

**IDENTIFICACIÓN DE ARMAS DE FUEGO MEDIANTE TECNICAS DE
RECONOCIMIENTO EN EL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES.**



Tesis presentada por Daniela Duque González y Nelson Julián Castaño Jaramillo.

Para obtener el grado de Ingeniero Físico.

Director: Ph.D (C) Jimmy Alexander Cortés Osorio.

Universidad Tecnológica de Pereira

Facultad de ciencias básicas

Agosto de 2019

Agradecimientos

A Dios, por ser nuestra fortaleza para sacar adelante este proyecto de investigación, porque siempre estuvo con nosotros en todas las dificultades para guiarnos por el camino correcto.

A nuestra familia, por siempre haber estado con nosotros en el camino para alcanzar este objetivo tan importante en la vida de un ser humano, gracias por el tiempo que han dedicado y por las palabras de aliento cuando nos encontrábamos a punto de abandonar nuestro objetivo.

Un agradecimiento especial a:

Nuestro director de grado por el trabajo y la paciencia que tuvo con nosotros, gracias por habernos acompañado en este tiempo y darnos las herramientas correctas para alcanzar este logro tan importante en nuestras vidas, gracias por la gestión que ha realizado durante todo este tiempo de trabajo.

Al programa de Ingeniería Física por el apoyo recibido.

A la Fiscalía General de la Nación SECCIONAL PEREIRA, en el área de balística por prestarnos el laboratorio para realizar la base de datos y en especial al señor Jaime Granada por la gestión realizada.

Tabla de Contenido

Resumen	9
Introducción.....	10
1. Objetivos	11
1.1. General.....	11
1.2. Específicos	11
2. Antecedentes	12
3. Métodos.....	16
4. Trabajos Revisados	17
4.1. Balística Forense.....	17
4.2. Análisis Forense Computarizado	20
4.2.1. Criterios acerca de los Sistemas Comerciales	22
4.3. Protocolo de Adquisición de Imágenes.	22
4.4. Desarrollo de Nuevos Sistemas de Identificación Balística Automatizada	24
4.5. Métodos empleados para la Identificación de Armas de Fuego mediante Imágenes de la Base del Proyectoil.....	24
4.5.1. Características Numéricas	24
4.5.2. Redes Neuronales.....	28
4.5.3. Huella digital	34
4.5.4. Momentos Geométricos	35
4.5.5. Celdas Coincidentes Congruentes	36
4.5.6. Transformada de Fourier.....	38
4.5.7. Momentos Invariantes CMI	39
4.5.8. Espacio Ndimensional.....	42
4.5.9. Transformada de Hough.....	44
4.5.10. Escaneo de Imagen de Línea.....	45
4.5.11. Invarianza a la Rotación	47
4.5.12. Correspondencia de Imágenes.....	49
4.5.13. Autocorrelación de Características de Forma Global	51
4.5.14. Extracción de Características Mediante Técnica SIFT	53
4.5.15. Combinación Múltiple de Imágenes	57
4.5.16. Extracción de Características Utilizando Microsoft.....	58
4.5.17. Enfoque de Probabilidad en Comparación con el Teórico.....	58

4.5.18. Identificación balística Evofinder	59
4.5.19. Otros Métodos	59
4.6. Métodos empleados para la Identificación de Armas de Fuego mediante Imágenes de Estriado en la Bala del Proyectoil	60
4.6.1. Correlación mediante Descomposición.....	60
4.6.2. Red Neuronal Convolutacional-TripNet	64
4.6.3. Huella Digital	66
4.6.4. Escaneo de Línea y Perfilado de Superficie	66
4.6.5. Extracción de Características de Textura	69
4.6.6. Redes Neuronales	70
4.6.7. SIFT.....	71
4.6.8. Momentos invariantes de HU.....	71
4.6.9. Otros Métodos	72
Discusión	73
Bibliografía.....	75

Índice de Imágenes

Figura 1. Elementos del proyectil [2].	18
Figura 2. Marcas de la aguja percutora en el cartucho dejadas después de accionar el arma [17].	19
Figura 3. Imágenes de huellas digitales a) base o culote del proyectil [Laboratorio de Criminalística de la Fiscalía General de Nación-Seccional Pereira], b) bala del proyectil [2].	19
Figura 4. Regiones segmentadas de la imagen de la caja del cartucho [27].	27
Figura 5. Primera fila: llanta de tiro, Segunda fila: Centro de tiro [24].	29
Figura 6. Topología de SOFM [24].	30
Figura 7. a) Imagen de bajo contraste, b) Resultado de la mejora de contraste, b) Resultado del Umbral [24].	30
Figura 8. a) Imagen original, b) Ajuste de contraste, c) Transformación polar, d) Gradiente morfológico, e) Umbral [24].	31
Figura 9. Seis tipos de marcas de percusión dentro de las ventanas con normalización de tamaño [24].	32
Figura 10. Sistema de identificación propuesto [24].	33
Figura 11. Silueta de una manzana y representación como firma digital [1].	34
Figura 12. Angulo de orientación del centroide principal [30].	35
Figura 13. Características principales en la base de las vainillas [Propia].	36
Figura 14. Comparación de las recamaras de las pistolas [34].	37
Figura 15. Probabilidades de la dispersión experimental [34].	38
Figura 16. Preprocesamiento de las imágenes [35].	39
Figura 17. Imágenes de caja de cartuchos de muestra (tomadas con luz anular de longitud de onda única); marca de la clavija central en la primera fila y marca de la clavija de disparo del borde en la segunda fila [23].	40
Figura 18. Sobel con máscara 3x3: 45 y 135 grados [23].	41
Figura 19. Imágenes de cartuchos binarizadas [23].	41
Figura 20. Distribución espacial 3-D del calibre, la forma del percutor y la longitud de la caja del cartucho para los 14 cartuchos [13].	43
Figura 21. Marcas en el cartucho. (a) impresión del eyector, (b) impresión facial de la brecha y (c) impresión del pin de disparo [19].	44
Figura 22. Estructura del sistema OBIS [14].	46
Figura 23. Imagen polar de la caja del cartucho en círculos con diferentes radios [36].	47
Figura 24. $am(k)$ Obtenido de las pistolas rotadas en diferentes grados [36].	48
Figura 25. (a) Imagen original de la caja del cartucho, (b) aproximación de Fourier en la imagen de la caja del cartucho [36].	49
Figura 26. Distancia Euclidiana obtenida para armas iguales y diferentes [36].	49
Figura 27. Superficie del fondo de la muestra [38].	51
Figura 28. a) Marca de curvatura, b) Función de autocorrelación, c) Espectro de densidad de potencia para arma A y B respectivamente [38].	52
Figura 29. Curva ROC [38].	53
Figura 30. Ejemplo de conjunto de imágenes [15].	54

Figura 31. Ejemplo de proceso de transformación gráfica [15].	55
Figura 32. Puntos iniciales correspondientes y los resultados correspondientes [15].	57
Figura 33. Partes segmentadas aplicando el filtro Wiener [38].	57
Figura 34. Pruebas de disparo [41].	59
Figura 35. Imagen de nivel de gris típica en 2D de la superficie de la bala [44].	61
Figura 36. Resultado de la detección de bordes [44].	61
Figura 37. Resultado de la transformada de Radón en la imagen del borde de la superficie de la bala: Las áreas más brillantes señalan la alta densidad de líneas en un cierto ángulo [44].	62
Figura 38. Perfil medio y suma de sus FMI (IMF3 a IMF8) [44].	63
Figura 39. Perfiles 1D superpuestos extraídos de superficie 3D escanea imágenes 2D de NFI Toolmarks 15 grados (arriba) y 30 grados (abajo) [45].	64
Figura 40. Resultado de aplicar la operación de ajuste de forma elástica a los perfiles de la herramienta 1A para α de 15° abajo y 30° arriba [45].	65
Figura 41. Imágenes de líneas de proyectiles disparados por la misma arma de fuego [47].	66
Figura 42. Imagen de escaneo de línea que muestra puntos de referencia y marcas de surco [49].	68
Figura 43. Perfil de superficie de menor porción del proyectil que muestra las marcas de tierra y estrías a través de 360° [49].	68
Figura 44. Perfil de superficie corregido de porción inferior del proyectil mostrando marcas de tierra y estrías a través de 360° [49].	69
Figura 45. Comparación superior y marcas más bajas y estrías del proyectil a través de 360° [49].	69
Figura 46. Superficie “desenvuelta” de un proyectil [50].	70

Índice de Tablas

Tabla 1. Lista de algoritmos con su respectivo resultado de clasificación [26].	26
Tabla 2. Tasas de clasificación mediante validación cruzada-Tasa en % [27].....	28
Tabla 3. Tamaño de los seis tipos de ventana en Píxeles [24].....	31
Tabla 4. Resultados experimentales [24].....	33
Tabla 5. Matriz de confusión [38].	52

Resumen

En muchos asesinatos o robos se ven involucradas armas de fuego (especialmente pistolas) que dejan impresas las características identificativas en los cartuchos disparados y son conocidas como la “huella digital” del arma de fuego que fue accionada. Estas características son impresas por las herramientas que componen el arma y son de gran utilidad para el investigador balístico al momento de dictar un juicio ante un tribunal de justicia para hallar al culpable del crimen. Esta identificación de armas de fuego se puede lograr gracias a las marcas que se dejan en el culote impresas por el eyector y a las marcas que son llamadas estriado que son impresas en la bala debido al roce de esta con el interior del cañón, siendo de gran utilidad a la hora de realizar el cotejo.

Los parámetros descritos anteriormente son fundamentales a la hora de la identificación de armas de fuego ya que estos arrojan patrones únicos que se dejan a la hora de la accionar una pistola. En la actualidad se han desarrollado software de identificación digital de armas de fuego con el propósito de agilizar el proceso y aumentar la eficacia y exactitud del dictamen realizado por el perito haciendo su labor mucho más rápido y fácil. En nuestro trabajo de investigación se hace una revisión profunda acerca de las técnicas empleadas para el desarrollo de softwares de identificación que se han empleado para la extracción de características y los métodos estadísticos utilizados para juzgar la singularidad de los especímenes balísticos y determinar cuál es la más apropiada y que arroje mejores resultados al momento de identificar el arma de fuego.

Introducción

La identificación de armas de fuego es un tema de interés, ya que mediante un riguroso proceso de análisis se puede llegar a identificar los responsables de diferentes actos criminales gracias a muchos de los procesos ya establecidos e implementados que han sido una ayuda a la hora de relacionar al sospechoso con el arma de fuego que fue accionada. La Balística Identificativa es la rama de la Física Forense que se enfoca en comparar las señales identificativas impresas por un arma de fuego; estas son características que aportan información de las señales de clase (calibre, lote, año de fabricación y marca de la casa fabricante), señales de subclase (forma del fondo de percusión) y señales individuales (Huella del eyector y cráter de percusión); este procedimiento lo realiza el perito en balística mediante el macroscopio de comparación, comparando las señales individuales entre dos vainillas diferentes con el fin de determinar el arma por la que fueron disparadas; sin embargo, tal procedimiento se puede realizar mediante la utilización del procesamiento digital de imágenes a través de algoritmos desarrollados en lenguaje Matlab y su caja de herramientas en lo referente al tema.

Este problema de investigación nace con el propósito de brindar una visión general sobre las diferentes herramientas que le permitan al perito en balística fundamentar sus criterios a la hora de realizar un cotejo que implique percusiones de armas de fuego, con el fin de determinar la culpabilidad o no culpabilidad del sospechoso en un hecho delictivo. Como se ha dicho anteriormente, las señales individuales, son señales de gran importancia al momento de realizar un cotejo, pero estas pueden presentar diferencias y similitudes de acuerdo con el arma de disparo y el tiempo de uso de esta y aunque las armas sean idénticas, pertenezcan a la misma casa fabricante y al mismo lote, sus diferencias en las señales individuales se deben a que, en el momento de su fabricación, las piezas que componen el arma pueden no pertenecer a igual lote de fabricación, lo cual, genera una incertidumbre a la hora de imprimir sus señales.

1. Objetivos

1.1.General

Revisar las diferentes técnicas de reconocimiento de imágenes utilizadas para la identificación de armas de fuego, con el fin de brindar una visión general acerca de los métodos más utilizados para identificar el arma de fuego accionada en la escena.

1.2. Específicos

1. Realizar una revisión bibliográfica de artículos de revistas sobre las diferentes técnicas empleadas en la identificación de armas de fuego basadas en cartuchos.
2. Comparar las técnicas de procesamiento implementadas en los últimos años para la identificación digital de armas de fuego.
3. Brindar un aporte cualitativo basado en los resultados obtenidos mediante las diferentes técnicas de identificación que permita descartar o adaptar las técnicas apropiadas al momento de realizar el cotejo.

2. Antecedentes

La identificación de armas ha sido un problema para las ciencias forenses, a pesar de que hemos visto que se han realizado grandes trabajos sobre la identificación de armas de fuego mediante diferentes métodos y técnicas de reconocimiento aún no se tiene un método asertivo que sea 100% eficaz para esta labor. Gracias a los estudios realizados se han encontrado técnicas que son de gran ayuda para el perito experto en balística como una herramienta útil y eficaz para la identificación de armas de fuego; es importante aclarar que éstas se realizan con base a las huellas o marcas características las cuales son impresas sobre las muestras balísticas tales como las marcas de los proyectiles y las vainillas producidas a la hora de accionar un arma de fuego, ayudando al perito a la hora de hacer los cotejos, pero esto no quiere decir que ya se haya encontrado una solución definitiva a este problema forense [1].

La balística forense es la ciencia encargada de estudiar todos los fenómenos que ocurren al momento de accionar un arma de fuego estudiando todas las marcas dejadas en el proyectil debido al roce con el cañón del arma de fuego; estas marcas son de vital importancia a la hora del reconocimiento, aportando pistas mediante las marcas dejadas en el culote por la aguja percutora y por la recámara de la pistola que permiten establecer parámetros para la identificación correcta de un arma de fuego y aclarar muchas escenas del crimen[1-2].

Muchos de estos aportes han sido un gran avance para las ciencias forenses en la aclaración de muchos actos delictivos y han sido una herramienta muy poderosa para relacionar las armas de fuego con el sospechoso, siendo esta la ciencia que ayuda a identificar las huellas que se dejan impresas en las balas y en los cartuchos cuando estos son accionados, mediante las marcas impresas por el arma que son únicas e irrepetibles según el arma de fuego a la que pertenezcan [3].

Como se mencionó anteriormente los avances en las tecnologías para la identificación de evidencia a aumentado en las últimas tres décadas y ha sido de bastante ayuda para las fuerzas públicas; se puede observar que en muchos casos estas herramientas manejan una tasa de error bastante grande a la hora de realizar la identificación, por dicha razón estas han sido de ayuda en muchos casos pero también se ha llevado a cometer errores y

muchas veces vemos involucradas a personas inocentes en actos delictivos; esto ocurre ya que se cuentan con varias técnicas para la identificación y una de ellas es la clasificación por parte de un experto, pudiendo evidenciar que los informes balísticos siempre tienen un aporte positivo y un aporte negativo a los casos estudiados [3].

La balística forense se divide en dos partes bastante importantes que son la balística interna y la balística externa. La balística interna es aquella que se encarga de estudiar todo lo que pasa al interior del arma de fuego y la balística externa es aquella que se encarga de estudiar todas estas características o fenómenos que se dan cuando el arma de fuego ha sido accionada. Existen varios métodos para la identificación de las diferentes marcas o huellas digitales que quedan impresas en la bala o en el cartucho; en el cartucho se pueden encontrar las marcas impresas en el culote donde quedan impresas las marcas más significativas para el perito a la hora de realizar un cotejo. Cabe decir que las marcas que se dejan en los fusiles son gracias a los surcos del cañón, ya que la pistola es diseñada con dichos surcos haciendo que el fusil de giros dentro del cañón y salga con una estabilidad determinada para que este no caiga de un extremo a otro [2-4]. Las marcas que se dejan en el fulminante son aquellas realmente importantes para la correcta identificación de las armas de fuego. La rama de las ciencias forenses denominada balística identificativa, se encarga de comparar las marcas dejadas por el arma accionada en la superficie de las vainillas que son impresas por los artefactos mecánicos que se encuentran al interior del arma de fuego. En el estudio de la balística identifica se identificaron tres partes importantes a la hora de realizar el cotejo las cuales son: la base, el fulminante y el cráter de percusión. Para la identificación de las armas de fuego se han escogido o estudiado la parte de la vainilla que más información descriptiva posea, ya que este aporta información sobre la forma, ubicación y la excentricidad de la aguja percutora; todos estos detalles son bastante importantes para la identificación y comparación de armas de fuego, a estos aspectos se les puede denominar morfología del cráter de percusión de las vainillas percutidas [1].

Existe otra manera de determinar o identificar si las percusiones fueron de un arma determinada y es por la técnica de rifling, esta técnica se implementa gracias a la dirección de los surcos ya que la dirección de estos puede ser a la derecha o a la izquierda, esto se

puede determinar observando el barril de la pistola que se encuentra en el crimen, la mayoría de las armas de fuego tienen sus surcos fabricados en dirección horario es decir a la derecha y son muy pocas las casas fabricantes que diseñan el barril con surcos a la izquierda o en sentido antihorario, estas marcas dejadas por el rayado del cañón son marcas en la viñeta que se denominan características de clase, estas son bastante importantes para ayudar a identificar la marca y el modelo de la pistola que fue accionada [4]. Muchas de las marcas que se encuentran en la base del cartucho son marcas propias de fabricación y muchas de las estriaciones que se ven a la hora de realizar el cotejo son marcas no intencionales que fueron hechas a la hora de fabricar la bala [5].

Cuando el experto en balística tiene un área pequeña para determinar si existen las características individuales necesarias para realizar el cotejo de manera correcta, es muy difícil para el investigador, ya que en este caso no se puede utilizar el método de patrón de coincidencia debido a que es muy difícil encontrar todas las marcas o características individuales requeridas para una buena identificación del arma de fuego [1].

En este estudio se tienen en cuenta las marcas que quedaron en el culote debido a la recámara de la pistola, ya que estas huellas son de gran significado a la hora de la identificación ya que en esta queda la marca del eyector cuya caracterización es de mucha importancia a la hora de realizar un cotejo ya que cada arma deja una marca de eyector diferente que es particular de cada casa fabricante, haciendo que el trabajo de los expertos en balística sea mucho más fácil [6].

En esta investigación [7] podemos observar una revisión bibliográfica sobre las técnicas de procesamiento de imágenes el cual se basa en las balas y en los cartuchos, hace una revisión sobre los métodos estadísticos que se utilizan y que han sido utilizados para juzgar la similitud de las balas disparadas por un arma de fuego específica, para esto se revisaron muchos algoritmos ya utilizados y la tecnología 2D y 3D, llegando a la conclusión de que ninguno de los métodos tiene una coincidencia totalmente correcta pero son estadísticamente viables para que el perito en balística forense imparta un dictamen y así se pueda condenar a un criminal. En todos los casos para la identificación de estos fue fundamental las marcas de rifling para las balas, es decir las marcas que deja el cañón de la pistola accionada y las marcas en la base de la vainilla.

La investigación [8] dice que no hay dos armas que dejen una marca idéntica, basándose en el diseño de pruebas similares a la de una escena dentro de un laboratorio de criminalística, esta situación llevo a muchas limitaciones ya que puso en tela de juicio el conocimiento de los expertos en balística a la hora de dictaminar un informe. Lo que se pretende con esta investigación es hacer una aproximación de la tasa de error que se comete diariamente en los dictámenes de los peritos. El papel del examinador forense incluye tareas que requieren una precisión científica y se debe basar en aspectos físicos, químicos y biológicos, ya que muchas veces estos aspectos se pasan por alto o no se les da la importancia debida y se pueden ver muchos casos de injusticia, es decir que muchas personas inocentes pueden estar presas por un error en el dictamen de los expertos en el área [9].

3. Métodos

Se realiza una revisión bibliográfica descriptiva narrativa, en la que se analiza lo expuesto referente al tema de identificación de armas de fuego mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes por diferentes autores, permitiendo presentar un análisis crítico del tema. En su elaboración se consultaron las bases de datos suscritas como la IEEE Xplore y la ScienceDirect disponibles en la biblioteca virtual de la Universidad Tecnológica de Pereira, utilizando los descriptores de búsqueda Fire Weapon Identification (Identificación de arma de fuego), headstamp (Sello de cabeza), Firearm identification (Identificación de arma de fuego), Firing Pin Comparisons (Comparaciones de Percusión), Ejector comparison (Comparaciones de Eyector), Striated Toolmarks (Marcas de Estriado), permitiendo la selección de 51 documentos que abordan los temas a analizar que se dividen en: 33 artículos, 3 tesis, 13 memorias y 2 libros.

4. Trabajos Revisados

4.1. Balística Forense

“La balística es la ciencia que estudia el alcance y dirección de los proyectiles” [10], estudiando el desplazamiento de los proyectiles desde el arma hasta el objetivo [11] y su estudio se divide tres ramas: balística interior, balística exterior y balística terminal o de efectos. Para el desarrollo de nuestro trabajo de investigación, nos enfocamos sólo en el estudio de la balística interior, siendo la encargada de estudiar el período desde que el proyectil se encuentra en reposo en la recámara del arma hasta que este sale por la boca de esta [10,11]. La unión de estas tres ramas da como resultado la balística forense, la cual es la encargada de identificar la relación entre los proyectiles y el arma de disparo a partir de la evidencia recolectada en el lugar de los hechos, partiendo de las características impresas por el arma de fuego en el proyectil debido al rozamiento y fricción de las herramientas que la componen [2], estas marcas características en los especímenes balísticos son producidas cuando el arma de fuego se dispara y son claves para su identificación en casos penales, ya que todas las armas de fuego son mecanizadas durante el proceso de fabricación dejando marcas específicas del método en particular proporcionando un enlace con el sospechoso y la escena del crimen, permitiendo que el examinador proporcione a su equipo de trabajo información sobre el calibre, la medida del arma involucrada, el tipo de arma utilizada junto con la marca y la edad probable de las municiones utilizadas en el incidente [12].

Las armas de fuego emplean la fuerza expansiva y propulsiva de la pólvora para expulsar el proyectil desde su interior, el cual está formado por 4 partes que son reunidas en un solo conjunto (Figura 1).

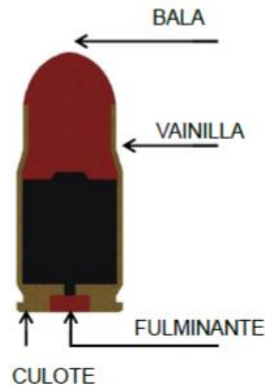


Figura 1. Elementos del proyectil [2].

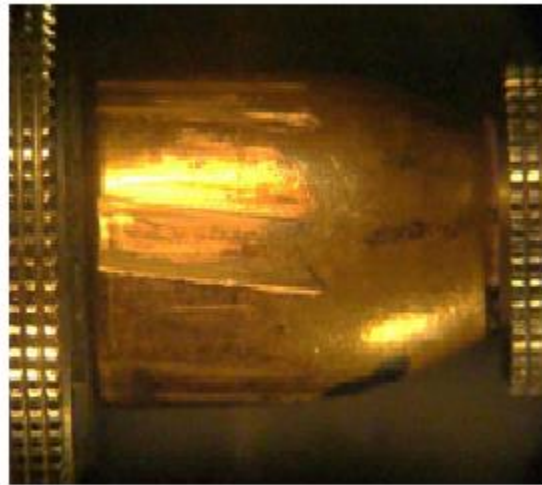
Más de treinta son las marcas denominadas “huella digital” para el reconocimiento en balística, ya que cada arma de fuego posee herramientas únicas [13-14]. Las superficies planas son maquinadas por una fresadora dejando impresos círculos o arcos exclusivos de la misma que pueden ser vistos a simple vista o mediante un microscopio cuando son muy suaves y las piezas redondas se mecanizan con un torno, haciendo posible identificar tanto el tipo como el modelo del arma de fuego. Estas huellas de herramientas son impresas tanto en la bala como en el cartucho (Figura 2) [15], pero para la identificación de armas de fuego, el ejemplar más importante es la marca ocasionada en la caja del cartucho (Figura 2), ya que se puede ver como una “huella digital” siendo la marca causada por el percutor y el eyector (Figura 3.a). Las marcas de estriación en las balas son causadas por las irregularidades que presenta el cañón del arma de fuego haciendo que las mismas se deformen por el impacto [16] y son impresas por el movimiento giratorio (movimiento giroscópico) en el cañón al momento de efectuarse el disparo del proyectil consiguiendo su trayectoria en línea recta (Figura 3.b) [10]; En este caso, la mayoría de las medidas del rayado son de aproximadamente 0.1 mm y los puntos altos en el agujero son conocidos como tierras y durante mucho tiempo se ha establecido que tales imperfecciones producidas al azar pueden verse bajo el microscopio como un patrón de finas líneas paralelas similares a los códigos de barras de envases de supermercado y son tan únicos como las huellas dactilares de una persona [12].



Figura 2. Marcas de la aguja percutora en el cartucho dejadas después de accionar el arma [17].



a) Base o Culote



b) Bala

Figura 3. Imágenes de huellas digitales a) base o culote del proyectil [Laboratorio de Criminalística de la Fiscalía General de Nación-Seccional Pereira], b) bala del proyectil [2].

La base del proyectil (Figura 3.a) se ve como un disco redondo desde la parte inferior y sus marcas se encuentran situadas en el área interior. Las marcas de percusión son impresas en el cartucho durante el proceso de disparo por el martillo percutor como resultado de la fuerza de este durante el rodaje apareciendo como una cueva situada en el círculo irregular más pequeño, esta marca incluye la posición, radio, profundidad y forma del percutor y varía según el arma de fuego. La marca del eyector incluye características como la forma, posición y dirección del eyector, siendo impresa cuando la bala golpea el eyector del arma de fuego [18].

La bala (Figura 3.b) presenta características de estriado que se presentan como desniveles en el proyectil y pueden apreciarse como un corte transversal del cañón; este posee diferentes tipos de características que se deben a los diversos fabricantes y existen armas solo con dos estrías en el cañón obteniendo generalmente entre cuatro y seis estrías [2].

El experto en balística judicial puede realizar la identificación del arma de fuego mediante el estudio del cartucho comparando la similitud de las marcas dejadas en este permitiendo distinguir qué arma de fuego realizó el disparo de la bala en estudio, sin embargo, el número de armas con las que se realiza el emparejamiento es generalmente demasiado grande siendo una gran carga para la identificación manual de un cartucho de prueba, surgiendo así la demanda de un sistema de identificación automatizado debido al mecanismo y a la cantidad de material [18-19].

4.2. Análisis Forense Computarizado

Ya que no hay una base científica sobre qué marcas se crean, los hallazgos recientes en tendencia de digitalización en el campo de la escena forense del crimen conocida como “escena del crimen digitalizada forense”, muchos países han implementado software de identificación que agilizan y aumentan la eficacia y exactitud del dictamen, dando así un fundamento científico al cotejo manual comparando pares de muestras mediante bases de datos de búsqueda para inferir la similitud de las marcas dejadas en este permitiendo distinguir qué arma de fuego realizó el disparo de la bala tomada como evidencia de un sospechoso [16, 20, 21] y determinar si esta ha sido empleada en hechos anteriores [12]. Para esto, existen varios sistemas de imagen balística comerciales o de prueba que han sido desarrollados por organizaciones o investigadores desde los años 90 y son mencionadas a continuación:

DRUGFIRE, FBI GRC & ITAR (Sistema de Tráfico de Armas de Interpol):

Sistemas de base de datos en el extranjero que no proporcionan adquisición de imágenes, reconocimiento de patrones y comparación de cartuchos o proyectiles completamente computarizados, ya que permite solo enviar información de identificación detallada sobre el arma utilizada en un delito por las marcas dejadas en el cartucho encontrado en la escena del crimen [22].

IBIS: El Sistema Integrado de Identificación Balística (IBIS), es un sistema internacional de imágenes de balística que ha sido implementado por el FBI en estados unidos [23] y ampliamente utilizado en muchos países [14], convirtiéndose en una herramienta estándar mundial para identificar armas de fuego que consiste en capturar la imagen, extraer las características de la misma para realizar la comparación de la muestra y proporcionar finalmente una lista de clasificación basada en correlaciones relacionadas. Diferentes estudios realizados por diferentes investigadores (Brinck, 2008; Kinder, Tulleners, & Thiebaut, 2004; Nennstiel & Rahm, 2006), han demostrado que la precisión varía entre el 21% y el 95% dependiendo no solo de la calidad de la impresión de la marca generada en el cartucho, sino también en la precisión de la alineación manual y la calibración de las imágenes [23].

BulletProof & BrassCatcher: Sistemas comerciales desarrollados por la compañía canadiense Walsh Automation y el Sistema Automatizado de Identificación de Puntos de Referencia (ALIS) en japon respectivamente que permiten adquirir y almacenar imágenes de proyectiles y cartuchos en su base de datos [14, 22, 23]; pero el sistema comercial BulletProof además de que permite buscar automáticamente en la base de datos de imágenes las estriaciones particulares de los proyectiles, no permite identificar las marcas impresas ni las estrías de los cartuchos [24].

NIBIN: Las comparaciones en Estados Unidos se hacen mediante una base de datos llamada National Integrated Ballistics Information Network (NIBIN) mediante una computadora con la plataforma en la que se captura una imagen de la caja del cartucho recuperado y se ejecuta un algoritmo de búsqueda devolviendo una lista de las mejores coincidencias posibles en la base de datos [21].

FIREBALL: La base de datos web FireBall desarrollada por Edwin Cowan en 1995, es proporcionada como un enfoque práctico para extender un sistema de escritorio formal de aplicación web que permita un procesamiento digital de imágenes y control manual sobre el tiempo de exposición controlado por el ordenador, permitiendo realizar un examen balístico en cuestión de minutos. Este sistema está siendo implementado en la actualidad en el departamento de la Policía de Australia en servicios para identificar, almacenar y recuperar imágenes de cartuchos [14], mediante el cual, la bala puede ser

procesada por un microscopio óptico de detección electrostática computarizado para la captura de la imagen del cartucho a estudiar mejorando la imagen y siendo guardada en la base de datos [20] que permite obtener de forma interactiva métricas de posición para la impresión de la marca de la punta de disparo, la marca del eyector y la marca del extractor, pero su limitación está en que el usuario debe ubicar manualmente la posición y la forma de las imágenes de impresión [24].

4.2.1. Criterios acerca de los Sistemas Comerciales

A pesar de los últimos avances en la identificación inteligente de armas de fuego, los principales problemas prácticos y teóricos están aún sin resolver. Desde el punto de vista práctico la captura de las imágenes de alta calidad de especímenes balísticos es una tarea difícil y desde el punto de vista teórico la extracción de características de las imágenes de los cartuchos son una pregunta de investigación abierta en identificación de armas de fuego [23], dependiendo así, la identificación de armas de fuego automatizada de la experiencia final del usuario debido a la falta de tecnología de procesamiento inteligente de imágenes convirtiéndose en una gran limitación para el procesamiento, recuperación e identificación, haciendo que los sistemas existentes requieran mejoras y desarrollos adicionales al no cumplir con la demanda, ya que un buen sistema automático de identificación de imágenes balísticas que incluyen la adquisición de datos y la extracción de las características de las imágenes de cartuchos y proyectiles, además de evaluar el grado de similitud entre dos conjuntos de características y organizar los resultados de manera conveniente (si es que dos balas están involucradas en una comparación), debe proporcionar al usuario herramientas que le permitan verificar los resultados obtenidos por el algoritmo de correlación [14].

4.3. Protocolo de Adquisición de Imágenes.

La aplicación de las imágenes inteligentes al reconocimiento y medición de características de clase de los especímenes balísticos son potenciales al momento de identificar la marca y el modelo del arma. Los análisis permitirán discriminar entre las propiedades de las características de clase para identificar el tipo de arma [13]; obtenidas a través de un microscopio óptico en el que se debe hacer un buen manejo de la iluminación hacia el material del cartucho, ajuste de la distancia focal y rotación de la

muestra debido a la suavidad de las marcas en la superficie del espécimen para lograr que las características de identificación no se vean perturbadas por el ruido y lograr la adquisición de las imágenes en alta resolución [15-18], para lo cual, muchos de los expertos están de acuerdo con las siguientes características a la hora de adquirir la imagen:

Iluminación: Para la adquisición de imágenes de alta calidad, se recomienda que la iluminación del anillo de luz LED incida sobre la superficie con un ángulo de más de 45 grados, ya que se encontró que el mejor ángulo de incidencia es de unos 50 grados produciendo una mejor sombra de los picos y crestas de estrías, logrando características discernibles para el proceso de identificación [14].

Posicionamiento de espécimen: La posición de la marca del percutor es ubicada a las 12 en punto y las posiciones del extractor y la marca del expulsor son codificadas con respecto a esta posición, ya que se entienden en como estarían ubicadas en el arma de fuego [14].

Contraste: Es la diferencia entre los tonos más claros y los más oscuros este parámetro influye mucho a la hora de realizar la identificación de las armas de fuego, siendo un patrón definitivo a la hora de realizar el procesamiento de las imágenes [1].

Brillo: Este aspecto lo que hace es sumarle o restarle al número que representa la tonalidad de cada píxel de las fotografías, este factor es de vital importancia ya que con unos parámetros definidos se puede perder información de relevancia a la hora de la identificación [1].

Saturación: Se debe tener un control sobre este parámetro ya que este puede alterar el color de algunos pixeles de la imagen dando así un reconocimiento de patrones erróneo, alterando el informe suministrado por los expertos en balística [1].

Distancia lente-objeto: Este corresponde a la distancia indicada o precisa para que las imágenes que son tomadas queden claras para la identificación de las marcas características de cada arma de fuego [1].

4.4.Desarrollo de Nuevos Sistemas de Identificación Balística Automatizada

La necesidad de sistemas de identificación de armas de fuego por parte de los servicios policiales nacionales e internacionales aumentan debido al incremento en la accesibilidad a las armas, ya que estos sistemas tienen el potencial de reducir la actividad de trabajo intensivo de identificación balística tradicional proporcionando la oportunidad de dar una respuesta rápida en análisis balísticos forenses para el estado nacional y militar, actividades de mantenimiento de la paz y mejores índices de detección de delitos por policías en la escena del crimen [22], pero debido a que muchos de los servicios policiales carecen de fondos para mantener un programa de investigación y desarrollo de sistemas de identificación balística, actualmente se han desarrollado algunas investigaciones acerca de la creación de sistemas de identificación automatizada de armas de fuego empleando diferentes técnicas de extracción de características y reconocimiento de imágenes computarizadas, considerado como una disciplina de la información forense que aborda el procesamiento completo de trazas de la escena del crimen en el dominio digital. Las características potenciales incluyen texturas, morfología, química, espectro y electrostática. El uso de técnicas digitales permite la implementación de evaluaciones cuantitativas automatizadas; estas características son seleccionadas dependiendo del objetivo forense y se utiliza en combinación con una determinada decisión como una estrategia para obtener resultados [16].

4.5.Métodos empleados para la Identificación de Armas de Fuego mediante Imágenes de la Base del proyectil

La impresión del percutor es una de las marcas más importantes en la caja del cartucho para la identificación de armas de fuego y algunas de las técnicas digitales empleadas para su identificación se describen a continuación:

4.5.1. Características Numéricas

La primera investigación [25], consta de un análisis preliminar en el que es necesario calcular los coeficientes de Pearson entre todos los pares de características dado que los datos fueron obtenidos por cinco pistolas de la misma marca y modelo con el fin de explorar las características de coacción en la impresión del pin de percusión mediante SPSS con una medida de adecuación de muestreo de 0.58, obteniendo que la prueba de Bartlett arroje un nivel de satisfacción del 5% siendo altamente significativa por lo que

se puede concluir que el análisis es apropiado para el conjunto de datos obtenidos. Para la varianza se tuvieron en cuenta los cuatro factores principales que fueron utilizados a su vez como variables discriminantes, estos cuatro factores fueron obtenidos de las 16 características de los cuales se obtuvo una varianza relativamente grande y finalmente, el acumulado de la varianza asociado a las 16 características fue superior al 92,705%.

Para probar que este modelo es significativo se utilizaron cuatro funciones discriminantes canónicas a las cuales se les aplicó la prueba de lambda indicando que era relevante. Finalmente, las imágenes se clasificaron correctamente de acuerdo con las pistolas que fueron utilizadas; obteniendo un grado de satisfacción del 75,4% mediante validación cruzada [25].

Para la segunda investigación [26] las imágenes se basaron en las diferentes formaciones de algoritmos mediante una red sigmoide utilizando dos capas de arquitectura. Para la validación de estos algoritmos fue utilizada la validación cruzada, pudiendo observar resultados para los diferentes algoritmos, de los cuales, el trainlm arrojó los mejores resultados utilizando las imágenes que contaban con la impresión del percutor, llegando a la conclusión de que este era el método más apropiado para la correcta clasificación de las imágenes. A continuación, se muestra la tabla con los resultados de cada uno de los algoritmos usados en este estudio (Tabla 1).

Características Numéricas de toda la imagen de impresión del percutor	
Algoritmos de entrenamiento de propagación hacia atrás	Porcentaje de clasificación correcta
traingd	56%
traingdm	67%
traindx	43%
trainrp	66%
traincgf	71%
traincgp	60%
traincgb	41%
trainscg	86%
trainbfg	74%
trainoss	80%
trainlm	94%
Trainbr	57%

Tabla 1. Lista de algoritmos con su respectivo resultado de clasificación [26].

Para la tercera investigación [27], se prueban cinco tipos de pistolas diferentes del modelo Parabellum Vector SPI de 9mm fabricadas en Sudáfrica en las que se dispararon 50 balas en cada una de ellas. Las imágenes de los cartuchos se capturaron mediante el sistema DRUGFIRE, en las que la variable dependiente es la variable categórica que representa cada una de las pistolas etiquetadas como Pistola A, Pistola B, Pistola C, Pistola D y Pistola E y las variables independientes son las 68 características numéricas en las que 20 son características estadísticas básicas y 48 son características de momento geométricas hasta el sexto orden que fueron extraídas de tres regiones de la imagen de impresión del percutor. El enfoque de extracción de características numéricas de las imágenes es esencial en el reconocimiento de patrones, para las imágenes de cartuchos segmentadas en nivel de gris (Figura 4).

En la investigación [28], se hace un estudio sobre las pruebas de impresión en la base de las vainillas son objetos de estudio ya que no existe un método que compruebe la morfología correcta de las vainillas por medio de datos numéricos.

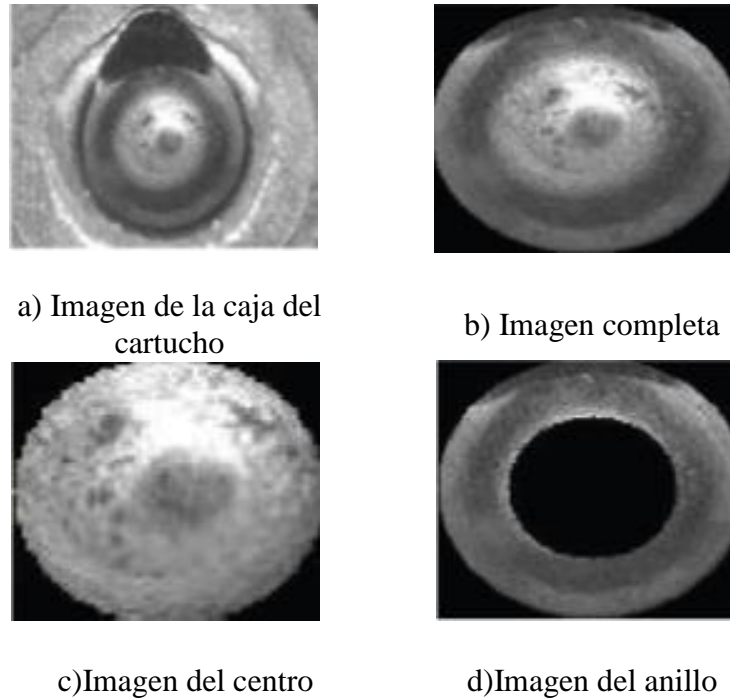


Figura 4. Regiones segmentadas de la imagen de la caja del cartucho [27].

Las características de impresión del percutor se extraen de las tres regiones segmentadas de la caja del cartucho, dando un total de 20 características estadísticas básicas válidas y dieciséis momentos geométricos que aparecen hasta el sexto orden dando un total de 48 características geométricas de momentos.

El análisis preliminar se realiza mediante la correlación de Pearson mostrando que las características están altamente correlacionadas, por lo tanto, el análisis de componentes principales (PCA) se utilizó para analizar la interrelación entre las características y combinarlas en un conjunto más pequeño de factores, manteniendo la máxima información de los patrones originales, con el fin de determinar el número de factores comunes que influyen en un conjunto de medida y la fuerza de la relación entre cada factor y cada medida observada; pero antes de esto, se utiliza el Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y la prueba de Barlett para investigar la adecuación del uso de PCA en los datos,

obteniendo que PCA reduzca la dimensionalidad de las características en nueve componentes, dando como resultado que el 85,2% de las imágenes se clasifiquen correctamente según las pistolas utilizadas.

Finalmente, la clasificación de las pistolas utilizadas en base a los componentes resultantes se realiza utilizando análisis discriminante (Tabla 2).

		Grupo Predicho					
		Pistola A	Pistola B	Pistola C	Pistola D	Pistola E	Total
Grupo Actual	Pistola A	46	1	1	1	1	50
	Pistola B	1	46	3	0	0	50
	Pistola C	3	0	35	11	1	50
	Pistola D	0	0	11	38	1	50
	Pistola E	0	0	2	0	48	50

Tabla 2. Tasas de clasificación mediante validación cruzada-Tasa en % [27].

La tasa de clasificación general del 85.2% ha demostrado el potencial de usar las funciones numéricas extraídas de la región de impresión del percutor para la identificación del arma de fuego, en las que las mejores tasas de clasificación en comparación con estudios anteriores han demostrado el mérito de usar PCA como una herramienta dimensional potencial de reducción para la identificación de armas de fuego.

4.5.2. Redes Neuronales

Actualmente se llevan a cabo investigaciones en enfoques alternativos orientados a la forma del mapa de red neuronal para la identificación de marcas en los cartuchos usando la proporción de isótopos de plomo en frotis de plomo y fragmentos de bala en investigaciones de armas de fuego, discriminar el análisis como un emparejamiento y el sistema de interferometría de Moire, actualmente investigado por Air Cage Company de Michigan [22].

En esta investigación [26], se utilizan algoritmos de la red sigmoide de dos capas de arquitectura, mediante los siguientes algoritmos: traincgf, trainscg, trainbfg, trainoss y trainlm, los cuales a través de la validación cruzada arrojan un porcentaje de validez de

los datos adquiridos de un 71%, 86% 74%, 80% y 94% respectivamente, donde se puede observar que los mejores resultados fueron obtenidos por el algoritmo trainlm, siendo el método que logró clasificar correctamente el mayor número de pistolas en función de la imagen de impresión del pin de percusión [26].

Para la investigación [24], a través del uso de redes neuronales jerárquicas, se propone un sistema de identificación de armas de fuego basado en 150 imágenes de la llanta de fuego (base) de la caja del cartucho obtenidas mediante un microscopio óptico provenientes de seis pistolas que se pueden clasificar en seis tipos por la forma de las marcas del pin de disparo (Figura 5) proporcionadas por la Policía de Australia Occidental, mediante la integración de redes neuronales de mapas de características autoorganizadas (SOFM) de dos niveles (Figura 6) y la estrategia de toma de decisiones contribuyendo significativamente al procesamiento posterior como la identificación eficiente y precisa de las cajas de los cartuchos.

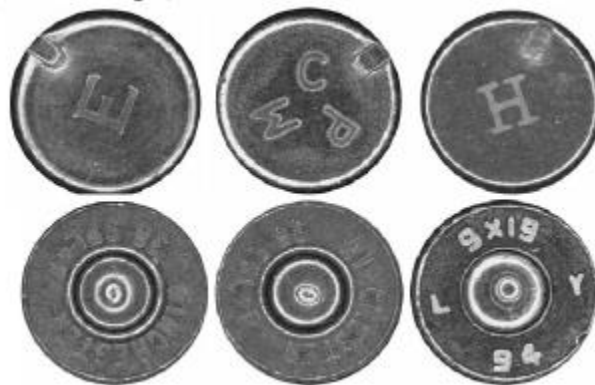


Figura 5. Primera fila: llanta de tiro, Segunda fila: Centro de tiro [24].

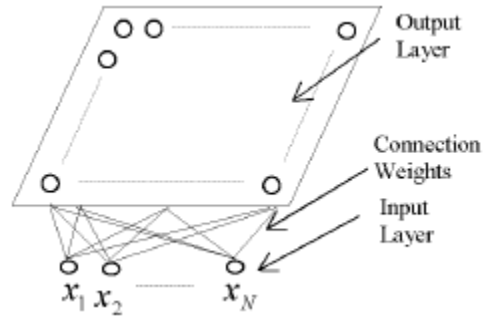


Figura 6. Topología de SOFM [24].

Una de las funciones generales en el preprocesamiento de imágenes es la transformación de mejora de contraste (Figura 7.b), ya que las imágenes de bajo contraste pueden deberse a condiciones de poca luz, falta de rango dinámico en el sensor de imágenes o incluso a una configuración incorrecta de la apertura del lente durante la adquisición de la imagen y la idea detrás de esta mejora es aumentar el rango dinámico de los niveles de gris de la imagen que se procesa.

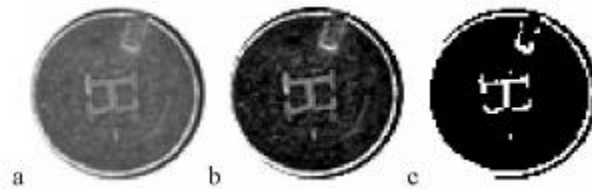


Figura 7. a) Imagen de bajo contraste, b) Resultado de la mejora de contraste, b) Resultado del Umbral [24].

La transformación polar de la imagen es también una herramienta útil brindando algunas ventajas, ya que en la fase de prueba solo se mueve la ventana de detección sobre las imágenes de prueba en dirección horizontal y vertical en lugar de rotar las imágenes de prueba o las ventanas de detección disminuyendo lo numérico y aumentando la eficiencia.

Se eligen cincuenta imágenes que incluyen las imágenes de las seis pistolas al azar para formar un conjunto C_0 y el conjunto de prueba T para el resto de las imágenes; luego, las imágenes del conjunto C_0 se procesan a través de la etapa de procesamiento de imagen (Figura 8) y extracción de características.

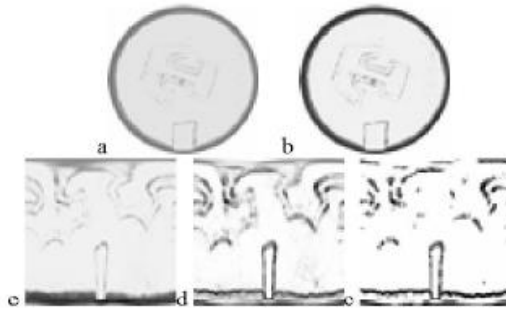


Figura 8. a) Imagen original, b) Ajuste de contraste, c) Transformación polar, d) Gradiente morfológico, e) Umbral [24].

Luego de estas transformaciones, se necesita una operación de “ventana” de tamaño $n \times m$ donde los píxeles se utilizan para copiar las imágenes secundarias, las marcas de activación de las imágenes donde i representa la etiqueta de la clase a la que pertenecen las marcas de activación y los tamaños de seis ventanas de tipo asociadas con seis marcas de tipo pin de disparo se presentan en la Tabla 3. En estas seis ventanas, las imágenes se copian en ventanas con tamaño normalizado en 48×196 píxeles para cumplir con la necesidad de unificar las unidades de entrada SOFM (Figura 9). Finalmente, todas las imágenes obtenidas se combinan en un conjunto de entrenamiento C para el modelo basado en SOFM.

Tipo 1	20X96	Tipo 2	20X96
Tipo 3	20X120	Tipo 4	20X116
Tipo 5	20X120	Tipo 6	20X168

Tabla 3. Tamaño de los seis tipos de ventana en Píxeles [24].

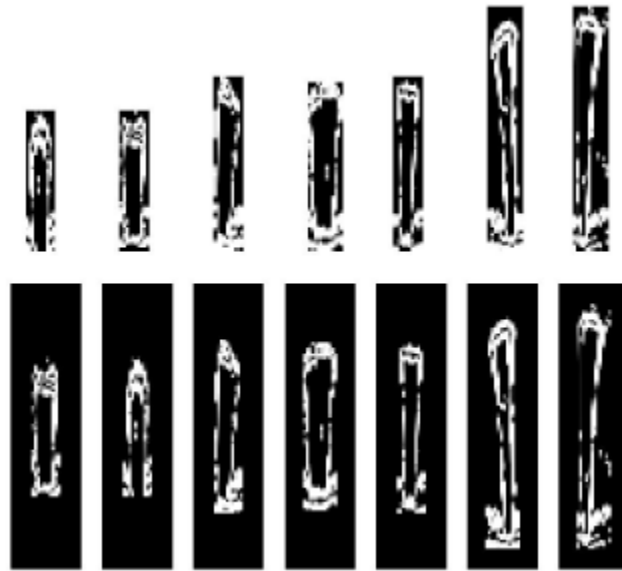


Figura 9. Seis tipos de marcas de percusión dentro de las ventanas con normalización de tamaño [24].

En la imagen anterior (Figura 9) se puede observar en la primera fila las seis marcas de percusión dentro de seis tipos de ventana y en la segunda fila, se muestran las marcas de percusión dentro de las ventanas con normalización de tamaño.

En el modelo de identificación jerárquica se propone un modelo basado en imágenes de cartuchos que consta de tres etapas (Figura 10). Los dos niveles de redes neuronales SOFM, constan de una red neuronal SOFM (Figura 6), que actúa como un clasificador aproximado entre los patrones de entrenamiento que se le presentan, donde el proceso de captación o aprendizaje es el mismo mencionado anteriormente y pertenece al tipo de aprendizaje no supervisado y el segundo nivel está compuesto por varias redes SOFM secundarias, donde n es el número de redes SOFM, permitiendo una identificación precisa entre los patrones clasificados por SOFM.

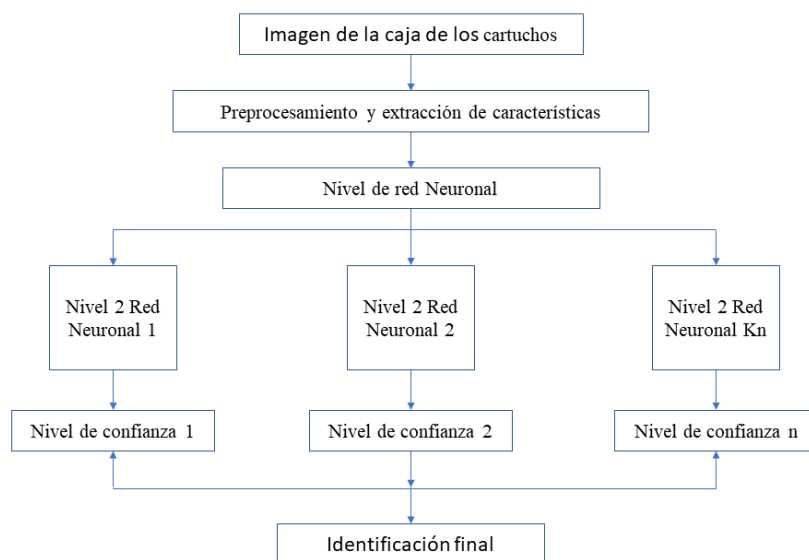


Figura 10. Sistema de identificación propuesto [24].

En la fase de entrenamiento se puede eliminar una neurona de la red. Una neurona se puede considerar inactiva si no se elige con frecuencia como ganadora en un intervalo de tiempo finito. Las neuronas que están activas con un alto valor de salida en la capa de salida SOFM, representan las clases a las que pertenecen las imágenes de entrenamiento.

De los resultados obtenidos en la Tabla 4, se puede ver que el modelo de identificación puede hacer que la combinación de ubicación e identificación de la marca del pin de disparo de las imágenes de la caja del cartucho en una etapa, mostrando que el modelo propuesto tiene un alto rendimiento para los patrones de prueba en los aspectos como tener una alta precisión en la ubicación e identificación de las marcas del pin de disparo. También se tiene que los rechazos para algunos patrones se deben principalmente al alto ruido en las imágenes del cartucho y las letras de la marca en las imágenes del cartucho.

Patrón de Prueba 100	Tasa correcta 97.0%
Tasa de rechazo 3.0%	Tasa de error 0%

Tabla 4. Resultados experimentales [24].

4.5.3. Huella digital

El mapeo de la clase del cartucho y proyectil pueden ser alcanzados mediante la medición de parámetros para tipos de armas particulares, sin embargo dado el tipo de arma disparado se tiene una munición en particular las cuales tienen diferentes variaciones en algunas características de clase las cuales proporcionan un rango de medidas para las características como calibre, longitud de la caja del cartucho, posiciones de la marca del extractor y el eyector, diámetro de cuello de la caja del cartucho y ancho de la marca de la ranura cuando un gran número de estos especímenes son idénticos, los datos se pueden agrupar en el espacio n-dimensional, este proceso de emparejamiento proporciona al examinador balístico una herramienta para determinar rápidamente el tipo de arma de fuego y las municiones involucradas en el incidente, las marcas que se dejan en el cartucho poseen información relevante para los peritos o expertos en balística [29]. La firma digital es una representación gráfica que se realiza sobre el contorno, el cual representa la distancia desde el centro hasta la periferia; todo esto se realiza en función del ángulo ya que es más fácil realizar el estudio con el contorno en el plano bidimensional [1].



Figura 11. Silueta de una manzana y representación como firma digital [1].

En la segunda investigación [30], se identificaron de forma correcta los cartuchos y los proyectiles gracias a las características en estas dejadas, en muchas investigaciones es imposible acceder a todas las características necesarias para la correcta identificación de un arma de fuego (a esto se le llama datos faltantes entre los especímenes balísticos), la única forma de superar esta situación en particular es comparar característica por característica en cada uno de los cartuchos recuperados. Esta técnica ayudado a reducir el tiempo necesario para los peritos a la hora de realizar las identificaciones. En este método se utiliza la espectrometría sobre los cartuchos, con el fin de determinar la cantidad de concentración de Níquel, Hierro y Plomo que se encuentran en la base del cartucho después de que el arma de fuego es accionada.

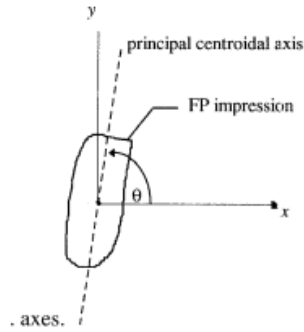


Figura 12. Angulo de orientación del centroide principal [30].

Las márgenes características en el proyectil o en el cartucho se producen cuando un arma de fuego es disparada más de 30 veces, todas estas marcas en combinación forman la huella digital que es una de las técnicas más apropiada y precisa para la identificación de diferentes armas de fuego; se han diseñado diferentes sistemas que puedan almacenar, analizar, recopilar y combinar imágenes digitales de los cartuchos para así realizar una buena identificación del arma de fuego. Lo que se pretende al diseñar este sistema de identificación es ayudar a los servicios policiales, diseñando un sistema computarizado que agilice los trámites en cuestión de tiempo y de personal necesario para realizar el cotejo [31-32].

4.5.4. Momentos Geométricos

Para la realización de este estudio se tomaron en cuenta 747 imágenes en las cuales se podían observar las marcas características dejadas por la aguja percutora en la base de las vainillas (culote).

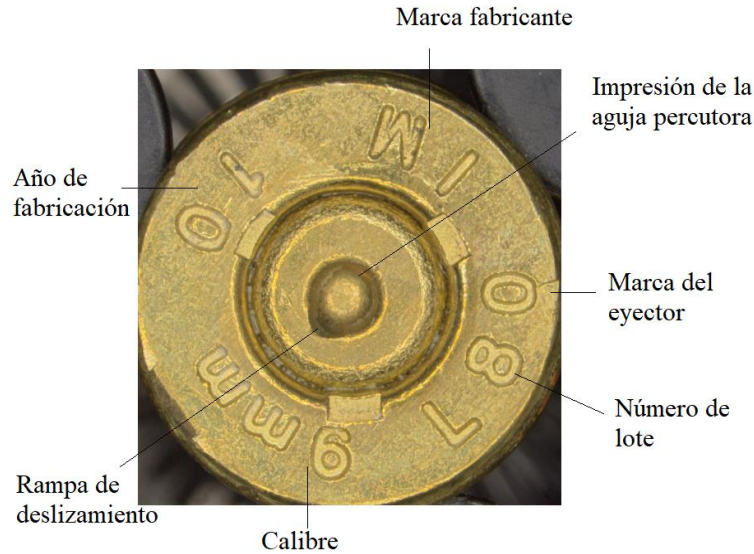


Figura 13. Características principales en la base de las vainillas [Propia].

Estas imágenes fueron tomadas después de disparar 5 pistolas de donde se pudieron extraer alrededor de 48 características; para el estudio de estas marcas se emplea el método de momentos geométricos hasta el sexto orden. Las 48 características obtenidas que se extrajeron fueron calculadas sobre todas las imágenes de los cartuchos disparados por cada una de las diferentes pistolas mencionadas en dicha investigación [33].

4.5.5. Celdas Coincidentes Congruentes

Este es un método para la validación de los datos, en el que se utilizan 40 cartuchos fabricados consecutivamente que son expulsados por 10 armas de fuego mediante tres portaobjetos. Para estos cartuchos se estudian las marcas dejadas en la cara o base de la vainilla que son dejadas cuando esta choca con la recámara de la pistola. Las piezas del arma de fuego son un desafío para los expertos en balística ya que los peritos pueden omitir muchas marcas características que quedan en las balas y en los cartuchos [34].

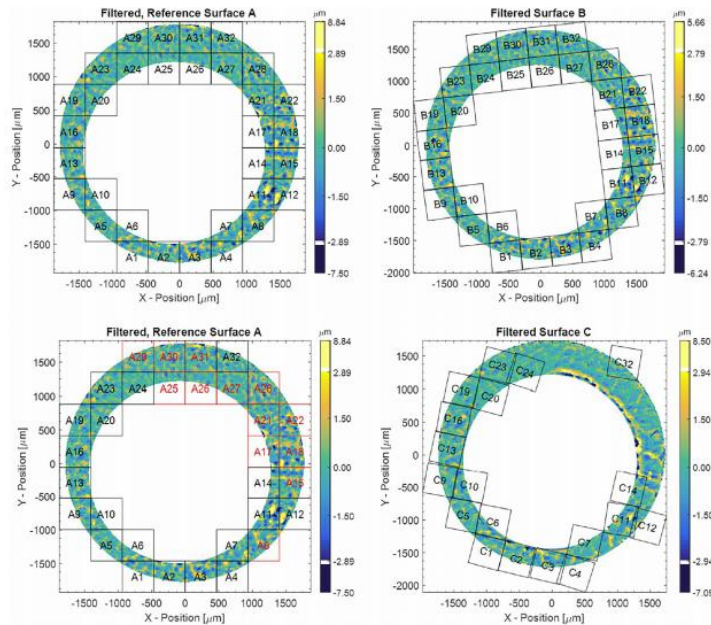


Figura 14. Comparación de las recamaras de las pistolas [34].

Este método arroja una tasa de error cuando se obtienen las probabilidades de que sea verdadero o falso y estas a su vez son utilizadas para calcular los radios, es decir que se calcula el coeficiente de la probabilidad de cada puntaje, obteniendo un porcentaje de cuantas veces fue falsa o verdadera la identificación de los peritos [34].

Las tasas de error aplicadas en esta investigación solo sirven para las pistolas aquí estudiadas y no son aplicables a otros tipos de pistolas ya que en este no se aborda la comparación experimental con la comparación visual. En la siguiente imagen se mostrará una menor dispersión con respecto a la comparación visual, esto se debe a que se deben tener en cuenta factores como el desgaste, los contaminantes en la escena del crimen y las marcas que se imparten en la base de las vainillas que muchas veces no son visibles al ojo humano llevando a que el cotejo no sea el más adecuado, sin implicar que estos factores se omitan a la hora de realizar el cotejo experimentalmente ya que muchos de estos también llevan a errores y se debe ser minucioso a la hora de realizar las comparaciones pertinentes [34].

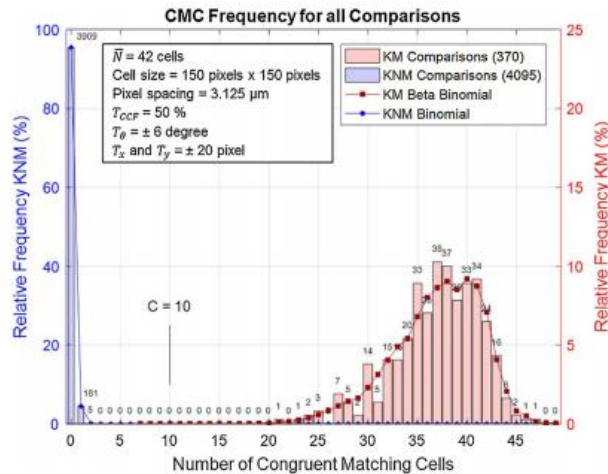


Figura 15. Probabilidades de la dispersión experimental [34].

4.5.6. Transformada de Fourier

La microscopía óptica tradicional para la forma de las imágenes y balística del espécimen es intrínsecamente adecuada para el alto contraste esperado en la imagen. Para la captura de las imágenes se utiliza una cámara CCD en vez de una cámara tradicional, la cual se instala en el PC para poder hacer uso de la tarjeta gráfica de la captura; ésta tiene una resolución de 640x480 píxeles y posee un anillo de luz que puede ser adaptado según la necesidad del investigador experto en balística proporcionando condiciones de uniformidad en la iluminación.

El operador de rotación realiza una transformada geométrica la cual hace un mapeo de la posición inicial del elemento de la imagen y toma una imagen de la posición final la cual se realiza con un ángulo especificado por el usuario. La rotación es comúnmente utilizada para mejorar la apariencia de la imagen, esto también es muy utilizado para el preprocesamiento de las imágenes el cual se implementa donde los operadores direccionales están involucrados.

El sistema de identificación de herramientas y de armas de fuego es basado en el preprocesamiento de las imágenes construidas a partir de la programación del archivo de la comparación las cuales se realizan a través del macroscopio por tarjeta de captura, se basan en las técnicas de interpolación, rotación, cambio, espejo y flip. La extracción de características juega un papel muy importante en el sistema de identificación de armas de fuego. Las máscaras de gran alcance fueron utilizadas para aproximar el gradiente de f

en las coordenadas (i,j) los cuales son operadores de Sobel en dirección vertical y horizontal, en este estudio se utiliza el método de Sobel para extraer los contornos y bordes de los cartuchos y las marcas de los surcos dejadas en los especímenes o proyectiles.



Figura 16. Preprocesamiento de las imágenes [35].

La transformada de Fourier indica las representaciones de las señales, esto se hace mediante la suma de los intervalos dados en diferentes frecuencias, es decir que todas las funciones sean o no periódicas se pueden representar como superposiciones de las funciones periódicas a pesar de que estas tengan diferentes frecuencias. Esta transformada obtiene otra imagen con los requerimientos necesarios para la identificación correcta mejorando muchos de los aspectos o características, variando la radiación o el brillo de las imágenes, usando las frecuencias para saber cuáles son los filtros adecuados para hacer la identificación necesaria [2].

4.5.7. Momentos Invariantes CMI

Los momentos invariantes han sido ampliamente analizados para caracterizar los patrones en imágenes en una variedad de aplicaciones (Boyce y Hossack, 1983; Hu, 1962; Mostafa y Psaltis, 1984; Teaque, 1980); estos momentos son independientes de la posición, el tamaño y la orientación, pero también son independientes de la proyección paralela. Los momentos conocidos incluyen momentos geométricos (Hu, 1962), momentos de Zernike (Teaque, 1980), momentos de rotación (Boyce y Hossack, 1983) y los momentos complejos (Mostafa y Psaltis, 1984) [23].

Los momentos invariantes de Hu han sido adecuados en medidas para rastrear patrones de la imagen con respecto al escalado y la rotación de la imagen, sin embargo, en las imágenes de cartuchos, la marca del percutor se distribuye aleatoriamente en el cartucho cuando el arma de fuego imprime la marca, haciendo que los momentos invariantes de Hu no sean los adecuados para describir las características de las imágenes del cartucho, así que se presentan los nuevos criterios denominados CMI basados en el centro circular dado que los segmentos de la imagen son distribuidos sistemáticamente por el centro de la imagen. Este método es capaz de extraer las características de patrón requeridas con una precisión y similitud muy alta, desarrollando 8 CMI para describir las características de las imágenes de cartuchos.

En el artículo [23], se presenta un nuevo conjunto de características de momento invariante de círculos para superar la deficiencia de las invariantes del momento en la que el sistema está diseñado para clasificar y evaluar las características extraídas de las imágenes balísticas y los resultados experimentales indican que el enfoque propuesto y los criterios de características son capaces de clasificar las imágenes de los cartuchos de manera eficiente y efectiva.



Figura 17. Imágenes de caja de cartuchos de muestra (tomadas con luz anular de longitud de onda única); marca de la clavija central en la primera fila y marca de la clavija de disparo del borde en la segunda fila [23].

Para el preprocesamiento, se reduce el ruido de la imagen mediante el suavizado espacial, se convierte la imagen original a escala de grises, se mejora el contraste utilizando la transformación de Ley de potencia (gamma), se detectan los bordes de la imagen en escala de grises utilizando la técnica de detección de bordes Sobel que es la encargada de

calcular el gradiente de intensidad de la imagen en cada punto, dando la dirección del aumento de luz a la oscuridad más grande y la tasa de cambio en esa dirección, en la que su máscara es de 45 y 135 grados para la detección de bordes (Figura 18), se binariza la imagen refinada mediante el método de Otsu encontrando el umbral óptimo y dando la mejor separación entre las dos clases, este umbral puede ser estimado automáticamente en un esquema iterativo con el fin de encontrar la varianza máxima entre las dos clases (Figura 19) y se eliminan las áreas pequeñas en la imagen binaria.

-2	-1	0
-1	0	1
0	1	2

0	-1	-2
1	0	-1
2	1	0

Figura 2. Sobel con máscara 3x3: 45 y 135 grados [23].



Figura 19. Imágenes de cartuchos binarizadas [23].

Se define un conjunto de características llamadas momento de círculo invariantes (CMI) para extraer las características incrustadas en las imágenes del cartucho; estas características se clasifican utilizando el método estadístico y la técnica de CMI en las que finalmente la red neuronal se entrena y luego se utiliza para clasificar diferentes imágenes de cartuchos.

Las redes neuronales de propagación hacia atrás de tres capas BP NN incluyen la capa de entrada, la capa oculta y la capa de salida, y se consideran dos algoritmos, uno usa la técnica heurística incluyendo los cambios de la tasa de aprendizaje y el número de neuronas ocultas y la introducción del impulso, y el otro utiliza la optimización numérica estándar y técnicas como el algoritmo de gradiente conjugado, debido a que el algoritmo

básico tiene dos principales inconvenientes, es decir, la convergencia es demasiado lenta y por lo general no puede alcanzar el mínimo global para la absorción del mínimo local y la velocidad de aprendizaje se mantiene constante a lo largo del entrenamiento, sin embargo, el rendimiento del algoritmo es muy sensible al ajuste adecuado de la tasa de aprendizaje pero si la velocidad de aprendizaje es demasiado alta, el algoritmo puede oscilar y convertirse inestable, y si la velocidad de aprendizaje es demasiado pequeña, el algoritmo toma mucho tiempo para converger, así que es muy difícil determinar el valor óptimo antes del entrenamiento. Al igual que un filtro de paso bajo, el impulso es capaz de reducir la cantidad de oscilación o suavizar las oscilaciones en la trayectoria.

Finalmente, se llega a la conclusión, de que este método es capaz de extraer las características del patrón requerido con muy alta precisión y similitud, siendo un enfoque efectivo para identificar las imágenes del cartucho con un porcentaje de 98%.

4.5.8. Espacio Ndimensional

La aplicación de la imagen inteligente al reconocimiento y medición de características de clase de los especímenes balísticos permiten el desarrollo de métricas para distinguir rasgos similares; una selección de las métricas proporciona los datos para la posible identificación del arma de fuego que produjo los especímenes balísticos; estas características de clase son asignadas en el espacio Ndimensional para proporcionar un agrupamiento para tipos de armas de fuego particulares.

En este estudio [13], se examinan ópticamente 14 tipos de cartuchos y son medidas las características de clase de las cajas de cartucho como la impresión de percutor, forma del percutor, marca del extractor, marca de expulsión, longitud de la caja del cartucho, diámetro del cuello de la caja del cartucho, diámetro del hombro de la caja del cartucho y el diámetro de la llanta de la caja del cartucho; características de clase que son elegidas como parámetros ópticamente medibles a través de imágenes inteligentes para la discriminación entre armas y municiones.

Se seleccionan 11 características de clase para las cajas de cartucho, con el fin de proporcionar datos multidimensionales; estos cartuchos se pueden trazar en el espacio 11-D para proporcionar un espacio de discriminación entre estos ejemplares, llegando a la conclusión de que aproximadamente 14.000 cajas de cartuchos producirán las mejores

coincidencias para un examen más detenido. La discriminación adicional entre los 14 cartuchos se puede lograr examinando un conjunto de tres variables como el diámetro del cuello, el diámetro de la base y el diámetro de la llanta. En algunos casos, al seleccionar las variables balísticas apropiadas para el cartucho, los balísticos de la policía pueden discriminar fácilmente entre especímenes y luego identificarlos. Otros conjuntos de variables tridimensionales pueden extraerse de los datos de características de la clase y trazarse para producir discriminación entre muestras (Figura 20).

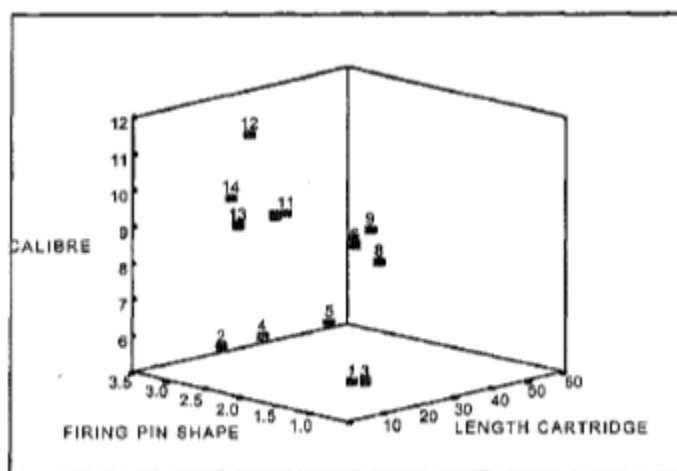


Figura 20. Distribución espacial 3-D del calibre, la forma del percutor y la longitud de la caja del cartucho para los 14 cartuchos [13].

El conjunto óptimo de variables 3-D depende de las medias de los especímenes balísticos discriminados.

El mapeo de las características de clase apropiadas para el cartucho se logra con la medición de los parámetros para tipos de armas particulares, sin embargo, dado el tipo de arma que dispara un tipo particular de munición produce pequeñas variaciones en algunas de las características de clase, su medición precisa proporciona un rango estrecho de mediciones para algunas características de clase. Cuando un gran número de estos especímenes balísticos idénticos de cartuchos son precisos medidos en función de las características de clase, los datos se representan como grupos en el espacio tridimensional en lugar de como puntos de ubicación, así, las variables 3-D pueden seleccionarse para discriminar mejor entre las características de clase de los especímenes balísticos. El

análisis de discriminación de estas características permite la comparación con tablas de datos para su identificación espacial tridimensional.

4.5.9. Transformada de Hough

En este estudio [19], se propone un algoritmo para la identificación de cartuchos automatizado de armas de fuego. Los datos son tomados de una base de datos real que contiene 150 cartuchos, en la que cada tres pertenecen a la misma arma de fuego. Las imágenes son capturadas a través de un microscopio óptico en las que la impresión del eyector es utilizada para calibrar la imagen del cartucho, pero esta es fácilmente perturbada por el ruido resultante de la reflectancia irregular de la luz en la parte inferior del cartucho. Debido a que los ángulos de rotación y el tamaño del cartucho no se puede mantener igual en el proceso de la captura de la imagen, el proceso de calibración debe hacerse antes de la extracción de características e identificación dado que la parte inferior de la bala aparece como un disco redondo con un círculo concéntrico más pequeño (Figura 21). La transformada de Hough se utiliza para la detección de los círculos; primero se trata de encontrar el círculo grande y luego el círculo pequeño que es detectado en el círculo grande.

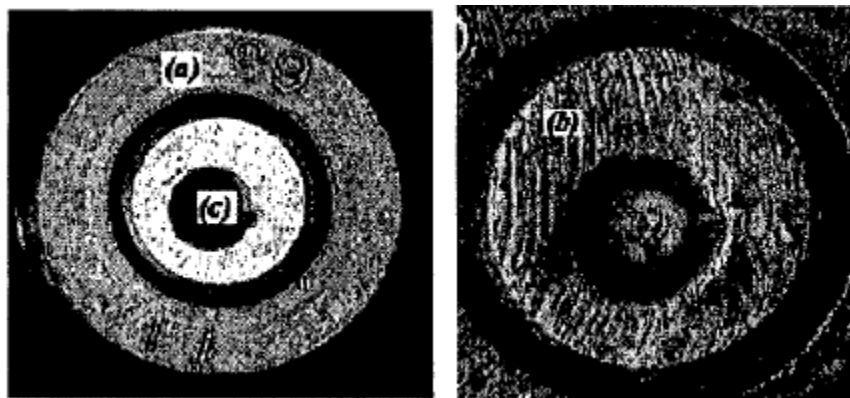


Figura 21. Marcas en el cartucho. (a) impresión del eyector, (b) impresión facial de la brecha y (c) impresión del pin de disparo [19].

Las características de la impresión del percutor y la cara del cartucho se extraen mediante Active Snake Model y análisis de orientación local respectivamente; estas características

se integran con el fin de tomar una decisión final utilizando los vectores de soporte de máquina.

El algoritmo de aprendizaje SMV y los coeficientes estimados se utilizan en un conjunto de pruebas para simular pruebas de autenticación reales que incluyen los 120 cartuchos restantes. Dos medidas de error del sistema de identificación son la tasa de Aceptación Falsa (FA) y la tasa de Rechazo Falso (FR) donde en la mayoría de los casos mantener una baja proporción de FR en el sistema real es mucho más importante. Este enfoque es candidato para la clasificación de patrones debido a su alta generalización sin necesidad de añadir conocimientos a priori, basándose en el principio de minimización del riesgo estructural mejorando las capacidades de generalización a través de la minimización del límite de error. En los resultados del experimento se demuestra que SMV puede funcionar mejor que otras estrategias de fusión como árbol de decisión, Discriminante lineal Fisher y Clasificador Bayesiano. Por consiguiente, se decide aplicar la función de decisiones basada en SMV para sinterizar diferentes puntuaciones coincidentes entre dos cartuchos con diferentes características. Para cada función la puntuación de coincidencia entre dos cartuchos está en el rango entre 0 (rechazar) y 1 (aceptar), el módulo de fusión combinará 3 puntuaciones coincidentes usando diferentes características y dando una decisión binaria (aceptar o rechazar) de si estos dos cartuchos son disparados por la misma arma de fuego. Finalmente se alcanza una precisión de FA=12.7% y FR=1.7% utilizando la función Kernel SMV polinomial de 3 grados que supera otros núcleos de valores de FA como en FR.

4.5.10. Escaneo de Imagen de Línea

Este estudio [14], tiene como objetivo desarrollar un nuevo sistema de imagen balística OBIS para combinar las funciones tradicionales con nuevas características como el escaneo de imagen de línea, el módulo de extracción de características y el módulo de procesamiento inteligente de imágenes, haciendo muy eficaz el sistema de identificación de armas de fuego. Las principales contribuciones del sistema OBIS son el desarrollo e implementación online, proporcionar una plataforma eficiente para informatizar imágenes balísticas, la precisión de la identificación y el sistema en línea independiente para el usuario final.

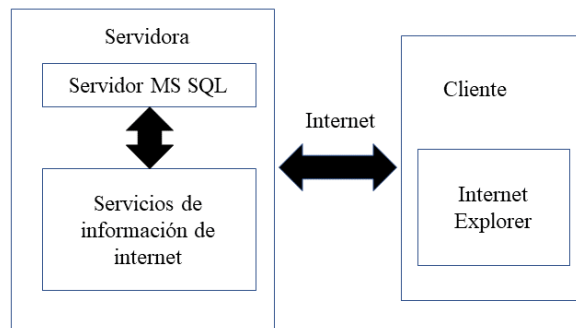


Figura 22. Estructura del sistema OBIS [14].

Este sistema no solo considera las funciones tradicionales, sino que también incluye la captura, almacenamiento, análisis y recuperación de imágenes, proporcionando un procesamiento de imágenes inteligente e incluyen el módulo de extracción de características e identificación de armas de fuego, al cual se puede acceder en cualquier lugar y en cualquier momento.

La identificación del arma de fuego consta de dos pasos: generar la lista de armas de fuego sospechosas buscando características de clase guardadas en la base de datos y mediante un análisis manual de las imágenes se proporcionan varias técnicas de comparación de imágenes por medio de las cuales es fácil encontrar el arma sospechosa. Para este procesamiento es muy importante la segmentación de la imagen, sin embargo, el resultado satisfactorio no se puede obtener mediante métodos basados en el umbral debido a la sombra de la imagen, permitiendo eliminar el fondo y las sombras utilizando propiedades invariantes del color mediante la transformada de Hough para la detección automática de círculos. La segmentación incluye binarizar la imagen usando el método de Otsu, detectar los bordes de la imagen usando el operador Sobel, detectar el borde circular en la caja del cartucho y el fondo de la imagen usando la transformada de Hough y segmentar la caja del cartucho de acuerdo con la detección del borde circular desde la imagen de entrada.

Para la creación de una base de datos de la magnitud de la web FireBall, se necesita utilizar una herramienta de base de datos de alto nivel como SQL Server y Oracle, ya que

se necesita realizar un procesamiento de datos, procesamiento de imágenes y programación web en la que se incluya la seguridad de la información suministrada; esta herramienta es utilizada para optimizar la base de datos y su aplicación, rendimiento, escalabilidad, seguridad, confiabilidad, capacidad de recuperación, disponibilidad y la accesibilidad a la web. El desarrollo de la web implica el uso de componentes de internet de SQL Server mediante XML (Extensible Markup Language) siendo un producto de su aplicación web que permite acceder a la base de datos directamente desde internet, como una forma de formatear los datos, siendo “autodescriptivo y fácil de transformar”, permitiendo un acceso de los clientes a los datos web mediante consultas de URL, haciendo que los usuarios compartan su base de datos XML SQL como URL [20].

4.5.11. Invarianza a la Rotación

En este estudio [17], la toma de las imágenes se realiza mediante una cámara digital con 256 niveles de gris bajo el mismo nivel de luz y posición utilizando el área del anillo de imprimación de la cabeza del cartucho para extraer las marcas individuales características, teniendo en cuenta el área del anillo del culote, mediante un sistema ya desarrollado que identifica todas las marcas necesarias el culote, son importar la rotación que se le aplique a la vainilla; mientras que en otros estudios realizados [14, 36], se propone un método de identificación de arma de fuego con característica de invarianza de rotación en el que la imagen polar obtenida de la caja del cartucho se expande mediante serie de Fourier (Figura 23), en el que se usan 116 imágenes de cajas de cartuchos obtenidas de 6 pistolas de calibre 9mm.

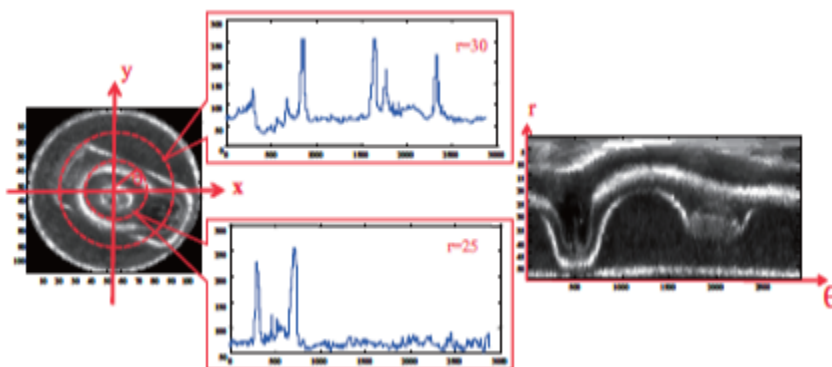


Figura 23. Imagen polar de la caja del cartucho en círculos con diferentes radios [36].

La característica invariante de rotación de la imagen de la caja del cartucho se representa por el valor absoluto de los coeficientes de Fourier de la imagen polar de la caja del cartucho en círculos de diferentes radios (Figura 24). Para el estudio realizado en [37], el valor absoluto de los coeficientes de Fourier es utilizado como entrada y salida del sistema FIR respectivamente, cuya respuesta es considerada como la característica única de la pistola, permitiendo identificar el arma de fuego mediante la función discriminante Lineal de Fisher, identificación realizada para una base de datos compuesta por 270 cajas de cartuchos disparados recogida a partir de 9 pistolas 9mm, donde las imágenes de la caja de cartucho con 256 niveles de grises fueron tomadas usando una cámara digital bajo las mismas condiciones de luz y posición, considerando una relación entre los niveles de gris en el cartucho, siendo una característica importante para la identificación de armas de fuego que es descrita por el sistema FIR que tiene un valor absoluto de los coeficientes de Fourier obtenidos sobre los círculos con diferentes radios como entrada y salida del FIR.

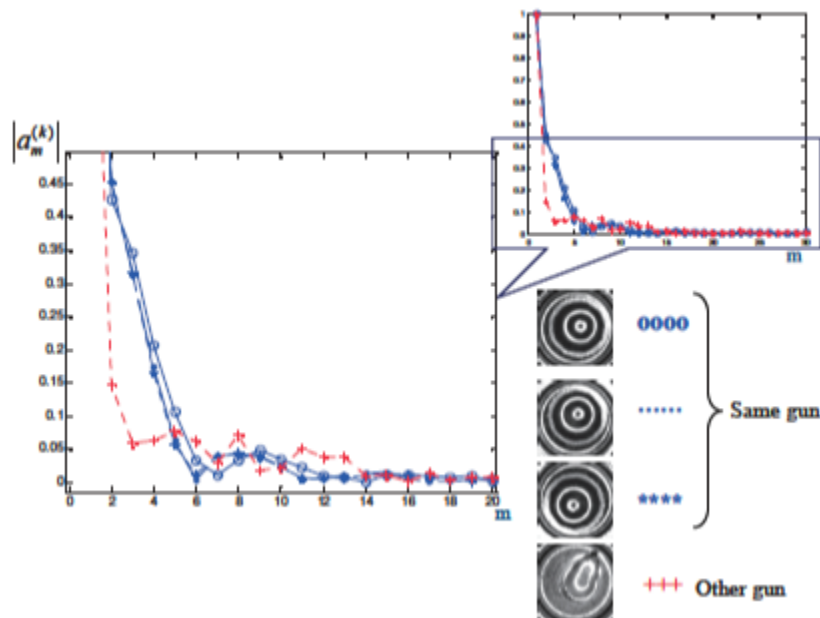


Figura 24. $|a_m^{(k)}|$ Obtenido de las pistolas rotadas en diferentes grados [36].

La identificación del arma de fuego se realiza calculando la distancia entre los valores absolutos de los coeficientes de Fourier obtenidos de la caja del cartucho de referencia y la caja del cartucho a identificar (Figura 25), en la que las marcas del percutor y las

impresiones en la cara de la vainilla dentro del anillo de imprimación se utilizan para extraer las características individuales de la pistola particular.

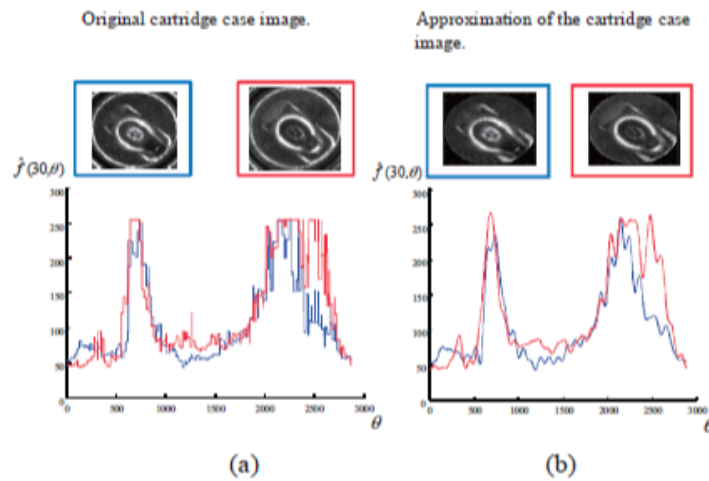


Figura 25. (a) Imagen original de la caja del cartucho, (b) aproximación de Fourier en la imagen de la caja del cartucho [36].

Finalmente, para los estudios se observa que la distancia euclidiana obtenida para armas iguales es menor que la distancia obtenida para armas diferentes (Figura 26).

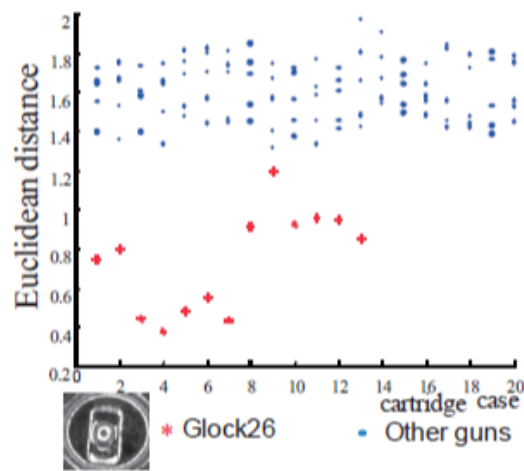


Figura 26. Distancia Euclidiana obtenida para armas iguales y diferentes [36].

4.5.12. Correspondencia de Imágenes

En aplicaciones reales al momento de estudiar un cartucho el personal de seguridad necesita encontrar la pistola en un gran número de cartuchos en la base de datos, para lo cual se desarrolló un sistema de identificación automatizada [18], en la que se realiza una

comparación con todos los cartuchos y arroja los datos de las imágenes más similares en las que finalmente se puede comprobar si el cartucho fue disparado por un arma de fuego en específico. Para este estudio se seleccionan al azar 50 cartuchos para probar el método en los que cada imagen se empareja con todos los cartuchos de la base de datos y se juzga como correcto si es similar con otro cartucho perteneciente a la misma.

Debido a que los ángulos de rotación y el tamaño de las imágenes de los cartuchos pueden ser diferentes, se realiza una calibración antes de la extracción de las características identificativas mediante la transformada de HOUGH, en la que se detectan las curvas que se necesitan para realizar la identificación dado que el fondo de la bala aparece como un gran círculo y la marca de percusión es también como un pequeño círculo; en primer lugar se detecta el círculo grande en el que luego se detecta el círculo pequeño y debido al ruido en la imagen se aplica el filtro pasa bajo garantizando la precisión de la posición central.

Después de la transformación descrita todas las imágenes de los cartuchos se pueden transformar a la misma posición, escala y ángulo de rotación, luego el radio del círculo pequeño y el sesgo se pueden utilizar para describir las características de la marca del percutor y en cuanto menor sea el valor de la medida, mayor puede ser la similitud. Para describir las características de la marca del fondo de la bala y la marca del eyector pueden ser seleccionadas varias piezas de la imagen donde la textura de la marca de fondo o la marca del eyector se pueden ver claramente (Estas marcas se pueden identificar manualmente en la imagen del cartucho por medio del conocimiento adquirido de manera teórico-práctica, pero estas marcas varían de alguna manera así se trate de la misma arma de fuego), así que, se emplea un método de correspondencia de imágenes basado en la distancia para comparar la similitud de las piezas; para realizar esta comparación, se convierte la imagen a binaria en la que el umbral puede ser elegido como un valor fijo.

Finalmente se utiliza la estrategia de la fusión para mejorar la precisión de identificación, es decir, disminuir la primera y segunda tasa falsa (tasa de aceptación falsa y tasa de rechazo falsa respectivamente); según la diferencia de las tasas se pueden emplear diferentes formas de probabilidad de ensamblar para alcanzar el objetivo de disminuir la proporción falsa, arrojando una precisión de identificación de 88% cuando el resultado

correcto se encuentra entre el 5% y de 96% y 100% si el 10% es superior y el 20% respectivamente [18].

4.5.13. Autocorrelación de Características de Forma Global

La comparación es un proceso que implica dificultades debido al creciente número de pruebas. El método recomendado es la función de auto correlación de características de forma global y densidad de potencia del espectro.

Las huellas estudiadas en este trabajo [38], fueron impresas por armas de fuego del mismo calibre y lote de fabricación. Para la adquisición de datos se utiliza el método estéreo fotométrico formando datos de elevación de la superficie, dando como resultado un dato tridimensional como elevación de superficie, altura de superficie y curvatura como atributos obtenidos de la imagen. En este método se excluye la región en la que queda impresa la marca de la aguja para un total de 480 imágenes en las que la huella del extractor es el punto focal (Figura 27).

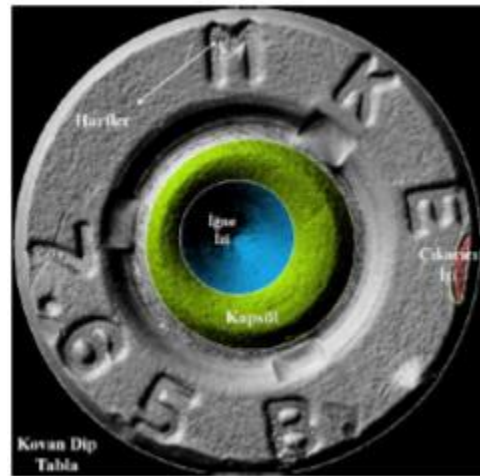


Figura 27. Superficie del fondo de la muestra [38].

La transformada directa de Fourier sirve como función de autocorrelación a imágenes enmascaradas (Figura 28.b), y el espectro de densidad de potencia (Figura 28.c) se hace mediante el cálculo de la transformada de Fourier.

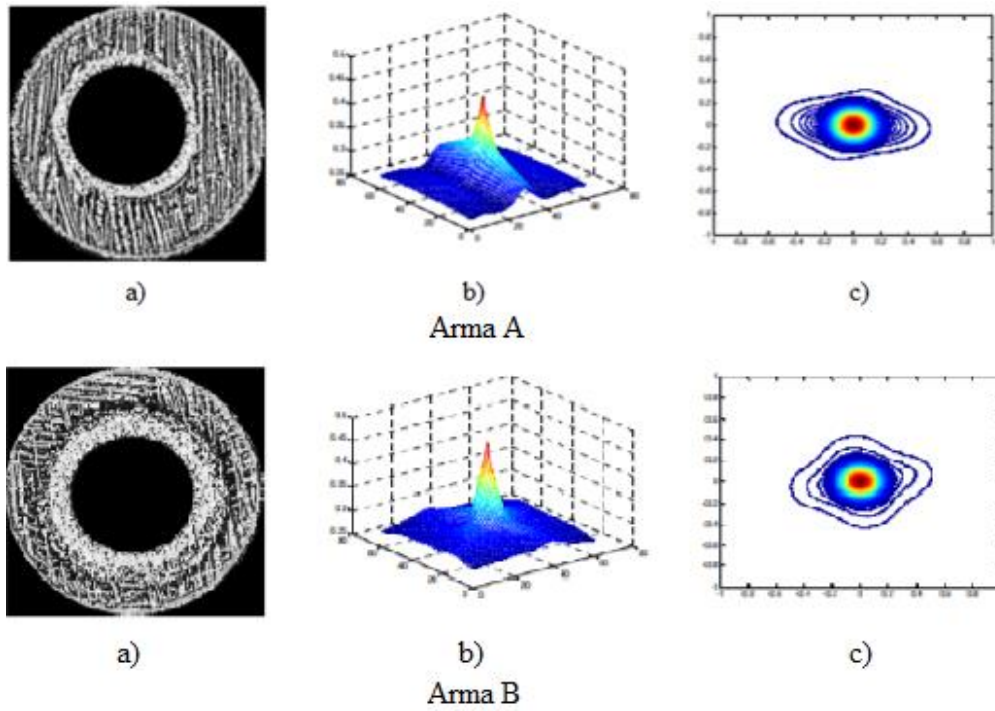


Figura 28. a) Marca de curvatura, b) Función de autocorrelación, c) Espectro de densidad de potencia para arma A y B respectivamente [38].

Finalmente, mediante la matriz de confusión (Tabla 5) se obtiene como resultado un promedio de 10 diferencias arrojando un 70% de efectividad para el arma A y alrededor del 91% para el arma B, obteniendo en general un 80% de precisión por medio de la curva ROC (Figura 29).

		Clase	
		Marca A	Marca B
Clase verdadera	Marca A	75.30	32.70
	Marca B	10.20	97.80

Tabla 5. Matriz de confusión [38].

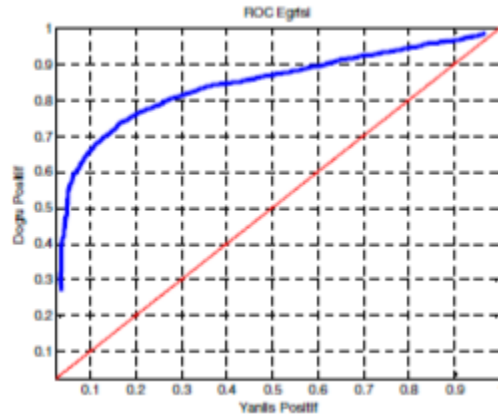


Figura 29. Curva ROC [38].

4.5.14. Extracción de Características Mediante Técnica SIFT

Para la obtención de las diferentes características se tomaron imágenes de los especímenes en diferentes niveles (Figura 30), con el fin de acomodar la estructura a analizar (impresión del percutor) en un mosaico en el que estas imágenes se integran y se alinean geométricamente relacionando sus características más fácilmente y obteniendo información de ambas en una imagen resultante mejorando la eficiencia y facilitando el trabajo para los expertos, siendo una rama importante para el análisis y reconocimiento de armas de fuego mediante el procesamiento digital de imágenes [15]. Las imágenes aquí utilizadas son imágenes reales del cartucho adquiridas mediante el microscopio y la cámara CCD adquiriendo dos imágenes por cada espécimen ajustando la distancia focal, rotando la muestra y cambiando la iluminación en el ambiente del laboratorio, obteniendo así 18 pares de imágenes establecidas como conjunto de imágenes y codificadas como Pair1, Pair2 y así sucesivamente.

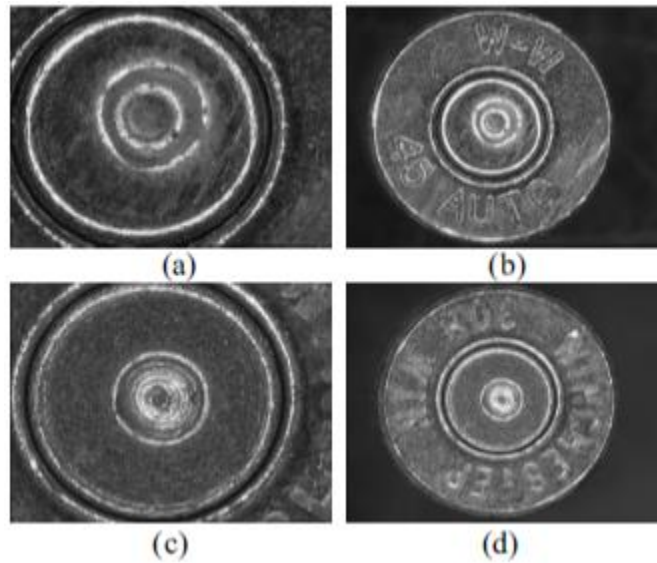


Figura 30. Ejemplo de conjunto de imágenes [15].

Los métodos basados en áreas tienen algunas limitaciones, ya que ambas imágenes deben tener de alguna manera funciones de intensidad similares o estadísticamente independientes; sin embargo, los métodos de comparación basados en funciones permiten el registro de imágenes completamente diferentes. El método de punto de característica es utilizado ampliamente como detector de esquinas Harris, pero este es muy sensible a los cambios de escala de la imagen para lo cual David G. Lowe presentó el método SIFT para extraer características distintivas invariantes a la escala y la rotación, cambio en el punto de vista 3-D, adición de ruido y cambio en la iluminación; siendo un mecanismo que alinea diferentes piezas superpuestas de una escena en una imagen más grande y luego son combinadas dando como resultado un campo de visión no solo más grande sino con mayor nivel de detalle, lo cual no se puede obtener con una sola fotografía.

Debido a que la coincidencia inicial, siempre contiene algunas coincidencias incorrectas, Wendy Aguilar presentó el método llamado Transformación Gráfica de Coincidencia GTM (Figura 31), con el fin de eliminar coincidencias incorrectas (falsos positivos) mostrando una buena efectividad en la evaluación experimental.

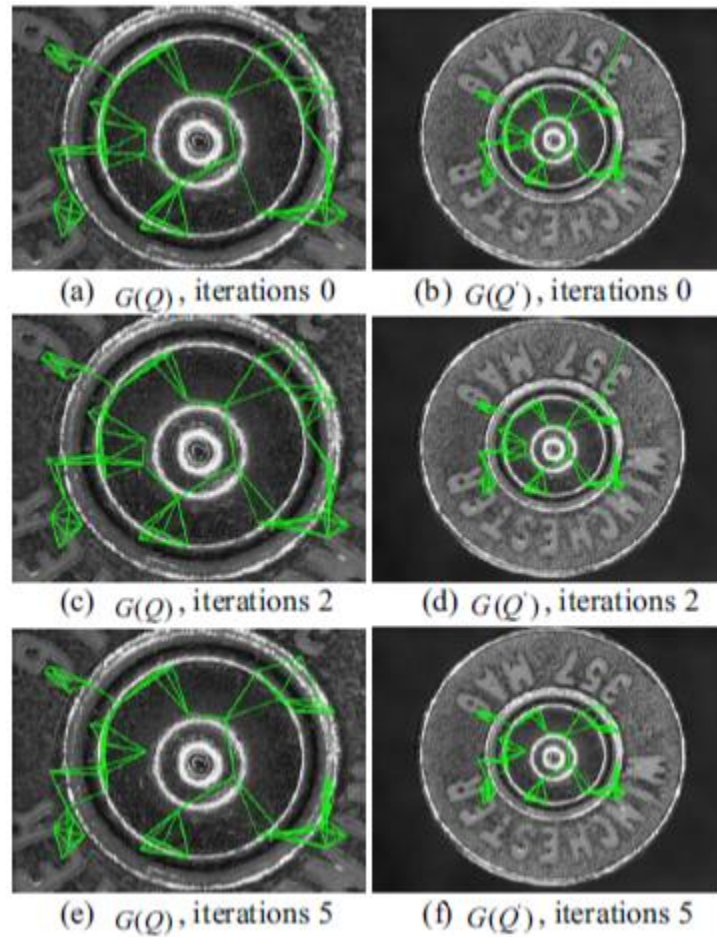


Figura 31. Ejemplo de proceso de transformación gráfica [15].

Luego, la imagen se obtiene identificando a su primer y segundo vecino más cercano con distancia euclidiana en todos los descriptores de la imagen percibida; entonces si el valor entre el punto clave y su primer vecino más cercano es menor que th_1 , y la relación entre el primer vecino más cercano y el segundo es menor que th_2 ; entonces, el punto clave con el primer vecino más cercano es considerado como el mejor punto de partida. Después de estos pasos, la coincidencia de uno a uno inicial entre los puntos clave de la imagen de referencia y la imagen detectada, se obtiene que las características específicas en las cajas de los cartuchos pueden llevar a resultados erróneos, haciendo el algoritmo difícil pero muy importante para determinar la precisión y exactitud de los resultados.

La coincidencia de transformación de gráficos (GTM) es un método eficaz y un algoritmo rápido para eliminar coincidencias incorrectas que utilizan la información de la estructura local, cuyo principio es hacer cumplir la relación espacial de puntos correspondientes

entre ambas imágenes Q y Q' (Figura 31). Cuando los partidos son todos correctos, la mediana KNN es isométrica, de lo contrario, la estructura QG y QG' es diferente; así que el algoritmo está diseñado para eliminar las coincidencias incorrectas iterativamente. Luego de identificadas todas las coincidencias correctas, la imagen detectada se somete a la transformación geométrica con las nuevas coordenadas de imagen de referencia, con la rotación, traslación y escalado, y se emplea la transformada afín, pudiendo ser escrita de forma matricial. Los valores de parámetros óptimos de la transformada afín son obtenidos mediante el uso de un enfoque de mínimos cuadrados basado en corregir las coincidencias a través del algoritmo GTM, utilizando la matriz para unir las imágenes, obteniendo así un resultado de registro entre la imagen de referencia y la imagen registrada, en la que, para validar el resultado, la imagen registrada es ajustada en la imagen de referencia dentro de los vecinos 3×3 del pixel p y si p' está dentro del vecindario de p , y lo hace mínimo error de registro, entonces p' es la parte superior izquierda más precisa de la esquina de la región de superposición.

Finalmente, el algoritmo SIFT se prueba utilizando 18 pares de los cartuchos mostrados en el conjunto de imágenes 0.15 y 0.75, que son como adjuntar $th1$ y $th2$ por un gran número de experimentos. Estos resultados se clasifican como exitosos si el $MED < 2.5$ ($th3=2.5$), siendo un valor elegido por evaluación visual de los resultados del registro. 11 de las 18 parejas de imágenes obtuvieron buenos resultados, solo 7 pares de imágenes tiene coincidencias incorrectas que pueden llevar a resultados distorsionados (Imagen 32); estos 7 pares de imágenes, se llaman conjunto de imágenes I, en las que se emplea el algoritmo GTM donde el parámetro k es ajustable ($k=2,3,4,5,6$) basado en el número de las coincidencias iniciales elegidas en el experimento.

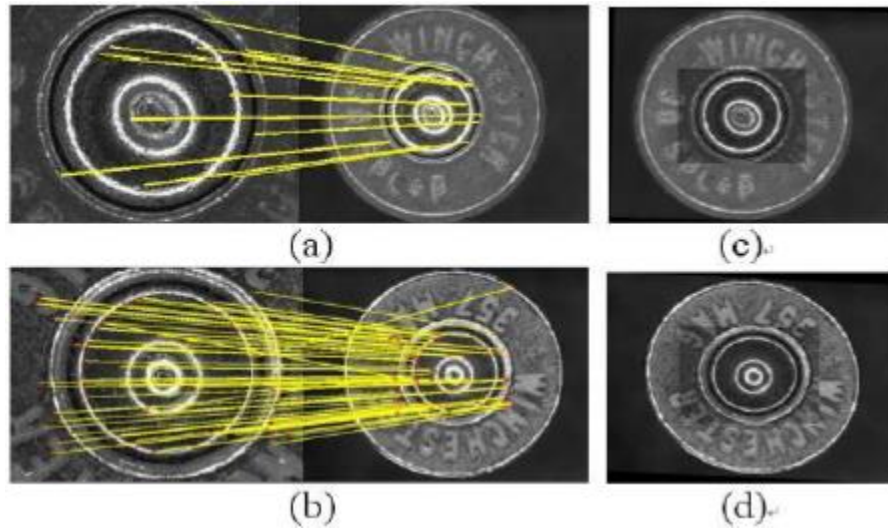


Figura 32. Puntos iniciales correspondientes y los resultados correspondientes [15].

4.5.15. Combinación Múltiple de Imágenes

En este estudio [39], se estudian las marcas características que se dejan impregnadas en los cartuchos a la hora de accionar un arma de fuego, hay algunas marcas que se encuentran en la base de la vainilla que no se pueden identificar con facilidad, lo que se pretende en esta investigación es separar las señales de fondo de las señales dejadas en el anillo del cartucho, de esta manera se puede entender y estudiar con mayor facilidad cada una de estas huellas dejadas a la hora de disparar el arma de fuego, las imágenes alineadas se combinan mediante promedios ponderados esto se hace con el fin de poder aplicar el filtro adecuado en este caso el filtrado de Wiener (Figura 33) en cual se aplica para aumentar la relación señal/ruido.

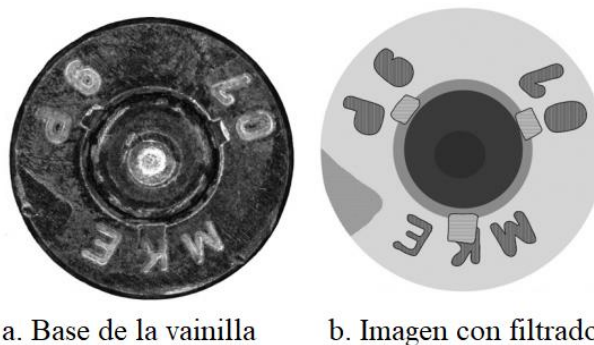


Figura 33. Partes segmentadas aplicando el filtro Wiener [38].

Este resultado se obtuvo después de aplicar orden 2 al filtro correspondiente, los resultados obtenidos con esta investigación fue reconstruir una topografía 3D la cual realiza la adquisición de los datos en segundos y a un bajo costo.

4.5.16. Extracción de Características Utilizando Microsoft

En este estudio [40], lo que se pretende es comparar las características extraídas de los cartuchos como lo son la marca del percutor, la recámara, el eyector, el extractor entre otras, para esta investigación se utilizó una pistola semiautomática no estándar con la que se realizó el disparo de cuatro cajas cartuchos, primero las vainillas se examinaban bajo el estereomicroscopio, con la cámara digital se obtienen las marcas características necesarias y luego se pasa a verificar la información con las herramientas utilizadas en Microsoft (Windows 8), para la toma de las imágenes se debe realizar un previo ajuste de la iluminación utilizando un controlador giratorio para aumentar o disminuir la intensidad de la luz para obtener los resultados esperados. Se llegó a la conclusión de que los análisis con el estereomicroscopio son mucho más rápidos, las marcas de la aguja de disparo fue un elemento de bastante importancia en este estudio ya que gracias a este se pudieron definir si los cartuchos fueron disparados por la misma arma de fuego.

4.5.17. Enfoque de Probabilidad en Comparación con el Teórico

Los examinadores de armas de fuego y herramientas a menudo proporcionan en sus informes balísticos conclusiones que se deben gracias a las características que se encuentran en las balas, en este estudio [41] lo que se pretende es examinar cuanto es el porcentaje de error en los informes que se proporcionan por medio de los peritos, para esta investigación se utilizó una pistola calibre 12 la cual fue disparada para encontrar en ellas las señales de clase y poder comparar entre ellos si las características eran similares. Gracias a esto se pudo determinar el error probabilístico que se encuentra en la mayoría de los laboratorios balísticos.

$$\frac{P(\text{micro observación}|SG)}{P(\text{micro observaciones o FP}|SG)} = \frac{1}{0.0005 + 0.00125} \approx 571$$

Fórmula 1. Error de probabilidad [41]



Figura 34. Pruebas de disparo [41].

4.5.18. Identificación balística Evofinder

En esta investigación [42], se estudia si las marcas dejadas en el percutor y la impresión del percutor cambian cuando se realizan varios disparos consecutivos, como conclusión de esta investigación se obtuvo que las marcas no varían; las marcas dejadas en los cartuchos siguen siendo las mismas por esto se puede decir que cada arma de fuego deja una huella en particular y por eso es fácil la identificación de estas, lo que se hace en este método es hacer una correlación de las imágenes tomadas para definir si estas han sido clasificadas correctamente y obtener el margen de error, como todos los métodos anteriores este se basa fundamentalmente en las marcas dejadas en los cartuchos del arma en cuestión, el método general es disparar muchas rondas con la misma arma de fuego y comparar si los especímenes muestran las mismas marcas características. Se llegó a la conclusión que gracias al desgaste de la aguja percutora las marcas se empiezan a deteriorar a partir de los 3070 disparos.

4.5.19. Otros Métodos

En esta investigación [43], se usó un pistola semiautomática Taurus PT 99 AF 9 mm, para esto las balas fueron disparadas y fueron extraídas del agua, los cartuchos recuperados se sometieron a varios estudios mediante las marcas de herramientas dejadas en él y en la bala, estos cartuchos se compararon entre sí para mirar la similitud de las marcas y si coincidía a la misma arma de fuego, esta comparación también se realizó con el fin de comprobar si las municiones habían sufrido algún tipo de deformación y que no este no hubiese alterado las marcas características dejadas en el cartucho, se llegó a la conclusión de que si la cámara de la pistola es del tamaño adecuado esta dejara las marcas necesarias para la identificación ya que cuando se realiza el examen con una arma casera los cartuchos pueden tener un tamaño

inferior o ser blandas para el material de la pistola esto lo que indica es que las marcas de la recámara de la pistola no quedarán bien definidas en la base de la vainilla.

4.6. Métodos empleados para la Identificación de Armas de Fuego mediante Imágenes de Estriado en la Bala del Proyectoil

Cada cañón deja patrones de estriación individuales en la bala cuando esta está saliendo del mismo y son impresas como microestructuras 3D únicas aleatorias que representan las imperfecciones de los modelos de herramientas utilizados en el proceso de alineación, siendo útiles para la identificación de armas de fuego [44]. A continuación, se describen algunas de las técnicas empleadas para su identificación:

4.6.1. Correlación mediante Descomposición

Los métodos comunes de identificación automática procesan imágenes de estriación en la bala utilizando una invariante de tiempo lineal (LTI); pero estos métodos basados en la correlación no consideran la sensibilidad de las comparaciones basadas en correlación a derivaciones basales no lineales. En este estudio [44], las imágenes son tomadas con un microscopio Dino-Lite (modelo AD7013MTL) que ofrece una ampliación zoom de 10X a 92X con una distancia de trabajo extendida y 5.0MP de alta resolución, también cuenta con 8 luces LED blancas, captura de imagen Micro Touch, software de medición y boquillas extraíbles que incluyen una boquilla de polarización para evitar las luces de reflexión no deseadas de las superficies metálicas.

En la Figura 35, se muestra una imagen de viñeta 2D de la superficie de la bala en la que, si se observan dos filas secuenciales, se puede ver que son similares si se desplaza circularmente unos pocos píxeles hacia adelante o hacia atrás pudiendo reducir así el número de muestras en el proceso de comparación alineando verticalmente los píxeles relacionados con estriaciones particulares y promedios por columnas.

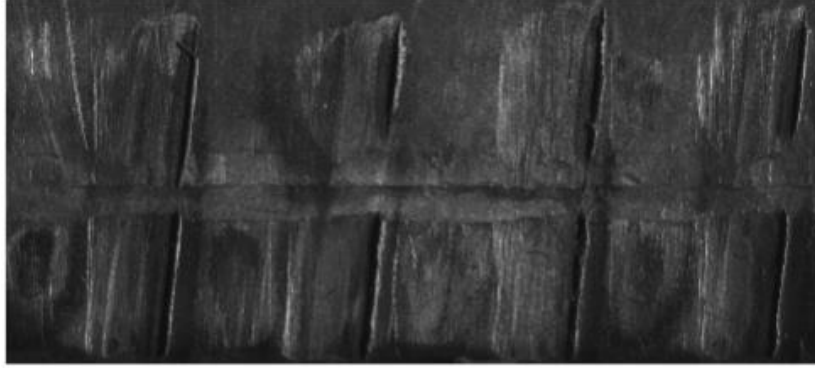


Figura 35. Imagen de nivel de gris típica en 2D de la superficie de la bala [44].

Los patrones se extraen utilizando un detector de bordes de chapa debido a la alta sensibilidad a los cambios de gradiente y su capacidad para extraer más patrones de borde; la imagen resultante (Figura 36) es ingresada a un algoritmo detector de ángulo basado en la transformada de Radón que se define como la proyección de la intensidad de la imagen a lo largo de una línea radial orientada a un ángulo, arrojando un pico dominante alrededor de 106° (Figura 37).



Figura 36. Resultado de la detección de bordes [44].

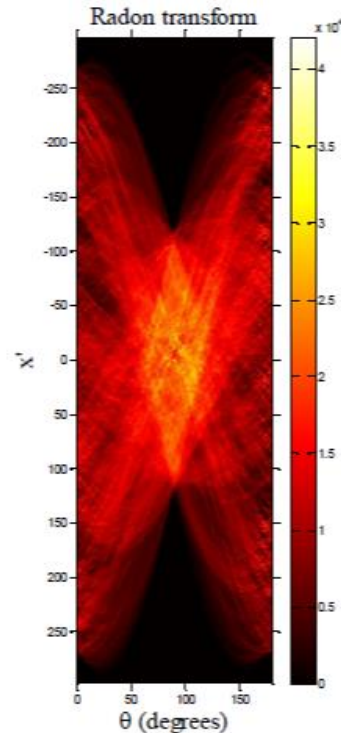


Figura 37. Resultado de la transformada de Radón en la imagen del borde de la superficie de la bala: Las áreas más brillantes señalan la alta densidad de líneas en un cierto ángulo [44].

Debido a las limitaciones de los filtros LTI usados para suavizar las imágenes de la bala y los perfiles que pueden causar la pérdida de información y afectar el proceso de identificación, se consideran las imágenes de la bala como procesos no estacionarios no lineales y se propone un novedoso método que utiliza la descomposición en modo empírico de conjunto (EEMD) como un algoritmo de preprocesamiento para suavizar y extraer las características que no sólo contienen menos ruido, sino que además, no contienen características no lineales. Este es un método de descomposición de frecuencia en el tiempo, siendo una técnica de descomposición de dominio de tiempo no lineal y no estacionaria.

El algoritmo que descompone adaptativamente una señal en múltiples escalas o modos empíricos es conocido como un modo intrínseco de funciones (IMFs), donde cada IMF caracteriza una cierta modulación de frecuencia de amplitud de banda estrecha que a menudo es vinculada a un proceso estadístico o físico particular y debe cumplir dos condiciones: 1. El número de extremos locales y el número de puntos de cruce por cero deben ser iguales o diferir por uno como máximo y 2. La media de sus sobres superiores e inferiores es igual a

ceros. Luego de obtenido el primer FMI restando la señal original para obtener la residual y a su vez los FMI subsiguientes con frecuencia de oscilación más bajas se derivan utilizando el mismo proceso y el nuevo residuo obtenido. El algoritmo EEMD elimina el perfil promedio de ruido donde primero se descompone el perfil promedio en varios IMF y luego, la eliminación de la señal se realiza mediante su reconstrucción utilizando un número limitado de FMI en un rango predefinido eliminando completamente la desviación de línea base y se suprime el impacto de ruido (Figura 38) conservándose así la información valiosa mientras que la información ruidosa se elimina reduciendo el error en la identificación.

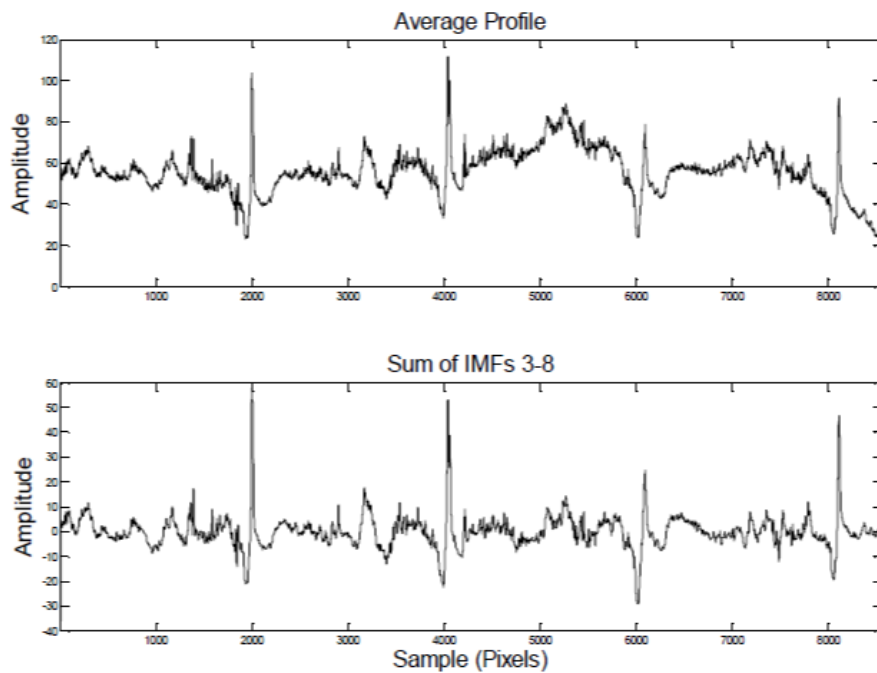


Figura 38. Perfil medio y suma de sus FMI (IMF3 a IMF8) [44].

Finalmente, se concluye que 9FMI son suficientes para representar cada señal, donde el número de iteraciones de cribado se eligió en 200 para garantizar el logro de mejores componentes oscilatorias y separación, disminuyendo drásticamente la precisión del algoritmo. El uso de EEMD mejoró la precisión de identificación obteniendo un porcentaje de efectividad del 70.49% eliminando de manera efectiva la información engañosa que reside dentro de los perfiles medios.

4.6.2. Red Neuronal Convolutacional-TripNet

Este documento [45-46] se enfoca en la evaluación en términos de recuperación de información (IR), en el que un usuario expresa la necesidad de información que se puede expresar como una búsqueda de una marca de herramienta similar, utilizando un conjunto de consultas y recuperando documentos relevantes y no relevantes fuera de una colección de documentos que están representados por características hechas por la misma u otra herramienta. El conjunto de datos del NFI publicado por Baiker et al., consta de 300 características de 50 herramientas diferentes que están disponibles como imágenes 2D y superficies 3D o perfiles 1D preprocesados extraídos de la superficie de caras.

Este método, calcula las similitudes entre las marcas de herramientas estriadas, cuyo objetivo es distinguir las características individuales de las herramientas al ser invariante a las características de clase y subclase, proponiendo el uso de Red Neuronal Convolutacional (CNN). La entrada para estos algoritmos son perfiles 1D extraídos desde imágenes 2D o escaneos de superficies de la marca de estriación de herramienta. Dos imágenes con perfiles superpuestos (Figura 39) desde la misma herramienta se representan en diferentes ángulos de ataque.

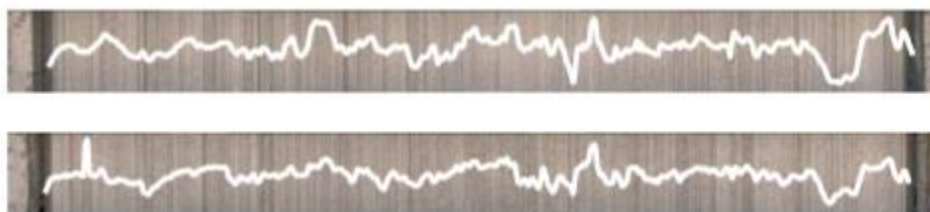


Figura 39. Perfiles 1D superpuestos extraídos de superficie 3D escanea imágenes 2D de NFI Toolmarks 15 grados (arriba) y 30 grados (abajo) [45].

El enfoque de línea se basa en la métrica de la forma elástica planteado por Srivastava et al, para comparar formas de cerrado y curvas abiertas en R , definiendo la distancia como una combinación de flexión y estiramiento de deformaciones, donde la curva está representada por el cuadrado en función de la velocidad de raíz (SRV). Después se realiza un paso de optimización adicional para calcular la distancia forma-espacio, aplicado directamente a los programas de archivo de NFI Toolmark.

El único paso de preprocesamiento realizado es la reducción de muestras a 800 puntos que corresponden a la longitud de onda mínima (Figura 40); después del preprocesamiento, las

puntuaciones de similitud se calculan utilizando la correlación cruzada (CC) propuesto por el Instituto de Estándares y Tecnología (NIST) para comparar herramientas balísticas. La distancia relativa es una medida de similitud utilizada para predecir si un par dado de herramientas es coincidente o no.

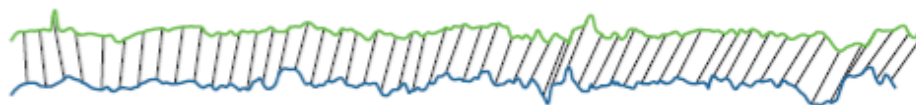


Figura 40. Resultado de aplicar la operación de ajuste de forma elástica a los perfiles de la herramienta 1A para α de 15° abajo y 30° arriba [45].

La red neuronal propuesta TripNet se basa en el modelo de Balntas et al. Que es similar a las redes siamesas y el entrenamiento es realizado por tres muestras de entrada; se seleccionan dos muestras de una clase y otra de una clase diferente donde sus resultados luego se combinan en la función de pérdida que minimiza la distancia euclidiana entre muestras coincidentes y el error es propagado. Las imágenes de entrada son de 1×800 capas convolucionales y agrupadas; a cada capa convolucional le sigue una normalización discontinua para disminuir la dependencia de la normalización de entrada e inicialización de la red, donde el tamaño de la capa convolucional y el número de mapas de características, así como el tamaño de las capas de agrupamiento se evalúan empíricamente, obteniendo los mejores resultados con convoluciones de 1×5 y agrupamiento de 1×3 con 64 características en la primera convolución y 32 en la segunda.

La capacitación y evaluación de TripNet se implementa en antorcha, al igual que los perfiles 1D procesados utilizados para la línea base de las imágenes 2D que se reducen a una altura de 800 píxeles para el entrenamiento al azar tomando 1×800 cultivos verticales aumentando la variabilidad de las muestras.

La evaluación del enfoque de línea se lleva a cabo en CPU Intel i7-5500U utilizando Matlab arrojando resultados no muy satisfactorios siendo un enfoque no muy adecuado para distinguir las marcas de herramientas con una diferencia α de más de 15° . El TripNet maneja mejor estas situaciones, sin embargo, para casos extremos como NFIT 75, los resultados aún no son satisfactorios. En conclusión, el principal desafío para emparejar marcas de herramientas estriadas es manejar las diferencias en el ángulo de ataque.

4.6.3. Huella Digital

Todas las armas de fuego dejan marcas características únicas, el cañón del arma de fuego deja marcas en forma de espiral en la bala, muchas de estas marcas se deben a defectos en la fabricación del cañón del arma [47], en este estudio se utilizó la técnica de detección de líneas para así identificar si las balas fueron disparadas por la misma arma de fuego, los datos pueden ser reunidos por esta técnica mediante un escaneo de las columnas de información de las imágenes y de esta manera poder almacenar los datos para producir una imagen bidimensional, esto se logra gracias a la balística giratoria y la luz incidente sobre el cañón del arma, estas marcas de estriación son de alta importancia a la hora de realizar la identificación de un arma de fuego ya que cada arma de fuego tiene un barril único. En esta investigación se tienen en cuenta las marcas de las tierras y las marcas de las ranuras dejadas por el cañón (Figura 41).

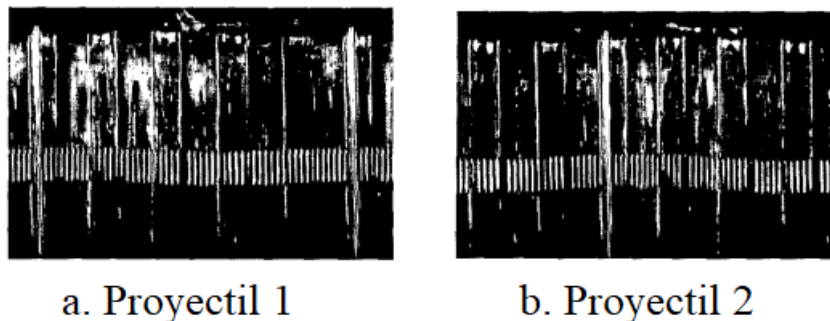


Figura 41. Imágenes de líneas de proyectiles disparados por la misma arma de fuego [47].

La investigación arrojó como resultado que es difícil realizar la identificación del arma de fuego ya que se presentan algunas irregularidades de fabricación en el barril por lo tanto es complicado identificar las estriaciones dejadas por los surcos o tierras.

4.6.4. Escaneo de Línea y Perfilado de Superficie

El desarrollo de la técnica de análisis de líneas y su aplicación a especímenes balísticos con la capacidad de producir imágenes para el espacio de distribución de las firmas de identificación en el cilindro, tiene como ventaja que la superficie de la muestra está siempre enfocada y en alta resolución manteniendo la superficie en foco para la exploración rotacional del cilindro; del mismo modo el perfilado de la superficie de las marcas

características por técnica láser del sensor de profundidad proporciona que información única para la identificación [48].

La introducción de la tecnología en imágenes para ayudar el proceso de identificación de las armas de fuego ha mejorado la capacidad de analizar los ejemplares para los balísticos forenses. Este documento [49] describe el desarrollo de la tecnología para el análisis de imágenes forenses mediante las técnicas de escaneo de línea y el perfilado de la superficie aplicadas al cilindro del proyectil; la combinación de estas técnicas permite correlacionar los datos para validar el análisis de características de clase y las marcas únicas en los especímenes balísticos, con el fin de proporcionar información óptica adicional para los análisis.

La técnica de escaneo de línea tiene la capacidad de producir imágenes para la distribución espacial de identificación de estrías en el cilindro y compagina información de la superficie mediante el escaneo de columnas consecutivas de información de la imagen y almacenando los datos en un buffer de cuadro para producir una imagen 2D de la superficie del espécimen cilíndrico “desenvolviendo” el cilindro (Figura 42); ésta técnica requiere movimiento relativo entre la matriz de líneas de sensores en la línea de exploración de la cámara y la superficie a inspeccionar que se logra girando el cilindro. El perfilado superficial de especímenes balísticos presentan una técnica de medición para determinar los anchos y profundidades de marcas identificativas en la superficie de los especímenes; por tanto, la combinación de imágenes de escaneo de línea y perfilado de superficie proporcionan una poderosa aproximación a la detección e identificación de marcas en los especímenes.

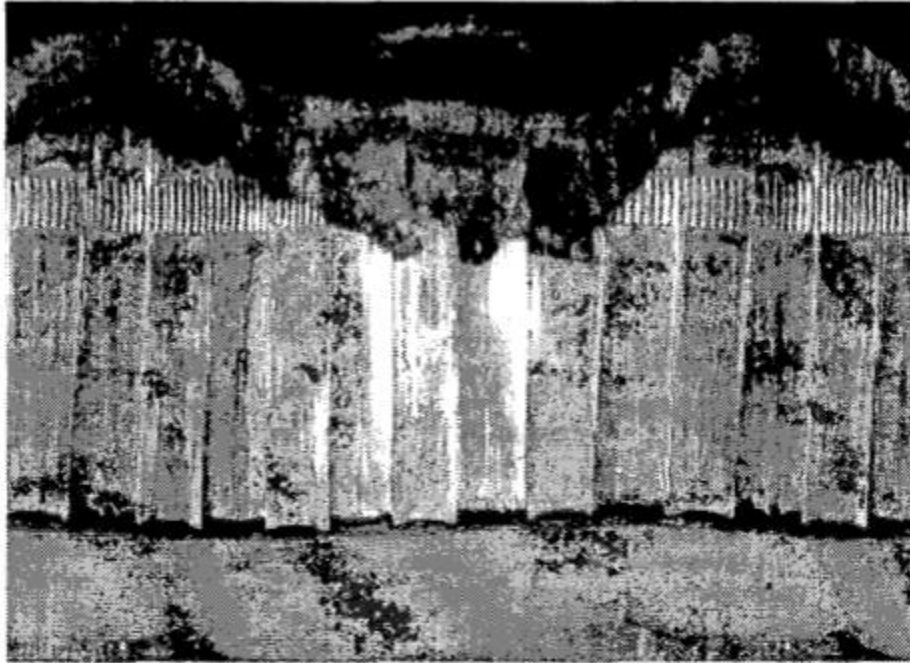


Figura 42. Imagen de escaneo de línea que muestra puntos de referencia y marcas de surco [49].

Las distancias de profundidad se muestran como datos positivos en la Figura 43 donde las depresiones en la superficie del proyectil se muestran como picos, mostrando cinco marcas de tierra y cinco marcas de ranura que pueden correlacionarse con las mismas marcas. La onda de baja frecuencia se debe a una pequeña cantidad de excentricidad de rotación de la muestra que ha sido corregida y eliminada haciendo que la imagen de la superficie se vea como un contorno del proyectil en la región de escaneo (Figura 44).

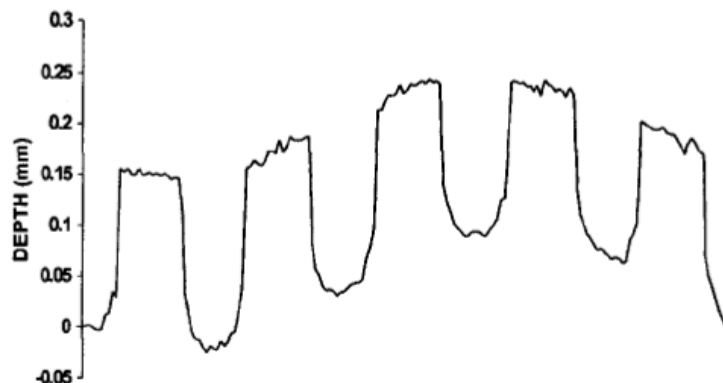


Figura 43. Perfil de superficie de menor porción del proyectil que muestra las marcas de tierra y estrías a través de 360° [49].

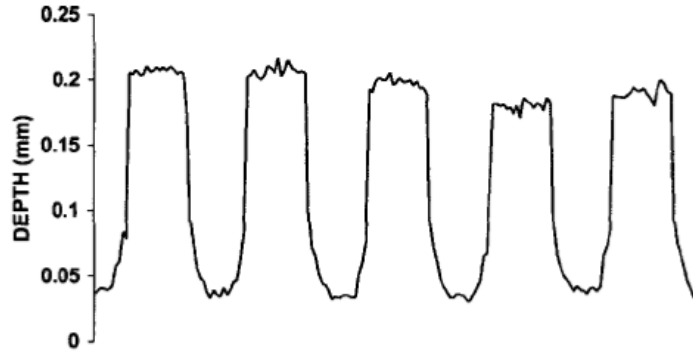


Figura 44. Perfil de superficie corregido de porción inferior del proyectil mostrando marcas de tierra y estrías a través de 360° [49].

Los proyectiles son comparados tomando muestras del perfil de superficie de la misma muestra en diferentes puntos de circunferencia donde la alta correlación (Figura 45) indica una medida de confianza en la técnica y su aplicación para la identificación de especímenes balísticos.

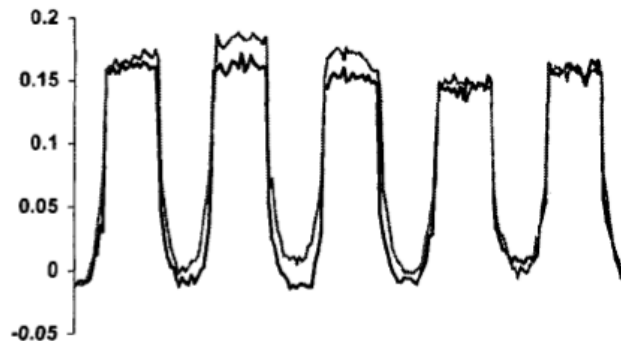


Figura 45. Comparación superior y marcas más bajas y estrías del proyectil a través de 360° [49].

4.6.5. Extracción de Características de Textura

Debido al contacto entre el interior del cañón y el proyectil al disparar un arma de fuego, se imprimen marcas características sobre la superficie del proyectil que pueden ser interpretadas como “huella digital” del arma de disparo que sirven para identificar el arma de disparo de manera efectiva. Los sistemas automáticos de procesamiento de imágenes son útiles al momento de realizar la identificación agilizando la comparación de la evidencia reduciendo rápidamente el número de candidatos.

La base de datos para este estudio [50], consta de 4 proyectiles de 4 armas diferentes que poseen el cañón con estriado hexagonal; estas imágenes son obtenidas mediante un microscopio estereoscópico Leica MZ6 y el software LAS (Leica Application Suite). Luego se realiza un proceso de desenvolvimiento de cada proyectil para obtener imágenes en 2D (Figura 46).

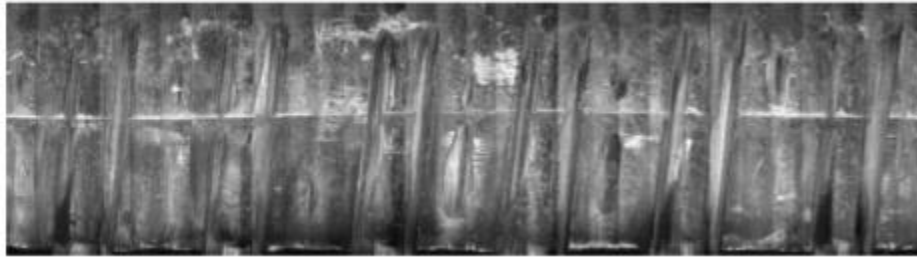


Figura 46. Superficie “desenvuelta” de un proyectil [50].

Para estas imágenes se obtienen características de textura mediante la matriz de co-ocurrencia de niveles de gris (MCNG) que incluyen el contraste, la correlación, la energía o uniformidad y la homogeneidad y mediante la transformada de Fourier en la que se consideran tres características del espectro como los picos prominentes del espectro que dan la dirección principal de los patrones de textura, la localización de los picos en el plano de la frecuencia del periodo espacial fundamental de patrones y la eliminación de los componentes periódicos durante el filtrado que deja elementos no periódicos de la imagen que se pueden describir mediante técnicas estadísticas, son útiles para la descripción de la textura.

Cada grupo o nivel de tratamiento para el análisis de varianza (ANOVA) representa un arma diferente, mostrando resultados que indicaron que efectivamente los datos de cada grupo provienen de poblaciones normales y que las varianzas de los grupos pueden ser consideradas homogéneas.

4.6.6. Redes Neuronales

La red neuronal es un sistema de cálculo que incluye hardware, software y grandes volúmenes de elementos entrecruzados de procesamiento (PE) para simular la capacidad de la red neuronal biológica; este sistema simplemente acepta información a través del entorno externo u otros PE. Esta investigación [51] pertenece al aprendizaje no supervisado en el que se elige un mapa de características de autoorganización (SOFM) como modelo NN para

identificar armas de fuego en el que las imágenes son captadas mediante un microscopio y luego se ingresan a la computadora en la que se identifican finalmente mediante el sistema de aprendizaje de redes neuronales.

El mapa de características de autoorganización SOFM, es similar a la función de “análisis de conglomerados” que es también no supervisado. El proceso de aprendizaje de NN puede ser usado para encontrar grupos en los datos de entrada y para identificar un dato de vector desconocido con uno de los grupos donde se calcula primero la distancia euclidiana para encontrar la distancia mínima entre el objetivo y los otros puntos en el mapa y para actualizar los pesos de conexión del mapa.

Finalmente, se llega a la conclusión de que la extracción de características en las marcas de herramientas del arma de fuego y el emparejamiento rotacional es muy difícil y lleva mucho tiempo por ser un método artificial; también se determina que el patrón de ruido es un gran problema para la identificación del arma de fuego, para lo cual se recomienda reducir la señal de ruido en la imagen mediante el preprocesamiento, con el fin de aumentar la precisión del sistema para investigaciones futuras.

4.6.7. SIFT

En esta investigación [2] se tuvieron inconvenientes a la hora de generar los descriptores para cada una de las imágenes ya que el número no era homogéneo entre una imagen y otra, para solucionar este problema se seleccionaron los valores que era más significativos ya que algunos pertenecían a puntos poco importantes, para la validación de los descriptores se utilizó la herramienta App Classification Learner. Para esta investigación este algoritmo no cumplió con las expectativas ya que en este caso solo se obtuvieron porcentajes alrededor del 34.5%.

4.6.8. Momentos invariantes de HU

En esta investigación [2] se implementó un algoritmo para 10 tipos de armas, la validación de este algoritmo se realizó utilizando Cross Validation 5 con la cual se obtuvo un patrón de reconocimiento del 98.9%, Cross Validation 10 logrando un 100% , Holdout Validation con un 97.8% de reconocimiento, Holdout Validation 30 94.4%, Holdout Validation 35 95.2%, Holdout Validation 40 98.6%, Holdout Validation 45 93.8%, Holdout Validation 50 90%, también se utilizaron los clasificadores KNN Fien, KNN y Weighted KNN. En conclusión,

este algoritmo presento buen resultado en sus siete momentos para la identificación de las características del estriado.

4.6.9. Otros Métodos

Técnicas actuales para la identificación forense de especímenes balísticos utilizan técnicas de comparación de características; las marcas de herramientas en las superficies de los especímenes balísticos son impresiones de superficie producidas por el arma de disparo produciendo discontinuidades en la superficie que pueden ser detectadas y medidas por técnicas topográficas que tienen la capacidad considerable de mejorar la calidad de la imagen mejorando la fiabilidad y validez de las medidas para emparejar imágenes [48]. La perfilometría láser de De Kinder y Bonfanti (1999) utiliza una matriz unidimensional que indica una correlación satisfactoria entre balas con características definidas. Estos métodos físicos y fotónicos de análisis de clase a través de técnicas ópticas se han elevado debido al nivel de precisión en la identificación.

Discusión

Para la identificación de armas de fuego mediante imágenes de la base del proyectil se tiene que las mejores técnicas a emplear son las basadas en Redes Neuronales y Momentos Invariantes CMI con porcentajes de efectividad de 94% y 98% respectivamente.

Se debe tener en cuenta que para la aplicación del método de Redes Neuronales se emplearon distintos algoritmos de la red sigmoide de dos capas de arquitectura, de los cuales se observa que el algoritmo que arroja mejores resultados en cuanto a la clasificación correcta del mayor número de pistolas en función de las imágenes de impresión del pin de disparo es el trainlm, ya que si se va a tener en cuenta para futuros desarrollos, se debe de tener presente este procedimiento con el fin de no perder tiempo en prueba y error en algoritmos de clasificación; y en cuánto al método de Momentos Invariantes CMI se debe de tener en cuenta que el algoritmo básico presenta inconvenientes debido a que la convergencia es demasiado lenta y por lo general no se logra alcanzar el mínimo global para la absorción del mínimo local y la velocidad de aprendizaje se debe mantener constante a lo largo del entrenamiento, así que si se quiere determinar el valor óptimo antes del entrenamiento, no se puede lograr debido a que el algoritmo tarda mucho tiempo en converger.

En cuanto a las técnicas de identificación mediante las marcas del estriado el algoritmo con el mejor resultado fue el de los momentos invariantes de HU el cual funcionó perfectamente para los siete momentos; esta técnica fue comprobada y validada con diferentes métodos para el cual se obtuvieron porcentajes de identificación iguales o superiores al 90% y con el clasificador Cross Validation 10 se obtuvo una identificación perfecta es decir que se alcanzó el 100%. Esto no quiere decir que el método no vaya a fallar en algún momento, ya que como bien se sabe, todo tiene un margen de error y se debe ir perfeccionando cada vez en esta técnica. La otra técnica en la cual se vio un porcentaje alto de identificación fue en la correlación mediante descomposición para la cual se obtuvo un porcentaje de efectividad del 70,49%, donde se considera que uno de los márgenes de error que se pueden presentar y que se puede mejorar al emplear esta técnica, es que la misma no tiene en cuenta la sensibilidad de las comparaciones basadas en la correlación de derivaciones basales no lineales, por lo cual, se considera que si se mejora en este aspecto, esta técnica podría mejorar mucho su efectividad; por otra parte, la forma particular que tiene este método de extraer los patrones

necesarios para realizar la identificación de las armas de fuego mediante el detector de bordes que es demasiado sensible a los cambios del gradiente, puede extraer patrones no relacionados a las características necesarias para la identificación en las marcas de estriación que se dejan en la bala introduciendo un margen de error para la identificación del arma de fuego.

Es pertinente mencionar que uno de los métodos trabajados en las diferentes investigaciones es bastante complicado de usar ya que no se tiene un descriptor homogéneo para las imágenes, este método es el de SIFT, por lo que no se recomienda para futuras investigaciones referentes a las marcas de estriación, obteniendo un porcentaje de efectividad del 34,5%.

En general, se concluye que todos los métodos son útiles para el reconocimiento digital de imágenes, pero en muchas de las técnicas el principal inconveniente es que se encontraban marcas diferentes a las necesarias para el reconocimiento de las armas de fuego como lo son las marcas dejadas a la hora de la fabricación siendo una de las limitaciones para el adecuado reconocimiento de las armas de fuego, así que se recomienda a futuros estudios realizar énfasis sobre las técnicas en las cuales se encontró mayor efectividad a la hora de identificar las armas de fuego.

Bibliografía

- [1] J. Granada Hincapié, "Extracción de Características en Imágenes Balísticas Para El Reconocimiento de Patrones", 2014.
- [2] Ana María Tamayo Ocampo, "IDENTIFICACIÓN DE ARMA DE FUEGO MEDIANTE ESTRIADO USANDO VISIÓN POR COMPUTADORA", 2019.
- [3] W. King, B. Campbell, M. Matusiak and C. Katz, "Forensic Evidence and Criminal Investigations: The Impact of Ballistics Information on the Investigation of Violent Crime in Nine Cities," *Journal of Forensic Sciences*, vol. 62, no. 4, pp. 874-880, 2017.
- [4] Vincent J. M. DiMaio M. D., *Gunshot Wounds: Practical Aspects of Firearms, Ballistics, and Forensic Techniques, SECOND EDITION*, 2nd ed. CRC Press, 1998.
- [5] C. Smith and J. Cross, "Optical imaging techniques for ballistics specimens to identify firearms", *Proceedings The Institute of Electrical and Electronics Engineers. 29th Annual 1995 International Carnahan Conference on Security Technology*. Available: 10.1109/ccst.1995.524924.
- [6] G. Burrard, *The Identification of Firearms and Forensic Ballistic*. New York, 1934.
- [7] W. King, B. Campbell, M. Matusiak and C. Katz, "Forensic Evidence and Criminal Investigations: The Impact of Ballistics Information on the Investigation of Violent Crime in Nine Cities," *Journal of Forensic Sciences*, vol. 62, no. 4, pp. 874-880, 2017.
- [8] T. Smith, G. Andrew Smith and J. Snipes, "A Validation Study of Bullet and Cartridge Case Comparisons Using Samples Representative of Actual Casework", *Journal of Forensic Sciences*, vol. 61, no. 4, pp. 939-946, 2016.
- [9] R. Bolton-King, "Preventing miscarriages of justice: A review of forensic firearm identification", *Science & Justice*, vol. 56, no. 2, pp. 129-142, 2016.
- [10] Vadra, "Heridas por proyectiles de armas de fuego portátiles (armas de fuego, cartuchos, balística, aporte experimental y clínico)," *Asoc. Ortop. y Traumatol.*, vol. 62, no. 1515-1786, pp. 213-239.
- [11] J. Manzano, G. Guerrero, and A. Fernando, "Balística: Balística de efectos o balística de las heridas," *Cir. Gen.*, vol. 23, pp. 266-272, 2001.
- [12] T. Warlow, *Firearms, the law, and forensic ballistics*, 2nd ed. Boca Raton, Fla.: CRC Press, 2005.
- [13] C. Smith, "An intelligent imaging approach to the identification of forensic ballistics specimens", *2001 International Conferences on Info-Tech and Info-Net. Proceedings (Cat. No.01EX479)*, pp. 390-396. Available: 10.1109/icii.2001.983088.
- [14] Z. Huang and J. Leng, "An online ballistics imaging system for firearm identification", *2010 2nd International Conference on Signal Processing Systems*, pp. 68-72, 2010. Available: 10.1109/icsps.2010.5555219.
- [15] Zijun Feng, Man Luo, Shu Chang, Li Yang and Jun Kong, "Automatic cartridge case image mosaic using SIFT and graph transformation matching", 2009

- IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems*, pp. 371-375, 2009. Available: 10.1109/icicisys.2009.5357672.
- [16] R. Merkel, C. Vielhauer, J. Dittmann, R. Fischer, M. Hildebrandt and C. Arndt, "From classical forensics to digitized crime scene analysis", *2015 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*, 2015. Available: 10.1109/icme.2015.7397313.
- [17] P. Thumwarin, C. Prasit, K. Yakoompai and T. Matsuura, "Firearm identification system with rotation invariance", pp. 2030-2035, 2010. Available: 10.1109/ICCAS.2010.5670101.
- [18] Le-Ping Xin, Jie Zhou and Gang Rong, "A cartridge identification system for firearm authentication", *WCC 2000 - ICSP 2000. 2000 5th International Conference on Signal Processing Proceedings. 16th World Computer Congress 2000*, pp. 1405-1408. Available: 10.1109/icosp.2000.891807.
- [19] Jie Zhou, Le-ping Xin, Da-shan Gao, Chang-shui Zhang and D. Zhang, "Automated cartridge identification for firearm authentication", *Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR 2001*, pp. 749-754. Available: 10.1109/cvpr.2001.990551.
- [20] T. Chase and D. Li, "Web based image database system for ballistic firearm identification", *2001 International Conferences on Info-Tech and Info-Net. Proceedings (Cat. No.01EX479)*, pp. 30-35. Available: 10.1109/icii.2001.983490.
- [21] X. Tai, "Record Linkage and Matching Problems in Forensics", *2018 IEEE International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW)*, 2018.
- [22] D. Li, "Firearm Identification System for Australian Police Services", *2008 IEEE International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling Workshop*, pp. 911-914, 2008. Available: 10.1109/kamw.2008.4810640.
- [23] J. Leng and Z. Huang, "On analysis of circle moments and texture features for cartridge images recognition", *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 2, pp. 2092-2101, 2012.
- [24] D. Li, "A New Approach for Firearm Identification with Hierarchical Neural Networks Based on Cartridge Case Images", *2006 5th IEEE International Conference on Cognitive Informatics*, pp. 923-928, 2006. Available: 10.1109/coginf.2006.365616.
- [25] N. Ghani, S. Kamaruddin, C. Liong and A. Jemain, "Firearm identification using numerical features of centre firing pin impression image", *2012 International Symposium on Computer Applications and Industrial Electronics (ISCAIE)*, pp. 293-296, 2012. Available: 10.1109/iscaie.2012.6482115.
- [26] S. Kamaruddin, N. Ghani, C. Liong and A. Jemain, "Firearm recognition based on whole firing pin impression image via backpropagation neural network", *2011 International Conference on Pattern Analysis and Intelligence Robotics*, pp. 177-182, 2011. Available: 10.1109/icpair.2011.5976891.
- [27] C. Liong, N. Ghani, S. Kamaruddin and A. Jemain, "Firearm Classification Based on Numerical Features of the Firing Pin Impression", *Procedia Computer Science*, vol. 13, pp. 144-151, 2012.

- [28] C. Gambino et al., "Forensic surface metrology: tool mark evidence", *Scanning*, vol. 33, no. 5, pp. 272-278, 2011.
- [29] C. Smith, "Multi-dimensional cluster analysis of class characteristics for ballistics specimen identification", *Proceedings IEEE 35th Annual 2001 International Carnahan Conference on Security Technology (Cat. No.01CH37186)*, pp. 115-121. Available: 10.1109/ccst.2001.962822.
- [30] C. Smith and J. Cross, "Optical imaging techniques for ballistics specimens to identify firearms", *Proceedings The Institute of Electrical and Electronics Engineers. 29th Annual 1995 International Carnahan Conference on Security Technology*. Available: 10.1109/ccst.1995.524924.
- [31] T. Lizotte and O. Ohar, "Forensic firearm identification of semiautomatic handguns using laser formed microstamping elements", *Optical Technologies for Arming, Safing, Fuzing, and Firing IV*, 2008. Available: 10.1117/12.796521.
- [32] C. Smith, "Fireball: a forensic ballistics imaging system", *Proceedings IEEE 31st Annual 1997 International Carnahan Conference on Security Technology*, pp. 64-70. Available: 10.1109/ccst.1997.626240.
- [33] N. Md Ghani, C. Liong and A. Jemain, "Analysis of geometric moments as features for firearm identification", *Forensic Science International*, vol. 198, no. 1-3, pp. 143-149, 2010.
- [34] J. Song et al., "Estimating error rates for firearm evidence identifications in forensic science", *Forensic Science International*, vol. 284, pp. 15-32, 2018.
- [35] P. Suapang, S. Yimmun and N. Chumnan, "Tool and Firearm Identification System Based on Image Processing", *International Conference on Control, Automation and Systems*, pp. 178-182, 2011. Available: <https://ieeexplore-ieee.org.ezproxy.utp.edu.co/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6106401>.
- [36] P. Thumwarin, C. Prasit and T. Matsuura, "Firearm identification based on rotation invariant feature of cartridge case", *2008 SICE Annual Conference*, pp. 45-49, 2008. Available: 10.1109/sice.2008.4654620.
- [37] P. Thumwarin, C. Prasit, P. boonbumroong and T. Matsuura, "Firearm Identification based on FIR System Characterizing Rotation Invariant Feature of Cartridge Case Image", *2008 23rd International Conference Image and Vision Computing New Zealand*, 2008. Available: 10.1109/ivcnz.2008.4762085.
- [38] C. Gonulalan, U. Leloglu and U. Sakarya, "Global shape characteristics based classification for firearm brand detection", *2012 20th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 2012. Available: 10.1109/siu.2012.6204430.
- [39] U. Leloglu, "Characterisation of tool marks on cartridge cases by combining multiple images", *IET Image Processing*, vol. 6, no. 7, p. 854, 2012.
- [40] R. Suresh, "A simple method to compare firing pin marks using stereomicroscope and Microsoft office (Windows 8) tools", *Forensic Science International*, vol. 277, pp. e1-e10, 2017.
- [41] S. Bunch and G. Wevers, "Application of likelihood ratios for firearm and toolmark analysis", *Science & Justice*, vol. 53, no. 2, pp. 223-229, 2013.

- [42] K. Zhang and Y. Luo, "Slight variations of breech face marks and firing pin impressions over 3070 consecutive firings evaluated by Evofinder ®", *Forensic Science International*, vol. 283, pp. 85-93, 2018.
- [43] H. Lee and H. Meng, "Forensic Examination of Fired Bullets and Catridge Cases of 9 mm Luger Imitation Ammunition", *Forensic Science Journal*, vol. 10, no. 1, pp. 11-18, 2011. Available: <http://fsjournal.cpu.edu.tw/content/vol10.no.1/FSJ2.pdf>.
- [44] S. Bigdeli, H. Danandeh and M. Ebrahimi Moghaddam, "A correlation based bullet identification method using empirical mode decomposition", *Forensic Science International*, vol. 278, pp. 351-360, 2017. Available: 10.1016/j.forsciint.2017.07.032
- [45] M. Keglevic and R. Sablatnig, "Learning a Similarity Measure for Striated Toolmarks using Convolutional Neural Networks", *7th International Conference on Imaging for Crime Detection and Prevention (ICDP 2016)*, 2016. Available: 10.1049/ic.2016.0069.
- [46] M. Keglevic and R. Sablatnig, "Retrieval of striated toolmarks using convolutional neural networks", *IET Computer Vision*, vol. 11, no. 7, pp. 613-619, 2017. Available: 10.1049/iet-cvi.2017.0161.
- [47] C. Smith, "Linescan imaging of ballistics projectile markings for identification", *Proceedings. 36th Annual 2002 International Carnahan Conference on Security Technology*, pp. 216-222. Available: 10.1109/ccst.2002.1049254.
- [48] C. Smith and D. Li, "Intelligent Imaging of Forensic Ballistics Specimens for ID", *2008 Congress on Image and Signal Processing*, 2008. Available: 10.1109/cisp.2008.760.
- [49] C. Smith, M. Robinson and P. Evans, "Line-scan imaging for the positive identification of ballistics specimens", *Proceedings IEEE 34th Annual 2000 International Carnahan Conference on Security Technology (Cat. No.00CH37083)*, pp. 269-275. Available: 10.1109/ccst.2000.891199.
- [50] J. H. Rivera and J. Mendez, "extracción de características de textura para cotejo de proyectiles en balística.," *Sci. ef Tech.*, no. 44, pp. 229–233, 2010.
- [51] Chenyuan Kou, Cheng-Tan Tung and Fu, "FISOFM: firearms identification based on SOFM model of neural network", *Proceedings of IEEE International Carnahan Conference on Security Technology CCST-94*, pp. 120-125, 1994. Available: 10.1109/ccst.1994.363783.