

Uso de manufactura aditiva para la fabricación de armas no-letales antidisturbios

Use of additive manufacturing for the production of non-lethal riot control weapons

Capt. de MG. José Pineida, Santiago Castellanos, Sebastián Olivo

Universidad de las Fuerzas Armadas- ESPE / Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica /
(japineida@espe.edu.ec; sdcastellanos@espe.edu.ec; siolivo@espe.edu.ec)

Resumen

El presente artículo se desarrolló a partir de una ingeniería inversa de fusiles no-letales, tanto de uso militar como de uso civil. Sobre la base de este estudio se realizó un diseño digital acompañado de una memoria de cálculo que validó el correcto funcionamiento del arma no-letal. Esta investigación tuvo como objetivo el diseño para la fabricación de un prototipo de un arma no-letal tipo fusil de impacto por energía cinética para un combatiente a pie con manufactura aditiva. La manufactura aditiva es una nueva tecnología que está revolucionando la industria armamentista a nivel mundial. La manufactura aditiva se realizó utilizando varias impresoras: TEVO Tarántula, Cerealita Ender 3, Anet modelo E12, AnyCubic Photon e impresora 3D FormLabs conjuntamente con un software CAD para el levantamiento digital 3D de los prototipos y un software CAE, con el cual se obtuvo los resultados de esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad; los mismos que fueron necesarios para evaluar la resistencia mecánica del sistema de propulsión del arma no-letal. De igual manera, los materiales utilizados para su fabricación son de venta libre y estos fueron: PLA Plus y resina de ingeniería AnyCubic UV tough, para finalmente imprimir un prototipo funcional del arma no-letal tipo fusil utilizando tecnología de impresión 3D.

Palabras Claves: *manufactura aditiva, arma no-letal, resistencia mecánica*

Abstract

This article was developed from a reverse engineering of several non-lethal rifles for military and civilian use. Based on the current study, a digital design was realized, accompanied by a calculation memory that validated the correct operation of the non-lethal weapon. This research aimed to develop a prototype of a non-lethal weapon, kinetic energy impact rifle type, for a foot combatant using additive manufacturing, a new technology that is revolutionizing the arms industry worldwide. The additive manufacturing was conducted using several printers, such as TEVO Tarantula, Creality Ender 3, Anet model E12, AnyCubic Photon, and FormLabs 3D printer together with a CAD software for the 3D digital survey of the prototypes and a CAE software, to calculate data for mechanical strengths, deformations, and safety factors. The same was used to evaluate the mechanical resistance of the propulsion system of the non-lethal weapon. Moreover, the materials used are over-the-counter, such as PLA Plus and AnyCubic UV tough engineering resin. Finally, a functional prototype of the non-lethal rifle-type weapon was printed using 3D printing technology.

Keywords: *additive manufacturing, non-lethal weapon, mechanical strength, mechanical resistance.*



Fecha de Recepción: 8/3/2023 - Aceptado: 20/3/2023 - Publicado: 31/3/2023
ISSN: 2477-9253 - DOI: <http://dx.doi.org/10.24133/RCSD.VOL08.N01.2023.02>

I. Introducción

La tecnología descrita en este artículo se denominó originalmente creación rápida de prototipos. El término creación rápida de prototipos (RP) se usa en una variedad de industrias para describir un proceso para crear rápidamente un sistema o una representación de una pieza antes del lanzamiento final o la comercialización. En otras palabras, el énfasis está en crear algo rápidamente y que el resultado sea un prototipo o modelo base, del cual se derivarán más modelos y, finalmente, el producto final. Tanto los consultores de gestión como los ingenieros mecánicos utilizan el término creación rápida de prototipos para describir un proceso de desarrollo de soluciones comerciales y de software por partes que permite a los clientes y otras partes interesadas probar ideas y proporcionar comentarios durante el proceso de desarrollo.

Los usuarios de la tecnología RP se han dado cuenta de que este término es inadecuado y, en particular, no describe de manera efectiva las aplicaciones más recientes de la tecnología. Las mejoras en la calidad de la producción de estas máquinas han significado que a menudo exista un vínculo mucho más estrecho con el producto final. De hecho, muchas piezas ahora se fabrican directamente en estas máquinas, por lo que no es posible etiquetarlas como “prototipos”. El término creación rápida de prototipos también pasa por alto el principio básico de estas tecnologías en el sentido de que todas fabrican piezas utilizando un enfoque aditivo. Un Comité Técnico formado recientemente dentro de ASTM International acordó que se debe adoptar una nueva terminología. Si bien esto aún está en debate, la norma ASTM recientemente adoptó los estándares de consenso y ahora usan el término manufactura aditiva.

La manufactura aditiva es el término formalizado para lo que solía llamarse creación rápida de prototipos y lo que se conoce popularmente como impresión 3D. Denominada en forma abreviada como AM, el principio básico de esta tecnología es que un modelo, inicialmente generado mediante un sistema tridimensional de diseño asistido por computadora (3D CAD), se puede fabricar directamente sin necesidad de planificar el proceso. Aunque en realidad esto no es tan simple como parece, la tecnología AM ciertamente simplifica significativamente el proceso de producción de objetos 3D complejos directamente a partir de datos CAD. Otros procesos de fabricación requieren un análisis cuidadoso y detallado de la geometría de la pieza para determinar cosas como el orden en el que se pueden fabricar las diferentes características, qué herramientas y procesos se deben usar y qué accesorios adicionales pueden ser necesarios para completar la pieza.

La clave de cómo funciona AM es que las partes se fabrican agregando material en capas; cada capa es una sección transversal delgada de la pieza derivada de los datos CAD originales. Obviamente, en el mundo físico cada capa debe tener un grosor definido, por lo que la parte resultante será una aproximación de los datos originales.

Las máquinas AM comercializadas hasta la fecha utilizan un enfoque basado en capas, y las principales formas en que difieren son los materiales que se pueden usar, cómo se crean las capas y cómo se unen las capas entre sí. Tales diferencias determinarán factores como la precisión de la pieza final más sus propiedades materiales y propiedades mecánicas. También determinarán factores como la rapidez con la que se puede fabricar la pieza, la cantidad de procesamiento posterior que se requiere, el tamaño de la máquina AM utilizada y el costo total de la máquina y el proceso.

Con base en lo analizado y estudiado anteriormente, la Universidad de las Fuerzas Armadas- ESPE diseñó y fabricó un prototipo funcional de un arma no-letal tipo fusil, para el uso en incidentes de desorden público.

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-leta-

les 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 y 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).

Para el desarrollo de este artículo se planteó un conjunto de actividades entre las cuales está el diseño del arma de fuerza cinética y la planificación para la fabricación de un prototipo funcional. La conceptualización de este 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 mecánica.

II. Materiales y Métodos

2.1. Estructura del modelo de arma no-letal impresa con manufactura aditiva

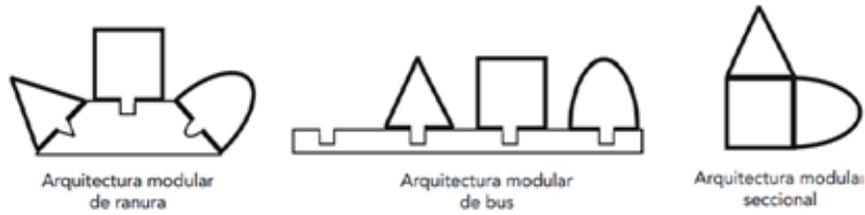
En este punto se presenta la arquitectura del arma no-letal, que es el mapeo de los elementos funcionales del producto a fabricar en bloques de construcción físicos, que se centran en la actividad de diseñar el producto con el objetivo de definir los elementos físicos básicos en términos de funcionalidad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

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

Por lo tanto, este trabajo se desarrolló con base en la 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.

Las arquitecturas modulares se clasifican en tres tipos: de ranura, bus y seccional. Cada tipo contiene un elemento funcional segmentado y un mapeo uno a uno de interfaces bien definidas. La diferencia entre estos tipos es cómo se organiza la interacción entre los bloques. En la Figura 1 se muestran las diferencias conceptuales de las arquitecturas.

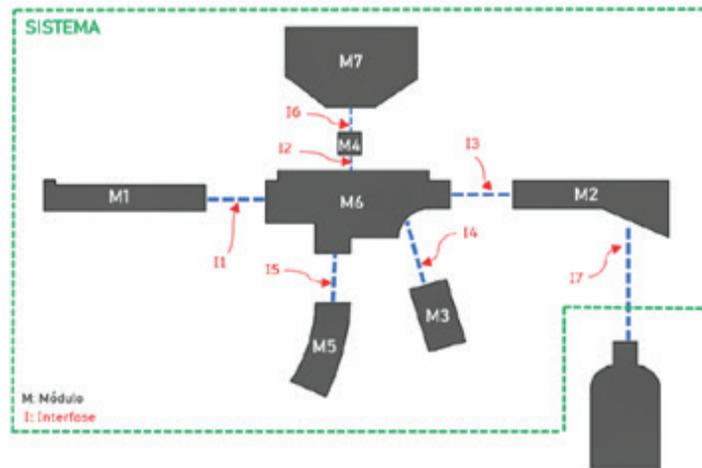
Figura 1: Tipos de arquitectura modular



Nota. Tomado de *Diseño y desarrollo de producto* (p.186), por Ulrich y Eppinger, 2013.

Para la selección del tipo de interacción se plantearon siete módulos y siete interfaces que utilizaron la arquitectura modular de ranura. Cada interface 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. En la Tabla 1 se definen los módulos e interfaces existentes en concordancia con la Figura 2.

Figura 2: Esquema modular del prototipo



Nota. Se muestra la composición básica del prototipo

Tabla 1: Módulos e interfaces

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

2.2. Diseño del arma

El trabajo pretende proporcionar un prototipo de arma no-letal tipo fusil antidisturbios para un combatiente a pie, con el fin de proveer de un instrumento de control y defensa que será utilizado por las fuerzas del orden ante posibles amenazas que pueden afectar a la sociedad civil, bienes públicos y privados, entre otros.

Para agilizar su maniobrabilidad y reducir los costos en compra de materiales la magnitud del peso se encuentra alrededor de los 2 kg, las armas no-letales revisadas en la ingeniería inversa poseen valores próximos al señalado.

El calibre del arma no-letal se definió con base en la munición a utilizar. En este caso serán cápsulas esféricas que almacenan agentes químicos. El prototipo tiene el calibre 0.68 debido a su mayor uso, especialmente porque las empresas que desarrollan los RCAs, como Pepperball, trabajan con dicho calibre y por lo cual se facilitará el encontrar más proveedores de este tipo de municiones.

Con respecto a la selección del tubo cañón; en el artículo publicado por Denny (2011) se demuestra que a mayor longitud del tubo cañón, mayor será la velocidad del proyectil disparado de un arma que tiene como sistema de propulsión aire comprimido. El estudio considera longitudes de 15 cm a 50 cm (6 in a 20 in). Sin embargo, esto no significa que se seleccionó la longitud más extensa, los resultados señalan que tubos cañones con grandes longitudes se vuelven ineficientes, puesto que consumen más energía para vencer la fricción a lo largo del mismo, mientras que tubos cañones muy cortos desperdician presión del gas utilizado. En consecuencia, se seleccionó una longitud promedio para equilibrar la pérdida de presión y la disipación de energía por fricción; se tomó la recomendación hecha por Muhlestein (2019) la cual sugiere una longitud del tubo cañón entre 12 in y 14 in, que concuerda con el artículo discutido.

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. 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). Sin embargo, una regla empírica que se ha generalizado en la industria del paintball con la que se puede estimar el número de disparos es que los recipientes de 3000 psi proporcionan 10 disparos por pulgada cúbica, mientras que los de 4500 psi proporcionan 15 disparos por pulgada cúbica. También existen registros tabulados del número de disparos que se puede alcanzar con diferentes configuraciones de presión y volumen, como la compartida por ZDS Paintball (2017).

Los gases de propulsión que generalmente se utilizan para activar estos sistemas son aire comprimido, nitrógeno y CO₂. Los elegidos como aceptables para este trabajo fueron aire comprimido y nitrógeno. Se descarta el uso de CO₂ 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 en milésimas de segundo, pues existe una gran diferencia de presión, por lo que el CO₂ se expande rápidamente y se produce un cambio de fase abrupto. Con cada expansión el CO₂ 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 comprimido 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 comprimido y nitrógeno se los encuentra en presentaciones alrededor de los 3000 psi (Indura, 2015). Para este trabajo fue 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 menores al límite europeo establecido. Tal es el caso de la FN 303 utilizada por el Departamento de Policía de Mesa Arizona (2018). De modo que, para el prototipo de este trabajo se procuró alcanzar parámetros semejantes a los señalados.

Una vez definido los requerimientos a ser cubiertos por la tarea de diseño; a continuación, en la Tabla 2 se establecen las especificaciones sobre las cuales se basará y se desarrollará el trabajo.

Tabla 2: *Especificaciones técnicas del prototipo desarrollado*

Datos técnicos	Especificaciones
Peso (solo cuerpo del arma no-letal)	≈ 2Kg
Calibre	0,68 in
Longitud del barril	305 mm
Energía en boca de cañón	< 20 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

2.3. Fabricación

2.3.1. Cuerpo del arma no-letal

Se inició con la fabricación del cuerpo del arma no-letal utilizando dos impresoras 3D, TEVO Tarántula y Cerealita 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 cuatro partes para formar el cuerpo. Luego, se exportó cada una de las partes modeladas al software de impresión 3D, (ver Figura 3).

Figura 3: *Modelo impreso del cuerpo del arma no-letal*

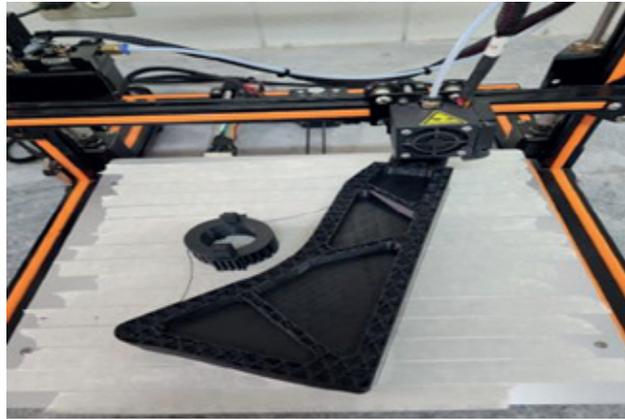


Nota. Impresora TEVO tarántula utilizada para imprimir el cuerpo del arma no-letal.

2.3.2. Culata

Su fabricación se realizó utilizando una impresora Anet 3D Printer, modelo E12, conjuntamente con el software Ultimaker Cura 4.10.0, se realizó la configuración de los parámetros de impresión tomando en cuenta que el modelo debe tener un buen acabado superficial, ver Figura 4.

Figura 4: Modelo impreso de la culata



Nota. Impresora Anet 3D Printer utilizada para imprimir la culata.

2.3.3. Codo de alimentación

Su fabricación se realizó utilizando una impresora Anycubic Photon, conjuntamente con el software Lychee Slicer Resin. Se ejecutó la configuración de los parámetros de impresión tomando en cuenta que el modelo debe tener un buen acabado superficial, ver Figura 5.

Figura 5: Modelo impreso del codo de alimentación



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

2.3.4. *Fiador del arma no-letal*

Su fabricación se realizó utilizando una impresora Formlabs, conjuntamente con el software PreForm. La configuración se ejecutó acorde los parámetros de impresión. Las configuraciones se las puede observar en la Figura 6.

Figura 6: *Modelo impreso del fiador*



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

La fabricación de las piezas adicionales que conforman el arma no-letal fueron realizadas en la impresora Anet 3D Printer, utilizando la misma configuración que la culata (ver Figura 7).

Figura 7: *Piezas impresas para el arma no-letal*



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

Adicional se adquirió una manguera trenzada de acero inoxidable de 25 cm de largo, posteriormente se instaló un acople JIC hembra 7/16-20 a un extremo de la manguera y al otro extremo se colocó un acople de rosca 7/16-24 UNS, utilizando una prensa se realizó la unión de estos. Conjuntamente se compraron elementos de sujeción para el ensamblaje del arma no-letal (ver Figura 8).

Figura 8: *Elementos de sujeción y manguera trenzada*



Nota. Manguera trenzada por donde ingresa el aire comprimido y elementos de sujeción

2.4 Ensamblaje

Una vez finalizada la impresión de todas las partes, se inició con un ensamble previo del cuerpo del arma no-letal con los componentes internos para verificar que no hubiera interferencias en la geometría (ver Figuras 9 y 10).

Figura 9: *Ensamblaje del arma no-letal tipo fusil antidisturbios.*



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

Figura 10: *Ensamblaje completo del arma no-letal tipo fusil antidisturbios*

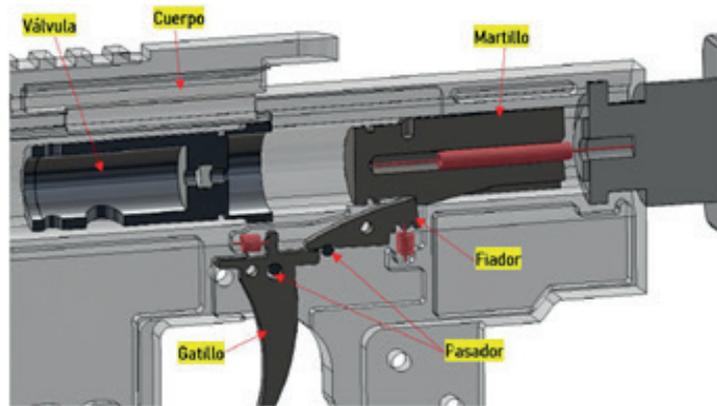


Nota. Vista frontal y posterior del arma no-letal impresa con manufactura aditiva.

III. Evaluación de Resultados y Discusión

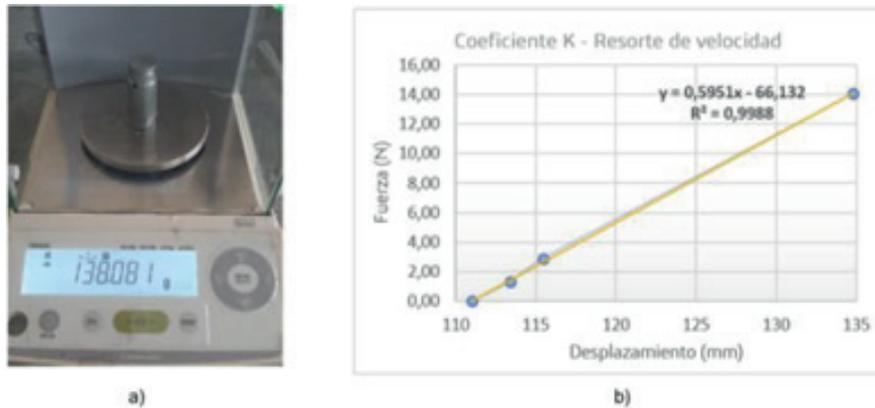
En esta sección se realizó una serie de análisis de la dinámica del martillo, de este depende en gran parte que el arma no-lethal pueda funcionar de forma continua. Primero se estudió su comportamiento cuando es liberado al presionar el gatillo percutor. En la Figura 11 se puede observar que al presionar el gatillo este hace rotar al fiador y en consecuencia deja libre al martillo percutor, el cual gana velocidad debido a la fuerza ejercida por el resorte de velocidad hasta llegar a la válvula.

Figura 11: Componentes que intervienen en la liberación del martillo percutor



Los datos técnicos a considerar son: $\mu_s=0.61$ y $\mu_k=0.47$ debido a que el cuerpo del arma no-lethal será de aleación de Al 7075-T6 y el martillo de acero (Serway & Jewett, 2008), masa del martillo 0.138 kg como lo muestra la Figura 12.a., la constante de rigidez del resorte de velocidad es de 0.595 N/mm, ver Figura 12.b.

Figura 12: Peso de martillo y coeficiente de rigidez del resorte de velocidad



Nota. a) Peso del martillo en balanza digital marca Shimadzu TW423L, b) Coeficiente de rigidez obtenido experimentalmente en el laboratorio de procesos de manufactura.

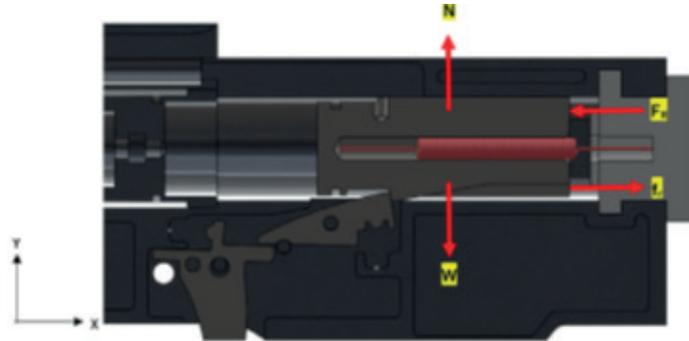
Datos

Masa del martillo:	$m_M = 0.138 \text{ kg}$
Coefficiente de fricción cinética:	$\mu_k = 0.47$
Longitud libre del resorte:	$I_R = 111 \text{ mm}$
Longitud del resorte al inicio del análisis:	$I_{O,R} = 69.47 \text{ mm}$
Constante del resorte:	$k_R = 0.595 \text{ N/mm}$
Peso del martillo:	$W = m_M \cdot g = 1.353 \text{ N}$

La distancia que recorre el martillo percutor hasta golpear con la pared de la válvula es a próximamente 34 mm (ver Figura 13).

$$x=0 \text{ mm}, 0.05 \text{ mm}..34 \text{ mm}$$

Figura 13: Diagrama de cuerpo libre



Con la sumatoria de fuerzas en Y se determina la normal, y en consecuencia la fuerza de fricción.

$$N = W$$

$$N = 1.353 \text{ N}$$

$$f_r = \mu_k \cdot N = 0.636 \text{ N}$$

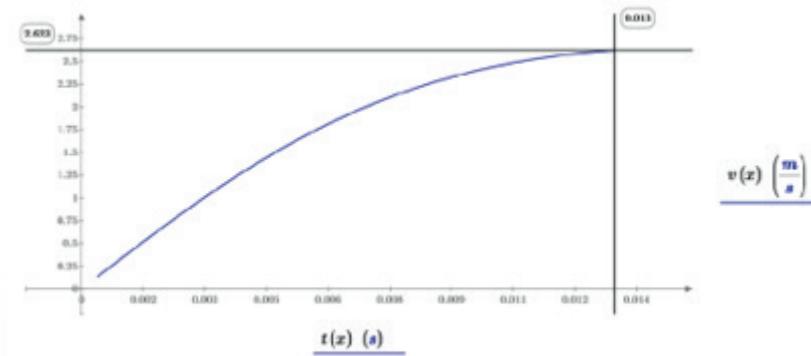
La fuerza aplicada por el resorte.

$$F_R(x) = k_R \cdot (I_R - I_{oR} - x)$$

Utilizando el principio de trabajo y energía se determina la velocidad, ver Figura 14.

$$v(x) = \sqrt{\frac{-0.5 \cdot \text{kg} \cdot ((I_R - I_{oR} - x)^2 - (I_R - I_{oR})^2) - f_r \cdot x}{0.5 \text{ m}_M}}$$

Figura 14: Velocidad calculada del martillo al ser liberado por el gatillo



$$v(0.001 \text{ mm}) = 0.019 \text{ m/s}$$

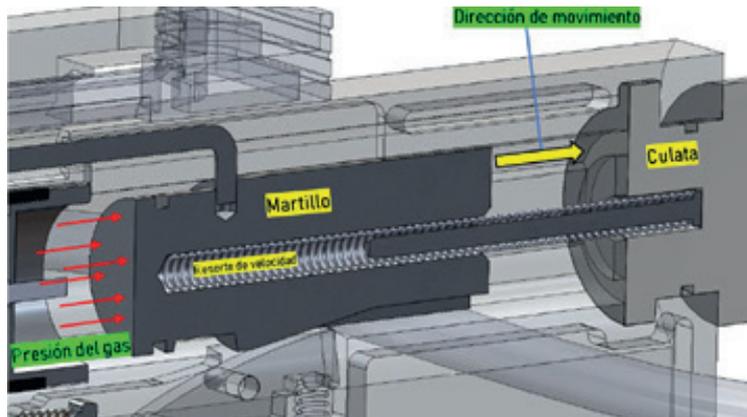
$$v(33.95 \text{ mm}) = 2.622 \text{ m/s}$$

Se aprecia que la velocidad no crece de forma lineal y esto es lógico, conforme avanza el martillo la fuerza aplicada por el resorte va disminuyendo. Aproximadamente el martillo llega a la válvula con una velocidad

de 2.6 m/s. Para cambiar esta velocidad se tendría que cambiar el resorte y desarrollar el cálculo hasta alcanzar el valor deseado.

Ahora se analizará lo que ocurre con el martillo percutor una vez que presiona el émbolo de la válvula y se libera el gas. En la Figura 15 se representa gráficamente el trayecto que se estudió. Para hacer posible este cálculo se va a realizar las siguientes suposiciones: no existe caída de presión hasta romper el sello entre martillo y válvula, se considera la fricción dinámica constante a lo largo del trayecto del martillo, no se coloca el cojín paragolpes, perno frontal y brazo conector son despreciables.

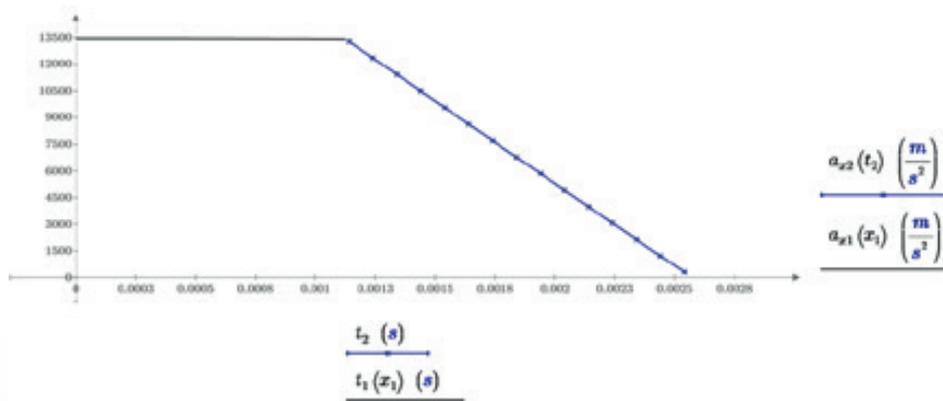
Figura 15: Martillo percutor iniciando su trayecto



Nota. Se indica un gráfico del trayecto que sigue el martillo percutor.

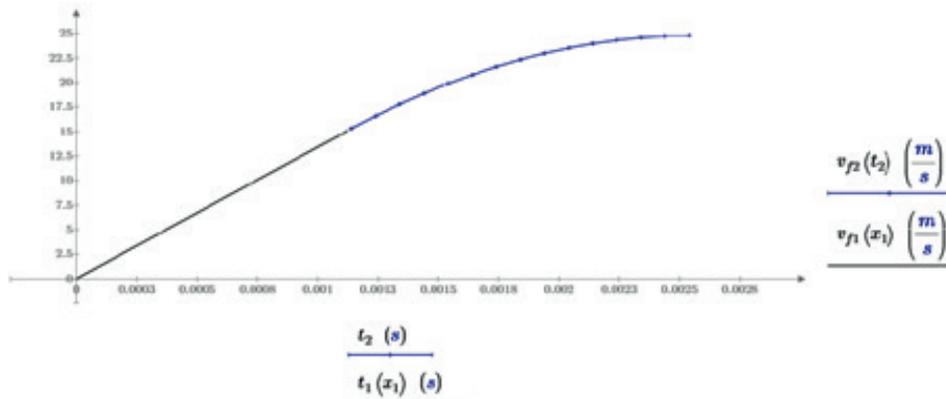
Los datos técnicos a considerar son los mismos mencionados en el anterior análisis, pero adicionalmente en éste se tendrá la presión ejercida por el gas, equivalente a 800 psi (5.516 MPa). Con la información recopilada y las consideraciones hechas, se procede a realizar los análisis cinemático y cinético del martillo. Enseguida, en las Figuras 16, 17, 18; se presentan las gráficas resultantes del estudio hecho.

Figura 16: Aceleración del martillo percutor



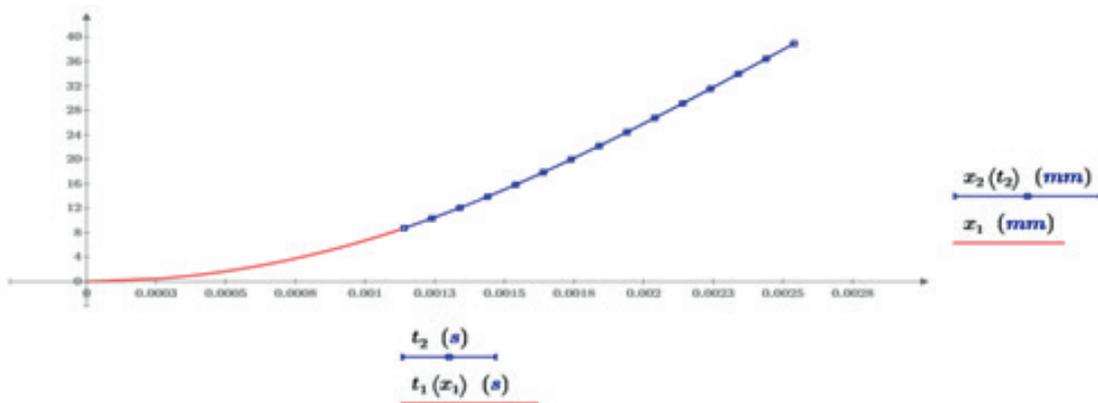
Nota. Se muestra la variación de la aceleración del martillo percutor en el trayecto que va desde la válvula hasta la culata

Figura 17: *Velocidad del martillo percutor*



Nota. Se muestra la variación de la velocidad del martillo percutor en el trayecto que va desde la válvula hasta la culata.

Figura 18: *Desplazamiento del martillo percutor*



Nota. Se muestra la variación del desplazamiento del martillo percutor en el trayecto que va desde la válvula hasta la culata

Con este análisis se determina que el martillo percutor llega hasta la culata con una velocidad aproximada de 24.8 m/s, por lo que después del impacto sería enganchado por el fiador.

Con estas pruebas de tiro realizadas se pudo determinar una velocidad promedio de los proyectiles disparados. La distancia que recorrieron los proyectiles hasta el blanco fue de 20 m, el tiempo transcurrido hasta el impacto oscilaba entre los 0.26 s, este tiempo se lo obtuvo del espectro de sonido que se puede obtener de un software de edición de video, por lo que resulta un valor muy próximo al real.

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

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

Con la magnitud de la velocidad de los proyectiles se puede estimar la energía de impacto cinético de los mismos. En este caso resultó de 8.9 J, la cual está por muy debajo del límite impuesto por el Parlamento Europeo (122 J), por lo que la probabilidad de causar daños severos es mínima, ver Figura 19.

Figura 19: Pruebas de proyectiles de energía cinética

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

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

V. Conclusiones

- La manufactura aditiva es el término formalizado para lo que solía llamarse creación rápida de prototipos y lo que se conoce popularmente como impresión 3D.
- Un Comité Técnico formado recientemente dentro de ASTM International acordó que se debe adoptar una nueva terminología para el proceso de creación rápida de prototipos. Si bien esto aún está en debate, según la norma ASTM recientemente adoptada, los estándares de consenso ahora usan el término manufactura aditiva.
- Se realizó el estudio de varias armas no-letales de impacto cinético, tanto de uso militar como civil, con lo cual se pudo comprender los mecanismos de funcionamiento de estos dispositivos, y a partir de ello se desarrolló la propuesta de un nuevo modelo no-letal, en el que se implementa el accionamiento por propulsión previamente estudiado.
- Se identificó que se cuenta con procedimientos de fabricación como la tecnología de control numérico, software de estrategias de mecanizado y equipo de impresión 3D, para el proceso constructivo del arma no-letal, lo común de este tipo de armas es de ser desarrollado en sistemas de función por inyección.
- La mayor parte del prototipo de arma no-letal se la fabricó haciendo uso de la tecnología de impresión 3D, en donde el tiempo acumulado total y la cantidad de material necesario fueron aproximadamente de 90 horas y 1,5 kg de PLA Plus, respectivamente. Gracias al prototipado de este modelo se pudo comprobar que efectivamente los mecanismos internos funcionaban como lo indicaron las simulaciones. Como el cuerpo del arma no-letal no es el que soporta la presión del aire comprimido, sino más bien su válvula interna se pudo realizar algunas pruebas de tiro con el prototipo impreso, obteniendo una velocidad promedio de disparo de 77 m/s y una energía cinética de impacto de 8.9 J.
- Se realizó el levantamiento digital 3D de un arma no-letal de uso civil utilizando un software de modelado 3D en conjunto con instrumentos de medición como: flexómetro, vernier, micrómetro, galga telescópica, entre otros; con lo cual se pudo determinar las interacciones existentes entre componentes, al igual que las formas, tamaños y materiales que los conformaban. Con base en esto, se pudo determinar las modificaciones que se podrían realizar en el prototipo sin afectar su funcionalidad.

- La nueva propuesta del prototipo de arma no-letal se desarrolló en un software CAD que, gracias a sus herramientas, se pudo garantizar que no existieran interferencias entre componentes, y también que cada mecanismo interno interactuará con los demás como fue planificado. Con la aplicación del MEF en un software CAE se obtuvieron factores de seguridad superiores a 2 luego de haber hecho un análisis de convergencia de las partes más riesgosas del sistema, con lo cual se aseguró que no llegarían a fallar debido a las cargas a las que estarían sometidas.
- Se estableció que el procedimiento constructivo del proceso de fabricación del arma no-letal, se basa principalmente en el diseño y simulación previo a la fabricación, esto nos permite minimizar de mejor manera los errores que se pudieron haber presentado en la elaboración del arma no-letal
- Se planificó el proceso de manufactura de cada componente configurando los diversos parámetros del software de impresión 3D, gracias a esto se logró optimizar el tiempo de impresión y mejorar la calidad del acabado superficial de cada parte. Finalmente, se desarrolló un manual del usuario con el que se puede realizar el mantenimiento del prototipo de arma no-letal para extender su tiempo de vida y conservar su correcto funcionamiento. Además, se facilita el proceso de ensamblaje y desmontaje del sistema, precautelando la seguridad del usuario.

Referencias

- ASTM Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies. <http://www.astm.org/COM MITTEE/F42.htm>.
- 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>
- American Gangster. (2018). How a Remington 870 Pump Shotgun Works (World of Guns). <https://www.youtube.com/watch?v=M9RJhI2EMI8>
- 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>
- Benavides Cevallos, H. S., & Corella Larco, L. M. (2009). DISEÑO DE ESCOPETA DE BOMBA CALIBRE 12, ENSAMBLAJE 3D DEL ARMA, SIMULACION BALISTICA Y DISEÑO DE LOS PROCESOS DE MANUFACTURA [Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE]. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/303/1/T-ESPE-026447.pdf>
- 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://buccelloyasociados.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 Vehilce 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.
- ElDiario. (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>
- Haight, K. (2019). Firearm Accessory Rails: Which is the Best? <https://www.catalystarms.com/tech-talk-blog/2019/1/11/the-best-firearm-accessory-rail>
- How a Tippmann A5 Works. (2010). <https://www.youtube.com/watch?v=hyUZrnt2Zw>
- Impresoras3dPuebla. (2021). Filamento. <https://www.impresoras3dpuebla.com/filamento>
- 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 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
- MatWeb. (2006). Aluminum 7075-T6; 7075-T651. <http://www.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?-bassnum=MA7075T6>
- Maxloader. (2017). That's what the scene says - maxxloaders Webseite! <https://www.maxxloader.com/>
- Mayer, D. (2021). Guía de selección de plásticos CNC | Fictiv. <https://www.fictiv.com/articles/cnc-plastics-selection-guide>
- 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>
- Muhlestein, D. (2019). Physics of a Paintball Gun Barrel. <https://www.liveabout.com/paintball-barrel-basics-2565822>
- 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-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 TM User Manual VARIABLE KINETIC SYSTEM. www.pepperball.com

- Pepperball. (2021e). *VKSTM 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. USOO7415790B1). <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-ecuadoriano-pierde-blindado-urutu-grupo-manifestantes.html>
- Scientific and Technological Options Assessment. (1998). an Appraisal of Technologies. <https://www.stawatch.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>
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2008). Física para ciencias e ingeniería. In S. Cervantes (Ed.), *The Physics Teacher* (7ma ed., Vol. 26, Issue 4).
- Smith, W., & Hashemi, J. (2006). Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales (4ta ed., Vol. 148).
- 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
- 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. (2018a). Ninja Paintball UL Regulator Only (no bottle) -Adj. 4500psi. <https://www.tippmannparts.com/Ninja-Ultralight-HPA-Regulator-Adjustable-p/3826.htm>
- Tippmann Parts. (2018b). 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.pdfhttps://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. 2 7 0. <https://controlarmas.cccfaa.mil.ec/wp-content/uploads/sites/13/2016/10/ACUERDO-270-REQUISITOS-PARA-AUTORIZACIONES-PERMI-SOS-Y-TRAMITES-ADMINISTRATIVOS-2.pdf>
- 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>
- ZDS Paintball. (2017). Paintball ZDS - Disparos por tanque. <http://www.zdspb.com/tech/misc/resources/shotspertank.html>