



**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**

Olivo Valencia, Sebastián Israel

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecánica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico

Castellanos Villa, Santiago David, PhD.

20 de enero de 2022

COPYLEAKS

ARMA_NO-LETAL_OLIVO SEBASTIÁN_.docx

Scanned on: 16:52 January 27, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text



El nombre electrónico es por:
SANTIAGO DAVID
CASTELLANOS
VILLA

Identical Words	30
Words with Minor Changes	8
Paraphrased Words	17
Ommited Words	253



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“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”** fue realizado por el señor **Olivo Valencia, Sebastián Israel** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 17 de diciembre de 2021

Firma:



Firmado digitalmente por:
SANTIAGO DAVID
CASTELLANOS
VILLA

Ing. Castellanos Villa, Santiago David PhD.

C.C: 1716962608



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Olivo Valencia, Sebastián Israel**, con cédula de ciudadanía N° 1719272575, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Diseño y simulación de un prototipo de arma no-lethal de impacto por energía cinética para munición con agentes RCAs 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, 09 de diciembre de 2021

Firma

Olivo Valencia, Sebastián Israel

C.C.: 1719272575



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Olivo Valencia, Sebastián Israel**, con cédula de ciudadanía N° 1719272575, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“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”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 09 de diciembre de 2021

Firma

Olivo Valencia, Sebastián Israel

C.C.: 1719272575

Dedicatoria

A mis padres, quienes gracias a sus enseñanzas me han sabido guiar para ser una persona de bien, quienes gracias a su ejemplo de esfuerzo y dedicación me han demostrado que el único límite para alcanzar los sueños es el que se impone uno mismo. A ellos por todo el cariño y amor que me han dado, y por siempre haberme apoyado en las situaciones buenas y malas de la vida.

A mi hermano, quien ha sido una motivación para no rendirme y seguir esforzándome cada día. Espero ser una persona ejemplar para él, que persiga sus sueños y no se detenga hasta alcanzarlos.

Agradecimiento

A Dios por brindarme el cuidado y la salud para poder seguir adelante.

A mis padres, Julio y Jacqueline por todo el esfuerzo que han hecho por mí, por toda la confianza que me han tenido, espero que con este nuevo logro alcanzado les pueda brindar una alegría más.

A mi hermano Joseph, por ser un pilar fundamental en mi vida, que sepa que siempre podrá contar conmigo para todo.

A mi novia Myriam Abad, porque ha sido un apoyo incondicional para mí, por la motivación que me ha sabido dar en momentos de debilidad, por el impulso a ser una mejor persona en cada ámbito de la vida, y por todo su cariño y amor.

A mi tutor Ing. Santiago Castellanos PhD, por las enseñanzas y la orientación para poder desarrollar este trabajo de titulación.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE por todo el conocimiento inculcado a lo largo de toda la carrera universitaria.

Índice de Contenidos

Resultado Copyleaks	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento	7
Índice de Contenidos	8
Índice de Tablas.....	12
Índice de Figuras	13
Resumen.....	16
Abstract.....	17
Capítulo I: Generalidades.....	18
Antecedentes	18
Definición del Problema	19
Objetivos.....	22
Objetivo General.....	22
Objetivos Específicos	22
Justificación e Importancia.....	23
Alcance.....	23
Capítulo II: Estado del Arte	25
Armas No-Letales.....	25

Agentes Químicos de Control de Disturbios (RCAs).....	26
Armas No-Letales de Energía Cinética.....	27
Armas No-Letales de Energía Cinética con Agentes RCAs.....	30
De Armas de Fuego a Marcadoras de Paintball	36
Municiones	40
FN Herstal.....	42
Pepper Ball	42
Mecanismos de Accionamiento	44
Accionamiento Mecánico de Propulsión	44
Accionamiento Electrónico de Propulsión.....	46
Sistemas de Alimentación.....	47
Acción por Gravedad.....	47
Acción Electrónica.....	48
Acción Mecánica	49
Acción Neumática.....	50
Sistemas de Defensa de Vehículos Tácticos Militares	50
Vehículos de Combate de Infantería o IFV.....	52
Vehículos Blindados de Transporte de Personal o TBP	52
Patrulla Protegida y MRAP.....	53
Vehículos Tácticos Multifunción.....	53
Mecanismos de Acoplamiento	54

	10
Sistema de Brazo Oscilante	54
Trípode con Mesa.....	56
Torrete	58
Capítulo III: Diseño y Validación	60
Diseño del Arma.....	60
Especificaciones de Diseño	63
Diseño Modular.....	63
Selección de Interfases	65
Diseño de los Módulos de Funcionamiento	65
Validación Computacional	74
Análisis del Tubo Cañón o Barril.....	75
Análisis de Liberación del Martillo Percutor	75
Análisis del Retroceso del Martillo Percutor	75
Análisis del Mecanismo de Acople del Cargador	76
Análisis del Mecanismo de Carga.....	76
Análisis del Mecanismo de Bloqueo	77
Diseño del Mecanismo Acoplador	77
Estructura del Sistema de Alimentación	78
Sistema de Brazo Oscilante	78
Validación del Mecanismo Acoplador.....	79
Análisis de la Estructura del Sistema de Alimentación.....	79

	11
Análisis del Sistema de Brazo Oscilante	80
Capítulo IV. Prototipado y Pruebas	82
Fabricación	82
Ensamblaje.....	85
Pruebas de Funcionamiento	87
Capítulo V. Análisis Económico y Financiero.....	91
Estudio Económico	91
Costos Directos	91
Costos Indirectos.....	91
Costo Total	92
Capítulo VI. Conclusiones y Recomendaciones	93
Conclusiones.....	93
Recomendaciones	95
Trabajos Futuros	96
Referencias	97
Apéndices	105
Apéndice A. Memoria de cálculo	105
Apéndice B. Planos del arma no-letal.....	105
Apéndice C. Planos del sistema de alimentación	105
Apéndice D. Planos del mecanismo de acople	105
Apéndice E. Manual técnico del arma no-letal	105

Índice de Tablas

Tabla 1 Información técnica del lanzador FN 303	31
Tabla 2 Información técnica del lanzador FN 303 P.....	32
Tabla 3 Información técnica del lanzador Carabina semi-automática MLR.....	33
Tabla 4 Información técnica del lanzador Carabina semi-automática TCR.....	34
Tabla 5 Información técnica del lanzador TAC-SF.....	35
Tabla 6 Información técnica del lanzador VKS.....	36
Tabla 7 Especificaciones del marcador 98 Custom Platinum Series.....	38
Tabla 8 Especificaciones de la marcadora TMC M4 Carabine	39
Tabla 9 Especificaciones de la marcadora Cronus	40
Tabla 10 Projectiles desarrollados por PepperBall.....	43
Tabla 11 Especificaciones técnicas del prototipo a desarrollar	63
Tabla 12 Módulos e interfases	64
Tabla 13 Costos directos.....	91
Tabla 14 Costos indirectos.....	91
Tabla 15 Costo total	92

Índice de Figuras

Figura 1 Modelo RAP4 T68 M4 Gen 6	19
Figura 2 Quema y destrucción del blindado Urutú 6x6	20
Figura 3 Uso de armas no-letales.....	20
Figura 4 FN 303 Launcher.....	22
Figura 5 Ejemplos de armas no-letales.....	25
Figura 6 Arma de tiro simple con su munición lacrimógena CS.	27
Figura 7 Bastones ASP.....	28
Figura 8 Policía Indonesia hace uso de un cañón de agua durante una protesta	28
Figura 9 Escopeta Fabarm SDASS.....	29
Figura 10 FN 303	31
Figura 11 FN 303 P.....	32
Figura 12 Carabina semi-automática MLR.....	33
Figura 13 Carabina semi-automática TCR.....	34
Figura 14 TAC-SF	35
Figura 15 VKS.....	35
Figura 16 98 Custom Platinum Series Marker	37
Figura 17 Tippmann TMC M4 Carabine .68 Caliber	38
Figura 18 Cronus Paintball Marker	39
Figura 19 Balas de goma.....	41
Figura 20 FN 303 Projectiles	42
Figura 21 Partes internas de la marcadora Tippmann A5	44
Figura 22 Secuencia inicial del proceso de disparo.....	45
Figura 23 Desplazamiento del perno frontal y martillo percutor	46
Figura 24 Liberación del gas	46
Figura 25 Accionamiento electrónico	47

Figura 26 Modelos de alimentadoras por gravedad.....	48
Figura 27 Modelos de alimentadoras electrónicas.....	49
Figura 28 Cargadores de acción mecánica.....	49
Figura 29 Tipos de sistemas de alimentación	50
Figura 30 HMMWV 1152	51
Figura 31 Vehículos de combate de infantería.....	52
Figura 32 Vehículos blindados de transporte.....	53
Figura 33 MRAP.....	53
Figura 34 Vehículos tácticos.....	54
Figura 35 Soporte de brazo oscilante deslizable para arma.....	55
Figura 36 Sistema de Montaje de Brazo Oscilante.....	56
Figura 37 Montaje de arma.....	57
Figura 38 Ángulos de cobertura del arma.....	57
Figura 39 Mecanismo interno de la mesa	58
Figura 40 Torreta	58
Figura 41 Alcance del ángulo de giro del cañón	59
Figura 42 Esquema modular del prototipo	64
Figura 43 Armas no-letales de uso militar y civil.....	65
Figura 44 Desmontaje de las marcadoras	66
Figura 45 Toma de medidas de un barril 0.68 in	67
Figura 46 Modelo 3D del tubo cañón	68
Figura 47 Modelo 3D de la culata.....	69
Figura 48 Mango del arma no-letal.....	70
Figura 49 Componentes del módulo 4	70
Figura 50 Cargador falso	71
Figura 51 Optimización del cuerpo del arma no-letal.....	72

Figura 52 Modelo 1 de tolva	72
Figura 53 Modelo 2 de tolva	73
Figura 54 Modelo 3 de tolva por acción electrónica.....	73
Figura 55 Prueba en el prototipo 3 modificado	74
Figura 56 Sistema de Brazo Oscilante Propuesto	78
Figura 57 Escenarios posibles de la estructura del sistema de alimentación	79
Figura 58 Posiciones del sistema de brazo oscilante a analizar	80
Figura 59 Subconjuntos a analizar	81
Figura 60 Modelo importado del receptor derecho (parte posterior)	82
Figura 61 Tiempo estimado de impresión de parte del receptor.....	83
Figura 62 Modelo impreso del receptor derecho (parte posterior).....	83
Figura 63 Partes impresas del arma no-letal P1	84
Figura 64 Partes impresas del arma no-letal P2.....	84
Figura 65 Resortes, pasadores y elementos de sujeción	85
Figura 66 Manguera trenzada con sus acoples	85
Figura 67 Ensamblaje parcial del cuerpo del arma no-letal.....	86
Figura 68 Lijado de partes para ajustar la geometría	86
Figura 69 Ensamblaje completo del arma no-letal.....	87
Figura 70 Comprobación del mecanismo del cargador	88
Figura 71 Comprobación del mecanismo de carga y disparo.....	88
Figura 72 Pruebas de disparo sin aire comprimido.....	89
Figura 73 Pruebas de disparo con aire comprimido	89
Figura 74 proyectiles que impactaron en el blanco	90

Resumen

El Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, al momento está desarrollando el proyecto "Equipamiento militar del futuro: Sistema de Armas Antidisturbios para vehículos militares utilizados en incidentes de desorden público", que tiene como objetivo colaborar en la mejora de las capacidades militares de las Fuerzas Armadas. El presente estudio presenta el diseño del prototipo de un sistema de armas antidisturbios que se compone de un arma no-letal de fuerza cinética para el uso de municiones comerciales con agentes RCAs, un sistema de alimentación continua y un sistema de fijación vehicular, todos estos como parte de la propuesta de equipamiento militar del proyecto antes mencionado. Para el desarrollo de esta propuesta, se realizó la ingeniería inversa de varios lanzadores cinéticos no letales, tanto de uso militar como civil, así como la memoria de cálculo para validar su correcto funcionamiento. En base a este estudio y al análisis de la capacidad instalada del Laboratorio de Procesos de Manufactura del DECEM, se realizó el diseño de un modelo de arma adaptada a las necesidades de la fuerza y a las capacidades técnicas para la producción local de estos equipos. Se utilizó herramientas de software CAD y CAE, para el modelamiento digital y el análisis del comportamiento mecánico de los sistemas, respectivamente. Por último, se llevó a cabo la creación del prototipo del arma no letal mediante la tecnología de manufactura aditiva, con el cual se realizaron pruebas de funcionamiento y adaptabilidad, con las que se pudo corroborar el funcionamiento del diseño propuesto.

Palabras clave:

- **ARMAS NO-LETALES**
- **SISTEMA DE ALIMENTACIÓN**
- **MECANISMO DE ACOPLE**
- **RESISTENCIA MECÁNICA**

Abstract

The Department of Energy and Mechanical Sciences (DECEM) is currently developing the project "Military Equipment of the future: Anti-riot Weapons System for military vehicles used in incidents of public disorder", which aims to collaborate in improving the military capabilities of the Ecuadorian Armed Forces. The present study presents the design of a prototype of an anti-riot weapon system composed of a non-lethal kinetic force weapon for the use of commercial ammunition with RCAs agents, a continuous feeding system and a vehicle mounting system, all of these as part of the military equipment proposal of the aforementioned project. In order to develop this project, several non-lethal kinetic launchers, both for military and civilian use, were reverse engineered. Based on this study and the analysis of the installed capacity of the DECEM's Manufacturing Processes Laboratory, the design of a weapon model adapted to the user's needs and to the technical capabilities for the local production of this equipment was carried out. CAD and CAE software tools were used for digital modeling and analysis of the mechanical behavior of the systems, respectively. Finally, the creation of the non-lethal weapon prototype was carried out using additive manufacturing (FDM technology), by means of which functional and adaptability tests were carried out to corroborate the performance of the proposed design.

Keywords:

- **NON-LETHAL WEAPONS**
- **FEEDING SYSTEM**
- **COUPLING MECHANISM**
- **MECHANICAL STRENGTH**

Capítulo I: Generalidades

Antecedentes

La definición más aceptada de arma no-letal es la que otorga la Directiva del Departamento de Defensa de los Estados Unidos, la misma que fue adoptada por la OTAN en 1999, la cual señala que las armas no letales son aquellas que están explícitamente diseñadas y desarrolladas para repeler un grupo de personas, con baja probabilidad de lesiones permanentes o impacto en el medio ambiente (United States Department of Defense, 1996).

Las armas no-letales han sido utilizadas por las fuerzas del orden desde comienzos del siglo XIX. Esto con el fin de mantener el orden legal en la sociedad y dispersar a grandes grupos de personas que ponen en riesgo a la sociedad civil. Desde el inicio de su uso la producción de armas no-letales ha ido creciendo significativamente ya que se han convertido en la principal respuesta tecnológica ante disturbios y manifestaciones violentas. Estimándose que existen alrededor de 450 empresas en 52 países en el mundo que se dedican a la fabricación de estos sistemas de armas no-letales (UNLIREC, 2016).

En Ecuador las armas no-letales están orientadas únicamente para el uso exclusivo de las fuerzas del orden adjuntas al Ministerio de Defensa (Vega de la Cuadra, 2016).

Actualmente las armas no-letales con las que cuenta el país son importadas, siendo en su mayoría armas de fogueo, gas lacrimógeno, cartuchos 12GA esfera de goma, cartuchos “aturdidores”, escopetas calibre 12 para proyectiles no-letales entre otros (Puente, 2020).

En la Brigada de Fuerzas Especiales Patria, ubicada en Latacunga, se dispone de varios equipos tácticos de entrenamiento importados, como el modelo RAP4 T68 M4 Gen 6 mostrado en la Figura 1.

Figura 1*Modelo RAP4 T68 M4 Gen 6*

El Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica al momento se encuentra desarrollando varios proyectos de investigación aplicada en el área militar con el fin de contribuir en el desarrollo de la tecnología militar de las Fuerzas Armadas del Ecuador.

Definición del Problema

En 2019, fue un año en el cual se registraron protestas y disturbios violentos a nivel mundial, cada una de ellas por diversas razones. Como respuesta a esto, las fuerzas de orden público de cada uno de los países se vieron en la necesidad de controlar estos disturbios, haciendo uso de diversos sistemas de armas no-letales con el objetivo de contrarrestar estas acciones violentas y restablecer el orden público sin causar daños permanentes a los manifestantes (Agencias de El Comercio, 2019).

En el mes de octubre de 2019 el Ecuador vivió 11 días de disturbios realizados por parte de varios grupos sociales: estudiantes, indígenas, trabajadores, transportistas, entre otros (Agencias de El Comercio, 2019). No obstante, en el transcurso de estos días de protesta, la frecuencia de los actos violentos aumentó drásticamente, produciendo daños a la propiedad pública y privada, instalaciones de agua potable y energía eléctrica, así como a varios vehículos, propiedad de la Fuerza Terrestre, Figura 2 (Bravo, 2019).

Figura 2

Quema y destrucción del blindado Urutú 6x6



Nota. Recuperado de (Saumeth, 2019).

Para poder contrarrestar estos altercados y vandalismo, las fuerzas del orden hicieron uso de lanzagranadas con gas lacrimógeno como se aprecia en la Figura 3, armas con municiones de goma, toletes entre otras acciones policiales para dispersar a los manifestantes (Infobae, 2019).

Figura 3

Uso de armas no-letales



Nota. Uso de armas no-letales por parte de la policía antidisturbios ante los enfrentamientos por las medidas económicas del Gobierno (Jácome, 2019).

Según Puente (2020) en el informe entregado por el Comando Logístico de la Fuerza Terrestre se señala que el armamento no-letal con el que cuentan los militares “no es suficiente” y algunos de los casos “está caducado”, lo que obliga al Ministerio de Defensa a efectuar contratos con otros países para la adquisición de nuevo equipamiento, ya que Ecuador no es un país que desarrolle esta tecnología.

En consideración de estos acontecimientos el Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, se ha planteado el desarrollo de un proyecto de carácter militar denominado “EQUIPAMIENTO MILITAR DEL FUTURO: SISTEMA DE ARMAS ANTI-DISTURBIOS PARA VEHÍCULOS MILITARES USADOS EN INCIDENTES DE DESORDEN PÚBLICO” el cual dentro de sus objetivos plantea el desarrollo de un arma de energía cinética.

En la actualidad las industrias de las armas no-letales se han orientado a crear nuevos dispositivos, Figura 4, que permiten incapacitar objetivos individuales de un grupo de manifestantes desde una distancia, con el fin de disminuir el impacto del uso de armas no letales en grandes grupos de personas, las cuales pueden afectar a individuos que no están participando en estos actos, resguardando así la integridad de la población civil y los miembros de la fuerza pública. Además, evitando alterar la atmósfera circundante (como lo hacen las granadas lacrimógenas) y sin efectos permanentes en las personas. Estos dispositivos reportan una menor probabilidad de causar lesiones considerables en comparación con otras armas de energía cinética, como las armas con municiones de goma o las de agentes químicos.

Figura 4

FN 303 Launcher



Nota. Armas cinéticas FN 303 para munición con agentes de control de disturbios (RCA por sus siglas en inglés) (FN HERSTAL, 2015).

Para el desarrollo de este estudio se han planteado un conjunto de actividades entre las cuales está el desarrollo de la ingeniería inversa de varias armas comerciales tanto de uso militar como civil y el diseño de un modelo de arma de fuerza cinética para el lanzamiento de municiones con agentes RCA comerciales.

La conceptualización del diseño es la principal tarea para el desarrollo de un prototipo, siendo que la ejecución de esta actividad conlleva un conjunto de actividades de diseño, planificación y validación. Además de una gran inversión de tiempo y de un equipo de diseño con un conjunto de conocimientos y destrezas en diversas áreas de la ingeniería.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar el diseño para la fabricación de un prototipo de un arma no-letal de impacto por energía cinética con capacidad para adaptarse a un vehículo táctico militar.

Objetivos Específicos

- Investigar los tipos de armas no-letales de impacto por energía cinética comerciales tanto de uso civil como militar.
- Realizar la ingeniería inversa de armas no-letales de impacto.

- Diseñar un prototipo experimental de un arma no-letal de impacto por energía cinética, así como el sistema de alimentación y acoplamiento a un vehículo táctico militar mediante el uso de software CAD/CAE.
- Analizar la funcionalidad del prototipo funcional diseñado mediante el uso de un modelo físico de validación obtenidos mediante el uso de manufactura aditiva.
- Definir la planificación de la manufactura de los componentes y el ensamblaje de un prototipo experimental de un arma no-letal.

Justificación e Importancia

Considerando los puntos analizados en las secciones anteriores y en razón que la industria militar en el Ecuador no crea nuevos diseños de armas no letales adaptados a las necesidades locales, el desarrollo de un prototipo experimental de un arma cinética de impacto con munición RCA es una contribución importante en el desarrollo de la tecnología militar nacional, adicionalmente el proyecto propone la creación de dos dispositivos nuevos que no existen comercialmente los cuales son el sistema de alimentación continua y el acople para vehículos tácticos militares.

El principal objetivo de este trabajo es diseñar un prototipo experimental de un arma no letal para así contribuir con la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en el desarrollo de proyectos militares a favor de las Fuerzas Armadas en la misión de desarrollar su propia tecnología militar.

Adicionalmente este proyecto contribuye con el perfeccionamiento de los estudios en la línea de investigación de seguridad y defensa por parte del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica.

Alcance

El presente proyecto busca entregar el diseño de un prototipo experimental de un arma no-letal de impacto por energía cinética con capacidad de proyectar municiones estándar y adaptarse a un vehículo táctico militar.

El diseño deberá contar con los planos de conjunto, despiece y detalle, tanto del prototipo del arma, así como los dispositivos y mecanismo de acoplamiento al vehículo táctico militar, esto orientado en la manufactura de una familia de productos.

Del mismo modo el estudio debe contar con la memoria de cálculo que contiene la validación de los modelos computacionales generados.

De la misma manera se presentará la planificación para la fabricación del prototipo experimental de arma no-letal, así como para su ensamblaje.

Capítulo II: Estado del Arte

Armas No-Letales

Por definición un arma no-letal es aquella que está explícitamente diseñada y desarrollada para repeler un grupo de personas, con baja probabilidad de lesiones permanentes o impacto en el medio ambiente (United States Department of Defense, 1996).

Dentro de la clasificación de armas no letales, estas se dividen según el tipo de tecnología que usan, siendo las principales las de energía cinética, energía eléctrica, dispositivos ópticos, acústicos, agentes químicos, bioquímicos, biológicos entre otros (Davison, 2009), ver Figura 5. Estas tecnologías en general se han ido desarrollando con el transcurso del tiempo y a la vez se han ido incorporando dentro del ámbito de la seguridad interna de cada país.

Figura 5

Ejemplos de armas no-letales



Nota. Adaptado de BBC Mundo, 2013; Elias, 2013; La Información, 2009; Boyd, 2021.

Es evidente al observar información acerca del control de disturbios en los medios de prensa mundiales que las principales tecnologías usadas en el control de disturbios son los agentes químicos (gases lacrimógenos) y armas de energía cinética (munición con perdigones antidisturbios, cañones de agua, etc). Esto es en consecuencia, de que estas tecnologías permiten controlar o desarticular un grupo grande de personas y además evita el contacto directo con las fuerzas del orden.

Agentes Químicos de Control de Disturbios (RCAs)

En 1912 los policías de Francia fueron los primeros en utilizar los RCAs, acrónimo de Riot Control Agents. Estos agentes producen una fuerte irritación y dolor tanto a los ojos como al tracto respiratorio evitando inhabilitando momentáneamente a una persona (Davison, 2009).

Los agentes más comúnmente utilizados contienen CN (Chloroacetophenone) o CS (Chlorobenzalmalononitrile) conocidos convencionalmente como gas lacrimógeno y, OC (Oleoresina capsicum) denominado comúnmente gas pimienta y PAVA (forma sintética de OC). Éstos se los puede suministrar de diferentes maneras como son: aerosol, granadas de tiro manual, granadas de tiro con armas, y también se los puede mezclar con cañones de agua (Corney & Crowley, 2019).

En la Figura 6 se puede observar un arma de tiro simple, que tiene la capacidad de lanzar RCAs almacenados en recipientes metálicos. Si bien el gas es un agente no letal, los recipientes que contiene el gas pueden ser muy peligroso ya que si llegan a impactar de forma directa en partes vulnerables del cuerpo de un ser vivo estos pueden causar serios daños físicos.

Figura 6

Arma de tiro simple con su munición lacrimógena CS.



Nota. Recuperado de *Defense Technology*, por Buccello y Asociados, 2019.

Se estima que el gas puede cubrir un área desde los 60 m² a los 300 m² (BBC, 2017), lo que implica que personas o viviendas que no tienen relación con las protestas puedan salir afectadas por el alcance de estos dispositivos.

Armas No-Letales de Energía Cinética

El objetivo de utilizar esta tecnología es producir dolor o inmovilidad temporal debido al impacto recibido. Este armamento se considera no-letal ya que, en comparación con armas convencionales, éste posee velocidades de disparo menores y son fabricadas de materiales diferentes. Un claro ejemplo es la munición de caucho, la cual tiene característica no perforante (UNLIREC, 2016). Según varios autores (Davison, 2009; Corney & Crowley, 2019; UNLIREC, 2016) existen algunos tipos de armas no letales de energía cinética tales como:

Bastones Policiales y Bastones Extensibles. Se trata de herramientas contundentes, ver Figura 7, que pueden fabricarse en variedad de materiales como madera, aluminio, acero, etc. Son de gran utilidad para quienes trabajan en seguridad ya que lo pueden usar en defensa personal y también es aprobado como instrumento de rescate y liberación (Salvador, 2020).

Figura 7

Bastones ASP



Nota. Forjados de acero 4140. Recuperado de Bastones ASP, por Buccello y Asociados, 2019

Cañones de Agua. Los cañones de agua instalados sobre los vehículos tácticos militares o policiales dispersan a los manifestantes mediante la combinación de disparos de agua con gas lacrimógeno o pimienta, ver Figura 8. Además, en algunos de ellos se puede añadir colorante para marcar a las personas y después poder identificarlos para detenerlos. Estas tanquetas pueden almacenar alrededor de 7000 litros de agua y los disparos pueden alcanzar los 16 bar de presión (LA VANGUARDIA, 2017).

Figura 8

Policía Indonesia hace uso de un cañón de agua durante una protesta



Nota. Por Kurniawan, 2019.

Lanzadores de proyectiles de impacto contundente. Son armas no-letales que pueden lanzar uno o varios proyectiles, dependiendo del modelo. Éstos proyectiles pueden ser de goma, plástico, madera u otros materiales; y están previstos para ser disparados directamente a zonas no sensibles de una persona (Corney & Crowley, 2019).

Generalmente, escopetas que lanzan este tipo de proyectiles son utilizadas en muchos países del mundo por las fuerzas del orden con la finalidad de controlar multitudes hostiles. La velocidad de la munición varía según el tipo de arma, pero el rango se encuentra entre 540 y 720 km/h (EIDiario, 2019).

Un ejemplo de este tipo de lanzador es la escopeta italiana Fabarm, Sdass Pro Forces de la Figura 9, que utiliza municiones de goma de caucho macizo de 55 mm de diámetro que pueden alcanzar la velocidad de 720 km/h (Bastarrica, 2019).

Figura 9

Escopeta Fabarm SDASS



Nota. Imagen adaptada de *Desarrollo y Defensa*, por Elias, 2013.

Debido al fácil uso y lo efectivo de estas tecnologías de control de disturbios en la actualidad se observa que las empresas de armamento y de equipos antidisturbios han desarrollado nuevos dispositivos que combina estas dos tecnologías lo que evidencia que esta sería la nueva tendencia en la fabricación de armas no letales para el control de disturbios.

Armas No-Letales de Energía Cinética con Agentes RCAs

Éstos nuevos modelos de armas no-letales utilizan gas comprimido como fuente de energía para realizar los disparos, similar a las marcadoras de paintball. Dichos modelos disparan pequeños proyectiles esféricos rellenos de RCAs (Pepperball, 2021c). Con esto únicamente se afecta a la persona objetivo y no a otras, ni a la atmósfera circundante como lo hacen las granadas lacrimógenas.

El uso de gas comprimido admite regular la velocidad de salida de los proyectiles. Esto permite alcanzar velocidades mucho menores en comparación a las armas de proyectiles de impacto contundente, lo que por ende disminuye la probabilidad de causar lesiones considerables a las personas.

Desarrollos de Armas No Letales de Impacto con RCAs. Como se mencionó anteriormente las últimas versiones de armas no-letales de impacto cinético han sido desarrolladas por empresas dedicadas a la fabricación de estas y es importante analizar cuáles son las características principales de estas armas.

Del mismo modo es importante considerar que en lo que respecta a tecnología militar la información es muy limitada o inexistente en algunos casos, lo cual es completamente lógico debido al tipo de información. No obstante, se ha realizado un análisis concreto acerca de los dispositivos y las empresas que desarrollan este tipo de armas no letales.

FN Herstal. Empresa fundada en 1889 en Bélgica, hoy en día posee varias sedes de fabricación y venta en varios países alrededor del mundo (FN HERSTAL, 2021a). Se dedica al diseño y manufactura de una gran variedad de armas de fuego y armamento no-letal, ejemplo de este último es el lanzador FN 303 de la Figura 10, cuya información técnica se señala en la Tabla 1.

Figura 10*FN 303*

Nota. Sistema menos letal FN 303 de hombro, por FN HERSTAL, 2021.

Tabla 1

Información técnica del lanzador FN 303

Datos técnicos	Valores
Calibre	18 mm
Peso con el cargador y botella llena	2.9 kg
Longitud	74.5 cm
Capacidad del cargador	15 proyectiles
Rango efectivo	0-50 m
Colores disponibles	Negro o anaranjado
Sistema de propulsión	Aire comprimido
Energía	30 J [EO] / 25 J [E50]

Nota: Por FN HERSTAL, 2021.

Otro lanzador, también menos letal y más compacto, es el FN 303 P ilustrado en la Figura 11, cuyos datos técnicos se indican en la Tabla 2.

Figura 11

FN 303 P



Nota. Lanzador diseñado para espacios reducidos, por FN HERSTAL, 2021.

Tabla 2

Información técnica del lanzador FN 303 P

Datos técnicos	Valores
Calibre	18 mm
Peso con el cargador y botella llena	1.23 kg
Longitud	29 cm
Capacidad del cargador	7 proyectiles
Rango efectivo	0-25 m
Colores disponibles	Negro más kit de pegatinas amarillas
Sistema de propulsión	CO ₂
Energía	25 J [EO] / 22 J [E50]

Nota. Recuperado de FN HERSTAL, 2021.

Milspec Plastics. Empresa ubicada en Carolina del Norte, USA. Se dedica a la fabricación de artículos para las fuerzas del orden y las fuerzas armadas del mundo desde el 2001, además proporciona productos para el control de disturbios (Milspec Plastics, 2018). Uno de ellos es la carabina que se muestra en la Figura 12, seguida de sus características en la Tabla 3.

Figura 12

Carabina semi-automática MLR



Nota. Lanzador semi-automático recuperado de Milspec Plastics, 2018.

Tabla 3

Información técnica del lanzador Carabina semi-automática MLR

Datos técnicos	Valores
Calibre	18 mm (0.68 in)
Capacidad de tolva	200 proyectiles
Rango efectivo	0-53 m
Frecuencia de disparo	15 rondas/s
Sistema de propulsión	Aire comprimido
Presión del tanque	3000 psi

Nota. Adaptado de Milspec Plastics, 2018.

Otro modelo de carabina semi-automática es la TCR, ver Figura 13, que a diferencia de la primera su sistema de propulsión es mediante cartuchos de CO₂ y su sistema de alimentación utiliza cargadores, como se lo indica en la Tabla 4.

Figura 13*Carabina semi-automática TCR*

Nota. Lanzador semi-automático recuperado de Milspec Plastics, 2018.

Tabla 4*Información técnica del lanzador Carabina semi-automática TCR*

Datos técnicos	Valores
Calibre	18 mm (0.68 in)
Capacidad de cargadores	2 cargadores de 12 y 8 rondas
Rango efectivo	0-53 m
Sistema de propulsión	Cartuchos de CO ₂ estándar

Nota. Recuperado de Milspec Plastics, 2018.

Pepper Ball. Empresa estadounidense que diseña y fabrica sistemas completos de armamento no-letal, con el fin de proporcionar herramientas de defensa a las fuerzas del orden, fuerzas armadas, entre otras agencias (Pepperball, 2021). Algunas de las armas no letales que ofrecen en la actualidad son la TAC-SF y VKS, ilustradas en las Figura 14 y Figura 15 respectivamente, seguidas de sus características técnicas:

Figura 14

TAC-SF



Nota. Lanzador que puede configurarse en modo automático, por Pepperball, 2021.

Tabla 5

Información técnica del lanzador TAC-SF

Datos técnicos	Valores
Calibre	0.68 in
Capacidad de tolva	180 rondas
Peso con 30 ci HPA	2.8 kg
Sistema de propulsión	Aire comprimido
Longitud (stock completamente comprimido)	71.1 cm
Acción	Semi / 3 ráfagas por ronda / auto
Energía del impacto cinético	10 – 15 J

Nota. Recuperado de Pepperball, 2021.

Figura 15

VKS



Nota. Sistema Cinético Variable, por Pepperball, 2021.

Tabla 6*Información técnica del lanzador VKS*

Datos técnicos	Valores
Calibre	0.68 in
Capacidad del cargador	10 o 15 proyectiles
Capacidad de tolva	180 rondas
Peso	2.8 kg
Sistema de propulsión	Aire comprimido
Longitud	78 cm
Acción	Semi-automática
Energía del impacto cinético	10 - 28 J

Nota. Recuperado de Pepperball, 2021.

De Armas de Fuego a Marcadoras de Paintball. Con lo visto en la sección anterior se puede analizar que en la actualidad las empresas dedicadas a la fabricación de armamento no-letal se encuentran desarrollando nuevos diseños semejantes a las marcadoras de paintball, pero con prestaciones adicionales, esto con el objetivo de poder controlar la velocidad de disparo en un rango reducido y además contar con munición que cuente con agentes RCAs. Esto actualiza la tendencia de las tecnologías de energía cinética acerca de usar armas de fuego convencionales con proyectiles de goma para dispersar manifestaciones (LA GACETA, 2014).

Esta práctica de usar proyectiles de goma ha traído graves consecuencias desde heridas permanentes hasta la muerte, así lo señala el artículo publicado por la revista BMJ, en el cual se estudió las lesiones producidas por el impacto de balas de goma en 1984 personas, de las cuales 53 murieron y 300 sufrieron discapacidad permanente (Haar et al., 2017).

Hay varios factores de la munición que influyen en la gravedad de la lesión, Haar (2017) menciona los siguientes: “la composición del material, la forma, el número,

la velocidad de salida (velocidad del proyectil al salir del arma) y la trayectoria de vuelo de los proyectiles, la distancia de disparo y la ubicación del impacto en el cuerpo” (p. 2).

En consideración de que la tendencia actual en las empresas de armas no letales al uso de equipos de fuerza cinética con agentes RCAs y con el objetivo de reducir drásticamente la probabilidad de ocurrencia de las consecuencias señaladas anteriormente, con base en esta información el proyecto se ha focalizado en el diseño un arma no letal de energía cinética con agentes RCAs.

Al analizar las armas actualmente diseñadas por las empresas mencionadas anteriormente es evidente que estas armas se asemejan con las tecnologías usadas por marcadoras comerciales de paintball, en consideración que este tipo de armas han demostrado tener una eficiencia comprobada en su nivel de no letalidad.

A continuación, se presentan modelos de marcadoras de paintball desarrollados por una de las empresas más conocidas alrededor del mundo:

Tippmann

Son fabricantes estadounidenses de marcadoras y equipos de paintball, fundada a principios de la década de 1980 (Tippmann, 2020). Enseguida se presentan varios de sus productos ofertados en la actualidad con su respectiva información técnica:

Figura 16

98 Custom Platinum Series Marker



Nota. Marcador semiautomático, imagen recuperada de Amazon.

Tabla 7*Especificaciones del marcador 98 Custom Platinum Series*

Datos técnicos	Valores
Calibre	0.68 in
Acción	Sistema de válvula abierto Bolt Blow Back
Suministro de aire	Aire comprimido, nitrógeno, o CO ₂
Alimentación bolas	Gravedad
Capacidad de la Tolva	180 paintballs
Frecuencia del ciclo	8 disparos por segundo
Longitud barril estándar	8.5 in / 21.59 cm
Longitud (con barril estándar, sin cilindro de aire)	19.63 in / 48.86 cm
Peso (sin cilindro de aire)	2.9 lbs. / 1.32 kg
Alcance efectivo	150+ pies / 46+ metros
Velocidad	Ajustable, no superar los 300 pies/s (91.44 m/s)

Nota. Recuperado de Tippmann, 2020.

Otra marcadora de paintball desarrollada por la misma empresa es la TMC M4 que se muestra en la Figura 17, cuyas especificaciones se detallan en la Tabla 8.

Figura 17

Tippmann TMC M4 Carabine .68 Caliber



Nota. Marcador semi-automático, por Modern Combat Sports, 2021.

Tabla 8*Especificaciones de la marcadora TMC M4 Carabine*

Datos técnicos	Valores
Calibre	0.68 in
Acción	Sistema de válvula abierto Bolt Blow Back
Suministro de aire	Aire comprimido, nitrógeno, o CO ₂
Alimentador de bolas	Gravedad (depósito) o 20 rondas del cargador
Gatillo	Semi - automático (mecánico)
Longitud del cañón	12 in / 30.5 cm
Longitud total (sin cilindro de aire, mango extendido)	30 in / 76.2 cm
Alcance efectivo	150+ pies / 46+ metros
Peso (depósito, sin cilindro de aire)	3 lbs 15 oz / 1.785 kg
Peso (cargador, sin cilindro de aire)	4 lbs / 1.838 kg
Final	Recubierto con polvo negro liso
Velocidad	Ajustable, no superar los 300 pies/s (91.44 m/s)

Nota. Recuperado de Tippmann, 2016.

Un modelo desarrollado previo a este último es la marcadora Cronus, ver Figura 18, que tiene la posibilidad de configurarse en modo automático como lo indican sus especificaciones técnicas en la Tabla 9.

Figura 18*Cronus Paintball Marker*

Nota. Marcador semi-automático, por PBGuy, 2020.

Tabla 9*Especificaciones de la marcadora Cronus*

Datos técnicos	Valores
Calibre	0.68 in
Acción	Sistema de válvula abierto Bolt Blow Back
Suministro de aire	Aire comprimido, nitrógeno, o CO ₂
Alimentador de bolas	Gravedad
Gatillo	Semi - automático (mecánico)
Longitud del barril estándar	9.5 in / 24 cm
Longitud (con barril, sin cilindro de aire, cubierta completamente contraído)	27.5 in / 70 cm
Longitud (con barril, sin cilindro de aire, cubierta completamente extendido)	31.5 in / 80 cm
Alcance efectivo	150+ pies / 46+ metros
Peso (sin cilindro de aire)	3.7 lbs / 1.7 kg
Velocidad	Ajustable, no superar los 300 pies/s (91.44 m/s)

Nota. Recuperado de Tippmann, 2013.

Municiones

Los primeros registros de donde se utilizaron balas de goma, municiones menos letales, son en protestas ocurridas en Irlanda por los años 70. Básicamente las municiones de goma tienen la misma composición que los cartuchos metálicos, es decir poseen fulminante, pólvora, vaina y proyectil; la diferencia radica en el intercambio del proyectil metálico por uno de goma o plástico como se puede observar en la Figura 19. Algunas municiones poseen menor cantidad de pólvora para reducir la energía con la que salen disparadas (Quora, 2020).

Figura 19

Balas de goma



Nota. Imagen adaptada, por Quora 2020.

Con el objetivo de reducir los daños físicos que pueden llegar a causar estos proyectiles se han ido desarrollando varios tipos de balas que se listan a continuación (Stop Bales de Goma, 2013):

- *Balas de goma:* Hechos de poliuretano o caucho.
- *Proyectiles recubiertos de goma:* Generalmente poseen el núcleo metálico.
- *Beanbag bullets:* Depósitos que contienen muchos cuerpos pequeños, que pueden ser plásticos, silicona o goma.
- *Proyectiles de plástico*
- *Granadas de FOAM o tipo esponja:* Proyectiles plásticos generalmente de 40 mm de diámetro, recubiertos con material esponjoso o goma espuma.

En la actualidad existen municiones que contienen RCAs que son utilizadas en el control de disturbios. Estos proyectiles pueden alcanzar velocidades moderadas utilizando un accionamiento de disparo mediante la energía proporcionada por el aire comprimido, CO₂ o nitrógeno. Un beneficio que surge de estos cambios es que dichas velocidades de disparo son mucho menores en comparación a las velocidades alcanzadas por los proyectiles de los cartuchos con pólvora.

El enfoque del presente trabajo se centra en las armas no-letales de impacto cinético que utilizan proyectiles con RCAs, ya que estos pueden impactar a partes no

vulnerables de los individuos con una probabilidad menor de causar daño permanente.

A continuación, se señalan municiones de este tipo desarrolladas por algunas

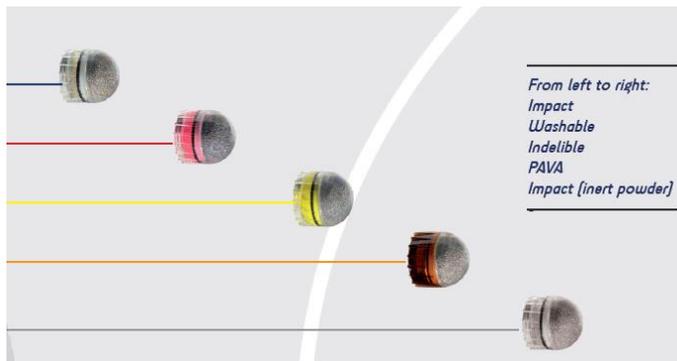
empresas:

FN Herstal

Esta empresa, ya mencionada anteriormente, ha desarrollado una serie de proyectiles calibre 18 mm, que se muestran en la Figura 20, cada uno de ellos posee un contenido especial que se utiliza dependiendo de la situación.

Figura 20

FN 303 Projectiles



Nota. Característica de proyectiles: impacto a base de glicol no tóxico (azul), impacto con pintura lavable (rosado), impacto con pintura indeleble (amarillo), impacto con efecto irritante (café), impacto con polvo inerte al 100% (plomo). Por FN HERSTAL, 2021.

Pepper Ball

Empresa estadounidense mencionada anteriormente. En su página oficial presenta 17 diferentes tipos de proyectiles no letales; a continuación, se presenta en la Tabla 10 las características de cada uno y se podrá apreciar que la principal diferencia radica en el contenido de la munición:

Tabla 10*Proyectiles desarrollados por PepperBall*

Proyectil	Calibre	Peso / Carga útil	Impacto directo	Vida útil	Fórmula
Live	0.68x.72	3g / 2.5g	60 pies	3 años	0.5% PAVA
Live-X	0.68x.72	3g / 2.5g	60 pies	3 años	5% PAVA
CS	0.68x.72	3g / 2.5g	60 pies	3 años	2.5% polvo CS
CS/PAVA	0.68x.72	3g / 2.5g	60 pies	3 años	1.25% polvo CS / 1.25% polvo PAVA
Inerte	0.68x.72	3g / 2.5g	60 pies	3 años	polvo inerte
Marcado	0.68x.72	3g / 2.5g	60 pies	3 años	Solución de pintura
Rompe cristales	0.68x.72	3g / 2.5g	60 pies	3 años	Composición sólida
Lleno de agua	0.68x.72	3g / 2.5g	60 pies	3 años	Agua
Marcado UV	0.68x.72	3g / 2.5g	60 pies	3 años	Líquido
VXR Live	0.68x.72	3.4g / 2.5g	60 pies	3 años	0.25% polvo PAVA
VXR Live-X	0.68x.72	3.4g / 2.5g	60 pies	3 años	2.5% polvo PAVA
VXR CS	0.68x.72	3.4g / 2.5g	60 pies	3 años	1.25% polvo CS
VXR CS/PAVA	0.68x.72	3.4g / 2.5g	60 pies	3 años	0.625% polvo PAVA / 0.625% polvo CS
VXR Polvo inerte	0.68x.72	3.4g / 2.5g	60 pies	3 años	Polvo inerte
VXR Líquido inerte	0.68x.72	3.4g / 2.5g	60 pies	3 años	Líquido inerte
VXR Marcado	0.68x.72	3.4g / 2.5g	60 pies	3 años	Solución de pintura
VXR Líquido UV inerte	0.68x.72	3.4g / 2.5g	60 pies	3 años	Solución de pintura

Nota. Los proyectiles VXR a diferencia de los comunes, poseen un spin estabilizador.

Recuperado de Pepperball, 2021.

Mecanismos de Accionamiento

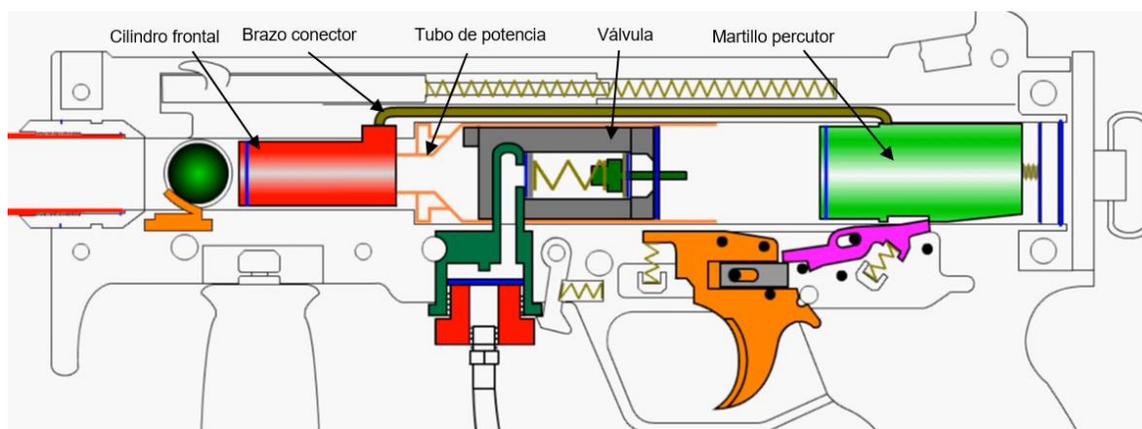
Las marcadoras comerciales que funcionan mediante un sistema de propulsión ya sea, aire comprimido, CO₂ o nitrógeno usan dos principios de activación o accionamiento del sistema de propulsión de la munición, siendo estos mecánicos y electrónico los dos se basan en un principio de funcionamiento semejante y se describen a continuación.

Accionamiento Mecánico de Propulsión

Las armas no-letales de energía cinética poseen en su interior como base fundamental para la acción de disparo las siguientes partes: cilindro frontal, tubo de potencia, martillo percutor, brazo conector y una válvula; como se indica en la Figura 21.

Figura 21

Partes internas de la marcadora Tippmann A5



Nota. Partes base de las armas no-letales con sistema de propulsión mencionadas con anterioridad. Imagen recuperada y editada del video *How a Tippmann A5 Works*, 2010.

Cada una de estas partes puede variar de modelo a modelo en los aspectos de forma, tamaño o modo de accionamiento, sin embargo, la base de funcionamiento es la misma, dicho funcionamiento se describe a continuación.

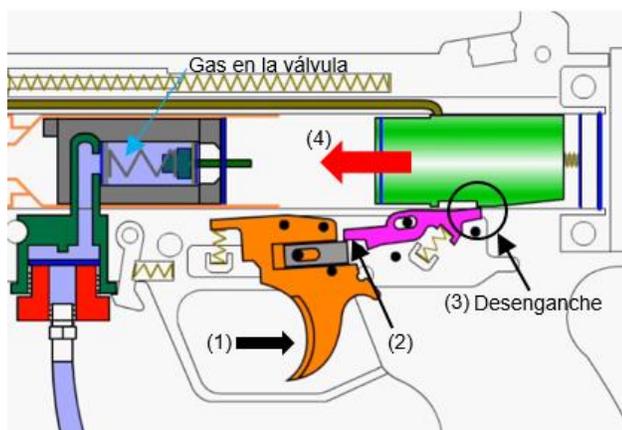
Para accionar el mecanismo, como primer paso se debe engatillar o rastrillar el arma no-letal, esto consiste en desplazar hacia atrás el martillo percutor hasta que el

fiador lo enganche. Considerando que el gas de propulsión ya ha sido conectado, éste llegará a la válvula y se mantendrá allí hasta que se active el sistema de disparo.

En la Figura 22 se ilustra el procedimiento que se describe a continuación: al presionar el gatillo (1) el fiador pivota (2) y deja libre al martillo percutor (3), éste avanza por acción de un resorte hasta presionar el émbolo de la válvula (4).

Figura 22

Secuencia inicial del proceso de disparo

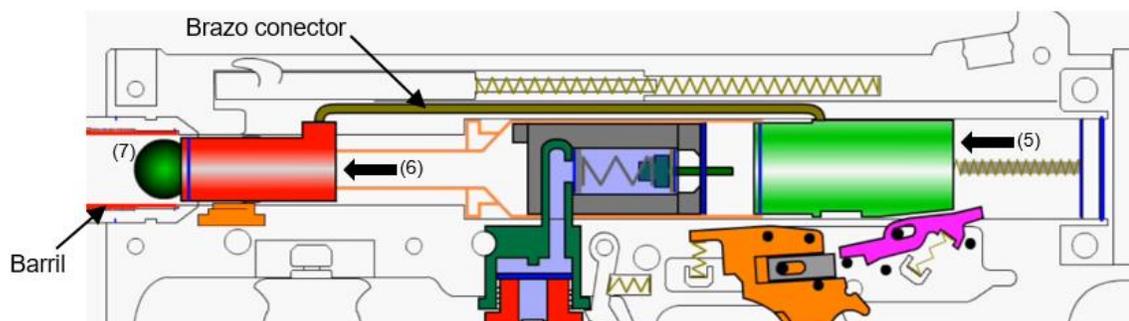


Nota. Se presenta la secuencia en cadena que se produce después de presionar el gatillo hasta la liberación del martillo. Imagen recuperada y editada del video *How a Tippmann A5 Works*, 2010.

Conforme el martillo percutor se desplaza hacia adelante (5), el cilindro frontal también lo hace (6) ya que se encuentran sincronizados mediante el brazo conector, ver Figura 23. Seguidamente el proyectil es empujado por dicho perno dentro del barril o tubo cañón (7), dejándolo listo para su eyección.

Figura 23

Desplazamiento del perno frontal y martillo percutor

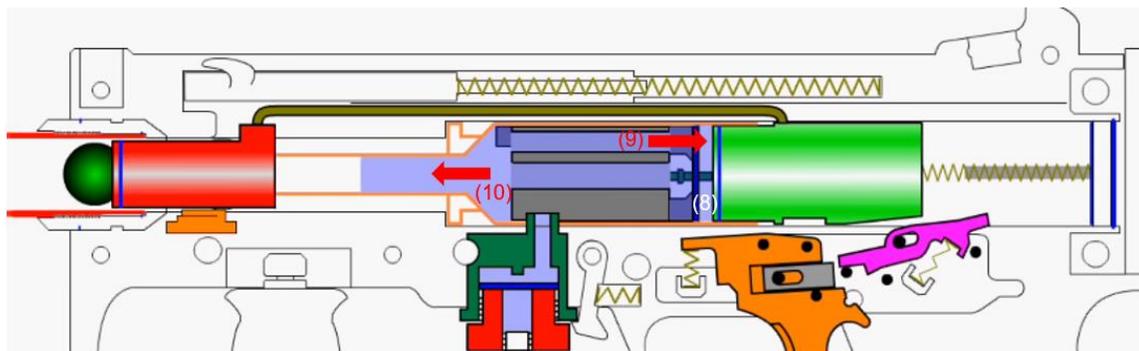


Nota. Se muestra cómo se posiciona el proyectil. Imagen recuperada y editada del video *How a Tippmann A5 Works*, 2010.

Al presionar el émbolo (8) el gas se libera y toma 2 direcciones (9) y (10), ver Figura 24. La primera empuja de regreso al martillo a su posición inicial y la segunda produce la eyección del proyectil.

Figura 24

Liberación del gas



Nota. Se muestra la liberación del gas a causa del impacto del martillo percutor. Imagen recuperada y editada del video *How a Tippmann A5 Works*, 2010.

Accionamiento Electrónico de Propulsión

La base de funcionamiento de estos lanzadores es similar al explicado anteriormente, la diferencia radica en que este accionamiento se da por la acción de

una válvula solenoide controlado por una placa de circuito que utiliza una batería, ver Figura 25.

Figura 25

Accionamiento electrónico



Nota. Por Baenziger, 2013.

Este circuito permite configurar el arma no-letal de varios modos, entre los cuales están: disparar un proyectil, una ráfaga de 3, disparos continuos y modo seguro. Sin embargo, estos sistemas son más delicados ya que se debe tener un nivel de cuidado para no mojar el circuito o componente eléctrico y averiar el proceso de funcionamiento (Paintball España, 2008).

Sistemas de Alimentación

En el mercado se pueden encontrar varios tipos de sistemas de alimentación, algunas de las formas de presentación de estos sistemas y más comúnmente utilizados son: tolvas, cargadores, cajas, tubos.

Acción por Gravedad

Estos recipientes o tolvas son los más simples y económicos, pero tienen el inconveniente de atascarse cuando hay exceso de proyectiles, ver Figura 26. Al ser

accionados por gravedad deben estar ubicados siempre por encima de la recámara del arma no-letal. Las bps (bolas por segundo) de estos recipientes son aproximadamente de 6 (Full Paintball, 2008).

Figura 26

Modelos de alimentadoras por gravedad



Nota. Recuperado de GoPaintball, 2021.

Acción Electrónica

Este tipo de sistemas de alimentación utilizan como fuente de energía una batería o pilas, con lo cual activan el mecanismo que impulsa a los proyectiles a la recámara del arma no-letal. Generalmente este mecanismo suele ser un rodete que empuja a los proyectiles de forma ordenada (dye, 2015). Existe una variedad de modelos como lo indica la Figura 27, por lo que se tiene diferentes capacidades de almacenamiento.

Figura 27*Modelos de alimentadoras electrónicas*

Nota. Sistemas de alimentación accionados electrónicamente, imágenes adaptadas de Emboscada paintball, 2021; Maxloader, 2017; Pepperball, 2021b.

Acción Mecánica

Estos sistemas, conocidos como cargadores, funcionan mediante la fuerza aplicada por un resorte que va empujando un proyectil tras otro conforme se vaya disparando; la capacidad de almacenamiento está alrededor de los 20 proyectiles. En la Figura 28 se puede ver un ejemplo de este tipo de cargadores.

Figura 28*Cargadores de acción mecánica*

Nota. Imagen recuperada de Pepperball, 2021e.

Acción Neumática

Se han desarrollado modelos de tolvas de alimentación que utilizan el mismo aire comprimido del arma no-letal para activar el mecanismo que empuja a los proyectiles dentro de la recámara del lanzador. Tal es el caso del sistema de alimentación ciclónico que se muestra en la Figura 29.

Figura 29

Tipos de sistemas de alimentación



Nota. Imagen recuperada de Tippmann Parts, 2018b.

Sistemas de Defensa de Vehículos Tácticos Militares

Los vehículos tácticos militares fueron desarrollados con el objetivo de fortalecer y dar soporte a los soldados que hacían frente a las guerras. Aquellos que están en el interior de éstos, reciben gran protección debido a que son vehículos robustos con grandes dimensiones y fabricados con planchas metálicas; con ellos se tiene la facilidad de atravesar terrenos irregulares y variedad de obstáculos, además de poseer la ventaja de equiparlos con armas grandes y de mayor potencia.

Las primeras apariciones de estos vehículos datan desde 1914, cuando comenzó la Primera Guerra Mundial, Inglaterra inició la producción masiva de vehículos blindados, tanto de carros como de tanques; con lo cual pudieron adueñarse de ubicaciones alemanas (González Prida Díaz, 2017).

Hoy en día la industria de la defensa se ha extendido a nivel mundial, tanto los países que desarrollan esta tecnología como países que la adquieren, así lo da a

conocer el reporte publicado por Defence IQ (2019), en el cual se puede apreciar la gran acogida que han tenido los vehículos blindados en varios países alrededor del mundo.

Las Fuerzas Armadas del Ecuador cuenta con los siguientes vehículos adquiridos: AMX-13, AML-90, EE-3 Jararaca, EE-9 Cascavel, AMX-VCI, M113, EE-11 Urutu, UR-416, HMMWV M1152, Tiuna, AIL Storm, RM-70, BM-21 Grad, entre otros.

El vehículo militar multipropósito 4x4 1152, ver Figura 30, posee una longitud total de 4.91 m y una altura de 1.93 m, con una masa de 2821 kg. (United States Department of the Army, 2004). En él se pueden transportar hasta 8 personas gracias al espacio en su parte posterior, o también se podría implementar acoplamientos para el montaje de armamento no-letal.

Figura 30

HMMWV 1152



Nota. Se muestra el vehículo militar multipropósito 1152 al exterior del Fuerte Militar "Epiclachima", en Quito. Recuperado de Secretaria de Ambiente del Municipio de Quito, 2020.

El creciente desarrollo de los sistemas de defensa de los vehículos blindados ha hecho posible la gran diversificación de armamento, así como la configuración de diferentes posibilidades de protección; por lo que se ha producido una gran variedad de vehículos con su propio armamento fijo y también desmontable. Cada uno de estos son puestos a disposición dependiendo de la situación que se amerite afrontar. Enseguida se mencionan algunos de los principales vehículos blindados, su sistema de defensa y su objetivo de forma general.

Vehículos de Combate de Infantería o IFV

Son vehículos blindados, también con armamento de fuego defensivo, ver Figura 31, diseñados con el fin de transportar varios soldados junto con sus equipos a los campos de batalla. Estos modelos suelen poseer ranuras por las cuales disparan los soldados que van en el interior (Cedeño, 2019).

Figura 31

Vehículos de combate de infantería



Nota. Imagen recuperada de *Vehicle Systems* por Leonardo, 2017.

Vehículos Blindados de Transporte de Personal o TBP

Estos tipos de vehículos blindados son similares a los de combate de infantería, ver Figura 32, ya que también comparten el objetivo de transportar a los soldados, sin embargo, generalmente estos modelos llevan armas menos potentes, son más ligeros y no suelen ser utilizados para combate directo (Cedeño, 2019).

Figura 32

Vehículos blindados de transporte



Nota. Imagen recuperada de *Vehicle Systems* por Leonardo, 2017.

Patrulla Protegida y MRAP

Son vehículos blindados generalmente más livianos que los de combate, ver Figura 33. Los objetivos principales de su diseño son: soportar el estallido de dispositivos explosivos y resistir emboscadas, por lo que aumenta la probabilidad de supervivencia de las tropas (Francisco Fernández, 2011).

Figura 33

MRAP



Nota. Imagen recuperada de *Vehicle Systems* por Leonardo, 2017.

Vehículos Tácticos Multifunción

Son vehículos desarrollados con el fin de cumplir especificaciones de necesidad militar, utilizados como parte de operativos tácticos ante el frente enemigo, ver Figura 34. Algunas de las características de estos son: tracción en todas las ruedas, blindaje, vehículos transformables, capacidad de vadeo (Álvarez Real & Andrango Catota, 2015).

Figura 34

Vehículos tácticos



Nota. Imagen adaptada de *Vehicle Systems* por Leonardo, 2017.

Mecanismos de Acoplamiento

Sistema de Brazo Oscilante

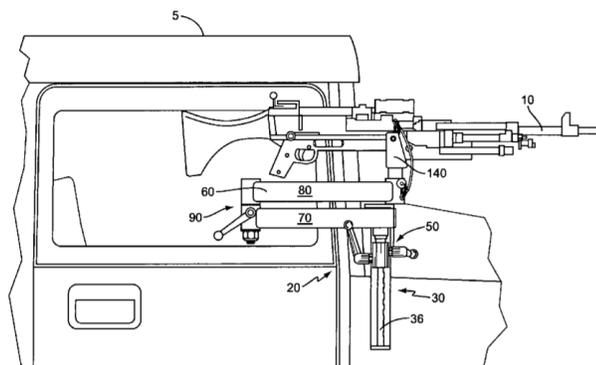
Se trata de un sistema de montaje que posee partes fijas y móviles, las fijas principalmente son acopladas a los vehículos para que actúen como soporte de las partes móviles. Estos sistemas pueden ser adaptados en diferentes partes de los vehículos, en la Figura 35 se puede observar un ejemplo de ello. También se puede colocar sobre el techo, o en el caso de camionetas se puede colocar en la batea.

El diseño propuesto por Ruhland & Bruce (2008) posee un eje fijo (30) como base anclada al vehículo, sobre el cual se puede deslizar un carro o corredera (50) para ajustar la altura. Enseguida se acoplan 2 brazos oscilantes, el primer brazo (70) tiene en uno de sus extremos un eje pivotante, el cual encaja en la cavidad cilíndrica que posee la corredera. El bloqueo del brazo se logra con un pasador que los atraviesa.

El otro extremo del primer brazo posee un cilindro hueco al igual que el segundo brazo (80), por los cuales pasa un perno compartido que permite el giro relativo entre ellos (90). Es posible bloquear este movimiento relativo a través de otra palanca que fija a ambos brazos entre sí.

Figura 35

Soporte de brazo oscilante deslizable para arma



Nota. Imagen recuperada de *Slidable Swing Arm Mount For Weapon* por Ruhland & Bruce, 2008.

Por el otro extremo del segundo brazo se encuentra un collarín en el cual puede pivotar el yugo que sostiene el arma (140) y que le permite un movimiento basculante. Nuevamente se utiliza un pasador tanto para bloquear el yugo y el brazo, como para sujetar el arma a colocar.

El sistema de brazo oscilante propuesto por Barry et al. (2008) indicado en la Figura 36.a, tiene el principio de funcionamiento muy semejante al anterior modelo visto, ya que consta de dos brazos oscilantes, los cuales poseen en sus extremos mecanismos convencionales para producir el giro relativo entre ellos, y al final del segundo se puede adaptar un yugo en donde se acoplará el arma.

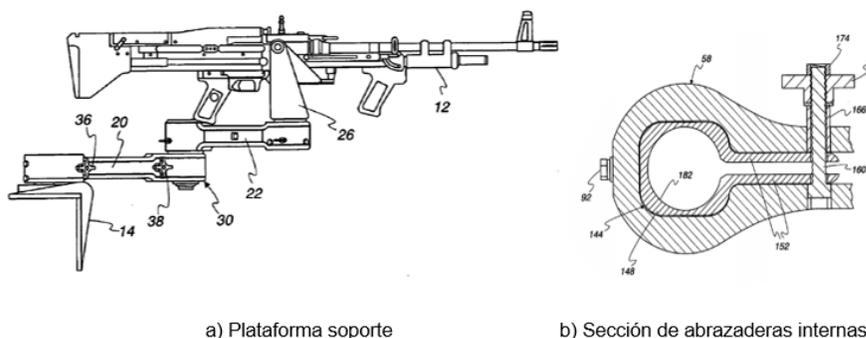
En comparación al anterior modelo las diferencias radican principalmente en dos aspectos, el primero es que posee una base con la que no se puede regular la altura, sin embargo, se puede acoplar a extremos del vehículo o sitios en donde exista una base con ángulo recto, proporcionando así un sistema en voladizo.

Y el segundo es que el brazo (20) posee perillas de ajuste (36 y 38), las cuales permiten aumentar o disminuir la fricción debido a la colocación de abrazaderas, ver Figura 36.b., que se encuentran una en cada extremo. Esto proporciona mayor

estabilidad durante el funcionamiento y limita el recorrido, por lo que se evita oscilaciones no deseadas.

Figura 36

Sistema de Montaje de Brazo Oscilante



a) Plataforma soporte

b) Sección de abrazaderas internas

Nota. Se muestra el sistema de montaje completo junto a una sección parcial de una abrazadera. Imagen recuperada de *Swing Arm Mounting System* por Barry, 2008.

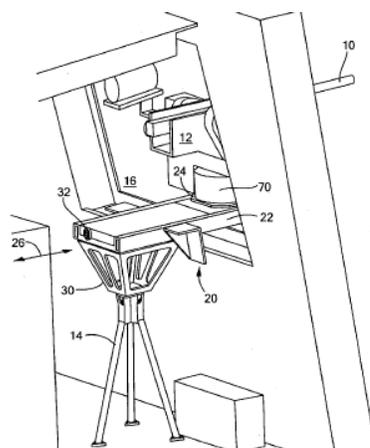
Trípode con Mesa

Otro diseño de soporte de armas que no necesariamente debe ir en un vehículo, sino también en transportes que dispongan de una base plana en donde se pueda asentar y una ventana por la cual sobresalir, es el montaje de arma propuesto por Carroll III et al. (2008) mostrado en la Figura 37.

El sistema consta de un trípode (14) que se atornilla a la base, sobre el cual se monta una estructura anclada con pernos (30) que proporciona una mayor altura y área de soporte para la mesa (22), ésta última puede desplegar una bandeja rectilíneamente como lo indica la flecha 26, este movimiento de despliegue se lo controla a través de la manivela posterior a la mesa (32).

Figura 37

Montaje de arma

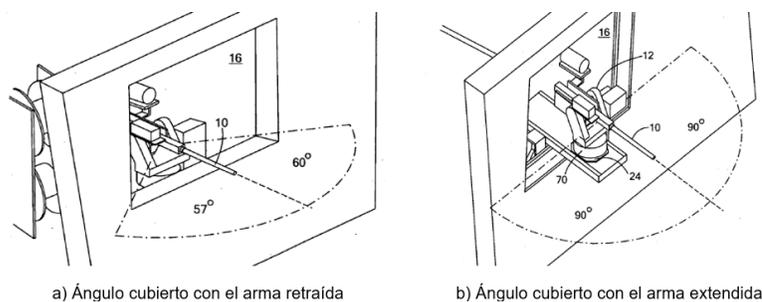


Nota. Sistema de montaje de armas con trípode. Recuperado de *Weapon Mount* por Carroll III, 2008.

Al girar la manivela en sentido anti horario, el cuerpo del arma queda adentro del cubículo, en consecuencia, se reduce significativamente el azimut a 157° como se ve en la Figura 38.a., no obstante, esta acción se usa para dar protección y mantenimiento al arma. Ahora, cuando la manivela gira en sentido horario, el arma puede salir por completo del cubículo y su azimut de cobertura asciende a 180° , ver Figura 38.b.

Figura 38

Ángulos de cobertura del arma



a) Ángulo cubierto con el arma retraída

b) Ángulo cubierto con el arma extendida

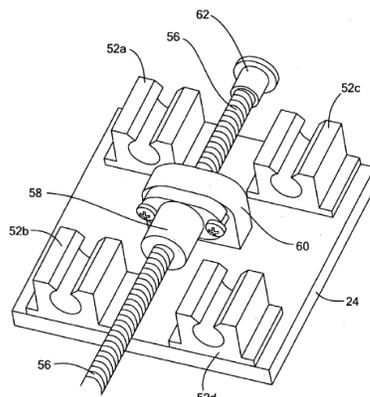
Nota. Azimut mínimo y máximo. Adaptado de *Weapon Mount* por Carroll III, 2008.

Esto es posible ya que, como lo indica la Figura 39, en el interior de la mesa existe una barra roscada (56), misma que se encuentra unida al carro deslizante de la

bandeja mediante una tuerca (60), esto hace que el soporte y el arma salgan por la abertura.

Figura 39

Mecanismo interno de la mesa



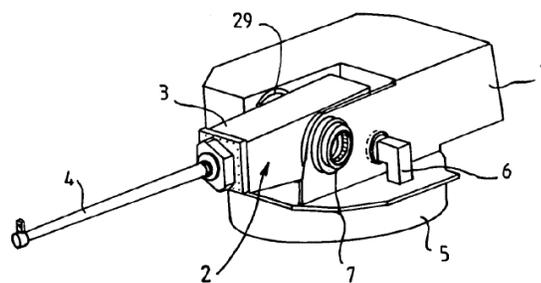
Nota. Recuperado de *Weapon Mount* por Carroll III, 2008.

Torreta

Otro tipo de diseño de soportes adaptables son las torretas, que generalmente son para armas de mayor potencia y que suelen posicionarse en la parte superior de los vehículos militares, ver Figura 40. El modelo desarrollado por Patry & Berejnoi (2006) posee una base giratoria (5), sobre la cual se encuentra la torreta (1) que a su vez sostiene una masa basculante (3) compuesta de un cañón (4) y una caja (2), dicha masa se encuentra sujeta a la torreta a través de muñones (7 y 29).

Figura 40

Torreta

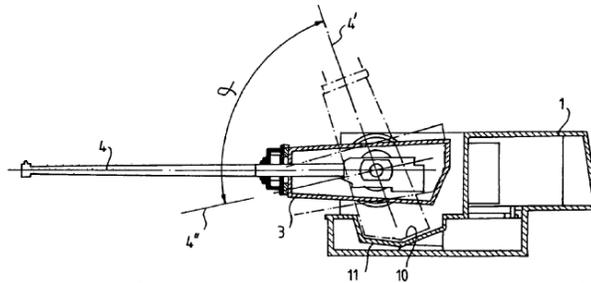


Nota. Recuperado de *Turret for a military vehicle* por Patry & Berejnoi, 2006.

Al accionar el medio (6) mediante un motor, se mueve un conjunto de engranajes internos de ejes paralelos que permiten el movimiento basculante del cañón de aproximadamente 100° , ver Figura 41. Los muñones de los costados pueden girar ya que se encuentran sobre cojinetes. Las bases de las municiones disparadas pueden salir a través de los muñones debido al gran diámetro que poseen, esto mediante un mecanismo empujador.

Figura 41

Alcance del ángulo de giro del cañón



Nota. Adaptado de *Turret for a military vehicle* por Patry & Berejnoi, 2006.

Capítulo III: Diseño y Validación

Diseño del Arma

El presente proyecto pretende proporcionar un prototipo de arma no-letal capaz de adaptarse a un vehículo táctico militar, con el fin de proveer instrumentos de control y defensa que serán utilizados por las fuerzas del orden ante posibles amenazas que pueden afectar a la sociedad civil, bienes públicos y privados, entre otros.

El arma no letal estará articulada en su soporte durante su funcionamiento, por lo que el factor peso no se convertirá en una limitante; no obstante, para agilizar su maniobrabilidad y reducir los costes en compra de materiales este factor será optimizado.

El calibre del arma no-letal se define en base a la munición a utilizar, en este caso serán cápsulas esféricas que almacenan agentes químicos. En la sección *municiones* se observa que todos los proyectiles son de calibre 0.68 in; sin embargo, también existen otros tamaños. El prototipo a desarrollar tendrá el calibre 0.68 in debido a su mayor uso y reconocimiento, pero especialmente porque las empresas que desarrollan los RCAs, como Pepperball, trabajan con dicho calibre y por ende se facilitará el encontrar más proveedores de este tipo de municiones.

Se seleccionó la longitud del barril o tubo cañón en base al artículo publicado por Denny (2011) se demuestra que a mayor longitud del barril, mayor será la velocidad del proyectil disparado de un arma que tiene como sistema de propulsión aire comprimido.

Al hablar de límites para las armas no-letales de impacto cinético, el Parlamento Europeo se ha pronunciado y ha impuesto un límite máximo de 122 J ya que al superar esta magnitud de energía se producen daños severos a causa del impacto recibido (Scientific and Technological Options Assessment, 1998). Dichos daños pueden causar: lesiones internas en la parte del cuerpo impactada, mutilaciones, ceguera, inclusive

hasta la muerte (Northern Ireland Human Rights Commission, 2003). Por consiguiente, la energía cinética producto del disparo no deberá superar el límite señalado.

Uno de los propósitos de este proyecto es también aprovechar la ventaja que se tiene al estar sobre un vehículo táctico, es decir, que se puede utilizar el espacio y colocar una tolva de mayor tamaño, esto con el fin de no correr el riesgo de quedarse sin proyectiles en momentos críticos de las protestas. De modo que se pretende diseñar una tolva con una capacidad de al menos 500 proyectiles, la cual pueda rellenarse con reservas que estén almacenadas dentro del vehículo.

Para que la realización del punto anterior sea factible es menester disponer de una mayor cantidad de gas de propulsión, caso contrario, no se podrá aprovechar todos los proyectiles de la tolva, mucho menos las reservas que se almacenen aparte. Resulta complejo determinar exactamente el número de disparos que se pueden alcanzar debido a la serie de factores que intervienen, principalmente la presión y el volumen del gas.

Los gases de propulsión que generalmente se utilizan para activar estos sistemas son: aire comprimido, nitrógeno y CO_2 . Los elegidos como aceptables para este proyecto son el aire comprimido y nitrógeno, se descarta el uso de CO_2 ya que al estar almacenado a muy altas presiones se encuentra en fase líquida (Goos et al., 2011).

La consecuencia de esto se presenta al momento de disparar ya que, en milésimas de segundo existe una gran diferencia de presión por lo que el CO_2 se expande rápidamente y se produce un cambio de fase abrupto, con cada expansión el CO_2 se enfría por lo que le toma más tiempo convertirse en gas, esto puede llegar a dañar las partes internas del arma no-letal y no se conseguirían disparos estables y precisos.

Por otra parte, esto no ocurre con el aire y el nitrógeno ya que todo el tiempo permanecen en fase gaseosa. Otro motivo de dicha selección se debe a que el CO₂ a nivel industrial se lo puede encontrar a presiones alrededor de los 800 psi, mientras que el aire y nitrógeno se los encuentra en presentaciones alrededor de los 3000 psi (Indura, 2015). Para este proyecto es más conveniente disponer de presiones altas.

El alcance efectivo y la velocidad de los proyectiles de las marcadoras de paintball se encuentran definidos alrededor de los 45 m y 92 m/s respectivamente, esto debido a que en los campos de paintball se ha definido que no se sobrepasará dicho límite de velocidad para no causar daños severos; sin embargo, estos parámetros también han sido acogidos para las armas no-letales de impacto cinético.

Con este alcance y velocidad se generan magnitudes de energía de impacto mucho menores al límite europeo establecido, tal es el caso de la FN 303 utilizada por el Departamento de Policía de Mesa (2018). De modo que para el prototipo de este proyecto se procura alcanzar parámetros semejantes a los señalados.

Al hablar con personal de la Brigada Patria de Latacunga se decidió establecer el sistema de disparo como mecánico, ya que el personal militar que utiliza estas armas no-letales se enfrenta a todo tipo de ambiente y condiciones que el lanzador debe soportar, a pesar de que no ofrezca las mismas prestaciones que los sistemas electrónicos.

Una vez definido los requerimientos a ser cubiertos por la tarea de diseño; a continuación, en la Tabla 11 se establecen las especificaciones sobre las cuales se basará y se desarrollará el trabajo.

Especificaciones de Diseño

Tabla 11

Especificaciones técnicas del prototipo a desarrollar

Datos técnicos	Valores
Peso (solo cuerpo del arma no-lethal)	≈ 2 kg
Calibre	0.68 in
Longitud del barril	14 in
Energía en boca de cañón	< 122 J
Capacidad de tolva	≈ 500 proyectiles
Gas de propulsión	Aire comprimido o nitrógeno
Alcance efectivo medio	45 m (150 pies)
Velocidad	92 m/s (300 pies/s)
Sistema de disparo	Mecánico

Diseño Modular

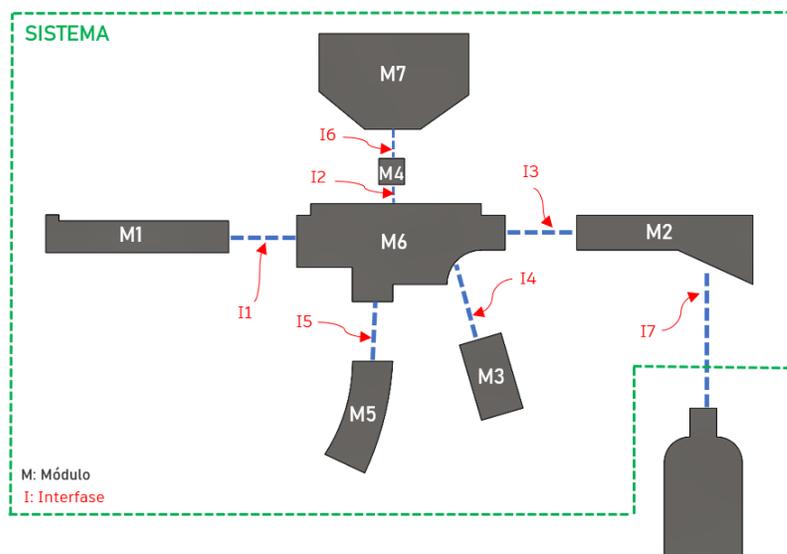
Se va a desarrollar el diseño en base a arquitectura modular debido a sus beneficios, entre los cuales están: poder reemplazar módulos inmediatamente ya sea para repararlos o rediseñarlos sin afectar el resto del sistema, fabricar cada uno de los módulos por separado reduciendo tiempos de manufactura, la flexibilidad de poder intercambiar o aumentar otros módulos para dar capacidades distintas.

Ulrich & Eppinger (2013) sugieren que “la arquitectura más modular que puede haber es aquella en la que cada elemento funcional del producto se activa por exactamente un trozo físico y en el que hay pocas interacciones bien definidas entre los trozos” (p. 185).

En consecuencia, para este prototipo se plantean 7 módulos y 7 interfases por medio de las cuales interactúan, ver Figura 42. Cada uno de estos módulos integran sus propios elementos.

Figura 42

Esquema modular del prototipo



Nota. Se muestra la composición básica del prototipo.

En la Tabla 12 se definen los módulos e interfaces existentes en concordancia con la Figura 42.

Tabla 12

Módulos e interfaces

	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	Alimentador o tolva
Interfaces	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 - Suministro de gas

Selección de Interfases

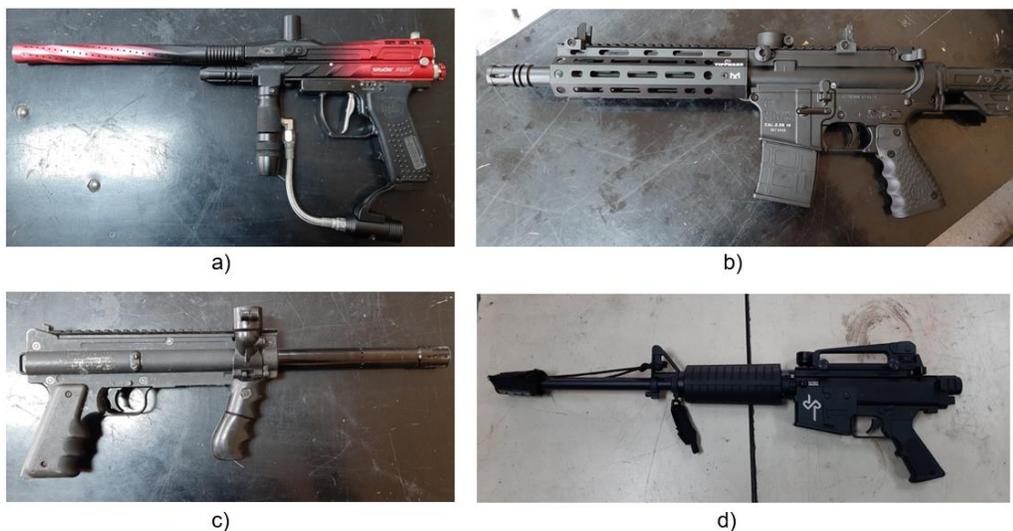
Para la selección del tipo de interacción que existirá en las interfases se utilizó la arquitectura modular de ranura, ya que ésta postula que cada interfase debe ser única para garantizar que los módulos no puedan ser intercambiables entre sí (Ulrich & Eppinger, 2013), por lo tanto solo pueden acoplarse en el lugar correcto.

Diseño de los Módulos de Funcionamiento

Para el desarrollo de esta sección se hará uso de la ingeniería inversa de varias armas no-letales de uso civil y militar mostradas en la Figura 43. Esto permitirá obtener información acerca del funcionamiento, interacción entre componentes, detalles del diseño, procesos de fabricación, entre otros (Ramos, 2013). A partir de la información recopilada se diseñará y construirá un prototipo modificado con base en lo analizado.

Figura 43

Armas no-letales de uso militar y civil



Nota. a) Spyder Pilot ACS, b) Tippmann TMC Marker, c) Tippmann 98 Custom ACT, d) RAP4 T68 M4 Gen 6.

Como se observa en la Figura 44, se procedió con el desmontaje de cada una para proseguir con la revisión minuciosa. Principalmente se estudió el mecanismo de disparo que generaba la eyección de los proyectiles, con lo cual se pudo constatar que el principio de funcionamiento es el mismo que se mencionó en el apartado *mecanismos de accionamiento*. El módulo 6, correspondiente al cuerpo del arma no-letal, será uno de los últimos módulos a desarrollar ya que éste actuará como plataforma para los demás, y resultará más fácil moldearlo en base a las formas ya desarrolladas de las demás partes.

Figura 44

Desmontaje de las marcadoras



Nota. Se indican las marcadoras desarmadas.

Tubo Cañón o Barril (M1). Se tomaron los tubos cañón de las marcadoras comerciales y se registró las medidas en diferentes puntos a lo largo de la cavidad de los barriles. Se utilizó una galga telescópica para medir el diámetro interno, ver Figura 45.a., enseguida se comparó con un micrómetro, ver Figura 45.b.

Figura 45

Toma de medidas de un barril 0.68 in



a)



b)

Nota. a) Medición de diámetro interno con galga telescópica, b) Comparación de medida con micrómetro.

Con lo cual se obtuvo las dimensiones promedio del diámetro mayor del cono y del diámetro interno a lo largo del tubo. El material se eligió considerando que cumpliera algunos requisitos, como son: buena capacidad de mecanizado, peso ligero, resistente a la corrosión y que se encuentre disponible en el mercado ecuatoriano.

Los cañones de las armas de fuego se encuentran sometidos a cargas debido a la presión y al cambio de temperatura, producto de la ignición de la pólvora (Yang et al., 2020); sin embargo, en este caso la única carga significativa soportada es la producida por la presión del gas. Considerando el peor escenario en el que un proyectil se atasca en el tubo cañón, la presión alcanzaría su valor máximo. Tomando en cuenta este escenario se determina el espesor, ver el cálculo detallado en el Apéndice A-1.

Se identificaron 2 tipos de roscas en los tubos cañón de las marcadoras estudiadas. Utilizando una galga de roscas y un vernier digital con una resolución de 0.01mm se determinaron ambas. Se eligió una de ellas en base a la capacidad de fabricación del Laboratorio de Manufactura.

Una vez definida la geometría base que debe poseer el tubo cañón se procedió al modelado del mismo obteniendo el prototipo que se observa en la Figura 46.

Figura 46

Modelo 3D del tubo cañón



Nota. Modelo del tubo cañón desarrollado en software CAD

Culata (M2). En las armas de fuego uno de los objetivos principales de poseer culata es disminuir el efecto de la fuerza de retroceso que se produce con cada disparo, sin embargo, en este caso no es necesario disponer de una, pero se la va a considerar ya que puede ofrecer una mejor estabilidad y por ende una mejor precisión de tiro al encontrarse apoyada en el hombro.

La longitud de la culata se la mide desde la cara frontal del gatillo hasta el talón de la culata, generalmente esta medida suele ser de 14 in (Justified Defensive Concepts, 2020). Sin embargo, dicha medida no es la adecuada para todos ya que cada persona posee diferentes longitudes de brazo, por lo que existen cantoneras con las cuales se modifica la longitud y también se han desarrollado culatas plegables. En este prototipo se desarrollará el modelo de una culata de longitud fija de 14 in.

El material a elegir de la culata debe ser ligero, puesto que su objetivo principal es aportar estabilidad y precisión. Existen varios tipos de plásticos para el mecanizado

en CNC, entre los cuales se consideran: nylon 6/6, acrílico, ABS, delrin, HDPE, policarbonato. Para una adecuada selección se planteó una matriz de decisión considerando una serie de parámetros.

A continuación, en la

Figura 47 en la que se muestra el modelo desarrollado. Se puede apreciar una serie de cavidades que fueron hechas con el fin de disminuir el peso.

Figura 47

Modelo 3D de la culata

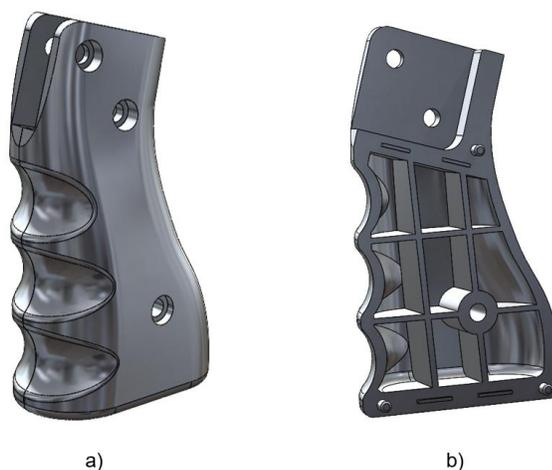


Nota. Modelo de la culata desarrollado en software CAD.

Mango (M3). Esta parte es desde donde el operario controla el posicionamiento del arma no-lethal, por lo que debe ser un componente anclado fijamente al cuerpo del arma. Como anteriormente se definió que el acople sería empernado se realizó el modelo con 3 agujeros distribuidos como lo muestra la Figura 48.a.

Figura 48

Mango del arma no-lethal

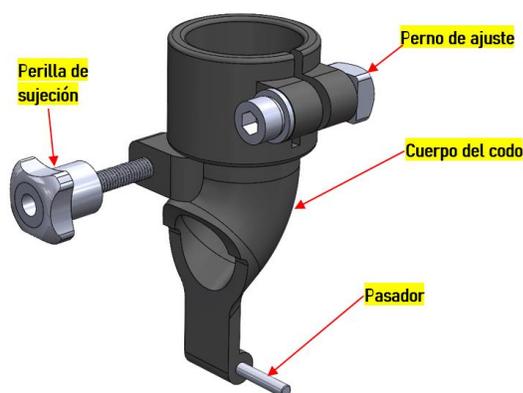


Nota. a) Mango completo, b) Mitad derecha del mango.

Codo de alimentación (M4). En la Figura 49, se puede observar las partes que componen al módulo 4. Por medio del pasador podrá unirse al cuerpo del arma con lo que se limitará a tener un movimiento basculante, después con la perilla de sujeción de lo puede fijar. Con el perno de ajuste se podrá regular el apriete para la conexión con la tolva de alimentación.

Figura 49

Componentes del módulo 4

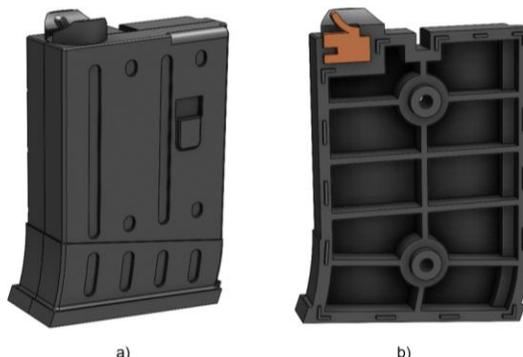


Nota. Se muestra el ensamblaje del módulo 4.

Cargador (M5). El diseño del cargador, al igual que el del mango, se lo realiza en 2 partes por los mismos beneficios antes mencionados, ver Figura 50.a. En este caso los objetivos de colocar un cargador falso son: dar la apariencia de un arma real, y dejar la cavidad marcada en el cuerpo del arma para cuando se necesite intercambiar por un cargador funcional con proyectiles. En la Figura 50.b. se puede ver que se ha colocado un espacio para una pieza de caucho (anaranjada), la cual se encarga de enganchar a un solo proyectil y evitar que entren más a la recámara.

Figura 50

Cargador falso



Nota. a) Cargador falso completo, masa 0.09 kg, b) Mitad derecha del cargador falso.

Posteriormente se desarrolló el mecanismo con la función de sujetar al cargador una vez que haya ingresado. Básicamente consta de un pestillo, resorte y pulsador.

Cuerpo del arma no-letal (M6). Para el desarrollo de este módulo se implementó el accionamiento por propulsión explicado en la sección *Mecanismos de Accionamiento*. En este apartado se siguió un proceso de transformación, de manera que los módulos pudieran ser acoplados. El resultado alcanzado después de una serie de modificaciones se lo puede ver en la Figura 51.

Figura 51

Optimización del cuerpo del arma no-letal



Después, se realizó una serie de análisis dinámicos para validar la funcionalidad de todos los mecanismos internos móviles. Éstos se los puede ver a detalle en el Apéndice A.

Alimentador o Tolva (M7). En la sección *Sistemas de Alimentación* se revisaron una serie de tipos de accionamiento, a partir de los cuales se plantearon 2 modelos de tolva, los cuales se puede ver en la Figura 52 y Figura 53. Estos modelos fueron descartados después de haberse presentado una serie de problemas en sus funcionamientos.

Figura 52

Modelo 1 de tolva

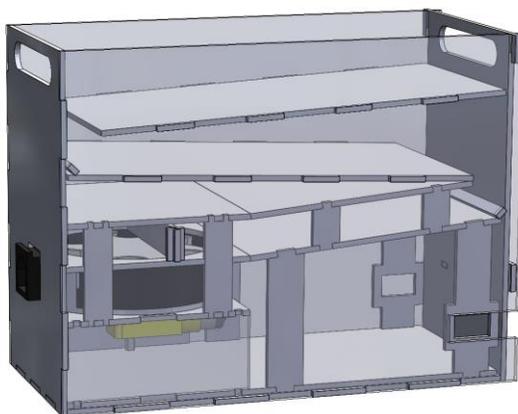


Nota. Tolva de alimentación accionada por gravedad.

Figura 53*Modelo 2 de tolva*

Nota. Tolva de alimentación accionada por gravedad.

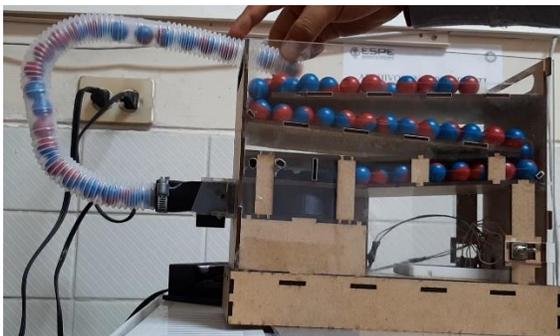
Dichos problemas fueron de gran utilidad para el desarrollo de una nueva tolva. Superando cada una de las dificultades presentes en los anteriores modelos se llegó al tercer prototipo que se muestra en la Figura 54. Se realizó pruebas de funcionamiento, ver Figura 55, y se logró cumplir el objetivo de que la tolva proporcionara proyectiles de forma continua hasta llegar a la recámara del arma no-letal.

Figura 54*Modelo 3 de tolva por acción electrónica*

Nota. Tolva de alimentación por acción electrónica.

Figura 55

Prueba en el prototipo 3 modificado



Validación Computacional

En la sección anterior se realizó una serie de cálculos analíticos de los componentes más relevantes del arma no-lethal, esto con el fin de averiguar el comportamiento que tomarán durante su funcionamiento. También se determinó los esfuerzos generados a causa de las cargas a las que se encontrarán sometidos, y por consiguiente su factor de seguridad.

Sin embargo, para haber hecho posible dichos cálculos se establecieron idealizaciones y suposiciones geométricas, pero en realidad las piezas poseen formas variadas y complejas. Al poseer un diseño con geometría compleja, el cálculo se complica ya que se vuelve extenso. Inclusive en varias ocasiones no es posible alcanzar un resultado de forma analítica. Por esta razón no se puede determinar los resultados en todos los puntos de interés.

Cuando esto ocurre se suelen fabricar prototipos experimentales para ensayarlos y poder determinar los resultados. Otra opción con la cual se puede predecir los resultados a un menor costo es usando simulaciones computacionales, algunas de éstas son: CFD, FEA, DEM. Además, se puede usar análisis de movimiento para estudiar la dinámica de los cuerpos móviles. En esta sección se corroborará los cálculos ya hechos, con simulación computacional y también se harán análisis adicionales.

Análisis del Tubo Cañón o Barril

Se utiliza un software computacional para realizar el análisis de resistencia mecánica del tubo cañón haciendo uso del Método de los Elementos Finitos (FEM). Con esta herramienta se determinaron los esfuerzos tangenciales, radiales, longitudinales, de Von Mises y la distribución del factor de seguridad en todo el modelo.

Posteriormente se hizo una comparación de cada resultado con el cálculo analítico de los mismos y se pudo validar el modelo computacional, con el cual se determinó la zona más crítica del barril, así como el factor de seguridad mínimo. La simulación a detalle se la puede observar en el Apéndice A-2.

Análisis de Liberación del Martillo Percutor

En este apartado se realiza el análisis de movimiento de los componentes que intervienen en la liberación del martillo percutor. Para el análisis se requirió definir la masa de los componentes involucrados, así como las características del resorte.

Una vez completo los datos, se definió las condiciones de frontera y restricciones, dentro de las cuales se establece los tipos de sujeciones, los tipos de contacto, las cargas a considerar, los parámetros de los resortes.

Con este análisis se pudo constatar que efectivamente el martillo percutor llega a la válvula con la suficiente velocidad para liberar el gas a alta presión. El detalle de este análisis se puede observar en el Apéndice A-4.

Análisis del Retroceso del Martillo Percutor

En la sección *Diseño Modular* también se realizó el análisis dinámico del retroceso del martillo, producto del impulso generado por el gas. En este apartado se plantea el modelo computacional para comprobar el cálculo realizado y enseguida se ensayará el enganche del martillo por parte del fiador.

De forma similar al análisis anterior se establecen las propiedades necesarias, condiciones de frontera y restricciones. El detalle de esta validación se lo puede ver en el Apéndice A-6.

Si se comparan las gráficas obtenidas analíticamente con las gráficas obtenidas mediante simulación computacional, se concluye que el análisis es correcto ya que coinciden prácticamente en cada punto calculado. Con esto se puede determinar que el martillo llega hasta la culata con la velocidad suficiente para poder ser enganchado nuevamente.

Análisis del Mecanismo de Acople del Cargador

Para comprobar y validar el funcionamiento correcto del mecanismo de acople entre el cargador y el cuerpo del arma no-letal se realiza un análisis de movimiento. Para este análisis se considera el cuerpo del arma, el cargador y el mecanismo de acople.

El detalle de las configuraciones y las consideraciones hechas del análisis se lo puede ver en el Apéndice A-7. Con esto se pudo comprobar que el mecanismo de sujeción del cargador funciona adecuadamente ya que al final de su recorrido se posiciona en la ubicación deseada.

Análisis del Mecanismo de Carga

En la acción de rastrillar el arma no-letal intervienen varios componentes. Dicha acción consiste en jalar la manija de carga para que el martillo percutor quede enganchado y el arma se encuentre lista para disparar.

En este proceso ocurre una secuencia de movimientos interrelacionados. Para comprobar que efectivamente esta secuencia se cumple según lo planificado se efectúa un análisis de movimiento, en el cual se define condiciones de frontera para poder simular el movimiento de los componentes lo más próximo a la realidad.

Las configuraciones a detalle de este análisis y sus resultados se pueden observar en el Apéndice A-8.

Análisis del Mecanismo de Bloqueo

Como medida de seguridad para que el arma no-letal no sea accionada por accidente, se diseñó un mecanismo de seguridad para bloquear el gatillo. Éste es un pasador de seguridad estratégicamente ubicado.

Para validar y comprobar el funcionamiento de este mecanismo propuesto, se realiza un análisis de movimiento con lo cual se simula como actuaría en un escenario real y a partir de ellos se puede hacer modificaciones y mejoras.

Se va a simular la condición "listo para disparar", para esto se aplicará una fuerza sobre el gatillo y se verá el funcionamiento en dicha condición. Después, se aplica una fuerza para deslizar el pasador de seguridad simulando que alguien lo presiona, y nuevamente se aplica la fuerza sobre el gatillo para ver qué resultado presenta en la condición "posición de seguridad".

El análisis se da como satisfactorio si el fiador no es movido por el gatillo cuando el pasador de seguridad este configurado en "posición de seguridad". Adicionalmente se consideran otras condiciones de frontera y restricciones para la realización del análisis. El detalle de este estudio se puede observar en el Apéndice A-9.

Diseño del Mecanismo Acoplador

En este trabajo se va a desarrollar el diseño de un mecanismo de acople tipo brazo oscilante. Éste está previsto para que pueda acoplarse a vehículos militares como lo es el multipropósito 4x4 1152. Sin embargo, no significa que este mecanismo va a poder ser instalado únicamente en dicho vehículo, sino que podrá ser colocado en todo aquel que disponga del espacio suficiente con una superficie plana.

Estructura del Sistema de Alimentación

En primera instancia se desarrolla una armadura capaz de acoplarse al arma no-lethal, Este armazón es el que se montará sobre el sistema de brazo oscilante, y también sujetará el sistema de alimentación. Adicionalmente, se coloca un tope para el apoyo del arma cuando no se la esté manipulando.

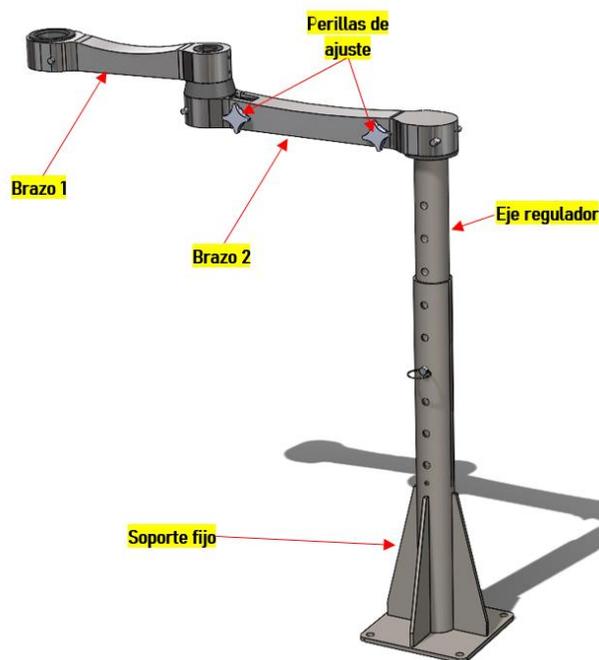
Las cargas que soportará esta estructura son: el peso propio, el peso del arma no-lethal, el peso de la tolva y proyectiles.

Sistema de Brazo Oscilante

El Sistema de Brazo Oscilante está previsto para colocarse en la parte posterior de los vehículos tácticos con espacio amplio. Tomando en cuenta esto, se propone el modelo que se indica en la Figura 56.

Figura 56

Sistema de Brazo Oscilante Propuesto



Los materiales considerados para cada parte de este sistema se los puede encontrar en los planos del mecanismo de acople (Apéndice D).

Las cargas a soportar por el sistema de brazo oscilante son los pesos de: el arma no-letal, la estructura de la tolva, la tolva, proyectiles y el mismo sistema de brazo oscilante.

Validación del Mecanismo Acoplador

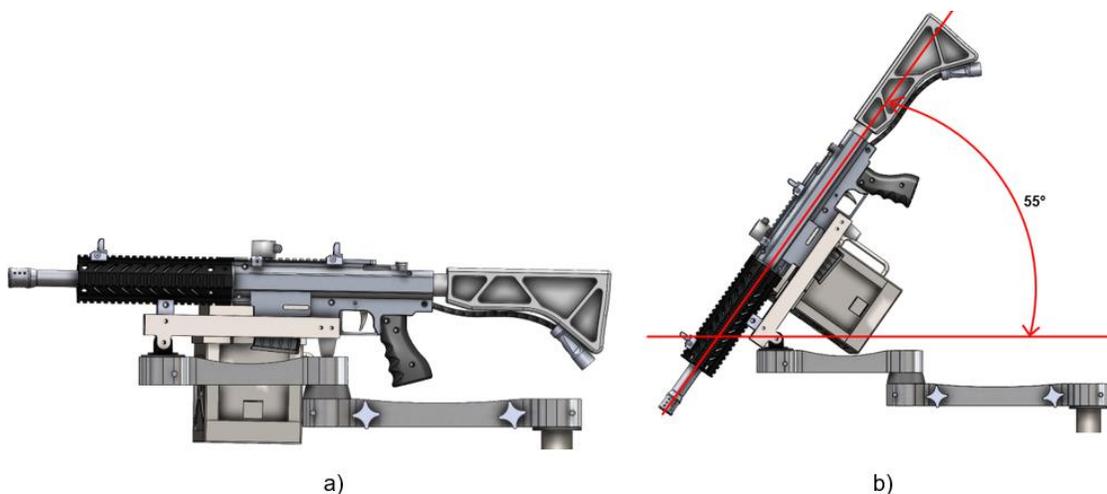
Análisis de la Estructura del Sistema de Alimentación

Para comprobar que la estructura propuesta funciona de forma correcta, se la analiza utilizando el Método de los Elementos Finitos en un software computacional. Se toma el modelo propuesto y se lo adapta para poder simularla, es decir, se modifican ciertas partes en las cuales pueden presentarse concentradores de esfuerzos.

Se analiza dos escenarios a los cuales va a estar sometida la estructura. En la Figura 57.a. se observa el primero que indica la estructura en posición de reposo, es en la que permanecerá la mayor parte del tiempo mientras no se use el arma no-letal; la Figura 57.b. muestra el segundo escenario en el que la posición del arma y de la estructura, alcanza una posición máxima de uso.

Figura 57

Escenarios posibles de la estructura del sistema de alimentación



Los resultados obtenidos en el segundo escenario resultaron ser más críticos que los del primero, sin embargo, después de haber hecho los análisis de convergencia

respectivos, en ambos casos la respuesta de la estructura es segura ya que no va a ceder antes las cargas que debe resistir. Los análisis de simulación de ambos escenarios se los puede observar a detalle en el Apéndice A-10.

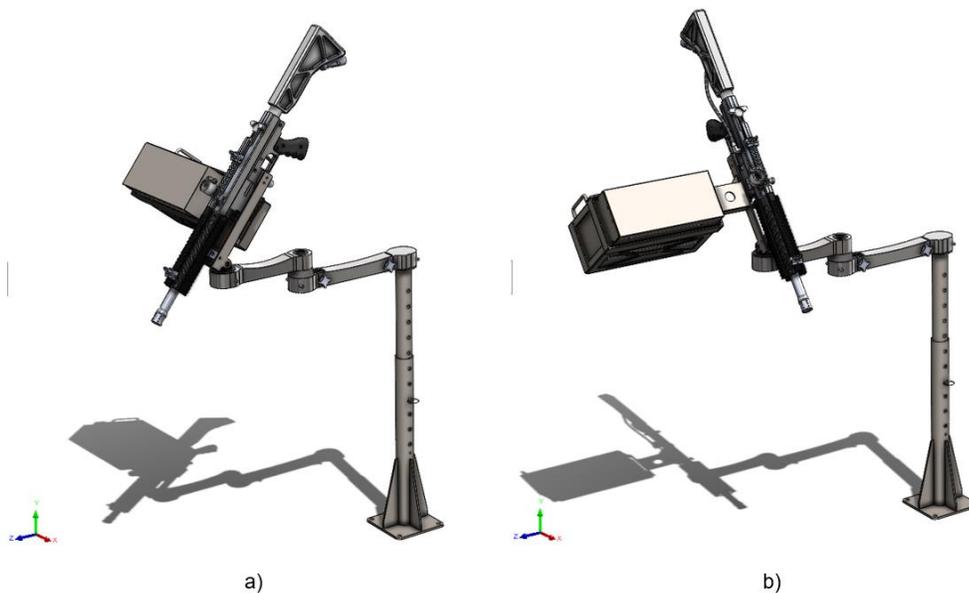
Análisis del Sistema de Brazo Oscilante

En esta sección se procede a optimizar el modelo propuesto del sistema de brazo oscilante, con el uso de simulación computacional mediante el Método de los Elementos Finitos. Se evaluará la funcionalidad del diseño mediante el criterio de resistencia mecánica, determinando el factor de seguridad en la zona más crítica; adicionalmente se plantea un límite de deflexión permisible.

Para los análisis se va a considerar dos escenarios críticos en los que podría posicionarse el sistema, éstos se indican en la Figura 58. En ambos casos los brazos se encuentran extendidos en la misma dirección, la diferencia es la posición de la carga, ésta puede ubicarse tanto en la misma dirección que los brazos, ver Figura 58.b., como de forma perpendicular a los mismos, ver Figura 58.a.

Figura 58

Posiciones del sistema de brazo oscilante a analizar

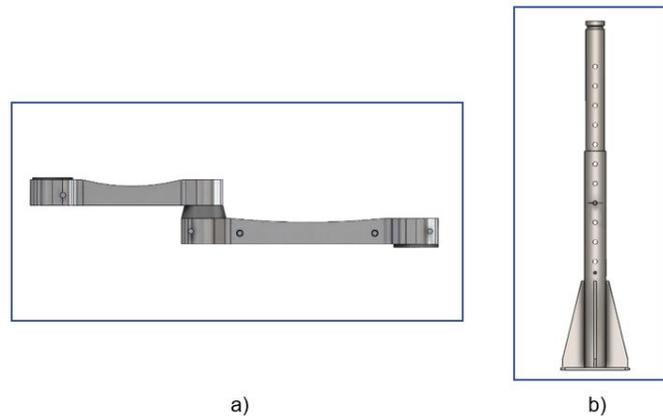


Ya que las cargas debido a los pesos de la tolva, su estructura y proyectiles, son excéntricas al punto de apoyo sobre el sistema de brazo oscilante, se procede a determinar el centro de masa correspondiente para poder definir una fuerza remota en los modelos a simular.

Para abordar el estudio se separó el sistema en 2 subconjuntos, en el primero se considera ambos brazos y su eje en común, ver Figura 59.a.; y el segundo consta del soporte fijo, el eje regulador de altura y el pasador, ver Figura 59.b.

Figura 59

Subconjuntos a analizar



Para el análisis de cada subconjunto se define las propiedades de los materiales, los tipos de contactos, el tipo de malla, las condiciones de frontera y restricciones. Con esto se pudo realizar los respectivos análisis de convergencia y evaluar la funcionalidad del sistema completo, y después de una serie de modificaciones e iteraciones se pudo alcanzar los factores de seguridad planteados, así como las deflexiones máximas permisibles. El estudio a detalle se lo puede ver en el Apéndice A-11.

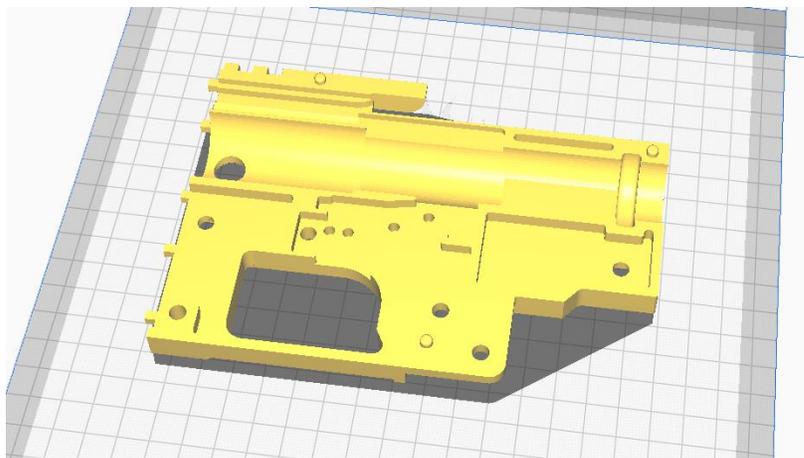
Capítulo IV. Prototipado y Pruebas

Fabricación

Se inició con la fabricación del cuerpo del prototipo funcional del arma no-letal utilizando 2 impresoras 3D, TEVO Tarántula y Creality Ender 3, junto al software Ultimaker Cura 4.10.0. El cuerpo es un ensamble de 2 mitades, sin embargo, la longitud de las mismas supera el área de trabajo de las impresoras por lo que fue necesario dividir las, resultando un total de 4 partes para formar el cuerpo. A continuación, se exportó cada una de las partes modeladas al software de impresión 3D, ver Figura 60.

Figura 60

Modelo importado del recibidor derecho (parte posterior)

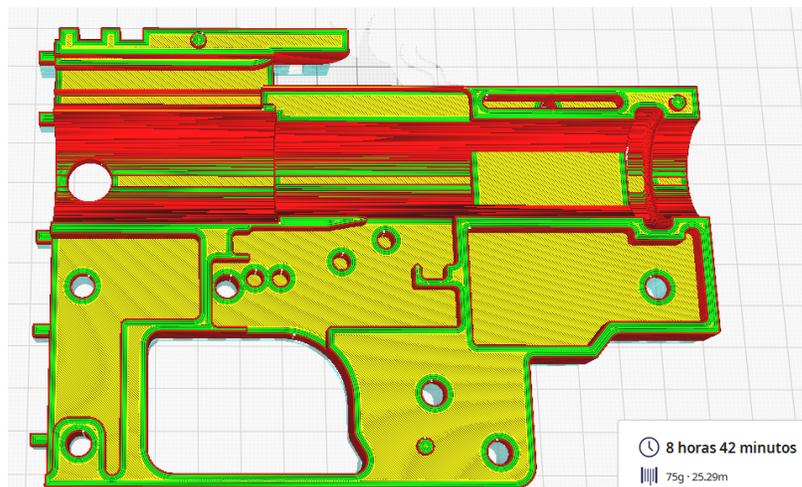


Después se configuraron los parámetros de impresión considerando que se debía obtener un modelo con buen acabado superficial, especialmente en las cavidades internas para facilitar la movilidad de los componentes internos.

Al simular el proceso de impresión del recibidor derecho (parte posterior), ver Figura 61, se obtuvo un tiempo estimado de 8h 42min en el que el prototipado de esta pieza estaría listo, ver Figura 62.

Figura 61

Tiempo estimado de impresión de parte del receptor

**Figura 62**

Modelo impreso del receptor derecho (parte posterior)



Utilizando la misma metodología y configuraciones se procedió a imprimir los demás componentes, mismos que de indican en la Figura 63 y Figura 64.

Figura 63

Partes impresas del arma no-letal P1

**Figura 64**

Partes impresas del arma no-letal P2



Posteriormente se desarrollaron los planos de los resortes necesarios, ver Apéndice B, los cuales se utilizaron para la fabricación de los mismos, ver Figura 65. Adicionalmente se compraron elementos de sujeción para el ensamblaje del arma no-letal, especificados en el apéndice antes mencionado.

Figura 65

Resortes, pasadores y elementos de sujeción



Enseguida se compró una manguera trenzada de acero inoxidable de 30 cm de longitud.

Figura 66

Manguera trenzada con sus acoples

**Ensamblaje**

Una vez finalizada la impresión de todas las partes, se inició con un ensamble previo del cuerpo del arma no-letal sin los componentes internos para verificar que no hubiera interferencias en la geometría, ver Figura 67.

Figura 67

Ensamblaje parcial del cuerpo del arma no-letal



Por la precisión de las diferentes impresoras algunas partes no se posicionaban fácilmente, por lo que fue necesario lijarlas y maquinirlas parcialmente, ver Figura 68.

Figura 68

Lijado de partes para ajustar la geometría



A continuación, se terminó el ensamblaje del arma no-letal utilizando un tubo cañón y un cargador falso de una marcadora comercial, ver Figura 69, a fin de poder realizar las pruebas de funcionamiento.

Figura 69

Ensamblaje completo del arma no-letal

**Pruebas de Funcionamiento**

En primera instancia se comprobó que el mecanismo del cargador cumpliera su función de enganchar el cargador cada vez que éste entrara en su cavidad. Esto se lo hizo demostrando que al sujetar el arma no-letal mediante el cargador colocado, éste último no se desprendería de su sitio, ver Figura 70. Únicamente puede ser liberado cuando el pulsador del pestillo es presionado.

Figura 70

Comprobación del mecanismo del cargador



Posteriormente se probó el funcionamiento del mecanismo de carga y de disparo. Para el primero únicamente se rastrelló el arma no-letal mediante su manija de carga, ver Figura 71, con esto se logra escuchar como el martillo percutor es enganchado por el fiador. Para el segundo se presiona el gatillo, en consecuencia, el martillo percutor es liberado y causa un ligero sonido de impacto interno.

Figura 71

Comprobación del mecanismo de carga y disparo



Una vez revisado que los mecanismos funcionan tal como se estipuló en el diseño se procedió a ensayar unos disparos usando proyectiles de pintura, pero sin utilizar aire comprimido, es decir que únicamente saldrían eyectados por la fuerza

ejercida por el resorte de velocidad. En la Figura 72, se puede ver como el proyectil sale disparado de la recamara a una distancia corta, lo que indica que el sistema de disparo se encuentra funcionando adecuadamente.

Figura 72

Pruebas de disparo sin aire comprimido



A continuación, se realizó ensayos de disparo con aire comprimido, ver Figura 73 y Figura 74. Al inicio existieron problemas debido a la presencia de fugas al conectar el aire al sistema, para corregir esto se utilizó teflón, así como fijador de roscas; adicionalmente se corrigió un problema de prensado con la manguera.

Figura 73

Pruebas de disparo con aire comprimido



Figura 74

Proyectiles que impactaron en el blanco



Con estas pruebas realizadas se pudo determinar una velocidad promedio de los proyectiles disparados. Con la magnitud de la velocidad de los proyectiles se puede estimar la energía de impacto cinético de los mismos, la cual está por muy debajo del límite impuesto por el Parlamento Europeo, por lo que la probabilidad de causar daños severos es mínima.

Capítulo V. Análisis Económico y Financiero

Estudio Económico

Costos Directos

En este apartado se mencionan todos los gastos involucrados directamente en la realización del proyecto tesis.

Tabla 13

Costos directos

Ítem	Descripción	C. Total
1	Costos directos de materiales para el desarrollo del prototipo funcional del arma no-letal	\$394,47
2	Costos directos de servicios para el desarrollo del prototipo funcional del arma no-letal	\$276,64
3	Costos directos de materiales para el desarrollo del prototipo funcional del sistema de alimentación	\$152,05
4	Costos directos de servicios para el desarrollo del prototipo funcional del sistema de alimentación.	\$22,92
5	Costos directos de remuneraciones	\$2840,00
Subtotal 1		\$3686,08

Costos Indirectos

En este apartado se mencionan los costos no relacionados con materiales, ni con mano de obra directa en el proyecto.

Tabla 14

Costos indirectos

Ítem	Descripción	C. Total
1	Movilización	\$100,00
2	Material de oficina	\$20,00
3	Energía eléctrica	\$80,00
4	Internet	\$100,00

Ítem	Descripción	C. Total
5	Otros	\$20,00
Subtotal 2		\$320,00

Costo Total

En el costo total del proyecto de tesis se suma el total de costos directos y el total de costos indirectos.

Tabla 15

Costo total

Ítem	Costos directos	C. Total
1	Subtotal 1	\$3686,08
Ítem	Costos indirectos	C. Total
2	Subtotal 2	\$320,00
Total		\$4006,08

Capítulo VI. Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Dentro del estudio de las armas no letales se identificó claramente que la industria militar tiene una tendencia al desarrollo de armas de energía cinética para munición con agentes RCAs, esto muy probablemente es debido a la precisión, efectividad y menor efecto invasivo al ambiente circundante de estos dispositivos. Así mismo se puede identificar que es un mercado que aún no se encuentra en crecimiento y tiene un potencial de crecimiento.
- En lo referente al sistema de accionamiento de disparo si bien se identificó que el sistema electrónico permite una cadencia de tiro mayor que el del sistema mecánico, también se observó que existe una probabilidad considerable de que presente desperfectos en el uso y al analizar los dispositivos de uso militar se nota una clara tendencia a los sistemas mecánicos debido a su mayor fiabilidad.
- El acceso a las armas no-letales de energía cinética, tanto de uso militar como civil, fue una base primordial para el desarrollo de la ingeniería inversa y el análisis del funcionamiento de los mecanismos de los dispositivos, siendo que a partir de ello se desarrolló la propuesta del nuevo modelo de arma no-letal presentado en este trabajo.
- La realización de la ingeniería inversa de los dispositivos mencionados permitió determinar las interacciones existentes entre componentes, al igual que las formas, dimensiones y materiales que los conformaban. En base a esto, se pudo diseñar el modelo digital del prototipo funcional del arma sin afectar su funcionalidad y en función de los elementos mecánicos de fabricación nacional o de fácil adquisición en el comercio local.

- Se realizó la investigación de varios tipos de mecanismos capaces de anclar armas a vehículos tácticos militares. Siendo el sistema de brazo oscilante la mejor opción para articular el arma no-letal dentro de los vehículos con los que cuenta las Fuerzas Armadas del Ecuador.
- Del mismo modo la evaluación de los modelos funcionales del sistema de alimentación permitió operacionalizar dicho sistema, evitando que se presenten problemas de funcionamiento que no pudieron ser detectados en las simulaciones digitales del software CAD.
- La mayor parte del prototipo funcional del arma no-letal se la fabricó haciendo uso de la tecnología de impresión 3D FDM. Gracias al prototipado de este modelo se pudo comprobar que efectivamente los mecanismos internos funcionaban como lo indicaron las simulaciones digitales. Las pruebas de tiro realizadas con el prototipo impreso entregaron resultados de una velocidad promedio de disparo de 77 m/s y una energía cinética de impacto de 8.9 J, lo que se ajusta a los estándares de funcionamiento.

Recomendaciones

- Se recomienda leer el manual del usuario del prototipo de arma no-letal y familiarizarse con los componentes antes de utilizarlo. Esto debido a que, si se llega a conectar la fuente de aire comprimido con un prototipo mal ensamblado o parcialmente ensamblado, puede causar que los componentes salgan disparados a causa de la alta presión del gas, y en consecuencia ocasionar daños severos.
- Para la mejora del sistema de alimentación se podría implementar un sensor de sonido, de tal forma que el rodete gire únicamente cada vez que el sensor detecte el sonido de cada disparo, con esto se evitaría el aplastamiento de proyectiles, la sobrecarga del motor y se extendería la duración de la batería.
- Al momento de la fabricación de los componentes se deben respetar las dimensiones y tolerancias geométricas de cada uno. Al manufacturar piezas de distintos tamaños se corre los siguientes riesgos: que no encajen en sus respectivas cavidades, que generen mayor desgaste a otros componentes, que produzcan un mal funcionamiento del prototipo o simplemente no funcione.
- No se recomienda utilizar municiones con RCAs en el prototipo para realizar pruebas de funcionamiento, ya que al ser un modelo impreso no se alcanza la precisión de las tolerancias señaladas en los planos, y esto puede causar que los proyectiles se rompan antes de salir eyectados. Por lo que se sugiere emplear proyectiles de pintura para los ensayos.

Trabajos Futuros

Como se presentó al inicio de este trabajo de tesis este estudio forma parte de un proyecto de investigación que abarca varias actividades, por lo que existen algunas propuestas de trabajo que aún podrían ser desarrolladas con base en el presente trabajo, los cuales se presentan a continuación:

1. Fabricación de un prototipo experimental de un arma no letal de energía cinética para el uso de munición RCAs.
2. Diseño y fabricación de un prototipo experimental de una pistola no-letal de energía cinética para munición con agentes RCAs.
3. Diseño y elaboración de un equipo para la fabricación de la munición con agentes RCAs calibre 0.68.

Referencias

- Agencias de El Comercio. (2019, October 25). *Octubre del 2019, mes de las protestas sociales en el mundo | El Comercio*.
<https://www.elcomercio.com/actualidad/octubre-protestas-sociales-mundo-manifestaciones.html>
- Álvarez Real, F. H., & Andrango Catota, J. S. (2015). *Clasificación y empleo de los vehículos tácticos en el ejército* [Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE].
<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/13912>
- Amazon. (2021). *Tippmann - Rifle de paintball serie Custom Platinum 98*.
<https://www.amazon.com/Tippmann-Custom-Platinum-Paintball-Gun/dp/B07BZZNJ99>
- Baenziger, C. (2013). *Chris Baenziger ArtIS 408 Project 2 Final (Student Work)*.
<https://www.youtube.com/watch?v=fj19k-7hYCA>
- Barry, B., Erik, P., & Jeffrey, J. (2008). Swing Arm Mounting System (Patent No. US 20080092732A1). In *Privateaccess Point Containinga Sm Card (US 20080092732A1)*.
<https://patentimages.storage.googleapis.com/cc/f9/f4/55f4328e281fbb/US20080092732A1.pdf>
- Bastarrica, D. (2019). *Balas de goma: Informe científico ya advertía hace dos años sobre la letalidad en su uso*. <https://www.fayerwayer.com/2019/11/balas-goma-ciencia-letalidad/>
- BBC. (2017). *¿Qué le hacen a nuestro cuerpo los gases lacrimógenos?*
<https://www.bbc.com/mundo/noticias-39747824>
- BBC Mundo. (2013). *Taser, el arma "no letal" que a veces mata - BBC News Mundo*.
https://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/08/130809_eeuu_tasers_armas_letales_ng

- Boyd, I. (2021). *Directed Energy Weapons Shoot Painful but Non-Lethal Beams – Is Similar Technology Behind the Havana Syndrome?*
<https://scitechdaily.com/directed-energy-weapons-shoot-painful-but-non-lethal-beams-is-similar-technology-behind-the-havana-syndrome/>
- Bravo, D. (2019, October 4). *Los vecinos del Centro Histórico lamentan los daños a los bienes patrimoniales | El Comercio*. <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito-destruccion-centro-historico-paro.html>
- Buccello y Asociados. (2019). *DEFENSE TECHNOLOGY*.
<https://bucelloyasociados.com.ar/productos-menos-letales/defense-technology-2/>
- Carroll III, A., Chaloupka, D., Jones, P., & Hoffman, K. (2008). *Weapon Mount* (Patent No. US 20080047420A1).
<https://patentimages.storage.googleapis.com/08/a8/d9/888a3ce5b83764/US20080047420A1.pdf>
- Cedeño, H. D. (2019). *PROPUESTA DE ADQUISICIÓN DE UNA CAPACIDAD BLINDADA PARA LA FUERZA TERRESTRE* [Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/16067/1/T-ESPE-038590.pdf>
- Corney, N., & Crowley, M. (2019). *A review of less lethal weapons manufacture , trade and (mis) use - human rights and trade control implications*.
- Davison, N. (2009). *“Non-Lethal” Weapons*. Palgrave Macmillan.
- Defence IQ. (2019). *Armoured Vehicle Markets Report 2019*. <http://rfventures.co/wp-content/uploads/2019/02/Armored-vehicles-market-2019.pdf>
- Denny, M. (2011). The Internal Ballistics of an Air Gun. *The Physics Teacher*, 49(2), 81–83. <https://doi.org/10.1119/1.3543577>
- dye. (2015). *R-2 Loader Owner’s Manual*.
- EIDiario. (2019, October 20). *Escopetas de balas de goma: las armas “no letales” que pueden matar*. <https://www.eldiario.es/sociedad/escopetas-balas-armas-letales->

pueden_1_1300462.html

Elias, J. (2013). *Desarrollo y Defensa: Escopeta Fabarm SDASS Tactical: Un arma de defensa y para la seguridad personal.*

<https://desarrolloydefensa.blogspot.com/2013/02/escopeta-fabarm-sdass-tactical-un-arma.html>

Emboscada paintball. (2021). *Dye Dam Box Rotor Black.*

<https://www.paintballemboscada.com/es/product/dye-dam-box-rotor-black>

FN HERSTAL. (2015). *FN 303® Less Lethal System.*

FN HERSTAL. (2021a). *Grupo Herstal | FN HERSTAL.* <https://www.fnherstal.com/about-us/herstal-group>

FN HERSTAL. (2021b). *Lanzador menos letal FN 303® | FN HERSTAL.*

<https://www.fnherstal.com/en/product/fn-303>

Francisco Fernández, M. (2011). *MRAP / MRAP LIGEROS. Visión general y su futuro en las FAS españolas.* 47. <http://www.infodefensa.com/wp-content/uploads/FuturoMRAP.pdf>

Full Paintball. (2008). *LOADER O HOPPER - Full Paintball.*

<https://sites.google.com/site/fullzonapaintball/equipo-de-juego/loader-o-hopper>

González Prida Díaz, V. (2017). Sobre la modernización de los vehículos blindados y su relación con el coste de ciclo de vida. *Revista de Pensamiento Estratégico y Seguridad CISDE*, 2(2), 45–59.

<http://www.uajournals.com/cisdejournal/journal/4/4.pdf>

Goos, E., Riedel, U., Zhao, L., & Blum, L. (2011). Phase diagrams of CO₂ and CO₂-N₂ gas mixtures and their application in compression processes. *Energy Procedia*, 4, 3778–3785. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.02.312>

GoPaintball. (2021). *Pods - Pods en Swabs - Vesten en Gordels - GoPaintball Shop | Get Your Gear!* <https://www.gopaintball.nl/diversen/pods-en-swabs/pods.html>

- Haar, R. J., Iacopino, V., Ranadive, N., Dandu, M., & Weiser, S. D. (2017). Death, injury and disability from kinetic impact projectiles in crowd-control settings: A systematic review. *BMJ Open*, 7(12), 1–9. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-018154>
- How a Tippmann A5 Works.* (2010). <https://www.youtube.com/watch?v=hyUZrnvt2Zw>
- Indura. (2015). *Manual de gases/ Soluciones tecnológicas con gases y soldaduras para un mundo de procesos.*
<http://www.indura.net/content/storage/ec/biblioteca/115c34ca0e684d41b098c9fbbc861cac.pdf>
- Infobae. (2019). *Decenas de heridos y casi 300 manifestantes detenidos tras la jornada de disturbios en Ecuador - Infobae.*
<https://www.infobae.com/america/2019/10/04/cerca-de-200-manifestantes-fueron-detenidos-durante-la-jornada-de-disturbios-en-ecuador/>
- Jácome, J. (2019). *Fotos: Las protestas en Ecuador, en imágenes | Internacional | EL PAÍS.*
https://elpais.com/elpais/2019/10/03/album/1570128817_263270.html#foto_gal_1
- Justified Defensive Concepts. (2020). *Setup of the Defensive Shotgun Part 1: The Stock.* <https://www.justifieddefensiveconcepts.com/blog/2020/3/6/setup-of-the-defensive-shotgun>
- Kurniawan, W. (2019). *La policía indonesia emplea cañones de agua en manifestaciones contra nuevas leyes.* <https://www.reuters.com/article/instant-article/idESKBN1W91PL>
- LA GACETA. (2014). *Las “bolitas” de paintball generan menos riesgos que las balas de goma, según un experto.*
<https://www.lagacetasalta.com.ar/nota/490/policiales/bolitas-paintball-generan-menos-riesgos-balas-goma-segun-experto.html>
- La Información. (2009). *“Las armas sónicas son el nuevo juguete de la policía”.*

https://www.lainformacion.com/tecnologia/las-armas-sonicas-son-el-nuevo-juguete-de-la-policia_RiHItUwPegUkMDAcQvoFH7/

LA VANGUARDIA. (2017). *El camión antidisturbios jamás utilizado, al detalle.*

<https://www.lavanguardia.com/politica/20170927/431602558640/camion-antidisturbios-policia-jamas-utilizado-camion-de-agua.html>

Leonardo. (2017). *Vehicle Systems.*

https://www.leonardocompany.com/documents/20142/3163327/body_Land_Naval_Vehicle_Systems_LQ_mm08719_.pdf?t=1542837873393

Maxloader. (2017). *That's what the scene says - maxxloaders Webseite!*

<https://www.maxxloader.com/>

Mesa Police Department. (2018). *FN303 Less Lethal Launcher Protocols.*

<https://www.powerdms.com/public/MESAPD/tree/documents/964488>

Milspec Plastics. (2018a). *Lanzadores menos letales | Plásticos Milspec.*

<https://www.milspecplastics.com/less-lethal-launchers/>

Milspec Plastics. (2018b). *SOBRE NOSOTROS | Milspec Plastics.*

<https://www.milspecplastics.com/about-us/>

Modern Combat Sports. (2021). *Tippman TMC M4 MagFed Paintball Gun from a UK*

Seller. <https://moderncombatsports.co.uk/products/tippman-tmc-68-cal-mag-fed-paintball-gun-tan>

Northern Ireland Human Rights Commission. (2003). *Baton rounds.*

<https://omegaresearchfoundation.org/sites/default/files/uploads/Publications/batonrounds.pdf>

Paintball España. (2008). *Clases de marcadoras de paintball.* [https://www.es-](https://www.es-paintball.com/clases-de-marcadoras-de-paintball)

[paintball.com/clases-de-marcadoras-de-paintball](https://www.es-paintball.com/clases-de-marcadoras-de-paintball)

Patry, J., & Berejnoi, M. (2006). *Turret For A Military Vehicle* (Patent No.

US007021189B2).

- PBGuy. (2020). *The Truth About Tippmann Cronus – PB Guy 2021 Review*.
<https://www.pbguy.com/paintball/tippmann-cronus-review>
- Pepperball. (2021a). *Hoja de especificaciones de TAC-SF*.
https://www.pepperball.com/wp-content/uploads/2018/12/spec_TAC-SF.pdf
- Pepperball. (2021b). *Productos - Pepperball*. <https://www.pepperball.com/products/>
- Pepperball. (2021c). *Projectiles Archives - Pepperball*.
https://www.pepperball.com/product_cat/projectiles/
- Pepperball. (2021d). *VKS™ User Manual VARIABLE KINETIC SYSTEM*.
www.pepperball.com
- Pepperball. (2021e). *VKS™ Magazine*. <https://www.pepperball.com/products/vks-magazine/>
- Puente, D. (2020, January 6). *USD 3,6 millones invertidos para armamento no letal para la Fuerza Terrestre en Ecuador | El Comercio*.
<https://www.elcomercio.com/actualidad/inversion-armamento-fuerza-terrestre-ecuador.html>
- Quora. (2020). *¿Cuáles son los tipos de armas que disparan balas de goma?*
<https://es.quora.com/Cuáles-son-los-tipos-de-armas-que-disparan-balas-de-goma>
- Ramos, D. A. (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>
- Ruhland, A., & Bruce, J. (2008). *Slidable Swing Arm Mount For Weapon* (Patent No. US007415790B1).
<https://patentimages.storage.googleapis.com/50/21/ee/de37e8f4526aac/US7415790.pdf>
- Salvador, A. (2020). *Interior regula el uso del bastón policial: los golpes deberán evitar las zonas vitales - El Independiente*.

<https://www.elindependiente.com/espana/2020/10/23/interior-regula-el-uso-del-baston-policial-los-golpes-deberan-evitar-las-zonas-vitales/>

Saumeth, E. (2019). *El Ejército Ecuatoriano pierde un blindado Urutú 6x6 ante un grupo de manifestantes - Noticias Infodefensa América.*

<https://www.infodefensa.com/latam/2019/10/09/noticia-ejercito-ecuatoriano-pierde-blindado-urutu-grupo-manifestantes.html>

Scientific and Technological Options Assessment. (1998). *an Appraisal of Technologies.*

<https://www.statewatch.org/media/documents/news/2005/may/steve-wright-stoa-rep.pdf>

Secretaria de Ambiente del Municipio de Quito. (2020). *Mega operativo de control interinstitucional.* <https://twitter.com/ambientequito/status/1284223137962491905>

Stop Bales de Goma. (2013). *INFORME SBG 2013 (ES) by Stop Bales de Goma - issuu.* https://issuu.com/stopbalesdegoma/docs/informe-sbg2013_es/7

Tippmann. (2013). *CRONUS Paintball Marker Owner's Manual.*

[http://paintball.tippmannparts.com/diagrams/Tippmann Cronus Manual.pdf](http://paintball.tippmannparts.com/diagrams/Tippmann_Cronus_Manual.pdf)

Tippmann. (2016). *Tippmann M4 Carbine .68 Caliber.* <https://gidirect.com/wp-content/uploads/2019/09/TP04405TippmannM4Carbine68calOwnersManual0716.pdf>

Tippmann. (2020). *Tippmann Paintball.* <https://tippmann.com/>

Tippmann. (2021). *98 Custom Platinum Series Marker.*

https://www.academia.edu/11333789/98_Custom_Platinum_Series_Marker_TIPPMANN_98_Custom_Platinum_Series_at_BULLET_with_ACT_at_BULLET_Non_ACT

Tippmann Parts. (2018). *Tippmann Cyclone Feed System.*

<https://www.tippmannparts.com/Tippmann-Cyclone-Feed-System-98-Alpha-Black-p/8304.htm>

Ulrich, K., & Eppinger, S. (2013). *Diseño y desarrollo de productos* (5ta Ed.).

McGrawHill.

United States Department of Defense. (1996). *Policy for Non-Lethal Weapons* (Issue 3000.3).

https://biotech.law.lsu.edu/blaw/dodd/corres/pdf/d30003_070996/d30003p.pdf
https://biotech.law.lsu.edu/blaw/dodd/corres/pdf/d30003_070996/d30003p.pdf

United States Department of the Army. (2004). *SUPPLEMENTAL OPERATION , MAINTENANCE , AND REPAIR PARTS INSTRUCTIONS FOR*. <https://gear-report.com/wp-content/uploads/2017/03/SMI-9-2320-387-14P-1.pdf>

UNLIREC. (2016). *Armas Menos Letales en América Latina y el Caribe Retos y Oportunidades. Programa de Las Naciones Unidas Para El Desarrollo. Objetivos de Desarrollo Sostenible*. http://www.unlirec.org/Documents/AML_ALC.pdf

Vega de la Cuadra, F. (2016). *Acuerdo Ministerial No. 270*.

<https://controlarmas.cffaa.mil.ec/wp-content/uploads/sites/13/2016/10/ACUERDO-270-REQUISITOS-PARA-AUTORIZACIONES-PERMISOS-Y-TRAMITES-ADMINISTRATIVOS-2.pdf>

VICE. (2012). *¡El futuro de la guerra ya está aquí!*

<https://www.vice.com/es/article/vdk8pa/el-futuro-de-la-guerra-ya-esta-aqui>

Yang, Y., Zhang, X., Xu, C., & Fan, L. (2020). Dynamic stress analysis of anisotropic gun barrel under coupled thermo-mechanical loads via finite element method. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 17(1), 1–20.

<https://doi.org/10.1590/1679-78255800>

Apéndices

Apéndice A. Memoria de cálculo

Apéndice B. Planos del arma no-letal

Apéndice C. Planos del sistema de alimentación

Apéndice D. Planos del mecanismo de acople

Apéndice E. Manual técnico del arma no-letal