



Universidad
Zaragoza

1542

Trabajo Fin de Grado

Nuevos métodos de análisis de la variabilidad
con munición 9mm Parabellum

Autor

CAC Vicente Traver Carretero

Directores

Dr. Javier Martínez Torres
Cap. Francisco García-Bravo Cabrera

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar
Año 2014

Resumen

Con este proyecto se ha determinado cuál es la mejor munición de 9 milímetros Parabellum de entre las tres que en la actualidad dispone el Ejército de Tierra: Santa Bárbara, Winchester y Fiocchi. Además, también se ha llegado a la conclusión, de cuál de las tres municiones se adapta mejor a la pistola HK modelo USP standard. De todos los parámetros que se han seguido para decidir que munición es mejor que otra, podemos destacar entre otros: homogeneidad de sus componentes (pólvora, proyectil, vaina y fulminante), precisión, presión en recámara del arma y velocidad de salida. No siempre la mejor munición del mercado se adapta a todas las pistolas, puesto que no todas las pistolas son iguales (longitud de recámara, presión máxima admisible en recámara, tipo de estriado del cañón, ángulo de la rampa de entrada en recámara...), ni tampoco lo son los cartuchos (longitud máxima del cartucho, cantidad de la carga de proyección, diámetro en pulgadas del proyectil, forma del proyectil...).

La metrología ha sido una de las herramientas principales que han servido de base para el cálculo de todos los parámetros. Un dominio de las técnicas básicas de metrología y el uso de instrumentos y maquinaria de alto nivel tecnológico (radar, máquina de medición por coordenadas, proyector de imágenes, cañones probeta conectados a equipos informáticos, medidor de cilindricidad, micrómetros, básculas de precisión, bloques patrón...), han sido utilizados en este trabajo.

La estadística, unida a los nuevos métodos de análisis de la variabilidad, ha sido la clave para sacar las conclusiones adecuadas, utilizando muestras mínimas de munición y ahorrando de esta manera en costes y en tiempo.

Índice

1. Introducción	Pág. 3
1.1 Objetivos y alcance del proyecto	
1.1.1 Objetivos	
1.1.2 Alcance del proyecto	
1.2 Consecuencias asociadas a los objetivos del proyecto	
1.3 Colaboradores	
1.3.1 Personal Civil	
1.3.2 Personal Militar	
2. Metodología	Pág. 5
2.1 El cartucho	
2.1.1 Componentes de un cartucho	
2.1.2 Proceso de fabricación de un cartucho	
2.2 Variables de importancia	
2.3 Otras variables de interés	
2.4 Maquinaria utilizada para medir las variables	
2.4.1 Bloques patrón y proceso de calibración	
2.5 Descripción del proceso de análisis	
2.5.1 Introducción	
2.5.2 Trabajo en el laboratorio de metrología	
2.5.3 Trabajo en la galería de tiro	
2.5.4 Trabajo de gabinete	
3. Resultados obtenidos	Pág. 13
4. Conclusiones.....	Pág. 18
5. Bibliografía.....	Pág. 19
5.1 Libros	
5.2 Publicaciones CUD	
Anexos	
Anexo A. El cartucho	
Anexo B. Proceso de fabricación de un cartucho	
Anexo C. Determinación del free bore	
Anexo D. Norma PFP (NAAG-LCG/1-SG/1)WP(2010)0002 MC MOPI	
Anexo E. Otros instrumentos de medición	
Anexo F. Proceso de calibración de un pie de rey	
Anexo G. Certificados de calibración	
Anexo H. Características del armamento utilizado	
Anexo I. Martillo de inercia	
Anexo J. Resultados obtenidos	
Anexo L. Resumen fotográfico	

1. Introducción

Si disparamos un arma y queremos que cada proyectil impacte en el lugar donde estamos apuntando, lo primero que necesitamos es tener el arma adaptada y graduada a nuestra anatomía y cualidades físicas, pero para ello necesitamos primero que la munición sea uniforme. Si la velocidad de salida de cada proyectil difiere en cada disparo, unos impactos irán más altos que otros y no seremos capaces de adaptar esa arma a dicha munición y todavía menos a nuestras preferencias.

La problemática de todas las municiones de armas ligeras tiene su origen en su homogeneidad. Son muchos los factores que intervienen desde que se percute un cartucho y el proyectil sale por el cañón del arma. Necesitamos conseguir que todos los proyectiles tengan la misma velocidad, o al menos con una variación mínima, para que la munición sea homogénea. Para ello el fabricante debe introducir la misma cantidad de pólvora en cada cartucho. Además, la masa de todos sus proyectiles, el poder de detonación de sus cápsulas fulminantes, la capacidad volumétrica de sus vainas y la longitud final de todos sus cartuchos, deben ser siempre uniformes.

La realidad es bien distinta y es muy difícil encontrar dos cartuchos totalmente homogéneos. Tanto los proyectiles como el montaje de cartuchos se realiza en producción masiva, en máquinas que producen miles de ellos en tiempos mínimos, además existen distintas clases de pólvoras con diversidad de formas (tubulares, laminadas, esferoidales, discoidales...) y los dosificadores que las introducen en las vainas de los cartuchos no consiguen niveles muy precisos de homogeneidad, más aún si la velocidad de fabricación del cartucho es elevada. Por ese motivo, la mayoría de los tiradores de competición optan por fabricarse su propia munición de manera artesanal.

1.1 Objetivos y alcance del proyecto

El objetivo del trabajo es determinar cuál es la mejor munición de 9 milímetros Parabellum que un combatiente del Ejército de Tierra puede utilizar en su pistola HK modelo USP estándar, de entre las tres que en la actualidad existen en dotación (Santa Bárbara, Winchester y Fiocchi). Para ello será necesario definir unos parámetros que nos permitan llegar a la solución deseada, utilizar equipos de metrología de alta tecnología que nos proporcionen dichos parámetros, la elaboración de un modelo estadístico que nos permita con muestras mínimas de munición interpretar los resultados y finalmente, sacar conclusiones.

Aunque este proyecto se ha desarrollado para munición de arma corta, fundamentalmente por carencia de munición de precisión para arma larga, debido a su alto coste, la idea es que en un futuro se pueda extraer al arma larga y más concretamente al fusil de precisión Accuracy International Arctic Warfare para tiradores de élite de nuestras Fuerzas Armadas.

1.1.1 Objetivos

El objetivo de determinar qué munición es la mejor de entre tres fabricantes a nivel OTAN no es fácil sin la tecnología adecuada. La homogeneidad de los cartuchos es muy importante pero no lo es todo. Al igual que la munición las armas tampoco son iguales. Hay pistolas que por los materiales que se han utilizado en su construcción aguantan más presión que otras en la recámara una vez que se ha producido el disparo. También existen diferentes tipos de estriados del cañón dependiendo de su proceso de fabricación (forjado en frío o en caliente), distintas longitudes de recámara y diversidad de factores que serán explicados en detalle posteriormente. Por todo ello, en algunas ocasiones, la mejor munición no es siempre la que mejor se adapta a todas las armas. Con este proyecto se pretende no sólo averiguar cuál es la mejor de acuerdo a su homogeneidad, sino cuál es la mejor para la pistola en servicio del E.T. Un ejemplo aclarará mejor este último concepto, supongamos que tenemos un lote de cartuchos que tienen todos la misma masa, la misma velocidad de salida de proyectil y la misma presión en recámara. Comparamos este lote con otro que no es tan homogéneo como el anterior y presenta pequeñas variabilidades en cuanto a velocidad en boca y presión en recámara. Aparentemente podríamos decir que el primero es mejor que el segundo, pero si los valores de presión en recámara de nuestro primer lote son muy elevados, más de un tercio que los del segundo lote, y además, la recámara de nuestra pistola no está preparada para aguantar dicha presión, probablemente produciremos desgaste prematuro, daños irreparables en el arma y hasta que la pistola reviente.

1.1.2 Alcance del proyecto

Puede parecer un poco ambicioso el hacer un completo análisis de la munición de un arma corta de 9 mm Parabellum cuyo alcance eficaz oscila entre los 25 y 50 metros y que, en la mayoría de las ocasiones, su distancia normal de empleo ronda los 10 a 15 metros contra un blanco humano, siendo por tanto suficiente con conseguir agrupaciones no superiores a 25 centímetros. Lógicamente, el empleo de la munición en este caso, no es como en el de tiro deportivo donde son necesarias agrupaciones de 2,5 centímetros a 25 metros. Sin embargo, en este

proyecto no sólo se tendrá en cuenta la precisión de la munición para determinar cuál es la más idónea, tal como hemos dicho en el apartado anterior, también se valorarán la presión en recámara, la velocidad de salida...

El alcance de este proyecto permitirá desarrollar en un futuro un modelo que se podrá extrapolar para el arma larga de precisión con un coste mínimo de munición. Los tiradores de élite del Ejército de Tierra tienen que abatir blancos, en muchas ocasiones, a 800 metros con un fusil del calibre 7,62 x 51 OTAN (308 Winchester). En este caso, la importancia de la homogeneidad de la munición es máxima, estos tiradores preparan unas tablas de tiro en las cuales apuntan las correcciones que tienen que hacer en sus visores para corregir la caída del proyectil dependiendo de la distancia a la que vayan a efectuar el disparo. Si cada cartucho tiene una velocidad de salida del proyectil en boca del cañón distinta, no podrán asegurar a largas distancias que vayan a hacer blanco. En el Ejército la recarga manual de munición no está permitida y los tiradores se ven obligados a conformarse con tirar con aquella que les suministra el Ejército. El precio de ésta supera los 70 euros por cada caja de 20 cartuchos. Por ello, se debería elegir bien al fabricante que mejor munición suministre.

1.2 Consecuencias asociadas a los objetivos del proyecto

Los objetivos del apartado anterior implican una serie de ventajas:

-Mayor seguridad en el uso del arma en relación con la presión en recámara de los cartuchos. Si podemos elegir una munición cuyos valores de presión en la recámara sean inferiores y que además consigan mayor velocidad de salida en boca del cañón con una variabilidad mínima, habremos determinado el mejor fabricante.

-Mejor precisión en los disparos. Como norma general, una munición homogénea siempre será más precisa que otra de menor homogeneidad. Esto proporcionará al tirador mayor seguridad en el disparo y evitará la falta de autoconfianza que se produce en el combatiente cuando los disparos no entran en el blanco y que, en la mayoría de las ocasiones, se atribuye a otros factores como el arma, el propio tirador, el viento... A todos menos a la munición.

-Menor desgaste del arma. Lógicamente contra menos presión tengan los cartuchos, la fuerza que tendrán que soportar las partes móviles del arma y aquella cuya misión sea absorber el retroceso del arma serán inferiores, por lo tanto, podremos alargar la vida útil del arma y además ahorraremos dinero en costes de reparación.

-Desarrollo de un modelo que podrá implementarse para otras municiones. Una vez que se determinen las variables que influyen con mayor repercusión en la elección de una buena munición y la importancia de estas en un cómputo general, podremos crear un modelo en base a resultados experimentales.

-Con todo ello el Ejército no sólo conseguirá más eficiencia, puesto que logrará con los mismos recursos mejores resultados, sino que también ahorrará en costes de mantenimiento.

1.3 Colaboradores

1.3.1 Personal Civil

- Doctor Javier Martínez Torres (Balística y Estadística).
- Profesor CUD Joaquín Sancho (Calidad y Estadística).
- Ingeniera Ana Gloria Gómez Sevillano (Jefa Departamento Metrología ITM La Marañoso).
- Operario Gabriel Martín Cespedosa (Metrología ITM La Marañoso).
- Operario Joaquín Casares San José (Metrología ITM La Marañoso).
- Operario Julián Ballesteros Sánchez (Metrología ITM La Marañoso).
- Jefe taller Ignacio García Torre Marín (Galería de tiro ITM La Marañoso).

1.3.2 Personal Militar

- Comandante José Luis López Martínez (Jefe Galería de Tiro ITM La Marañoso).
- Capitán Francisco García Bravo (Tutor Militar, Jefe 1º Compañía Carros Combate de la Brigada Acorazada Guadarrama XII).
- Subteniente Oscar Paredes Sancho (Jefe Subunidad de Ensayos Balísticos ITM La Marañoso).
- Brigada Juan Villarejo Avilés (Maestro Armero y Jefe de Tiro ITM La Marañoso).
- Sargento 1º José María Hernández Mota (Operador de Radar ITM La Marañoso).

2. Metodología

Antes de explicar en detalle el proceso que se ha seguido para evaluar la munición, debemos conocer cuáles son las partes de un cartucho, qué sucesos se producen en el interior de un cartucho cuando éste es disparado por un arma y cómo influye el proceso de montaje de sus componentes en los resultados finales.

2.1 El cartucho

La RAE define el cartucho como: carga de pólvora y municiones, o de pólvora sola, correspondiente a cada tiro de algún arma de fuego, envuelta en papel o lienzo, o encerrada en un tubo metálico, para cargar de una vez.

2.1.1 Componentes de un cartucho

Un cartucho está formado por cuatro componentes. La vaina, el pistón o cápsula fulminante, el proyectil y la carga de proyección (normalmente pólvora). (Figura 2.1.1.1).

La vaina: Es el elemento básico del cartucho. Normalmente son fabricadas en latón (72% de cobre y 28% de cinc), aunque también las hay de aluminio. Se puede considerar como el esqueleto del cartucho ya que en ella se alojan el pistón, la carga de pólvora y el proyectil.

El pistón o cápsula fulminante: Es el encargado de activar la carga de proyección del cartucho. Cuando el percutor de un arma incide en el pistón, éste detona, y esta detonación produce la deflagración de la pólvora que a su vez impulsará al proyectil por el ánima del cañón. En la actualidad, los iniciadores destinados a los cartuchos de armas ligeras están hechos de estífnato de plomo.

El proyectil: Es el elemento del cartucho que impulsado por el efecto de la carga de proyección impacta en un blanco. Los primeros proyectiles que se utilizaron en armas ligeras eran fabricados en plomo blando o ligeramente endurecido. El desarrollo de nuevas pólvoras y la reducción de los calibres han permitido un aumento de la velocidad de salida de los proyectiles de más del doble. Como consecuencia, han aumentado considerablemente los fenómenos termodinámicos que se producen en el interior del cartucho, así como la velocidad de rotación. Por todo ello, en la actualidad, el núcleo de plomo se protege mediante una envuelta o blindaje.

La carga de proyección: Tiene por misión impulsar el proyectil por el ánima del cañón. Como norma general, se utilizará pólvora en las armas ligeras para cumplir este objetivo. La pólvora es un explosivo deflagrante que al ser excitado por el fuego de la cápsula fulminante aumenta de volumen rapidísimamente, produciendo una gran cantidad de gases que son los responsables de la propulsión del proyectil.

En el Anexo A se explica en profundidad y con más detalle el cartucho.



Figura 2.1.1.1 Componentes de un cartucho (fuente propia).

2.1.2 Proceso de fabricación de un cartucho

Partiendo de una vaina perfectamente calibrada.

Primer paso: Se introduce un fulminante en el orificio trasero que tiene destinado para tal efecto.

Segundo paso: Conocido como el *abocardado* de la vaina, consiste en abrir la parte delantera de la vaina para poder colocar un proyectil en su interior sin que éste sea forzado.

Tercer paso: Aquí se introduce en la vaina la cantidad de pólvora deseada.

Cuarto paso: Consiste en engarzar el proyectil en la vaina para que quede fijada, se conoce como el *crimpado*.

Para la realización de los pasos 1º, 2º y 4º es necesario una prensa con sus correspondientes *dies* o matrices de recarga. El paso 3º se realiza con la ayuda de un dosificador de pólvora. En el Anexo B se ilustra de una manera más práctica el proceso de fabricación con la ayuda de una prensa y un dosificador manuales.

Es muy importante que el proceso tercero y cuarto se hagan con la mayor precisión posible, puesto que son los más críticos. Ambos procesos van a afectar de manera crítica en las variables de presión en recámara y velocidad de salida del proyectil.

Queda claro que la cantidad de pólvora debe ser homogénea, pero un punto en el que también debemos pararnos a reflexionar es en el valor de introducción del proyectil dentro de la vaina. Cuanto más introducido esté dicho proyectil en la vaina, menor volumen ocupará la cámara de combustión, produciéndose un aumento considerable de la presión. A todo ello hay que añadir, que si el proceso de *crimpado* es excesivo, se puede producir una deformación del proyectil que afectará de manera importante en la aerodinámica del mismo y por lo tanto en la puntería.

Como podemos ver en la figura 2.1.2.1, las formas de los proyectiles de un mismo cartucho pueden ser muy diversas. Esto implica que la longitud de un cartucho dependerá en gran medida de la forma de su proyectil. Por lo tanto no existe una distancia estipulada para todos los cartuchos del mismo calibre. De esta manera, los fabricantes deben permitir ciertas tolerancias en las recámaras de sus armas para que estas puedan disparar con la gran variedad de cartuchos disponibles en el mercado.



Figura 2.1.2.1 Distintos tipos de proyectiles para un mismo cartucho (Manual de Balística Forense).

El término *free bore* se utiliza para determinar el espacio que queda entre el proyectil de un cartucho dentro de la recámara de un cañón y el estriado del mismo. Lo ideal sería que la longitud del cartucho fuese aquella que hiciese mínima esta distancia. El problema de este *free bore*, es que una vez que el proyectil es impulsado, tiene un pequeño vuelo libre hasta que alcanza el estriado del cañón y esto se traduce en una disminución de la precisión y de la velocidad de salida del proyectil. Un mismo cartucho puede tener distintos *free bores* en armas de diferentes fabricantes. Si queremos evaluar cual es el cartucho que mejor se adapta a un arma en concreto, debemos tener siempre presente esta variable.

En el Anexo C se describe como determinar el *free bore* de un cañón.

2.2 Variables de importancia

De entre las múltiples variables que podemos utilizar, vamos a elegir cinco. La presión en recámara, la masa del cartucho, la longitud de los cartuchos, la velocidad de salida y la agrupación final de los impactos en un blanco.

-*La presión en recámara*: Actualmente, la unidad legal de presión es el Pascal (decreto metrológico del 4 de diciembre de 1975), definido como una presión uniforme que, actuando sobre una superficie plana de un metro cuadrado, ejerce perpendicularmente a esta superficie una fuerza total de un Newton.

En materia de municiones, la seguridad depende sobre todo, de un límite de presión que no debe superarse y que viene determinado para cada cartucho. La OTAN, en su norma (PFP (NAAG-LCG/1-SG/1)WP(2010)0002 MC MOPI) (Anexo D), establece una fórmula para la validación de municiones que además de la presión máxima admisible tiene en cuenta la desviación estándar de un serie de n disparos. En concreto, para el cartucho de 9 mm Parabellum la fórmula es tal que así (para más información ver Anexo D):

-PRESIÓN MÁXIMA CORREGIDA + DESVIACIÓN ESTÁNDAR X 3 < 265 MPa

(Para una temperatura de 21º centígrados y utilizando un cristal piezoelectrónico de 6203 en un cañón probeta en una serie de n disparos).

-PRESIÓN MÁXIMA CORREGIDA + DESVIACIÓN ESTÁNDAR X 3 < 285 MPa

(Para una temperatura de 21º centígrados y utilizando un cristal piezoelectrónico de 6215 en un cañón probeta en una serie de n disparos).

-*La masa del cartucho*: Esta variable nos va a dar datos sobre la homogeneidad de los cartuchos, tanto en masa del proyectil como en cantidad de pólvora empleada. La imposibilidad de desmontar el cartucho para luego volver a montarlo y dispararlo hace que tengamos que medir el cartucho como una unidad. No podemos concretar si la variabilidad del fabricante es mayor en la cantidad de pólvora o en las masas de los proyectiles. Sin embargo, como normal general contra más homogénea sea esta medida, más homogénea será la velocidad de salida del proyectil, pues en gran medida depende de estas dos variables.

La unidad empleada en este proyecto para medir la masa del cartucho ha sido el gramo. No obstante, en la mayoría de los manuales de cartuchería metálica la unidad empleada para determinar la masa de los proyectiles, así como de la cantidad de pólvora, es el “grain” (*la cantidad de pólvora que contiene un cartucho se expresa por su peso en grains, un grain equivale a 0,0648 gramos y se traduce como un grano*).

-*La longitud del cartucho:* Medida en milímetros, nos va a servir para comprobar cuánto se aproxima dicho cartucho al free bore de las distintas armas en estudio. También la podremos relacionar con la presión en recámara y con la velocidad. Además, será un parámetro para determinar la homogeneidad de la munición.

-*La velocidad de salida del proyectil:* Íntimamente relacionada con la presión. Es medida en metros/segundo y de su homogeneidad dependerá la agrupación final de los proyectiles disparados en el objetivo. Además, el alcance eficaz de un arma está vinculado con este parámetro, a mayor velocidad de salida mayor será el alcance eficaz del proyectil y también el poder de detención del mismo sobre un objetivo.

-*La agrupación de proyectiles en el blanco:* El resultado final deseado para un arma es conseguir una agrupación final mínima. Para un arma corta de fuego se mide en centímetros.

2.3 Otras variables de interés

-*Diámetro de los proyectiles:* A la hora de comprar proyectiles para fabricación de cartuchos de 9 mm Parabellum, no sólo tenemos infinidad de formas para elegir, también podemos elegir distintas masas y dos tipos de diámetro. Vamos a centrarnos en esto último. Aunque los proyectiles de 9 mm se comercialicen como 9 mm, la realidad es que en pulgadas esta medida puede determinarse por dos variables (0.355" y 0.356"), recordemos que 1 pulgada es igual a 25,4 mm por lo tanto, $0.355" = 9,017 \text{ mm}$ y $0.356" = 9,0424 \text{ mm}$.

Lo óptimo sería que el diámetro del proyectil se acercase lo más posible al diámetro del cañón del arma con la que va a ser disparado. Al igual que los fabricantes de proyectiles, los de armas cortas de 9 mm pueden elegir entre cañones 0.355 y 0.356. El problema está en que la mayoría de los fabricantes se limitan a decir que su cañón es 9 mm. Es por ello que también se debe medir el diámetro del cañón, lo cual no es precisamente una tarea fácil. En el siguiente apartado se muestra la determinación del diámetro interno de un cañón de dos formas diferentes, la primera con la ayuda de un micrómetro de exteriores y la segunda con la ayuda de un proyector de perfiles.

-*Cilindricidad de los proyectiles:* Este parámetro nos da una idea sobre la precisión con la que un proyectil ha sido fabricado. Tal y como su nombre indica, la cilindricidad nos dará un valor que cuanto más grande sea, más se alejará el proyectil de ser un cilindro perfecto.

-*El free bore de un cañón para un proyectil determinado:* Como hemos descrito en el apartado anterior, el free bore es ese vuelo libre que tiene el proyectil en la recámara antes de alcanzar el estriado del cañón. Lo óptimo es que sea mínimo.

2.4 Maquinaria utilizada para medir las variables

-*El pie de rey:* Instrumento para medir pequeñas longitudes y espesores así como diámetros exteriores e interiores, que consta de una regla metálica con una rama de medición fija y un cursor corredizo. En este proyecto ha sido utilizado para medir la longitud de los cartuchos y también el free bore de los cañones (Figuras 2.4.1 y 2.4.2).



Figuras 2.4.1 y 2.4.2 Muestran un pie de rey (fuente ITM La Marañoso).

-*El micrómetro de exteriores:* Instrumento para medir con gran precisión cantidades lineales y angulares. Ha sido utilizado para determinar el diámetro de los proyectiles (Figura 2.4.3).



Figura 2.4.3 Micrómetro Mitutoyo (fuente internet. www.img.directindustry.es).

-*El micrómetro de interiores:* Sirve para medir, con precisión del orden de una micra, el interior de los objetos. Para ello se sirve de tres puntos de apoyo. Ha sido utilizado para determinar el diámetro interno de los cañones utilizados en este proyecto (Figuras 2.4.4 y 2.4.5).



Figuras 2.4.4 y 2.4.5 En las figuras se muestra como se determina mediante un micrómetro de interiores el diámetro interno de un cañón (fuente ITM La Marañoso).

-*La máquina de medición por coordenadas:* Máquina que emplea componentes móviles, que se trasladan a lo largo de guías con recorridos ortogonales, para medir una pieza por determinación de las coordenadas X, Y, Z de los puntos de la misma. Estas máquinas se pueden utilizar para mediciones con un rango de valores de 0,5 mm a 2000 mm e incertidumbres del orden de 0,2 μm a 10 μm . Ha sido utilizada para determinar el diámetro externo de los proyectiles de 9 mm (Figura 2.4.6).



Figura 2.4.6 En la figura se muestra como se determina mediante una máquina de medición por coordenadas el diámetro externo de un proyectil de 9 mm Pb (fuente ITM La Marañoso).

-*La balanza de precisión:* Es un instrumento que sirve para medir masas, existiendo distintos tipos: balanza romana, balanza mecánica, balanza digital... En este proyecto se ha utilizado una balanza digital con capacidad para medir milésimas de gramo. Con ella se ha determinado la masa de los cartuchos que posteriormente fueron disparados (Figura 2.4.7).



Figura 2.4.7 En la figura se muestra como se determina la masa de un cartucho de 9 mm PB (fuente ITM La Marañoso).

-*El proyector de perfiles:* Es un medidor óptico muy versátil, al permitir gran variedad de medidas en piezas de pequeño tamaño y geometría compleja. La óptica permite obtener una imagen de la pieza ampliada en 50, 100 ó 200 veces el tamaño original en una pantalla y está provista de coordenadas y giro. Ha sido utilizado para medir el diámetro de los proyectiles y el de los cañones de las pistolas en estudio (Figuras 2.4.8 y 2.4.9).



Figuras 2.4.8 y 2.4.9 En las figuras se muestra como se determina el diámetro de los proyectiles de 9 mm Pb (fuente ITM La Marañoso).

-*La máquina de medición de formas:* Instrumento de medida de formas mediante palpado mecánico, con un campo de medida de 175 mm en sentido radial y 300 mm de altura. Las formas geométricas fruto del análisis son fundamentalmente: redondez, cilindricidad, rectitud y planitud. Los datos analizados se presentan de forma gráfica y numérica, con valores de 0,01µm de resolución. Ha sido utilizada para medir la cilindricidad de los proyectiles en estudio (Figuras 2.4.10 y 2.4.11).



Figuras 2.4.10 y 2.4.11 Las figuras muestran como se determina la cilindricidad de un proyectil de 9 mm (fuente ITM La Marañoso).

-*El Radar Doppler Weibel:* Es un dispositivo que envía ondas electromagnéticas, estas ondas se reflejan en los objetos y una porción de la energía de la onda rebota hacia el radar, éste la detecta y la analiza. A partir de la señal se pueden determinar varias propiedades del objeto original en el que se reflejó. En este proyecto se ha utilizado este dispositivo para determinar la velocidad de salida de los proyectiles en la boca del cañón y también a distancias de 15 y 20 metros (Figura 2.4.12).



Figuras 2.4.12 La figura muestra un Radar Doppler Weibel situado en un banco de pruebas para realizar mediciones (fuente ITM La Marañoso).

En el Anexo E se describen gráficamente otros instrumentos utilizados para medir otras variables de importancia.

2.4.1 Bloques patrón y proceso de calibración

El paso previo a la medición de cualquier magnitud se centra en la calibración del instrumento utilizado para llevar a cabo la medida, acción para la cual es necesario hacer uso de un patrón (Figura 2.4.1.1).

El patrón es una representación física de una unidad de medida utilizada como referencia y que se consigue mediante la materialización de una medida, material de referencia, o instrumento. Se clasifican en diferentes categorías, en función de la precisión del valor convencionalmente verdadero de la magnitud que representan. Podemos hablar desde patrones nacionales o primarios (nivel 0 ó nivel K), patrones de referencia (nivel 1) y hasta patrones de trabajo (nivel 2).



Figura 2.4.1.1 La figura muestra la lectura de un pie de rey sobre dos bloques patrón de 70 y 5 mm respectivamente (fuente propia).

El resultado de la medida vendrá condicionado por dos errores: el error sistemático, que permanece constante en valor absoluto y si las condiciones de medida son las mismas puede ajustarse y corregirse, y el error aleatorio, que aparece de forma estocástica y su determinación exacta no es posible. Por ello, en el resultado de la medida, deberá quedar reflejado con un valor estimado de incertidumbre "U" (intervalo probable de dispersión de los valores obtenidos en la medición para un nivel de confianza dado).

Debido a que el resultado de una medida siempre va a ser una aproximación, para que ésta tenga validez científica, es necesario que se represente junto a su incertidumbre.

En este trabajo se ha realizado la calibración de un pie de rey y además, todas las máquinas y herramientas que se han utilizado, disponen de un certificado de calibración expedido por ENAC que garantiza el resultado de la medida.

En el Anexo F se puede ver de forma detallada cómo es el proceso de calibración de un pie de rey.

En el Anexo G se muestran todos los certificados de calibración de las máquinas y herramientas utilizadas en este proyecto.

2.5 Descripción del proceso de análisis

2.5.1 Introducción

En la actualidad, el Ejército de Tierra dispone de tres modelos de munición de 9 mm Parabellum para utilizar en su pistola reglamentaria HK modelo USP standard (Winchester, Fiocchi y Santa Bárbara). En este proyecto se han analizado los tres fabricantes y sus resultados conseguidos en tres armas distintas (pistola HK USP, pistola SIG SAUER X-FIVE y un cañón probeta). En el Anexo H se detallan las características y la importancia de este armamento.

Para cada fabricante de munición se han utilizado dos lotes producidos en diferentes años. También se han comparado con munición fabricada de modo artesanal para su uso en la pistola SIG SAUER.

Los lotes en estudio son los siguientes:

Fiocchi: Lote 5-21 año 1997 / Lote 5-74 año 1996.

Winchester: Lote k045-001 año 1995 / Lote k045-009 año 1996.

Santa Bárbara: Lote 15 octubre año 1990 / Lote 01 año 2001.

Munición cargada artesanalmente con proyectiles RG (0.356") 08/2013.

El proceso de obtención de resultados se ha dividido en dos fases. En una primera fase se han obtenido resultados en un laboratorio de metrología y en la segunda se han obtenido resultados en una galería de tiro. Finalmente, en trabajo de gabinete, estos han sido analizados y se han sacado las conclusiones asociadas a los mismos.

2.5.2 Trabajo en el laboratorio de metroología

En este laboratorio se trabajó con tres elementos: el cartucho, el proyectil y el cañón de la pistola.

El cartucho

Después de haber realizado la calibración de un pie de rey, tal como se especifica en el Anexo F, y una vez comprobados los certificados de calibración de toda la maquinaria que se iba a utilizar, se realizaron las siguientes medidas para 25 cartuchos aleatorios de cada lote (total 175 cartuchos):

1º-Determinación de la longitud de cada cartucho mediante un pie de rey.

2º-Determinación de la masa de cada cartucho mediante una balanza de precisión.

Todos estos cartuchos fueron numerados para identificarlos y posteriormente fueron disparados en galería de tiro.

El proyectil

Con el proyectil se hizo un análisis de 3 variables: diámetro externo, cilindricidad y masa. Previamente, hubo que utilizar un martillo de inercia para desmontar todos los proyectiles sin dañarlos. En el Anexo I se explica el funcionamiento de un martillo de inercia y sus características. Fueron analizados 5 proyectiles aleatorios de cada lote (total 35 proyectiles).

El orden de toma de medidas fue el siguiente:

1º-Determinación del diámetro externo. Para ello se utilizaron 3 herramientas distintas: máquina de medición por coordenadas, micrómetro de exteriores y proyector de perfiles.

2º-Determinación de la cilindricidad. Para ello se utilizó una máquina de medición de formas.

3º-Determinación de la masa de los proyectiles mediante un balanza digital.

El cañón

Fueron evaluados dos cañones de pistola HK USP, un cañón de pistola SIG SAUER X-FIVE y dos cañones probeta.

Los parámetros de estudio de los mismos fueron: el diámetro interior de los cañones y el free bore para los distintos proyectiles de la pistola HK. Para medir el diámetro de los cañones se utilizó el proyector de perfiles y el micrómetro de interiores, y para determinar el free bore fue necesaria la sonda del pie de rey, tal y como se detalla en el Anexo C.

2.5.3 Trabajo en la galería de tiro

En la galería de tiro se dispararon los 175 cartuchos, de tal forma que, en el cañón probeta fueron disparados 10 cartuchos de cada lote y con las pistolas HK y SIG SAUER se dispararon 5 cartuchos de cada lote.

El cañón probeta se colocó en un banco de tiro especial en el cual el error humano es mínimo (Figura 2.5.3.1). Para el uso de las pistolas, y conseguir el mismo objetivo, se utilizó un Ransom Rest (Figura 2.5.3.2).

Con el cañón probeta los disparos se efectuaron sobre un blanco de 50 cm y a una distancia de 46 m, de acuerdo con la norma (*PFP (NAAG-LCG/1-SG/1)WP(2010)0002 MC MOP1*) que establece la OTAN para la evaluación de municiones de uso militar. Esta norma puede ser consultada en el Anexo D. Los disparos de pistola HK y SIG SAUER se hicieron a un blanco de 50 cm y a una distancia de 25 metros (distancia normal de empleo para este tipo de armas cortas). En el cañón probeta y mediante un cristal piezoelectrónico que se adosa en su interior, nos permitió calcular la presión que se produce en recámara al disparar los distintos cartuchos.



Figuras 2.5.3.1 y 2.5.3.2. De izquierda a derecha se muestra un banco de pruebas al que se le acopla un cañón probeta, y un Ransom Rest en el que se acopla una pistola HK USP para su empleo sin necesidad de ser empuñada por un tirador (fuente ITM La Marañoso).

Con la ayuda del radar, modelo Doppler Weibel, se determinó la velocidad de salida de los proyectiles, tanto en la boca del cañón de las diferentes armas como a las distancias de 16 y 24 metros.

Se utilizó un blanco distinto para cada serie de 10 cartuchos con el cañón probeta y de 5 cartuchos con el resto de armas. Después de cada disparo hubo que desplazarse al blanco para anotar el número de impacto efectuado (Figura 2.5.3.3).



Figura 2.5.3.3 Numeración ordenada de los impactos producidos por una pistola SIG SAUER a 25 metros (fuente propia).

Debido al tiempo empleado para la preparación de la maquinaria empleada, las muestras fueron tomadas en días diferentes. Sin embargo, las condiciones en las que fueron disparados fueron siempre las mismas. Para ello fue necesaria la utilización de una cámara frigorífica, que mantuvo todos los cartuchos a la misma temperatura (21°C), y una estación meteorológica, en la que se indicaban las condiciones de humedad, presión y temperatura de la galería de tiro. Ambas están calibradas y cuentan con su certificado de calibración emitido por ENAC. Sus imágenes pueden ser consultadas en el Anexo G.

2.5.4 Trabajo de gabinete

En gabinete se determinó la mínima agrupación de cada uno de los 21 blancos resultantes y la distancia de cada uno de los impactos al centro.

Con la ayuda de Minitab (programa informático para realizar cálculos estadísticos avanzados) se compararon las siguientes variables de estudio: masa del cartucho, longitud del cartucho, velocidad de salida del proyectil, presión en recámara del proyectil y agrupación de impactos. Además de ello, se realizaron gráficos de control para cada una de las variables de estudio.

Con los resultados obtenidos en la máquina de medición de formas y en el proyector de perfiles se pudieron sacar valiosas conclusiones asociadas a los resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos en la determinación del diámetro de los proyectiles y el del cañón fueron analizados para determinar qué proyectil se adapta mejor a la pistola HK.

3. Resultados obtenidos

A continuación se muestra la tabla resumen de los resultados obtenidos para las distintas variables analizadas en este estudio. Posteriormente se explicará cada variable haciendo hincapié en aquellos aspectos más importantes en cada caso.

CAÑÓN PROBETA							
	FIOCCHI 96	FIOCCHI 97	WCC 95	WCC 96	SB 90	SB 01	RG
MASA (g)	11,713 ± 0,046	11,722 ± 0,044	12,555 ± 0,038	12,583 ± 0,023	11,727 ± 0,051	11,636 ± 0,113	12,161 ± 0,012
LONGITUD (mm)	29,304 ± 0,039	29,337 ± 0,052	29,289 ± 0,042	29,277 ± 0,027	29,341 ± 0,053	29,339 ± 0,063	29,332 ± 0,021
VELOCIDAD (m/s)	422,50 ± 5,12	428,70 ± 4,38	408,31 ± 2,91	404,59 ± 3,17	420,78 ± 8,03	408,99 ± 4,44	369,39 ± 7,40
AGRUPACIÓN ¹ (cm)	2,72 ± 1,7511	2,28 ± 0'909	3,08 ± 0'9636	2,80 ± 1,4236	3,76 ± 1,6222	4,46 ± 1,7245	6,70 ± 2,8806
PRESIÓN (Mega pascales)	228,86 ± 8,74	234,98 ± 7,21	245,45 ± 3,33	230,29 ± 4,00	247,55 ± 14,43	222,51 ± 9,92	175,09 ± 7,40
PISTOLA HK							
	FIOCCHI 96	FIOCCHI 97	WCC 95	WCC 96	SB 90	SB 01	RG
MASA (g)	11,743 ± 0,028	11,743 ± 0,028	12,549 ± 0,008	12,577 ± 0,027	11,731 ± 0,052	11,649 ± 0,040	12,274 ± 0,011
LONGITUD (mm)	29,286 ± 0,063	29,286 ± 0,063	29,288 ± 0,03	29,28 ± 0,02	29,358 ± 0,019	29,278 ± 0,075	29,114 ± 0,03
VELOCIDAD (m/s)	391,70 ± 6,58	388,18 ± 3,52	367,60 ± 3,48	358,48 ± 6,61	380,86 ± 5,25	375,38 ± 6,43	333,00 ± 3,08
AGRUPACIÓN ² (cm)	1,72 ± 0,04382	5,02 ± 1,5579	5,18 ± 0,7855	5,24 ± 1,9295	2,74 ± 0,9555	2,58 ± 1,0109	2,92 ± 1,2317
PISTOLA SIG-SAUER							
	FIOCCHI 96	FIOCCHI 97	WCC 95	WCC 96	SB 90	SB 01	RG
MASA (g)	11,707 ± 0,041	11,740 ± 0,012	12,542 ± 0,039	12,573 ± 0,024	11,742 ± 0,067	11,652 ± 0,037	12,224 ± 0,018
LONGITUD (mm)	29,336 ± 0,039	29,338 ± 0,025	29,30 ± 0,045	29,102 ± 0,452	29,366 ± 0,038	29,310 ± 0,055	29,09 ± 0,017
VELOCIDAD (m/s)	391,86 ± 5,83	391,32 ± 1,79	368,00 ± 2,73	356,72 ± 5,23	386,50 ± 9,88	371,42 ± 5,69	342,86 ± 5,28
AGRUPACIÓN ² (cm)	1,30 ± 0,5612	1,82 ± 0,743	3,38 ± 1,5818	2,60 ± 1,2865	2,20 ± 1,468	2,18 ± 0,497	1,48 ± 0,2775

Tabla 3.1 Resumen de resultados obtenidos en cuanto a masa, longitud, velocidad y agrupación en blanco.

Lo primero que se debe comentar, es que todos estos resultados han sido calculados mediante el programa Minitab basándose en dos premisas fundamentales: la primera, que los datos obtenidos siguen una distribución

¹ Han sido efectuados a 46 m.

² Han sido efectuados a 25 m.

normal y la segunda, que la muestra en estudio fuese estable. Para ello hubo que utilizar gráficos de control (Figuras 3.1 y 3.2).

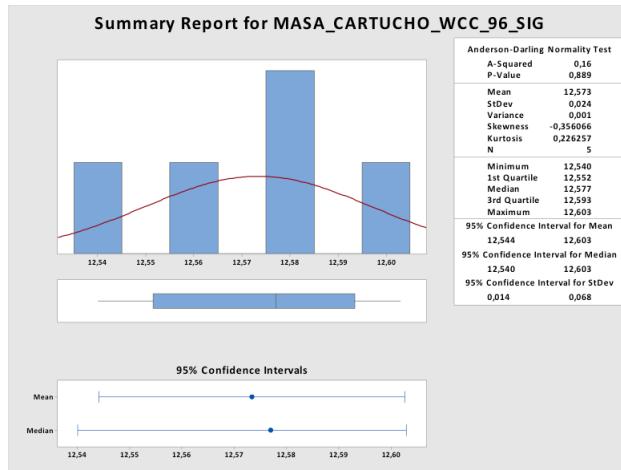


Figura 3.1 Informe obtenido con el programa Minitab de la muestra en estudio para los cartuchos Winchester del año 96 que fueron disparados con pistola Sig Sauer.

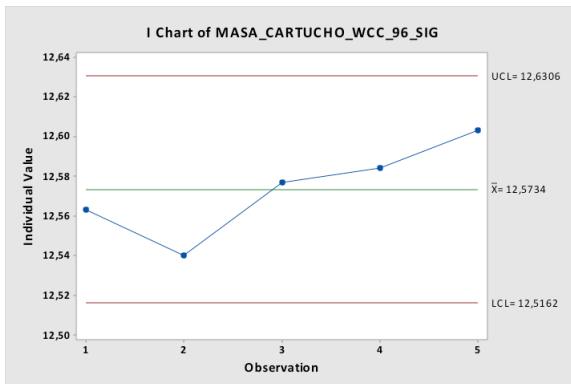


Figura 3.2 Gráfico de control de la muestra en estudio para los cartuchos Winchester del año 96 que fueron disparados con pistola Sig Sauer.

En el Anexo J se pueden consultar los 91 informes y 91 gráficos de control que se han calculado para llegar a los resultados que se reflejan en las tablas.

Variable masa: En relación con la masa la cifra más importante es la desviación estándar, siendo la masa de los cartuchos Santa Bárbara la que alcanza mayores valores en todas las armas que se utilizaron para el experimento. El resto de fabricantes se encuentran más igualados aunque los valores mínimos los podemos ver en Winchester 95 y la munición recargada. Esta desviación en masa la podemos relacionar directamente con la que nos vamos a encontrar en cuanto a la velocidad de salida.

Efectivamente vemos que las mayores desviaciones en cuanto a velocidad de salida siguen dándose en los cartuchos Santa Bárbara, sobretodo en el lote del año 90 disparado con cañón probeta y pistola Sig Sauer. Las mínimas desviaciones conseguidas en velocidad de salida fueron para los cartuchos Fiocchi 97 y Winchester 95 que fueron disparados con la pistola Sig Sauer. Igual que en el párrafo anterior, podemos relacionar directamente esta desviación de la velocidad de salida con la agrupación final en el blanco. Todo lleva a pensar que Fiocchi 97 y Winchester 95 conseguirían las mejores agrupaciones con la pistola Sig Sauer. En el caso de Fiocchi la hipótesis se cumple, pero para el caso de la Winchester no es así (Figuras 3.3 y 3.4).



Figuras 3.3 y 3.4 De izquierda a derecha las imágenes muestran las agrupaciones conseguidas con una pistola Sig Sauer con munición Fiocchi 97 y Winchester 95 respectivamente.

Podríamos intuir que debe haber algún error de cálculo o de la maquinaria utilizada que hizo que Winchester no cumpliese las expectativas esperadas. Sin embargo, existe otra variable que no podemos relacionar directamente con la masa del cartucho, ésta es la cilindricidad del proyectil. Posteriormente profundizaremos en esta variable y obtendremos el motivo que hizo que Winchester no consiguiese las mejores agrupaciones.

Variable longitud: Como hemos comentado en apartados anteriores la longitud del cartucho está relacionada con la presión y ésta última con la velocidad de salida del proyectil. Pero además, existe otra variable que relaciona la longitud del cartucho con la longitud de la recámara del arma en estudio (el free bore). Debido a que uno de los objetivos del proyecto era encontrar que cartucho se ajustaba mejor a la pistola HK vamos a utilizar la longitud para tal fin. En la tabla 3.2 podemos consultar la longitud máxima de cada cartucho que haría un free bore mínimo para la citada pistola.

Si comparamos las tablas 3.1 y 3.2 podemos ver que no existe una diferencia muy grande en cuanto a longitud del cartucho que cada fabricante presenta. No es el mismo caso en el free bore de estudio, pues en este caso el free bore mínimo para la pistola HK con proyectil Fiocchi difiere en un milímetro con el resto de sus competidores (exceptuando al cartucho recargado). Por lo tanto Fiocchi es el cartucho que mejor se aproxima al free bore de la pistola en servicio del ET. Además la mejor agrupación con éste arma se consiguió con la munición Fiocchi 96.

Variable velocidad de salida en boca del cañón: En este apartado es importante fijarse no sólo en la homogeneidad sino también en el valor máximo. Lógicamente, que su desviación sea mínima va a influir positivamente en la precisión, pero si pensamos en el propósito final de un cartucho que es derribar a un oponente, el resultado deseado para ésta variable es que sea máximo, ya que:

$$\text{Energía Cinética} = \frac{1}{2} \text{ masa} \times \text{velocidad}^2$$

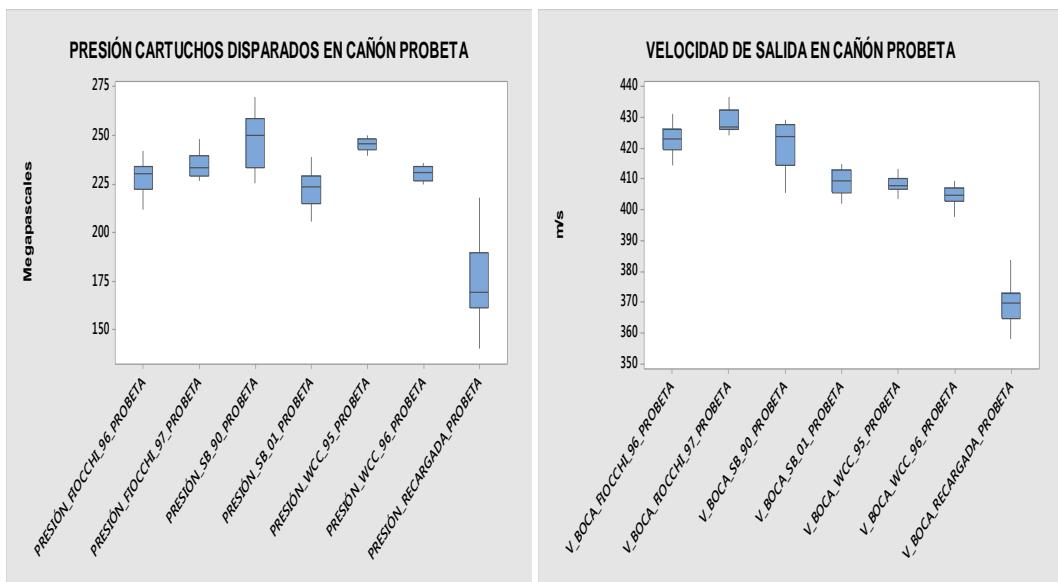
Para las tres armas de estudio el claro vencedor ha sido Fiocchi. Nos llama la atención en este apartado dos puntos interesantes: El primero de ellos es la diferencia de velocidades que existe entre el cañón probeta y las otras dos armas. El segundo es el valor tan bajo de velocidad que tiene la munición recargada.

La explicación del primer punto es debida a que la longitud del cañón probeta es considerablemente mayor que la del resto de armas. También por ese motivo, las agrupaciones en el blanco fueron medidas a 46 metros en lugar de los 25 metros que se usaron para la pistola HK y la pistola Sig Sauer.

La explicación del segundo punto hay que entenderla en el sentido de las armas de competición, en las que el resultado final es conseguir hacer la máxima agrupación en un blanco de papel a una distancia de 25 metros con el mínimo gasto de energía, es decir, con la mínima presión que permita el funcionamiento del arma y de esta manera conseguir reducir el retroceso y las vibraciones de la misma. Esto sólo puede conseguirse con cargas mínimas que son a su vez las responsables de los valores inferiores en la velocidad.

Variable presión: La presión en boca está íntimamente relacionada con la seguridad del tirador y la vida útil del arma, además de con la velocidad de salida. Afortunadamente las tres armas de estudio están provistas de recámaras sobredimensionadas que permiten cargas máximas, aún con todo siempre será recomendable buscar los valores mínimos de presión que consigan velocidades de salida óptimas. Por lo explicado en el párrafo anterior la munición de recarga será la que marque valores mínimos de presión pero su velocidad de salida se queda corta para el uso militar.

En este estudio SB 90 fue la munición que presentó mayores valores en cuanto a presión y desviación estándar, no superando la norma PFP (NAAG-LCG/1-SG/1)WP(2010)0002 MC MOPI que establece la OTAN. Pero otro aspecto interesante que llama la atención es que Fiocchi con valores de presión por debajo de sus competidores consiguió velocidades de salida mayores (Figuras 3.5 y 3.6).



Figuras 3.5 y 3.6 De izquierda a derecha las imágenes muestran los valores de presión en recámara y la velocidad de salida del proyectil conseguidos con un cañón probeta de toda la munición en estudio.

En el Anexo J se pueden consultar los gráficos agrupados de toda la munición en estudio.

El hecho de que Winchester con valores superiores de presión consiguiese menos velocidad de salida se debe en primer lugar, a que la masa de los proyectiles Winchester es ligeramente mayor que la del resto de sus competidores pero también a los valores de cilindricidad, los cuales ya me hemos mencionado anteriormente y que quedan por explicar al final de este apartado.

Variable agrupación en el blanco: El resultado final de la condensación de las desviaciones del resto de variables en estudio se puede representar con la agrupación en el blanco, siendo el objetivo final deseado que este valor sea mínimo. De acuerdo con esta premisa, si consultamos la tabla 3.1, la munición Fiocchi del 97 cuyas variables de estudio eran mínimas consiguió agrupaciones mínimas en el cañón probeta y en la pistola Sig Sauer, pero no fue así para la pistola HK. Además, el lote del 96 consiguió mínimas agrupaciones con todas las armas, incluyendo la pistola HK. En este caso no hay una explicación para Fiocchi 97 y se debería considerar repetir esta prueba, desgraciadamente no ha sido posible. Aún así, el claro vencedor fue nuevamente Fiocchi para todas las armas de estudio. De todos modos, la munición recargada para la pistola Sig Sauer demostró una agrupación mínima con una desviación mínima.

Variable cilindricidad: Hemos mencionado en dos variables anteriores la cilindricidad para referirnos a fenómenos que ocurrían con la munición Winchester. En el caso de esta variable nos interesa que su valor sea mínimo, como podemos ver en la tabla 3.2 los valores máximos son alcanzados por Winchester. Pero a qué se deben estos valores tan altos. Gracias a la ayuda del proyector de perfiles y de la imagen que ofrece la máquina de medición de formas, podemos apreciar como en la parte del proyectil donde se engarza con la vaina presenta una deformación que afecta a los dos lotes de estudio (Figura 3.7), ello se puede deber a un defecto de montaje a la hora de crimpar la vaina con el proyectil, pues salvo esa zona concreta el resto del proyectil es muy homogéneo. Por culpa de ello Winchester no ha podido conseguir resultados buenos ni en presión ni en agrupación, debido a que esta deformación además de incrementar la presión también afecta a la aerodinámica.

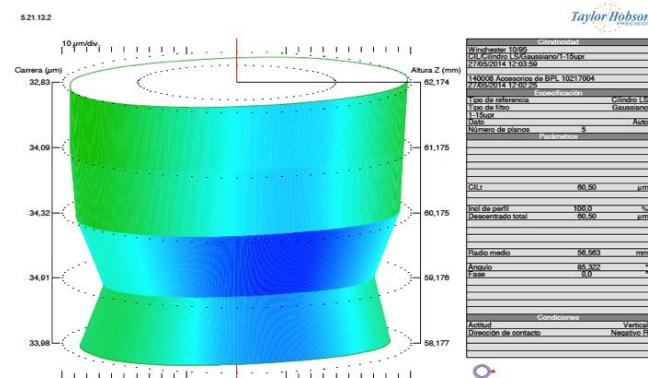


Figura 3.7 Imagen que muestra la deformación de un proyectil Winchester por exceso de crimpado de la vaina.

Variable diámetro proyectil / diámetro de cañón: Hemos mencionado en apartados anteriores que dentro del rango de 9 mm podíamos encontrar proyectiles de 0.355 pulgadas y 0.356 pulgadas, al igual que pasaba con los cañones. Si nos fijamos en las tablas 3.2 y 3.3 vemos como el diámetro de los proyectiles de recarga es casi similar al del de la pistola Sig Sauer y que la diferencia entre los fabricantes es casi mínima, siendo Winchester el que más se aproxima a la pistola HK.

	FIOCCHI	WCC	SB	RG
CILINDRICIDAD	12,75	60,5	11,22	44,19
FREE BORE HK	31,96	32,96	32,84	29,6
Ø DIÁMETRO	8,996 ± 0,008	9,014 ± 0,036	8,994 ± 0,007	9,050 ± 0,027

Tabla 3.2 Resumen de resultados de cilindricidad y longitud del cartucho que hacen mínimo el free bore y el diámetro del proyectil.

	HK	SIG-SAUER	PROBETA
Ø CAÑÓN	9,033 ± 0,006	9,057 ± 0,005	9,056 ± 0,008

Tabla 3.3 La tabla muestra los resultados obtenidos al medir el diámetro interno del cañón de las armas en estudio.

4. Conclusiones

Después de haber realizado un riguroso estudio de las variables: masa del cartucho, longitud del cartucho, velocidad de salida del proyectil, presión en recámara, agrupación final en el blanco, cilindricidad del proyectil, diámetro del proyectil y diámetro del cañón de las armas que se utilizaron para este estudio, hemos podido determinar que munición es la mejor de las tres con las que en la actualidad cuenta el ET. También podemos decir que munición se adapta mejor a las características de la pistola HK USP que actualmente está en servicio en las FAS.

En un principio se planteó la hipótesis de que la homogeneidad en masa de un cartucho afectaría directamente a las variables de velocidad de salida del proyectil y agrupación final en el blanco. Efectivamente se demostró que era cierto con el cartucho Fiocchi, pero hay que tener cuidado de confiar en exceso, pues el cartucho Winchester con homogeneidades en masa y en velocidad de salida incluso mejores que las de Fiocchi, no conseguía agrupaciones tan buenas como éste último. Todo ello debido a un error de montaje por parte del fabricante que deforma el proyectil a la hora de crimparlo con la vaina. Por lo tanto, para evaluar un cartucho antes de que sea disparado, la homogeneidad en masa de sus componentes nos puede servir como referencia pero nunca va a ser una referencia perfecta, pues hay que tener en cuenta otras variables que afectan a la aerodinámica del proyectil como es el caso de la cilindricidad.

Es interesante que el free bore de un arma sea mínimo para conseguir mejor precisión. El problema está en que cada arma tiene un free bore distinto para un mismo cartucho. A la hora de elegir un cartucho de entre varios fabricantes siempre debemos tener presente el free bore. En el caso de estudio, aunque la diferencia de free bore para los tres fabricantes no era muy grande, el que más se aproxima para la pistola HK es Fiocchi y casualmente es el que mejores agrupaciones consiguió con esta arma.

Queda demostrado concretamente para el caso de la munición Winchester que no por tener los valores más elevados en presión se consiguen los valores más altos de velocidad de salida del proyectil. Efectivamente, un exceso de crimpado del proyectil que provoque una deformación del mismo puede hacer que la velocidad de salida disminuya considerablemente. Otro factor que condiciona que la munición Winchester eleve su presión con una reducción de velocidad de salida con respecto a Fiocchi es que la masa de su proyectil es más elevada. Por lo tanto no sólo hay que tener en cuenta la desviación estándar en cuanto a masa de la muestra, sino que también es interesante el valor medio de la muestra.

Hemos visto que en el rango del 9 mm Parabellum los proyectiles pueden tener un diámetro que puede variar desde 8,99 mm hasta 9,05 mm al igual que pasa con los cañones de las armas, por ello es interesante ajustar al máximo ambos diámetros. En este apartado Winchester era quién más se acercaba, pero su exceso de crimpado penó negativamente en su agrupación.

Habíamos comentado en apartados anteriores que no siempre la mejor munición conseguía los mejores resultados en todas las armas. Claramente en este estudio Fiocchi ha sido la mejor, pero para el caso de la pistola Sig Sauer la munición recargada ha conseguido mejores resultados. Por lo tanto no existe una munición universal que funcione mejor en todas las pistolas, hay muchas variables de estudio que hemos detallado durante toda la práctica y estas variables hay que adaptarlas a las características del arma con la que se desea disparar.

De entre las tres municiones de estudio, Santa Bárbara quedaría en último lugar debido a los valores tan altos que el lote del 90 ha alcanzado tanto en valor medio como en desviación estándar de su presión en recámara, Winchester podría haber ganado el concurso por homogeneidad. Sin embargo, el fabricante ha cometido el error de un exceso de crimpado y eso le ha costado el primer puesto. Finalmente Fiocchi no sólo ha conseguido los mejores resultados sino que además ha sido el que mejores resultados ha conseguido con la pistola HK.

Si queremos desarrollar un modelo para evaluar munición que se pueda extrapolar a otras armas, debemos tener presente como mínimo 4 variables: la masa del cartucho, la presión del cartucho en recámara, la velocidad de salida del proyectil y la agrupación final en el objetivo. Por si solas estas variables no pueden asegurar un modelo exacto, pero analizadas en conjunto ayudaran a sacar conclusiones en cuanto a homogeneidad de los componentes, seguridad en su manejo, energía cinética, efectos en el adversario y finalmente precisión.

A la hora de ponderar las 4 variables anteriores no se puede crear un modelo perfecto que satisfaga las necesidades de todos los tiradores, pues el porcentaje de la ponderación de cada variable será función de las preferencias de cada tirador. Un tirador olímpico se decantará por la precisión, un combatiente dará mayor importancia a la seguridad y vida útil de su arma, un cazador puede que valore más la energía cinética que le permita abatir a su presa de un disparo. La OTAN gracias a su norma PFP (NAAG-LCG/1-SG/1)WP(2010)0002 MC MOPI ha desarrollado su propio modelo que permite que la munición de sus países miembros sea intercambiable.

Finalmente la munición recargada de manera artesanal para un arma en concreto, en este caso la pistola Sig Sauer, ha demostrado conseguir resultados satisfactorios. De todos modos, a la hora de recargar hay que saber hacer una buena elección tanto de los componentes del cartucho como de las dimensiones finales del mismo, para que se adapten al arma con la que va a ser disparada dicha munición.

5. Bibliografía

5.1 Libros

- MALFATI, R. (1986). *Manual de Recarga nº 3*. Barcelona, Ediciones 88 S.L. (or. 1989).
- BRACERAS, S. (2006). *Manual de Recarga Armas y Municiones*. Madrid, Ediciones Valmayor S.L. (or. 2006).
- JIMÉNEZ, J. (2006). *Balística Forense*. Murcia, Editorial Tecnocopy (or. 2010).
- LEE, R. (2003). *Modern Reloading*. Wisconsin, Editorial Lee Recarga (or. 2014).

5.2 Publicaciones CUD

- MARTÍNEZ, J./ FIASCONARO, A./ OLMO, J. (2011). *Elementos de Estadística*. Zaragoza.
- ACERO, R./ PASTOR, J./ SANCHO, J./ TORRALBA M. (2012). *Ingeniería de la Calidad*. Zaragoza.