

# Examen químico-metalográfico con ácido nítrico en carrocerías y chasis en acero de vehículos

*Chemical-metallographic test with nitric acid on the vehicle body and chassis of steel*

*Exame químico e metalográfico com ácido nítrico nas carrocerias e no chassi em aço dos veículos*

FECHA DE RECEPCIÓN: 2014/02/06 FECHA CONCEPTO EVALUACIÓN: 2014/03/19 FECHA DE APROBACIÓN: 2014/07/27

## Laura Emilia Cerón-Rincón

PhD (c) en Química.  
Docente, Escuela de Investigación Criminal,  
Dirección Nacional de Escuelas, Bogotá, D. C., Colombia.  
leceronr@unal.edu.co

## Henry Osbaldo Vélez-Ossa

Técnico en Identificación de Automotores.  
Subintendente de la Policía Nacional de Colombia,  
Escuela de Investigación Criminal,  
Dirección Nacional de Escuelas, Bogotá, D. C., Colombia.  
osbald.velez@correo.policia.gov.co

## Óscar Lasso-Cardona

Técnico en Identificación de Automotores.  
Subintendente de la Policía Nacional de Colombia,  
Escuela de Investigación Criminal,  
Dirección Nacional de Escuelas, Bogotá, D. C., Colombia.  
oscar.lasso3561@correo.policia.gov.co

## Víctor Hugo Ríos-Rodríguez

Técnico en Identificación de Automotores.  
Patrullero de la Policía Nacional de Colombia,  
Escuela de Investigación Criminal,  
Dirección Nacional de Escuelas, Bogotá, D. C., Colombia.  
victor.rios@correo.policia.gov.co

## Rodrigo Hernando Álvarez-Camargo

Técnico en Identificación de Automotores.  
Patrullero de la Policía Nacional de Colombia,  
Escuela de Investigación Criminal,  
Dirección Nacional de Escuelas, Bogotá, D. C., Colombia.  
rodrigo.alvarez7508@correo.policia.gov.co

## Jhon Fredy Zapata-Pareja

Técnico en Identificación de Automotores.  
Patrullero de la Policía Nacional de Colombia,  
Escuela de Investigación Criminal,  
Dirección Nacional de Escuelas, Bogotá, D. C., Colombia.  
jhon.zapata3030@correo.policia.gov.co

**Para citar este artículo / To reference this article / Para citar este artigo:** Cerón R., L. E., Vélez O., H. O., Lasso C., Ó., Ríos R., V. H., Álvarez C., R. H. & Zapata P., J. F. (2014). Examen químico-metalográfico con ácido nítrico en carrocerías y chasis en acero de vehículos. *Revista Criminalidad*, 56 (2): 309-317.

## RESUMEN

La alteración de sistemas de identificación de vehículos se realiza utilizando lijas o esmeril, y posteriormente se sobrepone una identificación alfanumérica distinta, con el objetivo de que no se pueda verificar su origen o propiedad, y se dificulte su rastreo. El ataque químico se reconoce como la técnica más sensible para recuperar números seriales que han sido alterados; en este trabajo se propuso evaluar la efectividad del ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) 3,15 M para el revelado de números seriales alterados en superficies de carrocerías y chasis con aleaciones en acero y carbono

bajo y medio, respectivamente. Se realizaron cuatro pruebas: (i) carrocería, marcación en taco y borrado con pulidora; (ii) carrocería, marcación en lápiz eléctrico y borrado manual; (iii) chasis, marcación en taco y borrado manual, y (iv) chasis, marcación manual en taco y borrado con pulidora. En todas las pruebas realizadas, las marcas borradas se recuperaron en pocos segundos, con definición y contraste. Lo anterior coloca el uso de este reactivo como una técnica rápida y confiable para el estudio químico-metalográfico tendiente a la recuperación de marcas adulteradas en aleaciones de acero.

## PALABRAS CLAVE

Alteración, traumatismo químico, métodos de identificación legal, vehículos, medios de prueba científicos (fuente: Tesouro de política criminal latinoamericana - ILANUD)..

## ABSTRACT

The alteration of a vehicle identification characteristics is carried out with the use of emery and sandpaper to erase the information in order to subsequently superimpose different numeric or alphanumeric codes, thus preventing the verification of its former origin or ownership and hindering its tracking. Chemical attack has been recognized as the most sensitive technique to retrieve altered serial numbers, and this article was aimed at assessing the effectiveness of nitric acid (HNO<sub>3</sub>) 3.15 M in revealing them on body and chassis surfaces with steel, low-carbon and medium carbon

steel alloys respectively. Four tests were performed: (i) Bodywork: marking, and erasing with grinding machine, (ii) bodywork: marking with electric pen, and manual deletion; (iii) chassis: marking, and manual deletion, and (iv) manual marking, and erasing with grinding machine. In all tests carried out, erased markings were retrieved in a few seconds, with definition and contrast. According to the above, the use of this reactive is acknowledged as a fast and reliable technique for chemical-metallographic tests leading to the retrieval of tempered marks on steel alloys.

## KEY WORDS

Alteration, chemical trauma, legal identification methods, vehicles, scientific proof means, scientific testing means (Source: Tesouro de política criminal latinoamericana - ILANUD).

## RESUMO

A alteração dos sistemas da identificação dos veículos é feito usando lixas ou esmeril, e depois se sobrepõe uma identificação alfanumérica diferente, com o objetivo de que sua origem ou propriedade não podem ser verificadas, e torna-se difícil seu rastreamento. O ataque químico é reconhecido como a técnica mais sensível para recuperar os números seriais que foram alterados; neste trabalho a proposta era avaliar a eficácia do ácido nítrico (3 HNO<sub>3</sub>) 3.15 ms para o revelado dos números dos seriais alterados nas superfícies das carrocerias e dos chassis com as ligas no aço e no carbono

baixo e médio, respectivamente. Quatro testes foram feitos: (i) carroceria, marcação em taco e apagado com polidor; (ii) carroceria, marcação em lápis elétrico e apagado manual; (iii) chassi, marcação em taco e apagado manual, e (iv) chassi, marcação manual em taco e apagado com polidor. Em todos os testes feitos, as marcas apagadas foram recuperadas em poucos segundos, com a definição e os contrastes. O precedente coloca o uso deste reativo como uma técnica rápida e confiável para o estudo químico e metalográfico que visa à recuperação das marcas adulteradas nas ligas de aço.

## PALAVRAS - CHAVE

Alteração, traumatismo químico, métodos da identificação legal, veículos, meios científicos do teste (fonte: Tesouro de política criminal latinoamericana - ILANUD).

## Introducción

El hurto de vehículos en Colombia y en otros países de Latinoamérica se puede considerar como uno de los principales delitos de alto impacto (Carrión & Tocornal, 2009; Velásquez, 2011; Norza, Duarte, Castillo & Torres, 2013), fenómeno que no solo vulnera la seguridad de las personas, sino que trae graves repercusiones económicas, jurídicas y sociales en la región (Libreros, 2013). “El jugoso mercado de lo ilegal es, sin duda, el factor estimulante en la conformación de bandas organizadas dedicadas al hurto de automotores en el mundo entero; sus ganancias anuales son multimillonarias” (Soto, 2005, p. 361). En este grupo tiene participación central la delincuencia organizada en redes, a fin de hurtar, transportar y modificar los vehículos, para desgazarlos y venderlos por partes y/o enteros (Libreros, 2013).

Los vehículos se marcan con una numeración de serie como identificación, para diferenciarlos e individualizarlos; por lo general se realiza por estampado, también denominado trabajo en frío, que consiste en grabar los caracteres alfanuméricos y signos distintivos de la casa matriz manualmente o usando una máquina de presión (Kuppuswamy, 2011). La profundidad del carácter dependerá de la dureza de la superficie del metal y de la presión aplicada, donde se origina la zona de deformación plástica, que es más profunda que la de la marca (Kuppuswamy, 2011); luego del proceso de marcación del metal las capas inferiores del mismo quedan comprimidas; se considera que dicha zona es fundamental para la restauración de la numeración original en investigaciones forenses (Kuppuswamy, 2011; Puentes, Kremer, Torres & Kremer, 2012).

La alteración de estos sistemas de identificación se realiza utilizando lijas o esmeril; posteriormente se sobrepone o se marca una identificación alfanumérica distinta, para que no se pueda verificar en el vehículo su origen y propiedad, y se dificulte su rastreo (Hernández, Gómez & Oidor, 1997; Zaili, Kuppuswamy & Harun, 2007; Kesharwani, Gupta & Mishra, 2013); esta modalidad es la más frecuente en Colombia (Patrullero Rodolfo Andrés Rojas Díaz, técnico en Identificación de Automotores, 2013).

El examen químico-metalográfico, también llamado “revenido químico”, tiene como finalidad revelar la identificación alfanumérica original (la grabada por la casa matriz) de los vehículos automotores; el objetivo es identificar si presenta alteraciones (Castro, 2008). La restauración de los números originales

es de gran importancia, dado que proporciona evidencia útil para el rastreo de los vehículos y llevar el seguimiento del proceso penal (Nickolls, 1956).

El ataque químico se reconoce como la técnica más sensible para la detección de números seriales que han sido alterados (Baharum, Kuppuswamy & Rahman, 2008; Yin & Kuppuswamy, 2009; Bong & Kuppuswamy, 2010; Kuppuswamy, 2011; Jin, 2012; Wahab, Ghani & Kuppuswamy, 2012; Kesharwani, Gupta & Mishra, 2013).

El estudio químico-metalográfico se ha desarrollado a través de muchos años de pruebas empíricas, que han dado lugar al uso de diferentes reactivos (Katterwe, 2006; Yin & Kuppuswamy, 2009), donde hay que tener en cuenta variables como: material que se va a tratar (Baharum, Kuppuswamy & Rahman, 2008; Wahab, Ghani & Kuppuswamy, 2012), tipo de aleación (Yin & Kuppuswamy, 2009; Bong & Kuppuswamy, 2010; Wahab, Ghani & Kuppuswamy, 2012;), profundidad de impresión del estampado y profundidad del borrado (Zaili, Kuppuswamy & Harun, 2007; Yin & Kuppuswamy, 2009; Wahab, Ghani & Kuppuswamy, 2012). Uno de los primeros métodos empleados fue el reactivo de Fry, en 1921, y aún hoy en día es uno de los más populares (Kuppuswamy, 2011); se ha demostrado su efectividad en superficies de acero de medio carbono (Yin & Kuppuswamy, 2009), así como en las de aceros de bajo carbono (Yin & Kuppuswamy, 2009; Wahab, Ghani & Kuppuswamy, 2012), utilizando variaciones del mismo reactivo para bloques de motor.

En marcos de motocicletas y motores con aleación en aluminio, con el tratamiento alternado con ácido fosfórico e hidróxido de sodio, se restauraron las marcas con buen contraste; lo anterior se le atribuye al uso del ácido, aunque los tiempos de revelado fueron de varias horas (Bong & Kuppuswamy, 2010); se ha reportado revelado en carcasas de motores de motocicletas con aleación en aluminio utilizando hipoclorito de sodio (Ospina, Vargas, Oliveros, Motta, Sabogal, Rodríguez et ál., 2012), y en placas de hierro se recuperaron marcas borradas por lijado, mediante ataque con cloruro férrico, ácido clorhídrico, utilizando ácido nítrico para mejorar el contraste (Kesharwani, Gupta & Mishra, 2013).

Dado lo anterior, en este trabajo se propuso evaluar la efectividad del ácido nítrico para el revelado de números seriales alterados en superficies de carrocerías y chasis con aleaciones en acero y carbono bajo y medio, respectivamente.

## Método

### Tipo de investigación: experimental

#### Materiales:

Se utilizó una pieza de carrocería (SPCM5-F-55/55) en aleación de acero de bajo carbono galvanizado y reconocido (MES MM108); en forma plana y laminado en frío; espesor 0,5-1,0 mm; esfuerzo máximo de tensión  $\geq 275$  MPa; la lámina venía cortada en partes. Chasis de espesor 2,9 mm, en aleación de acero de medio carbono, laminado en caliente por tratamiento térmico BH (Bake Hardening) (SAPH400-DS), con óxidos de hierro removidos; esfuerzo máximo de tensión  $\geq 400$  MPa. Los materiales anteriores fueron donados por la empresa Sidenal (Siderúrgica Nacional).

#### Procedimientos de borrado y revelado de marcas:

Se realizaron cuatro pruebas en la ciudad de Bogotá: (i) carrocería, marcación en taco y borrado con pulidora; (ii) carrocería, marcación en lápiz eléctrico y borrado manual; (iii) chasis, marcación en taco y borrado manual, y (iv) chasis, marcación manual en taco de 5 mm x 3  $\frac{1}{6}$  y borrado con pulidora. Para cada prueba se realizaron cinco repeticiones del proceso de recuperación y revelado, hasta que este último perdió contraste pero se mantuvo la definición.

Prueba (i): en una pieza de carrocería (29 x 13 cm) de un vehículo tipo automóvil, en la que se encontraba grabado el número serial original KL1MJ61025C062044 (figura 1a), con una marcación en taco. La marcación se borró de forma mecánica hasta que no fue visible, utilizando una pulidora con disco abrasivo tipo 27, diámetro 4  $\frac{1}{2}$ ", grosor  $\frac{1}{4}$ ", tamaño de eje  $\frac{7}{8}$ " para metal, a base de óxido de aluminio, el cual se utiliza para acero, hierro y soldaduras; posteriormente se usó lija fina (grano 180), para brillar la superficie. En seguida se procedió a realizar el ataque químico para recuperar el número serial borrado.

Prueba (ii): en una pieza de carrocería (16 x 6 cm) de un vehículo tipo automóvil, en la que se encontraba grabado el número serial original KMHCG-51GP2U121371 (figura 2a), con una marcación en lápiz eléctrico. La marcación se borró de forma manual en un mismo sentido, inicialmente con lija gruesa (grano 80), hasta que no fue visible, y luego se utilizó la lija fina (grano 180), para brillar la superficie. Se

procedió a realizar el ataque químico para recuperar el número serial borrado.

Prueba (iii): en una pieza de chasis (19 x 31 cm) de un vehículo tractocamión marca Mack, en la que se encontraba grabado el número serial original 1M2B209C-1NM010189, acompañado de dos signos en los extremos (figura 3a), con una marcación en taco. La marcación se borró de forma manual en un mismo sentido, inicialmente con lija gruesa (grano 80), hasta que no fue visible, y después se utilizó la lija fina (grano 180), para brillar la superficie. Se procedió a realizar el ataque químico para recuperar el número serial borrado.

Prueba (iv): en una pieza de chasis (15 x 120 cm) de un vehículo camioneta marca Mazda, en la que se grabaron los caracteres "7°A" (figura 4a); para la marcación se utilizó el método de estampado en taco, mediante cuños metálicos aplicados por percusión o grabado en frío (Treptow, 1978; Granja & Macchi, 1987); la marcación se borró de forma mecánica, utilizando la pulidora empleada en la prueba (i), hasta que no fue visible; posteriormente se usó la lija fina (grano 180), para brillar la superficie. Se procedió a realizar el ataque químico para recuperar la identificación serial borrada.

#### Ataque químico (revenido químico):

La restauración de las marcas originales se desarrolló mediante la técnica de hisopado, que se ha descrito ampliamente (Hernández, Gómez & Oidor, 1997; Zaili, Kuppuswamy & Harun, 2007; Baharum, Kuppuswamy & Rahman, 2008; Yin & Kuppuswamy, 2009; Bong & Kuppuswamy, 2010; Kuppuswamy, 2011; Wahab, Ghani & Kuppuswamy, 2012; Kesharwani, Gupta & Mishra, 2013), la cual consiste en:

Preparación de la superficie: se limpió con hisopo de algodón impregnado en acetona para eliminar residuos de grasa y pintura.

Ataque químico: las pruebas se desarrollaron utilizando ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) 3,15 M (apéndice 1); se impregnó un hisopo de algodón con el reactivo químico, a temperatura ambiente, y se aplicó sobre la superficie que se iba a revelar hasta obtener el número serial definido.

Registro fotográfico: se tomó una fotografía, dado que es el mejor método para el registro permanente de las marcas restauradas (Katterwe, 2006).

Bloqueo de la reacción: después de terminado el ataque químico y el registro fotográfico, se procedió a lavar la superficie tratada con agua destilada. Posteriormente se secó con algodón y se cubrió con grasa; lo anterior para evitar la oxidación, si el vehículo se va a almacenar por largos períodos (Nickolls, 1956; Massiah, 1976).

Medidas de seguridad: para los procedimientos de ataque químico con ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) en la restauración de marcas borradas, se recomienda adoptar las medidas de seguridad. Protección respiratoria y ocular: máscara cara completa, con filtro para vapores ácidos (cartuchos 3M 6003), a fin de evitar contacto de salpicaduras e inhalar vapores; protección cutánea para impedir el contacto directo de la piel con el ácido: overol antifluidos, guantes de neopreno o PVC y botas; evitar el uso de guantes de nitrilo y látex.

En el apéndice se describen los riesgos para la salud con este reactivo.

## Resultados

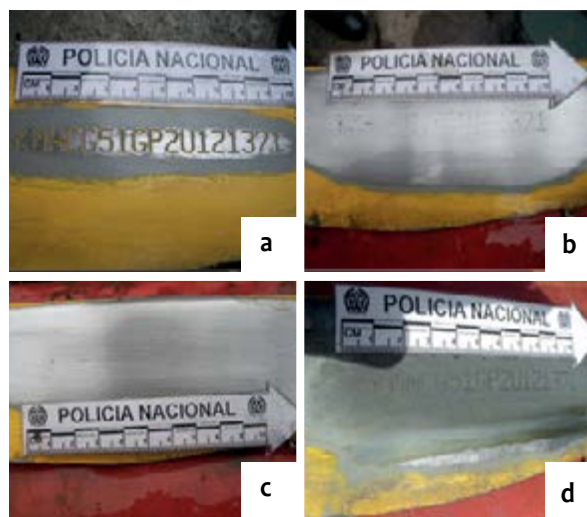
El estudio químico-metalográfico desarrollado en carrocerías y chasis en aleación de bajo y medio carbono, respectivamente, utilizando ácido nítrico 3,15 M, arrojó los siguientes resultados:

Prueba (i) carrocería, marcación en taco y borrado con pulidora: el tratamiento de borrado tuvo una duración de 40 minutos; el resultado de dicho procedimiento y del ataque químico se presenta en la figura 1.



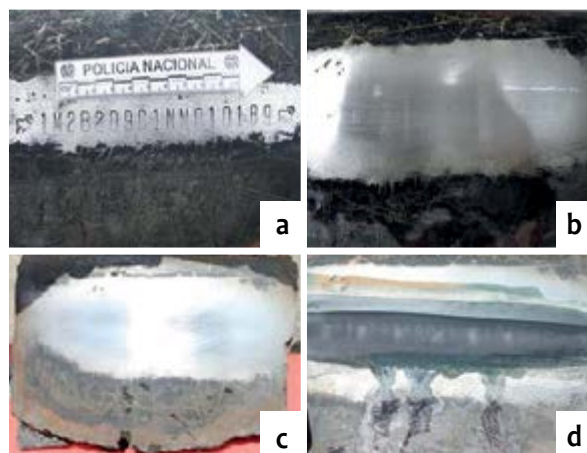
**Figura 1.** Ataque químico para la restauración de las marcas borradas, prueba (i) carrocería, marcación en taco, borrado con pulidora. a) Marca original KL1MJ61025C062044, b) resultado del tratamiento de borrado, c) revelado de la marca original.

Prueba (ii) carrocería, marcación en lápiz eléctrico y borrado manual; el tratamiento de borrado tuvo una duración de 2 horas y 20 minutos; el resultado se presenta en la figura 2.



**Figura 2.** Ataque químico para la restauración de las marcas borradas, prueba (ii) carrocería, marcación en lápiz eléctrico y borrado manual. a) Marca original KMHCG51GP2U121371, b) procedimiento de borrado con lija grano 80, c) resultado del tratamiento de borrado con lija grano 180 tipo fina, (d) revelado de la marca original.

Prueba (iii) chasis, marcación en taco y borrado manual; el tratamiento de borrado tardó 4 horas y 40 minutos, debido a la profundidad de la marcación; posteriormente se realizó el ataque químico, que se presenta en la figura 3.



**Figura 3.** Ataque químico para la restauración de las marcas borradas, prueba (iii) chasis, marcación en taco, borrado manual. a) Marca original 1M2B209C1NM010189, b) procedimiento de borrado con lija grano 80, c) resultado del tratamiento de borrado con lija grano 180 tipo fina, d) revelado de la marca original.

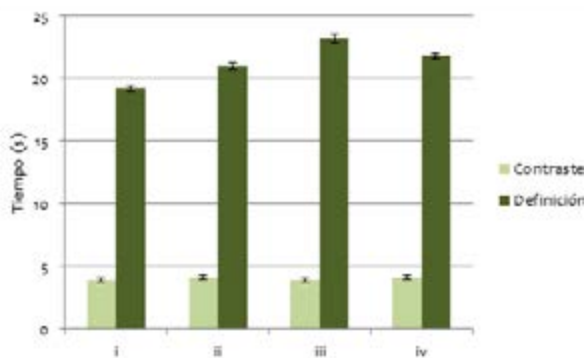
Prueba (iv) chasis, marcación manual en taco de 5 mm x 3 1/6 y borrado con pulidora; el tratamiento de borrado tuvo una duración de 1 hora y 35 minutos; el resultado de este y el ataque químico se presentan en la figura 4.



**Figura 4.** Ataque químico para la restauración de las marcas borradas; prueba (iv) chasis, marcación manual, borrado con pulidora. a) Marca manual con la inscripción 70A, b) procedimiento de borrado con pulidora, c) revelado de la marca original.

En las cuatro pruebas realizadas, una vez que se inició el ataque químico mediante hisopado con ácido nítrico 3,15 M, se observó contraste entre el fondo y las marcas de todos los caracteres entre los 3,9 y 4,2 segundos en promedio; de acuerdo con el análisis de varianza, no se presentaron diferencias significativas entre las pruebas ( $F = 0,14$ ,  $p = 0,93$ ,  $gl = 3-16$ ) (gráfica 1).

En cuanto a los tiempos de definición total de dichas marcas, sí se observaron diferencias; las pruebas con menor tiempo fueron i y ii, con valores promedio de 19,2 y 21, respectivamente, seguidas de iv, con 20,8, y la de mayor tiempo fue la prueba iii, con 23,2 segundos ( $F = 13,6$ ,  $p < 0,001$ ,  $gl = 3-16$ ) (gráfica 1).



**Gráfica 1.** Tiempos promedio para la observación del contraste y definición de los caracteres borrados (las barras corresponden al error estándar).

Las marcas reveladas tras el ataque químico permanecieron, dado que para realizar una nueva prueba fue necesario el proceso de borrado de las mismas y preparación de la superficie con lija fina, hasta obtener la superficie brillante, sin distinción si la pieza era de carro-

cería o chasis; a diferencia de los resultados reportados con el reactivo de Fry en bloque de motor en acero, el revelado de las marcas debe ser registrado en fotografías de manera rápida, ya que ellas aparecieron débilmente, pues solo pueden ser visibles desde ciertos ángulos, y si se prolonga el ataque se pierde la marca (Wahab, Ghani & Kuppuswamy, 2012). Asimismo, en aluminio: utilizando hipoclorito de sodio se encontró que los tiempos iniciales y finales variaron (Ospina et ál., 2012), y con el ataque alternado de hidróxido de sodio y ácido nítrico las marcas permanecieron, mientras el reactivo se mantuvo sobre la superficie; una vez que se secó y limpió, las marcas desaparecieron (Uli, Kuppuswamy & Amran, 2011); en el presente trabajo el proceso de recuperación y revelado se realizó cinco veces en cada una de las pruebas, hasta que el revelado perdió contraste, pero se mantuvo la definición.

## Discusión

El estampado con máquina gravograph es la referencia mundial más utilizada en la industria automotriz para el estampado de marcas (Bong & Kuppuswamy, 2010; Wahab, Ghani & Kuppuswamy, 2012), las cuales se presentan en forma homogénea: mientras que el estampado con taco o cuño manual puede tener variabilidad en la profundidad, sin embargo, al borrar y recuperar los dos tipos de marcas, ambas presentaron la misma definición y contraste, como se puede observar en la figura 3d, chasis con marcación en taco original, y en la figura 4c, chasis con estampado manual.

Las marcaciones originales se encuentran entre un rango de profundidad de 0,2 a 0,4 mm, lo que depende de variables como: empresa fabricante o ensambladora, tipo de material, desgaste de la punta de la máquina de grabado y programación de presión de la misma. La principal limitación de la técnica de revelado con ataque químico depende del desgaste total de la zona de deformación plástica donde se encuentra la marca; se ha reportado como límite de desgaste 0,04 mm por debajo de la marca en placas de aleaciones en acero y aluminio (Zaili, Kuppuswamy & Harun, 2007; Baharum, Kuppuswamy & Rahman, 2008; Uli, Kuppuswamy & Amran, 2011).

Para mejorar la sensibilidad en la recuperación de las marcas alteradas, se han publicado diferentes variaciones en la composición original del reactivo de Fry, así como adición de otros compuestos (Zaili, Kuppuswamy & Harun, 2007; Yin & Kuppuswamy, 2009; Jin, 2012;

Puentes, Kremer, Torres & Kremer, 2012); en el mismo sentido se ha propuesto revelado alternado con varios agentes corrosivos, en ataque químico, realizados en aleaciones de aluminio (Uli, Kuppuswamy & Amran, 2011). En este trabajo se consiguió revelado de marcas borradas en carrocerías y chasis con aleaciones de bajo y medio carbono, que presentaron definición y contraste suficiente para el registro fotográfico de la evidencia, utilizando un solo reactivo: ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) 3,15 M.

Se desarrolló el borrado de las marcas con pulidora, ya que es un procedimiento más rápido, en comparación con el borrado manual, pero se corre el riesgo de afectar la deformación plástica, y con ello llegar al límite de la sensibilidad del reactivo; sin embargo, en las pruebas i y iv, hechas con pulidora, y las pruebas ii y iii, de forma manual, la recuperación de las marcas presentó los mismos tiempos de revelado, definición y contraste; en los resultados obtenidos con el procedimiento de ataque químico no fueron factores determinantes: tipo de pieza, tipo de aleación y procedimiento de borrado.

El uso del ácido nítrico se ha reportado posterior al ataque químico con el reactivo de Fry, como un medio para eliminar los residuos de cobre y mejorar el contraste entre el fondo y las marcas restauradas (Yin & Kuppuswamy, 2009; Puentes, Kremer, Torres & Kremer, 2012; Wahab, Ghani & Kuppuswamy, 2012); también se recomienda el uso de ácidos (nítrico, clorhídrico y fosfórico) para mejorar el contraste de revelado de números seriales en piezas de aluminio (Baharum, Kuppuswamy & Rahman, 2008), y aunque el reactivo de Fry es el más aplicado para el ataque químico en acero, el ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) presenta un comportamiento de mayor corrosión en aceros de alto y bajo carbono, frente a otros, como los ácidos clorhídrico y perclórico; la tasa de corrosión se atribuye a la presencia de agua y aire, lo que acelera el proceso; el contenido de carbono no tiene efecto sobre la resistencia de la corrosión en aceros (Osarolube, Owate & Oforka, 2008).

Para los técnicos en identificación de automotores, el uso y preparación del reactivo de Fry presenta varios inconvenientes; dentro de sus componentes, el ácido clorhídrico (HCl) es una sustancia controlada en Colombia, por la Dirección Nacional de Estupefacientes, bajo Resolución 0009 del 24 de junio del 2009, y a nivel mundial por la Convención de Viena de 1988. El anterior, así como el cloruro cúprico ( $\text{CuCl}_2$ ), son reactivos de alto costo y de difícil adquisición, y además de esto, su uso implica mayor riesgo por exposición a agentes químicos, a diferencia del utilizado en el procedimiento de

ataque en este trabajo, que presenta un bajo costo y su adquisición no es controlada en el mercado.

El uso del reactivo resulta una técnica rápida en el procedimiento, ya que en el utilizado en la actualidad (reactivo de Fry), la duración para obtener resultados es de 40 minutos aproximadamente; en la presente investigación, utilizando ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) 3,15 M, se recuperaron las marcas borradas en pocos segundos, con contraste y definición, dado que esto es indispensable para la presentación de la evidencia. Lo anterior coloca el uso de este reactivo como una técnica rápida y confiable para el estudio químico-metalográfico, tendiente a la recuperación de marcas adulteradas en aleaciones de acero de bajo y medio carbono.

## Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a: Sidenal (Siderúrgica Nacional), por la donación de las partes de carrocería y chasis; patrullero Rodolfo Andrés Rojas Díaz (técnico en Identificación de Automotores) y Adán Pérez, suboficial de la Policía Federal Argentina de la Provincia de Santa Fe, que con su conocimiento y abnegada colaboración aportaron al desarrollo de este documento.

## Referencias

- Aversa, S., Cerolini, R., Doro, G. & Caro, P. M. (2004). *Manual de química forense*. Buenos Aires: Ediciones la Rocca.
- Baharum, M., Kuppuswamy, R. & Rahman, A. (2008). Recovering obliterated engraved marks on aluminium surfaces by etching technique. *Forensic Science International*, 177 (2): 221-227.
- Bong, Y. & Kuppuswamy, R. (2010). Revealing obliterated engraved marks on high strength aluminium alloy (AA7010) surfaces by etching technique. *Forensic Science International*, 195 (1): 86-92.
- Carrión, F. & Tocornal, X. (2009). El robo de vehículos, un negocio que prende motor. *Boletín Ciudad Segura*, No. 32. Quito, Ecuador.
- Castro M., A. L. (2008). *La criminalística en la identificación de vehículos automotores*. México: Porrúa.
- Consejo Nacional de Estupefacientes (2009). Resolución 0009 de 24 de Junio de 2009. Consultado

- en: <http://es.scribd.com/doc/55902833/RESOLUCION-CNE-0009-DE-2009-1>
- Granja, J. & Macchi, J. (1987). Capítulo I: Revenidos. En F. Cardini, A. H. Carrara, D. Centron, E. Fernández, E. Gobbi & R. d. Graells (Eds.). *Tratado de criminalística*. Tomo II. La química analítica en la investigación del delito (pp. 13-53). Buenos Aires: Policial.
- Hernández, W., Gómez, U. & Oidor, J. (1997). *Identificación de vehículos regrabados por medio del proceso de reactivación*. Bogotá, Colombia.
- Jin, Y. (2012). Recovering obliterated engraved vehicle identification number on vehicle frame surfaces by etching technique. *Advanced Materials Research*, 503: 56-60.
- Katterwe, H. (2006). Restoration of serial numbers. En E. Stauffer & M. Bonfanti. *Forensic investigation of stolen-recovered and other crime-related vehicles* (pp. 177-205). Amsterdam: Academic Press.
- Kesharwani, L., Gupta, A. & Mishra, M. (2013). Development of new reagent for restoration of erased serial number on metal plates. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 3: 26-34.
- Kuppuswamy, R. (2011). Metallographic Etching of Aluminium and its Alloys for Restoration of Obliterated Marks in Forensic Science Practice and Investigations. En T. Kvackaj. *Aluminium alloys, theory and applications* (pp. 331-352). In Tech, Chapters.
- Libreros, J. (2013). Análisis del hurto de vehículos y la respuesta de política pública: presentación e índice. *Atmósfera Política*, 1. Recuperado de: <http://www.atmosferapolitica.com/2013/03/26/analisis-del-hurto-de-vehiculos-y-la-respuesta-de-politica-publica-presentacion/>.
- Massiah, E. (1976). A compilation of techniques and chemical formulae used in the restoration of obliterated markings. *AFTE Journal*, 26-62.
- Naciones Unidas (1988). Convención de las Naciones Unidas contra el tráfico ilícito de estupefacientes y sustancias psicotrópicas. Consultado en: [http://www.unodc.org/pdf/convention\\_1988\\_es.pdf](http://www.unodc.org/pdf/convention_1988_es.pdf)
- Nickolls, L. (1956). *The Scientific Investigation of Crime*. London: Butterworth & Co.
- Norza C., E., Duarte V., Y., Castillo R., L. & Torres G., G. (2013). Hurto de automotores y estrategias contra el delito: una mirada desde la academia, el victimario y la Policía. *Revista Criminalidad*, 55 (2): 49-78.
- Osarolube, E., Owate, I. & Oforka, N. C. (2008). Corrosion behaviour of mild and high carbon steels in various acidic media. *Scientific Research and Essay*, 3 (6): 224-228.
- Ospina T., W., Vargas P., W., Oliveros M., W., Motta G., A., Sabogal G., A., Rodríguez S., E. et ál. (2012). Revenido químico de marcas seriales en motores de aluminio con hipoclorito de sodio. En *Identificación de Automotores*. Policía Nacional de Colombia, Dirección Nacional de Escuelas, Escuela de Investigación Criminal, 28-36.
- Puentes, R., Kremer, E., Torres, J. & Kremer, C. (2012). Desarrollo de una pasta de revelado basada en el reactivo de Fry. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 3 (2): 115-120.
- Soto, S. M. (2005). Una aproximación a los factores determinantes del hurto de automotores en Bogotá. *Revista Criminalidad*, 48: 361-366.
- Treptow, R. S. (1978). *Handbook of Methods for the Restoration of Obliterated Serial Numbers*. Cleveland: NASA Contractor Report CR-135322.
- Uli, N., Kuppuswamy, R. & Amran, M. F. (2011). A survey of some metallographic etching reagents for restoration of obliterated engraved marks on aluminium-silicon alloy surfaces. *Forensic Science International*, 208 (1): 66-73.
- Velásquez M., C. A. (2011). ¿Es sostenible la reducción del hurto de automotores mediante atraco en Bogotá? *Revista Criminalidad*, 53 (1): 349-372.
- Wahab M. F., A., Ghani N. I., M. & Kuppuswamy, R. (2012). An investigation into the suitability of some etching reagents to restoring obliterated stamped numbers on cast iron engine blocks of cars. *Forensic Science International*, 223 (1): 53-63.



Yin, S. & Kuppaswamy, R. (2009). On the sensitivity of some common metallographic reagents to restoring obliterated marks on medium carbon (0.31% C) steel surfaces. *Forensic Science International*, 183 (1): 50-53.

Zaili, A., Kuppaswamy, R. & Harun, H. (2007). Restoration of engraved marks on steel surfaces by etching technique. *Forensic Science International*, 171 (1): 27-32.

## Apéndices

### 1. Cálculos de la concentración

Para las pruebas de ataque químico se utilizó ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), reactivo comercial (Disproalquímicos) con una concentración del 50% (p/p), densidad 1,319 g/ml, lo que equivale a una concentración de 0,66 g  $\text{HNO}_3$ /ml y a una concentración de 10,5 M.

El reactivo para el ataque se preparó por dilución con agua destilada: se tomaron 30 ml del reactivo midiendo con probeta, se predisolvió en 50 ml de agua

destilada y se completó la misma hasta 100 ml; la concentración resultante se calculó con la siguiente fórmula:  $V_i \times C_i = V_f \times C_f$ , donde  $V_i$  es igual al volumen de ácido tomado inicialmente;  $C_i$ , a la concentración del mismo, 10,5 M;  $V_f$ , el volumen final de la solución, 100 ml, y se despeja  $C_f$ , que es la concentración resultante de la disolución.

$$C_f = 10,5 \text{ M} \times 30 \text{ ml} / 100 \text{ ml} = 3,15 \text{ M}$$

### 2. Medidas de seguridad

Efectos sobre la salud: el ácido nítrico es irritante y corrosivo al contacto con los tejidos. La exposición puede ocurrir por varias rutas: ingestión, inhalación, absorción ocular y dérmica. La exposición por inhalación de ácido nítrico es un riesgo laboral común, ya que fácilmente forma vapor a temperatura ambiente. Los síntomas de exposición por inhalación aguda: sequedad de nariz y garganta, tos, dolor de pecho, falta de aliento, dolor de cabeza y dificultad para respirar. La exposición aguda a una alta dosis de ácido nítrico concentrado puede causar edema pulmonar, lo que en ocasiones tarda hasta 48 horas en desarrollarse, y potencialmente puede ser mortal.