

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

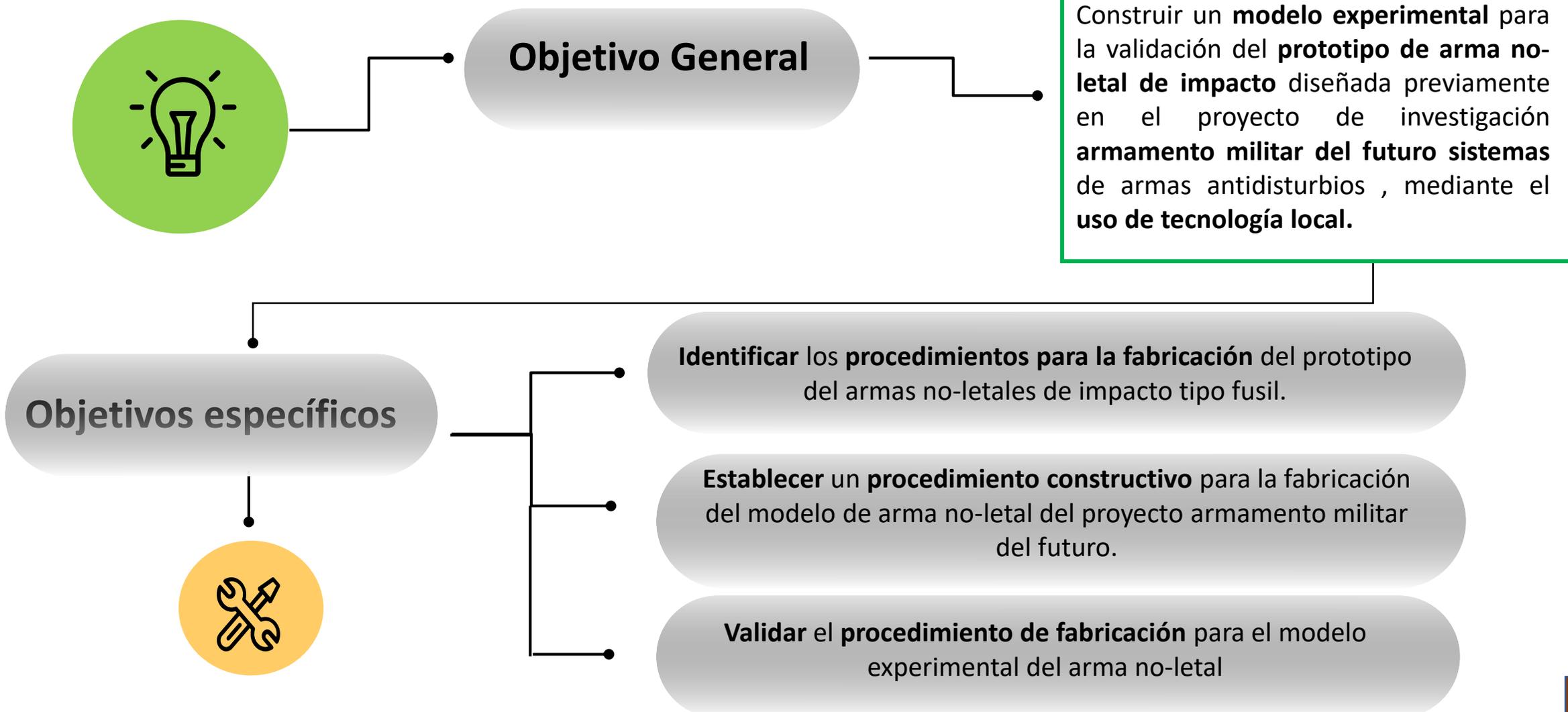


- En octubre de 2019 se dieron 11 días de disturbios en Ecuador, iniciados por varios grupos sociales, en estos días de protestas, la frecuencia de los hechos de **violencia se incrementaron drásticamente** causando daños a bienes públicos y privados

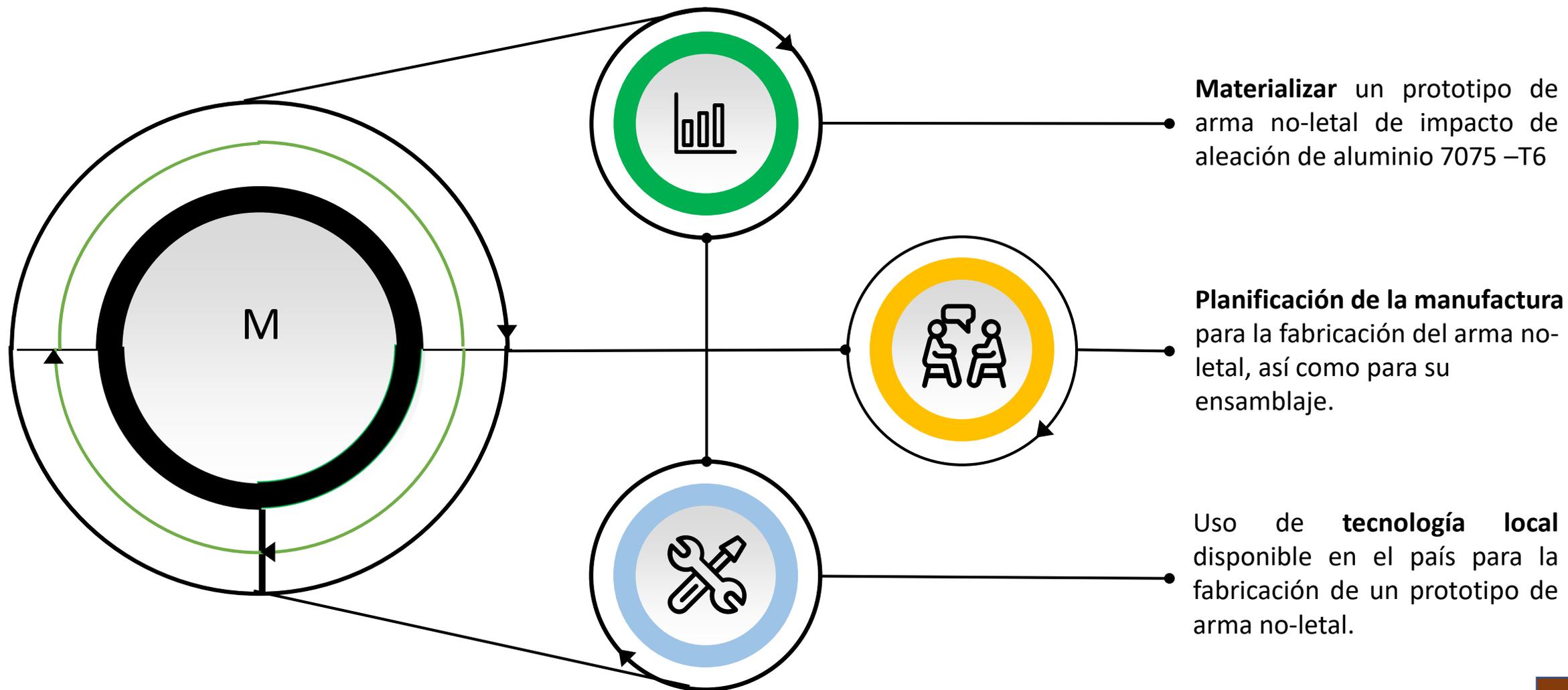
- Según (Puente, 2020), los informes presentados por el **Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas**, indicaron que las armas no-letales con que contaban los militares eran **“insuficiente”** y en algunos casos **“obsoletos”**.

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

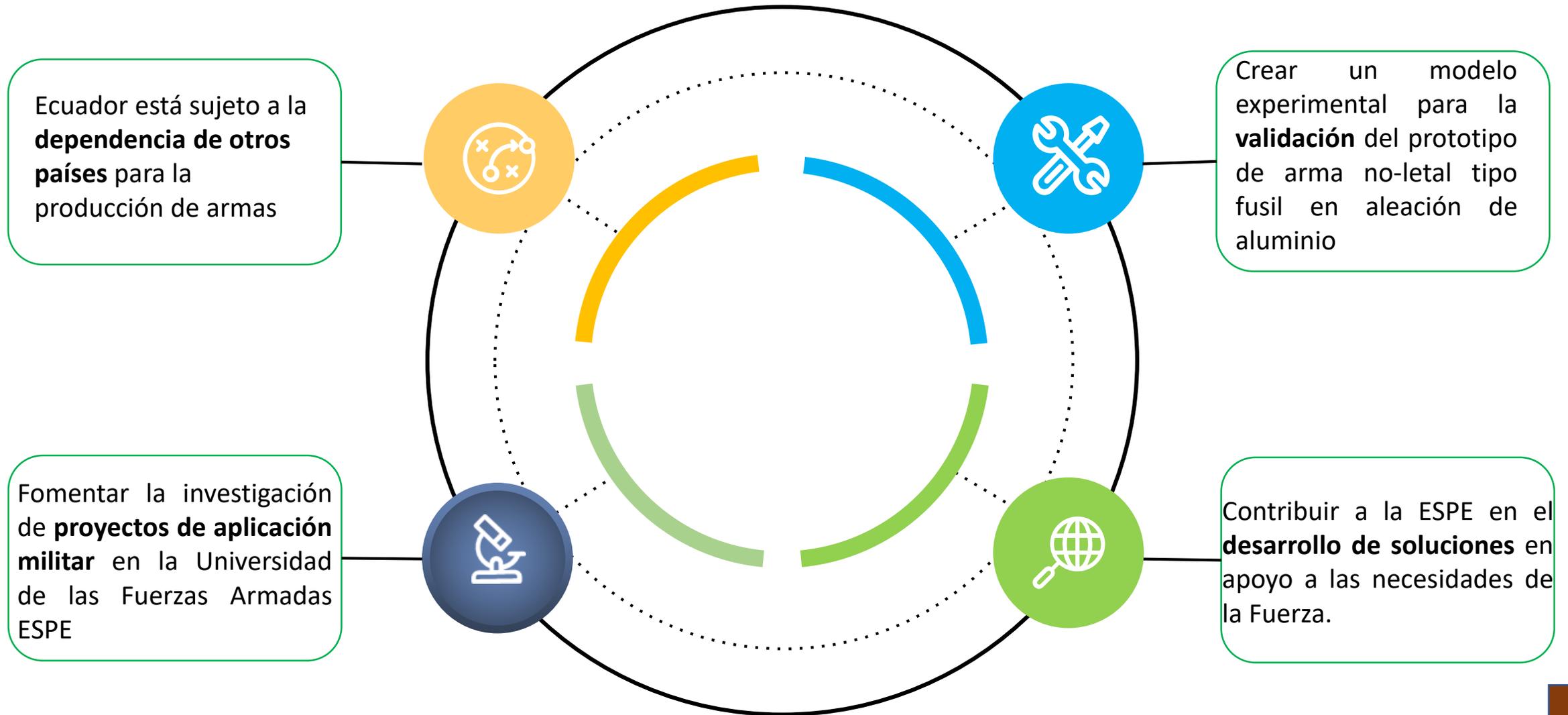
Objetivos



Alcance del proyecto



Justificación e Importancia



Estado del Arte

Ingeniería inversa

Diseño y simulación de un prototipo de arma no-letal de impacto por energía cinética para munición con agentes RCAs con capacidad para adaptarse a un vehículo táctico militar.

Desmontaje de las marcadoras



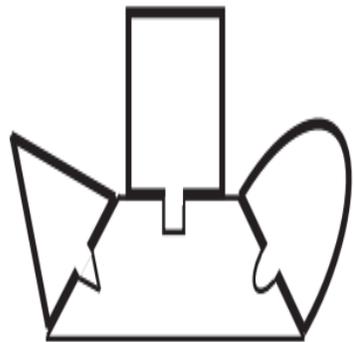
Marcadoras Comerciales



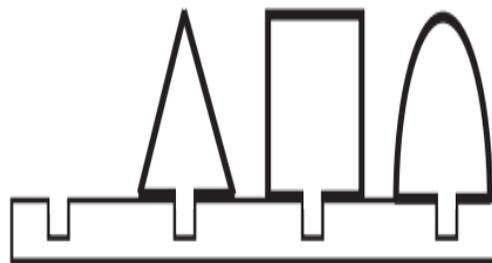
Estado del Arte

(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**.

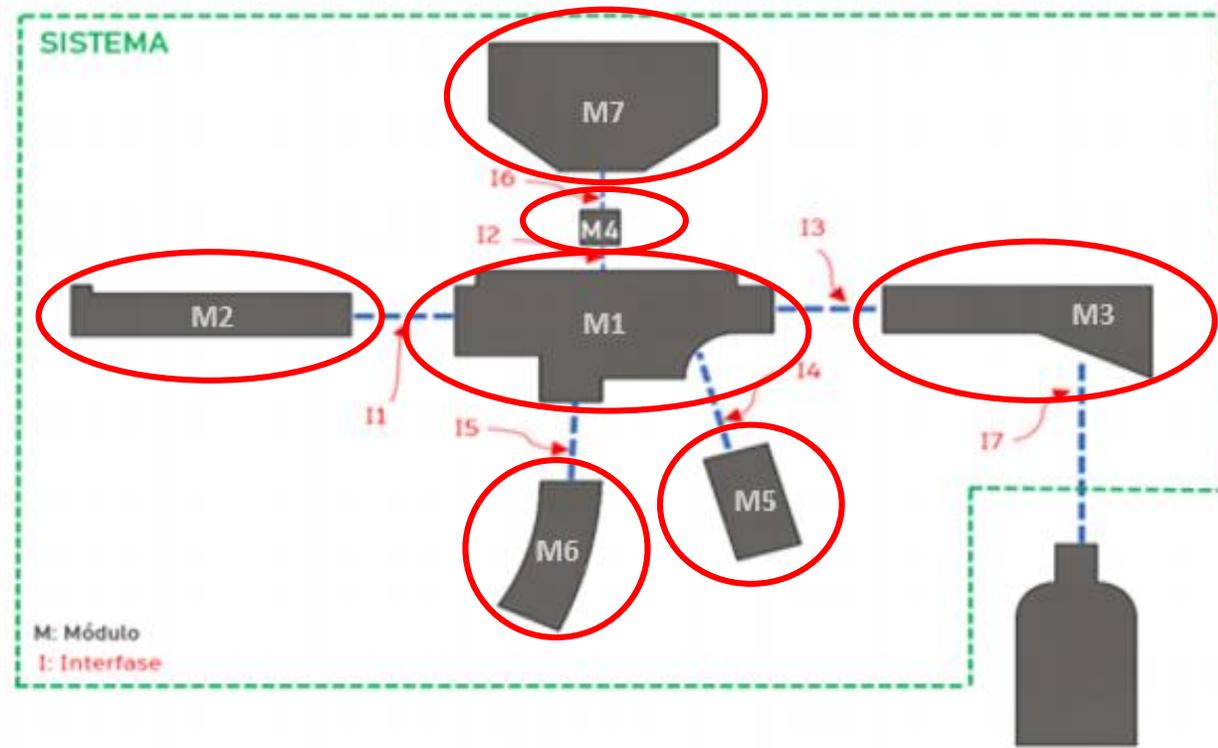


➔ Maneja interfaces que son todas del mismo tipo, pero **ningún elemento conecta con las demás partes**.

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

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 sí.

Módulos e interfases



Esquema modular del prototipo

| | 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 |
| Interfases | 1 | Cuerpo-Tubo cañón |
| | 2 | Cuerpo- Codo de alimentación |
| | 3 | Cuerpo- Culata |
| | 4 | Cuerpo- Mango |
| | 5 | Cuerpo- Cargador |
| | 6 | Codo de alimentación-Tolva |
| | 7 | Culata-Suministros de gas |

Video desacople del arma no-letal

DESACOPLE DEL ARMA NO-LETAL



Manufactura Aditiva

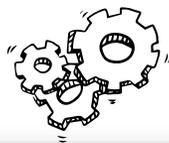


Partes impresas del arma no-letal P1



Partes impresas del arma no-letal P2

Ensamblaje

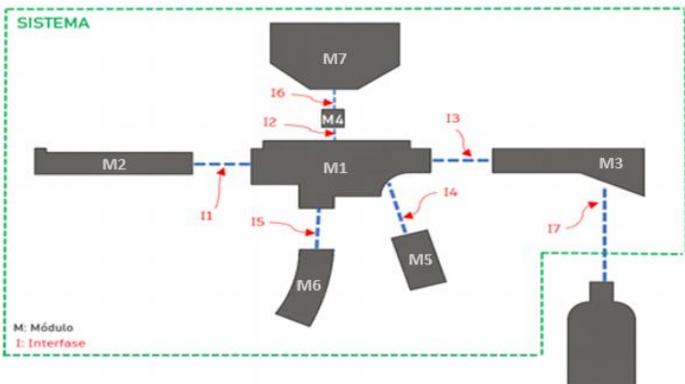


Ensamblaje completo del arma no-lethal

Prototipado y Pruebas

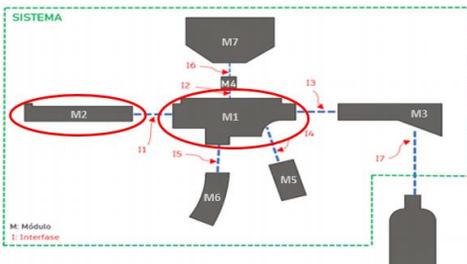
Pruebas de funcionamiento



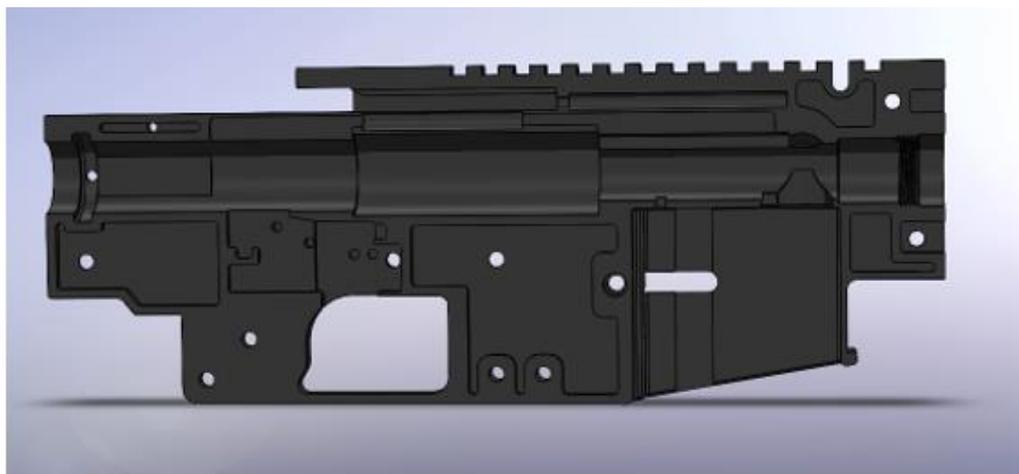


Prototipo Experimental

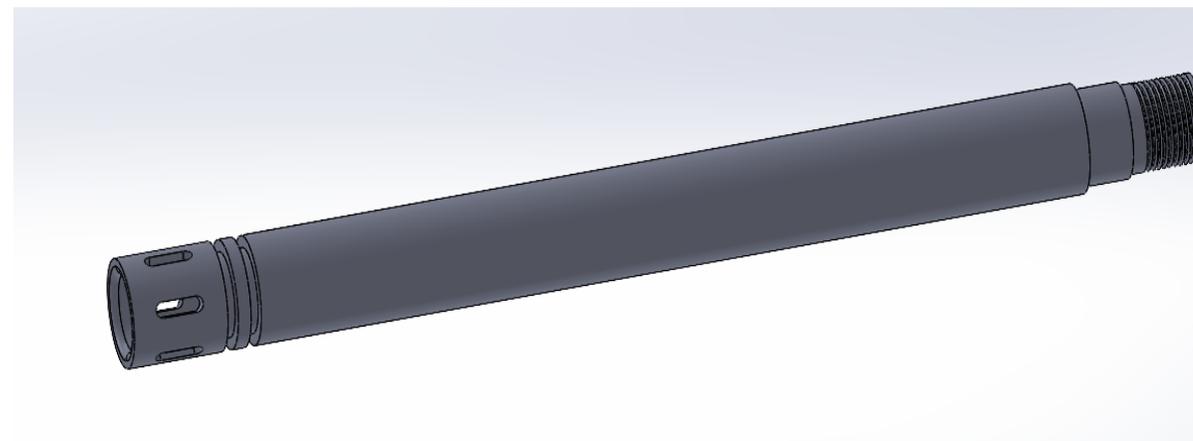
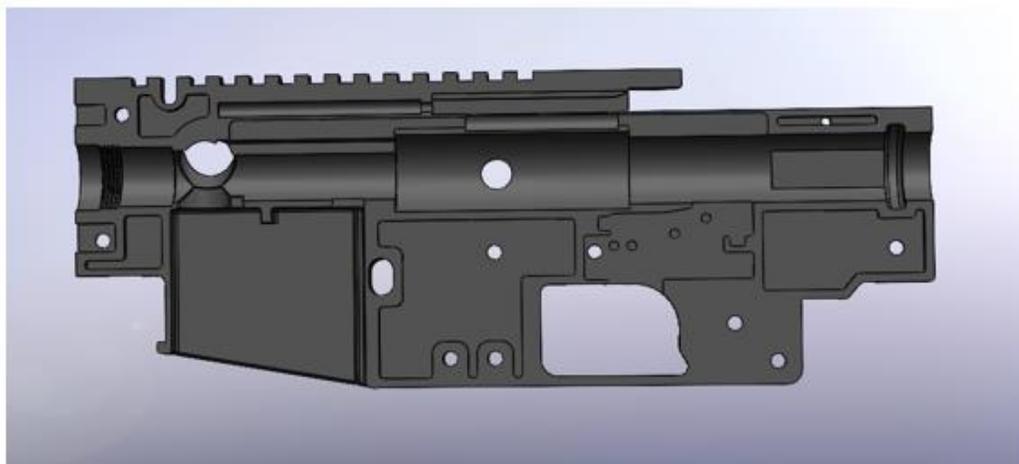




Cuerpo del arma y Tubo cañón

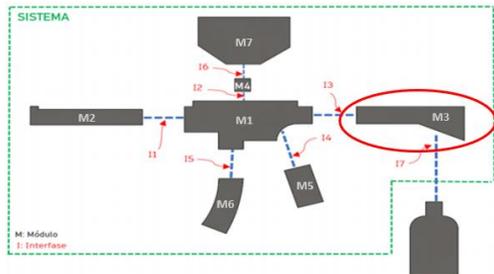


b)

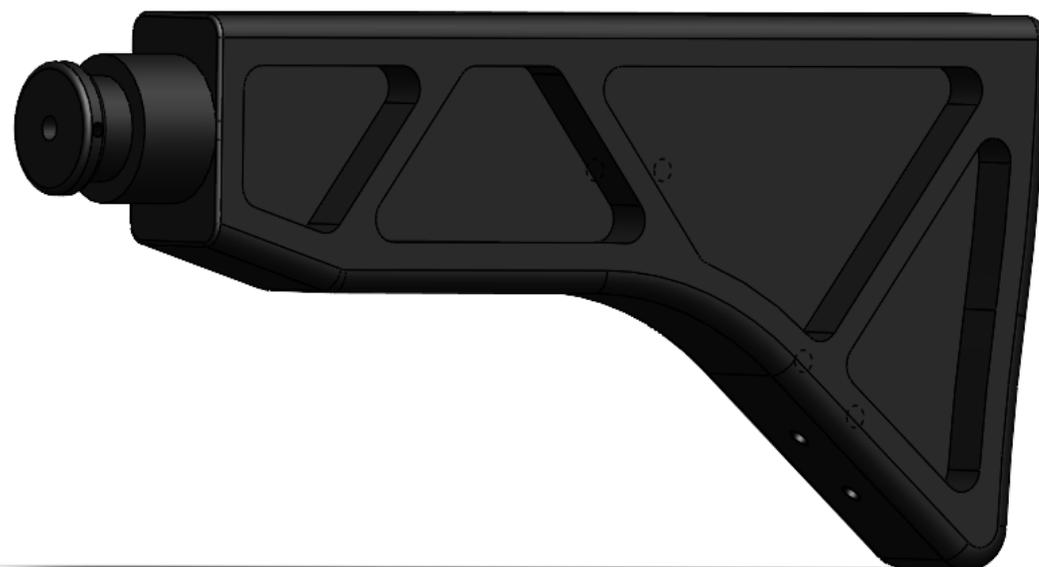


| Propiedades Mecánicas | Al 7075 -T6 | Aluminio |
|--|-------------|----------|
| Módulo de elasticidad (N/mm ²) | 71.500 | 68.646 |
| Resistencia a la tracción (N/mm ²) | 430-590 | 125 |
| Alargamiento A (%) | 3,1 | 16 |
| Dureza (HBW) | 146-150 | 20 |

- 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 ³) | Resistencia a la tensión (×1000 psi)* | Resistencia al impacto, Izod (pie · lb/pulg)† | Resistencia dieléctrica (V/mil)‡ | Temp. máx. de uso (sin carga) | |
|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|---|----------------------------------|-------------------------------|---------|
| | | | | | °F | °C |
| 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 |
| ABS, uso general | 1.05-1.07 | 5.9 | 6 | 385 | 160-200 | 71-93 |
| Acrílico, uso general | 1.11-1.19 | 11.0 | 2.3 | 450-500 | 130-230 | 54-110 |
| Acetatos celulósicos | 1.2-1.3 | 3-8 | 1.1-6.8 | 250-600 | 140-220 | 60-104 |
| Politetrafluoroetileno | 2.1-2.3 | 1-4 | 2.5-4.0 | 400-500 | 550 | 288 |

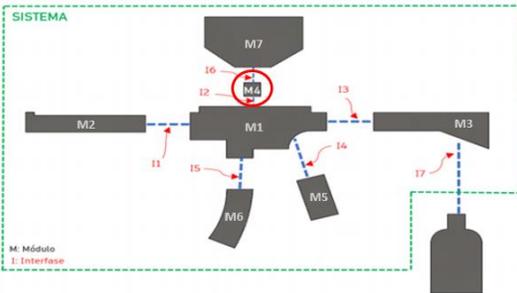
*1000 psi = 6.9 MPa.

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

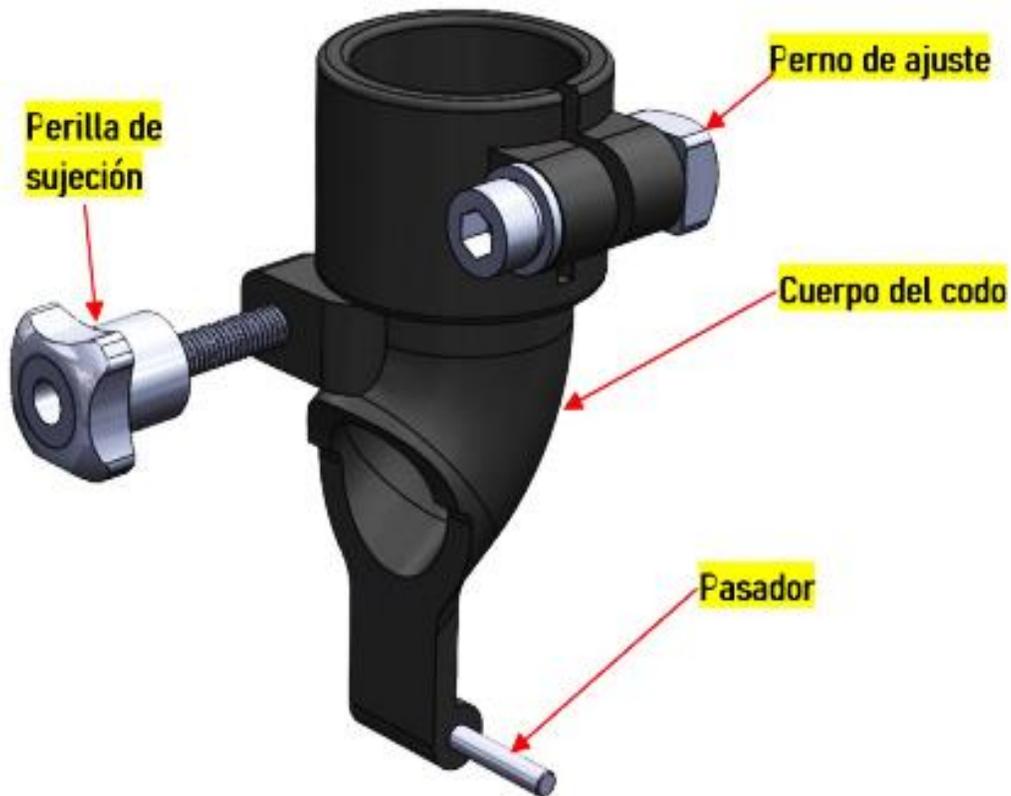
‡1 V/mil = 39.4 V/mm.

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.



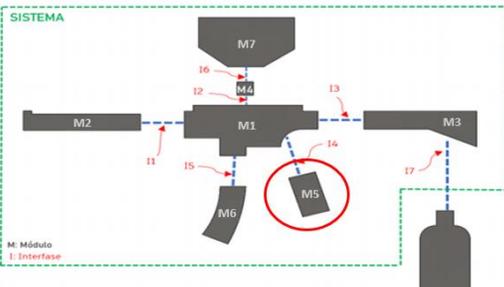
Pieza cono de alimentación



- Densidad: 0.04-0.04 oz/cm³
- 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

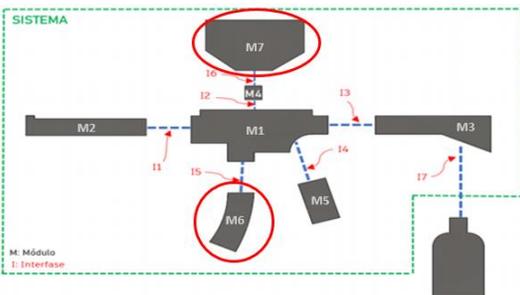
Resina Anycubic UV Tough es altamente resistente a la **compresión, estiramiento y flexión sin romperse**. Este tipo de resina es ampliamente aplicable a repuestos industriales que necesitan ser doblados, así como piezas de absorción de impactos.

Pieza mango derecho e izquierdo



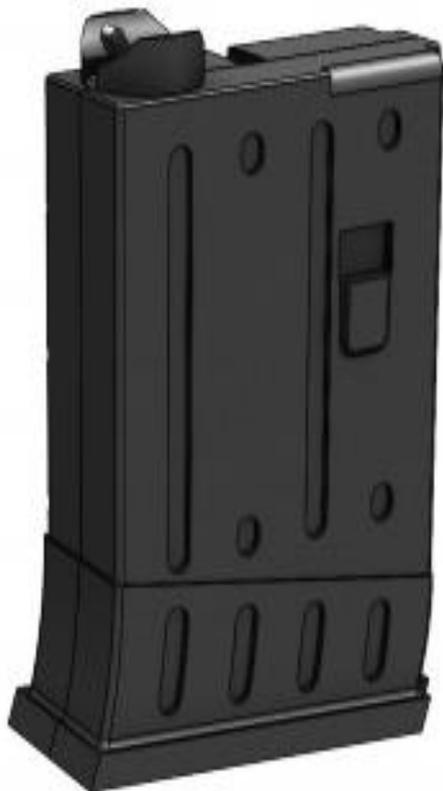
| PROPIEDAD | PLA | ABS | PETG |
|-------------------------------|-----------------|-------------------|-------------|
| Precio | 20€ - 25€ | 20€ - 25€ | 25€ - 30€ |
| T ^a fusión | 200-215°C | 220-240°C | 230-250°C |
| T ^a cama caliente | 0-40°C | 90-110°C | 60-90°C |
| Ventilador de capa | 100% | 0% | 30-50% |
| Densidad [g/cm ³] | 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.



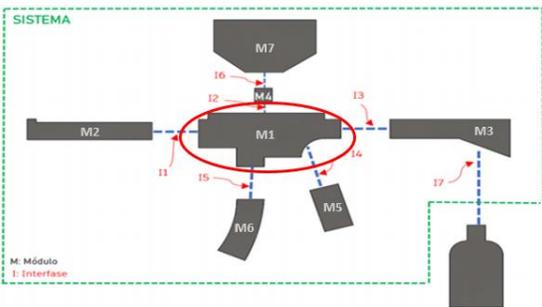
Piezas Comerciales

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 | | | | | | |

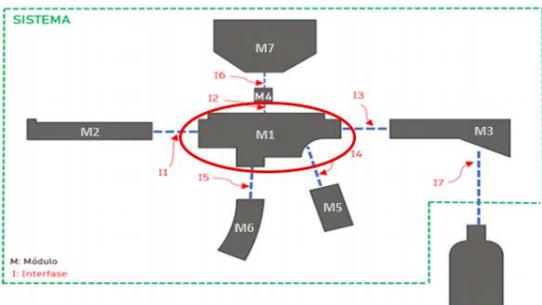
Validación y Pruebas



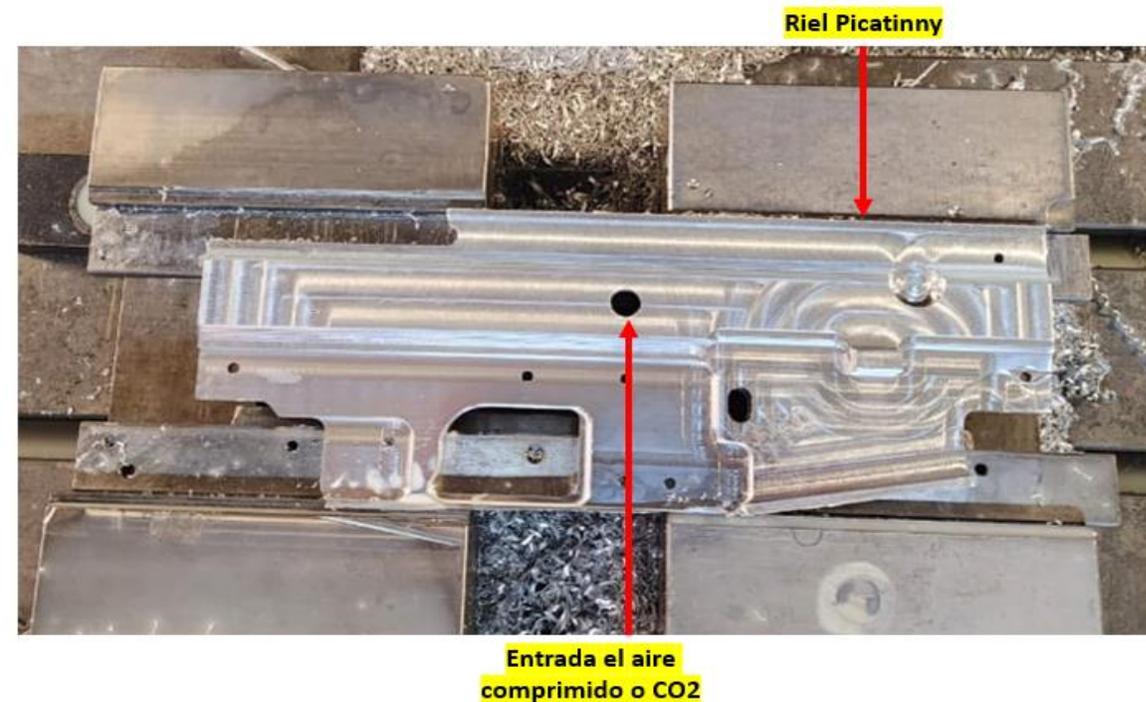
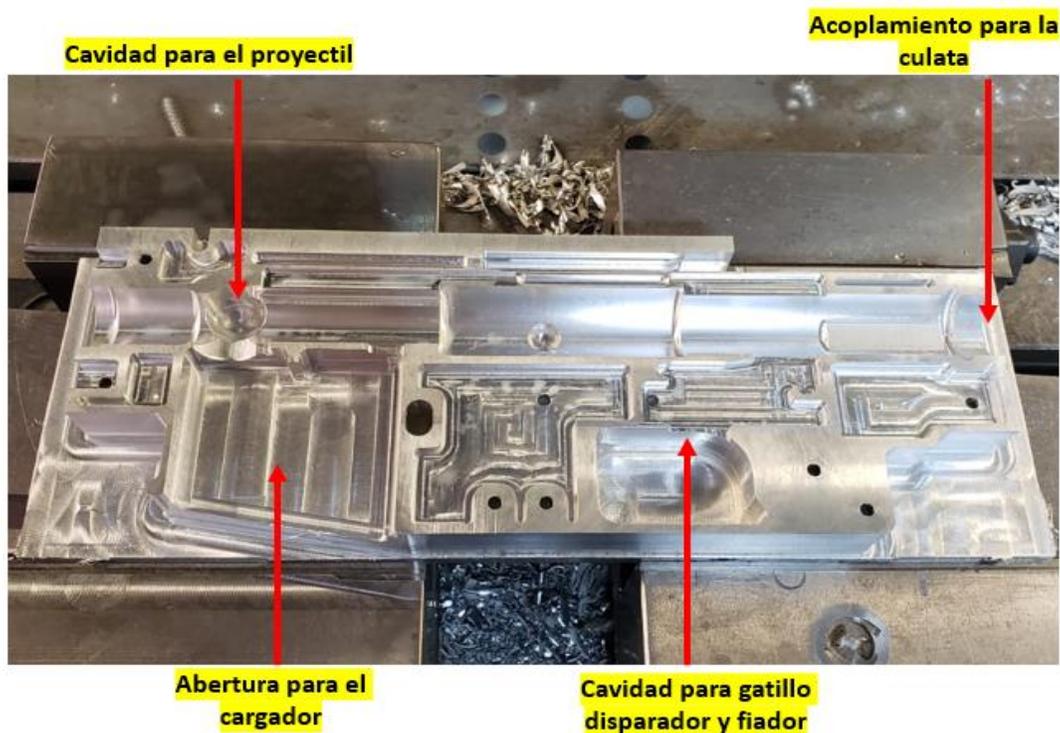
Fabricación



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).

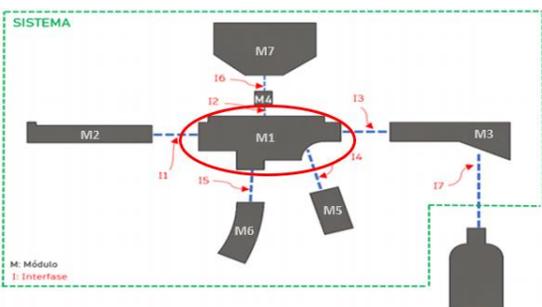


Para mecanizar el riel se consideró el estándar **STANAG 4694** que es aprobado por el **Grupo de Armamento del Ejército de la OTAN**. (Haight, 2023).

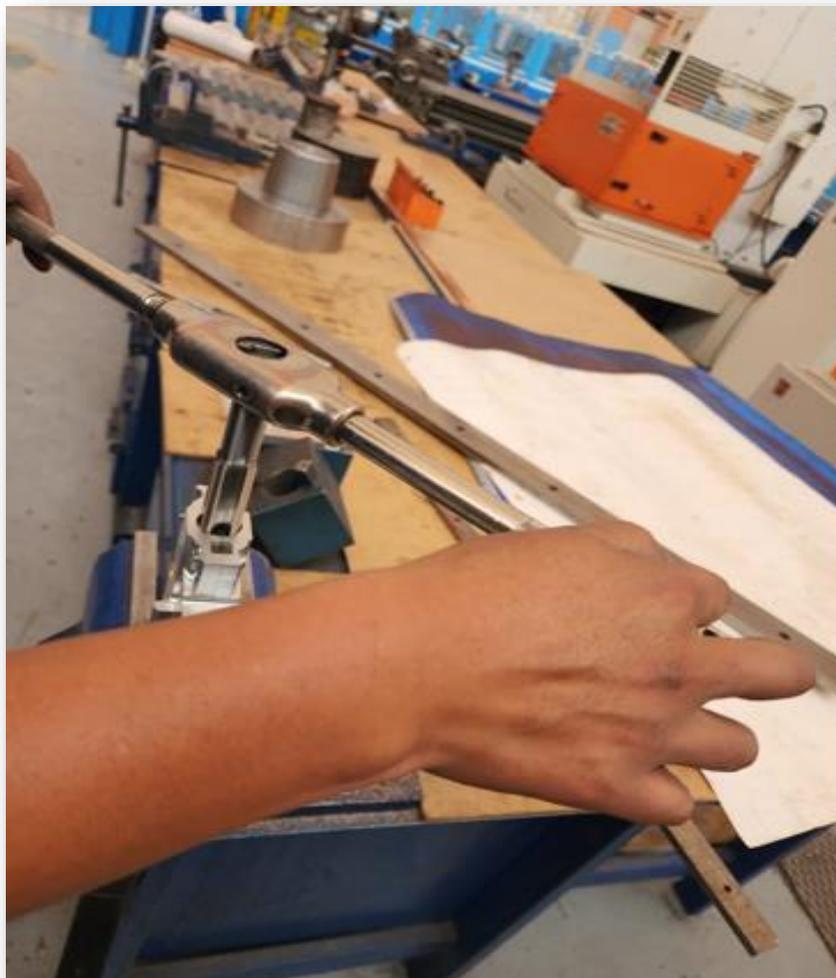


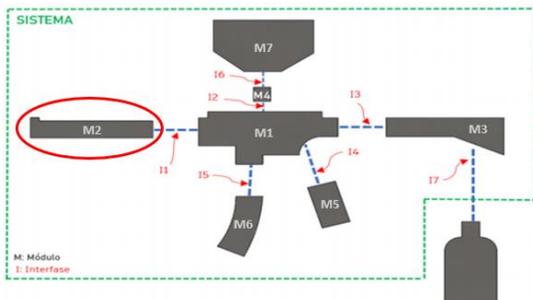
Cuerpo del arma no-letal con las cavidades para sus elementos

Parte posterior del cuerpo del arma no-letal

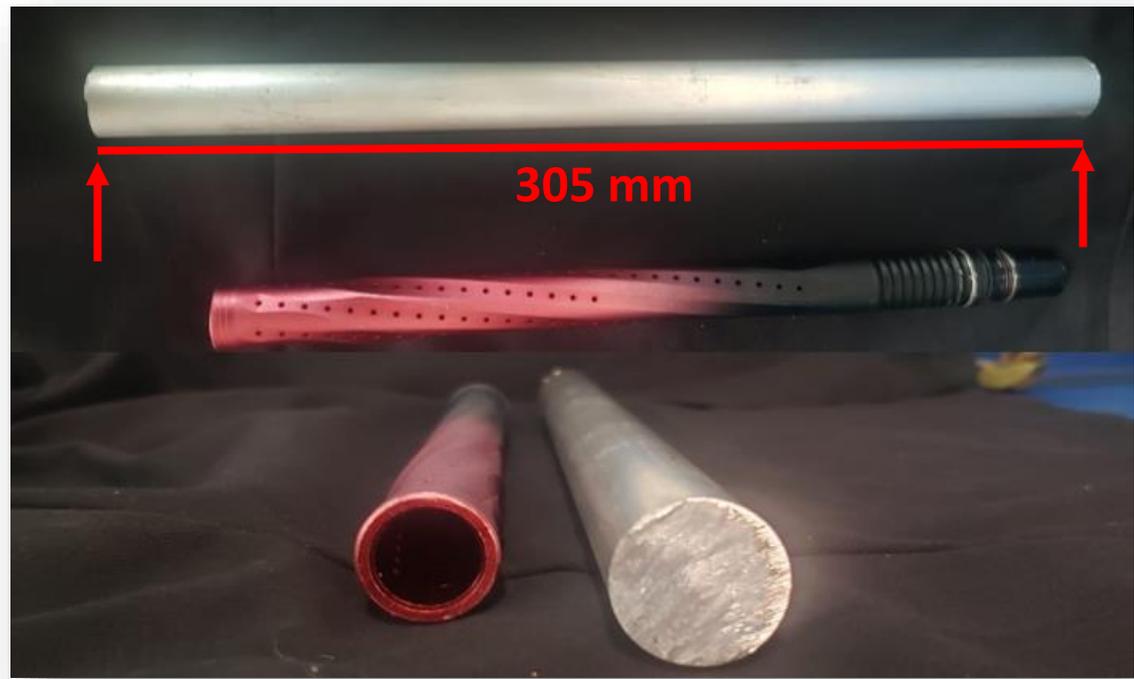


Rosca métrica ISO 22 X 1.5 en el cuerpo del arma no-letal





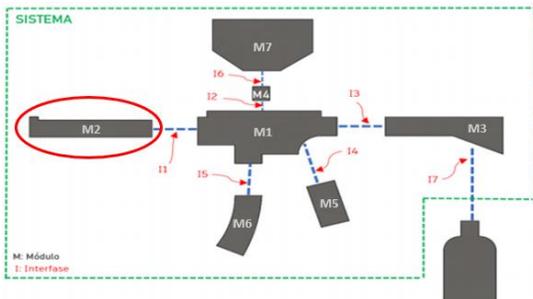
Tubo Cañón



Barra de aluminio 7075-T6



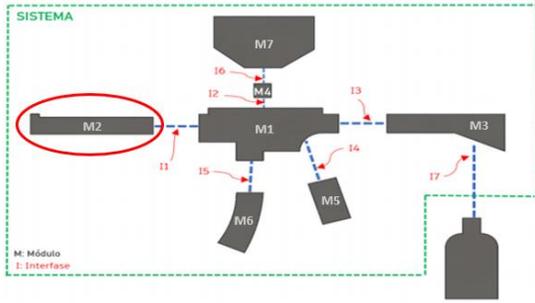
Broca especial de agujeros profundos



Apagallamas

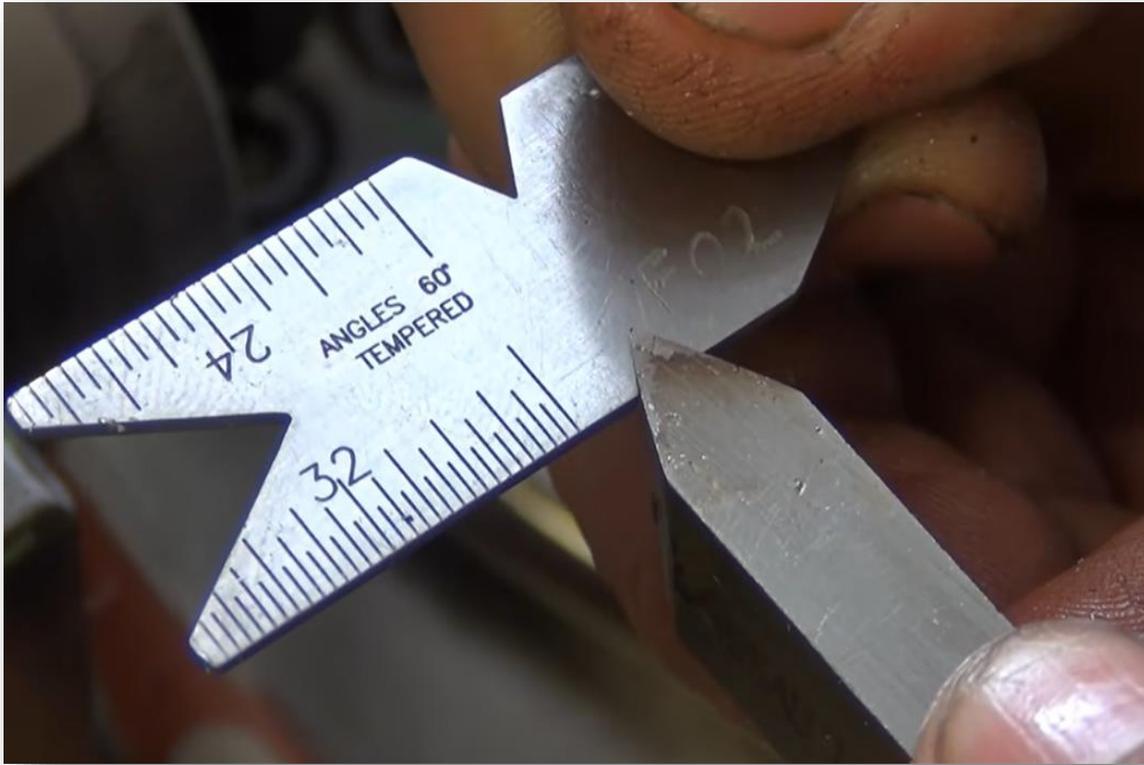


Mecanizado del apagallamas



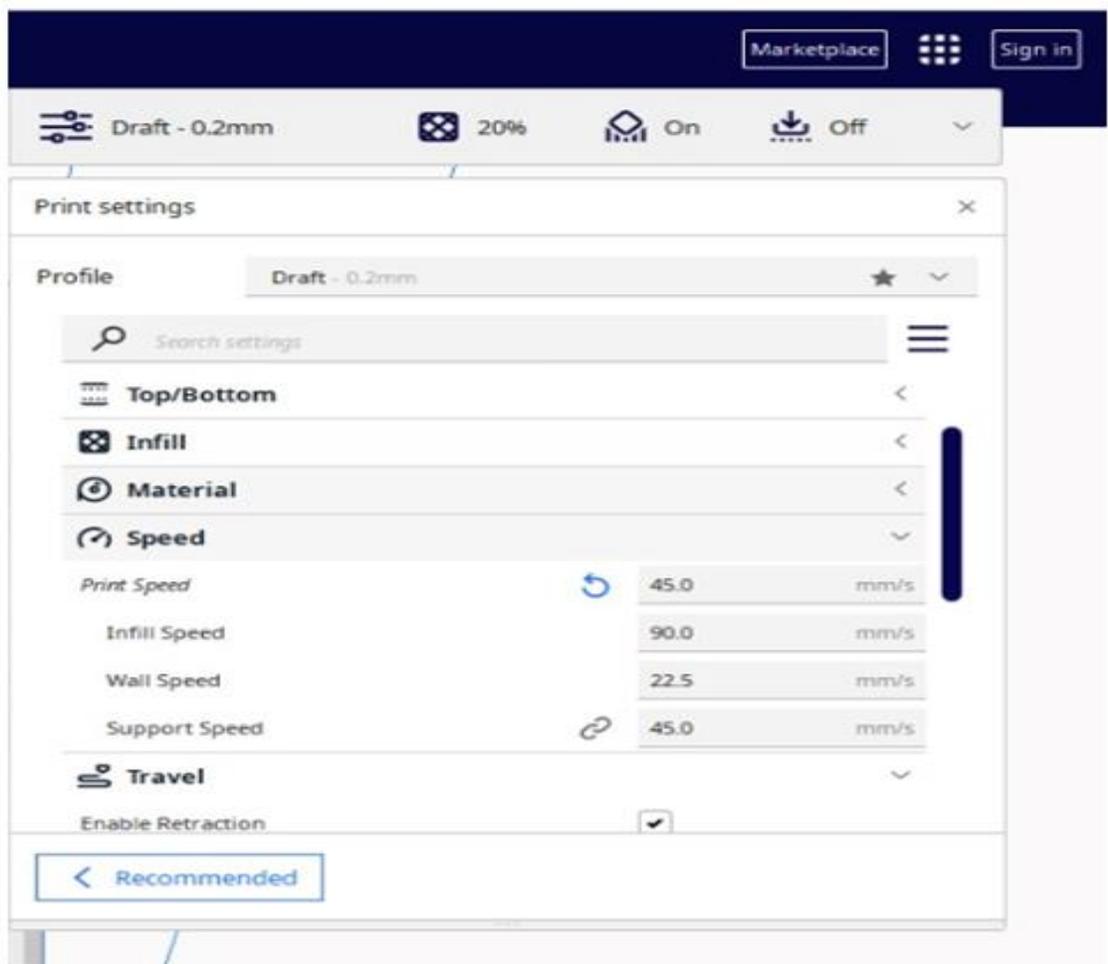
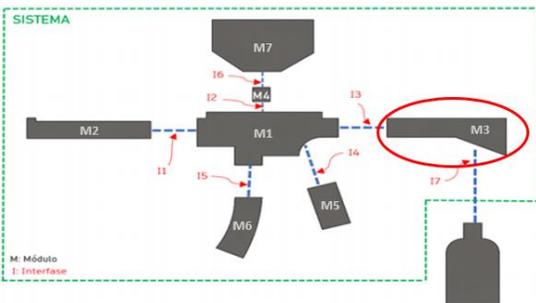
Mecanizado de la Rosca ISO 22x 1.5

Mecanizado de la rosca del tubo cañón

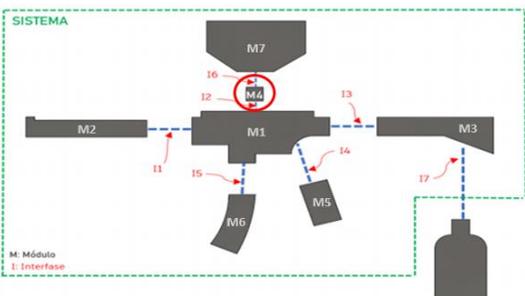


Previamente, se verificó que el buril de roscas se encuentre correctamente afilado y calce en la galga patrón de 60°

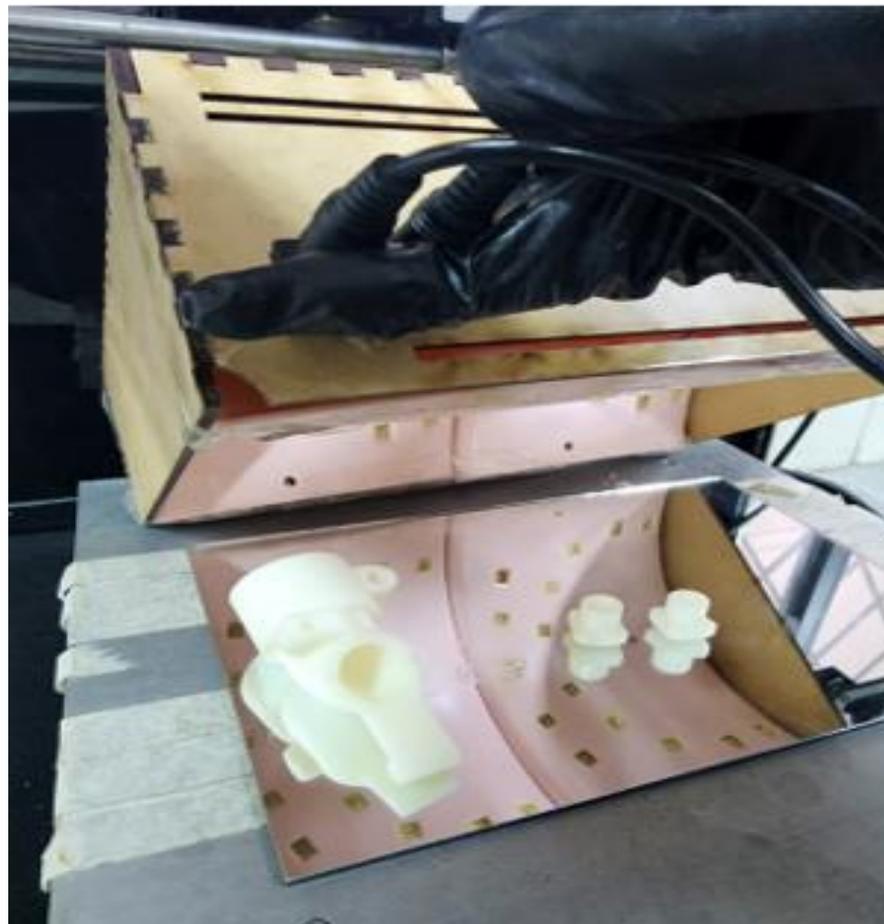
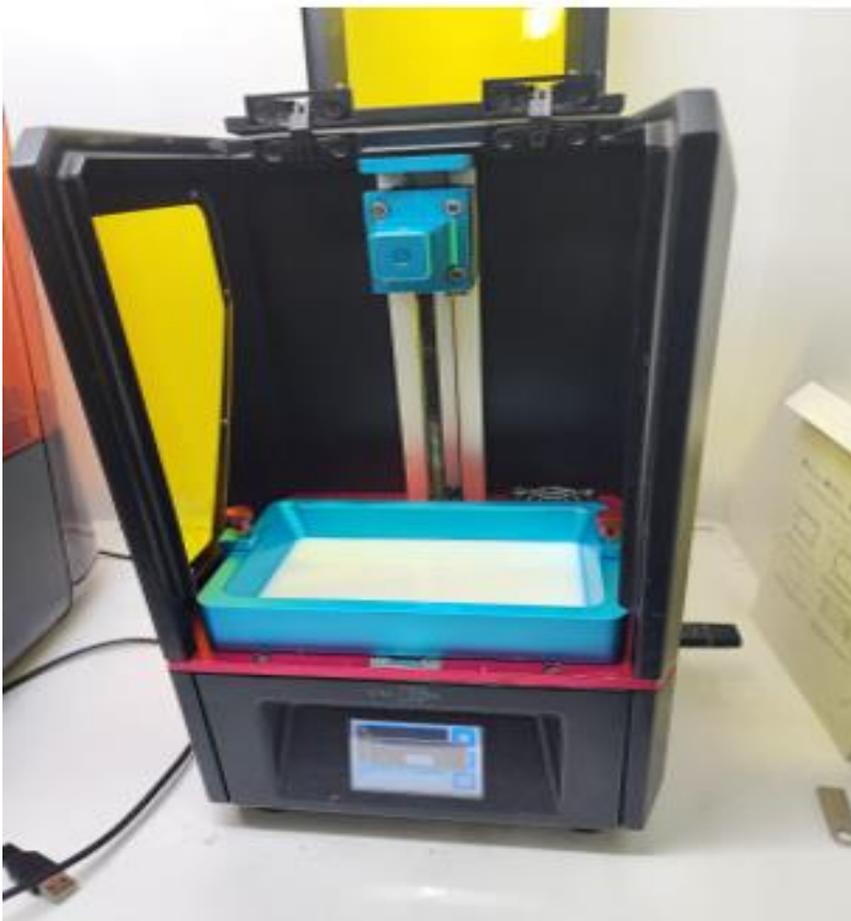
Impresora Anet 3D Printer, modelo E12



Configuración del software Ultimaker Cura, para la impresión



Impresora Anycubic Photon



Impresora Anycubic Photon, software Lychee Slicer Resin.

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



Cuerpo del arma no-letal 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-letal de Aluminio 7075-T6.

Pruebas de funcionamiento



a)

Se rastrilla el arma no-letal 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

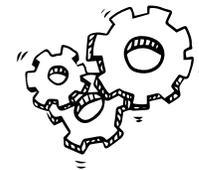


b) Verificación de enganche entre el cargador y el pestillo



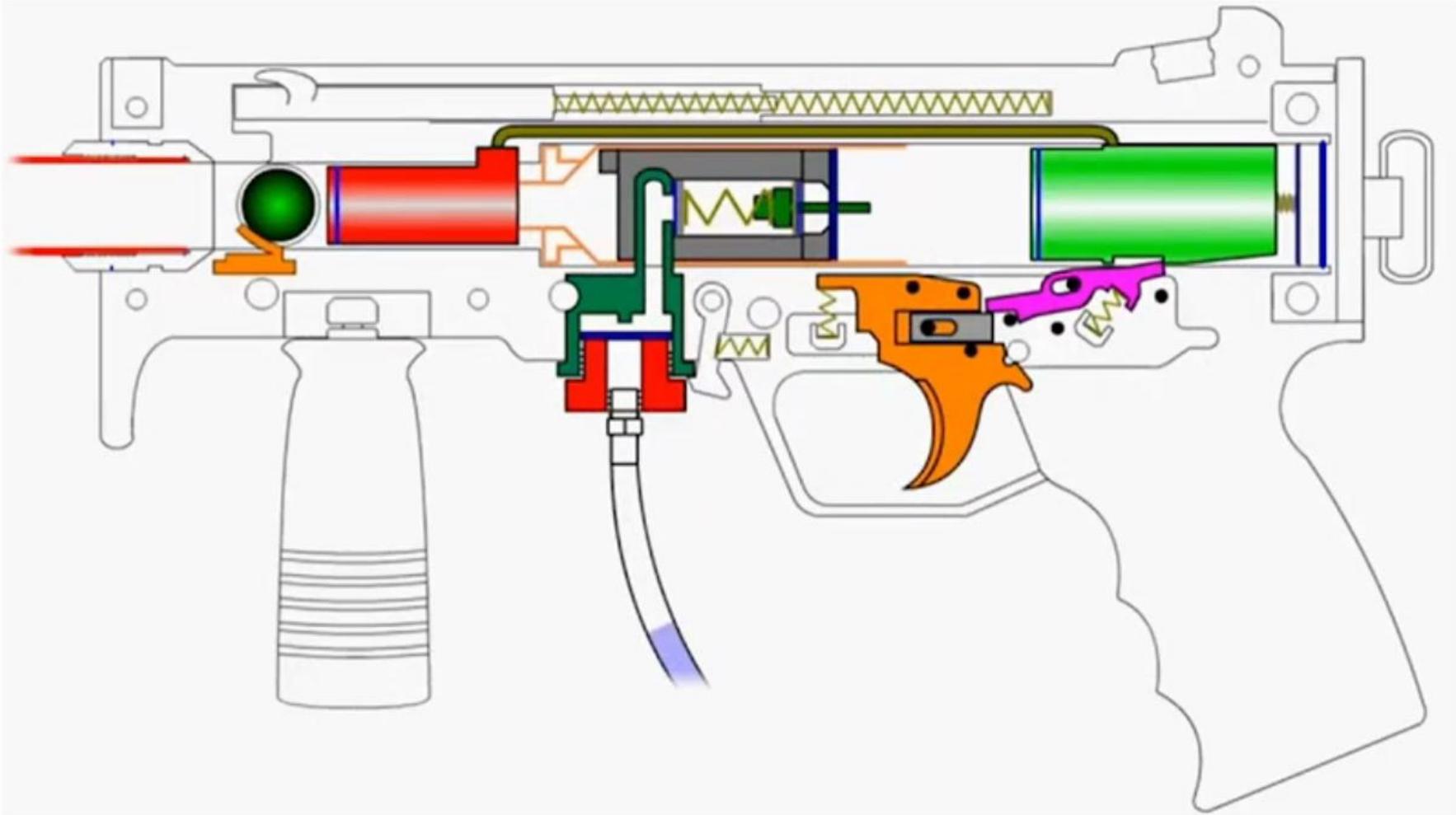
c) Liberación del cargado a través del pulsador.

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.

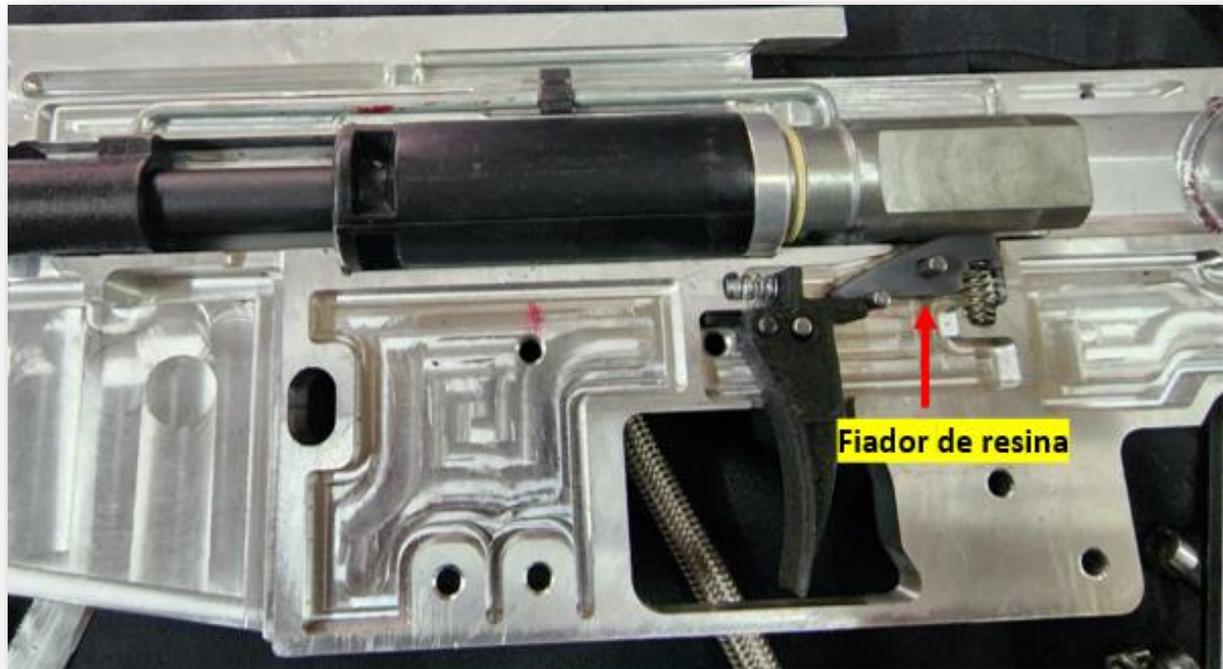


Aproximadamente 50 disparos con proyectiles de pintura, el martillo percutor no enganchaba con el fiador, se observó que el fiador de PLA Plus se encontraba roto por la fuerza ejercida por el martillo percutor y el CO2.



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

| 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 CO ₂ |
| 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.

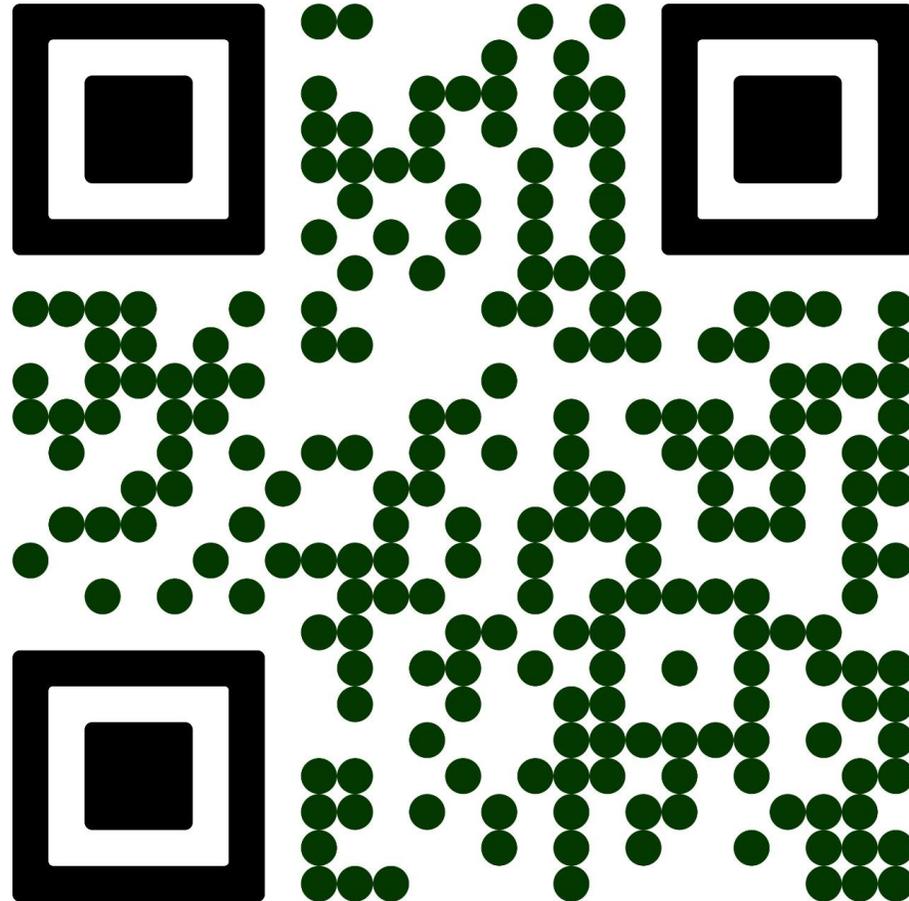
Recomendaciones

- 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

