

# UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“Construir un modelo experimental para la validación de un prototipo de arma no-lethal de impacto con munición RCA´s”**

Capt. Pineida Imbaquingo, José Andrés

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

TCRN. Haro Edison. PhD.  
Ing. Santiago Castellanos, PhD.

03 de marzo de 2023

# Antecedentes

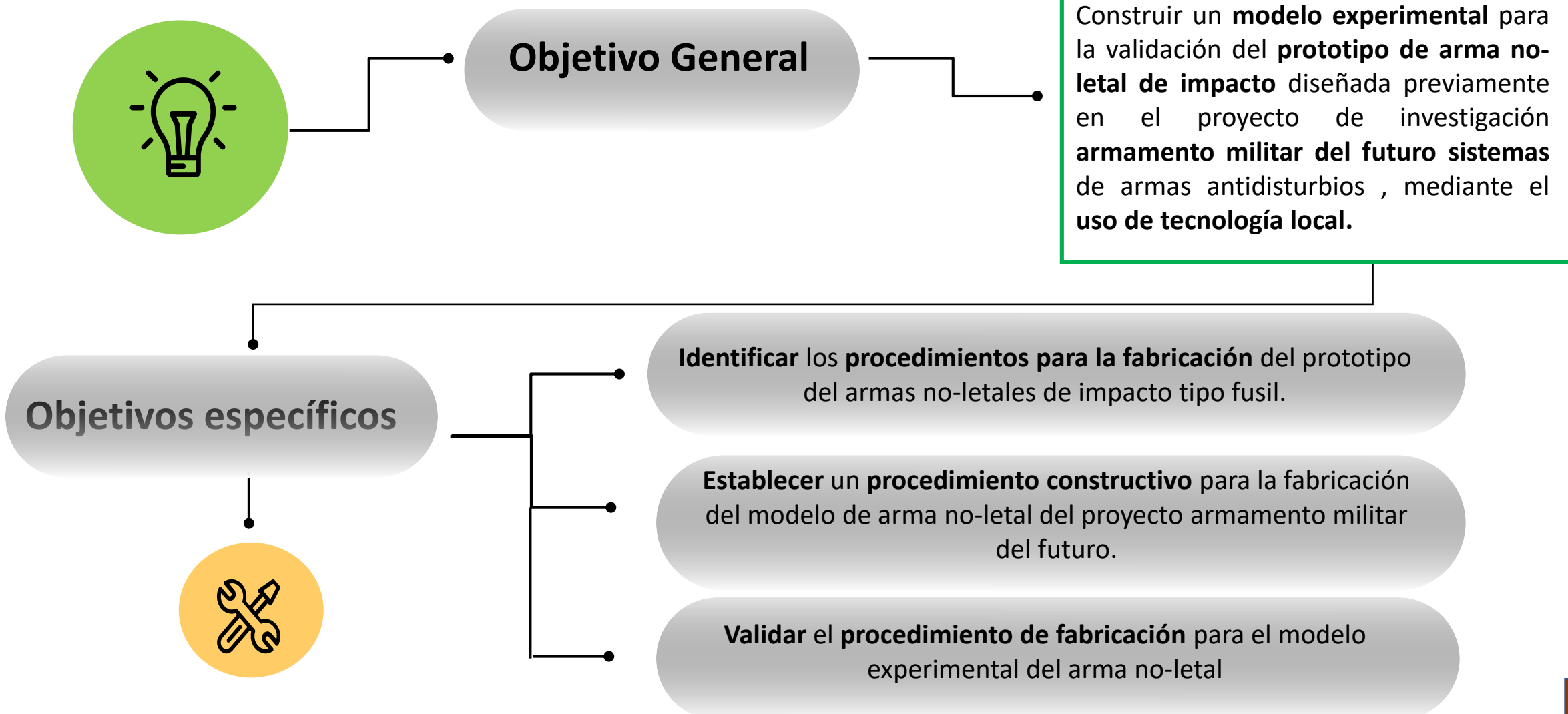


- En octubre de 2019 se dieron 11 días de disturbios en Ecuador, iniciados por varios grupos sociales, en estos días de protestas, la frecuencia de los hechos de **violencia se incrementaron drásticamente** causando daños a bienes públicos y privados

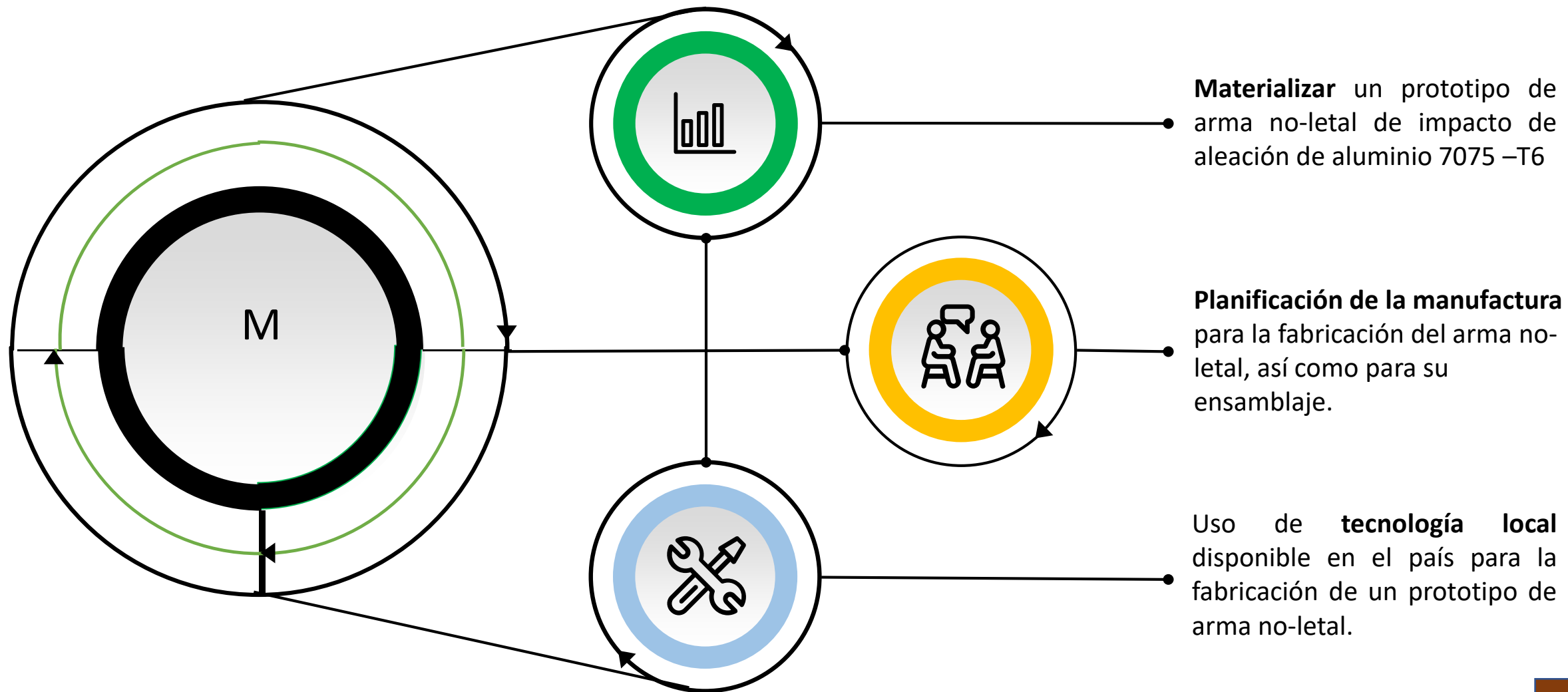
- Según (Puente, 2020), los informes presentados por el **Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas**, indicaron que las armas no-letales con que contaban los militares eran **“insuficiente”** y en algunos casos **“obsoletos”**.

DCEM desarrolla el proyecto **“Equipamiento militar del futuro: Sistemas de armas antidisturbios usados en incidentes de desorden público”**

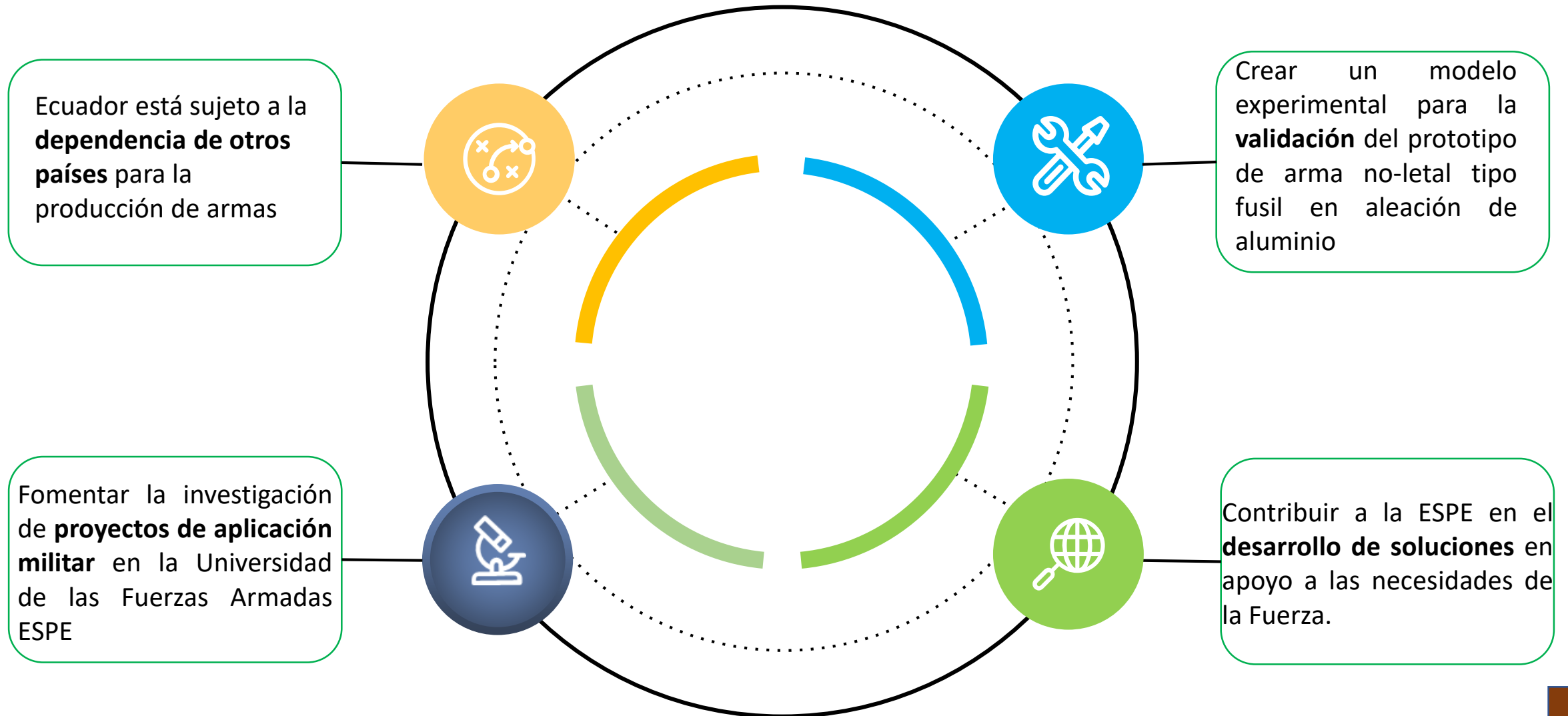
# Objetivos



# Alcance del proyecto



# Justificación e Importancia



# Estado del Arte

Ingeniería inversa

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.

Desmontaje de las marcadoras



Marcadoras Comerciales

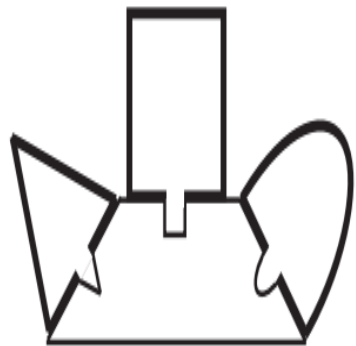




# Estado del Arte

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

Las arquitecturas modulares se clasifican en tres tipos: **de ranura, bus y seccional**.



Arquitectura modular de ranura



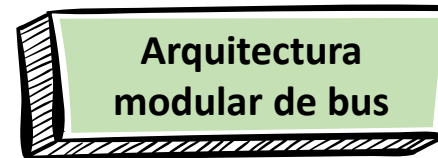
Arquitectura modular de bus



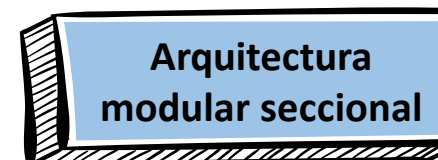
Arquitectura modular seccional



Es de un **tipo diferente**, por lo que los bloques de productos individuales no son intercambiables.



En este tipo se conectan otros componentes utilizando el **mismo tipo de interfaz**.

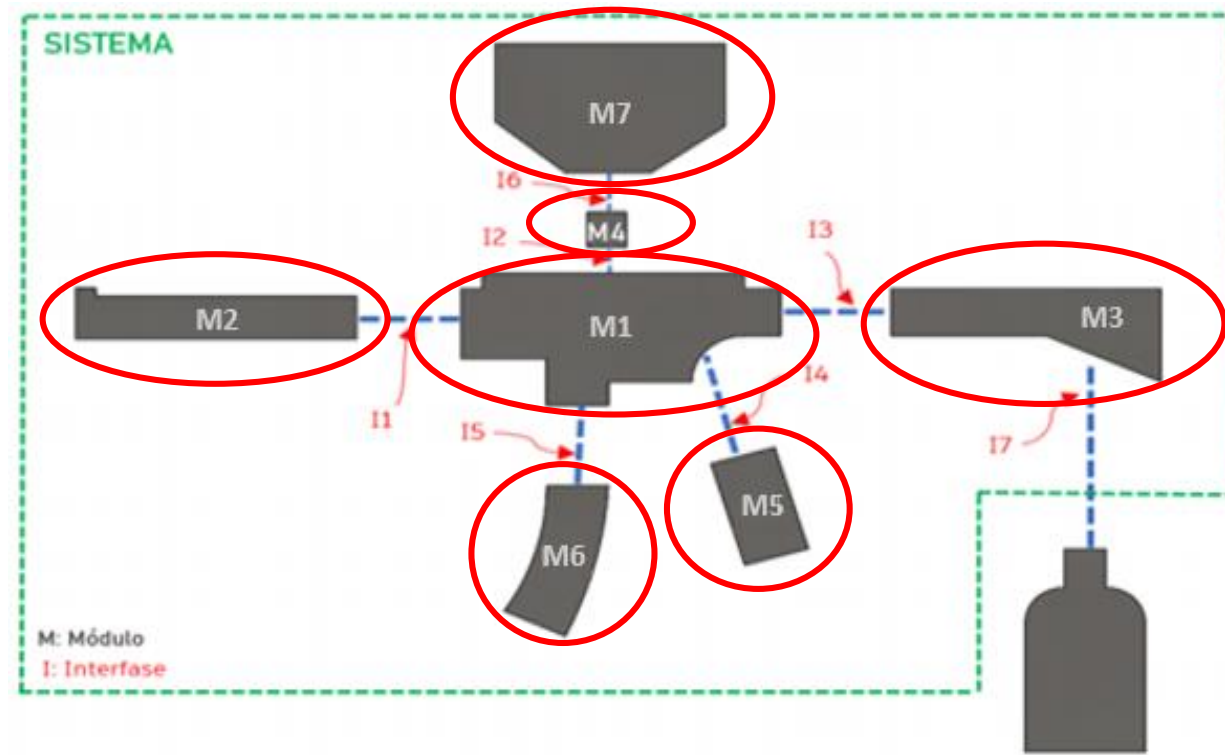


Maneja interfaces que son todas del mismo tipo, pero **ningún elemento conecta con las demás partes**.

Por lo tanto, en este trabajo se plantearon **7 módulos y 7 interfases** por medio de las interacción.

La **arquitectura modular de ranura** fue seleccionada como tipo de interacción en las interfases, cada interfase debe ser única para evitar que los módulos se intercambien entre si.

### Módulos e interfases



*Esquema modular del prototipo*

	No	Descripción
<b>Módulos</b>	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
<b>Interfases</b>	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



Video desacople del arma no-letal

# DESACOPLE DEL ARMA NO-LETAL



# Manufactura Aditiva



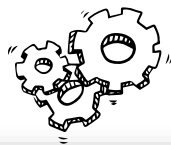
*Partes impresas del arma no-letal P1*



*Partes impresas del arma no-letal P2*



# Ensamblaje



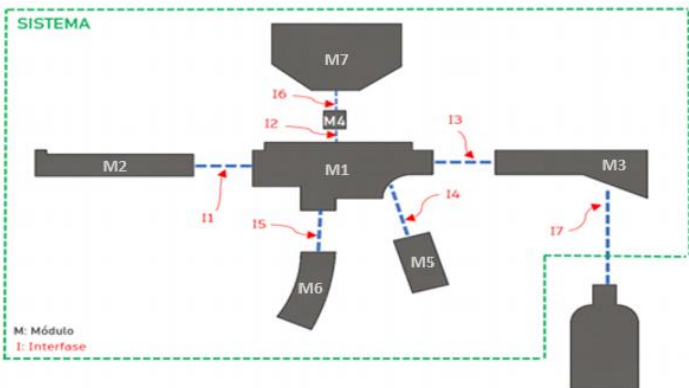
*Ensamblaje completo del arma no-lethal*

# Prototipado y Pruebas

Pruebas de funcionamiento

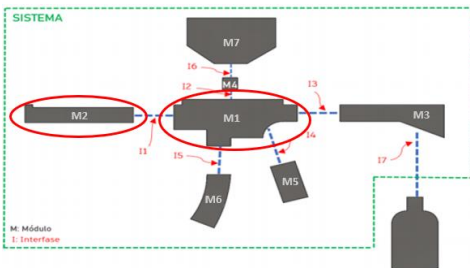




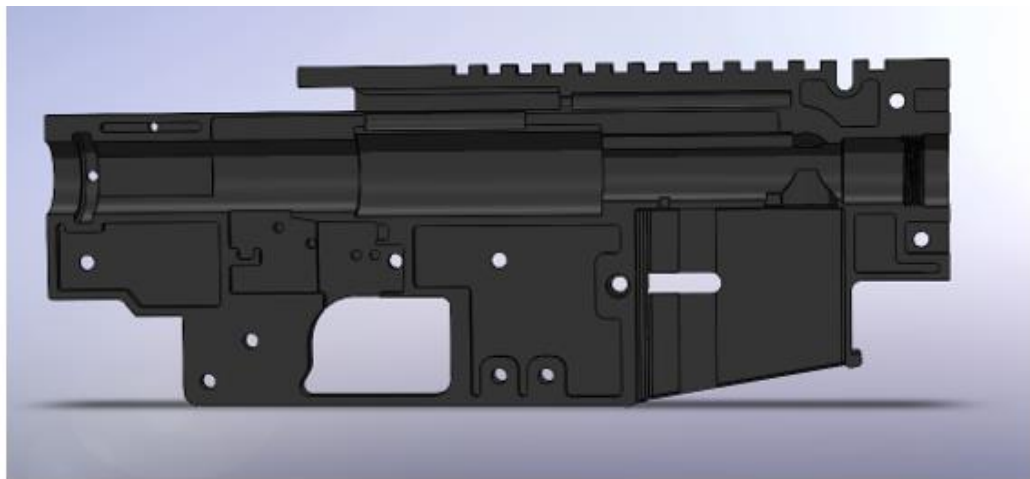


# Prototipo Experimental

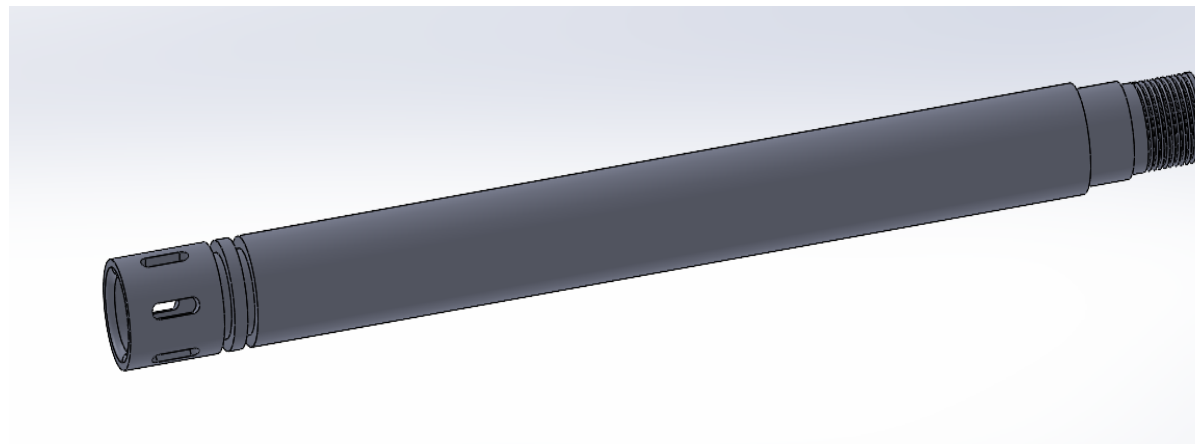
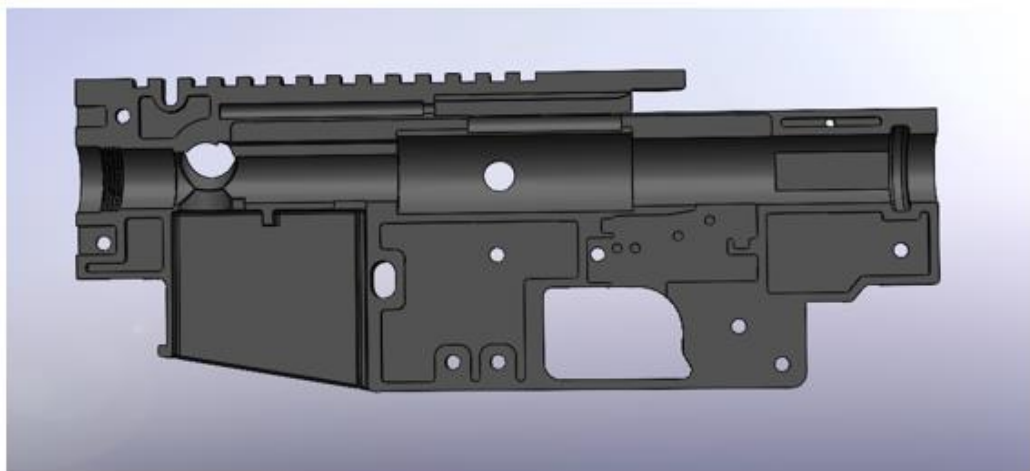




# Cuerpo del arma y Tubo cañón



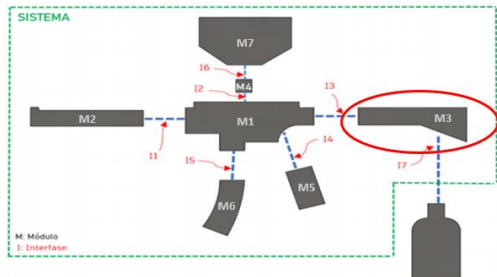
b)



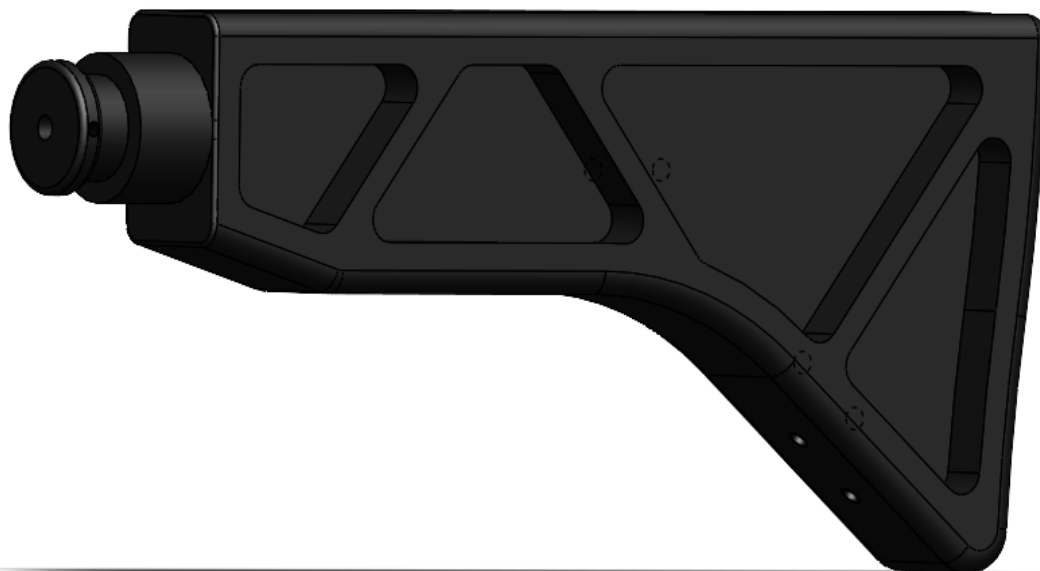
Propiedades Mecánicas	Al 7075 -T6	Aluminio
Módulo de elasticidad (N/mm <sup>2</sup> )	71.500	68.646
Resistencia a la tracción (N/mm <sup>2</sup> )	430-590	125
Alargamiento A (%)	3,1	16
Dureza (HBW)	146-150	20

- Alta resistencia
- 60% mas ligero en peso que el acero
- Uso en la industria militar





# Pieza culata fija



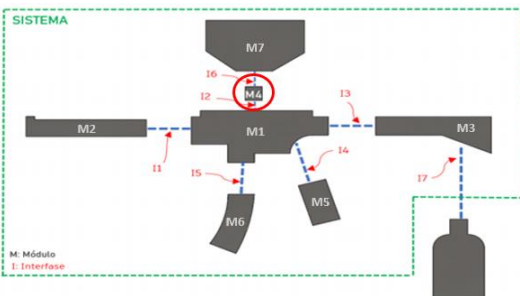
acrilonitrilo-butadieno-estireno

Material	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Resistencia a la tensión (×1000 psi)*	Resistencia al impacto, Izod (pie · lb/pulg)†	Resistencia dieléctrica (V/mil)‡	Temp. máx. de uso (sin carga)	
					°F	°C
Poliétileno:						
Baja densidad	0.92-0.93	0.9-2.5		480	180-212	82-100
Alta densidad	0.95-0.96	2.9-5.4	0.4-14	480	175-250	80-120
PVC clorado, rígido	1.49-1.58	7.5-9	1.0-5.6		230	110
Polipropileno, uso general	0.90-0.91	4.8-5.5	0.4-2.2	650	225-300	107-150
Estireno-acrilonitrilo (SAN)	1.08	10-12	0.4-0.5	1775	140-220	60-104
<b>ABS, uso general</b>	<b>1.05-1.07</b>	<b>5.9</b>	<b>6</b>	<b>385</b>	<b>160-200</b>	<b>71-93</b>
Acrílico, uso general	1.11-1.19	11.0	2.3	450-500	130-230	54-110
Acetatos celulósicos	1.2-1.3	3-8	1.1-6.8	250-600	140-220	60-104
Politetrafluoroetileno	2.1-2.3	1-4	2.5-4.0	400-500	550	288

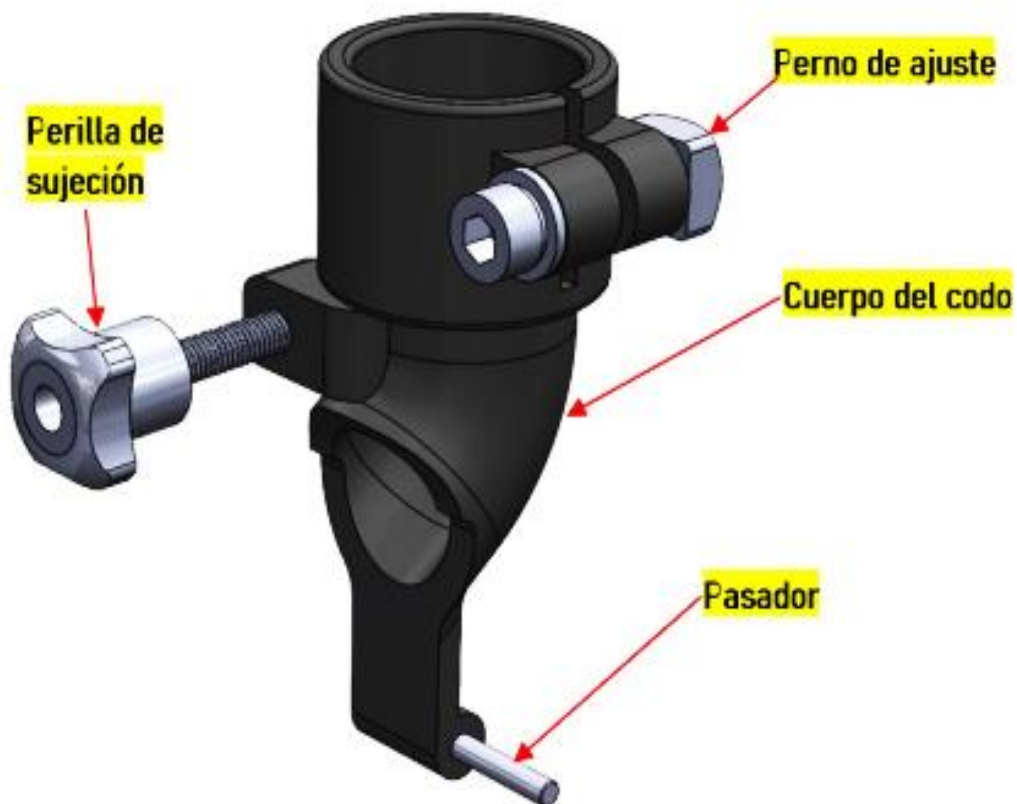
\*1000 psi = 6.9 MPa.  
 †Prueba Izod con muesca: 1 pie · lb/pulg = 53.38 J/m.  
 ‡1 V/mil = 39.4 V/mm.

El material elegido para la culata debe ser ligero, su principal objetivo es garantizar precisión y estabilidad.

Entre sus propiedades destacan su **rigidez, dureza y tenacidad**, lo que le confiere una gran estabilidad y **resistencia** a impactos o vibraciones.



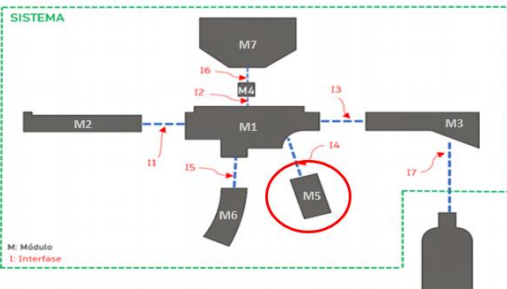
## Pieza cono de alimentación



- Densidad: 0.04-0.04 oz/cm<sup>3</sup>
- Viscosidad: 150-250 MPa (77.0 °F)
- Dureza: 76 Shore D
- Resistencia a la tracción: 30-45 MPa
- Alargamiento a la rotura: 30-50 %
- Resistencia a la flexión: 50-60 MPa
- Módulo flexible: 900-1200 MPa
- Resistencia al impacto IZOD: 50-60J/m

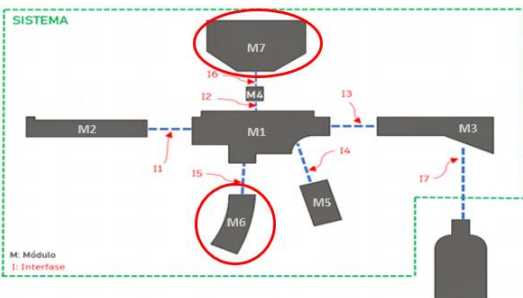
Resina Anycubic UV Tough es altamente resistente a la **compresión, estiramiento y flexión sin romperse**. Este tipo de resina es ampliamente aplicable a repuestos industriales que necesitan ser doblados, así como piezas de absorción de impactos.

## Pieza mango derecho e izquierdo



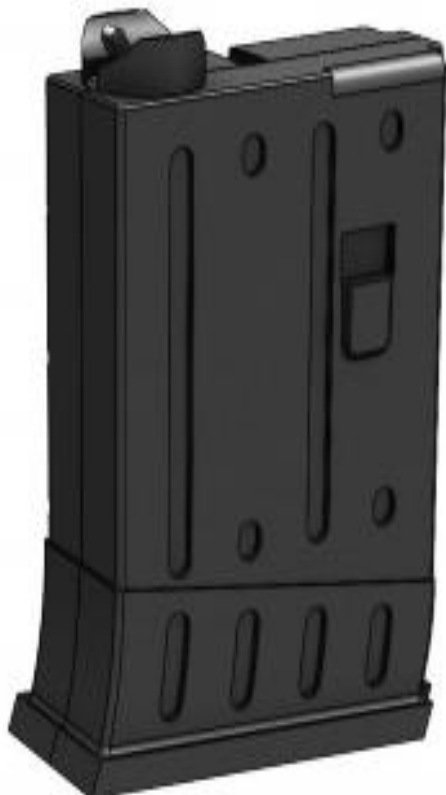
PROPIEDAD	PLA	ABS	PETG
Precio	20€ - 25€	20€ - 25€	25€ - 30€
T <sup>a</sup> fusión	200-215°C	220-240°C	230-250°C
T <sup>a</sup> cama caliente	0-40°C	90-110°C	60-90°C
Ventilador de capa	100%	0%	30-50%
Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]	1.24	1.07	1.27
Facilidad de impresión	Muy Alta	Muy baja	Alta
Calidad de impresión	Muy alta	Media	Alta
Resistencia	Alta	Media	Media-Baja
Rigidez	Muy alta	Media	Baja
Resistencia al impacto	Muy baja	Muy alta	Media
Resistencia térmica	Muy baja (30°C)	Muy alta (<100°C)	Alta (80°C)
Adhesión entre capas	Media	Baja	Alta
Olor	Nada	Mucho	Poco

Entre sus propiedades destacan su **rigidez, dureza y tenacidad**, lo que le confiere una gran estabilidad.



# Piezas Comerciales

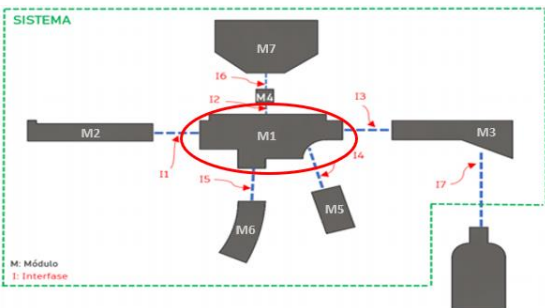
## Pieza cargador falso derecho e izquierdo



Material	Temperatura constante y funcionamiento		Resistencia a la atracción 73°F (22,8°C) seca como moldeada ASTM-D-638 (PSI)	Evaluación de inflamabilidad	Oxígeno index %	Resistencia a los rayos gamma	Resistencia UV	Especificaciones militares, federales y ASTM
	Max.	Min.						
Nylon 6/6 Resistente a los UV	185°F	-40°F	12000	94V-2	NA	1 x 10 rad	Muy buena	ASTM-D4066 PA181
	85°C	-40°C						



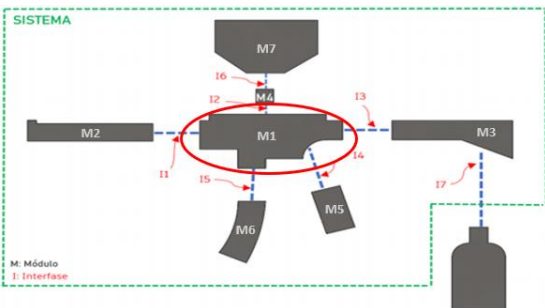
# Validación y Pruebas



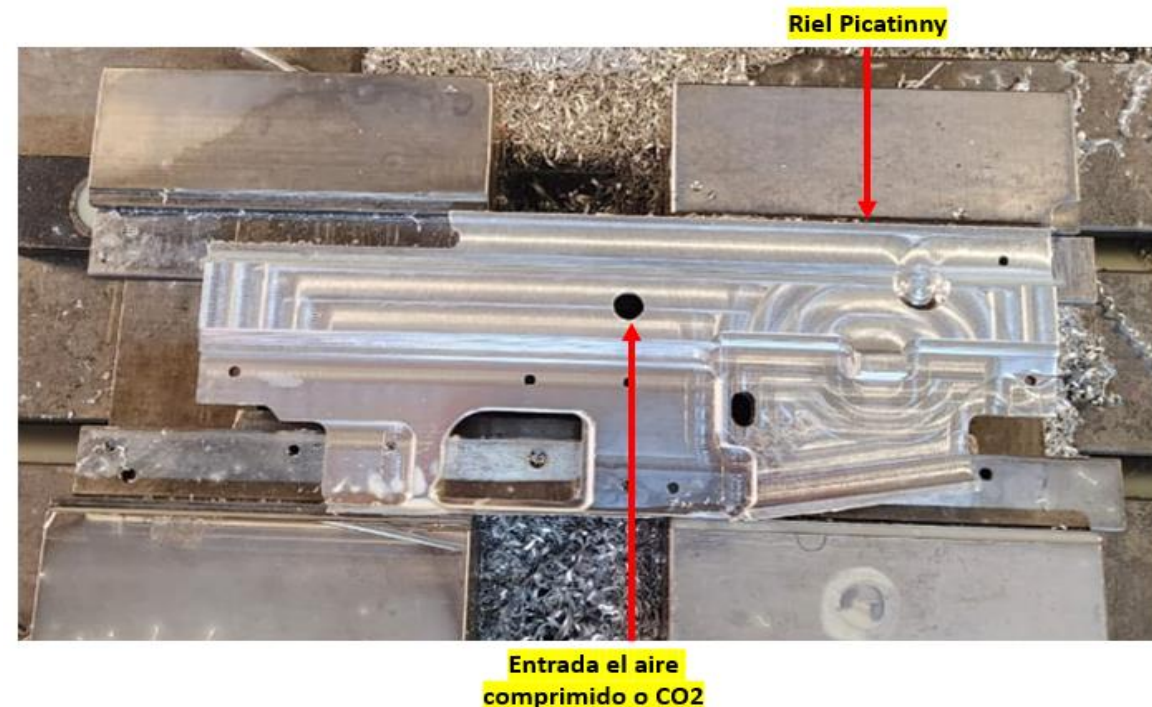
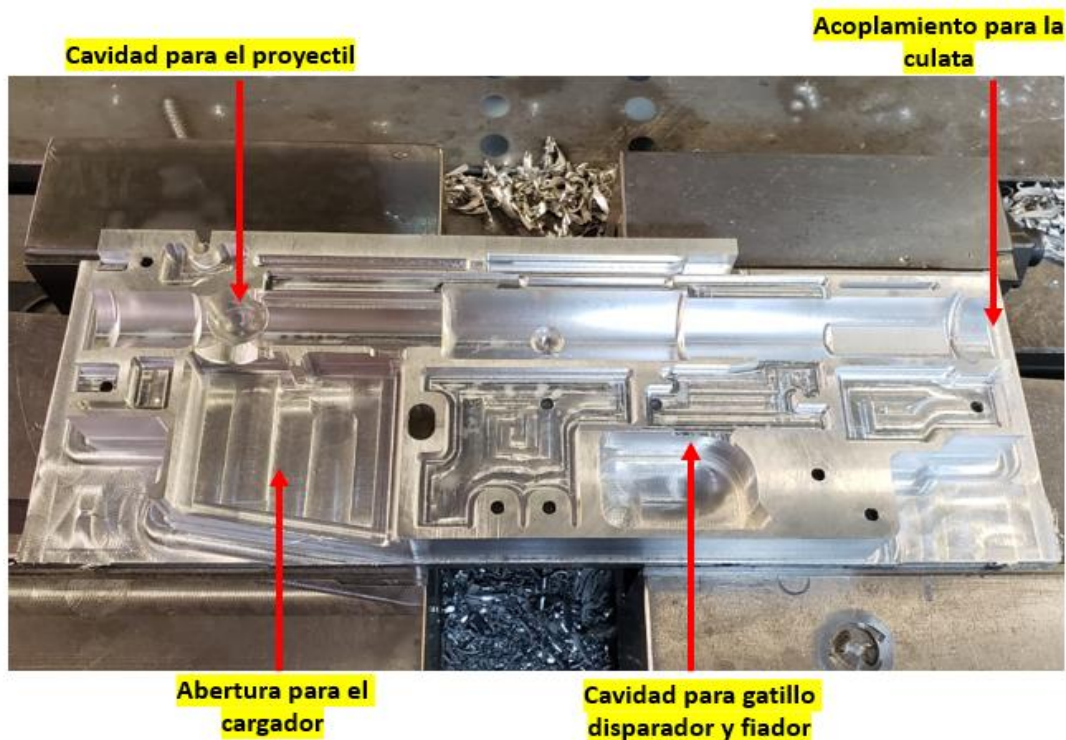
## Fabricación



La **estrategia de fabricación** del cuerpo del arma no-letal fue desarrollado mediante el uso de **software de simulación** (Mastercam 2022) y construido con tecnología de **Control Numérico Computacional** de precisión (FADAL VMC 3016).



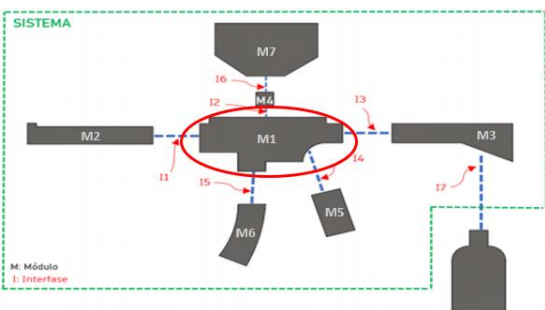
Para mecanizar el riel se consideró el estándar **STANAG 4694** que es aprobado por el **Grupo de Armamento del Ejército de la OTAN**. (Haight, 2023).



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

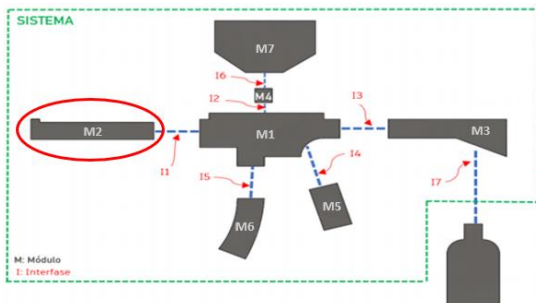
Parte posterior del cuerpo del arma no-letal



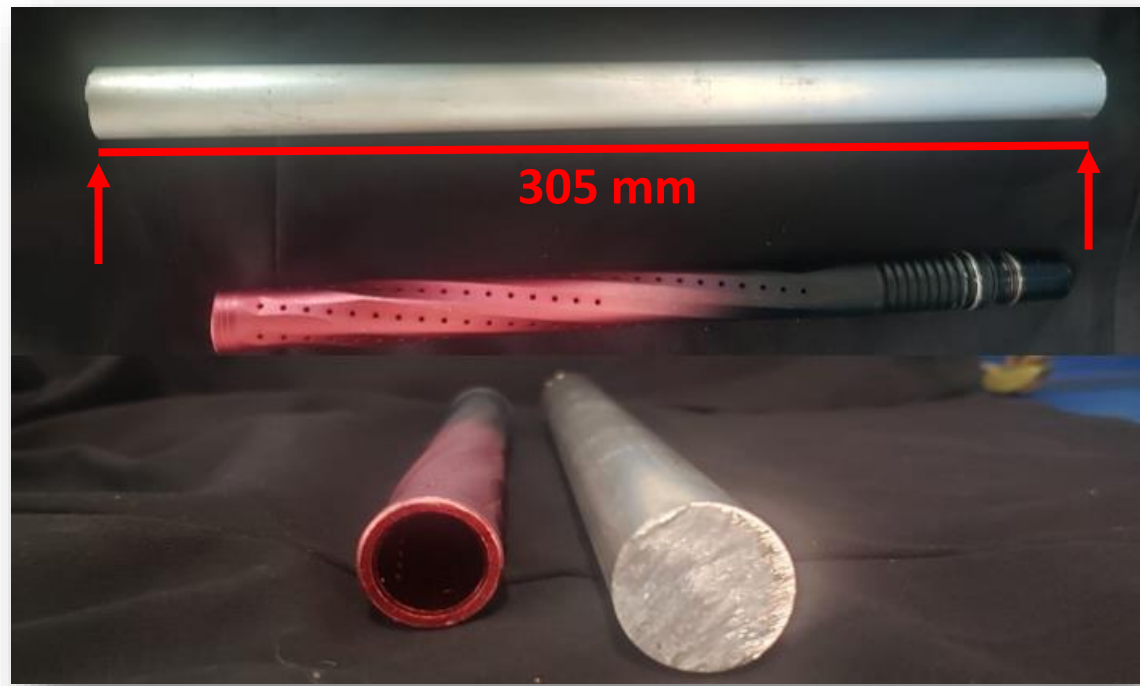


# Rosca métrica ISO 22 X 1.5 en el cuerpo del arma no-letal





# Tubo Cañón

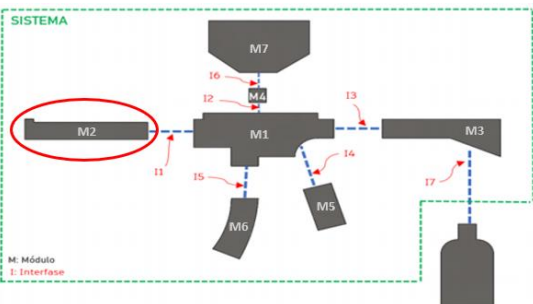


Barra de aluminio 7075-T6



Broca especial de agujeros profundos

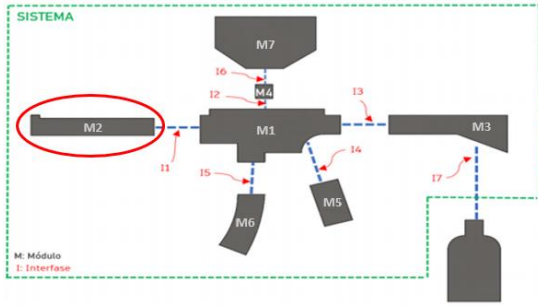




# Apagallamas



Mecanizado del apagallamas



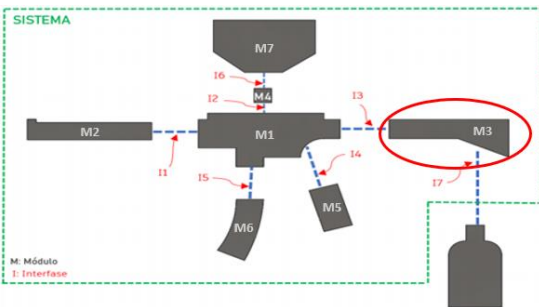
# Mecanizado de la Rosca ISO 22x 1.5

Mecanizado de la rosca del tubo cañón

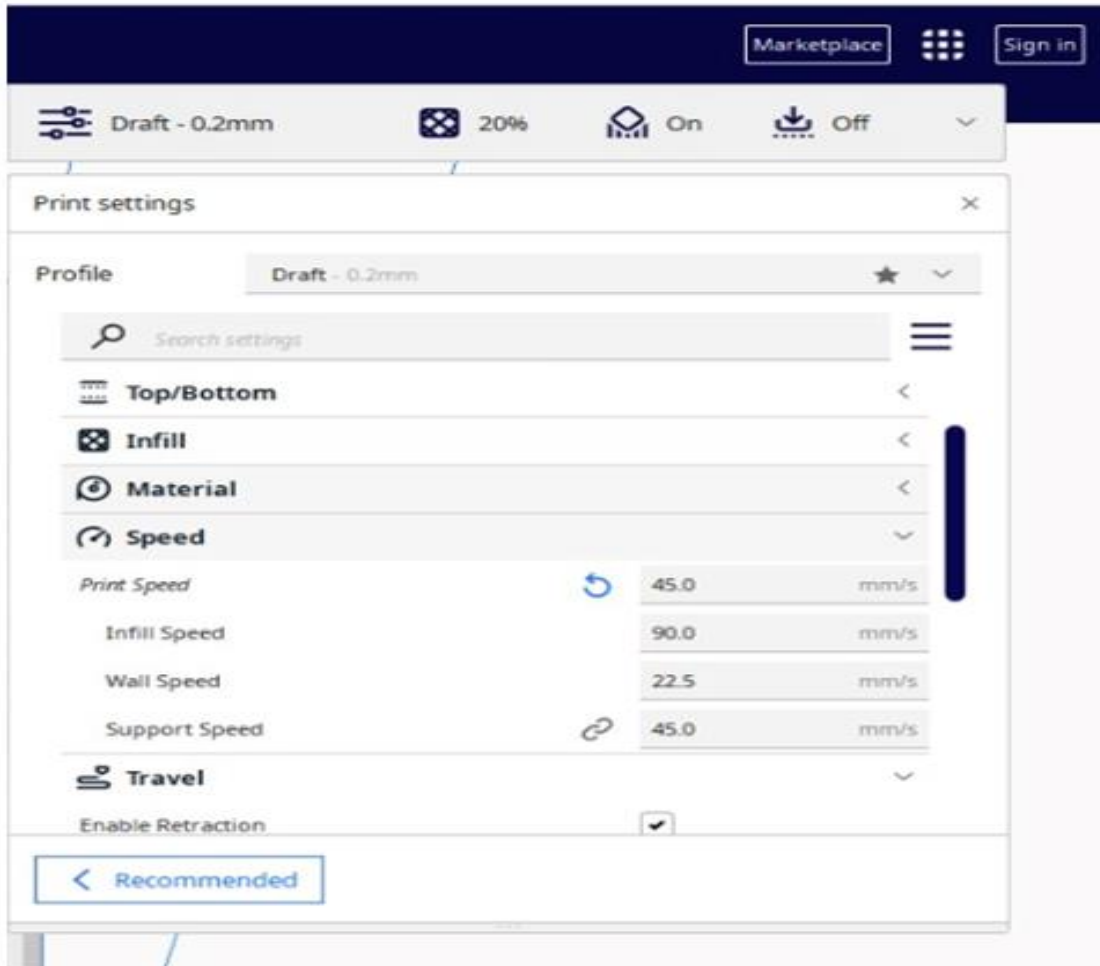


Previamente, se verificó que el buril de roscas se encuentre correctamente afilado y calce en la galga patrón de 60°

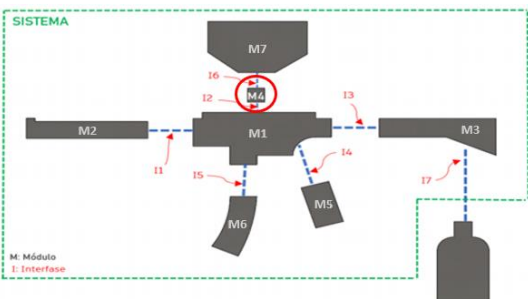




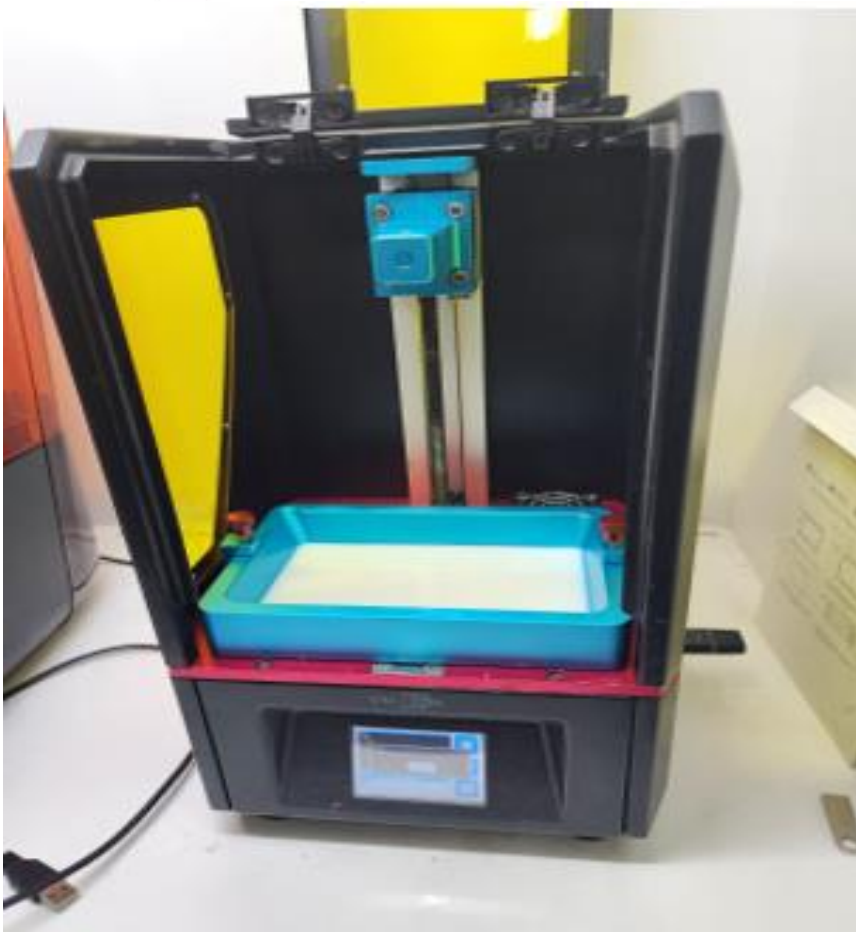
# Impresora Anet 3D Printer, modelo E12



Configuración del software Ultimaker Cura, para la impresión



# Impresora Anycubic Photon



Impresora Anycubic Photon, software Lychee Slicer Resin.



## Ensamblaje del arma no-lethal con piezas de aleación de aluminio 7075 T6, ABC, PLA Plus, resina, nylon 6.



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



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

## Pruebas de funcionamiento



a)

Se rastrilla el arma no-lethal a través de su manija de carga.



b)

Se presiona el gatillo disparador para liberar al percutor.



*a) Ingreso del cargador falso al cuerpo del arma*



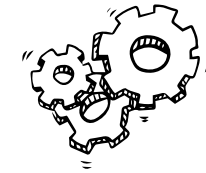
*b) Verificación de enganche entre el cargador y el pestillo*



*c) Liberación del cargado a través del pulsador.*

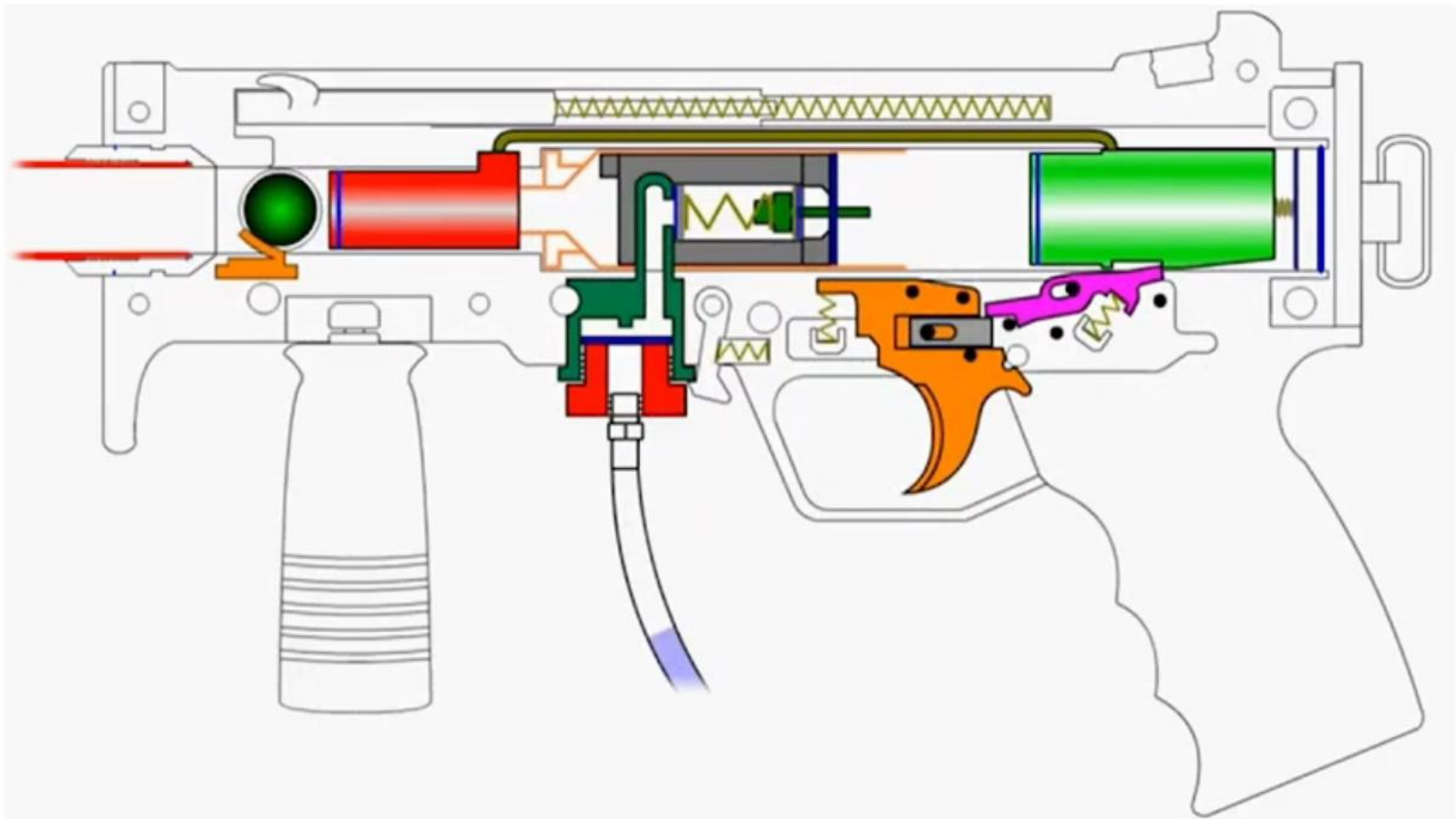


## Pruebas de Tiro



Al realizar los primeros disparos con el arma no-lethal, se constató que los mecanismos de carga **no regresaban automáticamente**, presentando de esta manera el primer inconveniente en las pruebas de funcionamiento.

# Pruebas de Tiro





Se desarmó el arma no-lethal para analizar el error y se verificó que el **pasador guía** y el resorte se encontraban **muy separados del martillo percutor**



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



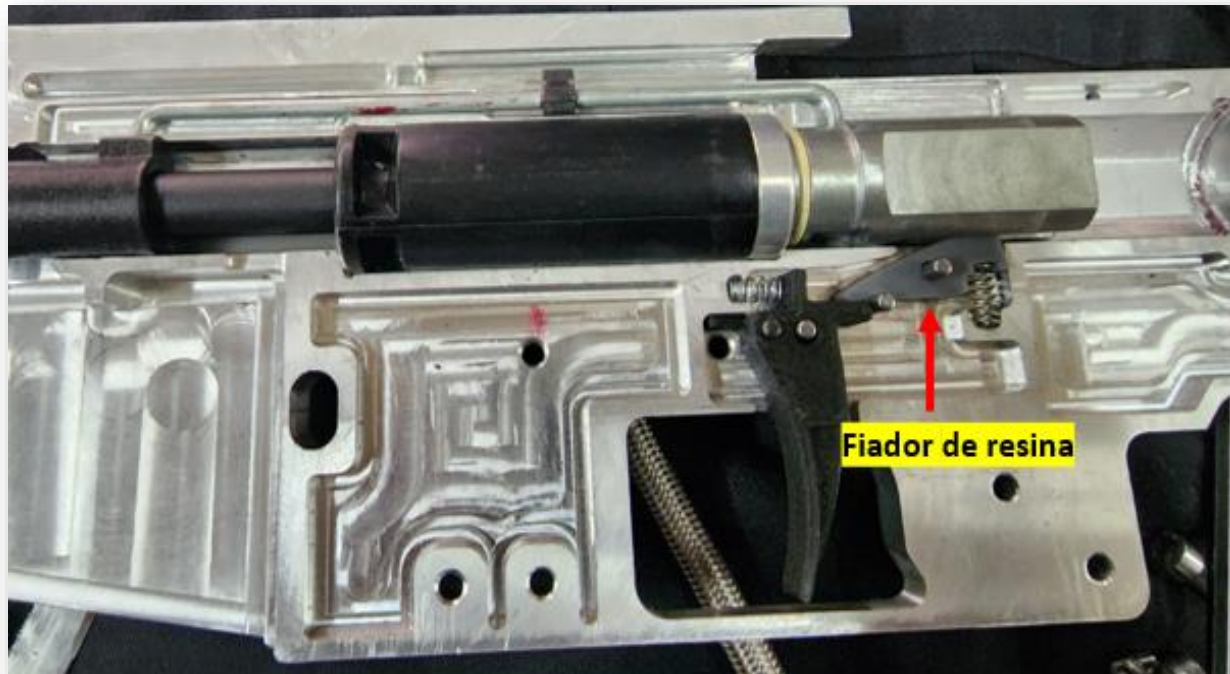


**Aproximadamente 50 disparos** con proyectiles de pintura, el martillo percutor no enganchaba con el fiador, se observó que el fiador de PLA Plus se encontraba roto por la fuerza ejercida por el martillo percutor y el CO2.



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

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



**Aproximadamente a los 300 disparos con los proyectiles de pintura vuelve a fallar el fiador.**



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





*Fiador y rabillo disparador fabricados en aluminio 7075-T6*



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



## Video de prueba 1: funcionamiento del arma no-letal





Video de prueba 2: funcionamiento del arma no-letal



# Validación



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

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

Energía de Impacto	Gravedad de lesión
Menos de 20 J	Seguro/bajo
Entre 40-122 J	Peligroso
Mas de 122 J	Región de daño severo

*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.*



## *Especificaciones técnicas del prototipo desarrollado*

<b>Datos técnicos</b>	<b>Especificaciones</b>
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 CO <sub>2</sub>
Alcance efectivo medio	45 m (150 pies)
Velocidad	108,108 m/s (354 pies/s)
Sistema de disparo	Mecánico

## Conclusiones

- **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-lethal. Ya que lo común de este tipo de armas es de ser desarrollado en sistemas de función por inyección.
- **Se estableció** que el **procedimiento constructivo** del proceso de fabricación del arma no-lethal, se basa principalmente en **el diseño y simulación previo a la fabricación**, ya que esto nos permite minimizar de mejor manera los errores que se pudieron haber presentado en la elaboración del arma no-lethal.
- Mediante el uso del software de Elementos Finitos (MEF) realizó el **análisis de convergencia de los sistemas más comprometidos en el arma no-lethal**, donde se evidencio que los factores de seguridad son superiores a 2, con lo cual se asegura que dichos sistemas no fallarán debido a las cargas sometidas.

## Conclusiones

- **Se obtuvo una discrepancia** en los planos de despiece al momento de la fabricación del fiador, debido a que la pieza original tenía un espesor de 6.30mm y al fabricarla a dicha medida el cuerpo del arma no-letal de aluminio no permitía que las dos partes se cierran, ocasionando fallas en los mecanismos de carga. Por lo tanto, se fabricó el fiador con un espesor de 6 mm, solucionando de esta manera el inconveniente presentado.



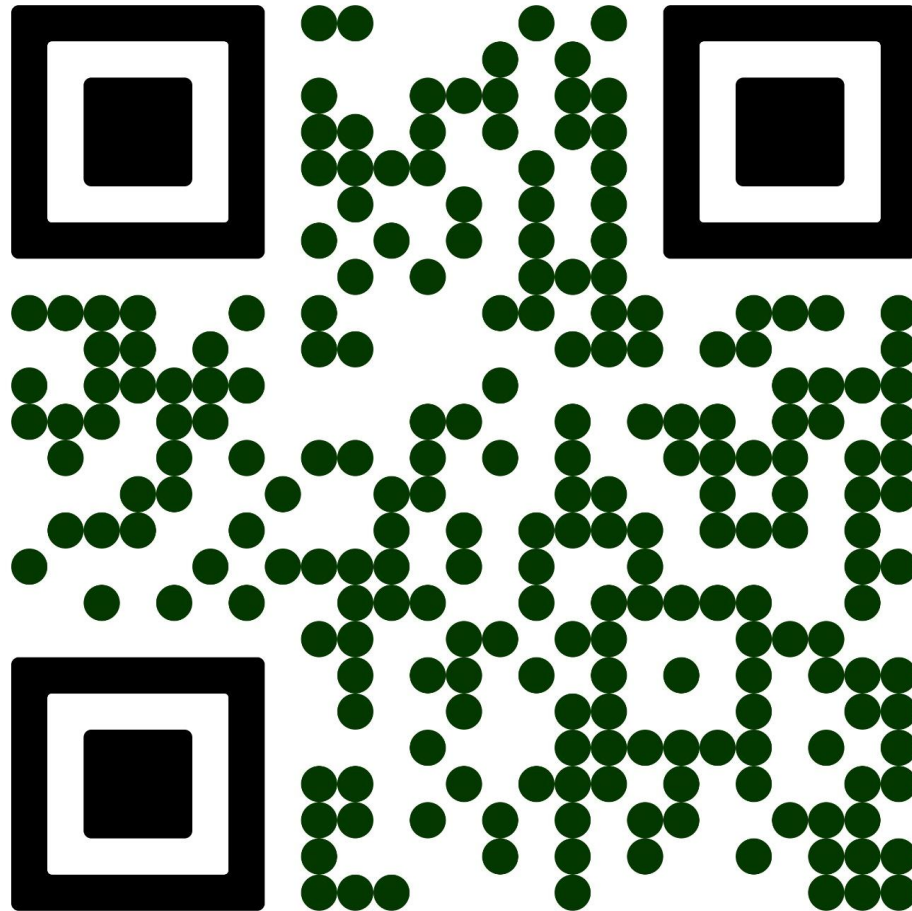
## Recomendaciones

- Se recomienda **adquirir nueva tecnología** para el laboratorio de procesos de manufactura, ya que al contar **nuevos procesos productivos** esto nos permitirá tener mayor capacidad para poder desarrollar de tecnología militar.
- Se pide que al momento de realizar el mecanizado de las piezas, **se respeten las tolerancias dimensionales y geométricas** de cada componente, al no hacerlo se corre el riesgo que las piezas no ingresen en las cavidades correspondientes o que generen un mayor desgaste en las mismas, causando que el prototipo no dispare o no funcione en absoluto.
- Se recomienda continuar con la validación del prototipo experimental, mediante normas y procedimientos internacionales, para aprobar el uso de este tipo de armamento no- letal en incidentes de desorden publico.

# Recomendaciones



Manual de usuario





# Trabajos Futuros

El proyecto forma parte de una investigación, que cubre varias actividades en el transcurso de seis semestres.

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

# Agradecimiento

