimentadora o tolva
Interfases	1	Cuerpo-Tubo cañón
	2	Cuerpo- Codo de alimentación
	3	Cuerpo- Culata
	4	Cuerpo- Mango
	5	Cuerpo- Cargador
	6	Codo de alimentación-Tolva
	7	Culata-Suministros de gas

Nota: Tomado de Repositorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas- ESPE, por Ing. Sebastián Olivo, 2022, (<https://Repositorio.Espe.Edu.Ec/Handle/21000/28150>).

Figura 5*Arma no-letal tipo fusil*

Nota. Prototipo experimental arma no-letal tipo fusil.

Sección de Interfases

Cuerpo – Tubo cañón (I1). La interfaz 1 se refiere al tipo de acople que conecta a los dos módulos. Por lo tanto, el tipo de acoplamiento se define como roscado.

Cuerpo - Codo de alimentación (I2). El propósito del codo de alimentación es guiar el proyectil desde el alimentador o la tolva, para que pueda unirse y alinearse solo con el cuerpo del arma no-letal. Por razones prácticas y de factibilidad, se eligió una conexión de tornillo para esta interfaz.

Cuerpo – Culata (I3). Las armas de fuego, como los rifles o las escopetas utilizan pólvora para lanzar un proyectil y su explosión crea un efecto de retroceso. Para reducir este efecto, la culata está diseñada para apoyarse en el hombro y proporcionar mayor estabilidad. En este caso, cuando se utiliza aire comprimido o nitrógeno, la fuerza de retroceso es casi imperceptible. Por ello, en la parte de diseño modular, se desarrolló un acoplamiento universal para encajar con la culata o simplemente un tapón.

Cuerpo - Mango (I4). No es necesario que esta unión se pueda desacoplar fácilmente; al contrario, cuando entre en funcionamiento el arma no-letal debe poseer buena estabilidad para facilitar su maniobrabilidad. El mango se lo removerá únicamente para su mantenimiento o renovación. Por lo que la interfase se definió como una configuración empernada a lo largo del mango.

Cuerpo – Cargador (I5). La interfase 5 define un mecanismo de liberación rápida, ya que se debe reemplazar un nuevo cargador cada vez que el cargador se queda sin munición. Si la tolva se utiliza como alimentador de proyectiles, se debe insertar un cargador ficticio para evitar que entren varios proyectiles al mismo tiempo.

Codo de alimentación - Tolva (I6). Para brindar una alternativa al reemplazo del tanque grande en el soporte interno del vehículo, se desarrolló un acoplo de presión para el tanque estándar más pequeño, donde el uso de una herramienta no es obligatorio, pero el operador solo usa su propia fuerza.

Culata - Suministro de gas (I7). Los recipientes a presión en donde se almacenan los distintos tipos de gases de propulsión poseen una válvula con rosca externa estándar por donde sale el gas, por lo que necesariamente la interfase 7 se especificó como una unión roscada.

Sección de Módulos

Durante el desarrollo de esta sección, varias armas civiles y militares no-letales, que se muestran en la **Figura 6**, se sometieron a ingeniería inversa para obtener información sobre las operaciones internas, interacciones entre componentes, detalles de diseño, procesos de

fabricación, etc.(Ramos, 2013). Con la información obtenida, se construyó y se modificó un prototipo funcional de un arma no-letal tipo fusil en base a los resultados del análisis.

Figura 6

Marcadoras Comerciales



Nota: Tomado de *Repositorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas- ESPE*, por Ing. Sebastián Olivo, 2022, (<https://Repositorio.Espe.Edu.Ec/Handle/21000/28150>).

Tubo Cañón o Barril (M1). El barril de las armas de fuego se somete a cargas debido al cambio de temperatura y presión, como resultado de la ignición de la pólvora (Yang et al., 2020); sin embargo, cuando se utiliza un gas, la única carga significativa soportada es la que resulta de la presión del mismo.

Culata (M2). En las armas de fuego convencionales, es importante reducir el efecto de retroceso con cada disparo. Sin embargo, en este prototipo no es necesario, pero debe tenerse en cuenta porque da mejores resultados, estabilizando para que la precisión de tiro sea mejor.

Mango (M3). En este componente, el operador controla la posición del arma no letal, por lo tanto, debe estar fijada permanentemente al cuerpo del arma. El modelo tendrá 3 orificios dispuestos.

Codo de alimentación (M4). El codo de alimentación es donde se acopla la tolva de alimentación, por el cual ingresará la munición no-letal a la cámara de propulsión.

Cargador (M5). Se utiliza un cargador falso con el propósito de: dar la apariencia de un fusil real y dejar la cavidad en el cuerpo del arma por si en un futuro se requiere reemplazar con un cargador funcional para proyectiles.

Cuerpo del arma no-letal (M6). Este módulo utilizará un accionamiento por propulsión. En esta sección se describe el proceso de cómo se conectarán todos los módulos para obtener el modelo principal del arma no-letal.

Procesos constructivos de armas no-letales tipo fusil

Proceso de fabricación de las armas no-letales Tippmann

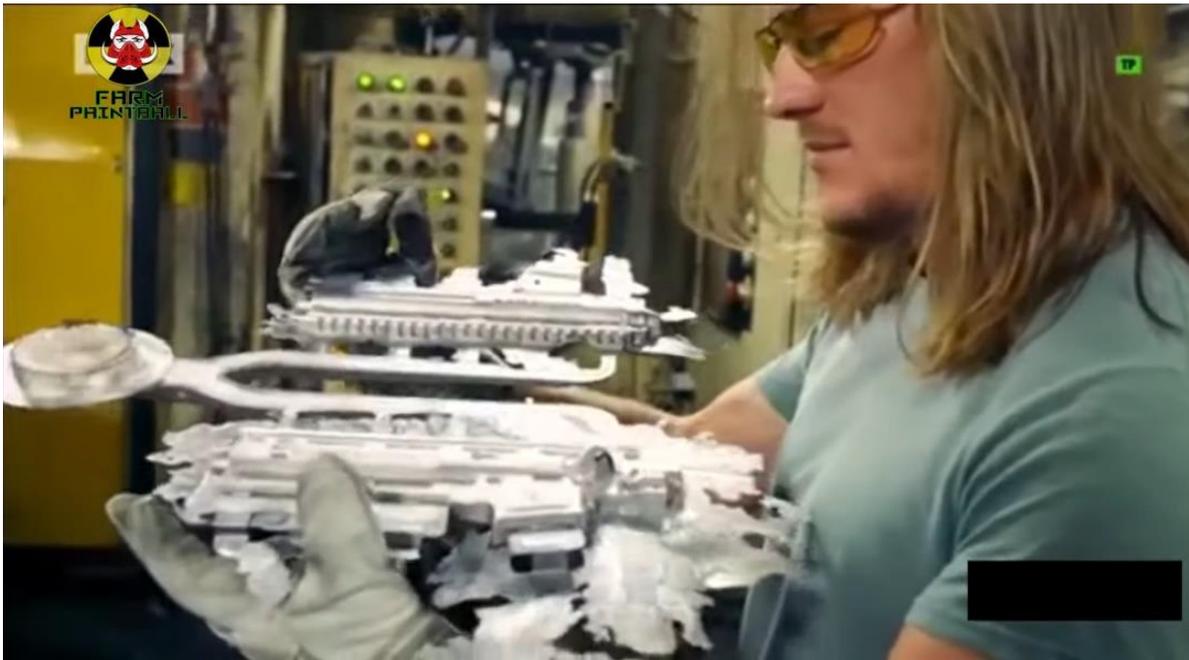
Desde 1986, Tippmann ha producido algunas marcadoras y accesorios de mayor rendimiento en la industria del paintball, el arma de paintball es una maravilla de la ingeniería de alto rendimiento. El secreto de que un arma no falle nunca, es cómo se fabrica la carcasa que protege las piezas del interior, en la fábrica de Indiana Fort Wayne, primero se calienta el aluminio a 650°C hasta convertirlo en un líquido, esto se lo realiza en una máquina de fundición de moldes a presión, después un pistón relleno a presión un molde especialmente diseñado para este proceso. Las armas de paintball tienen un diseño muy complejo es por esto que el

pistón garantiza que el metal haya ingresado a presión en todas las cavidades y huecos del molde mediante el proceso de moldeo a presión, se consigue una carcasa muy elaborada pero robusta. La ventaja de este proceso es que realmente se obtiene hasta los detalles más pequeños y complejos durante la fundición.

Posteriormente, un operador se encarga de comprobar cada una de las piezas, si una pieza no está bien se la vuelve a ingresar en el horno, ver **Figura 7**. A continuación, una vez inspeccionada las carcasas se procede a recortar todo el aluminio sobrante.

Figura 7

Pieza elaborada en moldes de presión



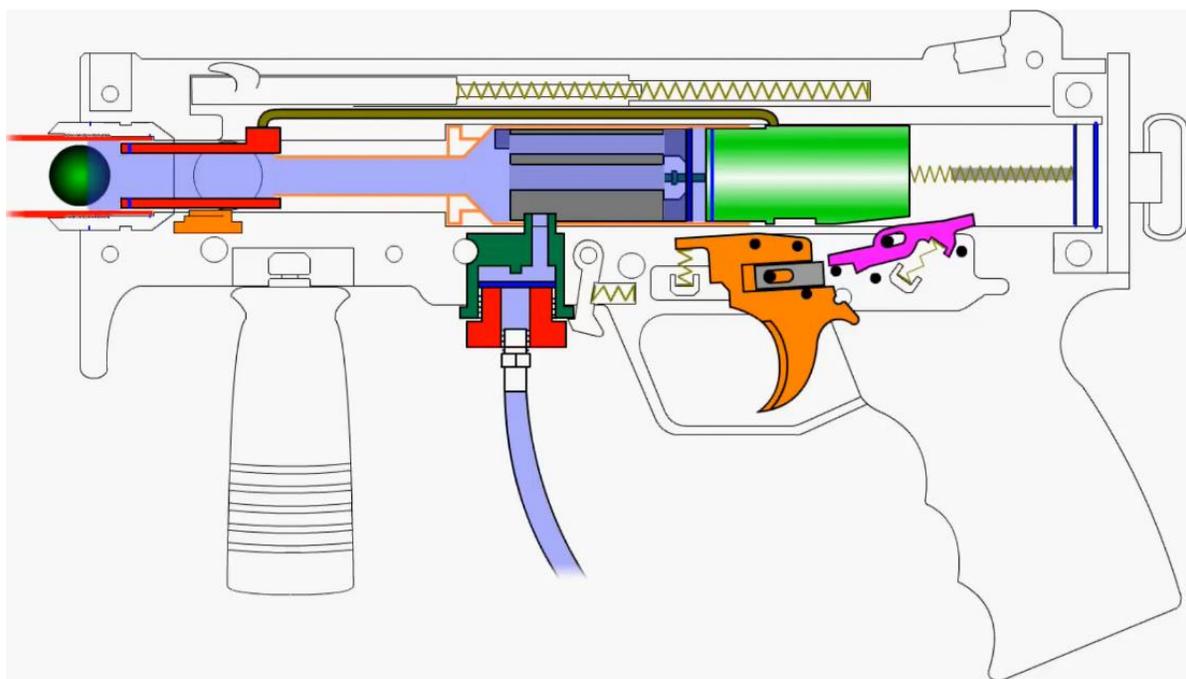
Nota. Operador inspeccionando la carcasa del arma tippmann.

La potencia del disparo de las armas es obra del CO₂ o aire comprimido, la presión es tan alta que las bolas de pintura podrían explotar dentro de la misma, es por esto que para poder disparar sin problemas el aire comprimido tiene que liberarse a pequeñas descargas. El secreto de cómo se consigue hacer esto en el arma se encuentra en la parte trasera de la máquina, donde una válvula reguladora de precisión aísla una pequeña ráfaga de gas para el

disparo cuando el jugador aprieta el gatillo, el percutor y la ráfaga de gas comprimido se libera iniciando una reacción en cadena de 15 piezas, el aire hace avanzar el pasador para colocar la bola en posición y que atraviese el cañón a 90 m/s, 11 milisegundos entre apretar el gatillo y disparar. Ver **Figura 8**.

Figura 8

Vista interna de marcadora tippmann.



Nota. Proceso de disparo del arma tippmann, al momento de ingresar el aire comprimido o CO₂, a la recámara de expulsión.

Los trabajadores fabrican con una precisión absoluta. La pieza interna más importante es la válvula principal que dirige el aire comprimido por la pistola para empujar la bola por el cañón, si no funciona bien la válvula en el arma esta no funcionará. Este componente del arma no-letal es la pieza más difícil de fabricar, ya que contiene varios orificios pequeños y estos tienen que ser perfectos si son demasiado grandes o están mal colocados el componente resulta inservible. Ver **Figura 9**.

Figura 9*Válvula principal*

a)



b)

Nota. a) Válvula de aluminio, que dirige el aire comprimido o CO2 por el tubo cañón, b) Válvula principal ensamblada en el cuerpo del arma no-letal.

La válvula se fabrica a partir de una barra de aluminio que se la extruye en cuatro pasos en la CNC y tras 30 procesos la pieza está acabada. El margen de error en los orificios es inferior al ancho de un pelo humano, si el programa no es correcto o no se configura bien la máquina, la válvula no funcionará.

Los trabajadores comprueban minuciosamente una de cada 2.000 armas, para asegurarse de que son lo bastante robustas y que no fallen para garantizar un producto de calidad que dure toda su vida útil. El responsable de la comprobación configura la máquina para que dispare ocho bolas por segundo durante 1000 ciclos, al final de los 1000 ciclos se la revisa y para cuando acabe la prueba se habrá disparado un total de 100.000 ciclos. Ver **Figura 10**.

Esta destructora prueba permite detectar cualquier punto débil y saber qué piezas fallarán antes. El arma tiene que seguir funcionando de manera segura, aunque los componentes se hayan desgastado.

Figura 10

Operador de Tippmann realizando las pruebas de disparo

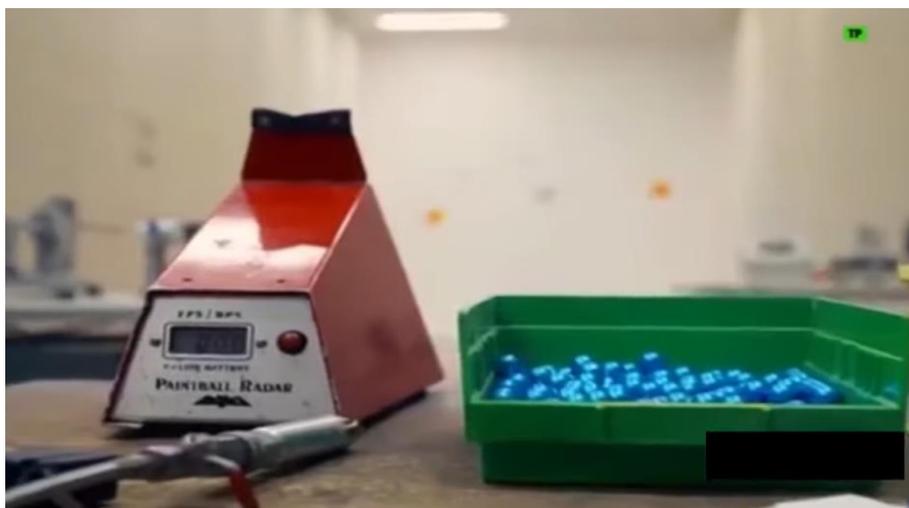


Nota. Máquina de ciclos de disparo, para verificar funcionalidad de sus componentes.

Posteriormente, se dispara al cronógrafo para encontrar una lectura de velocidad, en donde se busca una velocidad de 80 a 85 m/s una vez verificada la velocidad de disparo. Ver **Figura 11**, el arma se encuentra totalmente lista para su comercialización.

Figura 11

Paintball radar



Nota. Cronógrafo para verificar la velocidad de salida de la munición no- letal.

Tratamiento térmico de armas de fuego

Mientras muchas industrias siguen tambaleándose por la pandemia de coronavirus en curso, la industria de las armas está en auge. En la última década, el fuerte crecimiento del sector no ha hecho más que acelerarse, impulsado por la respuesta de los consumidores y los continuos disturbios civiles a nivel mundial. *Según el Informe de la NSSF sobre el impacto económico de la industria de las armas de fuego y las municiones en 2020.*(National Shooting Sports Foundation, 2020), la industria de las armas es responsable de más de 300.000 puestos de trabajo en Estados Unidos, cifra que se ha duplicado desde 2008. (PAULO, 2021)

La demanda de armas de fuego impulsa la necesidad de tratamientos térmicos para esta industria tan regularizada. Un tratamiento térmico es fundamental en términos de seguridad, ya que desempeña un papel importante al momento de ofrecer el acabado de calidad que desean los fabricantes obtener.

Nitruración de gas.

Es un proceso de tratamiento térmico que permite que las piezas fabricadas conserven su forma mediante temperaturas de horno más bajas. Frecuentemente, las altas temperaturas y

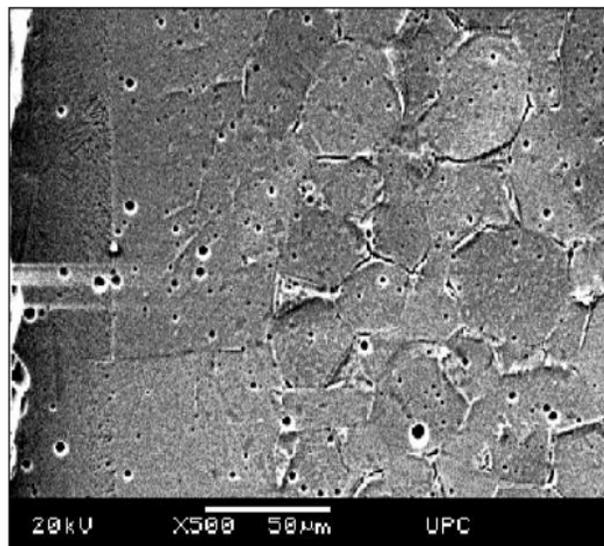
las tensiones de enfriamiento rápido del proceso de curado, pueden hacer que las piezas se deformen, lo que requiere un mecanizado adicional y en ocasiones hasta costoso.

Durante este proceso, se introduce amoníaco (NH_3) en el horno, que se rompe al entrar en contacto con la pieza de trabajo. El nitrógeno, que se disuelve en el hierro a la temperatura de nitruración, luego se difunde entonces en la pieza. El proceso se controla mediante la supervisión de la cantidad de amoníaco que se ha descompuesto durante el proceso, ver Figura 1.

La dureza que alcanza una pieza en la nitruración gaseosa viene dictada por la composición y microestructura de la aleación. Las aleaciones más complejas responden mejor y suelen endurecerse y acabarse antes de la nitruración. La dureza se añade en la superficie de la pieza, pero su núcleo sigue siendo comparativamente blando y dúctil. (PAULO, 2021)

Figura 1

Muestra realizada del tratamiento térmico por nitruración



Nota: Tomado de Microestructura de una muestra nitrurada durante 8 horas a temperatura de 850 °C, por Ing. Bulmaro Noguera, 2020, (<https://www.Tdx.Cat/Bitstream/Handle/10803/6041/04Japb04de06.Pdf;Jsessionid=5DO15F15614F1CEDF22E3ED11C8AD9D5?Sequence=4.>)

Dado que la nitruración con gas proporciona la calidad deseada sin un cambio de fase, no se requiere que sea enfriada. Además, no es necesario templar la pieza después de la nitruración con gas, porque según la temperatura del horno el contenido de gas, el flujo de gas y el ajuste del tiempo del proceso, se pueden lograr los niveles especificados de dureza, fuerza y resistencia al desgaste.

La nitruración con gas también fortalece los componentes automotrices, como cigüeñales, las piezas de las válvulas, así como componentes de armas de fuego como correderas, tubo cañón y supresores de destellos.

Componentes y materiales comúnmente tratados con revestimiento de nitruro.

Acero 4140. El AISI 4140 es un acero de baja aleación, normalmente denominado acero al cromo-molibdeno. Tiene alta resistencia a la fatiga, al desgaste y al impacto, así como rigidez y resistencia a la torsión.

Acero inoxidable de grado 416. Un acero con alto contenido en cromo, fósforo y azufre, lo que lo convierte en un acero de libre maquinado. Además, de todos los aceros inoxidables, éste es el más maquinable.

Acero inoxidable de grado 410. Es un acero inoxidable martensítico y tienen alta resistencia ante la corrosión, que puede mejorarse aún más mediante el templado, el revenido y el pulido.

Acero inoxidable de grado 420. Es acero inoxidable tanto para ambientes rurales como urbanos y es altamente resistente a la corrosión en agua dulce y diversos agentes

corrosivos. La superficie pulida aumenta su resistencia a la corrosión. Tiene bastante resistencia al vapor sulfurado. Tiene una buena tolerancia a la oxidación, hasta 750°C. Es ferromagnético.

Acero 4340. Es un acero de baja aleación que contiene Cr, Ni y Mo. Tiene alta dureza y resistencia cuando se trata térmicamente. Este material se considera de uso extremo y se suele utilizar para armas de fuego de gama alta.

Acero inoxidable 17-4. Es una aleación martensítica de endurecimiento por envejecimiento que combina una alta resistencia con la resistencia a la corrosión del acero inoxidable.

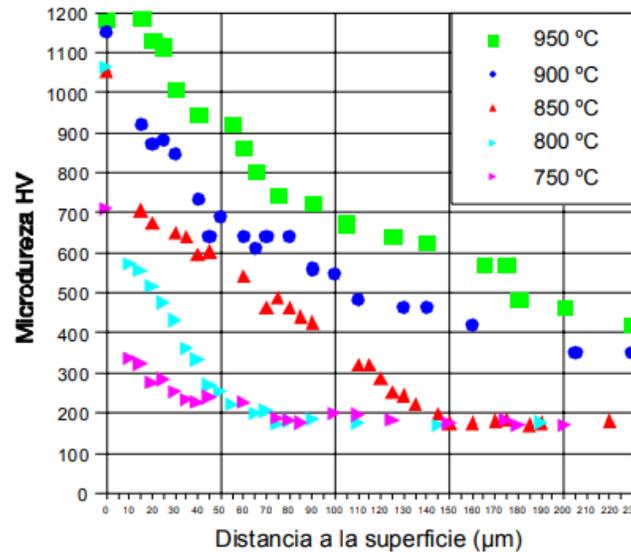
Especificaciones de nitruración

La medida más común que los fabricantes de armas especifican para los resultados de nitruración deseados es la profundidad intermetálica. Las especificaciones típicas son una capa blanca de 4 a 25 micras de profundidad. También se suele especificar la porosidad permitida a la profundidad de la capa, aunque el rango varía, por lo general apuntando a menos del 50% de porosidad.

El ensayo de dureza Vickers, ver Figura 2, es uno de los métodos para evaluar la profundidad intermetálica en los componentes nitrurados por gas. Mientras que 850 HV es normalmente la máxima dureza alcanzable para el acero inoxidable, sistemáticamente se han logrado alcanzar 2000 HV con los procesos de nitruración. Cabe señalar que una mayor dureza es beneficiosa para los componentes de las armas de fuego, ya que aumenta la resistencia al desgaste a medida que los componentes que se deslizan entre sí.

Figura 2

Variación de la microdureza



Nota: Tomado de *Micro dureza versus la distancia a la superficie en las muestras nitruradas a diferentes temperaturas por 12 horas C*, por Ing. Bulmaro Noguera, 2020,

(<https://www.Tdx.Cat/Bitstream/Handle/10803/6041/04Japb04de06.Pdf;Jsessionid=5DO15F15614F1CEDF22E3ED11C8AD9D5?Sequence=4.>)

Moldeado por inyección de metal (MIM).

Esta es una técnica de fabricación pulvimetalúrgica que inyecta polvo metálico y binder en un molde para obtener la pieza en verde con la forma del producto final, ver **Figura 3**. Esta pieza después es sinterizada para obtener una densidad alrededor de 95-98% que depende del proceso y material. (High Pressure Technologies, 2023)

El MIM es un método rápido y rentable para fabricar mecanismos de disparo como el martillo percutor, gatillos y selectores de seguridad, ver Figura 4. Tradicionalmente los componentes MIM se han ganado una reputación en la industria por ser inferiores a los

componentes mecanizados convencionalmente, ya que se sabe que fallan pronto durante su uso.

Figura 3

Moldeado por inyección de metal



Nota. Proceso de moldeo por inyección paso a paso, hasta obtener el producto final. (Ecrimesagroup, 2023) <https://Ecrimesagroup.Com/Es/Como-Usar-La-Tecnica-Mim-de-Moldeado-de-Metales/>.

Figura 4

Piezas por proceso MIM



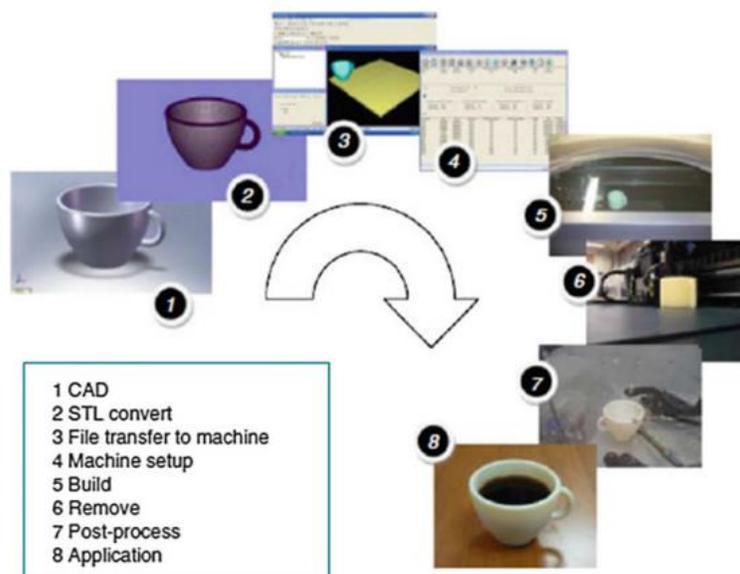
Nota: Tomado de *Hiperbaric*, 2020, (<https://www.Hiperbaric.Com/Es/Tecnologia-Hip/Tecnicas-de-Fabricacion-Hip/Moldeado-Por-Inyeccion-de-Metal/>.)

Manufactura Aditiva (AM).

Denominada en forma abreviada como AM, consiste en que un modelo generado mediante un sistema de diseño asistido por computadora en 3D (3D CAD), se puede fabricar directamente sin requerir la planificación del proceso, ver **Figura 16**. La tecnología AM ciertamente simplifica considerablemente el proceso de producción de objetos 3D de alta complejidad directamente desde un software CAD.(Gibson et al., 2015)

Figura 16

Proceso AM genérico



Nota: Tomado de *Additive Manufacturing Technologies* (p.67), por Rosen. Gibson y Stucker B, 2015, Springer

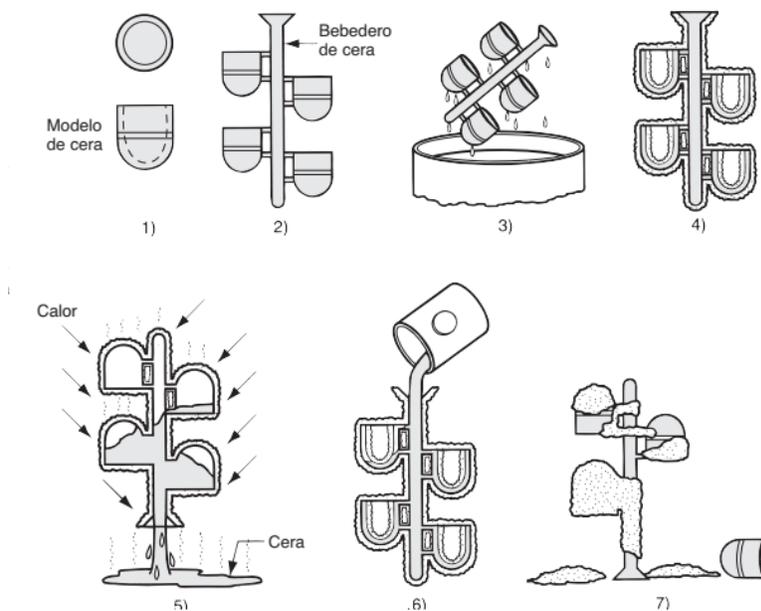
La fabricación aditiva aún no está muy extendida en la industria de las armas de fuego, pero ya la estamos viendo cada vez más utilizada en la fabricación de silenciadores comúnmente llamados supresores, estos componentes atrapan los gases de expansión para reducir el ruido durante el disparo y se usan en rifles de francotiradores militares. La fabricación aditiva es ideal para estas piezas debido a sus geometrías complejas que son difíciles o incluso imposibles de conseguir con el mecanizado convencional.

Fundición por revestimiento.

En este tipo de fundición, se construye un modelo utilizando cera y se lo recubre con un material refractario para formar un molde. A continuación, se derrite la cera antes de verter el metal fundido, ver **Figura 17**.

Figura 17

Etapas de la fundición por revestimiento.



Nota. 1) elaboración de los modelos de cera; 2) unión de los modelos a un bebedero; 3) recubrimiento; 4) formación del molde rígido; 5) inversión del molde y calentamiento de la cera; 6) se precalienta el molde, se vierte el metal fundido y se solidifica; y 7) se rompe el molde del fundido terminado. Tomado de *Fundamentos de manufactura moderna* (p.352), por Mikell. Groover, 2007.

Este método es de precisión y capaz de generar fundidos de gran exactitud y con detalles intrincados. También, es conocido como proceso de la cera perdida, debido a que el modelo de ese material se pierde en el molde antes de la fundición. (Groover, 2007)

La fundición a la cera perdida es otro proceso utilizado para fabricar marcos de armas de fuego, en particular la pistola M1911.

Prensado isostático en caliente (HIP).

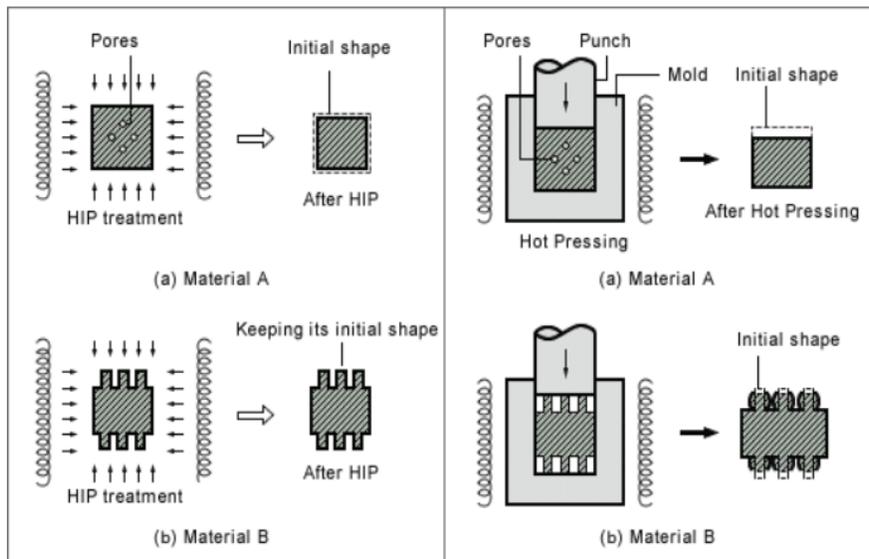
Con el prensado isostático las piezas se calientan a temperaturas muy elevadas en una cámara sellada capaz de generar presiones altas en presencia de gas inerte, ver **Figura 18**; durante el procesamiento, el calor y la presión se combinan para cerrar los vacíos que se formaron durante la fabricación de piezas, eliminando la debilidad de las piezas. La mayoría de los componentes de las armas de fuego responden bien a los ciclos de entrenamiento estándar para HIP, que normalmente funcionan a 2050-2200 °F y 15 000 psi. (PAULO, 2021)

Piezas comunes que se someten a HIP:

- Componentes de armas de fuego moldeados por inyección de metal.
- Álabes de turbina encontrados en motores a reacción o instalaciones de generación de energía.

Figura 18

Tratamiento del prensado isostático en caliente.



Nota. a) Piezas antes de someterse al HIP, b) Piezas realizadas el prensado isostático

Componentes y materiales de armas de fuego comúnmente procesados con HIP

HIP es particularmente adecuado para eliminar la porosidad de las piezas de metal moldeadas por inyección (MIM).

Los grados más comunes de MIM utilizados en la fabricación de armas de fuego, incluyen el acero 4140, acero inoxidable 17-4, FL-4605 y el acero inoxidable 420.

El modelado de inyección por metal, la manufactura aditiva y la fundición por revestimiento se asemejan porque sus métodos de producción dejan agujeros en la estructura interna. El HIP descarta la porosidad no deseada en las piezas de fabricación, lo que aumenta su resistencia, tenacidad y fatiga, logrando de esta manera que las armas de fuego sean sometidas a grandes impactos sin problema alguno.

Revestimiento de óxido negro.

También conocido como ennegrecimiento, oxidación y pavonado; brinda un atractivo visual, mejora la resistencia a la corrosión y reduce la reflectividad con un efecto mínimo en las dimensiones de sus piezas. (PAULO, 2021).

El recubrimiento de conversión está formado por una reacción química que ocurre cuando la pieza se sumerge en una solución acuosa alcalina de una sal, a unos 140°C. El hierro de la aleación ferrosa reacciona con el baño de oxidación térmica para formar magnetita (Fe_3O_4), una aleación de moléculas de hierro y oxígeno en la superficie de la parte sumergida.

Al igual que la nitruración, el recubrimiento de óxido negro se usa en las partes visibles de las armas de fuego como correderas, tubos cañones, armazones y rompe llamas. Ver **Figura 19**. Por lo tanto, este proceso se lo puede aplicar a cualquier pieza de acero al carbono, pero no se adhiere al acero inoxidable.

Figura 19

Armazón de arma de fuego



Nota. Armazón de pistola, con tratamiento de revestimiento por óxido negro.

Enfriamiento por gas a alta presión.

Se lo puede realizar en un horno al vacío, como alternativa al enfriamiento con aceite para cualquier componente de armas de fuego que estén casi o completamente terminados, o donde la distorsión sea una preocupación importante. En el enfriamiento con gas a alta presión, las piezas se austenizan en vacío. Luego, la cámara se rellena con un gas inerte y se agita vigorosamente con un motor potente.

El enfriamiento con gas a alta presión da lugar a piezas más limpias que el enfriamiento con aceite, pero tiene otras ventajas que pueden resultar muy valiosas para los componentes de las armas de fuego. Este proceso puede tomar una aleación 4140 convencional y hacerla conseguir las mismas propiedades como un 4340 refundido al vacío (VAR), un material con base de níquel de mejor calidad. Esto puede permitir a los fabricantes de armas de fuego ver resultados de dureza y resistencia similares en componentes cotidianos a los que esperarían de un material de uso extremo como el 4340.(PAULO, 2021)

Manipulación y trazabilidad de los componentes de las armas de fuego.

Los componentes de armas de fuego que deben estar nitrurados con gas y que tengan como norma la AMS 2757 o la AMS 2759/12 también deben seguir las pautas especificadas en este código.

Esta especificación cubre los requisitos de ingeniería para producir una capa delgada continua de compuesto de carbonitruro de hierro épsilon en piezas mediante un proceso gaseoso a baja temperatura y las propiedades de la carcasa. Este proceso se ha utilizado normalmente para incrementar la resistencia a la fatiga y el desgaste, para mejorar la tenacidad a la corrosión en metales ferrosos como aceros al carbono de baja aleación, para herramientas y hierros fundidos, pero el uso no se limita a tales aplicaciones. Este proceso se puede aplicar selectivamente a las áreas de desgaste del componente.(SAE INTERNATIONAL, 2019)

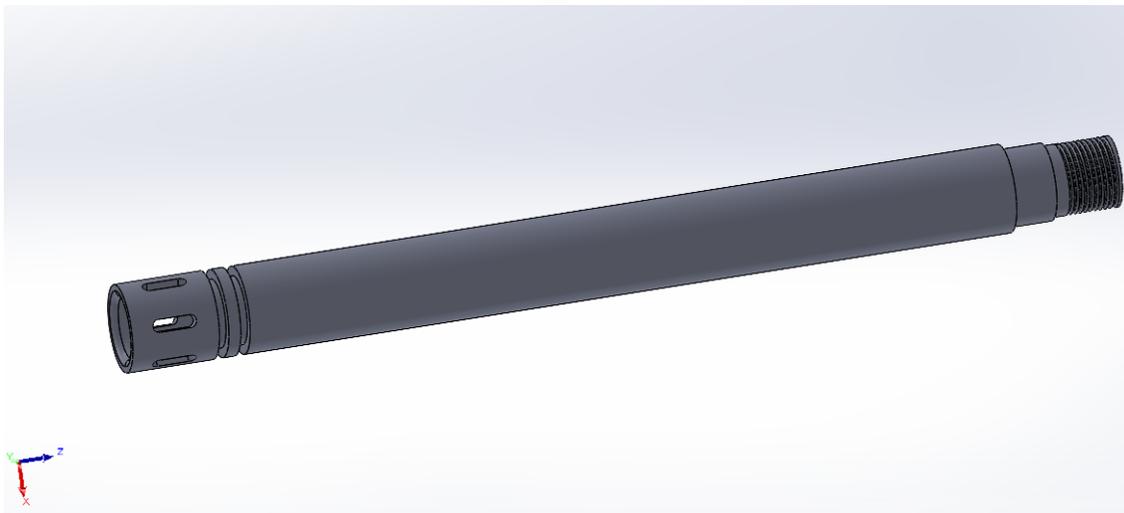
Capítulo III: Procedimientos Constructivos

Modelado Tridimensional para la manufactura

Tubo Cañón o Barril (M1). El extremo unido al cuerpo del arma no-letal debe ser cónico, ver **Figura 20**, para facilitar la transferencia del proyectil de módulo a módulo y la colocación del proyectil. La medida a lo largo del diámetro interior del cañón es tal que, la munición no debe pasar por el tubo cuando se coloca en la posición vertical, garantizando una estanqueidad entre el proyectil y el anima del cañón, de manera que la eyección se produce por la acción de la presión del gas.

Figura 20

Modelo tridimensional del tubo cañón



Nota. Imagen ilustrativa que muestra la forma cónica del extremo del tubo cañón por donde ingresa la munición.

En las especificaciones de diseño se definió un calibre 0.68 in, por lo que se obtuvieron las medidas en diferentes posiciones a lo largo de la cavidad de los barriles de las marcadoras comerciales.

En cuanto a la selección del material se ha optado por elegir la aleación de aluminio 7075 - T6, que tiene una resistencia a la tracción de 510 a 538 MPa y el rendimiento de la

fuerza de al menos 434 a 476 MPa, con una rotura tras elongación de entre 5 y 8 %.(*Wayback Machine*, n.d.). Por su elevado límite elástico es una aleación adecuada para piezas que se someten a grandes fatigas en comparación con otros metales, es de fácil mecanizado y tiene poca resistencia a la corrosión en comparación con otras aleaciones, es comúnmente utilizado para la construcción de maquinaria, moldes de soplado, matrices, blindajes y principalmente para armamento. Cabe recalcar que este tipo de material se encuentra de venta en el mercado ecuatoriano, lo que nos facilita la adquisición del mismo.

La composición química, propiedades físicas y mecánicas del aluminio 7075 T6 se observan en la **Figura 21**.

Figura 21

Composición y propiedades del Aluminio 7075 T6

Mechanical Properties		
Hardness, Brinell	150	150
Hardness, Knoop	191	191
Hardness, Rockwell A	53.5	53.5
Hardness, Rockwell B	87	87
Hardness, Vickers	175	175
Ultimate Tensile Strength	<u>572 MPa</u>	83000 psi
Tensile Yield Strength	<u>503 MPa</u>	73000 psi
Elongation at Break	<u>11 %</u>	11 %
Elongation at Break	<u>11 %</u>	11 %
Modulus of Elasticity	<u>71.7 GPa</u>	10400 ksi
Poisson's Ratio	0.33	0.33
Fatigue Strength	<u>159 MPa</u>	23000 psi
Fracture Toughness	<u>20 MPa-m^{1/2}</u>	18.2 ksi-in ^{1/2}
Fracture Toughness	<u>25 MPa-m^{1/2}</u>	22.8 ksi-in ^{1/2}
Fracture Toughness	<u>29 MPa-m^{1/2}</u>	26.4 ksi-in ^{1/2}
Machinability	<u>70 %</u>	70 %
Shear Modulus	<u>26.9 GPa</u>	3900 ksi
Shear Strength	<u>331 MPa</u>	48000 psi

Nota: Tomado de *Composición y propiedades del Aluminio 7075-T6*, 2022, ¿Qué es el aluminio 7075-T6? (<https://studylib.es/doc/4907872/-7075---aluminio-%E2%80%93-zinc->).

En este prototipo se optó por utilizar la rosca métrica ISO 22x1.5. En la **Tabla 1**, se muestra un resumen de las características técnicas del tubo cañón.

Tabla 1

Resumen de las características del tubo cañón.

Datos técnicos	Especificaciones
Longitud	12 in (305mm)
Diámetro interno	0,6903 (17,534mm)
Material	Aleación Al 7075-T6
Espesor	3 mm
Tipo de rosca	ISO 22 X 1,5
Tipo de o-ring	Buna, 70A, 2-115
Masa	0,02 kg

Simulación y cálculos de la resistencia mecánica, zona más crítica y factor de seguridad del tubo cañón a través del software del Método de Elementos Finitos, ver Apéndice A-2.

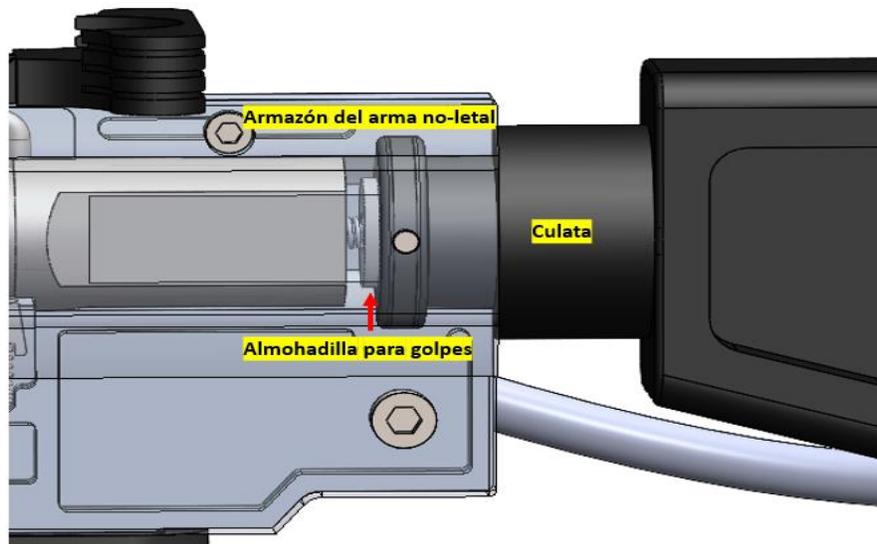
Culata (M2). Se proporcionó una conexión entre la culata y el armazón, ya que la unión de los dos lados del armazón del arma no-letal creará una cavidad interna para acomodar la culata, como se muestra en la **Figura 22**, y se colocará una almohadilla para amortiguar el impacto del martillo percutor, la almohadilla será fabricada de un polímero.

El material elegido para la culata debe ser ligero, ya que su principal objetivo es garantizar precisión y estabilidad. Varios tipos de plásticos se utilizan para el mecanizado en CNC, entre los que tenemos: ABS, nylon 6/6, HDPE, acrílico, policarbonato.

En esta ocasión se selecciona el ABS como material para la fabricación de la culata. En la **Figura 23** se puede ver las propiedades de dicho material.

Figura 22

Acople entre la culata y el armazón del arma no-letal.



Nota. Ilustración de la unión entre el armazón y la culata

Figura 23

Propiedades de los termoplásticos.

Material	Densidad (g/cm ³)	Resistencia a la tensión (×1000 psi)*	Resistencia al impacto, Izod (pie · lb/pulg)†	Resistencia dieléctrica (V/mil)‡	Temp. máx. de uso (sin carga)	
					°F	°C
Polietileno:						
Baja densidad	0.92-0.93	0.9-2.5		480	180-212	82-100
Alta densidad	0.95-0.96	2.9-5.4	0.4-1.4	480	175-250	80-120
PVC clorado, rígido	1.49-1.58	7.5-9	1.0-5.6		230	110
Polipropileno, uso general	0.90-0.91	4.8-5.5	0.4-2.2	650	225-300	107-150
Estireno-acrilonitrilo (SAN)	1.08	10-12	0.4-0.5	1775	140-220	60-104
ABS, uso general	1.05-1.07	5.9	6	385	160-200	71-93
Acrílico, uso general	1.11-1.19	11.0	2.3	450-500	130-230	54-110
Acetatos celulósicos	1.2-1.3	3-8	1.1-6.8	250-600	140-220	60-104
Politetrafluoroetileno	2.1-2.3	1-4	2.5-4.0	400-500	550	288

*1000 psi = 6.9 MPa.

†Prueba Izod con muesca: 1 pie · lb/pulg = 53.38 J/m.

‡1 V/mil = 39.4 V/mm.

Nota: Tomado de *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales* (p.499), por Smith y Hashemi, 2006.

A continuación, la Tabla 2 muestra una descripción general de las características de la culata, seguida de la **Figura 24** en la que se presenta el modelo desarrollado. Se pueden observar varias cavidades diseñadas logrando de esta manera reducir el peso de la misma.

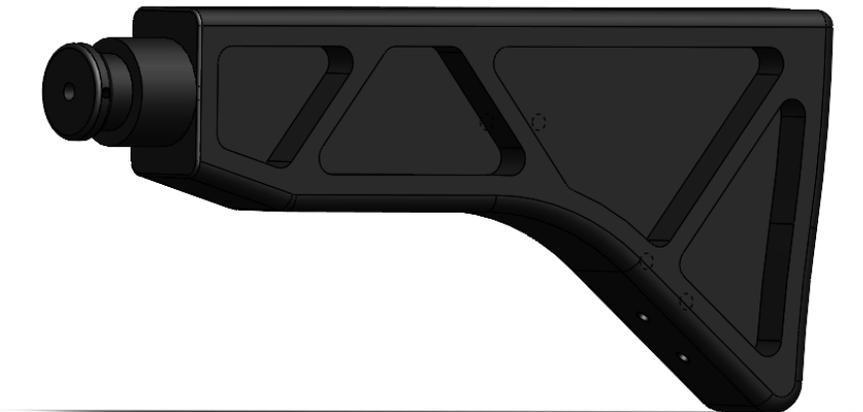
Tabla 2

Resumen de las características de la culata

Datos técnicos	Especificaciones
Longitud desde el gatillo	14 in (355mm)
Material	ABS
Masa	0,39 kg

Figura 24

Modelo tridimensional de la culata



Nota. Modelo de la culata desarrollado en software CAD.

Mango (M3). Esta parte es donde el operador controla la posición del arma no-lethal, está permanentemente fijada al cuerpo del arma. Dado que el acoplamiento definido anteriormente es atornillado, el modelo tiene 3 orificios dispuestos, ver **Figura 24**.

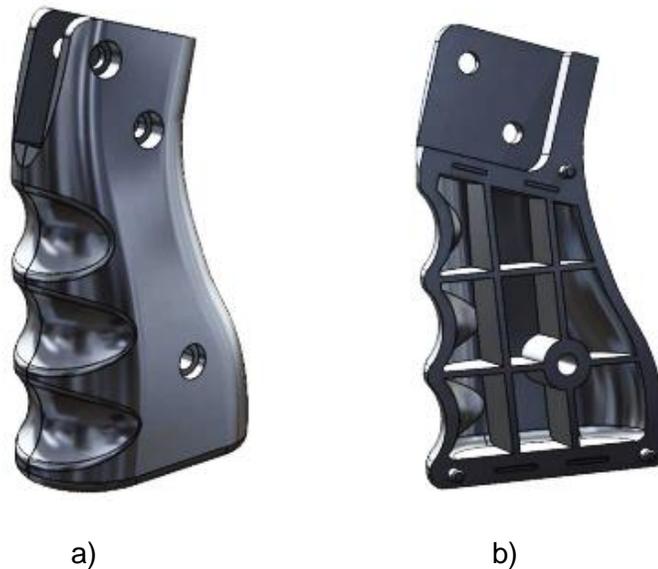
El prototipo del mango se lo realizó mediante manufactura aditiva, por lo que se usará filamento PLA Plus. Para facilitar la impresión se decidió diseñarlo en 2 partes para que pudiera

abrirse en la mitad, como puede verse en la **Figura 25.b**. Tiene barras entrecruzadas en el interior para asegurar la rigidez del mango, dada una densidad de 1.25g/cm³, la masa aproximada es de 0.7 kg.(IMPRESORAS 3D PUEBLA, 2023)

Además, se puede ver que hay varias salientes en su periferia, esto es para facilitar y garantizar la conexión con la otra parte. Las medidas base fueron tomadas a partir de los modelos comerciales estudiados, también se agregó la característica ergonómica de 3 cavidades en la parte frontal para mayor comodidad y adaptabilidad del operario.

Figura 25

Mango del arma no-letal



Nota. a) Mango completo, b) Parte interna del mango

Tabla 4

Resumen de las características del mango

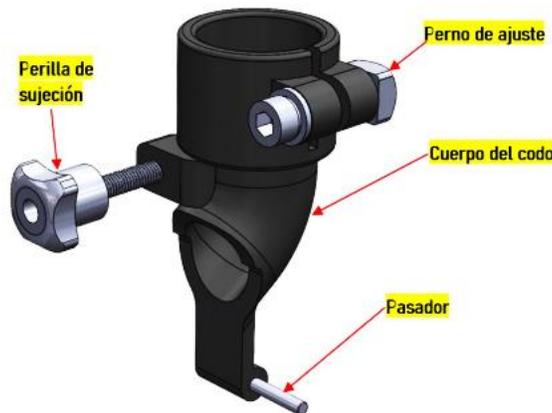
Datos técnicos	Especificaciones
Longitud	4 in (103,91mm)
Material	PLA Plus
Masa	0,5 kg

Codo de alimentación (M4). El codo de alimentación se fabricó mediante resina Anycubic UV Tough ya que es altamente resistente a la compresión, estiramiento y flexión sin romperse. Este tipo de resina es ampliamente aplicable a repuestos industriales que necesitan ser doblados, así como piezas de absorción de impactos.

La **Figura 26**, muestra los componentes del módulo 4. Con el pasador se pudo unir el cuerpo del arma para evitar tener movimiento basculante. A continuación, usando la perilla de sujeción se pudo fijar para que no existan movimientos al momento de realizar la carga. Finalmente, el perno de ajuste permite regular el apriete para la conexión con la tolva de alimentación.

Figura 26

Componentes del codo de alimentación



Nota. Se observa el ensamble del módulo de 4. Masa aprox. 0.044 kg.

Tabla 5

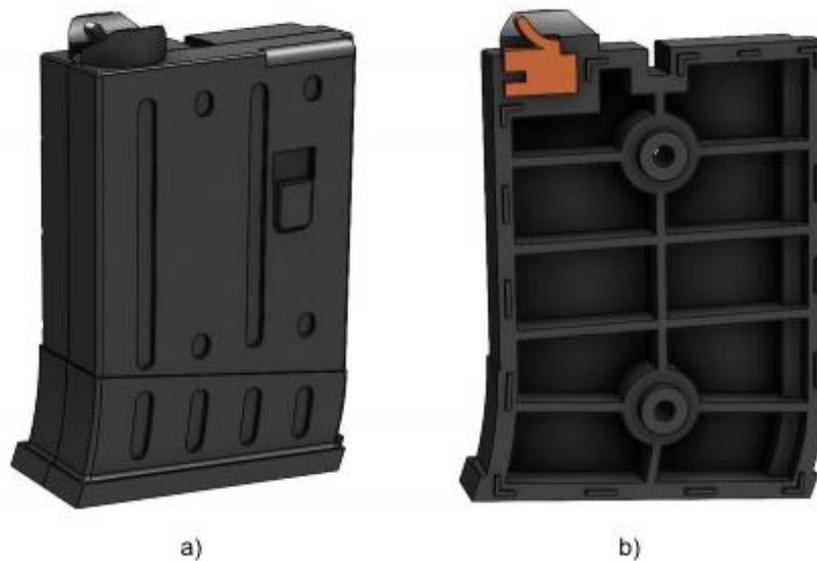
Resumen de las características del codo de alimentación

Datos técnicos	Especificaciones
Longitud	3 in (77,85mm)
Material	Resina Anycubic UV Tough
Masa	0,2 kg

Cargador (M5). Su diseño es similar al del mango y se realizó en dos partes para obtener las mismas ventajas que anteriormente mencionamos en el mango del arma no-letal, ver **Figura 27.a**. Se usa con el propósito de: dar la apariencia de un fusil real y dejar la cavidad en el cuerpo del arma por si en un futuro se requiere reemplazar con un cargador funcional para proyectiles. En la **Figura 27.b**. se observa que existe un lugar en el cual se encuentra colocada una pieza de goma (naranja), responsable de bloquear el ingreso a un solo proyectil a la recámara, evitando de esta manera que varios proyectiles ingresen simultáneamente y traben el arma no-letal.

Figura 27

Cargador del arma no-letal tipo fusil



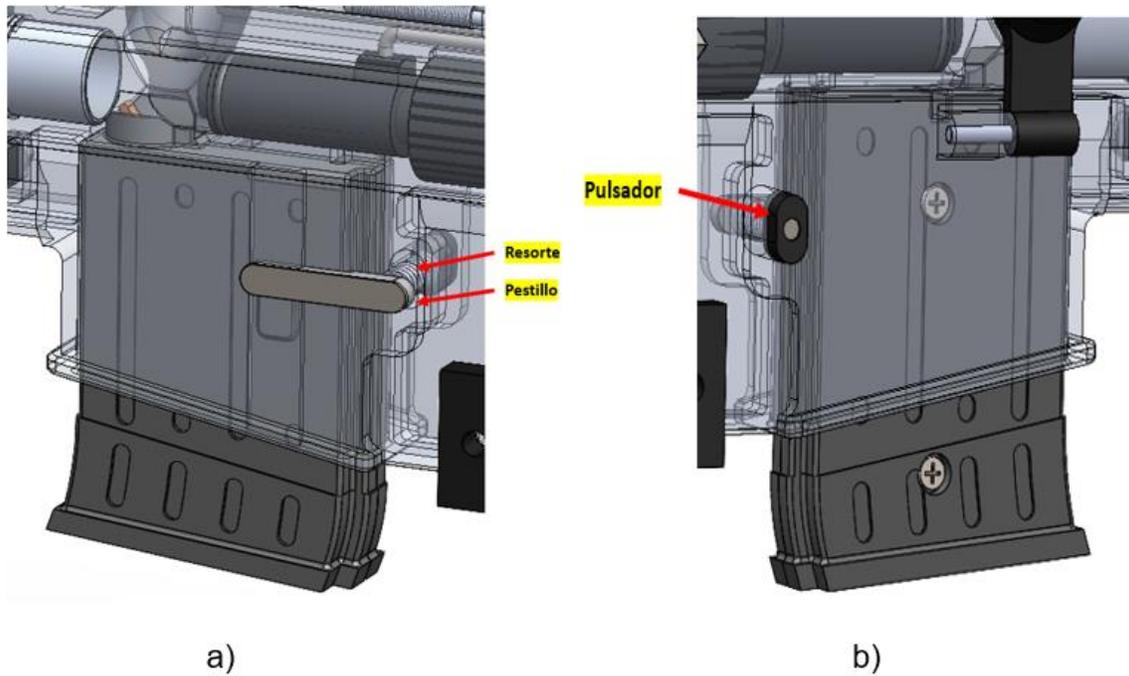
Nota. a) Vista completa del cargador, peso 0.081 kg, b) Imagen interna del cargador y goma (naranja).

Anteriormente, la interfaz cuerpo – cargador se la definió como un acoplador rápido. Es así, que el mecanismo consta de 3 partes como se muestra en la **Figura 28**. Básicamente el pestillo libera el cargador cuando se presiona el botón, tiene una geometría que permite que el

cargador ingrese y se enganche, evitando así, que se deslice hacia abajo y se caiga del arma no-lethal.

Figura 28

Mecanismos de acople del cargador del arma no-lethal.



Nota. a) Vista del resorte y pestillo al costado izquierdo del arma, b) Vista del pulsador al costado derecho del arma.

Tabla 6

Resumen de las características del cargador

Datos técnicos	Especificaciones
Longitud	3,56 in (90,66mm)
Ancho	2,72 in (69,3mm)
Espesor	0,51 in(13mm)
Material	Nylon 6
Masa	0,5 kg

Cuerpo del arma no-letal (M6). En este módulo, se utilizó el accionamiento por propulsión. En esta sección se describe el proceso de cómo se conectan todos los módulos para obtener el modelo principal del arma no-letal.

Inicialmente, se realizó el levantamiento 3D de los componentes que producen la propulsión del proyectil, ver **Figura 29**. Esto se lo hizo en un software CAD utilizando los instrumentos de medición.

Figura 29

Componentes de propulsión del proyectil en 3D



Nota: Tomado de *Repositorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas- ESPE*, por Ing. Sebastián Olivo, 2022, (<https://Repositorio.Espe.Edu.Ec/Handle/21000/28150>).

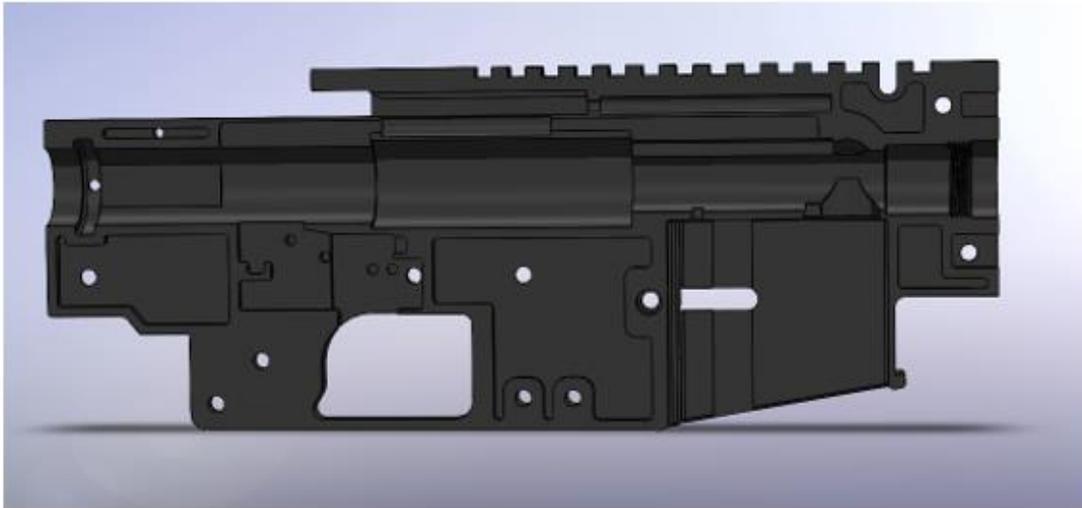
Una vez hecho este levantamiento en software CAD, ver **Figura 30**, se planteó un modelo base del cuerpo en impresión 3D, ver **Figura 31**, en el cual se encajaron los componentes para dar paso a la fabricación del arma no-letal en aleación de aluminio (PRODAX).

Análisis de liberación y retroceso del martillo percutor, producto del impulso generado por el aire comprimido o CO2 y características del resorte se puede observar en el Apéndice A-4 y A-6.

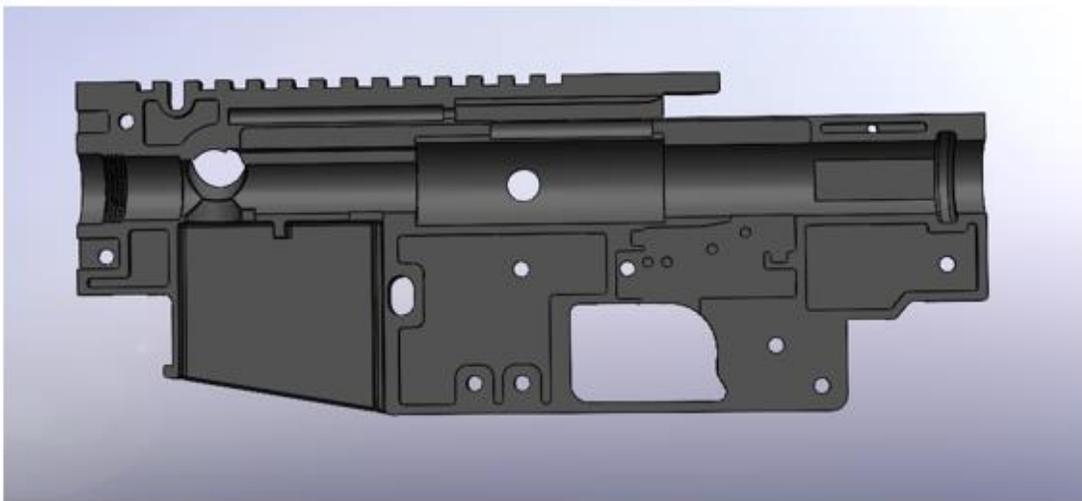
Figura 30

Modela 3D del cuerpo del arma.

a)



b)



Nota: a) Vista interna del receptor izquierdo, modelado 3D y b) Vista interna del receptor derecho, modelado 3D

Figura 31

Cuerpo del arma en impresión 3D.



Nota: Tomado de Repositorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas- ESPE, por Ing. Sebastián Olivo, 2022, (<https://Repositorio.Espe.Edu.Ec/Handle/21000/28150>).

Tabla 7

Resumen de las características del cuerpo del arma no-letal

Datos técnicos	Especificaciones
Material	Aleación Al 7075 -T6
Masa	0,984 kg
Tipo de Picatinny	STANAG 4694

Planificación de la manufactura.

Diagrama de procesos

Capítulo IV: Validación y Pruebas

Fabricación

Cuerpo del arma no-letal (M6).

La fabricación del cuerpo del arma no-letal comenzó con la utilización de una CNC FADAL VMC 3016, conjuntamente con el software Mastercam MillX5, que permite convertir el modelo CAD en g-code. Posteriormente, se procedió a configurar la máquina CNC, para ubicar el cero de pieza y empezar a mecanizar el cuerpo que consta de dos mitades, ver **Figura 35**.

Figura 35

Cuerpo del arma no-letal (M6), en el torno CNC



Nota. Proceso de mecanizado del receptor derecho en CNC

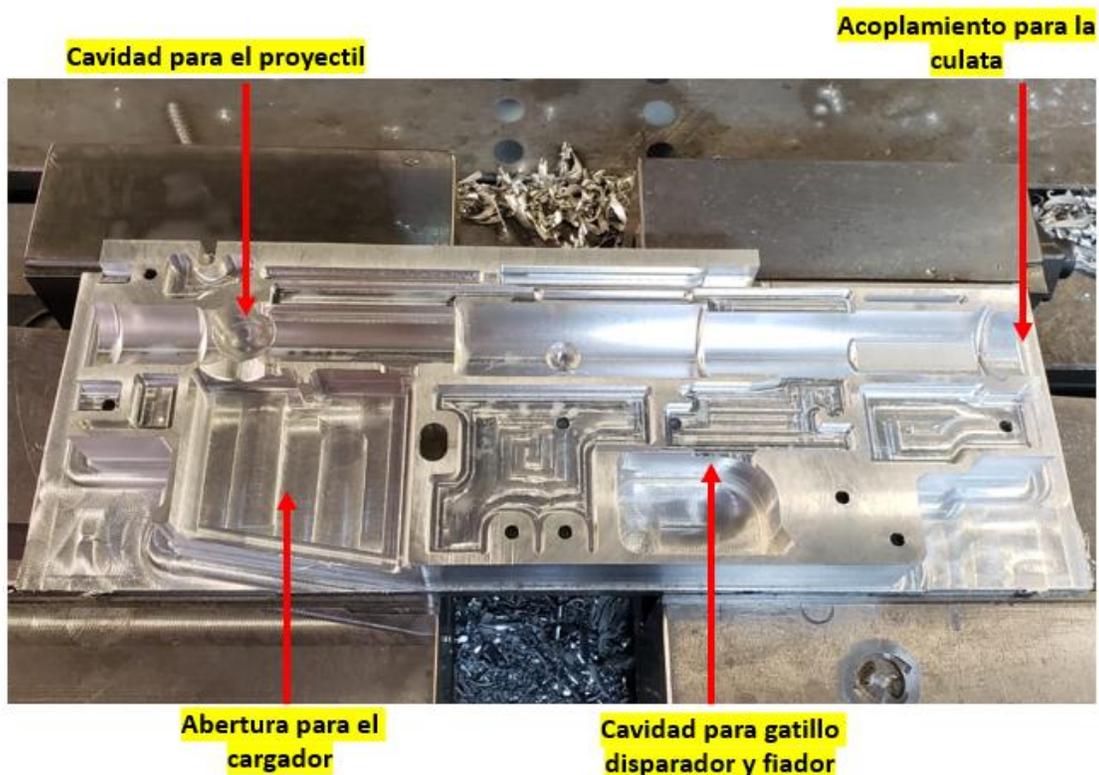
En la **Figura 35** se puede observar que se realizaron las cavidades pertinentes para que pudieran calzar con exactitud los mecanismos de la **Figura 29**. Así como también la cavidad en la parte posterior del cuerpo para el acoplamiento de la culata.

Posteriormente, como se observa en la **Figura 36** se agregó una geometría con relieve y aberturas en el frente interior para colocar el cargador del arma no-letal, para mecanizar el riel se consideró el estándar STANAG 4694 que es aprobado por el Grupo de Armamento del Ejército de la OTAN. (Haight, 2023).

Así mismo, se agregó las cavidades: para la entrada del proyectil, el cargador, el gatillo disparador y el fiador.

Figura 36

Cuerpo del arma no-letal con las cavidades para sus elementos

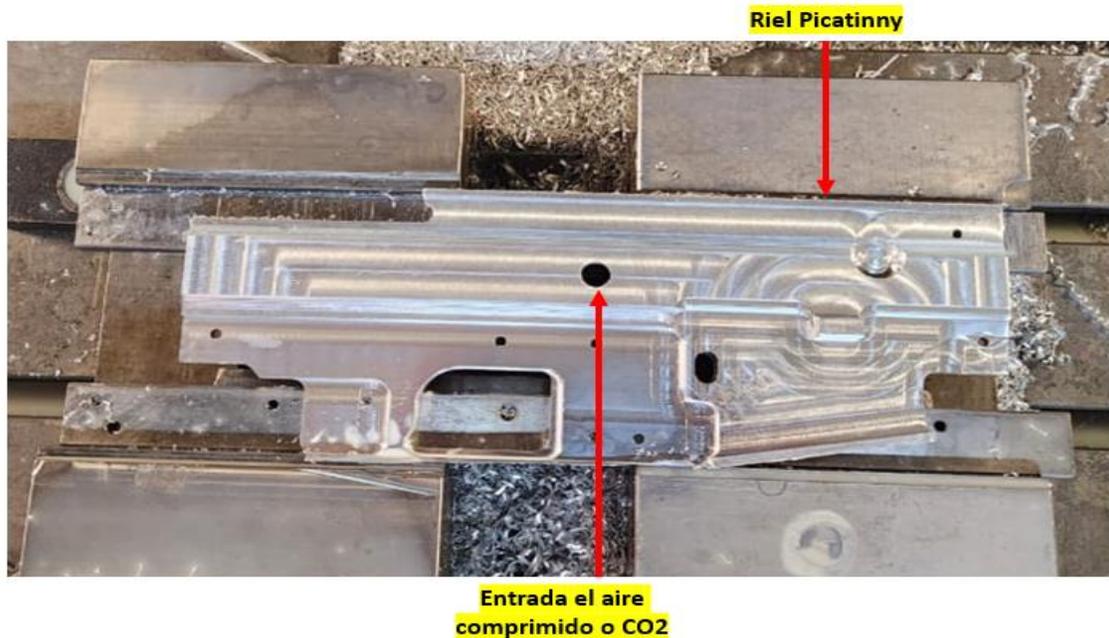


Nota. Recibidor izquierdo mecanizado en CNC

Se adicionó también un riel Picatinny para que el codo de alimentación pueda encajar perfectamente, a continuación, se realizó el agujero para la entrada del aire comprimido o CO₂, y se aumentaron unas guías para la manilla del cargador. Ver **Figura 37**.

Figura 37

Parte posterior del cuerpo del arma no-letal



Nota. Desbaste de la parte posterior del arma no-letal

Después, se realizó varias operaciones de acabado como esmerilado y redondeo, para eliminar las aristas vivas y principalmente para hacer posible el mecanizado del arma no-letal, así se pudo obtener el cuerpo mecanizada en el torno CNC. Ver **Figura 38**.

Finalmente, una vez mecanizado el cuerpo del arma no-letal, procedemos a juntar las dos piezas que conforman el cuerpo y con la ayuda de un machuelo se procedió a realizar la rosca que se definió en el Capítulo II, rosca métrica ISO 22 X1.5. Ver **Figura 39**.

Figura 38

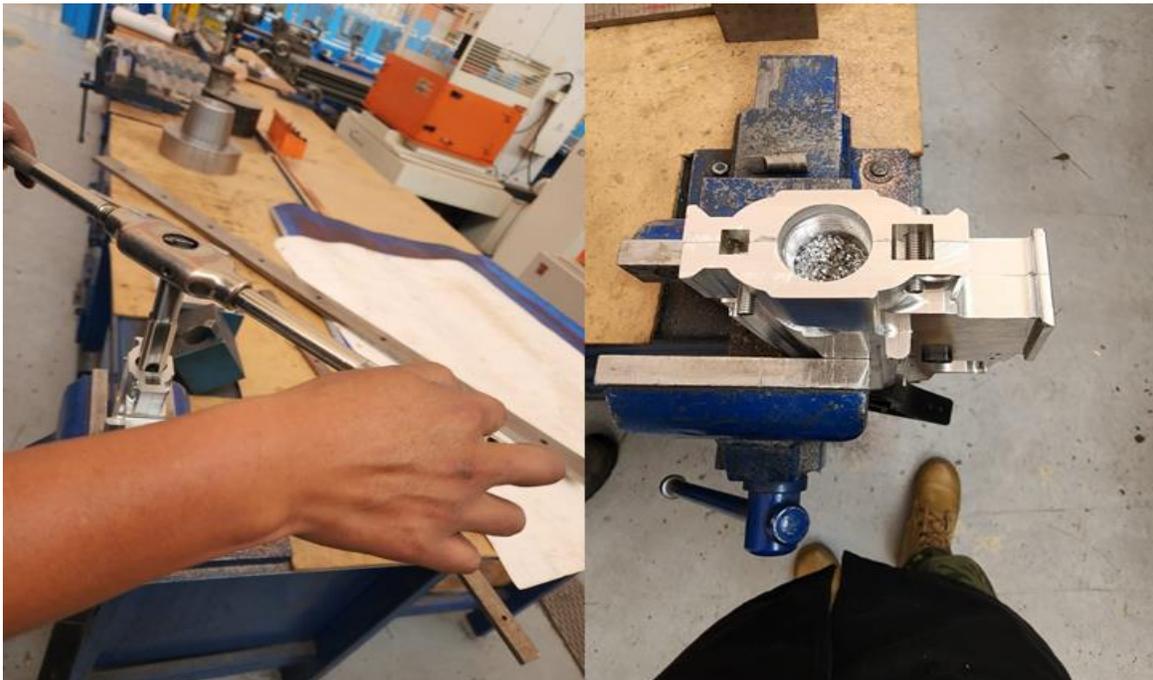
Cuerpo del arma no-letal vista interna y externa



Nota. Recibidores mecanizados en CNC, vista interna y posterior del arma no-letal

Figura 39

Rosca métrica ISO 22 X 1.5 en el cuerpo del arma no-letal



Nota. Proceso de roscado del cuerpo del arma no-letal

El análisis dinámico del cálculo de velocidades del martillo percutor que irá al interior del arma no-lethal se encuentra detallado en el Apéndice A-3.

Tubo Cañón o Barril (M1).

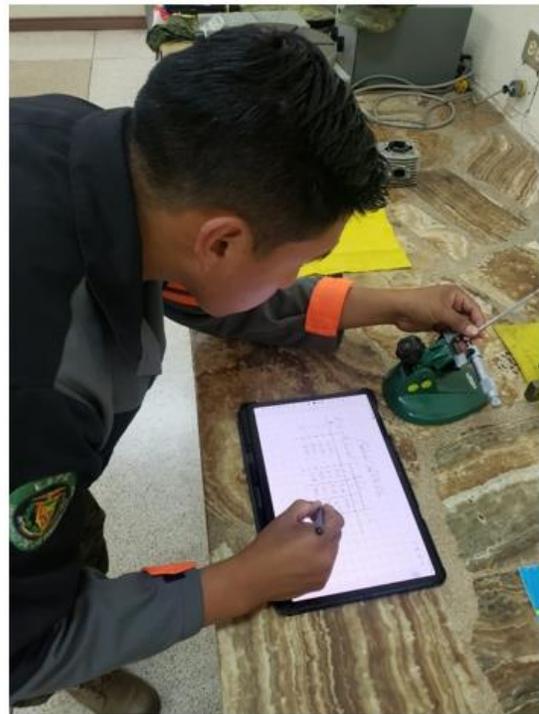
En el Capítulo II, se definió las características que tendrá el tubo cañón, ver **Tabla 1**. Con la ayuda de una galga telescópica se midió el diámetro interno del tubo cañón de la marcadora Spyder, arma no-lethal comercial existente en el país, ver Figura 40 **40**, que fue base para la fabricación del mismo. Conjuntamente con un micrómetro se procedió a realizar una tabla de mediciones para poder obtener un promedio del diámetro con el cual se fabricó el tubo cañón. Se obtuvo el promedio del diámetro interno de 0.672 in (17.09mm).

Figura 40

Obtención de medidas para la fabricación del tubo cañón



a)



b)

Nota. a) Medición del diámetro interno del tubo cañón de la marcadora spyder, b) Obtención de medidas con el micrómetro.

Después con una galga de roscas y un comparador óptico para una medición más exacta, se procedió a medir el paso de la rosca del tubo cañón, para si obtener la referencia de la rosca que se utilizó para la fabricación del tubo cañón del arma no-letal. Ver Figura 41. En el cual se obtuvo un paso de rosca métrica ISO 22 X 1.5, con el que trabajamos el tubo cañón.

Figura 41

Obtención del paso de rosca para la fabricación del tubo cañón



a)



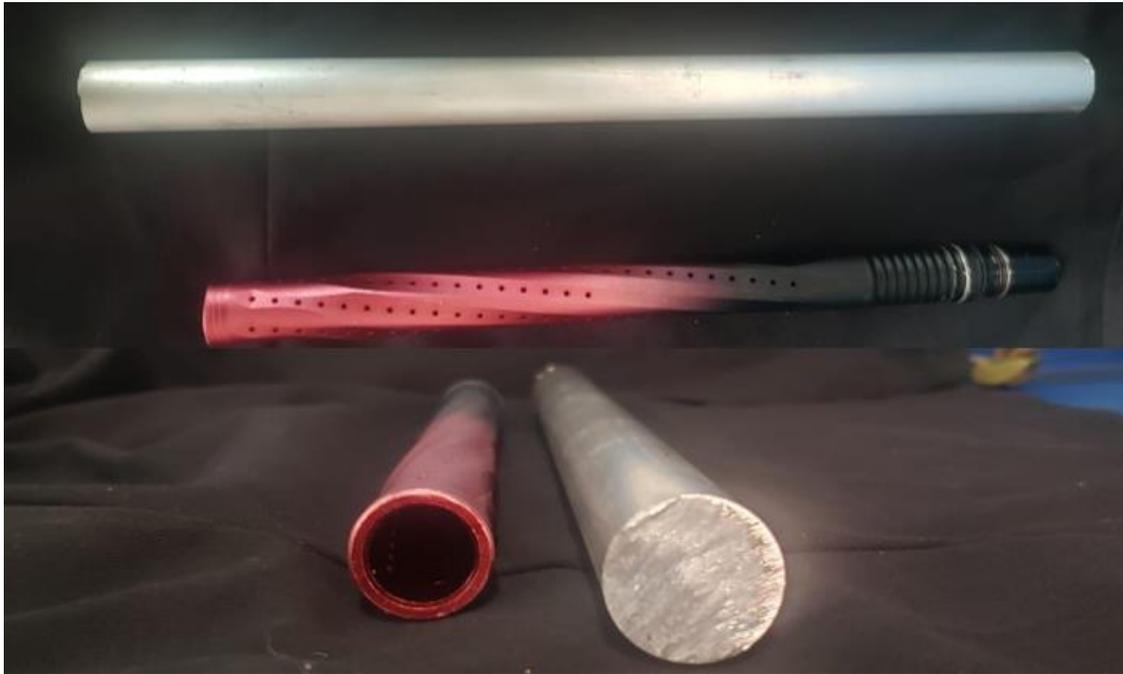
b)

Nota. a) Medición del paso de rosca del tubo cañón con una galga de roscas, b) Uso del comparador óptico para tener una medición más precisa del paso de rosca.

Una vez obtenidas las medidas para el tubo cañón, se procedió a utilizar una barra de aluminio 7075-T6 de 500 mm de longitud y 1 in (25.40mm) de diámetro, ver **Figura 42**, y con la ayuda de un torno de precisión de alta velocidad Modelo S430 x 1000 G. Se empezó a mecanizar el tubo cañón.

Figura 42

Barra de aluminio 7075-T6



Nota. Barra de aluminio 7075-T6 de 1 in de diámetro y tubo cañón de marcadora spyder, que serán utilizadas para realizar el tubo cañón.

Se cortó la barra de aluminio a una longitud de 17in (431.80mm), después se preparó el torno de precisión y se colocó la barra de aluminio en la copa autocentrante de 3 mordazas, para empezar el mecanizado. Ver **Figura 43**.

A continuación, se perforó la barra de aluminio a lo largo de un diámetro de 0.767 in (19.5mm), menos que el diámetro del calibre deseado del cañón. Se utilizó un taladro de agujero profundo para taladrar la barra. Ver **Figura 44**.

Figura 43

Barra de aluminio en el torno de precisión



Nota. Barra de aluminio 7075-T6, colocada en la copa autocentrante de tres mordazas.

Esta operación se la ejecutó aproximadamente a 1in (25.4 mm) por minuto, el tiempo total para perforar el agujero fue aproximadamente de 30 min.

Figura 44

Broca especial de agujeros profundos



Nota. Barra de aluminio 7075-T6 perforada con broca de agujeros profundos.

Después se introdujo un calibre escariador de carburo de tungsteno al agujero de la barra de aluminio que se perforó, el escariador engrandó el tamaño del calibre que deseamos a 0.688 in (17.5mm) y suavizó la parte interna perforada.

Una vez alcanzado el diámetro deseado y la longitud del tubo cañón se procedió a realizar el apagallamas, ver **Figura 45**, el cual le dará una apariencia más real de un tubo cañón de un arma de fuego.

Figura 45

Mecanizado del apagallamas



Nota. Elaboración del apagallamas el cual le dará una apariencia de un tubo cañón real.

A continuación, se procedió a sacar el tubo cañón de la copa autocentrante y girarla para proceder a la realizar la rosca métrica ISO 22 X1.50. Previamente, se verificó que el buril de roscas se encuentre correctamente afilado y calce en la galga patrón de 60°. Ver **Figura 46**.

Figura 46

Buril de roscas y galga patrón



Nota. Uso de una galga patrón de 60° para verificar el buril de roscas a ser utilizado para el tubo cañón.

Una vez realizada la verificación, se inició con el roscado del tubo cañón, ver **Figura 47**, obteniendo de esta manera la rosca deseada para este procedimiento.

Figura 47

Mecanizado de la rosca del tubo cañón



Nota. Tubo cañón del arma no-letal en el mecanizado de la rosca.

Finalmente, se pulió el tubo cañón para darle un acabado más atractivo y que proceda a ser ensamblado en el cuerpo del arma no-letal, ver **Figura 48**.

Figura 48

Tubo cañón



Nota. Tubo cañón mecanizado en torno de precisión para arma no-letal.

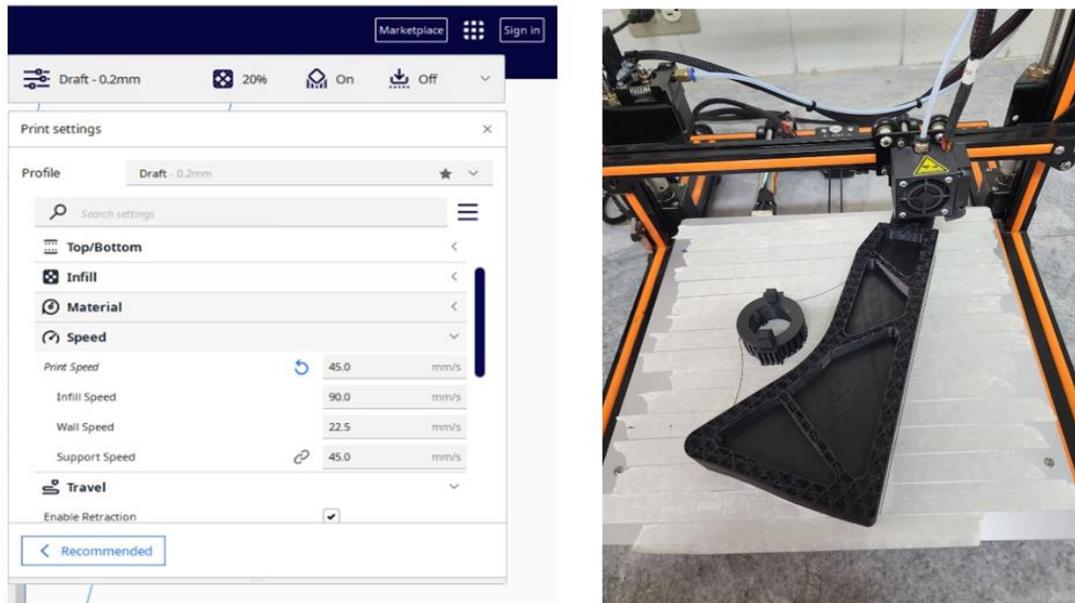
Análisis de resistencia mecánica del tubo cañón mediante el uso del Método de Elementos Finitos se encuentra en el Apéndice A-2.

Culata (M2).

Su fabricación se realizó utilizando una impresora Anet 3D Printer, modelo E12, conjuntamente con el software Ultimaker Cura 4 .10.0, se realizó la configuración de los parámetros de impresión tomando en cuenta que el modelo debe tener un buen acabado superficial. Las configuraciones se las puede observar en la **Figura 49**.

Figura 49

Configuración del software Ultimake Cura, para la impresión 3D.



Nota. Configuración de software e impresora en proceso de impresión de la culata.

Al momento de simular la impresión de la culata se obtuvo un tiempo aproximado de 22h 33 min en el cual estuvo lista la pieza. Ver **Figura 50**.

Figura 50

Impresión de la culata para el arma no-letal.



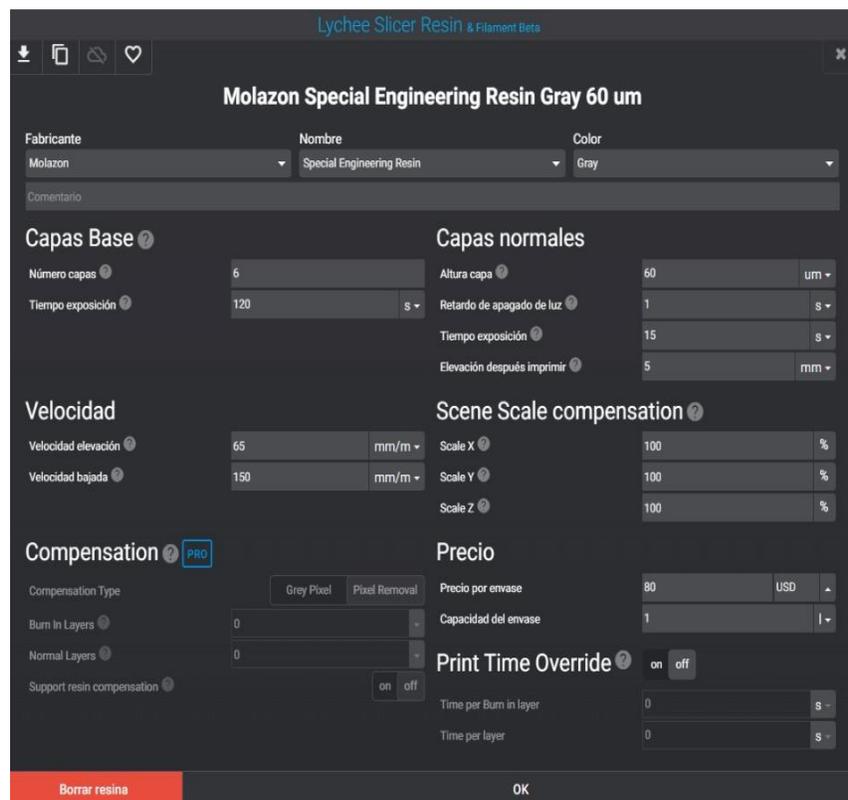
Nota. Culata impresa en Anet E12, que será utilizada en el arma no-letal.

Codo de alimentación (M4).

Su fabricación se realizó utilizando una impresora Anycubic Photon, conjuntamente con el software Lychee Slicer Resin, se ejecutó la configuración de los parámetros de impresión tomando en cuenta que el modelo debe tener un buen acabado superficial. Las configuraciones se las puede observar en la **Figura 51**.

Figura 51

Configuración del software Lychee Slicer Resin, para la impresión 3D.

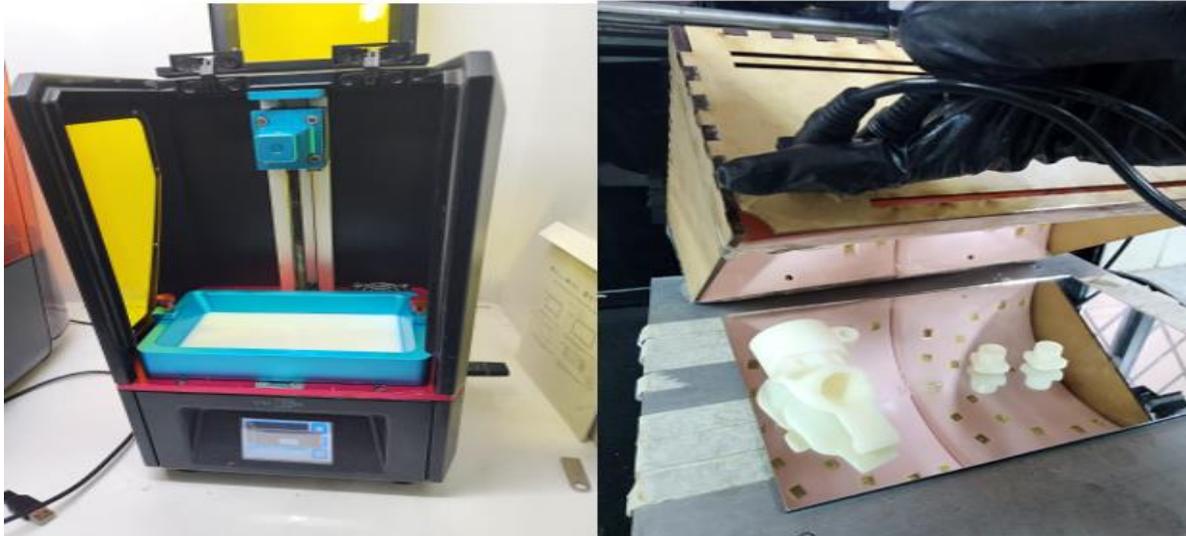


Nota. Configuración de software e impresora en proceso de impresión del codo de alimentación.

Al momento de simular la impresión del codo de alimentación, se obtuvo un tiempo aproximado de 6h 07 min en el cual estuvo lista la pieza, después de realizó un proceso de secado para que la resina se compacte de la mejor manera. Ver **Figura 52**.

Figura 52

Impresora AnyCubic Photon y codo de alimentación en 3D



Nota. Impresora AnyCubic de resina utilizada para imprimir el codo de alimentación.

Finalmente, se pintó el codo de alimentación de color negro para darle una mejor apariencia. Ver **Figura 53**.

Figura 53

Codo de Alimentación pintado de color negro



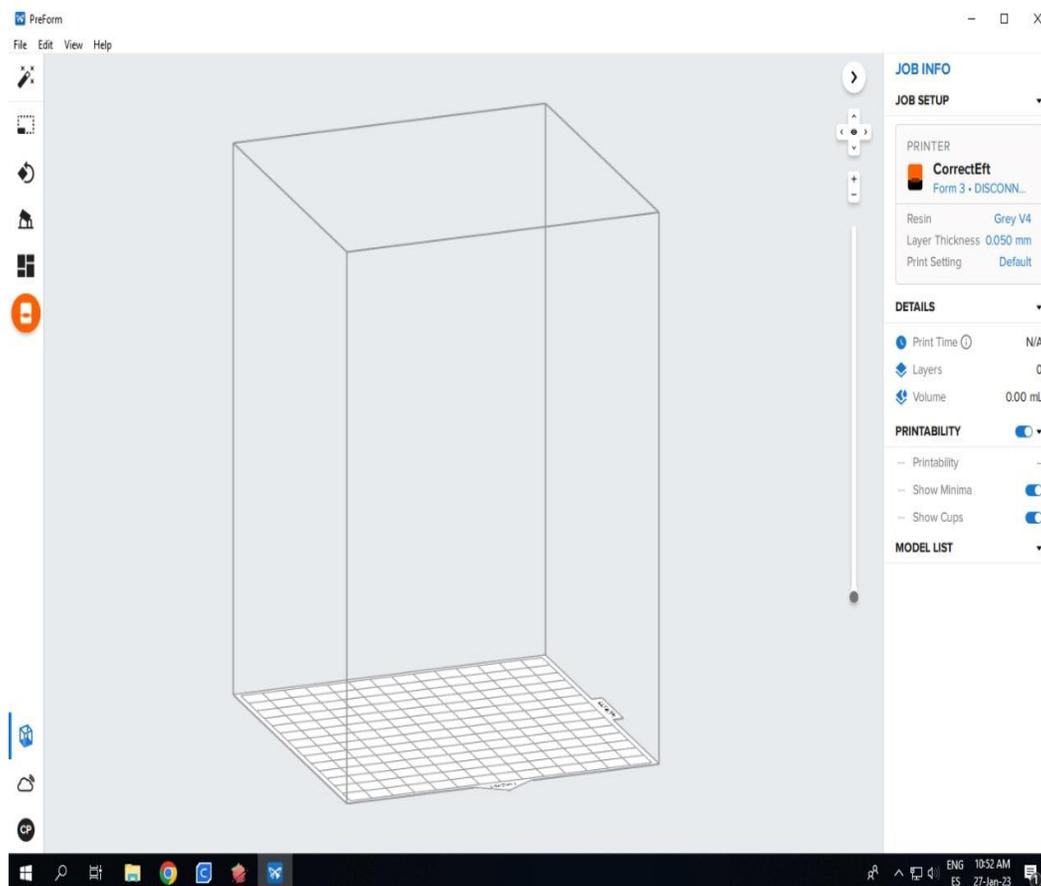
Nota. Codo de alimentación impreso en 3D, para uso del arma no-letal.

Fiador del arma no-letal.

Su fabricación se realizó utilizando una impresora Formlabs, conjuntamente con el software PreForm, la configuración se ejecutó acorde los parámetros de impresión. Las configuraciones se las puede observar en la **Figura 54**.

Figura 54

Configuración del software Lychee Slicer Resin, para la impresión 3D.



Nota. Configuración de software para el proceso de impresión del fiador.

Al momento de simular la impresión del fiador, se obtuvo un tiempo aproximado de 2h 03 min en el cual estuvo lista la pieza, Ver **Figura 55**.

Figura 55

Impresora Formlabs



Nota. Impresora Formlabs utilizada para imprimir el fiador del arma no-letal

La fabricación de las piezas adicionales que conforman el arma no-letal fueron realizadas en la impresora Anet 3D Printer, utilizando la misma configuración que la culata. Ver

Figura 56.

Figura 56

Piezas impresas para el arma no-letal



Nota. Guarda manos, gatillo disparador y mango (M3), impresas en 3D para el arma no-letal.

Adicionalmente, se realizó los planos de los resortes y se comparó los elementos de sujeción que se utilizaron para el ensamblaje del arma no-letal, ver Apéndice B.

Se adquirió una manguera trenzada de acero inoxidable de 25 cm de largo, posteriormente se instaló un acople JIC hembra 7/16-20 a un extremo de la manguera y al otro extremo se colocó un acople de rosca 7/16-24 UNS, utilizando una prensa se realizó la unión de estos.

Ensamblaje

Con todas las piezas fabricadas e impresas para el arma no-letal se inició con preensamblaje sin los elementos de propulsión, para verificar que no exista alguna interferencia en la geometría de las piezas fabricadas. Ver **Figura 57**.

Figura 57

Ensamblaje del cuerpo del arma no -letal



Nota. Cuerpo del arma no-letal, sin los elementos de propulsión para verificar la geometría de las piezas.

Realizado el posicionamiento del cuerpo del arma no-lethal y al no existir ninguna interferencia en la unión, se colocó los componentes internos para ver su funcionalidad. Ver **Figura 58**.

Una vez verificada la funcionalidad de los elementos, se procedió a cerrar el cuerpo del arma no-lethal y con la ayuda de un cargador falso de una marcadora tippmann se continuo con las pruebas de funcionamiento. Ver **Figura 59**.

Figura 58

Ensamblaje de los componentes internos del arma no-lethal



Nota. Cuerpo del arma no-lethal con los elementos de propulsión, manija de carga, tubo de potencia, fiador, gatillo disparador, tubo cañón y culata.

Figura 59

Ensamblaje completo del arma no-letal



Nota. Vista frontal y posterior del arma no-letal de Aluminio 7075-T6.

Pruebas de Funcionamiento

Iniciamos las pruebas de funcionamiento, verificando los mecanismos de carga y disparo, se rastrelló el arma no-letal a través de su manija de carga, ver **Figura 60a**, al realizar este movimiento el martillo percutor quedo enganchado con el fiador, confirmando que el arma quedo cargada correctamente, a continuación, se procedió a presionar el gatillo disparador, liberando de esta manera al martillo percutor ocasionando que este impacte con el vástago de la válvula principal, produciendo así el disparo. Ver **Figura 60b**.

Figura 60

Pruebas de funcionamiento de carga del arma no-letal



a)



b)

Nota. a) Se rastrilla el arma no-letal a través de su manija de carga, b) Se presiona el gatillo disparador para liberar al percutor.

Después se realizó la verificación del cargador falso que encaje y se enganche correctamente en el pestillo del arma no-letal, ver **Figura 61**. Realizando una sujeción solo del cargador para comprobar de esta manera que el cargador se encuentra ubicado perfectamente.

Figura 61

Comprobación de la sujeción del cargador falso



Nota. a) Ingreso del cargador falso al cuerpo del arma, b) Verificación de enganche entre el cargador y el pestillo, c) Liberación del cargado a través del pulsador.

Realizadas las pruebas antes mencionadas, se pasó a realizar los ensayos de disparo con los tanques de aire comprimido y CO2, ver **Figura 62**.

Figura 62

Pruebas de tiro con aire comprimido



Nota. Pruebas de tiro con el arma no-lethal tipo fusil.

Al realizar los primeros disparos con el arma no-lethal, se constató que los mecanismos de carga no regresaban automáticamente, presentando de esta manera el primer inconveniente en las pruebas de funcionamiento. Inmediatamente se desarmó el arma no-lethal para analizar el error y se verificó que el pasador guía y el resorte se encontraban muy separados del martillo percutor, ver **Figura 63**.

Figura 63

Pasador guía, separado del martillo percutor



Nota. Análisis de falla del arma no-letal.

Analizado el error se fabricó un accesorio de duralón que se lo reemplazó por la culata, conjuntamente con un tornillo en su parte posterior, para poder regular la distancia e ir verificando si los mecanismos, se recargaban automáticamente. Ver **Figura 64**.

Figura 64

Accesorio de duralón



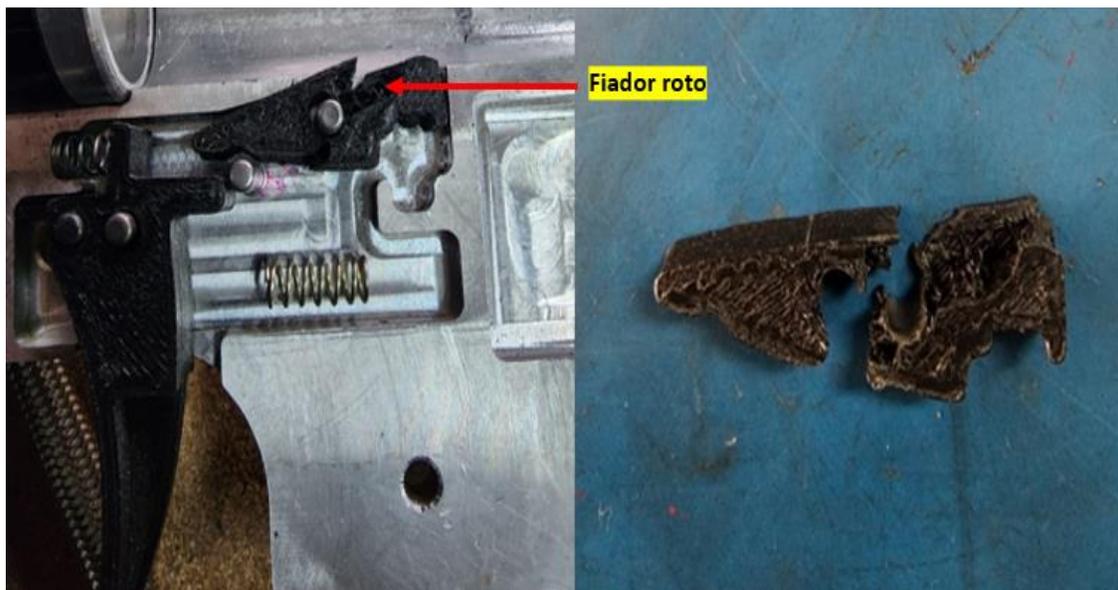
Nota. Pruebas de tiro con el regular del pasador guía para verificar su funcionalidad.

Una vez corregido el error se procedió nuevamente a realizar las pruebas de tiro, esta vez solo con tanques de CO2, después de aproximadamente 50 disparos con proyectiles de pintura, el martillo percutor no enganchaba con el fiador, lo que ocasionó la necesidad de abrir el arma no-letal para constatar el error.

Al abrir el arma no-letal se observó que el fiador de PLA Plus se encontraba roto por la fuerza ejercida por el martillo percutor y el CO2, ver **Figura 65**, (Análisis del cálculo de velocidades del martillo percutor se lo puede observar detalladamente en el Apéndice A-3).

Figura 65

Fiador Roto



Nota. Se observa que el fiador de P.L.A, se encuentra roto, producto del impacto con el martillo percutor.

Para corregir este error se imprimió un fiador en resina de ingeniería Anycubic UV Tough, ver **Figura 66**. Y con la pieza impresa se continuó con las pruebas de disparo.

Figura 66

Fiador impreso en resina Anycubic UV Tough.

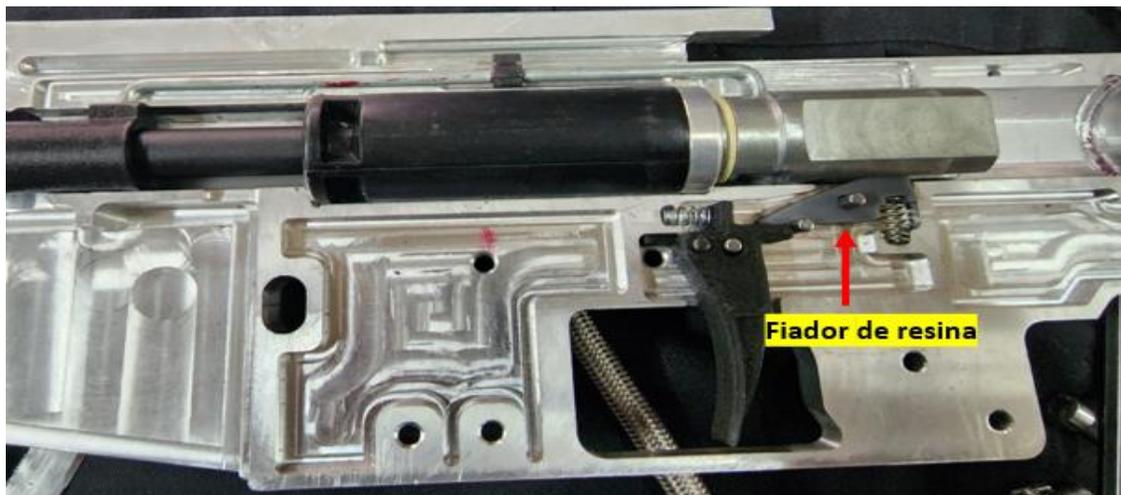


Nota. Fiador de resina conjuntamente con fiador de P.L.A, el cual falló en los ensayos de tiro.

Se colocó el fiador de resina en el arma no-lethal, ver **Figura 67**, para verificar su funcionamiento durante las prácticas de tiro.

Figura 67

Fiador de resina en el arma no-lethal



Nota. Fiador de resina reemplazado por el fiador que fallo en los ensayos iniciales.

Se retomó los ensayos y aproximadamente a los 300 disparos con los proyectiles de pintura vuelve a fallar el fiador, al abrir el arma no-letal se observa que el fiador de resina se encuentra roto producto del impacto con el martillo percutor. Ver **Figura 68**.

Figura 68

Fiador de resina roto



Nota. Producto del impacto con el martillo percutor, se observa que el fiador de resina se encuentra roto.

Después que los fiadores de P.L.A y resina fallaron, se tomó la decisión de fabricar un fiador de aluminio 7075 -T6 material que fue utilizado para la fabricación del cuerpo del arma no-letal, adicional se fabricó el rabillo disparador que era de un material plástico, para que no exista ninguna ruptura de la misma al momento de accionar al fiador. Ver **Figura 69**.

Se colocó el fiador y el rabillo disparador de aluminio en el arma no-letal, ver **Figura 70**, para verificar su funcionamiento durante las prácticas de tiro.

Figura 69

Fiador y rabillo disparador de distintos materiales.



Nota. Fiador y rabillo disparador fabricados en aluminio 7075-T6.

Figura 70

Fiador y rabillo disparador en el arma no-letal



Nota. Fiador y rabillo disparador de aluminio reemplazados en el arma no-letal.

Finalmente, solucionadas las fallas de funcionamiento se retomó los ensayos con los proyectiles de pintura y el arma no-lethal funcionó correctamente con las modificaciones realizadas anteriormente, ver **Figura 71**.

Figura 71

Proyectiles de pintura impactados en las pruebas de tiro.

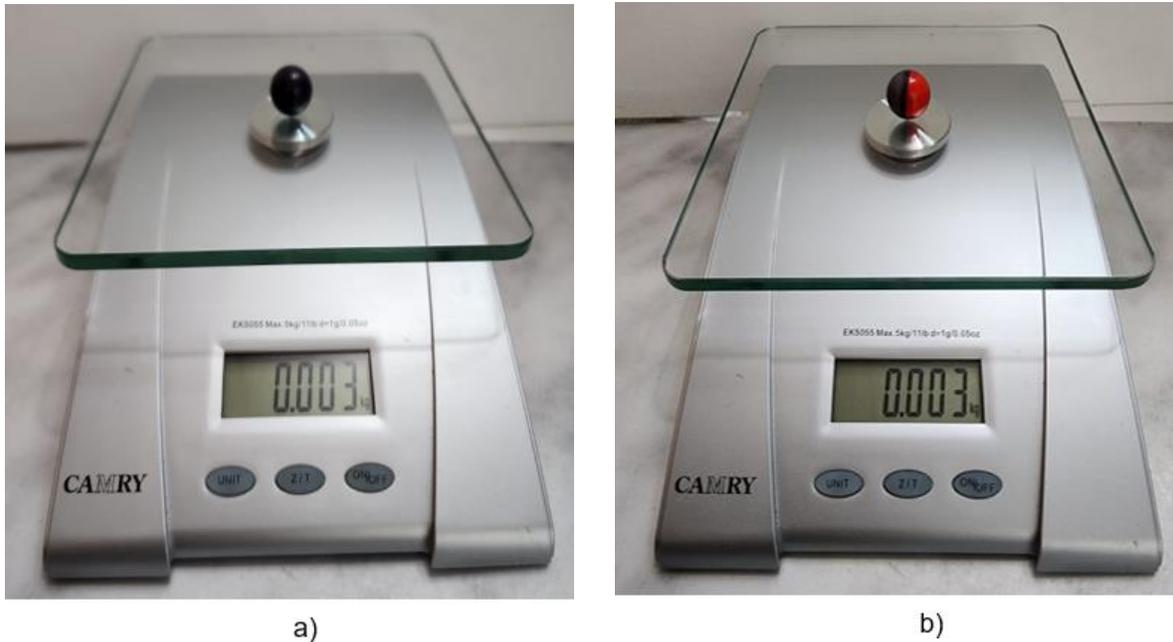


Nota. Siluetas para las pruebas de tiro con el arma no-lethal.

Posterior a esto se realizó los cálculos para determinar la velocidad promedio de los proyectiles de pintura que fueron utilizados en las pruebas de tiro. Ver **Figura 72**.

Figura 72

Peso de los proyectiles no-letales



Nota. a) Proyectoil no-letal de pintura, b) Proyectoil no-letal de RCAs

El recorrido que realizó el proyectil de pintura hasta impactar en el bastidor fue de 40 m, y el tiempo transcurrido de 0.32 s.

$$v = \frac{40 \text{ m}}{0.37 \text{ s}} = 108.108 \text{ m/s}$$

$$E_c = \frac{1}{2} * 0.003 \text{ kg} * \left(108.108 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 17.53 \text{ J}$$

La energía de impacto cinético se pudo obtener a través de la magnitud de la velocidad de los proyectiles de pintura. Obteniendo un resultado de 17.53 J, valor con el cual no causaría daño por estar por debajo de los valores estimados. Ver **Figura 73**. (Wright, 1998)

Figura 73

Pruebas de proyectiles de energía cinética.

Impact Energy	Severity of Injury
Under 20 Joules	Safe/low
Between 40-122 Joules	Dangerous
Over 122 Joules	Severe damage region

Nota. La prueba de proyectiles de energía cinética se llevó a cabo en Aberdeen Proving Grounds en los EE. UU. en 1975 para evaluar su seguridad y la probabilidad y el tipo de lesiones que podrían resultar de su uso.

Tabla 41

Especificaciones técnicas del prototipo desarrollado

Datos técnicos	Especificaciones
Peso (solo cuerpo del arma no-letal)	≈ 2Kg
Calibre	0,68 in
Longitud del barril	14 in
Energía en boca de cañón	< 20 J
Capacidad de tolva	500 proyectiles
Gas de propulsión	Aire comprimido o CO2
Alcance efectivo medio	45 m (150 pies)
Velocidad	108,108 m/s (354 pies/s)
Sistema de disparo	Mecánico

Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Se referencio el trabajo de titulación realizado por el Ing. Sebastián Olivo en el cual se detallan los planos de las piezas que conforman el arma no-letal, como base para la fabricación en una aleación de aluminio 7075-T6 de un prototipo experimental.
- Se identificó que se cuenta con procedimientos de fabricación como la tecnología de control numérico, software de estrategias de mecanizado y equipo de impresión 3D, para el proceso constructivo del arma no-letal. Ya que lo común de este tipo de armas es de ser desarrollado en sistemas de función por inyección.
- Se estableció que el procedimiento constructivo del proceso de fabricación del arma no-letal, se basa principalmente en el diseño y simulación previo a la fabricación, ya que esto nos permite minimizar de mejor manera los errores que se pudieron haber presentado en la elaboración del arma no-letal
- Mediante el uso del software de Elementos Finitos (MEF) realizó el análisis de convergencia de los sistemas más comprometidos en el arma no-letal, donde se evidencio que los factores de seguridad son superiores a 2, con lo cual se asegura que dichos sistemas no fallarán debido a las cargas sometidas.
- El arma no-letal y sus accesorios se fabricaron haciendo uso de tecnología existente en el país, como fueron: CNC FADAL VMC 3016, torno de precisión de alta velocidad Modelo S430 x 1000 G, impresora 3D Anet modelo E12, impresora 3D AnyCubic Photon e impresora 3D FormLabs. De igual manera los materiales utilizados para su fabricación son de venta libre en el país y estos fueron: Aluminio 7075-T6, PLA Plus y resina de ingeniería Anycubic UV Tough. La fabricación del prototipo tomó aproximadamente 168 horas. Al ser un prototipo experimental los tiempos de fabricación pueden ir bajando, cuando éste entre a producción.

- Se obtuvo una discrepancia en los planos de despiece al momento de la fabricación del fiador, debido a que la pieza original tenía un espesor de 6.30mm y al fabricarla a dicha medida el cuerpo del arma no-letal de aluminio no permitía que las dos partes se cierran, ocasionando fallas en los mecanismos de carga. Por lo tanto, se fabricó el fiador con un espesor de 6 mm, solucionando de esta manera el inconveniente presentado.
- En los planos del recibidor izquierdo para la cavidad del pestillo del arma no-letal, se encuentra a una distancia de 20.55mm desde la base del cuerpo hasta la cavidad. Al mecanizar a esa distancia el cargador falso del arma no permitía el enganche, por lo que se tuvo que realizar una modificación a la medida original a una distancia de 21.55mm para que el cargador enganche perfectamente.
- Se concluye que la válvula principal es quien recibe la presión del aire comprimido y no el cuerpo del arma no-letal, con ello se pudo realizar las pruebas de tiro con los proyectiles de pintura, alcanzando una velocidad promedio de disparo de 108.108 m/s y una energía cinética de impacto de 17.53 J, confirmando de esta manera que la probabilidad de lesión ocasionada por los proyectiles es baja y segura.

Recomendaciones

- Se recomienda adquirir nueva tecnología para el laboratorio de procesos de manufactura, ya que al contar nuevos procesos productivos esto nos permitirá tener mayor capacidad para poder desarrollar de tecnología militar.
- Se pide que, al momento de realizar el mecanizado de las piezas, se respeten las tolerancias dimensionales y geométricas de cada componente, al no hacerlo se corre el riesgo que las piezas no ingresen en las cavidades correspondientes o que generen un mayor desgaste en las mismas, causando que el prototipo no dispare o no funcione en absoluto.

- Se recomienda continuar con la validación del prototipo experimental, mediante normas y procedimientos internacionales, para aprobar el uso de este tipo de armamento no-letal en incidentes de desorden público.
- Antes de su uso, se recomienda leer el manual de instrucciones del prototipo experimental del arma no-letal tipo fusil y familiarizarse con sus componentes y sistemas. Esto se debe a que, si se conecta el aire comprimido o CO2 al prototipo mal ensamblado, puede provocar que las piezas salgan expulsadas del arma no-letal ocasionando graves lesiones en el usuario.

Trabajos futuros

El actual proyecto integrador curricular forma parte de un proyecto de investigación que cubre varias actividades en el transcurso de seis semestres, por lo que las propuestas de trabajo que faltan por desarrollarse en base al trabajo de titulación del ING. Sebastián Olivo, se detallan a continuación:

- Diseño y fabricación de un brazo oscilante para un arma no-letal tipo fusil.
- Diseño y fabricación de un prototipo experimental de una pistola no-letal de energía cinética para munición con agentes RCAs.
- Diseño y elaboración de un equipo para la fabricación de la munición con agentes RCAs calibre 0.68.

Bibliografía

- 7075- (ALUMINIO – ZINC). (n.d.). Retrieved November 9, 2022, from <https://studylib.es/doc/4907872/-7075---aluminio-%E2%80%93-zinc->
- Agencias de El Comercio. (2019, October 25). *Octubre del 2019, mes de las protestas sociales en el mundo*. <https://www.elcomercio.com/Actualidad/Octubre-Protestas-Sociales-Mundo-Manifestaciones.html>.
- Bravo, D. (2019, October 4). *Los vecinos del Centro Histórico lamentan los daños a los bienes patrimoniales*. <https://www.elcomercio.com/Actualidad/Quito-Destruccion-Centro-Historico-Paro.html>.
- Ecrimesagroup. (2023). *Como usar la técnica MIM de moldeo de metales*. <https://ecrimesagroup.com/es/como-usar-la-tecnica-mim-de-moldeo-de-metales/>.
- Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2015). *Additive Manufacturing Technologies* (Springer, Ed.; Second Edition).
- G.I. SPORTZ. (2015). *How Tippmann Paintball Markers are Made*. YouTube.
- Groover, M. p. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna* (M. E. S. A. Hill, Ed.; Tercera edición).
- Haight, K. (2023, January 17). *Catalyst Arms*. <https://www.catalystarms.com/Tech-Talk-Blog/2019/1/11/the-Best-Firearm-Accessory-Rail>.
- High Pressure Technologies. (2023). *Moldeo por inyección de metal (MIM)*. <https://www.hiperbaric.com/es/tecnologia-hip/tecnicas-de-fabricacion-hip/moldeo-por-inyeccion-de-metal/>.
- IMPRESORAS 3D PUEBLA. (2023). *IMPRESORAS 3D PUEBLA*. <https://www.impresoras3dpuebla.com/>.

Infobae. (2019, October 4). *Decenas de heridos y casi 300 manifestantes detenidos tras la jornada de disturbios en Ecuador.*

<https://www.infobae.com/america/2019/10/04/cerca-de-200-manifestantes-fueron-detenidos-durante-la-jornada-de-disturbios-en-ecuador/>.

López Dóriga Digital. (2019, October 7). *Manifestantes indígenas queman en Ecuador un vehículo blindado del Ejército.*

<https://lopezdoriga.com/internacional/manifestantes-indigenas-queman-en-ecuador-un-vehiculo-blindado-del-ejercito/>.

National Shooting Sports Foundation. (2020). Informe de la NSSF sobre el impacto económico de la industria de las armas de fuego y las municiones en 2020.

<https://www.nssf.org/wp-content/uploads/2020/04/2020-Economic-Impact.Pdf>.

NITRURACIÓN GASEOSA. (2023). *Tratamientos de superficie* .

<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6041/04Japb04de06.pdf;jsessionid=5D015F15614F1CEDF22E3ED11C8AD9D5?sequence=4>.

Olivo, S. (2022, December 10). *Diseño y simulación de un prototipo de arma no-letal de impacto por energía cinética para munición con agentes RCAs con capacidad para adaptarse a un vehículo táctico militar.*

<https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/28150>.

PAULO. (2021, August 10). *TRATAMIENTO TÉRMICO DE ARMAS DE FUEGO.*

<https://www.paulo.com/es/recursos/guia-de-tratamiento-termico-para-armas-de-fuego/>.

Puente, D. (2020, January 5). *USD 3,6 millones invertidos para armamento no letal para la Fuerza Terrestre en Ecuador.* <https://www.elcomercio.com/actualidad/inversion-armamento-fuerza-terrestre-ecuador.html>.

Ramos, D. (2013). USO DE LA INGENIERÍA INVERSA COMO METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA EN LA FORMACIÓN PARA LA INNOVACIÓN.

<https://Acofipapers.Org/Index.Php/Eiei/Article/View/1541/1545>.

SAE INTERNATIONAL. (2019, March 15). *Gaseous Nitrocarburizing*.

<https://Www.Sae.Org/Standards/Content/Ams2757c/>.

Smith, W., & Hashemi, J. (2006). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales* (4ta Edición, Vol. 148).

Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2013a). *Diseño y desarrollo de productos* (S. A. D. C. V. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, Ed.; Quinta).

Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2013b). *Diseño y desarrollo de productos* (McGrawHill, Ed.; Quinta edición). McGrawHill.

Wargovich, M. J., Egner, D. O., Busey, W. M., Thein, B. K., & Shank, E. B. (1975).

EVALUATION OF THE PHYSIOLOGICAL EFFECTS OF A RUBBER BULLET, A BASEBALL, AND A FLYING BATON. <https://Www.Ojp.Gov/Ncjrs/Virtual-Library/Abstracts/Evaluation-Physiological-Effects-Rubber-Bullet-Baseball-and-Flying#additional-Details-0>.

Wayback Machine. (n.d.). Retrieved November 9, 2022, from

https://web.archive.org/web/20130829200933/http://www.alcoa.com/mill_products/catalog/pdf/alloy7075techsheet.pdf

Wright, S. (1998, January 6). *AN APPRAISAL OF TECHNOLOGIES OF POLITICAL CONTROL*.

<https://Www.Statewatch.Org/Media/Documents/News/2005/May/Steve-Wright-Stoa-Rep.Pdf>.

Yang, Y., Zhang, X., Xu, C., & Fan, L. (2020, February 3). Dynamic stress analysis of anisotropic gun barrel under coupled thermo-mechanical loads via finite element method. <https://www.scielo.br/j/lajss/a/QRVhBhjrvm8tv6pPgkTfWBn/?lang=en>.

Apéndice

Apéndice C. Manual técnico del arma no-letal