



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

mossos d'esquadra



---

# ESTUDIO DE LA RESTAURACIÓN DE INSCRIPCIONES EN PLACAS DE ACERO INOXIDABLE, ALUMINIO Y HIERRO

*Máster en Genética, Física y Química Forense*

Trabajo de Fin de Máster

Autora: Marta Boleko Esteves-García

Tutor profesional: Miquel Coll Nubiola

Tutora académica: Maria Cinta Pujol Baiges

Junio 2021

## Agradecimientos

Quisiera empezar la memoria de mi trabajo agradeciendo a todas las personas que fueron partícipes de este. Nunca es fácil enfrentarte a un tema de investigación del cual tienes poco conocimiento. Por ende, quisiera agradecer a mi tutora académica, Cinta, por toda la paciencia y disposición a ayudar que ha mostrado conmigo a lo largo de estos meses. A mi cotutora Magdalena Aguiló y al coordinador del máster Raúl Beltrán.

Nada de esto no hubiera sido posible sin la confianza que la Unidad Central de Balística y Trazas de los *Mossos d'Esquadra* depositó en mí al ofrecerme la posibilidad trabajar mano a mano con ellos. Quisiera agradecer a todos los miembros de la unidad por la cálida bienvenida. En especial a mi tutor externo Miquel, quien muy amablemente me guio durante el primer día de trabajo en el laboratorio, a Joan por haber preparado todas las placas metálicas de la parte experimental y a Manel por facilitarme la bibliografía.

Espero de todo corazón que los *Mossos d'Esquadra* puedan beneficiarse de los resultados obtenidos con la realización de este trabajo de fin de máster.

## Resumen

Los números de serie se emplean para etiquetar una variable cantidad de objetos, de entre los cuales se encuentran las armas de fuego. En ocasiones, los criminales intentan destruir las inscripciones con el objetivo eliminar la trazabilidad del arma y así evitar que pueda ser utilizada como una prueba durante la investigación criminal.

Cuando se genera una inscripción en un material metálico mediante estampación, se produce una deformación permanente en la estructura. Toda técnica experimental capaz de distinguir material deformado del no deformado es potencialmente considerada como un método de restauración. En metalurgia, estas técnicas llevan estudiándose desde antaño y los investigadores forenses han sabido aplicarlas a su favor.

En la actualidad, las técnicas de restauración de números de serie en armas de fuego se clasifican en dos categorías: destructivas y no destructivas. De entre las técnicas destructivas, la más empleada es el ataque químico, el cual requiere utilizar el reactivo adecuado según el tipo de metal. Por otro lado, el método magnético es la técnica no destructiva más utilizada, pero presenta menor sensibilidad. Con la realización de este trabajo se pretende profundizar en ambas técnicas para la recuperación de inscripciones en diferentes tipos de metales.

## Abstract

Serial numbers are used to label a large number of objects, including firearms. Occasionally, criminals will try to destroy the inscriptions to remove the traceability of the weapon and thus preventing it from being used as evidence during the criminal investigation.

Permanent deformation occurs in the crystal lattice when an inscription is generated on a metal surface by stamping. Any experimental technique capable of distinguishing deformed material and non deformed material is potentially considered a restoration method. In metallurgy, these techniques have been studied formerly and forensic investigators have been able to apply them in their everyday work.

Currently, firearm serial number restoration techniques fall into two categories: destructive and non-destructive. Among the destructive techniques, chemical attack is the most used technique and requires the use of the appropriate reagent according to the type of metal. On the other hand, magnetic method is the most used non-destructive technique, but has lower sensitivity. In this work, we tried to deepen in both techniques for the recovery of inscriptions in different types of metals.

## Índice

1. Introducción .....	6
2. Generación de inscripciones .....	7
2.1 Métodos empleados para la eliminación de inscripciones e implicaciones en su recuperación .....	8
3. Métodos de restauración de inscripciones .....	9
3.1 Método destructivo: ataque químico .....	9
3.1.1 Procedimiento de restauración de inscripciones en superficies metálicas mediante ataque químico.....	10
3.2 Método no destructivo: magnético .....	11
4. Objetivos del trabajo .....	13
5. Materiales y métodos .....	14
5.1 Preparación de las muestras .....	14
5.2 Medida de la profundidad del marcado.....	15
5.3 Método químico.....	16
5.4 Método magnético.....	18
6. Resultados y discusión .....	20
6.1 Método destructivo: ataque químico .....	20
6.2 Método no destructivo: magnético .....	25
7. Conclusiones.....	27
8. Bibliografía .....	28

## 1. Introducción

Los números de serie en las armas de fuego son inscripciones numéricas o alfanuméricas que permiten identificarlas e individualizarlas. Durante la fabricación del arma dentro del marco legal, cada fabricante fija un número de serie único en un lugar visible del arma. Estas marcas constituyen una importante prueba en el mundo forense puesto que permiten asegurar su trazabilidad e identificar al propietario. En ocasiones, los números de serie se deterioran, ya sea de forma intencionada o por el paso del tiempo. En el ámbito criminalista, su eliminación es una práctica común puesto que permiten relacionar a una persona sospechosa con un crimen.

Actualmente, en forense se utilizan diferentes técnicas para la recuperación de las inscripciones en función del tipo de metal con el que se trabaja, de entre las cuales se encuentra el ataque químico, el tratamiento térmico, las partículas magnéticas, la cavitación ultrasónica y el pulido, entre otras<sup>[1]</sup>.

Los metales presentan una estructura cristalina puesto que sus átomos se organizan en las tres dimensiones del espacio de manera periódica y repetitiva. Son materiales policristalinos, es decir, están compuestos de un gran número de cristalitos (o granos). Las zonas en las que los cristalitos se tocan entre sí reciben el nombre de límites de grano.

Una disrupción en la estructura cristalina provoca la formación de cristales más pequeños y desorganizados, además de que los enlaces atómicos también quedan afectados. En metalurgia, este proceso recibe el nombre de 'cambio de grano' dado que el material sigue siendo el mismo *per se*, pero de diferente manera<sup>[2]</sup>. Las técnicas de restauración de números de serie en armas de fuego empleadas en ciencia forense que se estudian en el presente trabajo nos permiten visualizar dicha diferencia de grano.

## 2. Generación de inscripciones

El marcado de metales es un ejemplo de trabajo en frío. Se define como trabajo en frío aquel proceso en el cual un metal es moldeado en condiciones de temperatura situadas por debajo de su punto de recristalización. En armas de fuego, el marcado de números de serie puede llevarse a cabo mediante diferentes técnicas, siendo las más comunes el estampado y el grabado<sup>[3]</sup>.

En la estampación mediante punzones (troqueles), el dígito se graba manualmente o utilizando una máquina de prensar. Cuando se ejerce suficiente presión durante la estampación de un dígito en la superficie metálica, se produce un cambio permanente en la alineación de la estructura cristalina debido a que los granos de alrededor y por debajo del grabado de la hendidura se deforman<sup>[2]</sup>. Debido a que el esfuerzo aplicado supera el límite elástico del metal, la estructura no recupera su condición original cuando la fuerza desaparece. En consecuencia, el metal se deforma permanentemente, dando lugar a una deformación plástica.

El trabajo en frío provoca que la zona de deformación del grano se expanda más allá del área afectada por el marcado. Dicha deformación abarcará mayor o menor hondura en función del tipo de metal empleado, del tamaño y forma del troquel y de la cantidad de fuerza ejercida durante la impresión. Por ejemplo, la deformación plástica generada por troqueles de punta roma es más extensa y profunda que la generada por troqueles de punta afilada. En cuanto al tipo de metal, Kehl *et al.* reportaron que en zinc la zona deformada puede tener un alcance de hasta 20 veces la profundidad de la impresión, mientras que en acero la zona afectada tenía un alcance máximo de hasta 6 veces<sup>[4]</sup>.

La zona deformada del metal que se extiende más allá de la impresión presenta propiedades fisicoquímicas diferentes de la zona del metal no afectada, a partir de ahora la llamaremos, zona de deformación. El trabajo en frío incrementa la dureza del metal, su resistencia a la tracción y su límite elástico<sup>[1]</sup>. En cambio, la maleabilidad y la ductilidad del metal disminuyen. Otras propiedades que se ven afectadas son el comportamiento de magnetización de las aleaciones ferromagnéticas, el potencial químico y la posición del metal en la serie electromotriz.

En comparación a la estampación, el grabado genera surcos poco profundos. Se generan eliminando el metal mediante técnicas mecánicas, eléctricas o con láser. En el grabado, el metal apenas sufre deformación plástica por lo que la estructura cristalina permanece prácticamente intacta<sup>[3]</sup>. El método de grabación ha ido ganando en popularidad durante los últimos años. Se emplea comúnmente en componentes de acero de los vehículos y armas de fuego.

En el caso del grabado con láser, el marcado generado no presenta relieves dado que la profundidad de la marca alcanza cifras de pocos micrómetros (0.002-0.025 mm). Además, la herramienta del grabado, el láser, no necesita de contacto directo con la superficie.

## 2.1 Métodos empleados para la eliminación de inscripciones e implicaciones en su recuperación

Algunos de los métodos que se utilizan para eliminar las inscripciones de las armas de fuego son limando, granallando, soldando o perforando la superficie<sup>[1]</sup>. En el caso del limado, se rasca hasta que la marca deja de ser visible. Por lo que siempre y cuando no se haya raspado más allá de la zona de deformación plástica, se podrá recuperar la inscripción aplicando alguna técnica de restauración. La misma idea se puede aplicar en el caso del granallado, en donde se martillea con un cincel o punzón para destruir la inscripción. Siempre y cuando la destrucción producida sea superficial y no afecte a la zona de deformación, la recuperación será exitosa.

En casos en donde se haya perforado el metal, en ocasiones basta con pulir la zona y observarla al microscopio en condiciones de iluminación oblicua para observar la inscripción original. Por último, en los casos en donde se haya soldado el metal no será posible aplicar ninguna técnica de recuperación puesto que el calor aplicado durante el proceso dado que la tensión en la zona de deformación plástica se alivia.

Es importante destacar que, en ocasiones, tras el borrado de la inscripción original, los criminales intentan generar una nueva marca encima, lo cual produce una nueva deformación plástica que se superpone a la anterior.

### 3. Métodos de restauración de inscripciones

#### 3.1 Método destructivo: ataque químico

El *chemical etching*, traducido del inglés como ataque químico, es un proceso de corrosión controlado que tiene lugar debido a la acción electrolítica entre superficies con diferente potencial. El ataque químico es la técnica más utilizada debido a su sensibilidad. Normalmente, los reactivos químicos más utilizados para el ataque químico en metal son soluciones ácidas o ácidos<sup>[2]</sup>.

Los reactivos químicos actúan de diferente manera sobre las superficies metálicas deformadas y no deformadas. Concretamente, estos agentes químicos disuelven más rápidamente el metal en zonas donde ha habido una deformación plástica. Esto es debido a que el trabajo en frío provoca que la posición del metal en la serie electromotriz aumente al disminuir su resistencia a la oxidación química<sup>[2]</sup>. Como resultado, las zonas del metal afectadas por el trabajo en frío son químicamente más reactivas. Al entrar en contacto con el ácido, dichas áreas se disuelven a mayor velocidad en comparación con el área no deformada. El factor limitante es la extensión de la deformación plástica, la cual se va haciendo más difusa a medida que aumenta la profundidad por debajo de la hendidura.

Desde hace décadas, se emplea el reactivo de Fry's, una solución de cloruro de cobre y ácido clorhídrico en agua, en ciencia forense para la recuperación de marcas en hierro y acero<sup>[1]</sup>. Es posible también aplicar este atacante sobre otros materiales. No obstante, es común utilizar variantes del reactivo de Fry's para adecuar el reactivo al tipo de metal.

En el caso del acero, el cual siempre contiene hierro, carbono y una mezcla de diferentes elementos, sus enlaces químicos se ven afectados de diferente manera por atacantes químicos. La velocidad de corrosión dependerá de la composición y concentración del ácido. Los ácidos fuertes tales como el clorhídrico (HCl) aumentan su velocidad de ataque cuanto mayor sea su concentración en la disolución. No obstante, otro ejemplo de ácido fuerte es el sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), cuya velocidad de corrosión aumenta hasta un nivel de concentración en donde se alcanza la pasividad<sup>[5]</sup>.

La recuperación de marcas en aluminio es más complicada. A diferencia del acero, el aluminio no cuenta con un reactivo químico por excelencia. Por lo general, el aluminio y sus aleaciones son más resistentes a la corrosión en comparación con el acero. Sin embargo, las impurezas contenidas en el aluminio incrementan la susceptibilidad a la corrosión.

### 3.1.1 Procedimiento de restauración de inscripciones en superficies metálicas mediante ataque químico

Los agentes químicos líquidos se pueden aplicar con un hisopo sobre la superficie alterada o poniendo en contacto la zona de interés con el reactivo en forma de gel. Se recomienda el segundo método en aquellos casos en donde el proceso de restauración sea lento. En cambio, el uso del hisopo permite tener un mayor control del ataque químico. Es importante ir empapando el hisopo regularmente y frotando la superficie con cuidado hasta conseguir el contraste deseado<sup>[1]</sup>.

Algunos de los factores experimentales que deben regularse durante la reacción son el tiempo, la concentración de los reactivos y la temperatura. Si se sobrepasa el tiempo idóneo de reacción, las marcas quedan destruidas, mientras que si la reacción no llega a producirse durante el tiempo suficiente, las marcas nunca llegan a resurgir. Puesto que el tiempo de ataque químico y la temperatura son dos variables estrechamente relacionadas entre ellas, se recomienda realizar el experimento a temperatura ambiente<sup>[1]</sup>.

Una vez completado el experimento, la muestra metálica estudiada debe limpiarse con neutralizador de ácido y dejar secar. Si se desea preservar la pieza durante largo tiempo, es importante cubrir la superficie atacada con grasa para evitar la corrosión atmosférica y protegerlos del óxido. La fotografía es el mejor método que existe para grabar de manera permanente los resultados obtenidos. En ocasiones, las marcas recuperadas resultan tenues a simple vista y solo se pueden observar utilizando ciertos ángulos de luz por lo que se recomienda el uso de la macrofotografía y programas informáticos que permitan mejorar el contraste de las imágenes.

### 3.2 Método no destructivo: magnético

El método magnético es un método no destructivo aplicable a muestras altamente susceptibles a la magnetización tales como el hierro o el acero. Se trata de una técnica usada en metalurgia para detectar defectos superficiales o subterráneos<sup>[6]</sup>. Al igual que en el método químico, se basa en la detección de la deformación presente bajo el número de serie estampado. Cuando se somete una pieza ferromagnética a la acción de un campo magnético, se forma un flujo magnético el cual es continuo en ausencia de deformaciones. La presencia de grietas o deformaciones en el material crea una discontinuidad en las propiedades magnéticas del material. Mediante el uso de partículas ferromagnéticas, es posible ver visualmente dichas discontinuidades, puesto que las partículas tienden a acumularse en estas zonas.

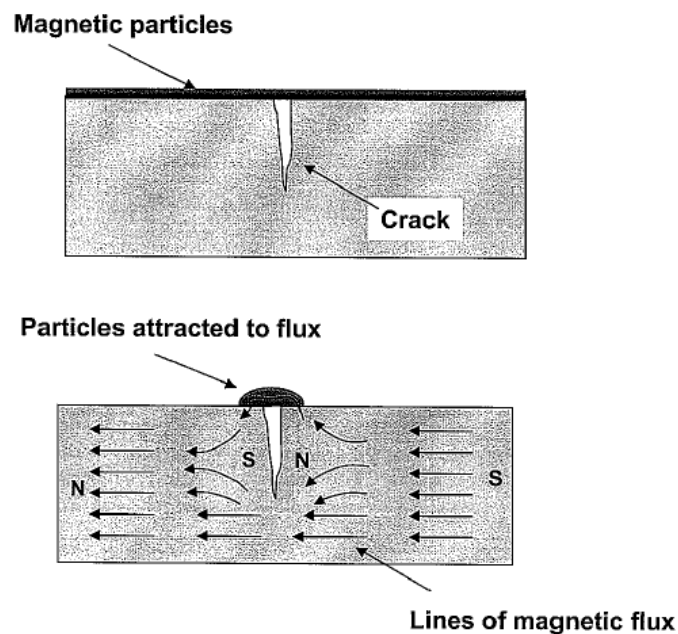


Fig. 1. Esquema del principio de inspección de grietas mediante partículas magnéticas. Fuente: M. J. Utrata, D. ; Johnson, "Magnetic particle recovery of serial numbers."

Las variables que influyen en esta técnica son la magnitud y orientación del campo magnético así como el tipo de partículas magnéticas de la suspensión<sup>[7]</sup>. La sensibilidad de la técnica disminuye cuanto mayor sea la distancia de la deformación respecto a la superficie. También es importante tener en cuenta que el material del que están hechas las armas pueden tener respuestas diferentes al campo magnético externo.

En los laboratorios forenses se emplea un yugo electromagnético portátil que permite crear campos magnéticos. Actualmente se distribuyen partículas magnéticas en forma de spray de distinta composición, las cuales pueden estar suspendidas en agua o aceite. Diferentes casas comerciales fabrican partículas recubiertas de químicos fluorescentes que se inspeccionan bajo la luz ultravioleta. Estos últimos son los que mejor resultados generan<sup>[6]</sup>.

## 4. Objetivos del trabajo

En el presente trabajo se estudia:

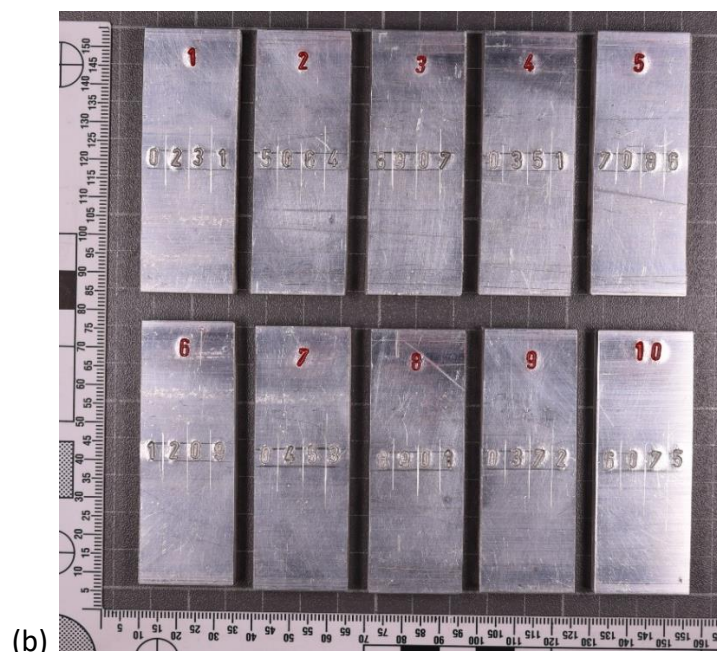
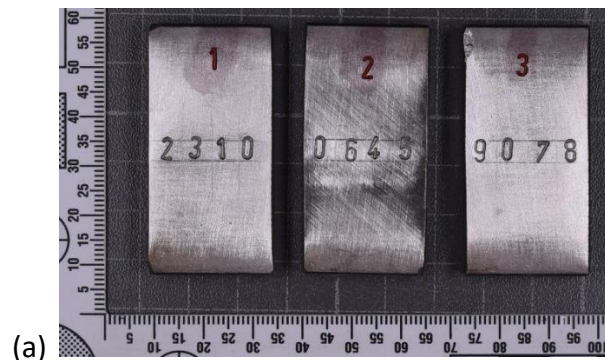
- I. La efectividad de algunos atacantes químicos en la restauración de números de serie estampados borrados en diferentes materiales: acero inoxidable, aluminio y hierro.
- II. La efectividad del método magnético la restauración de números de serie en placas de acero inoxidable y de hierro.

## 5. Materiales y métodos

### 5.1 Preparación de las muestras

Se prepararon un total de 23 placas metálicas de los siguientes materiales: hierro, aluminio y acero inoxidable. El método de marcado empleado fue el de estampación con martillo mediante punzones alfanuméricos. Puesto que la generación de las marcas se hizo de forma manual, se intentó aplicar la misma fuerza en todos los casos.

Para la eliminación de los números grabados se utilizó el Taladro Fresador BF20 Vario con una fresa de 16 mm de diámetro de acero al carbono. Para desbastar el material, se realizaron pasadas de 0,1 mm con la fresa. Las marcas se borraron uniformemente hasta que ya no eran apreciables a simple vista. Debido a que el acabado del fresado es lo suficientemente liso, no fue necesario pulir las superficies. Se utilizó el mismo procedimiento para los tres tipos de materiales.



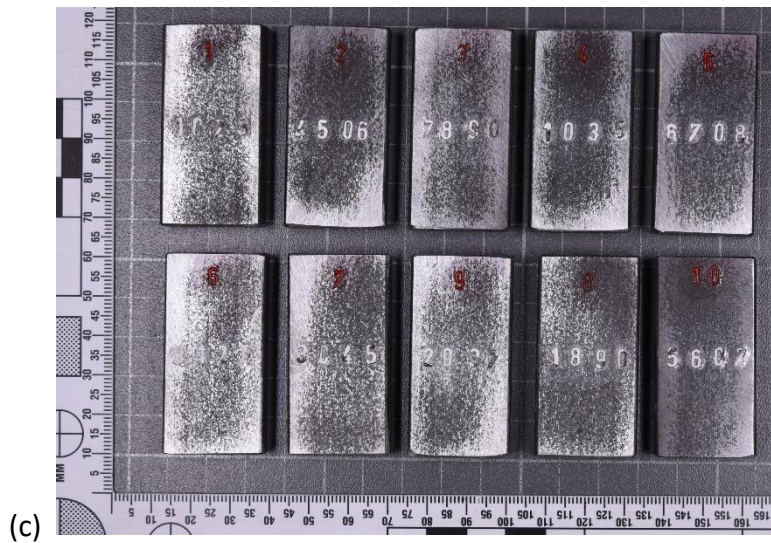


Fig. 2. Se muestran las placas originales de (a) acero inoxidable, (b) aluminio y (c) hierro enumeradas.

## 5.2 Medida de la profundidad del marcado

Para medir el rango de profundidad que abarcan las marcas en los diferentes materiales, se utilizó el microscopio confocal Sensofar Plμ 2300 con el objetivo confocal LU Plan Apo 20X/0.45 y un paso de 2 μm. El sensofar es un perfilómetro óptico sin contacto que utiliza la interferometría de luz blanca para tomar medidas tridimensionales, lo cual permite medir el perfil topográfico de una superficie. Para saber la profundidad, se realizaron medidas centrales del dígito 1 grabado en cada material (ver tabla 1).

Material	Profundidad (μm)
Acero inoxidable	370- 420
Hierro	423-447
Aluminio	577-626

Tabla 1. Profundidad en micrómetros del dígito 1 en las placas de acero inoxidable, hierro y aluminio.

Puesto que el proceso de estampación se llevó a cabo manualmente y la dureza de los materiales no es la misma, se esperaba observar variaciones en las alturas.

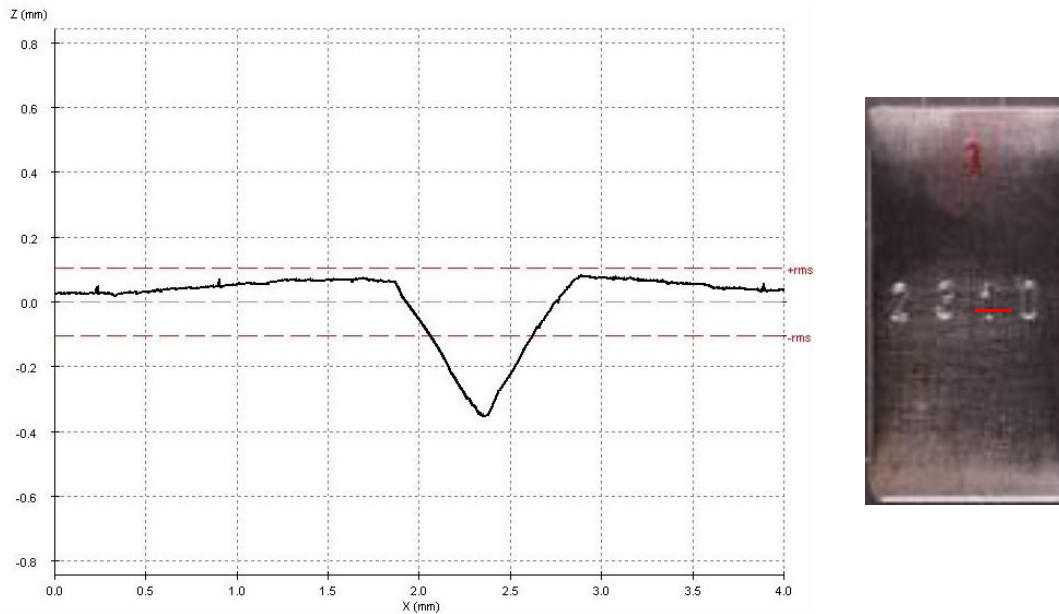


Fig. 3. A la izquierda se muestra el gráfico del perfil del dígito 1 de la placa de acero. A la derecha se indica con una línea roja la extensión de la superficie analizada con el microscopio confocal.

### 5.3 Método químico

Para la elección de los atacantes químicos, inicialmente se formuló una tabla que recogiese los reactivos para los diferentes materiales recomendados para la restauración de números de serie.

Atacante	Composición	Referencia
Reactivo 1 (Fry's)	10 ml H <sub>2</sub> O destilada 12 ml HCl (37%) 9 g CuCl <sub>2</sub>	<i>G.F.V. Voort, Metallography Principles and Practice, McGraw Hill Book Company, New York, 1984.</i>
Reactivo 2 (Fry's especial para aluminio)	10 ml H <sub>2</sub> O destilada 7,5 ml HNO <sub>3</sub> (70%) 7,5 ml HCl (37%)	<i>Preparada por la Unidad Central de Balística y Trazas Instrumentales de los Mossos d'Esquadra.</i>
Reactivo 3	20 ml H <sub>2</sub> O destilada 5 g FeCl <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O 5 ml HCl (35%)	<i>M. Köhler, Etching in Microsystem Technology. 1999.</i>
Reactivo 4	40 ml H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (85%) 1,9 ml HNO <sub>3</sub> (70%) 8,1 ml H <sub>2</sub> O	<i>M. Köhler, Etching in Microsystem Technology. 1999.</i>

Tabla 2. Reactivos químicos utilizados para la restauración de los números de serie.

### **Protocolo**

La superficie metálica que se pretende atacar debe ser previamente limpiada con acetona con el objetivo de eliminar rastros de suciedad, aceite o grasa. Es importante también eliminar cualquier rastro de pintura.

Primeramente, se aplica la solución en intervalos de 2-3 minutos con una pipeta Pasteur de vidrio de tal manera que la solución cubra homogéneamente la superficie que se pretende atacar. Para facilitar su aplicación, se cubren los lados de la placa con celo con el fin de que la solución forme una piscina sobre la superficie. Para retirar la solución, se utiliza otra pipeta Pasteur y con la ayuda de un bastoncillo de algodón se elimina el exceso. Para neutralizar el atacante químico se limpia con acetona, nunca con H<sub>2</sub>O.

Es importante tomar fotografías cada vez que se retira el atacante químico. Si no ha habido restauración del número de serie se vuelve a proceder de igual manera. Si conviene, se alarga el tiempo de intervalo entre reacciones.

Para los experimentos en donde se necesite trabajar a una temperatura fija se utiliza una placa calefactora (Fig 4).



*Fig. 4. Agitador magnético con placa calefactora.*

## 5.4 Método magnético

Para este experimento se ha seguido el protocolo de la versión simplificada del método de partículas magnéticas diseñado por Dirk Herrmann<sup>[8]</sup>.

Con el fin de optimizar el método se prepararon suspensiones de diferente composición resumidos en la tabla 3. Todas las suspensiones fueron mezcladas por baño de ultrasonidos durante 5 minutos.

Atacante	Composición
Mezcla 1	20 ml H <sub>2</sub> O Una pizca de limaduras de hierro Una pizca de Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> Una pizca de C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>
Mezcla 2	20 ml H <sub>2</sub> O Dos pizcas de limaduras de hierro Dos pizcas de Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> Dos pizcas de C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>
Mezcla 3	20 ml H <sub>2</sub> O Una pizca de limaduras de hierro

*Tabla 3. Suspensiones preparadas para el método magnético.*

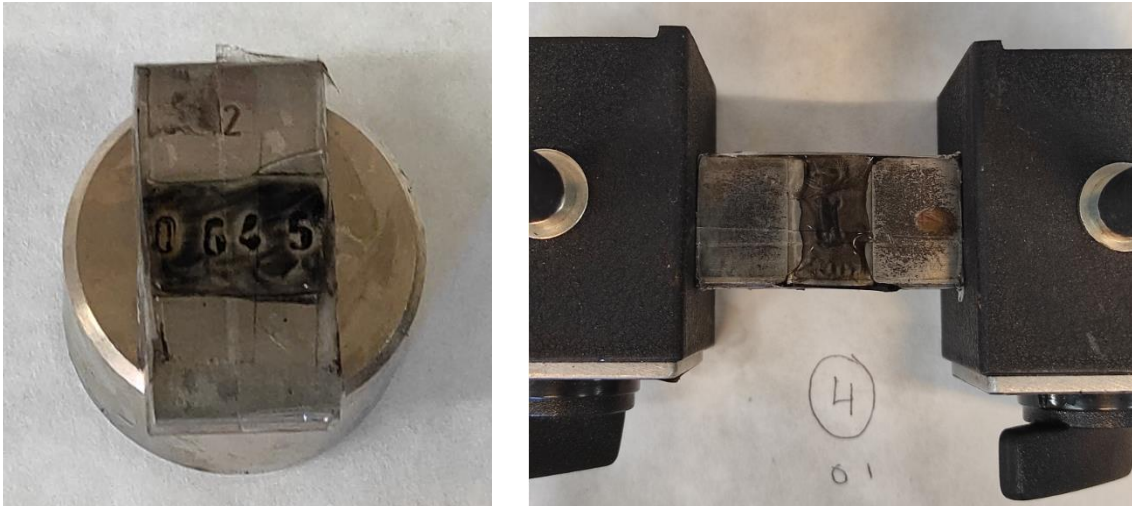
Para añadir las cantidades pertinentes de los componentes sólidos se empleó una espátula de laboratorio cuyo tamaño se puede deducir de la figura 5.



*Fig. 5. Espátula de laboratorio junto a un bolígrafo estándar como referencia para visualizar su tamaño.*

Para la creación del campo magnético se emplearon dos dispositivos diferentes: un soporte magnético con 80 kg de campo de la casa comercial Limit y un imán de neodimio cuya fuerza de campo es mayor pero se desconoce su valor exacto.

Para la aplicación de la suspensión sobre la placa, se utilizó un cuentagotas y previamente se recubrieron las placas con papel film para evitar cualquier reacción química de los componentes con el metal.



*Fig. 6. A la izquierda se muestra el montaje con el imán de neodimio. A la derecha se muestra el montaje con el soporte magnético.*

## 6. Resultados y discusión

### 6.1 Método destructivo: ataque químico

Reactivo 1

#### Hierro

Se aplicó el reactivo 1 en las placas 1 y 3 de hierro. Para la placa 1, el ataque químico permitió revelar los cuatro dígitos, consiguiendo un buen contraste. El tiempo mínimo para la recuperación fue de 10 min. El mismo análisis se repitió para la placa 3 con el reactivo 1 que estuvo almacenado en un recipiente hermético opaco dentro de un cajón protegido de la luz a temperatura ambiente. Para la placa 3, el ataque químico se realizó a la siguiente semana y solamente fue posible revelar los dos primeros dígitos. Parece ser que, tras el almacenamiento del reactivo de Fry's, hubo cierta pérdida de reactividad.

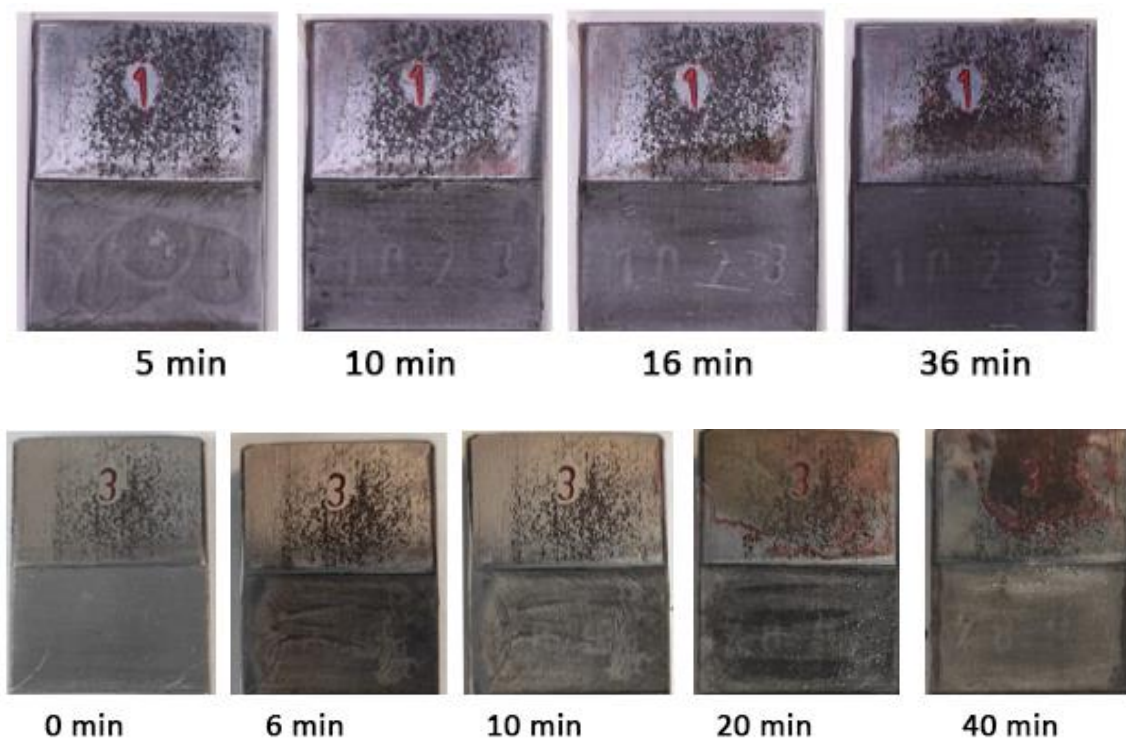


Fig. 7. Resultados del ataque químico con el reactivo de Fry's de las placas de hierro 1 y 3 a temperatura ambiente.

### Acero inoxidable

Se aplicó el reactivo 1 en la placa 1 de acero. Para este análisis se empleó reactivo 1 que estuvo almacenado en un recipiente hermético opaco dentro de un cajón protegido de la luz a temperatura ambiente. El ataque químico permitió revelar los cuatro dígitos, consiguiendo un buen contraste. El tiempo mínimo para la recuperación fue de 5 min. En el caso del acero, la pérdida de reactividad del reactivo de Fry's no parece tener un impacto importante en el revelado.

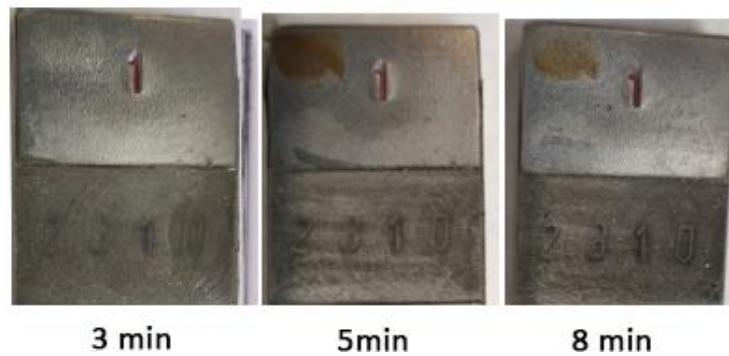


Fig 8. Resultados del ataque químico con el reactivo de Fry's de la placa de acero 1 a temperatura ambiente.

### Reactivo 2

#### Aluminio

Se aplicó el reactivo 2 en la placa 1 de aluminio. Para la placa 1, a pesar de que sí hubo ataque químico, no fue posible revelar ninguno de los dígitos.

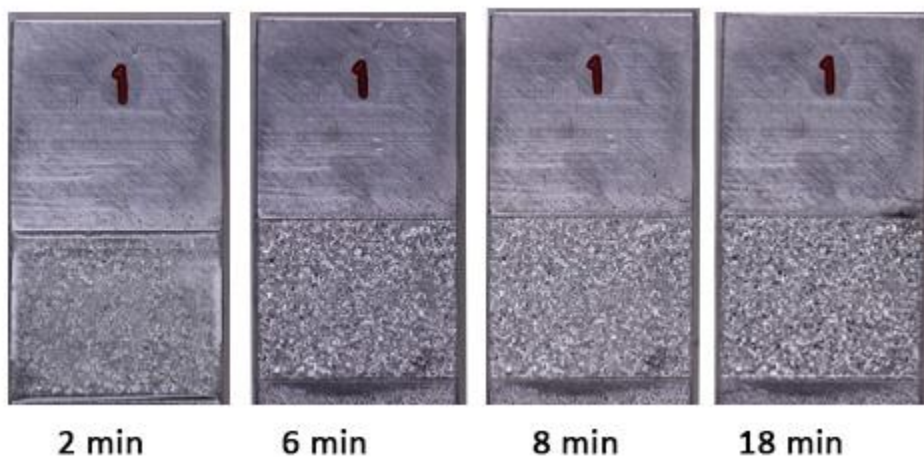


Fig. 9. Resultados del ataque químico con el reactivo de Fry's de las placa de aluminio 1 a temperatura ambiente.

### Reactivo 3

#### Hierro

Se aplicó el reactivo 3 en las placas 5, 6 y 8 de hierro. Para la placa 5, el ataque químico permitió revelar los cuatro dígitos a los 40 minutos. Sin embargo, el contraste era muy tenue y para poder observar los dígitos hacía falta jugar con el ángulo de reflexión de la luz. Para la placa 6, el ataque químico se realizó a la siguiente semana con el reactivo 3 que estuvo almacenado en un matraz aforado con tapa y cubierto en papel de plata a temperatura ambiente. En este caso también fue posible revelar todos los dígitos con un contraste muy bajo a los 50 minutos. El mismo reactivo, el cual tiene un tono amarillo, facilitaba la visualización de la inscripción. Para la placa 8, la reacción química se llevó a cabo a 60°C constantes. En este caso no fue posible revelar ningún dígito a pesar de haberse producido ataque químico.

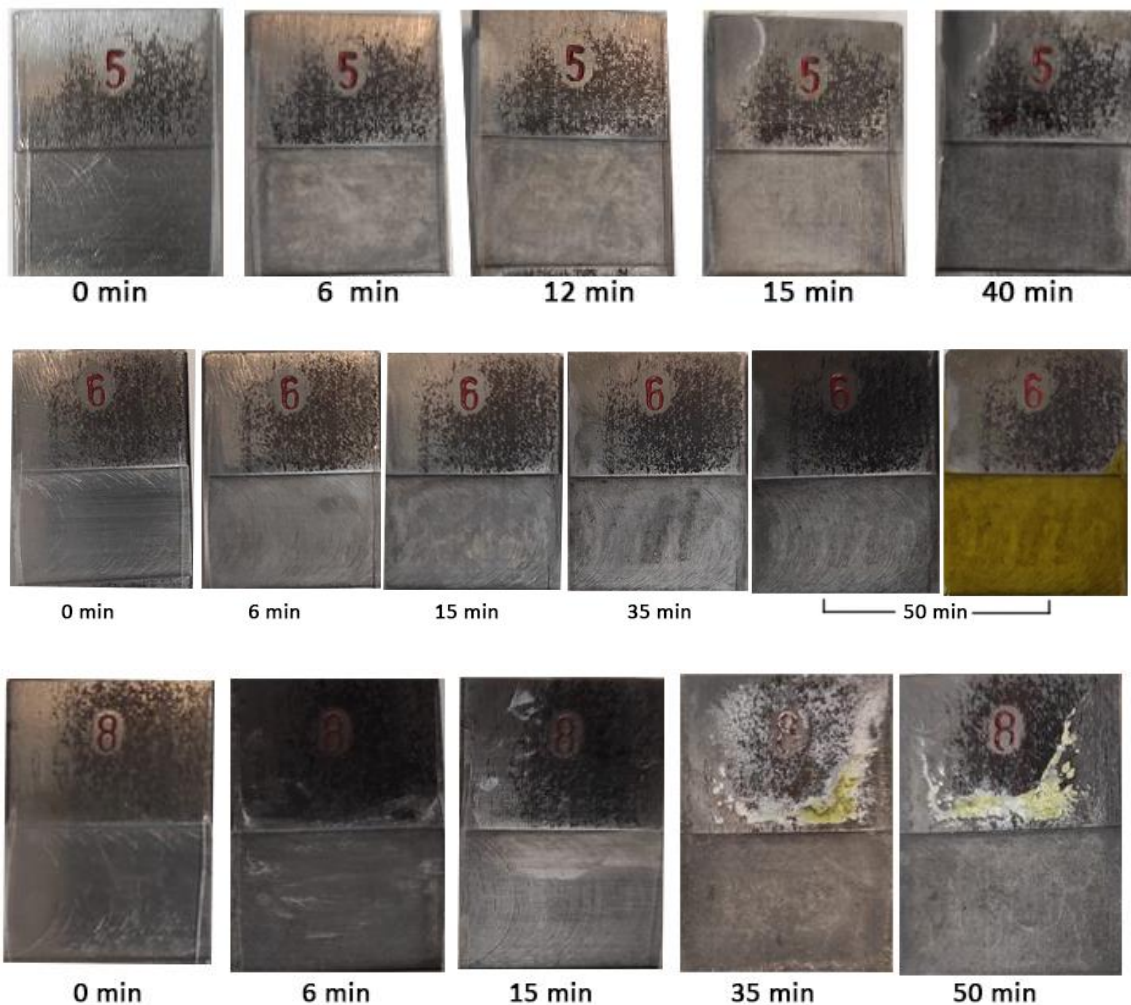


Fig. 10. Resultados del ataque químico con el reactivo de  $FeCl_3$  de las placas 5 y 6 de aluminio a temperatura ambiente y de la placa 8 a 60 °C.

### Acero inoxidable

Se aplicó el reactivo 3 en la placa 2 de acero. El ataque químico permitió revelar los cuatro dígitos a los 35 minutos. Al igual que en la placa de hierro, al haber tan poco contraste era necesario jugar con los ángulos para poder llegar a visualizar la inscripción.

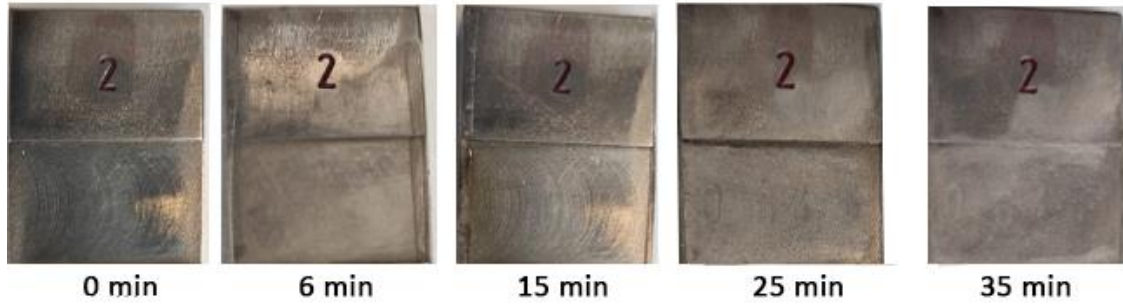


Fig. 11. Resultados del ataque químico con el reactivo de  $FeCl_3$  de la placa 2 de acero a temperatura ambiente.

### Aluminio

Se aplicó el reactivo 3 en la placa 4 de aluminio. No fue posible revelar ningún dígito a pesar de haberse producido ataque químico.

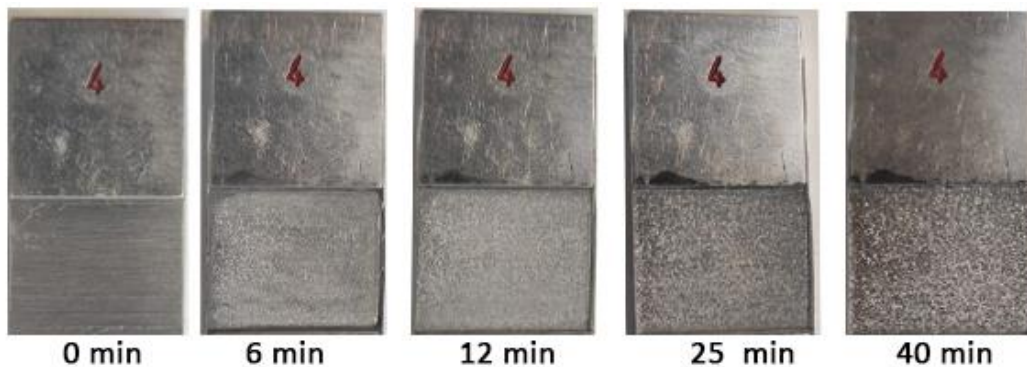
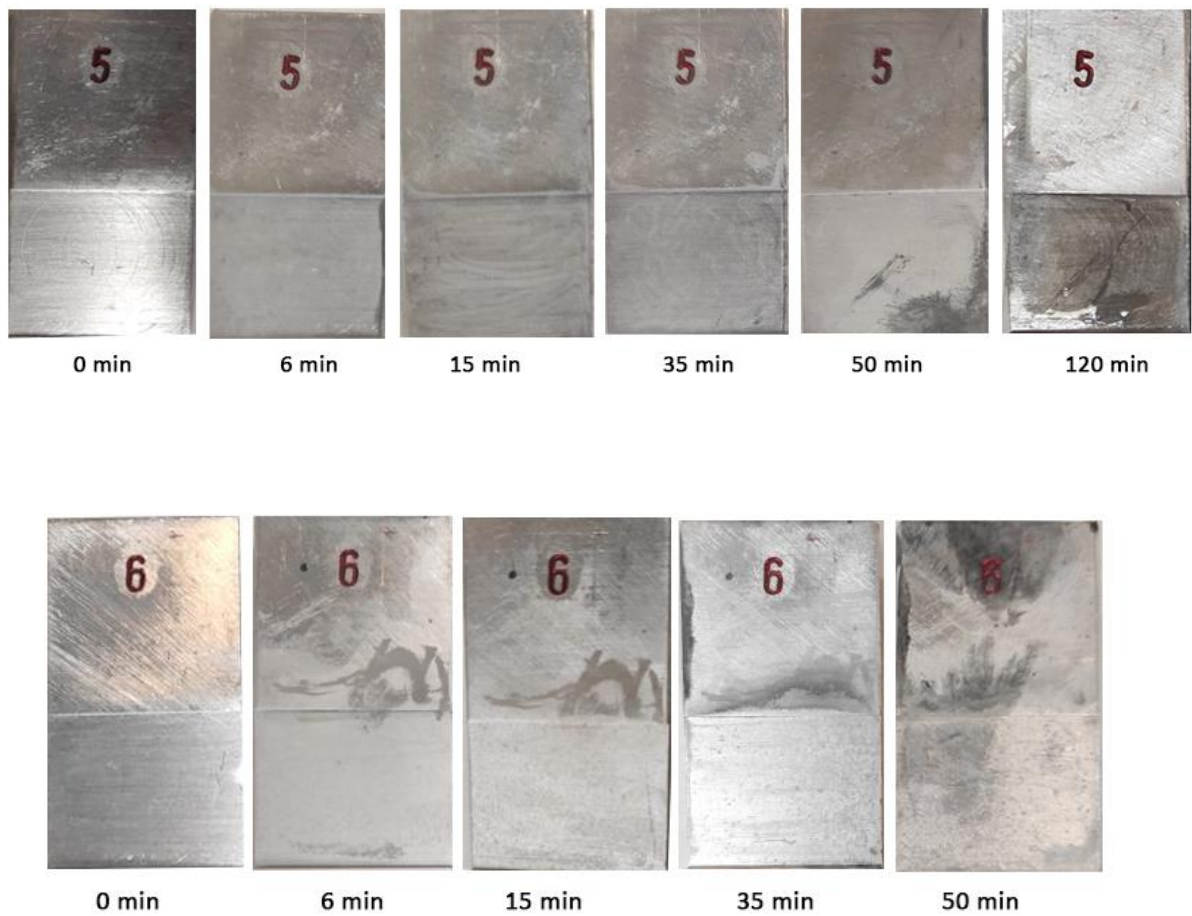


Fig. 12. Resultados del ataque químico con el reactivo de  $FeCl_3$  de la placa 5 de hierro a temperatura ambiente.

#### Reactivo 4

#### Aluminio

Se aplicó el reactivo 4 en las placas 5 y 6 de aluminio. Para la placa 5, no fue posible revelar ningún dígito a pesar de haberse producido ataque químico. Para la placa 6, la reacción química se llevó a cabo a 60°C constantes. En este caso, sí fue posible observar los dos primeros dígitos a los 15 minutos, pero con un contraste muy bajo. Era necesario jugar con los ángulos de la luz para poder divisarlos.



*Fig. 13. Resultados del ataque químico con el reactivo de  $H_3PO_4$  de la placa 5 de aluminio a temperatura ambiente y de la placa 6 a 60°C.*

## 6.2 Método no destructivo: magnético

### Hierro

Al aplicar el método con el imán de neodimio, la fuerza del campo magnético era tanta que las limaduras de hierro se depositaban en los límites del campo, por lo que se procedió a realizar el experimento con el soporte magnético. Los mejores resultados con la placa 4 de hierro se obtuvieron con el soporte magnético y la mezcla 1. No obstante la fuerza del campo generada por el soporte magnético parece no ser suficiente para revelar por completo la inscripción. Una suspensión muy saturada, como es el caso de la mezcla 2, dificulta la interpretación visual. De los resultados de la mezcla 3, se puede concluir que la adición de  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  y  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$  ayuda a visibilizar mejor los dígitos.

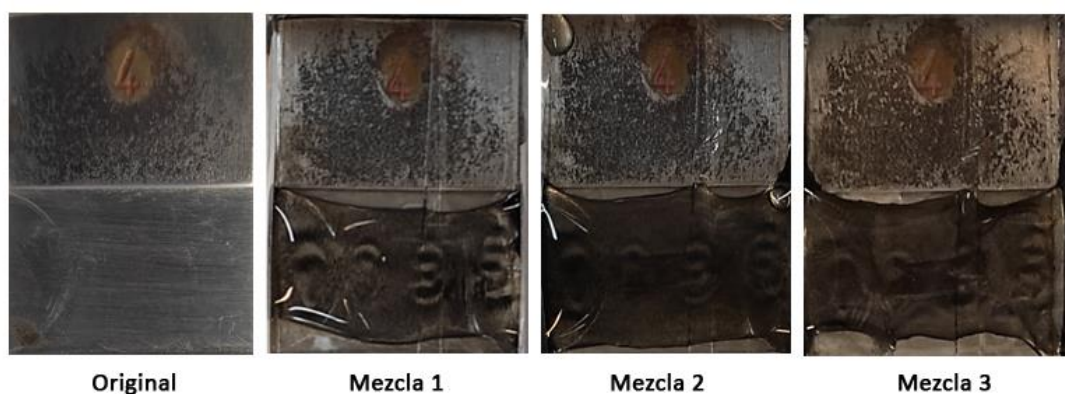


Fig. 14. Visualización de la inscripción por el método no destructivo magnético sobre placas de hierro.

### Acero inoxidable

En el caso de la placa 2 de acero, los mejores resultados se obtuvieron al emplear el imán de neodimio tal y como se muestran en la figura 15. El campo generado por el soporte magnético no parece ser suficiente para una correcta visualización. Si bien en este caso la composición de la suspensión no parece tener un gran impacto en la visualización de la inscripción, los mejores resultados se obtuvieron con el imán de neodimio y la mezcla 1.

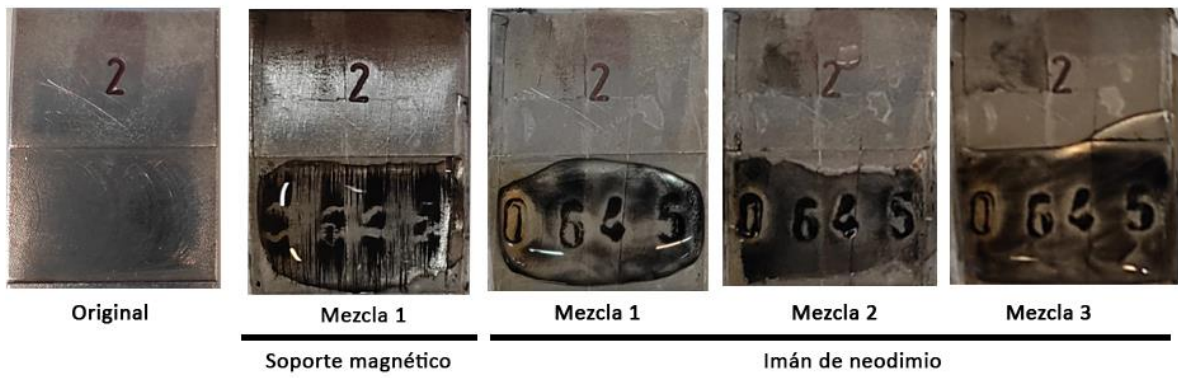


Fig. 15. Visualización de la inscripción por el método no destructivo magnético sobre placas de hierro.

## 7. Conclusiones

En base a los resultados obtenidos, el reactivo de Fry's y el imán de neodimio parecen ser los mejores candidatos para la recuperación de números de serie en acero inoxidable. Con ambos métodos ha sido posible obtener resultados con un buen contraste. Puesto que en investigaciones forenses suele ser importante preservar la prueba original, el método magnético, al no destruir la superficie del material, podría realizarse como una examinación preliminar en armas de aleaciones de acero.

Para la recuperación de números de serie en hierro, tanto el reactivo de Fry's como el reactivo de cloruro de hierro (III) permiten visualizar la inscripción. No obstante, en las condiciones y concentraciones que se han utilizado, no se considerarían unos buenos candidatos puesto que el contraste obtenido no es lo suficientemente bueno. En este caso, sería interesante modificar las variables experimentales concentración y temperatura para ver si se logran mejores resultados. En cuanto al método magnético, este también podría realizarse como una prueba previa al ataque químico.

Por último, en la recuperación de números de serie en aluminio, el reactivo más apropiado parece ser el ácido fosfórico. No obstante, se trata de un reactivo más bien inefectivo. Es necesario profundizar en el desarrollo de métodos más sensitivos para sus diferentes tipos de aleaciones. En el caso del aluminio, al tratarse de un material no magnético, no es posible aplicar el método magnético.

## 8. Bibliografía

- [1] R. Kuppuswamy, "Metallographic Etching of Aluminium and Its Alloys for Restoration of Obliterated Marks in Forensic Science Practice and Investigations," *Alum. Alloy. Theory Appl.*, 2011, doi: 10.5772/15693.
- [2] J. I. Thornton and P. J. Cashman, "The Mechanism of the Restoration of Obliterated Serial Numbers by Acid Etching," *J. Forensic Sci. Soc.*, vol. 16, no. 1, pp. 69–71, 1976, doi: 10.1016/S0015-7368(76)71028-4.
- [3] M. Azlan, R. Kuppuswamy, and H. Harun, "Restoration of engraved marks on steel surfaces by etching technique," *Forensic Sci. Int.*, vol. 171, no. 1, pp. 27–32, 2007, doi: 10.1016/j.forsciint.2006.09.010.
- [4] G. L. Kehl, *Metallographic Laboratory Practice*. New York: McGraw-Hill, 1949.
- [5] Benjamin D. Craig Richard A. Lane David H. Rose, *Corrosion Prevention and Control: A Program Management Guide for Selecting Materials, Spiral 2 (2nd Edition)*. .
- [6] R. S. Treptow, "Methods for the restoration of obliterated serial numbers," 1977.
- [7] M. J. Utrata, D. ; Johnson, "Magnetic particle recovery of serial numbers." QUANTITATIVE NONDESTRUCTIVE EVALUATION. AIP Conference Proceedings, Volume 700, pp. 1438-1444, doi: 10.1063/1.1711784.
- [8] Weimar B and Herrmann D. Construction Manual "Fluid Pad" for Magnetic Restoration of Removed Markings. *Information Bulletin for Shoeprint/Toolmark Examiners (IBSTE)* May 2011 17(1):18-21 (available on-line at the ENFSI EWGM web-page).