

Extracción de características en imágenes balísticas para reconocimiento de patrones.

Resumen

Este trabajo presenta los resultados de la extracción de características morfológicas de vainillas disparadas por pistolas 9 mm que permiten realizar una correlación entre una vainilla en estudio y una base de datos de vainillas obtenidas de diferentes casos forenses en el Cuerpo Técnico de Investigación (CTI). En particular se demuestra que las características de firma digital del cráter de percusión, su estadística, el sesgo del cráter con respecto a la base del fulminante y los descriptores de forma, definen excelentes patrones de selección que pueden ser utilizados en los procesos de cotejos balístico forense de una vainilla obtenida de un siniestro, con una base de datos de imágenes existente en los laboratorios del CTI. Adicionalmente se propone una metodología de toma de imágenes que permite la estandarización de este procedimiento, incrementa la confiabilidad de los análisis comparativos y reduce el tiempo de procesamiento digital.

Palabras clave: Balística forense, balística identificativa, vainillas, cráter de percusión, firma digital, fulminante.

Introducción

La balística identificativa, es decir, la comparación de las señales identificativas de una imagen de la base de una vainilla percutida, con una serie de imágenes contenidas en una base de datos guardada con antelación, es parte fundamental de las ciencias forenses en particular de la balística (Pun y Gallusser, 2008). El crecimiento de los delitos que involucran armas de fuego, la proliferación de armas entre la sociedad civil y, la gran movilidad de los agentes delictivos han creado una gran congestión en los laboratorios dedicados a la balística forense.

Históricamente esta actividad de comparación ha sido desarrollada manualmente por expertos, con el uso de microscopios especialmente adaptados para la realización de estas tareas (Pun y

Gallusser, 2008; Garamendi, 2004). Sin embargo estos sistemas sólo permiten la comparación de cuerpos físicos presentes y no permite su comparación a partir de imágenes guardadas en una base de datos. La necesidad de mejorar la rapidez en la entrega de los resultados de los cotejos realizados por los expertos en balística, ha llevado al desarrollo de sistemas híbridos que incorporan el tratamiento digital de imágenes y permiten realizar correlaciones entre imágenes obtenidas de un proceso forense específico, con imágenes anteriores contenidas en cierta base de datos (Springer, 1995; Geradts, Bijhold, Hermsen y Murtagh, 2001).

Cualquier sistema implementado en las ciencias forenses debe tener valores de confiabilidad extremadamente altos, dado que los resultados serán utilizados en procesos jurídicos donde está implicada la libertad de una persona y en algunos países incluso la vida. Aunque existen varios sistemas desarrollados en los países

William Rios Henao
Perito en balística LABICI CTI - Pereira
willtronik@gmail.com

Dania Ahumada
Diseñador base de datos para análisis
de información
d_isabela_p@hotmail.com

José Fernando López
Docente Insitución Universitaria
Tecnológica de Comfacaucá
Diseñador del Sistema Automatizado
de Adquisición de imágenes
jlopez@tecnologicocomfacauc.edu.co

Jaime Granada
Perito en balística LABICI CTI - Pereira
jagrahi@yahoo.com

industrializados que permiten mejorar notablemente la eficiencia en los procesos de análisis balístico, no se ha presentado una respuesta definitiva a las exigencias forenses en esta área. En los últimos años el Cuerpo Técnico de Investigación de la Fiscalía General de la Nación ha tenido acceso al sistema IBIS™ desarrollado por Forensic Technology Inc. y avalado por los Estados Unidos de Norte América. Sin embargo, la utilización de este sistema es altamente costosa tanto por su adquisición inicial (3.5 millones USD), como por su permanente mantenimiento y contrato de utilización. Este trabajo presenta los primeros resultados de un macro proyecto de la Fiscalía General de la Nación de Colombia con el objetivo de desarrollar un sistema propio de comparación de imágenes balísticas y cotejo forense, que sin dejar de ser un sistema fiable, reduzca significativamente los costos relacionados con la utilización de sistemas extranjeros, al tiempo que le da independencia en los estudios forenses.

Balística forense

A. Extracción de características

Son múltiples las marcas producidas por las piezas que entran en contacto con la vainilla en el proceso de disparo de un arma de fuego y en conjunto, todas ellas forman la “huella” característica y única del arma utilizada (Fiscalía General de la Nación, 2006; Geradts, Keijzer y Keereweer, 1994). El estudio realizado por expertos durante varias décadas demuestra que a partir de estas huellas dejadas por el arma sobre la vainilla del proyectil disparado, es posible identificar, con un alto grado de certeza, el arma que realizó dicho disparo. Un estudio balístico forense incluye el análisis del micro rayado producido por la contra-recámara del arma, de la huella del eyector sobre la vainilla, de la textura de la superficie de la base de la vainilla y del cráter de percusión ubicado en el fulminante.

En este trabajo se realizó un análisis sobre una de las características impresas sobre la superficie de una vainilla usada – el cráter de percusión (Fig. 1). El reconocimiento de la forma del cráter de percusión de un arma particular, es útil para hacer una clasificación previa, e identificar a qué tipo de arma pertenece la vainilla bajo análisis, dado que un mismo tipo de cartucho es utilizado por diferentes

tipos de arma. Este primer análisis reduce la búsqueda de coincidencias significativamente y por lo tanto es de interés central en esta investigación. Por otro lado la plena identificación del arma de fuego requiere de un análisis detallado de las demás marcas impresas sobre la vainilla en estudio (Leon, 1997; Zeno, Jurrien y Rob, 1999).

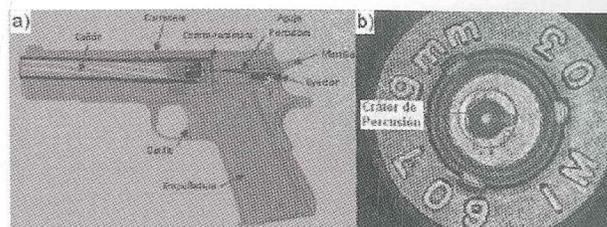


Fig. 1 a) partes de una pistola 9 mm. b) vainilla de una proyectil disparado.

La ciencia forense ha identificado cinco tipos fundamentales de huella de percusión en vainillas 9 mm disparadas por pistolas (que se han definido como el objeto de estudio en esta investigación), y que se muestran en la Fig. 2: a) **Percusión Tipo Glock** que presenta una forma ovalada con un rectángulo periférico en bajo relieve y rampa de deslizamiento en uno de sus extremos. b) **Percusión Circular con Rampa de Deslizamiento**. c) **Percusión Circular Descentrada**: En la cual el cráter de percusión estará más cercano a un lado de la base de la vainilla d) **Percusión Circular Centrada**: que pertenece a los casos donde no se presente rampa ni excentricidad y e) **Percusión circular descentrada con anillo periférico y rampa de deslizamiento**.

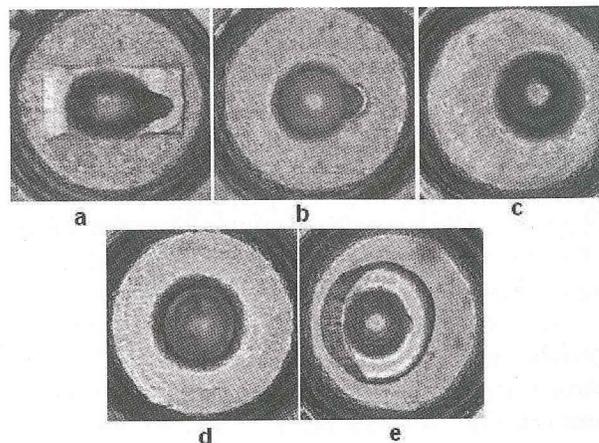


Fig. 2 Tipos de huella de percusión en vainillas 9 mm disparadas por pistolas semiautomáticas.

B. Adquisición de imágenes y formación de la base de datos.

Para la realización de este estudio se utilizaron 26 pistolas calibre 9 mm de diversas marcas y modelos pertenecientes al CTI, de la Fiscalía General de la Nación, seccional Pereira. (ver Tabla 1)

MARCA	MODELO
BROWING	N.P.
BROWING	245
COLT	M1991 A1-S80
CZ	75B
CZ	75D
GLOCK	26
GLOCK	82
HS 2000	N.P.
JERICO	941FL
PIETRO BERETTA	COUGAR 8000
PIETRO BERETTA	92FS
PIETRO BERETTA	92S
RUGER	P89
RUGER	P89DC
TAURUS	N.P.
WALTHER	P38

Tabla 1. Marca y modelo de las diferentes pistolas utilizadas en este estudio.

La escogencia de este tipo de arma se realizó con base en la frecuencia de siniestros cometidos con este tipo de arma y por lo tanto en la necesidad de identificación de las mismas. Cada arma, identificada con una letra, fue disparada 10 veces y las vainillas fueron marcadas con la letra correspondiente al arma que la disparó y un número de 1 a 10 correspondiente al orden del disparo. Una vez terminada la primera serie de 10 disparos, el arma se dejó enfriar hasta temperatura ambiente y luego se realizó una segunda y una tercera series de 10 disparos cada una. De esta manera se obtuvo un conjunto total de 780 vainillas que serían cotejadas mediante Procesamiento Digital de Imágenes (PDI).

El PDI es muy sensible al tipo de iluminación utilizada para la toma de las imágenes. En particular se encontró que aparte del tipo de fuente lumínica utilizada, es decir, aparte del contenido espectral de la fuente, los resultados obtenidos dependen del ángulo de incidencia de los rayos luminosos sobre la superficie de la vainilla y pueden dificultar notablemente el proceso de segmentación de las zonas de interés debido a los contrastes de brillos y sombras que se producen. Por esta razón se desarrolló un tipo de iluminación a base de diodos led montados en un anillo de tal manera que se garantizara una iluminación uniforme sobre toda la superficie a fotografiar y se excluyera todo tipo de

sombras. Las imágenes fueron adquiridas con el Microscopio para balística marca Leica modelo DMC 2000 del área de balística del laboratorio del CTI de la seccional Pereira. (ver Fig. 3)



Fig. 3 Equipo de adquisición de imágenes balísticas Leica DMC 200.

Este equipo cuenta con una cámara digital de 8.2 mega pixeles que posee un software de medición denominado Leica Aplicacion Suite, el cual permite la calibración de la cámara, ajuste de contrastes y además facilita realizar mediciones lineales y marcaciones en las imágenes adquiridas, lo que garantiza que las imágenes correspondientes a cierto tipo de proyectil tengan las mismas dimensiones lineales en su distribución por cuadro. Por otra parte este software incorpora algunas aplicaciones simples de PDI como filtros para contrastes e iluminación y adquisición en niveles de gris.

La toma de imágenes forenses requiere de procedimientos estandarizados que garanticen la confiabilidad en los procesos de selección y trazabilidad de la prueba. Por esta razón, antes de tomar las imágenes, las vainillas son sometidas a un proceso de limpieza con acetona y una solución ácida de uso exclusivo del laboratorio del CTI, que elimina sustancias superficiales y/o hongos procedentes de la escena del siniestro. Este proceso garantiza que las características de impresión dejadas por el arma sobre las vainillas no son alteradas.

Con el fin de facilitar la comparación digital de las imágenes de diferentes vainillas, se propuso una metodología de montaje de las vainillas sobre el soporte del equipo fotográfico. Por ejemplo si la vainilla presenta una percusión tipo Tipo Glock se debe ubicar el rectángulo periférico de la percusión

en forma horizontal y la rampa de deslizamiento hacia el lado derecho, o sea en la posición correspondiente a las 3hrs. En caso de no haber rampa de deslizamiento, se debe hallar el lado del rectángulo que presente mayor micro-rayado y posicionarlo a las 9hrs. Así, para cada tipo de percusión se ha definido una metodología específica que estandariza los procedimientos en los diferentes laboratorios que conforman la red de análisis forense. La base de datos obtenida mediante estos procedimientos contiene 780 imágenes de vainillas percutidas por 26 pistolas 9 mm.

C. Proceso de segmentación de las imágenes

El primer paso en el análisis de imágenes es la segmentación o separación en zonas de interés, la cual consiste en subdividir una imagen en sus partes constituyentes u objetos (González y Woods, 2002). El nivel al que se lleva a cabo esta subdivisión depende del problema a resolver, es decir, que la segmentación deberá detenerse cuando los objetos de interés hayan sido correctamente aislados. Inicialmente se realizó un preprocesado de la imagen mediante binarización y escalamiento con el fin facilitar la demarcación de la zona de interés de la imagen. A través de métodos alternos de pulimento o regularización de los bordes que circundan cada región de interés, se separaron tres zonas: la base de la vainilla, el fulminante y el cráter de percusión, Fig. 4.

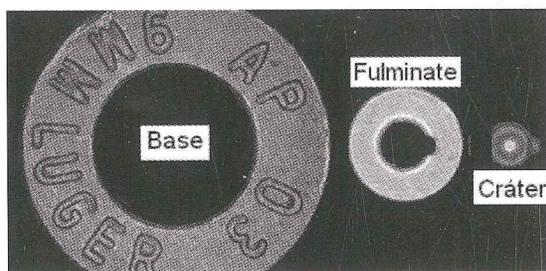


Fig. 4 Segmentación de las tres zonas de interés de una vainilla 9mm percutida por una pistola.

Para la segmentación de cada área de interés se utilizaron operaciones morfológicas de detección de discontinuidad, dilatación y erosión sobre la imagen binaria.

D. Extracción de características

Se realizó un procesamiento digital de las imágenes extrayendo características como área, perímetro, área

convexa, diámetro, orientación, longitud del menor eje, longitud del mayor eje, solidez, compacidad, excentricidad entre otros. Sin embargo la comparación de estas características entre imágenes diferentes no proporciona una selección univoca de la imagen cotejada entre una base de datos existentes. Por otra parte, se encontró que con la ayuda de la función de distribución de la distancia del centro de masa a cada punto del perímetro del cráter de percusión, se proporciona una característica perfectamente diferenciable para cada uno de los tipos de percusión producidos por diferentes armas Fig.5. Esta función ha sido implementada en Matlab® como “*firma digital - signature*”.

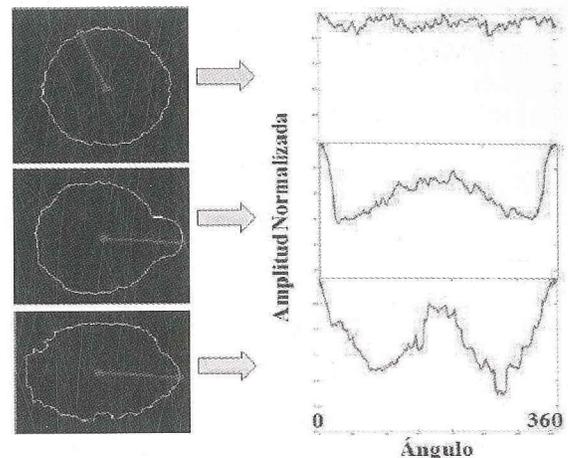


Fig. 5 Firma digital de tres diferentes formas de percusión.

La base de datos conformada contiene como primera opción de selección la característica de huella digital, pero también contiene las otras características presentadas arriba y que permiten una discriminación fina entre posibles coincidencias al momento de realizar los cotejos balísticos forenses. Por otra parte, es evidente que el resultado de la firma digital para una misma imagen dependerá del proceso mismo de segmentación y por tal razón no puede entenderse como la característica que define un patrón de percusión. La ventaja de esta herramienta se encuentra en la rapidez con la cual el algoritmo de correlación puede analizar una gran base de datos y obtener un pequeño grupo de registros que presentan un grado de coincidencia superior al 70%. El siguiente proceso de comparación se debe realizar a través del análisis de la estadística y otras métricas de la firma digital. Estas tres características permiten reducir las coincidencias a menos del 10% de la base de datos.

Aunque en muchos casos el 10% de la base de datos es muy alta para permitir un análisis rápido y eficiente de coincidencias, es necesario resaltar que aún deben ser agregadas las características digitales de las otras dos zonas segmentadas y, según lo demuestra la experiencia del trabajo forense, el análisis de las huellas de micro rayado de la contra recámara y la huella dejada por el eyector.

Conclusiones

Dentro del desarrollo del proyecto de identificación balística desarrollado por el CTI, se estudió e implementó una metodología de adquisición de imágenes automatizada que permite la estandarización de los procesos en los diferentes laboratorios a su cargo, en cuanto a posición e iluminación. A través del procesamiento digital de imágenes con herramientas de Matlab®, se realizó la segmentación de las diferentes zonas de interés y se pudo extraer las diferentes características que definen la morfología del cráter de percusión. Estas investigaciones demostraron que las principales características que deben ser tenidas en cuenta al momento de realizar una comparación balística por cotejo del cráter de percusión con bases de datos, son en su orden: la firma digital del cráter, su estadística, el sesgo con respecto al centro del fulminante y los descriptores de forma, con lo cual es posible tener coincidencias de menos del 10% entre una vainilla en estudio y una base de datos existente en los laboratorios con un tiempo de procesamiento muy bajo en comparación con los procedimientos de cotejo manual usados hasta el momento.

Agradecimientos

Los autores presentan especial agradecimiento al laboratorio del Sistema de Comparación Balística del CTI Seccional Pereira por permitir adelantar los diferentes estudios llevados a cabo y presentados en este trabajo.

Bibliografía

PUN, Ka-Man (1) ; GALLUSSER Alain. (2008). Macroscopic observation of the morphological characteristics of the ammunition gunpowder, *Forensic science international*. vol. 175, no2-3, pp. 179-185.

GARAMENDI, P.M. (2004). Lesión por disparo con rebote atípico de proyectil 9 mm Luger KPO. *Cuadernos de medicina forense*. No. 37.

R. GONZALEZ, C y WOODS, R. E. (2002). *Digital Image Processing*, 2nd edition. Tom Robbins. cap. 11, pp. 665-671.

SPRINGER, E. (1995). Toolmark examinations are view of its development in the literature, *Journal of Forensic Sciences*, vol. 40, no.6, pags. 964, 968.

SMITHY, C.L y CROSS, J.M. (1995) Optical imaging techniques for ballistics specimens to identify fire arms, in *Proceedings Institute of Electrical and Electronics Engineers 29th Annual 1995 International Carnahan Conference on Security Technology*. pp. 275, 289.

SMITH, C. (1997). Fireball: a forensic ballistics imaging system, *Security Technology. Proceedings The Institute of Electrical and Electronics Engineers 31st Annual International Carnahan Conference on*. pp. 64, 70.

ZHOU, J. XIN, L.P, RONG, G. y ZHANG, D. (2000). Decision fusion based cartridge identification using support vector machine, en *Systems, Man, and Cybernetics, IEEE International Conference on*, vol. 4. *Systems, Man, and Cybernetics*. pp. 2873, 2877.

LI, D. (2003). Image processing for the positive identification of forensic ballistics specimens, en *Information Fusion. Proceedings of the Sixth International Conference of*. pp.1494, 1498.

D. Li, Ballistics projectile image analysis for firearm identification, *Image Processing, IEEE. Transactions on*, vol. 15, pags. 285, 286, 2006.

GERADTS, Z. J., BIJHOLD, J., HERMSEN, R., y MURTAGH, F. (2001). Image matching algorithms for breech face marks and ring pins in a data base of spent cartridge cases of firearms, *Forensic Science International*. vol. 119, no.1, pp. 97, 106.

FISCALÍA GENERAL DE LA NACIÓN. (2006). *Protocolo FGN-42200-BA-PR-06 Estudios comparativos de Proyectiles y vainillas, versión 2*.

BIASOTTI A. y MURDOCK. (1997). Fire arms and tool mark identification, *Moderns scientific evidence and: the law and science of experts testimony*, vol. 2, pp. 124, 151.

GERADTS, Z., KEIJZER, J., y KEEREWEER, I. (1994). A new approach to automatic comparison of striation marks, *Journal of Forensic Sciences*. vol. 39, no. 4, pp. 974, 980.

LEON, F. P. (1997). Image processing methods for the macroscopic acquisition of high-quality images Of surfaces and tools, en *Proceedings of the 7th International Conference on Metrology and Propeties of Engineering Surfaces*, B.-G. Roseny R. Crafoord, Eds, pp. 452-459.

G. ZENO, G., Jurrien, J.B., y ROB, H. (1999). Pattern recognition in a database of cartridge cases, en *Proceedings of the SPIE, Investigation and Forensic Science Technologies*. vol. 3576, pp.104-115.