



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

**DETECCIÓN DE CARACTERES OBLITERADOS  
EN ACERO 1095,  
MEDIANTE EL MÉTODO DE INSPECCIÓN CON PARTÍCULAS  
MAGNÉTICAS**

**Hengelber Yojane Palencia Agustin**  
Asesorado por el Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz

Guatemala, enero de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETECCIÓN DE CARACTERES OBLITERADOS  
EN ACERO 1095,  
MEDIANTE EL MÉTODO DE INSPECCIÓN CON PARTÍCULAS  
MAGNÉTICAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**HENGELBER YOJANE PALENCIA AGUSTIN**  
ASESORADO POR EL ING. HUGO LEONEL RAMÍREZ ORTIZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, ENERO DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Álvaro Antonio Ávila Pinzón
EXAMINADOR	Ing. Anacleto Medina Molina
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **DETECCIÓN DE CARACTERES OBLITERADOS EN ACERO 1095, MEDIANTE EL MÉTODO DE INSPECCIÓN CON PARTÍCULAS MAGNÉTICAS,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, el 18 de septiembre de 2008.



**Hengelber Yojane Palencia Agustin**

---

Guatemala, 3 noviembre 2009

Ingeniero  
Julio Cesar Campos Paiz  
Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Campos Paiz:

Por medio de la presente informo a usted, que como Asesor del trabajo de graduación del estudiante **HENGELBER YOJANE PALENCIA AGUSTIN** con carné No. **1994-16422**, procedí a revisar dicho trabajo, cuyo título es: **"DETECCIÓN DE CARACTERES OBLITERADOS EN ACERO 1095, MEDIANTE EL MÉTODO DE INSPECCIÓN CON PARTÍCULAS MAGNÉTICAS"**.

Considero que el trabajo presentado por el estudiante Hengelber Yojane Palencia Agustin, ha sido desarrollado cumpliendo con los requisitos reglamentarios y siguiendo las recomendaciones de la asesoría.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite correspondiente.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente,



Ing. Hugo Leonel Ramirez Ortiz  
Ingeniero Mecánico  
Colegiado No. 5545  
Asesor

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado, **DETECCIÓN DE CARACTERES OBLITERADOS EN ACERO 1095, MEDIANTE EL MÉTODO DE INSPECCIÓN CON PARTÍCULAS MAGNÉTICAS** del estudiante Hengelber Yojane Palencia Agustín, recomienda su aprobación:

**ID Y ENSEÑAR A TODOS**

Una firma manuscrita en tinta oscura, que parece ser la del Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez.

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Coordinador de Área

Guatemala, noviembre de 2009.

/behdei

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA**

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área de Materiales, al Trabajo de Graduación titulado DETECCIÓN DE CARACTERES OBLITERADOS EN ACERO 1095, MEDIANTE EL MÉTODO DE INSPECCIÓN CON PARTÍCULAS MAGNÉTICAS, del estudiante Hengelber Yojane Palencia Agustin, procede a la autorización del mismo,

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

Ing. Julio César Campos Paiz  
**DIRECTOR**



Guatemala, enero de 2010

JCCP/beldei

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.014-2010

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **DETECCIÓN DE CARACTERES OBLITERADOS EN ACERO 1095, MEDIANTE EL MÉTODO DE INSPECCIÓN CON PARTÍCULAS MAGNÉTICAS**, presentado por el estudiante universitario **Hengelber Yojane Palencia Agustín** autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, enero de 2010

/cc  
cc. archivo

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Nuestro Dios** Por ser el Ser Supremo que nos da la vida y de Él emana la sabiduría y por hacer posible que alcance este logro.
- Mis padres** Por la ayuda y apoyo que me brindaron durante toda mi vida de estudiante. Su amor demostrado ya que ni siquiera puedo imaginar todas las cosas que hicieron y que dejaron de hacer para que saliera adelante.
- Mi esposa** Por su apoyo moral y siempre alentándome para que pudiera realizar este trabajo.
- Ing. Hugo Leonel  
Ramírez Ortiz** Quien en la elaboración de este trabajo siempre me brindó ayuda desinteresadamente cuando se la solicité y porque sin su apoyo no hubiese podido ascender uno de los peldaños más difíciles de esta carrera (Asesor).
- Mis compañeros  
de carrera** Por la amistad y el apoyo; y por que siempre nos tendimos la mano para que el grupo saliera adelante.

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Mi madre**                      Selfa Raquel Agustin Galindo (D.E.P), porque este no es mi logro, sino el suyo.
- Mi padre**                      Conrado Palencia Palencia, porque hasta este momento estoy comprendiendo lo difícil que es ser padre.
- Mi esposa**                    Por ser la mujer que Dios puso en mi camino para que en ella y por ella se manifestaran todas sus bendiciones.
- Mis hijas**                      Razón de mi vida, Maryorith Mishel y Jeimi Raquel.
- Mi hermana**                  Lilian Maribel Palencia Agustin, por ser un ejemplo en mi vida.

# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	<b>V</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>IX</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XIII</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>XV</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XVII</b>

## **1 MARCO TEÓRICO**

1.1	Campo magnético	1
1.1.1	Inducción de campos magnéticos	4
1.1.2	Ley de Amper	4
1.1.3	Histéresis magnética	6
1.1.4	Permeabilidad magnética	9
1.1.5	Tipos de imanes	10
1.1.5.1	Imanes permanentes	11
1.1.5.1.1	Imanes cerámicos o ferritas	11
1.1.5.1.2	Imanes de álnico o metálicos	13
1.1.5.1.3	Imanes de tierras raras	14
1.1.5.1.4	Imanes flexibles	15
1.1.5.2	Imanes temporales	16
1.2	Clasificación de los materiales	17
1.2.1	Materiales diamagnéticos	17
1.2.2	Materiales paramagnéticos	18
1.2.3	Materiales ferromagnéticos	19
1.3	Individualización e identificación de productos terminados	22
1.3.1	Acabados superficiales	23

1.3.1.1	Acabados superficiales físico-químicos	23
1.3.1.2	Acabados superficiales orgánicos	24
1.3.1.3	Acabados superficiales inorgánicos	25
1.3.1.3.1	Metales y aleaciones	25
1.3.1.3.2	Óxidos	25
1.3.2	Tipos de troquelados	26
1.3.2.1	El troquelado de rollo	26
1.3.2.2	El troquelado por impresión	27
1.3.2.3	El troquelado de alfileres	27
1.3.2.4	Grabación con láser	28
1.3.3	Efectos de troqueles en trabajo en frío	28
1.3.4	Técnicas de obliteraciones	32

## **2 MÉTODO DE INSPECCIÓN CON PARTÍCULAS MAGNÉTICAS**

2.1	Tipo de partículas magnéticas	35
2.1.1	Método de aplicación de las partículas magnéticas	35
2.1.1.1	Método de vía seca	36
2.1.1.2	Método de vía húmeda	36
2.2	Técnicas de magnetización	37
2.2.1	Inducción directa	37
2.2.2	Inducción indirecta	39
2.2.3	Método residual	40
2.2.4	Método continuo	40
2.2.5	Magnetización residual	41
2.2.6	Magnetización longitudinal	41
2.3	Aplicaciones	41

<b>3</b>	<b>FUNCIONAMIENTO Y METODOLOGÍA</b>	
3.1	Cómo funciona la recuperación de números obliterados en metales	43
3.1.1	Procesos moleculares de la estructura	44
3.1.2	Visualización de siluetas de caracteres recuperados	45
3.1.3	Efectividad del método	45
3.2	Metodología	47
3.2.1	Ubicación del área de trabajo	47
3.2.1.1	Fabricación de armas de fuego y métodos de numeración en serie	48
3.2.2	Preparación del área de trabajo	51
3.2.3	Magnetización de la pieza	52
3.2.4	Aplicación de partículas magnéticas	53
3.2.5	Inspección de siluetas de caracteres recuperados	53
3.2.6	Limpieza del área de trabajo	54
<b>4</b>	<b>TRABAJO DE CAMPO</b>	
4.1	Método experimental	55
4.1.1	Descripción del método	61
4.1.1.1	Descripción del equipo a utilizar	62
4.1.2	Parámetros a considerar	63
4.1.3	Limitaciones del método	63
4.1.4	Formas más comunes de obliterar	63
4.2	Pruebas experimentales: reactivación de marcas en aleaciones ferrosas	64
4.5	Resultados y observaciones	64

<b>CONCLUSIONES</b>	69
<b>RECOMENDACIONES</b>	71
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	73

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

<b>1</b>	Forma del campo magnético formado por partículas magnéticas sobre una hoja de papel	3
<b>2</b>	Diagrama del Ciclo de Histéresis	7
<b>3</b>	Corte transversal de un solenoide ideal	17
<b>4</b>	Esquema de los dipolos en un material diamagnético	18
<b>5</b>	Esquema de los dipolos magnéticos en un material paramagnético	19
<b>6</b>	Orientación al azar de los dipolos magnéticos atómicos	20
<b>7</b>	Orientación de los dipolos magnéticos atómicos cuando se aplica un campo externo	21
<b>8</b>	Orientación de los dipolos magnéticos atómicos cuando se aplica un campo externo más poderoso	21
<b>9</b>	Caracteres impresos por medio del troquelado de rollo	26
<b>10</b>	Caracteres impresos por medio del troquelado por impresión	27
<b>11</b>	Caracteres impresos por medio del troquelado de alfileres	27
<b>12</b>	Caracteres impresos por medio de grabación con láser	28
<b>13</b>	Deformación de cristales: A) Por deslizamiento	29
	B) Por maclaje	30
<b>14</b>	Corte transversal esquemático de la deformación en un número estampado	31
<b>15</b>	Deformación del área troquelada	32

<b>16</b>	Superficie obliterada. Caracter siete (7) obliterado	33
<b>17</b>	Técnica de magnetización entre cabezales	38
<b>18</b>	Técnica de magnetización de puntas de contacto	38
<b>19</b>	Yugo electromagnético	40
<b>20</b>	Ubicación del área de trabajo	56
<b>21</b>	Preparación del área de trabajo	57
<b>22</b>	Magnetización de la pieza	58
<b>23</b>	Aplicación de las partículas magnéticas	59
<b>24</b>	Inspección de las siluetas de los caracteres recuperados en el cañón	60
<b>25</b>	Acercamiento de las siluetas de los caracteres recuperados	60
<b>26</b>	Limpieza del área de trabajo	61
<b>27</b>	Equipo utilizado para la inspección de caracteres obliterados	62
<b>28</b>	Inspección de las siluetas de los caracteres recuperados en la corredera	65
<b>29</b>	Inspección de las siluetas de los caracteres recuperados en el cajón de mecanismos	65
<b>30</b>	Magnetización del cajón de mecanismos del arma de fuego	66

## TABLAS

I	Resumen de los materiales diamagnéticos, paramagnéticos y ferromagnéticos	22
II	Resultados y observaciones de la inspección de las siluetas de los caracteres recuperados en la corredera y cajón de mecanismos del arma de fuego	64



## GLOSARIO

<b>Abrasivo</b>	Sustancia que sirve para desgastar o pulir por fricción.
<b>Ánodo</b>	Electrodo positivo en el que tiene lugar la oxidación de un proceso electrolítico.
<b>Anisotrópicamente</b>	Magnetización de un cuerpo en una sola dirección.
<b>Anodizado</b>	Es una técnica utilizada para modificar la superficie de un material. Se conoce como anodizado a la capa de protección artificial que se genera sobre el aluminio mediante el óxido protector del aluminio, conocido como alúmina.
<b>Beaker</b>	Vaso de vidrio precipitado utilizado en laboratorios para realizar disoluciones y mezclas.
<b>Compuesto</b>	Agregado de varias cosas que componen un todo.
<b>Electrochapado</b>	Deposición de una capa metálica sobre un objeto.

<b>Extrusión</b>	Proceso usado para crear objetos con secciones transversales definidas y fijas.
<b>Forja</b>	Trabajo consiste en dar forma al metal por medio del fuego y del martillo.
<b>Flujo residual</b>	En un material magnético, es el valor de la densidad de flujo correspondiente a la intensidad magnética cero, cuando el material es simétrica y cíclicamente magnetizado.
<b>Granos cristalinos</b>	Es cada uno de los cristales individuales que forman una sustancia cristalina.
<b>Hertz</b>	Unidad de frecuencia del Sistema Internacional, que equivale a la frecuencia de un fenómeno cuyo período es un segundo.
<b>Intergranulares</b>	Región de los granos entrelazados.
<b>Interruptor</b>	Dispositivo para cambiar el curso de un circuito

<b>Laminado</b>	Convertir el acero en los múltiples tipos de perfiles comerciales que existen de acuerdo al uso que vaya a darse del mismo.
<b>Maclaje</b>	Es un movimiento de planos de átomos en la red que se divide en dos partes simétricas diferentemente orientadas.
<b>Macroscopio</b>	Instrumento óptico destinado para observar objetos de mayor tamaño que los propios microorganismos por medio de un binocular.
<b>Magnetizante</b>	Comunicar a un cuerpo propiedades magnéticas.
<b>Número de serie</b>	Identificación alfanumérica o numérica troquelada para la identificación o individualización de productos terminados.
<b>Obliteración</b>	Para propósitos de este trabajo de graduación, significa: borrar, mutilar, sobre-estampar, remover, cubrir y/o sustituir la marca de identificación de un objeto.
<b>Pipeta</b>	Instrumento de laboratorio que se utiliza para medir o transvasar pequeñas cantidades de líquido.

<b>Reacción</b>	Transformación de unos compuestos químicos en otros.
<b>Remanencia</b>	Es la densidad de flujo que permanece en un material magnético después de haber suprimido a la fuerza de magnetización externa.
<b>Revenido</b>	Operación que consiste en recocer el acero a temperatura inferior a la del temple para mejorar este. Tiene como fin reducir las tensiones internas de la pieza originadas por el temple o por deformación en frío.
<b>Solidificación</b>	Es un proceso físico que consiste en el cambio de estado de la materia de líquido a sólido producido por una disminución en la temperatura.
<b>Spray</b>	Envase de algunos líquidos mezclados con un gas a presión, de manera que al oprimir una válvula salga líquido pulverizado en aerosol.
<b>Thinner</b>	Mezcla de solventes de naturaleza orgánica derivados del petróleo que ha sido diseñado para disolver, diluir o adelgazar sustancias insolubles en agua, como la pintura, los aceites y las grasas.

## RESUMEN

Cuando los fabricantes de diversas industrias elaboran sus productos troquelan sobre las superficies metálicas o plaquetas, la marca de la casa fabricante, números o series que los identifiquen e individualicen, los cuales son utilizados para hacer legalizados ante las diferentes entidades. Sin embargo muchas veces los mismos son obliterados o alterados, por personas que hacen mal uso de la conducta humana, cometiendo lo que comúnmente se conoce como delito.

En el presente trabajo se pretende la detección de caracteres obliterados en materiales ferrosos, mediante el método de inspección de partículas magnéticas, basados en la circulación de un flujo magnético a lo largo de la pieza a inspeccionarse, ya que cuando éste flujo encuentra imperfecciones, existe en ese punto una fuga de este campo, formando dipolos, es decir, pequeños imanes, que estarán atrayendo las partículas magnéticas dando forma a siluetas de los caracteres recuperados que es lo que primordialmente se requiere en este trabajo de graduación.

El método que se aplicará en la recuperación de estas identificaciones está basado en la Inspección de Partículas Magnéticas para la recuperación de caracteres obliterados, con el hecho de mantener siempre esta prueba material, es decir, que se puede aplicar varias veces logrando los resultados primarios obtenidos, por lo que hace de este método ser una fuente de información no cambiante o permanente, siendo de una vital importancia cuando se tenga que realizar una nueva búsqueda o rectificación de los datos obtenidos preliminarmente.



## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Implementar el método de inspección con partículas magnéticas para la recuperación de caracteres que han sido obliterados total o parcialmente en acero 1095.

### **ESPECÍFICOS:**

1. Fundamentar científicamente cómo funciona la recuperación de caracteres obliterados sobre metales.
2. Optimizar los procedimientos ya existentes, para la recuperación de marcas sobre superficies metálicas.
3. Elaborar una guía descriptiva del equipo de laboratorio, insumos, medios de aplicación en el proceso de recuperación de marcas sobre superficies metálicas.



## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de graduación se estará implementando el método para la recuperación de caracteres obliterados en materiales ferromagnéticos. Debido a que esto es de vital importancia en una investigación forense y que no se cuenta con literatura al respecto, se pretende dejar plasmado un precedente ante tal situación.

Se cuenta con trabajos científicos muy importantes en el extranjero, como antecedentes de esta investigación, sin embargo en los mismos no se deja aclarado el concepto que fundamenta este método.

La realización de este trabajo de graduación es de utilidad en el campo forense y en el campo investigativo científico, para el esclarecimiento de hechos delictivos, ayudando a personas civiles y al sistema de justicia. Quedando demostrado que la Ingeniería Mecánica no solo aporta a la industria para un buen desenvolvimiento, tanto en productividad, funcionamiento de maquinaria, si no, también puede poner sus conocimientos a la ayuda del sector justicia al resolver problemas que afectan a nuestra sociedad.

En el marco teórico, se fundamentan los principios básicos del por qué es que se recuperan las siluetas de los caracteres obliterados, la clasificación de materiales existentes, de los cuales se puede mencionar los diamagnéticos, los paramagnéticos y los ferromagnéticos. Así también, se verá lo que es la individualización e identificación de productos terminados.

En el segundo capítulo se estará dando a conocer los tipos de partículas magnéticas que existen, los métodos de aplicación de las mismas y las técnicas de magnetización, para lo cual en nuestro trabajo estaremos utilizando el método de aplicación de partículas magnéticas de vía húmeda y para la magnetización de la pieza el método de inducción directa.

El tercer capítulo estará enfocado al funcionamiento y metodología, para lo cual se estará explicando como funciona el método y la metodología estará compuesta por seis pasos los cuales son: Ubicación del área de trabajo, preparación del área de trabajo, magnetización de la pieza, aplicación de las partículas magnéticas, inspección de siluetas de caracteres recuperados y limpieza del área de trabajo.

El cuarto capítulo estará enfocado en el trabajo de campo, para lo cual se estará analizando como pieza de trabajo un arma de fuego tipo pistola de marca y modelo conocido y que a la misma le fue obliterated la identificación alfanumérica de serie, tanto en el cañón, como en la corredera y en el cajón de mecanismos. Se estarán aplicando los seis pasos de la metodología para la recuperación de las siluetas. Así también estaremos viendo los parámetros a considerar, las limitaciones del método y las formas más comunes de obliterated.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1 Campo magnético

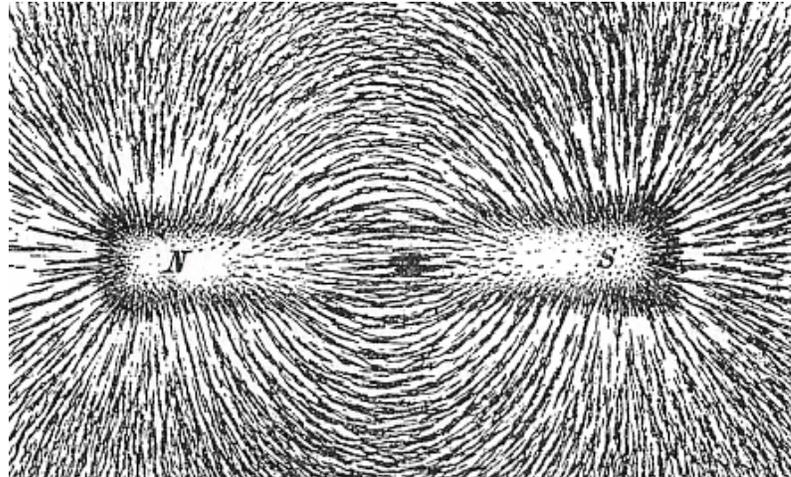
Los efectos del campo magnético se han conocido desde épocas muy antiguas, cuando se observaron por primera vez los efectos de la magnetita, el imán permanente que se encuentra en forma natural. El descubrimiento de la propiedad de este material que busca el norte y el sur, tuvo una profunda influencia en la navegación y la exploración primitiva. Sin embargo, excepto por esta aplicación, el magnetismo se usó poco y sus fenómenos se entendieron aún menos, hasta principios del siglo XIX, cuando Oerster descubrió que una corriente eléctrica producía un campo magnético. Este trabajo junto a la obra posterior de Gauss, Henry, Faraday, Amper y otros, ha elevado el campo magnético a una altura prominente como socio del campo eléctrico. El esfuerzo de estos hombres prácticos han conducido al desarrollo de motores, transformadores, generadores, entre otros, en los que intervienen fenómenos magnéticos y que juegan un papel importante en nuestra vida diaria.

Si tenemos una barra imantada o un cable que transporta corriente pueden influir en otros materiales magnéticos sin tocarlos físicamente, porque los objetos magnéticos producen su propio campo. Estos suelen representarse mediante líneas de campo magnético o líneas de fuerza. En cualquier punto, la dirección del campo magnético es igual a la dirección de las líneas de fuerza, y la intensidad del campo es inversamente proporcional al espacio entre las líneas.

En el caso de la barra imantada, las líneas de fuerza salen de un extremo y se curvan para llegar al otro extremo; estas líneas pueden considerarse como bucles cerrados, con una parte del bucle dentro del imán y otra fuera. En los extremos del imán, donde las líneas de fuerza están más próximas, el campo magnético es más intenso; en los lados del imán, donde las líneas de fuerza están más separadas, el campo magnético es más débil. Según su forma y su fuerza magnética, los distintos tipos de imán producen diferentes esquemas de líneas de fuerza. La estructura de las líneas de fuerza creadas por un imán o por cualquier objeto que genere un campo magnético puede visualizarse utilizando una brújula o limaduras de hierro.

Los imanes tienden a orientarse siguiendo las líneas de campo magnético. Por tanto, una brújula, que es un pequeño imán que puede rotar libremente, se orientará en la dirección de las líneas, marcando la dirección que señala la brújula al colocarla en diferentes puntos alrededor de la fuente del campo magnético, puede deducirse el esquema de líneas de fuerza. Igualmente, si se agitan limaduras de hierro sobre una hoja de papel o un plástico por encima de un objeto que crea un campo magnético, las limaduras se orientan siguiendo las líneas de fuerza y permiten así visualizar su estructura, ver figura 1. La figura generada por dichas partículas muestra que la barra imantada tiene dos polos magnéticos y las líneas del campo magnético salen de un polo y entran en el otro. El magnetismo presenta una naturaleza bipolar, es decir que siempre hay dos polos magnéticos o centros del campo magnético separados por una distancia determinada.

Figura 1. Forma del campo magnético formado por partículas magnéticas sobre una hoja de papel



Fuente: **Raymond A. Serway, y John W Jewett Jr.**  
**Física para ciencias e ingenierías**  
**Pág. 193**

Los campos magnéticos influyen sobre los materiales magnéticos y sobre las partículas cargadas en movimiento. En términos generales, cuando una partícula cargada se desplaza a través de un campo magnético, experimenta una fuerza que forma ángulos rectos con la velocidad de la partícula y con la dirección del campo. Como la fuerza siempre es perpendicular a la velocidad, las partículas se mueven en trayectorias curvas. Los campos magnéticos se emplean para controlar las trayectorias de partículas cargadas en dispositivos como los aceleradores de partículas o los espectrógrafos de masas. Podemos decir entonces que el campo magnético es el espacio ocupado por las líneas de flujo o de fuerza magnética dentro y alrededor de un imán o un conductor que es recorrido por una corriente eléctrica donde una fuerza magnética es ejercida.

### **1.1.1 Inducción de campos magnéticos**

El físico danés Hans Christian Oersted descubrió en 1820 que cuando una corriente eléctrica fluye a través de un conductor, se forma un flujo Magnético alrededor del conductor. La dirección de las líneas de flujo magnético es siempre a  $90^\circ$  con respecto a la dirección del flujo de la corriente eléctrica.

Cuando un conductor tiene una forma uniforme, la densidad de flujo o número de líneas de fuerza por unidad de área es uniforme a lo largo de la longitud del conductor y decrece uniformemente al incrementar la distancia desde el conductor.

### **1.1.2 Ley de Amper**

La Ley de Ampere, llamada así en honor de quién, en 1825, creó las fundaciones teóricas del electromagnetismo, implica la descripción básica de la relación existente entre la electricidad y el magnetismo, desarrollada a través de afirmaciones cuantitativas sobre la relación de un campo magnético con la corriente eléctrica o las variaciones de los campos eléctricos que lo producen. Se trata de una Ley que es generalmente constatable dentro del uso formal del idioma del cálculo matemático: la línea integral de un campo magnético en una trayectoria arbitrariamente elegida es proporcional a la corriente eléctrica neta adjunta a la trayectoria.

Es válida sólo para corrientes estables y es útil exclusivamente para calcular el campo magnético de configuraciones de corrientes que tienen un alto grado de simetría.

Un conductor rectilíneo por el cual circula una corriente eléctrica crea a su alrededor un campo magnético formado por líneas circulares y concéntricas con el conductor. La inducción Magnética en un punto fijo situado a la distancia "r" del conductor es tangente a la línea de campo magnético que pasa por dicho punto y su sentido está dado por la regla del pulgar.

Por ejemplo, al representar una trayectoria cerrada de radio "r" alrededor de un conductor rectilíneo por el cual circula una corriente eléctrica. Al suponer la trayectoria dividida en pequeños segmentos orientados en el mismo sentido de la línea de campo Magnético, se tendrá así que en cualquier punto de la trayectoria viéndolos vectorialmente, el vector de la inducción magnética y el de la corriente tienen la misma dirección y sentido.

Experimentalmente puede comprobarse que el módulo B de la inducción magnética o campo magnético es:

- Directamente proporcional a la intensidad I de la corriente.
- Inversamente proporcional a la distancia "r" que existen entre el conductor y un punto P.

Es decir:

$$B \propto \frac{I}{r} \rightarrow B = k \cdot \frac{I}{r}$$

Siendo k una constante de proporcionalidad que, por conveniencia, se expresa en función de otra constante de la manera siguiente:  $k = \frac{\mu_0}{2\pi}$  en la cual  $\mu_0$  recibe el nombre de constante de permeabilidad.

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

En el sistema internacional se asigna a la constante  $\mu_0$  el siguiente valor:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ New/A}^2$$

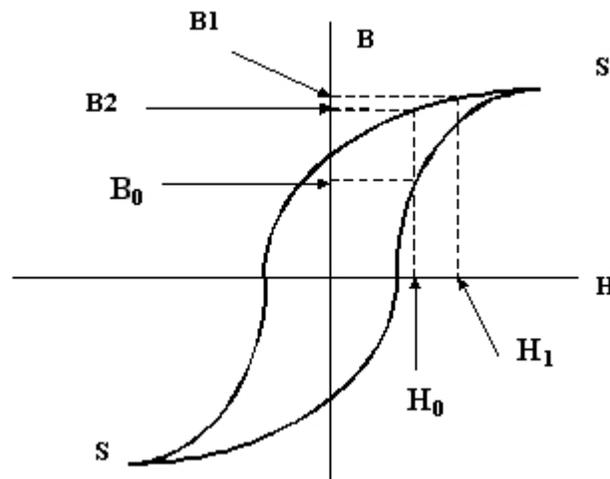
Este resultado constituye la Ley de Ampère, que es válida, en general, para cualquier trayectoria cerrada alrededor de uno o más alambres que conducen corriente, siendo “I” la intensidad de la corriente neta, a través del área limitada por la trayectoria cerrada.

El amperio está definido como la magnitud de la corriente que, al fluir en el mismo sentido por dos cables conductores paralelos separados por una distancia de un metro en el espacio vacío, resulta en una fuerza de atracción (magnética) mutua igual a  $2 \times 10^{-7}$  newton por cada metro de longitud de cable.

### 1.1.3 Histéresis magnética

La histéresis es la tendencia de un material a conservar una de sus propiedades, en ausencia del estímulo que la ha generado. Podemos encontrar diferentes manifestaciones de este fenómeno. La palabra Histéresis viene de la palabra griega histeros que significa: quedar atrás; la magnetización literalmente retarda el campo excitante (magnetización residual).

Figura 2. Diagrama del Ciclo de Histéresis



Fuente: **Reitz-Milford.**  
**Fundamentos de la teoría electromagnética**  
**Pág. 212**

La figura 2 representa el llamado Ciclo de Histéresis (también lazo o bucle de histéresis) de un determinado material magnético. Se supone que una bobina crea sobre dicho material magnético una intensidad de campo  $H$ , el cual induce en ese material magnético una inducción de valor  $B$ . Así a una intensidad de campo  $H_0$  le corresponderá una inducción de valor  $B_0$ . Si ahora aumenta  $H$  (aumentando la corriente que circula por la bobina) hasta un valor  $H_1$ ,  $B$  también aumentará hasta  $B_1$ . Pero si ahora restituimos  $H$  a su valor inicial  $H_0$ ,  $B$  no vuelve a  $B_0$ , sino que toma un valor diferente  $B_2$ . Se puede observar que el camino marcado de las primeras coordenadas es distinto al de las segunda coordenadas lo que implica que para restituir la inducción en el núcleo a su primitivo valor, es preciso aplicar una corriente suplementaria de signo opuesto, es decir una fuerza magnetizante inversa necesaria para remover el magnetismo residual la cual se conoce como Fuerza Coercitiva. El punto  $S$ , representa la saturación del magnético. Una vez saturado el núcleo,  $B$  no puede aumentar por mucho que lo haga  $H$ .

En física se encuentra, por ejemplo, histéresis magnética si al magnetizar un cuerpo (ferro magneto) éste mantiene la señal magnética tras retirar el campo magnético que la ha inducido. También se puede encontrar el fenómeno en otros comportamientos electromagnéticos, o los elásticos.

La histéresis magnética es el fenómeno que permite el almacenamiento de información en los imanes de los discos duros o flexibles de los ordenadores: el campo induce una magnetización en el pequeño imán, que se codifica como un 0 o un 1. Esta codificación permanece en ausencia de campo, y puede ser leída posteriormente, pero también puede ser invertida aplicando un campo en sentido contrario.

Para poder conocer el ciclo de histéresis de un material, se puede utilizar el magnetómetro de Köpsel, que se encarga de proporcionarle al material ferro magnético los cambios senoidales de la corriente eléctrica para modificar el sentido de los imanes.

Se produce histéresis al someter al núcleo a un campo creciente, los imanes elementales giran para orientarse según el sentido del campo. Al decrecer el campo, la mayoría de los imanes elementales recobran su posición inicial, sin embargo, otros no llegan a alcanzarla debido a los rozamientos moleculares conservando en mayor o menor grado parte de su orientación forzada, haciendo que persista un magnetismo remanente que obligue a cierto retraso de la inducción respecto de la intensidad de campo.

Las pérdidas por histéresis representan una pérdida de energía que se manifiesta en forma de calor en los núcleos magnéticos. Con el fin de reducir al máximo estas pérdidas, los núcleos se construyen de materiales magnéticos de características especiales. Se llama magnetismo remanente a la parte de la inducción magnética que queda en el núcleo cuando el campo que realizó dicha inducción es nulo. Se llama campo coercitivo al campo de sentido contrario necesario para anular el magnetismo remanente.

#### **1.1.4 Permeabilidad magnética**

Una de las propiedades más importantes de los materiales magnéticos es la permeabilidad. La permeabilidad es la facilidad con la cual un material se vuelve magnético. Más específicamente, la permeabilidad se define como el cociente de la densidad del flujo o inducción magnética (número de líneas por unidad de superficie) y la intensidad del campo magnetizante (intensidad del campo magnético aplicada a un material para que este se magnetice). Es decir la capacidad de una sustancia o medio para atraer y hacer pasar a través de sí los campos magnéticos, la cual está dada por la relación entre la intensidad de campo magnético existente y la inducción magnética que aparece en el interior de dicho material.

La magnitud así definida, el grado de magnetización de un material en respuesta a un campo magnético, se denomina permeabilidad absoluta y se suele representar por el símbolo  $\mu$ :

$$\mu = \frac{B}{H},$$

Donde  $B$  es la inducción magnética (también llamada densidad de flujo magnético) en el material y  $H$  es intensidad de campo magnético.

### 1.1.5 Tipos de imanes

Un imán es un material capaz de producir un campo magnético exterior y atraer el hierro (también puede atraer al cobalto y al níquel). Los imanes que manifiestan sus propiedades de forma permanente pueden ser naturales, como la magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) o artificiales, obtenidos a partir de aleaciones de diferentes metales.

En un imán la capacidad de atracción es mayor en sus extremos o polos. Estos polos se denominan norte y sur, debido a que tienden a orientarse según los polos geográficos de la Tierra, que es un gigantesco imán natural. La región del espacio donde se pone de manifiesto la acción de un imán se llama campo magnético. Este campo se representa mediante líneas de fuerza, que son unas líneas imaginarias, cerradas, que van del polo norte al polo sur, por fuera del imán y en sentido contrario en el interior de éste; se representa con la letra  $B$ .

Desde hace tiempo es conocido que una corriente eléctrica genera un campo magnético a su alrededor. En el interior de la materia existen pequeñas corrientes cerradas debidas al movimiento de los electrones que contienen los átomos, cada una de ellas origina un microscópico imán o dipolo. Cuando estos pequeños imanes están orientados en todas direcciones sus efectos se anulan mutuamente y el material no presenta propiedades magnéticas; en cambio si todos los imanes se alinean actúan como un único imán y en ese caso decimos que la sustancia se ha magnetizado.

### **1.1.5.1 Imanes permanentes**

Los imanes permanentes se encuentran en forma natural en la tierra y conservan sus características magnéticas por tiempo ilimitado, sin necesidad de estar conectados a ningún tipo de fuente de energía. Únicamente estas características se pueden alterar aplicando temperaturas fuera del rango de trabajo de cada tipo de imán en concreto o mediante un aparato desimantador. Además de la magnetita o imán natural existen diferentes tipos de imanes fabricados con diferentes aleaciones entre los cuales podemos encontrar:

- Imanes cerámicos o ferritas
- Imanes de álnicos o metálicos
- Imanes de tierras raras
- Imanes flexibles

#### **1.1.5.1.1 Imanes cerámicos o ferritas**

Se llaman así por sus propiedades físicas. Su apariencia es lisa y de color gris oscuro, de aspecto parecido a la porcelana. Se les puede dar cualquier forma, por eso es uno de los imanes más usados, son muy frágiles, y pueden romperse si se caen o se acercan a otro imán sin el debido cuidado.

Se fabrican a partir de partículas muy finas de material ferromagnético (óxidos de hierro  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) que se transforman en un conglomerado por medio de tratamientos térmicos a presión elevada, sin sobrepasar la temperatura de fusión.

Otro tipo de imanes cerámicos, conocidos como ferritas, están fabricados con una mezcla de óxido de bario (BaO) y óxido de estroncio (SrO). Son resistentes a muchas sustancias químicas (disolventes y ácidos) y pueden utilizarse a temperaturas comprendidas entre 40 °C y 260 °C.

### **Características:**

- Bajo costo de producción que se traduce en un bajo costo de venta
- Baja densidad que se traduce en escaso peso con relación a su masa
- Elevada fuerza coercitiva
- Materias primas no sujetas a grandes fluctuaciones de valor al no ser estratégicas
- Baja inducción relativa
- Aislante eléctrico
- Dificultad de mecanizado por su fragilidad

### **Principales aplicaciones:**

- Altavoces
- Juguetes
- Magnetoterapia
- Cierres magnéticos
- Soportes magnéticos
- Tratamientos de aguas
- Sistema de transporte y elevación
- Filtros magnéticos
- Acoplamientos magnéticos
- Indicadores de nivel

### **1.1.5.1.2 Imanes de álnico o metálicos**

Se llaman así porque en su composición llevan los elementos aluminio (Al), níquel (Ni) y cobalto (Co). Se fabrican por fusión de un 8 % de aluminio, un 14 % de níquel, un 24 % de cobalto, un 51 % de hierro y un 3 % de cobre. Son los que presentan mejor comportamiento a temperaturas elevadas. Tienen la ventaja de poseer buen precio, aunque no tienen mucha fuerza.

Son magnetizables anisotrópicamente con lo cual se consigue que todas las partículas cristalinas que los forman estén orientadas en la misma dirección, obteniendo elevados valores magnéticos.

#### **Características:**

- Elevada inducción
- Capacidad para trabajar a elevadas temperaturas
- Difícil mecanizado a causa de su gran dureza
- Materias primas sujetas a fluctuaciones de valor al ser consideradas estratégicas

#### **Principales aplicaciones:**

- Contadores eléctricos
- Contactos Reed
- Megafonía
- Filtros magnéticos
- Indicadores de nivel
- Controladores de temperatura

### 1.1.5.1.3 Imanes de tierras raras

Son imanes pequeños, de apariencia metálica, con una fuerza de 6 a 10 veces superior a los materiales magnéticos tradicionales. Los imanes de boro-neodimio están formados por hierro (Fe), neodimio (Nd) y boro (B); tienen alta resistencia a la desmagnetización. Son lo bastante fuertes como para magnetizar y desmagnetizar algunos imanes de alnico y flexibles. Se oxidan fácilmente, por eso van recubiertos con un baño de cinc, níquel o un barniz epoxídico y son bastante frágiles. Los imanes de samario-cobalto no presentan problemas de oxidación pero tienen el inconveniente de ser muy caros. Están siendo sustituidos por los de boro-neodimio.

#### **Características:**

- Alta inducción y fuerza coercitiva.
- (Cobalto-Samario). Materias primas sujetas a fluctuaciones de valor al ser consideradas estratégicas.
- Dificultad de mecanizado por su fragilidad.
- Baja resistencia a la oxidación.
- (Neodimio). Escasa resistencia a temperaturas elevadas.
- A causa de sus altos valores magnéticos, pueden ser de muy reducidas dimensiones, lo cuál les da utilidad en aplicaciones imposibles para otros materiales magnéticos.
- (Cobalto-Samario). Muy estable a alta temperatura (250° C).
- (Neodimio). Buen precio con relación a sus prestaciones.

### **Principales aplicaciones:**

- Filtros magnéticos
- Instrumental de precisión
- Motores
- Sensores
- Micrófonos
- Altavoces

#### **1.1.5.1.4 Imanes flexibles**

Se fabrican por aglomeración de partículas magnéticas (hierro y estroncio) en un elastómero (caucho, PVC, entre otros). Su principal característica es la flexibilidad, presentan forma de rollos o planchas con posibilidad de una cara adhesiva. Consisten en una serie de bandas estrechas que alternan los polos norte y sur. Justo en la superficie su campo magnético es intenso pero se anula a una distancia muy pequeña, dependiendo de la anchura de las bandas. Se hacen así para eliminar problemas, como por ejemplo que se borre la banda magnética de una tarjeta de crédito (se anulan con el grosor del cuero de una cartera).

### **Características:**

- El es un material magnético permanente y flexible compuesto principalmente por polvo de ferrita de Bario ( $\text{BaO-6Fe}_2\text{O}_3$ ) o Estroncio ( $\text{SrO-6Fe}_2\text{O}_3$ ) y aglomerados como el caucho y otros materiales plásticos.
- No ensucia ni daña las superficies. Fácil de manipular, cortar o troquelar.
- Este material está imantado multipolarmente en una sola cara.

- Disponibles en una gran variedad de acabados: natural, con una capa de vinilo blanco, diversos colores y con una capa adhesivada.
- Disponibles en bobinas o en planchas cortadas según la necesidad de cada cliente.

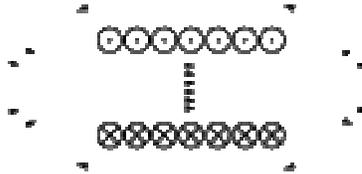
### **Principales aplicaciones:**

- Publicidad
- Juguetería
- Cierres de refrigeradoras
- Dispositivos electrónicos
- Llaves codificadas
- Etiquetaje para estanterías

#### **1.1.5.2 Imanes temporales**

Son aquellos imanes que presentan su magnetismo solamente mientras se mantiene una fuerza magnetizante el cual como resultado genera un campo magnético, como un ejemplo de esto podemos mencionar a un solenoide, el cual está compuesto por un alambre largo enrollado en forma de hélice, formándose un campo magnético razonablemente uniforme en el espacio rodeado por las vueltas del alambre cuando pasa por este una corriente. En la figura 3, se puede ver la sección transversal de un solenoide ideal donde el campo magnético es uniforme.

Figura 3. Corte transversal de un solenoide ideal



Fuente: **Raymond A. Serway, y John W Jewett Jr.**  
**Física para ciencias e ingenierías**  
**Pág. 234**

## 1.2 Clasificación de los materiales

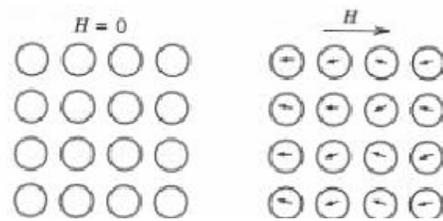
Los materiales o sustancias pueden clasificarse en tres categorías, dependiendo de sus propiedades magnéticas. Los materiales **paramagnéticos** y **ferromagnéticos** están constituidos con átomos con momentos magnéticos permanentes. Los materiales **diamagnéticos** contienen átomos que no poseen momentos magnéticos permanentes.

### 1.2.1 Materiales diamagnéticos

Cuando se aplica un campo magnético a un material diamagnético, se induce un débil momento magnético en dirección opuesta al campo aplicado. Esto hace que las sustancias diamagnéticas sean débilmente repelidas por un imán. Aunque el diamagnetismo está presente en toda materia, sus efectos son muchos menores que los del paramagnetismo o los del ferromagnetismo y solo son evidentes cuando no existen esos otros efectos.

Es inducido por un cambio en el movimiento orbital de los electrones debido a un campo magnético aplicado. Por ello, la permeabilidad relativa  $\mu_r$  es menor que la unidad y la susceptibilidad magnética es negativa; o sea que la magnitud del campo magnético dentro de un sólido diamagnético es menor que en el vacío.

Figura 4. **Esquema de los dipolos en un material diamagnético**

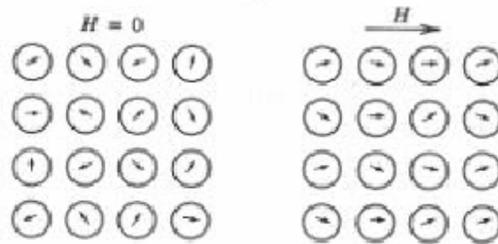


La figura 4 se ilustra esquemáticamente las configuraciones del dipolo magnético atómico para un material diamagnético con y sin campo externo; aquí las flechas representan momentos dipolares atómicos.

### 1.2.2 Materiales paramagnéticos

Para algunos materiales sólidos cada átomo posee un momento dipolar permanente en virtud de la cancelación incompleta del spin electrónico y de momentos magnéticos orbitales. En ausencia de un campo magnético externo las orientaciones de esos momentos magnéticos son alazar, tal que una pieza del material no posee magnetización macroscópica neta. Esos dipolos atómicos son libres para rotar y resulta el paramagnetismo, cuando ellos se alinean en una dirección preferencial, por rotación cuando se le aplica un campo externo.

Figura 5. Esquema de los dipolos magnéticos en un material paramagnético



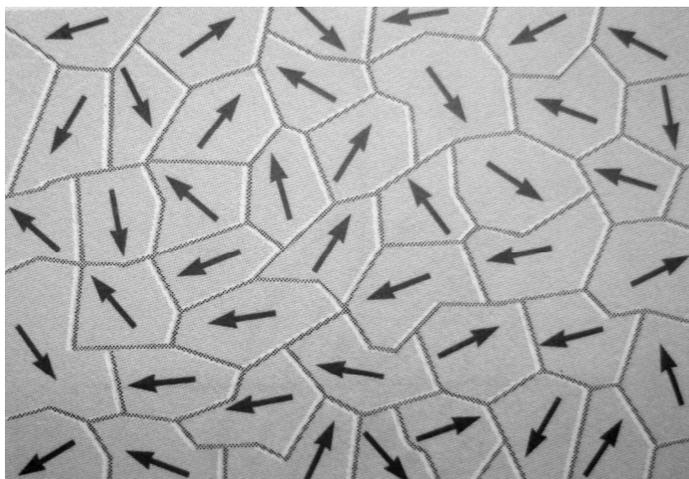
En la figura 5, se ilustra esquemáticamente los dipolos magnéticos en un material paramagnético. Estos dipolos magnéticos actúan individualmente sin interacción mutua entre dipolos adyacentes. Como los dipolos se alinean con el campo externo ellos se engrandecen, dando lugar a una permeabilidad relativa  $\mu_r$  mayor que la unidad y a una relativamente pequeña pero positiva susceptibilidad magnética. El efecto del paramagnetismo desaparece cuando se elimina el campo magnético aplicado. Las susceptibilidades magnéticas para los materiales paramagnéticos se consideran no magnéticos, porque ellos exhiben magnetización solo en presencia de un campo externo.

### 1.2.3 Materiales ferromagnéticos

Unas pocas sustancias cristalinas exhiben fuertes efectos magnéticos, lo que se conoce como ferromagnetismo. Algunos ejemplos de sustancias ferromagnéticas son el hierro, el cobalto, el níquel, el gadolinio y el disprosio. Estas sustancias contienen momentos atómicos permanentes que tienden a alinearse paralelamente uno con otro incluso en presencia de un campo magnético externo débil. Una vez alineados los momentos, la sustancia se mantiene magnetizada después de haberse retirado el campo externo. Esta alineación permanente se debe a un fuerte acoplamiento entre momentos vecinos.

Todos los materiales ferromagnéticos están constituidos por regiones microscópicas llamadas dominios, regiones dentro de las cuales todos los momentos magnéticos están alineados. Los límites entre diversos dominios con orientaciones diferentes se llaman paredes del dominio. En una muestra no magnetizada, los momentos magnéticos en los dominios están orientados al azar para que el momento magnético neto sea igual a cero como en la figura 6. Cuando la muestra se coloca en un campo magnético externo, crece el tamaño de aquellos dominios que tienen momentos magnéticos alineados con el campo, lo que da como resultado, una muestra magnetizada, como en la figura 7. Conforme el campo magnético se vuelve más fuerte, como en la figura 8, los dominios en los cuales los momentos magnéticos no están alineados con el campo se vuelven muy pequeños. Cuando se retira el campo magnético externo, la muestra puede retener una magnetización neta en la dirección del campo original. A temperaturas normales, la agitación térmica no es suficiente para alterar esta orientación de los momentos magnéticos.

Figura 6. **Orientación al azar de los dipolos magnéticos atómicos en los dominios de una sustancia no magnetizada**



Fuente: **Raymond A. Serway, y John W Jewett Jr.**  
**Física para ciencias e ingenierías**  
**Pág. 245**

Figura 7. Cuando se aplica un campo externo los dominios con componentes de momento magnético en la misma dirección de  $B_0$ . Se vuelven más grandes, dando a la muestra una magnetización neta

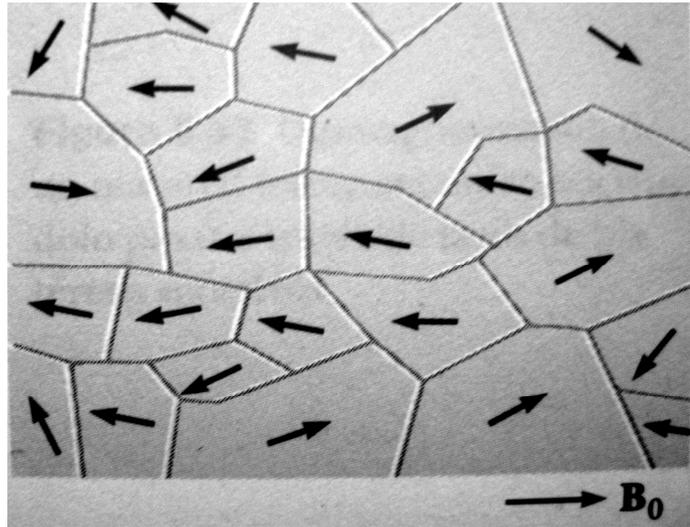
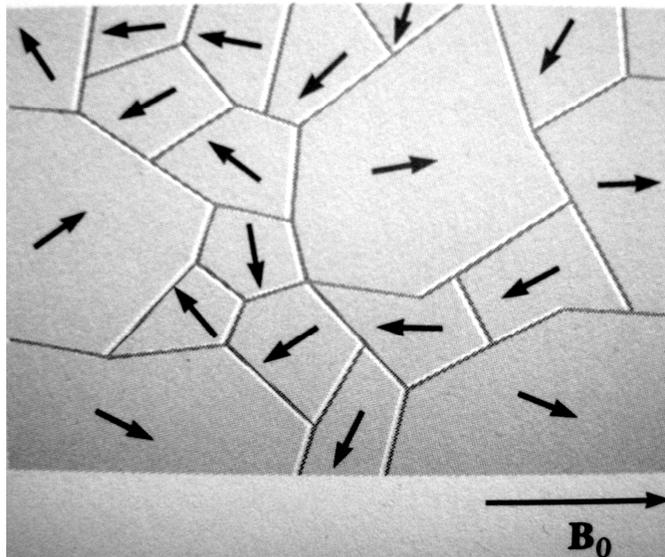


Figura 8. Conforme el campo se hace aún más poderoso, los dominios con vectores de momentos magnéticos no alineados con el campo externo se vuelven muy pequeños



Fuente: Raymond A. Serway, y John W Jewett Jr.  
Física para ciencias e ingenierías  
Pág. 245

Tabla I. **Resumen de los materiales diamagnéticos, paramagnéticos y ferromagnéticos**

Diamagnéticos	Paramagnéticos	Ferromagnéticos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• No son magnetizables.</li> <li>• No son atraídos por un campo magnético.</li> <li>• Son ligeramente repelidos por un campo magnético.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materiales que son débilmente atraídos por un campo magnético y tienen una pequeña tendencia a la magnetización; estos no son inspeccionables por partículas magnéticas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Son fácilmente magnetizables.</li> <li>• Son fuertemente atraídos por un campo magnético.</li> <li>• Son capaces de retener su magnetización después que la fuerza magnetizante ha sido removida.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mercurio.</li> <li>• Oro.</li> <li>• Bismuto.</li> <li>• Zinc.</li> <li>• Cobre</li> <li>• Plata.</li> <li>• Plomo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aluminio, magnesio.</li> <li>• Molibdeno, litio.</li> <li>• Cromo, platino.</li> <li>• Sulfato de cobre.</li> <li>• Estaño, potasio.</li> <li>• Aceros inoxidables austeníticos y de la serie 300.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hierro, níquel, cobalto, gadolinio y disprosio.</li> <li>• Mayoría de los aceros, inclusive inoxidables de la serie 400 y 500.</li> <li>• Aleaciones de cobalto y níquel.</li> <li>• Aleaciones de cobre, manganeso y aluminio.</li> </ul>

### 1.3 Individualización e identificación de productos terminados

Una de las formas de individualizar e identificar la fabricación de un producto es por medio de la colocación de una serie, la cual puede ser alfanumérica, únicamente numérica o una combinación de éstos con símbolos, y va a depender meramente de la casa fabricante. Estas series son troqueladas en una superficie metálica, y durante este proceso se utiliza una cuña o dado de acero que produce una indentación de profundidad aproximada de 1 milímetro.

### **1.3.1 Acabados superficiales**

Uno de aspectos mas importantes dentro del proceso proyectual de productos lo constituye la elección idónea de los acabados superficiales tanto desde el punto de vista de la captación del usuario (mercado), como de la resistencia y durabilidad en el medio que serán empleados los productos. Para mayor objetividad se han clasificado los acabados superficiales en: Físico-químicos, orgánicos y por último los inorgánicos con una variedad tan grande que van desde materiales metálicos hasta los cerámicos, cuyo uso va en aumento cada día gracias a las modernísimas tecnología de plasma iónico e implementación por proyección. La selección de los acabados superficiales requieren de un estudio bien detallado de las condiciones de explotación y uso de cada producto. Este estudio debe formar parte del producto desde su fase más primaria, como va a ser empleado, en qué medio ambiente funcionará, qué tipos de contactos tendrá con el usuario del producto, qué interacción tendrá el producto a diseñar con otros productos.

#### **1.3.1.1 Acabados superficiales físico-químicos**

Los acabados físico-químicos son procesos para corregir y alisar, así como para dar apariencia estética a las superficies de los materiales duros, como los metálicos y cerámicos, además de algunos plásticos y maderas duras. Se les llama también preparación mecánica superficial porque permiten un alto grado de calidad de la superficie para recibir otros materiales con buena adherencia, mayor resistencia a la corrosión y aspecto cosmético.

Los tipos principales de acabado físico-químico son: desbaste, abrillantador (bruñido), arenado, satinado y pulido químico o electroquímico. En los primeros casos se emplean los materiales llamados abrasivos, que son sustancias duras naturales o artificiales capaces de arrancar, desbastar y pulir una superficie. Los abrasivos son empleados en forma de granos y aglomerados. En el pulido químico actúan solo reactivos o sustancias químicas, las cuales reaccionan con las partes más sobresalientes de las superficies, generalmente metálicas y forman compuestos insolubles que quedan bloqueando las partes más profundas de la pieza, no permitiendo el contacto con las sustancias químicas, de estas zonas. Si a este proceso se le incorpora una fuente de corriente directa y específicamente el ánodo es conectado a la pieza, entonces por un proceso de disolución selectiva se alcanza una mayor velocidad de disolución denominándose entonces a este proceso electro pulido.

#### **1.3.1.2 Acabados superficiales orgánicos**

Como su nombre lo indica, refiere a la existencia de acabados superficiales de naturaleza orgánica destacándose la utilización de sustancias ya existentes en la naturaleza y otras que el hombre ha llegado a sintetizar. Es así que dentro de los objetivos o fines más relevantes de estos acabados está el de la protección contra la corrosión y la preservación de las cualidades de los artículos mediante el aislamiento físico del medio ambiente. Es de señalar que estos acabados superficiales son más débiles en cuanto a dureza, aunque desde el punto de vista de impermeabilidad son lo más eficientes.

### **1.3.1.3 Acabados superficiales inorgánicos**

Pasemos a caracterizar ahora aquellos acabados superficiales cuya composición química se refiere fundamentalmente a materiales de naturaleza inorgánica, destacándose los materiales metálicos y los óxidos. En este tipo de acabados superficiales se pueden emplear o no la electricidad para llevar a cabo las deposiciones; el material base generalmente participa en la formación de los compuestos finales del acabado; el calor como agente energético puede ser o no empleado y también los procesos de implantación, realmente violentos en los casos de materiales cerámicos se van haciendo cada vez más usuales.

#### **1.3.1.3.1 Metales y aleaciones**

Veamos primeramente los acabados superficiales con materiales metálicos. Por la vía de reacciones químicas en las que liberan elementos metálicos y que se depositan posteriormente sobre los materiales base están el cobre, el níquel y la plata. Aplicar metales como acabado superficial, bien sea como vía de anclaje a las pinturas o como acabado final utilizando la inmersión del objeto en el metal fundido es el clásico cinc galvanizado, su uso es conocido en láminas de hierro, en torres de alta tensión, entre otros.

#### **1.3.1.3.2 Óxidos**

Los óxidos como acabado superficial son también obtenidos por tres vías fundamentales. La térmica, es cuando calentamos los objetos y piezas en presencia de oxígeno con lo que se acelera la formación de diferentes tipos de óxidos simultáneamente.

Regulando la temperatura y el tiempo se alcanza diferentes tonalidades que tienen relación directa con la morfología de los granos de óxido y su sistema de cristalización. Los aceros inoxidable son los que dan mayor variedad de tonalidades. El uso de reactivos químicos es otra de las vías de obtención de óxidos y permite, junto con la temperatura obtener sobre el hierro la denominada capa de pavón, que es una mezcla de óxido ferroso y óxido férrico. Al proceso se le llama pavonado, tendiendo un uso mas generalizado y destacado en las armas de fuego, donde es necesario proteger al hierro o al acero del sudor de las manos durante la manipulación de las mismas.

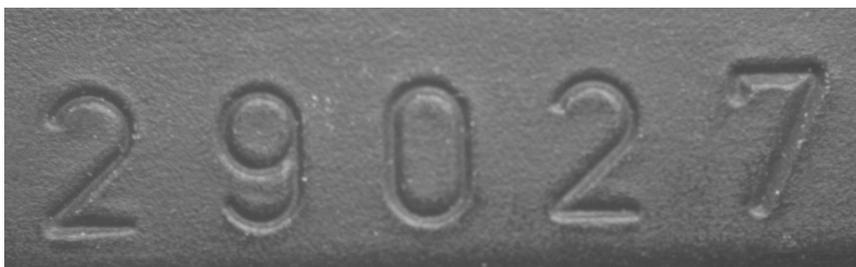
### **1.3.2 Tipos de troquelados**

Entre los tipos de troquelados más comunes sobre metales podemos mencionar:

#### **1.3.2.1 El troquelado de rollo**

El cual consiste en hacer rodar una rueda de acero, donde lleva los caracteres a dejar impresos sobre la pieza que se quiere identificar e individualizar. El troquelado es lento y una de sus limitaciones es que debe de ser en una superficie plana ver figura 9.

Figura 9. **Caracteres impresos por medio del troquelado de rollo**  
**Aumento macroscópico 125x**



### 1.3.2.2 El troquelado por impresión

Este tipo de troquelado se realiza por medio de un bloque de acero, donde se encuentran los caracteres a dejar impresos sobre la pieza que se quiere identificar e individualizar. Es semejante a un fechador convencional, donde se puede colocar la identificación secuencial deseada. Se efectúa por medio de un golpe fuerte y seco, ver figura 10.

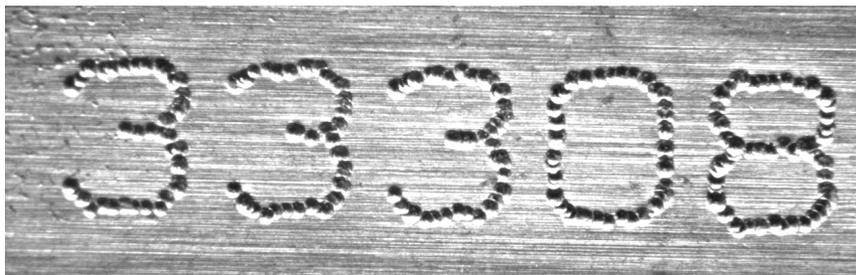
Figura 10. **Caracteres impresos por medio del troquelado por impresión**  
**Aumento macroscópico 125x**



### 1.3.2.3 El troquelado de alfileres

Este tipo de troquelado se realiza con un objeto de acero puntiagudo, el cual va formando los caracteres de la identificación por medio de una serie de puntos, es conocido también como matriz de puntos, ver figura 11.

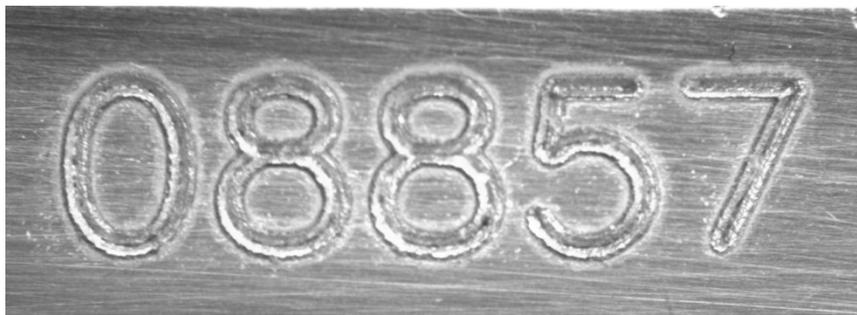
Figura 11. **Caracteres impresos por medio del troquelado de alfileres**  
**Aumento macroscópico 125x**



#### 1.3.2.4 Grabación con láser

Este tipo de impresión se realiza por medio de un haz de láser, el cual va formando los caracteres de la identificación. Se forman por medio de la elevada temperatura al momento del grabado de los mismos, ver figura 12.

Figura 12. Caracteres impresos por medio de grabación con láser  
Aumento macroscópico 125x



#### 1.3.3 Efectos de troqueles en trabajo en frío

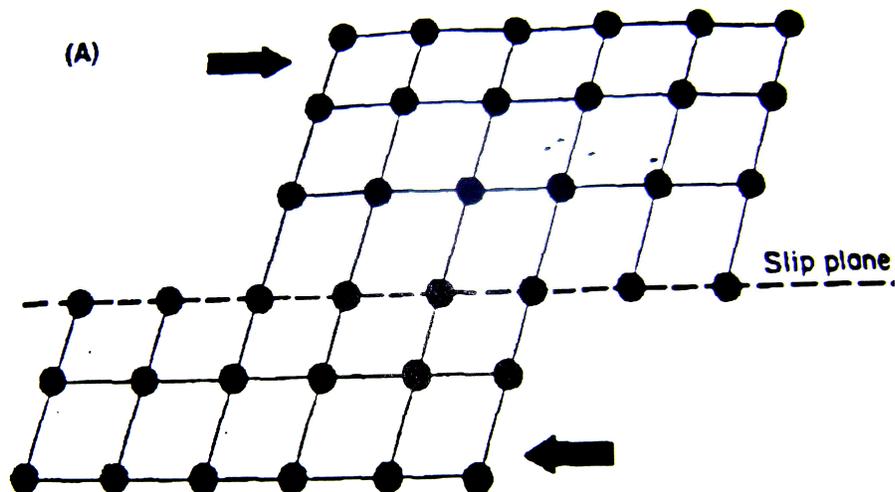
Es gracias a las alteraciones que ocurren en la estructura cristalina de un metal cuando se estampa un número de serie que se pueden restaurar los números borrados. A continuación se hace una breve descripción de la teoría de la deformación del material.

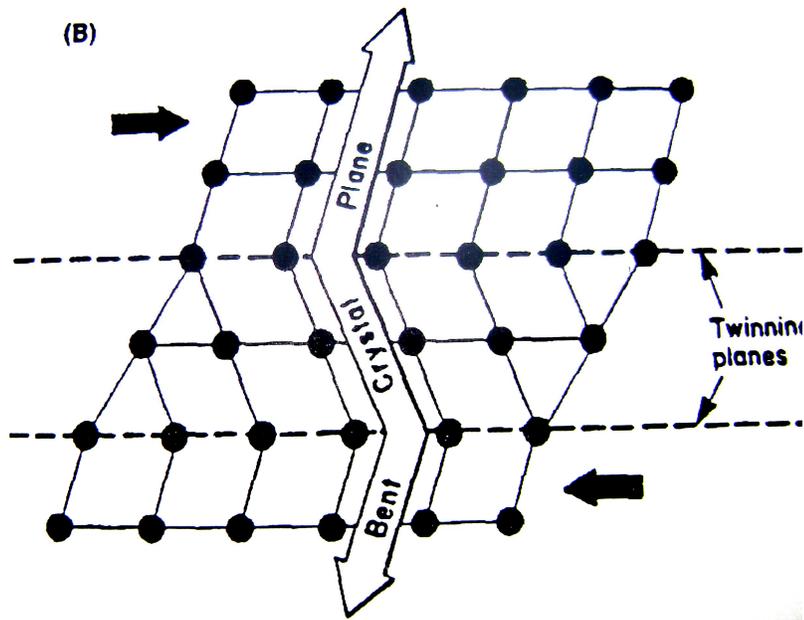
Cuando se aplica un esfuerzo (tensión, compresión o torsión) a un metal, sus granos se deforman. Si el esfuerzo rebasa el límite elástico del metal, la estructura no vuelve a su condición original cuando cesa el esfuerzo. El resultado es la deformación permanente, también llamada deformación plástica. Como los metales presentan esta propiedad, se les puede dar forma con procesos tales como el laminado, revenido, doblado, extrusión y forja.

La deformación plástica produce dos clases de movimientos de átomos dentro del cristal, conocidas como deslizamiento y maclaje. El modo del movimiento de cada uno se ilustra en la figura 13 A y B, las flechas negras muestran la dirección de los esfuerzos cortantes que causan la deformación. El deslizamiento involucra que un bloque de átomos se corre sobre el resto del reticulado por algún múltiplo de la distancia interatómica. Semejante deformación ocurre a lo largo de direcciones cristalográficas específicas llamadas planos de deslizamiento. El proceso crea bordes nuevos en la superficie del cristal, lo que produce líneas de deslizamiento observables bajo la observación metalográfica. El maclaje se produce cuando planos paralelos de átomos se deslizan consecutivamente uno sobre el otro por una fracción de la distancia interatómica.

A lo largo de los planos de maclaje, se genera una nueva orientación de la estructura reticular. La deformación dobla cualquier plano cristalino que cruce los planos de maclaje. De manera tal que la región situada entre los planos se puede observar metalográficamente y se conoce como banda de maclaje.

Figura 13. Deformación de cristales: (A) Por deslizamiento. (B) Por maclaje



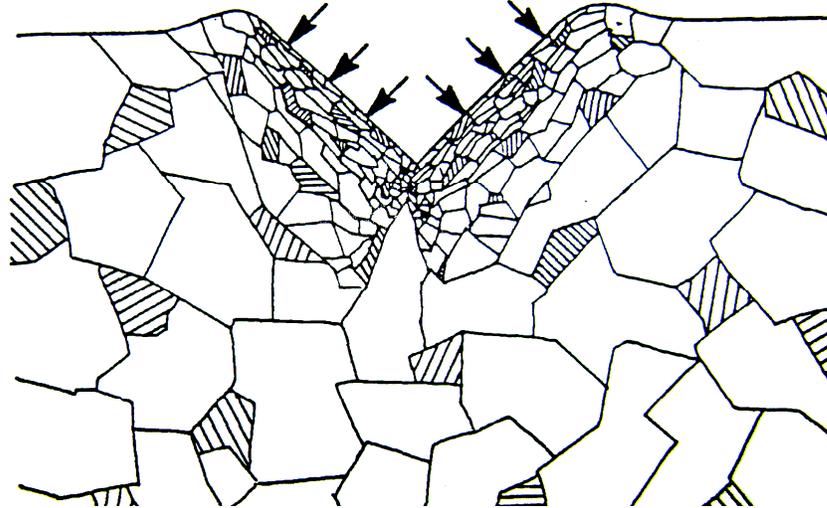


Fuente: **Richard S. Treptow**  
**Manual de métodos para la restauración de números borrados**

En un metal policristalino, el esfuerzo aplicado se transmite a través del material de un grano a otro, causando deformación plástica en cada parte. Como resultado, aparecen líneas de deslizamiento y bandas de maclaje al tiempo que disminuye el tamaño del grano.

Cuando se estampa o imprime un número de serie en un metal, el esfuerzo creado es mayor en el punto de aplicación del dado. La figura 14. ilustra esquemáticamente las fuerzas de compresión resultantes y la región de deformación plástica por debajo del número estampado, se producen líneas de deslizamiento, bandas de maclaje y disminución del tamaño del grano donde el metal absorbe la compresión del estampado la cual es mostrada por las flechas. Mas allá de esta región localizada, las fuerzas de compresión están demasiado disipadas para causar deformación plástica, pero si hay una región más profunda de deformación elástica.

Figura 14. Corte transversal esquemático de la deformación en un número estampado



Fuente: **Richard S. Treptow**  
**Manual de métodos para la restauración de números borrados**

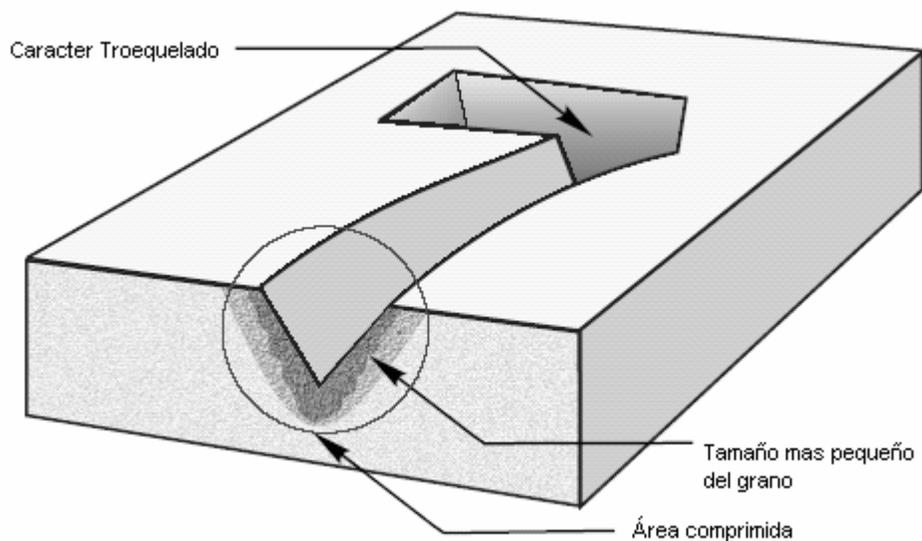
Es sabido que un trozo de alambre doblado es difícil de enderezar. En particular, la porción doblada tiene una fuerza especial que se opone a que vuelva a la forma original. Esta observación ilustra uno de los muchos modos en que la deformación plástica afecta a un metal. La industria aprovecha tales efectos para modificar las propiedades de los materiales en la forma deseada. Todos los procesos de fabricación tales como el laminado en frío, la forja, el revenido, el estampado, el prensado y el doblado, producen deformación plástica.

Los esfuerzos del endurecimiento mecánico se eliminan si el metal es recocado. En este proceso, el metal se calienta a un punto que desaparece la estructura deformada. Todos los procedimientos de restauración de números de serie se basan en el principio de que el metal deformado o endurecido mecánicamente que se halla inmediatamente abajo del estampado tiene propiedades diferentes que el que lo rodea.

### 1.3.4 Técnicas de obliteraciones

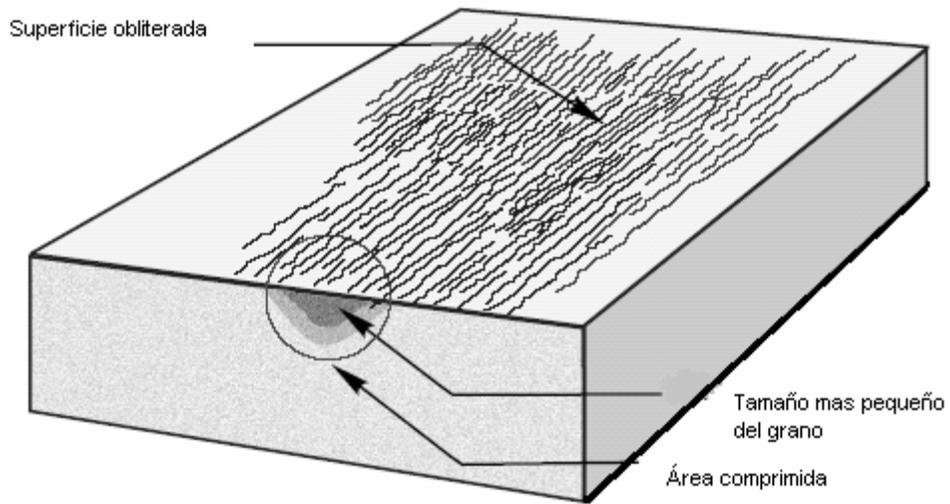
La obliteración es la técnica de borrar una identificación de serie, que ha sido previamente troquelada mediante trabajo en frío por medio de métodos mecánicos. En la figura 15 se muestra el caracter siete (7) en donde se observa la deformación en el área troquelada. En la figura 16 se muestra dicho caracter cuando ha sido obliterado. La obliteración, puede ser en la identificación de serie parcial ó total. Estas técnicas versan en la remoción del material que porta dicha identificación, las cuales pueden ser por medio del esmerilado, machuelado, taladrado, limado, por medio de golpes (martillado), entre otros.

Figura 15. Deformación del área troquelada



Fuente: **Richard S. Treptow**  
**Manual de métodos para la restauración de números borrados**

Figura 16. Superficie obliterada. Caracter siete (7) obliterado



Fuente: **Richard S. Treptow**  
**Manual de métodos para la restauración de números borrados**



## **2. MÉTODO DE INSPECCIÓN CON PARTÍCULAS MAGNÉTICAS**

### **2.1 Tipo de partículas magnéticas**

Como partículas magnéticas se utilizan limaduras de hierro, de tamaño comprendido entre 0.1 y 0.4 milímetros, con colores que ayuden a mejorar el contraste como lo son el negro, rojo y verde. Otro tipo de partículas magnéticas son las fluorescentes, que suelen proporcionar una posibilidad de localización hasta cien veces más que las visibles, si se aplican por vía húmeda. Normalmente se emplean partículas de varios tamaños mezcladas en una proporción idónea teniendo en cuenta que las mas pequeñas y alargadas aumentan la sensibilidad y las más gruesas y redondas ayudan a detectar grandes discontinuidades y arrastran a las mas pequeñas evitando que se formen falsas indicaciones.

#### **2.1.1 Método de aplicación de las partículas magnéticas**

Los métodos de aplicación de las partículas magnéticas pueden ser en vía seca y vía húmeda, los cuales se deben de aplicar de una manera uniforme a lo largo de la superficie y en la cantidad correcta.

### **2.1.1.1 Método de vía seca**

En este método las partículas son aplicadas directamente sobre la superficie magnetizada de la pieza con la ayuda de aplicadores manuales de polvo como por ejemplo: Pinceles o bombas de pulverización. Esta técnica permite la recuperación de las partículas libres de contaminación una vez inspeccionada la pieza.

Comparado con el método de vía húmeda, es un método más cómodo y limpio, es más fácil de utilizar en piezas grandes y con equipos portátiles, permitiendo localizar con facilidad discontinuidades subsuperficiales.

### **2.1.1.2 Método de vía húmeda**

En este método las partículas se encuentran en suspensión en un medio líquido, que puede ser agua, en aerosol, queroseno o derivados del petróleo. Las partículas tienen una granulometría mucho más fina que permite detectar discontinuidades muchas más pequeñas, por lo que este método es el que emplearemos para el estudio en de este trabajo. En este método las partículas al encontrarse en dispersión, tienen una mayor movilidad que por vía seca, cubriendo con facilidad piezas grandes o irregulares y es el más rápido para el control de grandes series de piezas pequeñas.

## **2.2 Técnicas de magnetización**

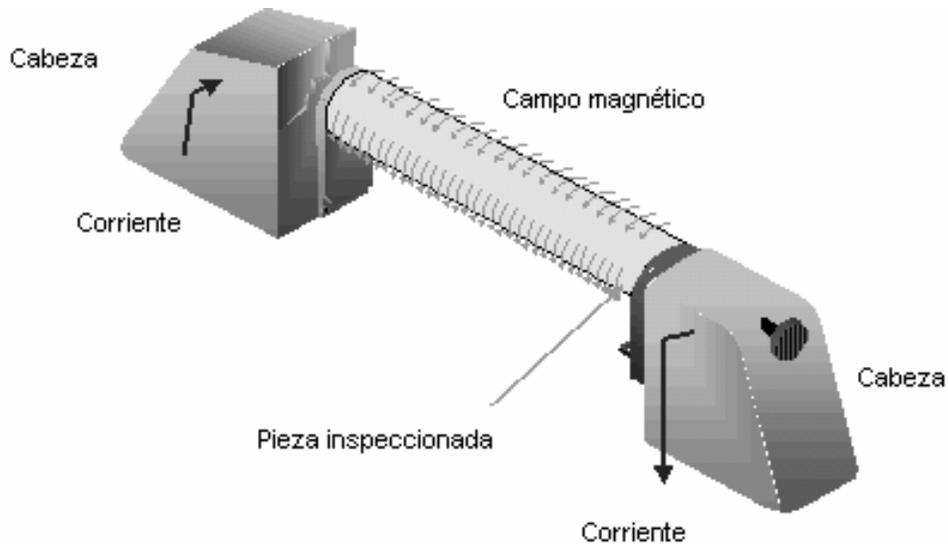
Uno de los requerimientos básicos para el método de inspección con partículas magnéticas, es que la pieza debe de ser adecuadamente magnetizada de tal forma que el escape del campo creado por la discontinuidad, atrape las partículas magnetizables. Los imanes permanentes son útiles para estos propósitos pero generalmente la magnetización se produce por electroimanes o con el flujo magnético asociado al flujo de una corriente eléctrica. Básicamente, la magnetización deriva del campo magnético circular generado cuando una corriente fluye por un conductor. La dirección del campo depende de la dirección con la que la corriente fluye por un conductor.

Entre las técnicas más comunes de la magnetización de los materiales se encuentran:

### **2.2.1 Inducción directa**

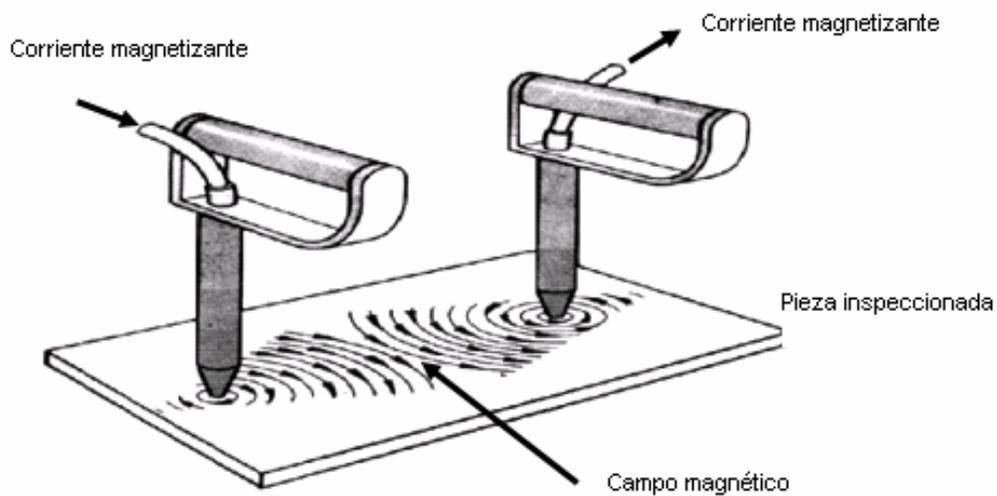
Para piezas pequeñas que no tengan orificios interiores pasantes, el campo circular se produce por medio del contacto directo de la pieza (circulación de corriente a través de la pieza). Este se realiza colocando las piezas entre cabezales de contacto por los que circula la corriente a través de ella, produciendo un campo magnético circular, aproximadamente perpendicular a la dirección del flujo de la corriente, como se muestra en la figura 17.

Figura 17. Técnica de magnetización entre cabezales



Otra técnica de magnetización de la inducción directa es la llamada puntas de contacto, en la cual se utilizan electrodos de cobre, bronce o aluminio, al hacer pasar la corriente a través de ellos, estos producen un campo magnético circular en la pieza inspeccionada, alrededor y entre cada electrodo suficiente para una examinación local como se muestra en la figura 18.

Figura 18. Técnica de magnetización de puntas de contacto

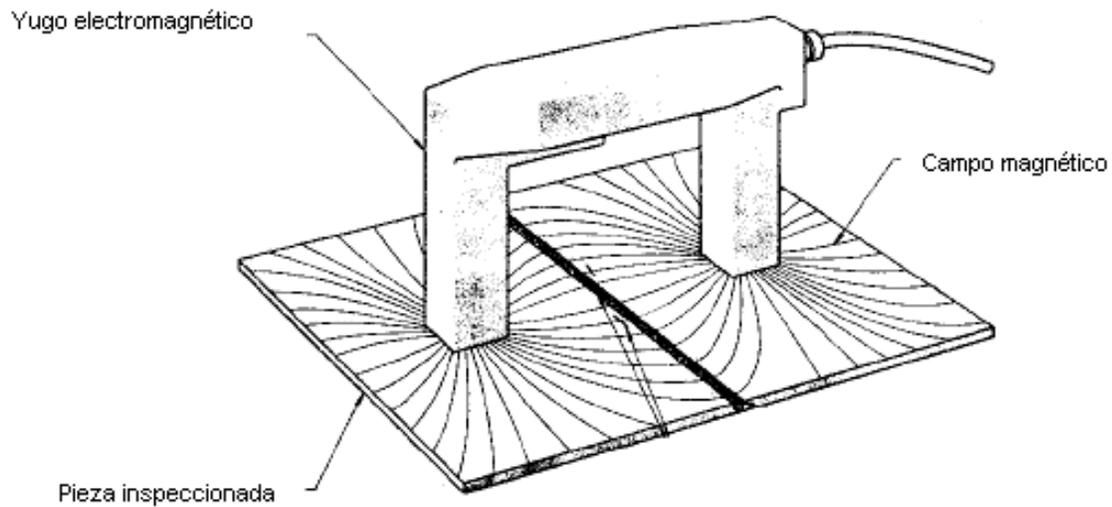


### **2.2.2 Inducción indirecta**

Esta técnica de magnetización de inducción indirecta, la corriente eléctrica se hace pasar por un conductor central, generalmente de cobre, que pasa a través de la pieza que se está inspeccionando. Los defectos que se encuentran son perpendiculares a la dirección del campo inducido. En esta técnica la corriente no fluye a través de la pieza inspeccionada, si no en un conductor secundario; el flujo magnético es inducido en la pieza, la cual puede crear un flujo circular y toroidal, longitudinal o multidireccional.

Entre estos conductores secundarios podemos encontrar el yugo electromagnético que para fines de este trabajo será el que utilizaremos, el cual consiste en un arrollamiento sobre un cuerpo en forma de “U” hecho de hierro blando con chapas al Silicio (Si). Sus brazos pueden ser fijos o articulados, estos últimos sirven para variar la distancia de contacto y para adaptarse a diferentes geometrías de la pieza a inspeccionar. Cuando se trabaja con corriente continua hay gran penetración del campo magnético. En general, las discontinuidades (siluetas de caracteres obliterados) al ser revelados deberían de estar entre los dos polos del yugo y orientados perpendicularmente a la línea imaginaria que los conecta como se muestra en la figura 19.

Figura 19. Yugo electromagnético.



### 2.2.3 Método residual

El medio se aplica después que la pieza ha sido magnetizada y suspendida, la fuerza magnetizante depende totalmente de la cantidad de magnetismo residual en la pieza inspeccionada, no es usado en aleaciones pobres de acero, que tienen poca retentividad, en este método se aplica un medio húmedo ya sea por baño o inmersión.

### 2.2.4 Método continuo

La aplicación del medio es simultánea con la operación de magnetización de la pieza. Se utiliza el baño húmedo de preferencia y puede ser con partículas teñidas con tinta fluorescentes.

### **2.2.5 Magnetización circular**

En este método, el flujo de la corriente eléctrica que atraviesa la pieza a inspeccionar produce un campo magnético cuyas líneas de flujo forman unas curvas cerradas al rededor de la pieza. Este tipo de magnetización se consigue tanto por inducción como por el paso de corriente eléctrica a través de la pieza.

### **2.2.6 Magnetización longitudinal**

Se denomina así al método de magnetización que produce un campo magnético en la dirección longitudinal de la pieza a inspeccionar. Se obtiene por inducción del campo magnético mediante bobinas o yugos electromagnéticos.

## **2.3 Aplicaciones**

El método de inspección con partículas magnéticas es utilizado en nuestros medios para la detección de discontinuidades superficiales y subsuperficiales (hasta  $\frac{1}{4}$ " de profundidad aproximadamente para situaciones prácticas). En este estudio se estará aplicando también en la detección de caracteres obliterados, el cual entra como una discontinuidad superficial, en materiales magnetizables tales como el hierro, níquel, cobalto, etc. Otras de las aplicaciones pueden ser durante los procesos de conformación, mecanizado, tratamientos térmicos y electroerosión y en componentes terminados, para detectar discontinuidades relativas a materiales, procesos de fabricación y al servicio.

Los procesos de partículas magnéticas no pueden emplearse en materiales no magnetizables, tales como el aluminio o el cobre. Uno de los objetivos de este método es la detección, lo antes posible, de discontinuidades dentro de las distintas secuencias de los procesos de fabricación, ello permite que no se realicen trabajos sobre piezas que posteriormente serían rechazadas. Aún así este método es ampliamente utilizado en el ámbito industrial y algunas de las principales aplicaciones las encontramos en:

- El control de calidad o inspección de componentes maquinados.
- La detección de discontinuidades en la producción de soldaduras.
- En los programas de inspección y mantenimiento de componentes críticos en plantas químicas y petroquímicas (Recipientes a presión, tuberías, tanques de almacenamiento, etc.)
- La detección de discontinuidades de componentes sujetos a cargas cíclicas (Discontinuidades por fatiga).
- Investigación forense, en la detección de caracteres obliterados.

### **3. FUNCIONAMIENTO Y METODOLOGÍA**

#### **3.1 ¿Cómo funciona la recuperación de números obliterados en metales?**

Este método de ensayo está basado en el principio en que las líneas de fuerzas existentes en un objeto magnetizado por medio de un yugo electromagnético, las cuales son localmente distorsionadas cuando atraviesan el área donde se detectó señales de compresión dejada por el troquelado de caracteres que fueron obliterados (borrados) por cualquier método de los expuestos en el subcapítulo 1.3.4 del presente trabajo. Esta distorsión obliga a que parte de las líneas de fuerza magnéticas salgan y vuelvan a entrar en el área que se está inspeccionando formando pequeños imanes, allí donde se encuentra la discontinuidad. Este fenómeno se llama fuga de flujo magnético. Esta fuga de flujo es capaz de atraer partículas de material magnético finamente dividido, el cual forma una línea exterior o indicación de la discontinuidad (silueta de caracteres obliterados).

La situación ideal de conseguir en el examen por partículas magnéticas es aquella que nos da la mayor sensibilidad para las discontinuidades más pequeñas. Ello se consigue combinando adecuadamente aspectos tales como: Fuerza del campo magnético aplicado, densidad del flujo en el cuerpo del material, tamaño de las partículas magnéticas y su método de aplicación y condiciones óptimas de observación visual.

### **3.1.1 Procesos moleculares de la estructura**

Por medio de un examen microscópico podemos observar que los metales poseen estructura policristalina. Es decir que poseen cristales de forma irregular, o granos, que se forman cuando el metal fundido se enfría hasta el punto de solidificación. Entre los granos, hay regiones entrelazadas conocidas como límites intergranulares.

Los átomos del metal en los granos cristalinos se disponen en cierto orden tridimensional. La disposición atómica entre los límites intergranulares que la de los cristales individuales, y se cree que ésta sea la razón de la mayor resistencia que se observa en los límites intergranulares. Regulando la velocidad del enfriamiento durante la solidificación, se puede controlar el tamaño de los granos y la densidad de los límites intergranulares. Las propiedades mecánicas se ven afectadas por ello; en general, los granos pequeños resultan en mayor solidez y dureza, mientras que los granos grandes promueven mayor plasticidad.

Cuando se troquelan caracteres sobre una pieza, se está modificando la estructura cristalina del área de trabajo (área comprimida), de tal manera que existen líneas de deslizamiento, una zona plástica produciendo dos movimientos de átomos dentro del cristal conocidas como deslizamiento y maclaje, existiendo también una zona con disminución del tamaño del grano donde el metal absorbe la compresión del estampado. Cuando la obliteración no sobrepasa la zona plástica es factible recuperar dichos caracteres que en si, es lo que nos interesa para fines del estudio de este trabajo.

### **3.1.2 Visualización de siluetas de caracteres recuperados**

Para la visualización de caracteres para fines de este trabajo, estaremos aplicando el método de partículas húmedas. Al momento de recuperar éstas siluetas se estarán observando agrupaciones de partículas metálicas, las cuales serán atraídas por la fuga de flujo magnético, las cuales darán origen a la formación de éstas.

Con respecto al ángulo de visualización tiene que ser en diferentes direcciones, ya que es posible que si tenemos, por ejemplo un ángulo de  $90^\circ$ , con respecto a la pieza inspeccionada, es posible que únicamente observemos ciertos caracteres o cierto carácter, por lo que al variar este ángulo ya sea positivo o negativo con respecto a la vertical, podremos lograr la visualización de los otros caracteres. Sin embargo podríamos, no visualizar completamente las siluetas, por lo que unido a lo descrito anteriormente se tendrían que hacer movimientos visuales hacia delante o hacia atrás con respecto a la pieza inspeccionada, para poder tener una buena visualización de las siluetas de los caracteres que se están recuperando, que es lo que primordialmente interesa en este trabajo.

### **3.1.3 Efectividad del método**

El método de recuperación de caracteres obliterados por medio de partículas magnéticas, es un ensayo de pruebas no destructivas, es decir que al momento de aplicarla no estamos alterando en nada la estructura del trabajo en frío del área inspeccionada y en si, la pieza misma. Por lo que hace que este método pueda aplicarse una y otra vez obteniendo los mismos resultados iniciales de recuperación.

Otro método de recuperaciones de caracteres obliterados es el método químico, el cual consiste en la aplicación de un químico oxidante, haciendo que el metal pierda mas electrones en el área donde se encuentra el trabajo en frío, luego se aplica un químico reductor al cual se le agrega una sal metálica que reacciona con el metal de la pieza. En este método existen cambios en el trabajo en frío, por lo que podemos decir hasta cierto punto que es una prueba de recuperación de caracteres destructiva, ya que al realizarla una vez y otra vez, se está haciendo un desgaste al área inspeccionada lo cual hace que el trabajo en frío desaparezca. Al momento de hacer un mal tratado del área inspeccionada después de aplicado este método y si no lleva una correcta neutralización de la pieza, la misma se corroerá, ya que los reactivos utilizados son altamente corrosivos, no olvidando que aunque se siga un proceso adecuado de tratamiento de la pieza, siempre quedarán presentes pequeños residuos de éstos óxidos, hasta se podría pensar en insignificantes puntos de corrosión, pero debido que esto es como un cáncer, el mismo seguirá creciendo microscópicamente y al término de cierto tiempo empezará a notarse en la estructura de la pieza.

Otro método de recuperación de caracteres es el electroquímico, en el cual es similar al método químico, únicamente es que en este se agrega corriente directa, la cual se consigue por una fuente externa, la misma es suministrada por medio de dos alambres, uno conectado directamente a la pieza de trabajo y el otro al medio donde se está suministrando el químico. Al igual que el método químico, éste tiene que llevar un buen proceso de tratado de limpieza sobre el área inspeccionada.

Al comparar el método químico y electroquímico con el método de partículas magnéticas como en todo proceso en la industria, se empieza siempre con un método de prueba no destructiva, por lo que hace que el método que se está estudiando sea el más aconsejable para la iniciación del proceso de recuperación de caracteres obliterados. Unido a lo anterior, en este método no necesita mayor gasto económico ya que no se requiere de mucho equipo y únicamente el gasto sería en la compra de partículas magnéticas.

## **3.2 Metodología**

### **3.2.1 Ubicación del área de trabajo**

La ubicación del área de trabajo está estrechamente vinculada con lo descrito en las técnicas de obliteración enunciadas en el subcapítulo 1.3.4 ya que éstas nos darán la pauta que en esa área existió alguna identificación y que la misma fue obliterada. Lo anterior se consigue mediante una inspección visual minuciosa sobre la estructura de la pieza a la que se quiere recuperar su identificación, para fines de este trabajo se estarán analizando armas de fuego tema que se estará ampliando en el subcapítulo 3.2.1.1.

Así también se tiene que tener experiencia para la localización de ésta área, ya que existen en el mercado muchas casas fabricantes las cuales suelen colocar estos caracteres de identificación en diversos lugares de la estructura de las mismas.

Otro de los parámetros que deben de tenerse muy en cuenta es que la caligrafía, forma de troquelar las identificaciones, profundidad de troquelado, caracter de iniciación de una identificación, tipo de troquelado de la identificación, lugar de troquelado de caracteres de identificación, varían dependiendo de las casas fabricantes, como en años de fabricación de una misma casa fabricante, país de fabricación, por lo que se tiene que tener una buena experiencia para poder realizar este tipo de investigación forense.

#### **3.2.1.1 Fabricación de armas de fuego y métodos de numeración en serie**

En la industria de armas de fuego existe muy poca uniformidad en lo tocante a las aleaciones metálicas y los procedimientos de fabricación empleados. Cada fabricante tiene materiales y técnicas preferidas, las cuales pueden diferir en cada modelo de arma de fuego que se produce. Con el tiempo, pueden darse variaciones de fabricación aun en el caso de un solo modelo hecho por una misma casa fabricante a lo largo de varios años.

A menudo, los miembros de la industria consideran secreta la información específica sobre los métodos de fabricación. Por esta razón no se dispone de obras de referencia sobre el particular. En esta sección se describe brevemente los procedimientos de fabricación y las aleaciones que se emplean en varias armas de fuego escogidas, y se basan en información proporcionada por los respectivos fabricantes. Las armas de fuego se catalogan según la aleación metálica usada para hacer el armazón o cajón de mecanismos, puesto que esta parte lleva troquelado el número de serie principal.

Los aceros al carbono se distinguen por el hecho que el principal elemento aleante es el carbono. No se añade otros elementos en cantidades apreciables. Estos aceros tienen designaciones AISI (Instituto Americano del Hierro y del Acero) 10XX o 11XX. Esta última categoría indica un metal sulfurado. Los dos últimos dígitos de estas designaciones indican el contenido de carbono en centésimas de uno por ciento. Los aceros bajos en carbono tienen el 0.25% o menos de carbono, y los aceros medios en carbono tienen de 0.25% a 0.50% de carbono.

Los aceros al carbono tienen una larga historia en la fabricación de armas de fuego, pero en los tiempos modernos han visto aparecer los aceros aleados con propiedades especiales. Los aceros aleados se pueden considerar aceros al carbono a los que se le han añadido elementos para mejorar características deseadas. Típicamente, el porcentaje total de elementos aleantes no pasa de 5% en esta clasificación. Es común usar cromo y molibdeno, para mejorar la templabilidad y la resistencia a la corrosión. Las designaciones AISI 40XX y 41XX indican, respectivamente, aleaciones carbono/molibdeno y cromo/molibdeno. Las armas de fuego costosas que poseen a una mayor resistencia a la corrosión se fabrican de acero inoxidable. El contenido de cromo del acero inoxidable puede llegar hasta el 27%. El níquel también está presente a menudo en el acero inoxidable.

Las armas de fuego baratas tienen a menudo cajones de mecanismos de aleación de aluminio o aleación de cinc. Las series 2XXX y 7XXX de la AA (Asociación del aluminio) indican respectivamente aleaciones de aluminio/cobre y aluminio/cinc. Son aleaciones para forja que poseen la elevada resistencia deseada para la fabricación de armas de fuego, así como la ligereza característica del aluminio.

La aleación mas común de cinc contiene alrededor 4% de aluminio y cantidades menores de cobre y magnesio. No es tan ligera o suave como las aleaciones de aluminio.

Los procedimientos de fabricación usados típicamente en la manufactura de armas de fuego de alta calidad se ilustran con los varios modelos de armas cortas hechos por la Colt Industries de Hartford, Connecticut. Muchos revólveres Colt, tienen cajones de mecanismos de acero aleados, entre ellos los modelos Trooper, Detective, Law Man y Phytón. El Trooper se hace de aleación modificada AIM 4040 lámina en caliente que se forja y luego se trabaja mediante una máquina según las especificaciones.

Al cajón de mecanismos se le coloca los caracteres de identificación cuando el metal se halla en estado normalizado. No se le somete a ninguna otra operación de calentamiento o temple después de troquelada la identificación. Como paso final, se aplica un acabado protector de óxido negro común el conocido como pavonado o electrochapa de níquel. Como ocurre a menudo, esta arma de fuego se hace de más de un solo metal; la corredera es de acero bajo en carbono.

Los revólveres Colt, Simple Acción, calibre .45", así como los modelos 1700 y 2400 se hacen con aceros medios en carbono tales como AISI 1026 y 1137. El armazón se forja y maquina, y se le troquela la identificación en el estado normalizado. En estos aceros, el temple y la durabilidad que demanda un arma de fuego se consigue mediante temple superficial en caja como paso final.

La pistola ACP, calibre .45", fabricada por la Colt, tiene un cajón de mecanismos forjado de aleación de aluminio. Después que se le ha dado forma a la pieza, se le troquea la identificación y no recibe ningún otro tratamiento, salvo un acabado azul el cual consiste en un anodizado suave con ácido sulfúrico o un electrochapado de níquel.

La RG, de Miami Florida, produce cajones de mecanismos de revólver tanto de aleación de cinc como de acero. En los dos casos, la pieza se moldea en vez de forjarse. Después de la fundición, la parte se maquina y se le troquea la identificación y como paso final se pavona.

### **3.2.2 Preparación del área de trabajo**

Ya ubicada el área de trabajo, se prosigue a la preparación de la misma, la cual consiste en eliminar por completo la suciedad, grasas, óxidos, pinturas y otros elementos que pueda tener el área de trabajo. Se consigue por medio de la aplicación de un solvente orgánico como el thinner, que es conocido como un diluyente o adelgazador de pinturas y está compuesto por un solvente activo, un cosolvente y un diluyente o bien por medio de acetona, la cual es un compuesto químico.

Luego se tiene que pulir ésta área y se puede conseguir por medio de una herramienta de rotación, en la que se le coloca pequeños discos de papel lija, los cuales pueden ser de numeración 280, la cual presenta una granulación mas gruesa, por lo que esta será utilizada siempre y cuando el área de trabajo se encuentre con un tipo de obliteración que presente una material en un alto y bajo relieve.

Después se debe de utilizar papel lija número 500, utilizándola en forma manual y en una sola dirección o bien si se utiliza la herramienta de rotación, se tiene que hacer a una velocidad baja ya que el objetivo de este proceso es dejar una superficie brillante sin desgastarla demasiado de tal manera que quede similar a un espejo.

Si al momento de realizar el proceso de preparación del área de trabajo se encuentra un rayón profundo, se tiene que tratar de desvanecer, siempre con el cuidado de no desgastar más allá del trabajo en frío, ya que de lo contrario no se podrá recuperar la identificación.

Si en dado caso el rayón profundo queda aún visible, se tiene que tener cuidado al momento de visualizar las siluetas recuperadas ya que el mismo, podría tener una acumulación de partículas magnéticas las cuales dificultarán la lectura de las siluetas de los caracteres recuperados.

### **3.2.3 Magnetización de la pieza**

La magnetización de la pieza se consigue por medio de diferentes métodos tal y como se describieron en el subcapítulo 2.2, para fines de este trabajo estaremos utilizando el método de inducción indirecta, que se obtendrá por medio de la utilización del yugo electromagnético y como elementos de prueba se estarán utilizando armas de fuego.

### **3.2.4 Aplicación de partículas magnéticas**

Ya con la pieza magnetizada, se procede a la aplicación de las partículas magnéticas lo cual se hará por medio de una pipeta, absorbiendo con éste la cantidad adecuada a utilizar, para recubrir el área de trabajo previamente ubicada. El método que se utilizará es el de vía húmeda como se describió en el subcapítulo 2.1.1.2

### **3.2.5 Inspección de siluetas de caracteres recuperados**

La inspección de caracteres recuperados, es el paso más fundamental de este trabajo ya que aquí es donde se consigue el objetivo primordial del mismo al fundamentar científicamente como funciona dicha recuperación.

Para lo cual se consigue por la experiencia de la persona que la está realizando. Se tiene que tener cuidado ya que se podría recuperar caracteres no originales de fabrica, es decir que se tendrá una doble alteración en el arma de fuego a trabajar. Por lo que previo a concluir sobre la identificación que le corresponde a dicha arma de fuego, se tiene que tener conocimiento de la forma caligráfica, cantidad de caracteres que le corresponden, cantidad y ubicación de literales que lleva la identificación para la marca de arma de fuego que se está trabajando.

### **3.2.6 Limpieza del área de trabajo**

La limpieza del área de trabajo consiste en quitar los materiales utilizados en la prueba como lo son las partículas magnéticas, lo cual se consigue por medio de un algodón impregnado de solvente orgánico o acetona, removiéndolo en forma circular. Como el área de trabajo ya perdió el pavonado que la protegía, se le tiene que aplicar una pequeña capa de aceite, con el fin de protegerla y que la misma no se oxide con el ambiente.

## **4 TRABAJO DE CAMPO**

### **4.1 Método experimental**

En esta parte del trabajo estaremos aplicando los pasos enumerados en la metodología descrita en los subcapítulos 3.2.1 al 3.2.6, fundamentados en el marco teórico del presente trabajo.

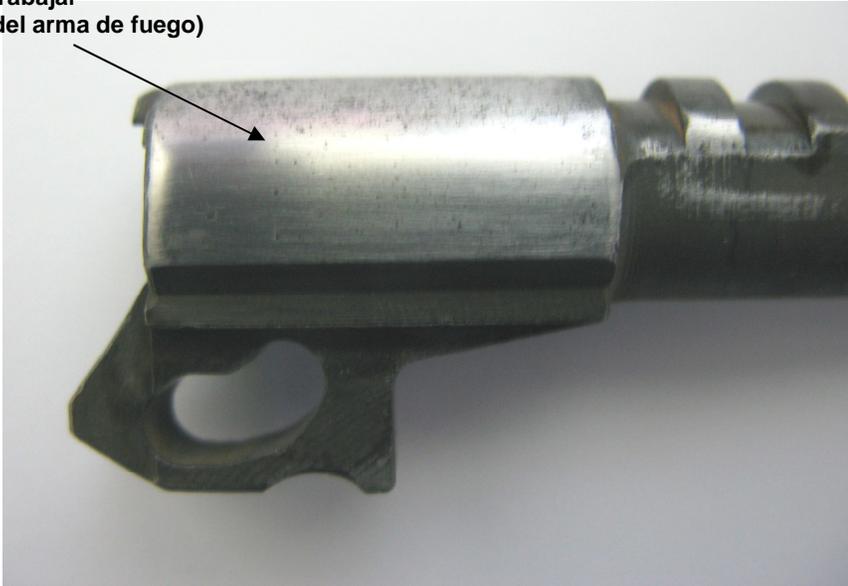
En la aplicación de éste trabajo en la detección de caracteres obliterados en materiales ferrosos, mediante el método de inspección con partículas magnéticas, estaremos utilizando como pieza de trabajo, un arma de fuego tipo pistola, marca y modelo conocidos, la cual presenta el número de registro borrado, tanto en el cañón, corredera y cajón de mecanismos.

#### **Paso 1.**

Ubicación del área de trabajo: Se consiguió ya que se conocía la marca y modelo del arma de fuego la cual se encontraba troquelada en el cañón de la misma, y también a las señales de obliteración encontradas en el área que portaba esta identificación. En la figura 20, se muestra el área a inspeccionar.

Figura 20. **Ubicación del área de trabajo**

**Pieza a trabajar**  
**(Cañón del arma de fuego)**

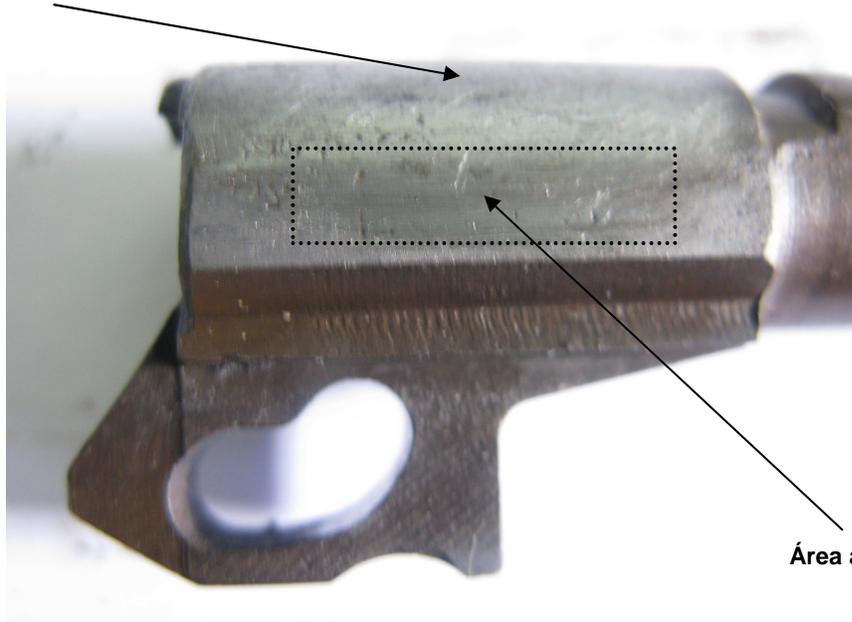


## **Paso 2.**

Preparación del área de trabajo: Se prosiguió al pulir el área de trabajo por medio de papel lija No. 280, para lo cual se aplicó en un movimiento horizontal de izquierda a derecha, hasta lograr tener una superficie similar a la de un espejo. Luego se procedió a la eliminación de la suciedad y grasa por medio del *spray SKC-S clean/remover*, cubriendo la pieza y dejándolo reposar durante uno a dos minutos, luego se le pasó algodón secándola por completo, ver figura 21.

Figura 21. Preparación del área de trabajo

Pieza a trabajar  
(Cañón del arma de fuego)

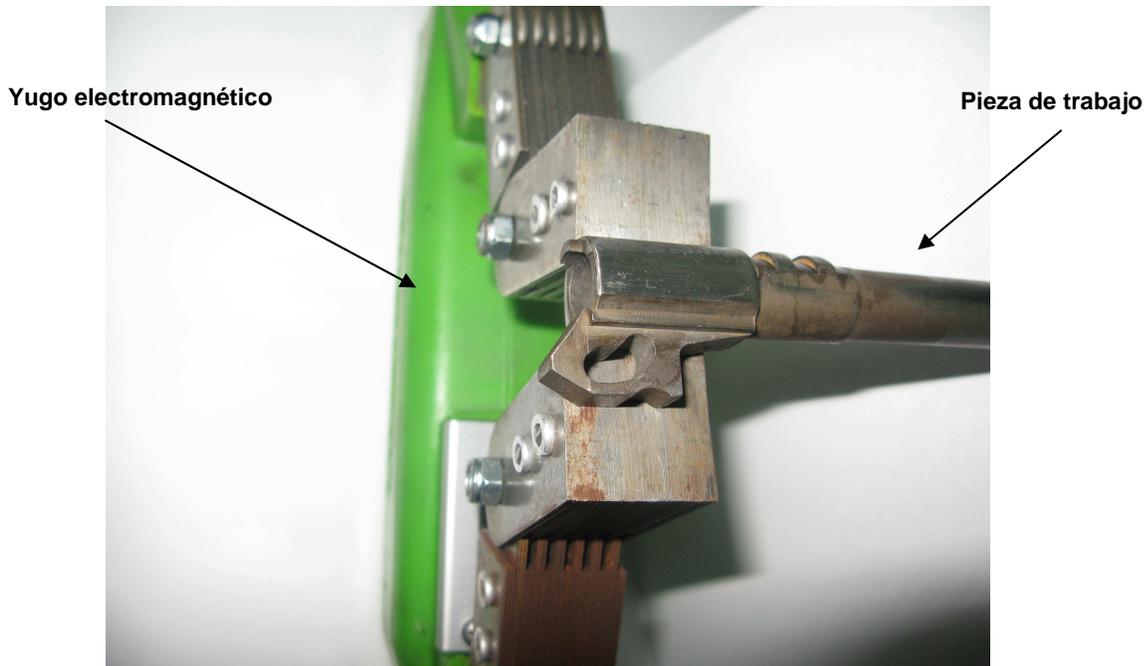


Área a inspeccionar

### Paso 3.

Magnetización de la pieza: La magnetización de la pieza se consiguió por medio de un yugo electromagnético, el cual se le hace circular corriente alterna de 110 voltios, el mismo posee un interruptor que al pulsarlo transmite a la pieza el flujo magnético. La colocación de la pieza a inspeccionar debe quedar en un 80% pegada a los brazos del yugo electromagnético, para tener una buena orientación del flujo magnético en la misma, ver figura 22.

Figura 22. **Magnetización de la pieza**

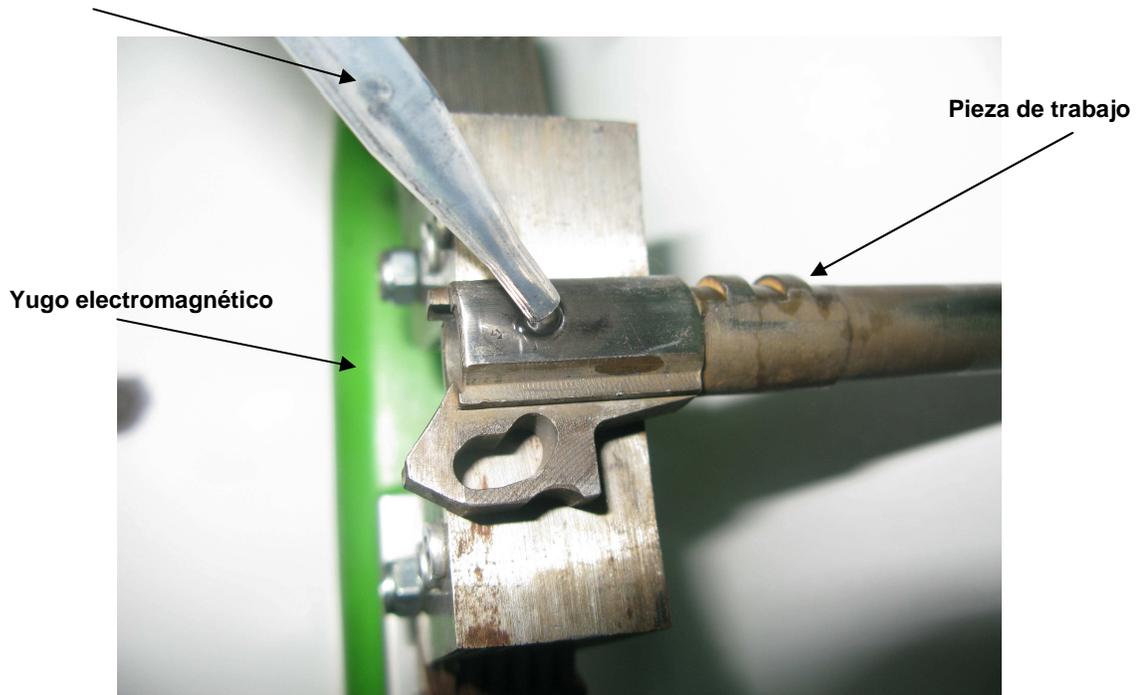


#### **Paso 4.**

Aplicación de partículas magnéticas: Para la aplicación de las partículas magnéticas se utilizó un *spray* con partículas de baño preparado del tipo 7HF, colocando la cantidad a utilizar en un *beaker*, luego por medio de una pipeta gotero, se esparció sobre el área donde se presumía que se encontraban los caracteres obliterados, ver figura 23.

Figura 23. Aplicación de las partículas magnéticas

Pipeta gotero



### Paso 5.

Inspección de siluetas de caracteres recuperados: Se logró recuperar el registro en el cañón del arma de fuego, al cual le corresponde la identificación alfanumérica: **L5965**, ver figura 24. En la figura 25, se muestran las siluetas de la identificación recuperada en aumento 125x (125 veces su tamaño normal), por medio de un macroscopio forense, marca Leica y modelo DMC.

Figura 24. Inspección de las siluetas de los caracteres recuperados en el cañón

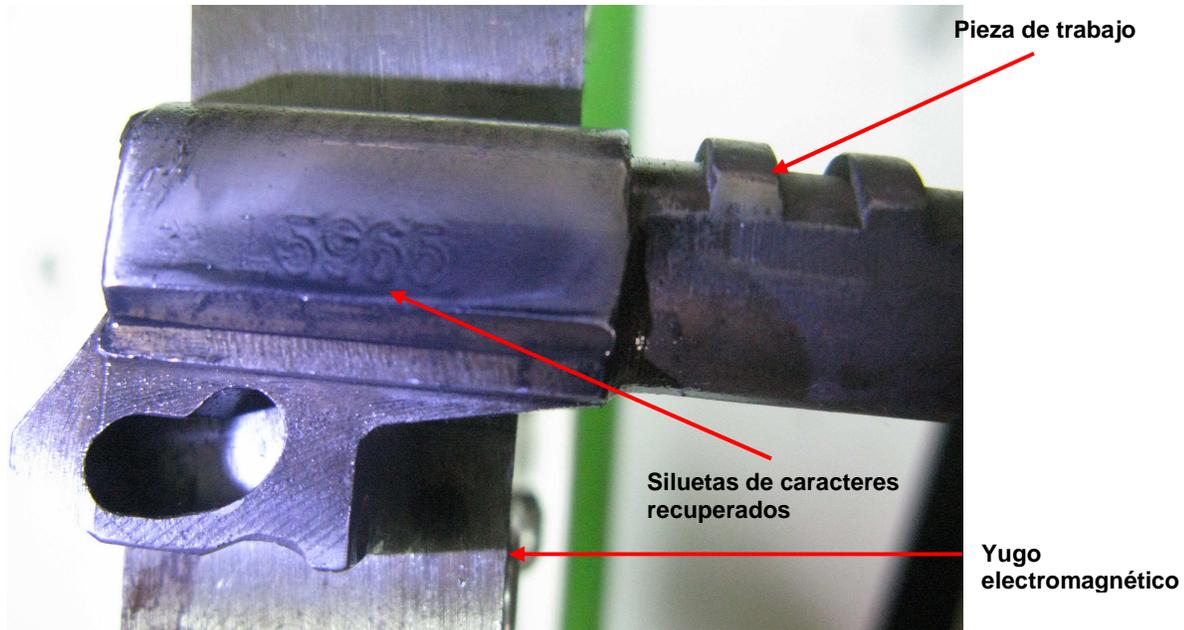
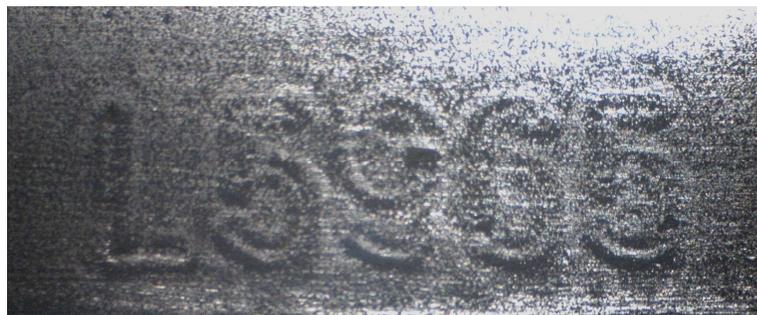


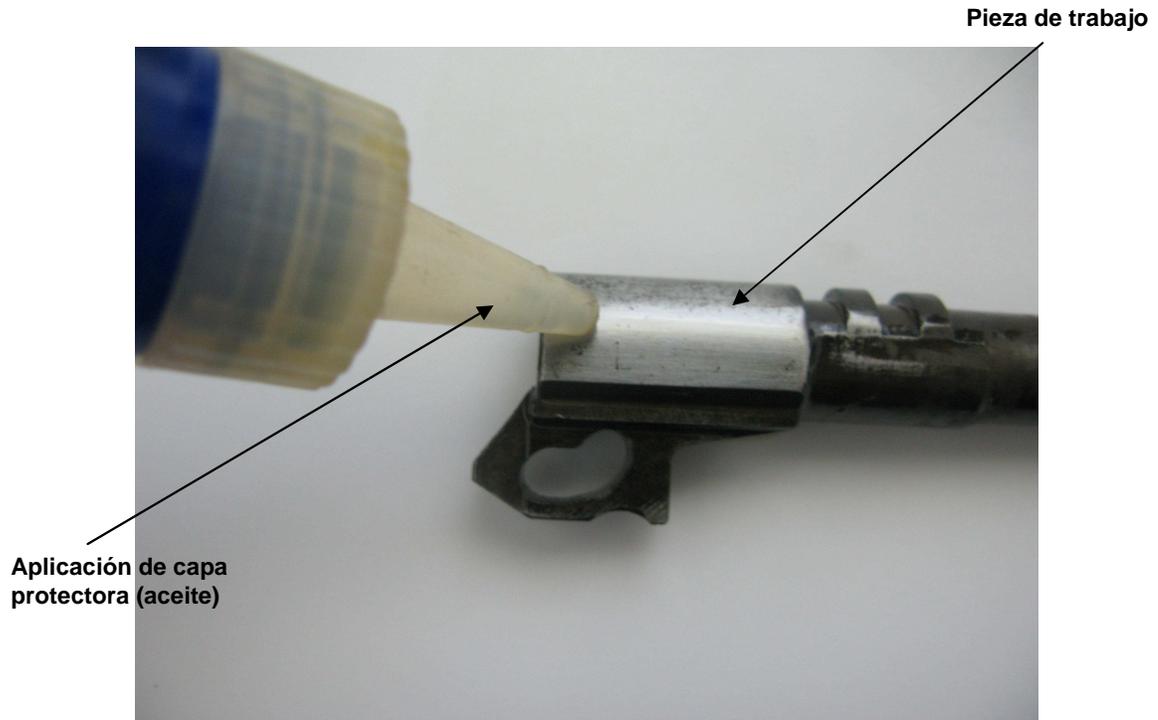
Figura 25. Acercamiento de las siluetas de los caracteres recuperados  
Aumento macroscópico 125x



### Paso 6.

Limpieza del área de trabajo: Se prosiguió a quitar los materiales utilizados en el área de trabajo, utilizando thinner y algodón. Luego se le colocó una pequeña capa de aceite para proteger el área de trabajo para que la misma no se oxide al tener contacto con el ambiente, ver figura 26.

Figura 26. Limpieza del área de trabajo



#### 4.1.1 Descripción del método

Como un recordatorio el método de inspección de caracteres obliterados en materiales ferrosos, mediante la inspección con partículas magnéticas, es un método de prueba no destructiva, el cual está basado en hacer circular un campo magnético a lo largo de la pieza a inspeccionar, luego por medio de partículas magnéticas la observación de las siluetas de los caracteres obliterados, los cuales fueron troquelados mediante trabajo en frío.

#### 4.1.2 Descripción del equipo a utilizar

El equipo que se utilizó para la inspección de recuperación de las siluetas de caracteres obliterados es el siguiente, ver figura 27.

1. Yugo electromagnético; Marca *Magnaflux*; Modelo Y-6, tipo de corriente a utilizar 110/120 voltios, 60 Hertz.
2. *Beaker*.
3. *Spray* con partículas magnéticas de baño preparado del tipo 7HF de la marca *magnaflux*.
4. *Spray*, *SKC-S clean/remover* de la marca *magnaflux*.
5. Papel lija No. 280.
6. Aceite
7. Pipeta gotero.
8. Algodón, Thinner y acetona.

Figura 27. Equipo utilizado para la inspección de caracteres obliterados



#### **4.1.3 Parámetros a considerar**

- Se tiene que tener cuidado al momento de aplicar el método con partículas por la vía seca, ya que los mismos son nocivos para la salud, al momento de inhalarlos.
- Al momento de sujetar la pieza al yugo, debe de estar por lo menos un 80% en contacto con el mismo.
- No debe de existir discontinuidades en el área a trabajar, para tener un flujo magnético uniforme.
- Se debe de tener un buen control y una buena iluminación, para la visualización de las siluetas de los caracteres recuperados.

#### **4.1.4 Limitaciones del método**

- Para la recuperación de las siluetas de los caracteres, la obliteración no debe sobre pasar la zona plástica de deformación, dejada en el troquelado del trabajo en frío, para obtener resultados positivos.
- Cuando los caracteres a recuperar son pequeños en tamaño, cuesta la lectura al momento de recuperación de las siluetas de los mismos.
- Este método es funcional únicamente en materiales ferrosos.

#### **4.1.5 Formas más comunes de obliterar**

Las formas más comunes de obliterar una identificación alfanumérica es por medio de métodos mecánicos entre los cuales podemos encontrar el esmerilado y el de taladrado, ya que son del tipo de remoción de material donde se utiliza un esmeril o bien un barreno, los cuales son de fácil acceso en nuestros medios.

## 4.2 Pruebas experimentales: Reactivación de marcas en aleaciones ferrosas

Al arma de fuego que se le recuperó la identificación alfanumérica en el cañón, descrita en el subcapítulo 4.1, también lo llevaba troquelado en la corredera y en el cajón de mecanismos. En los subcapítulos siguientes se estará realizando la inspección de siluetas recuperadas de las identificaciones alfanuméricas, en cada una de las piezas en mención, aplicando para ello los seis pasos descritos en el método experimental.

## 4.3 Resultados y observaciones

Los resultados y observaciones se describen en la siguiente tabla:

Tabla II. Resultados y observaciones de la inspección de las siluetas de los caracteres recuperados en la corredera y cajón de mecanismos del arma de fuego

<b>Pieza inspeccionada</b>	<b>Resultados</b>	<b>Observaciones</b>
Corredera del arma de fuego	Se logró recuperar el registro, a la cual le corresponde la identificación alfanumérica: <b>L5965</b> , ver figura 28.	Al aplicar los seis pasos descritos en el método experimental, se logró la recuperación total de la identificación alfanumérica, no teniendo ninguna interferencia en el mismo.
Cajón de mecanismos del arma de fuego	Se logró recuperar el registro, al cual le corresponde la identificación alfanumérica: <b>L5965</b> , ver figura 29.	Al aplicar los seis pasos descritos en el método experimental, se tuvo una interferencia, ya que al principio de la prueba, no se logró la visualización de las siluetas de los caracteres, en el tiempo en que transcurrió la recuperación realizada tanto en el cañón, como en la corredera del arma de fuego.

Figura 28. Inspección de las siluetas de los caracteres recuperados en la corredera

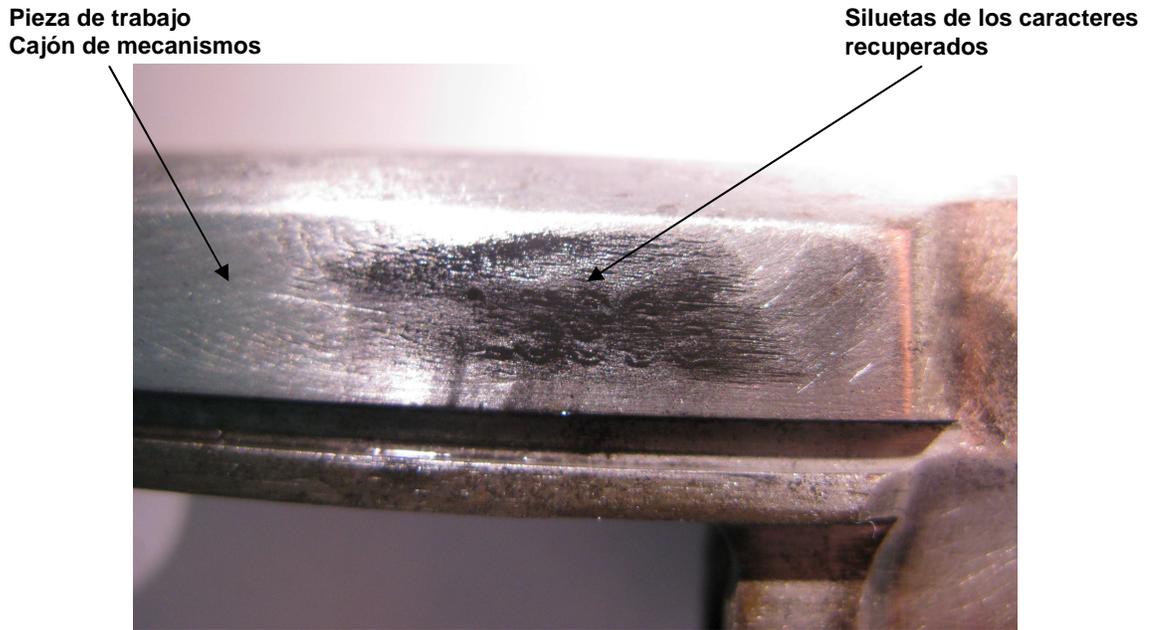
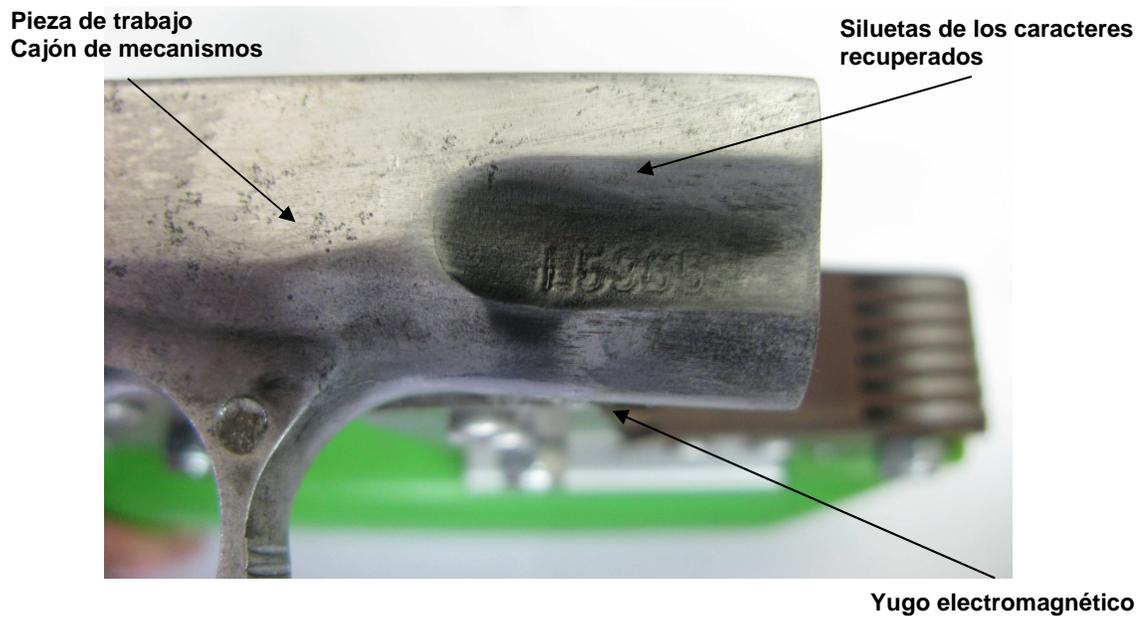


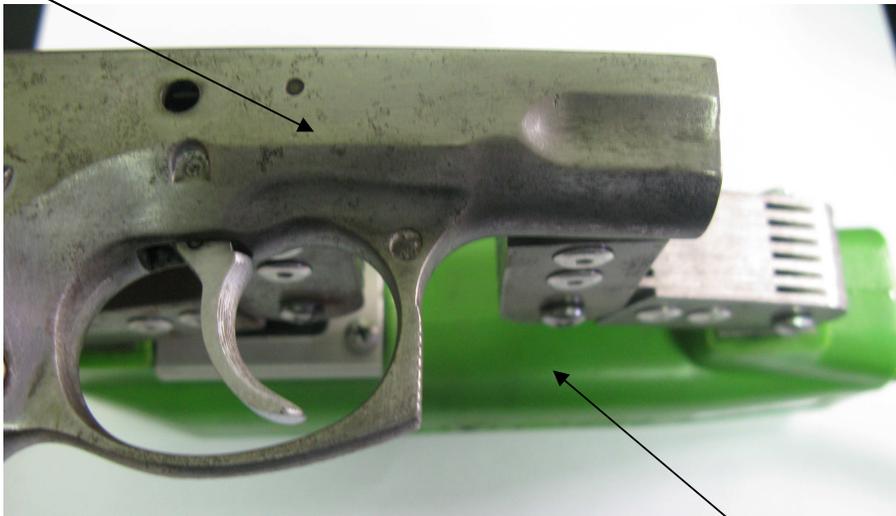
Figura 29. Inspección de las siluetas de los caracteres recuperados en el cajón de mecanismos



En lo que respecta a la interferencia que se tuvo en el cajón de mecanismos, se procedió a realizar maniobras con la corredera con respecto a la posición de la magnetización de la misma, ya que no se tenía la orientación adecuada del flujo magnético, encontrando que la ubicación más conveniente era colocarla a lo largo en el yugo electromagnético, tal como se observa en la figura 30.

Figura 30. **Magnetización del cajón de mecanismos del arma de fuego**

**Pieza de trabajo**  
**Cajón de mecanismos**



**Yugo electromagnético**

Unido a lo descrito anteriormente, se notó que en la recuperación se observaba un tanto ilegible, pero con una buena orientación de las partículas magnéticas, por lo que se duplicó el tiempo de la magnetización de la pieza, es decir aproximadamente un tiempo de cuarenta segundos. Esto se derivó a que la pieza es un tanto más voluminosa e irregular, con respecto al cañón y corredera del arma de fuego inspeccionados.



## CONCLUSIONES

1. El método de detección de caracteres obliterados, mediante la inspección de partículas magnéticas, es aplicable únicamente en materiales ferrosos.
2. El método no altera la estructura cristalina del área de trabajo y no existe desgaste en la misma.
3. El método se puede aplicar las veces que se requiera, obteniendo los mismos resultados iniciales.
4. El método consiste en la aplicación de seis pasos: ubicación del área de trabajo, preparación del área de trabajo, magnetización de la pieza, aplicación de partículas magnéticas, inspección de siluetas de caracteres recuperados y limpieza del área de trabajo.
5. Desde el punto de vista forense, el método de detección de caracteres obliterados, mediante la inspección de partículas magnéticas, es importante al sector justicia, ya que no se destruye la pieza inspeccionada, lo cual constituye la evidencia material, conservando siempre la integridad física de la misma.
6. En éste método, cuando existe una obliteración que va más allá de la zona plástica, del troquelado dejado en la impresión de los caracteres en trabajo en frío, se obtienen resultados negativos.



## RECOMENDACIONES

1. Se sugiere la utilización de éste método, como primer paso en la recuperación de caracteres obliterados, por ser una prueba no destructiva.
2. Se debe de tener cuidado en la inspección de la siluetas de los caracteres, cuando éstos sean de tamaño pequeño, ya que por la acumulación de las partículas magnéticas dificulta la lectura de los mismos.
3. Cuando se aplique el paso de preparación del área de trabajo, al momento de pulir dicha área debe cuidarse de no desgastarla demasiado, para no sobre pasar la zona plástica del troquelado en la impresión de los caracteres en trabajo en frío, para obtener resultados positivos.



## BIBLIOGRAFÍA

1. AEND. Asociación Española de Ensayos no destructivos. Ensayos no destructivos, Partículas Magnéticas, Nivel II. Editorial Fundación Confemetal, Madrid España, 2003.
2. Reitz, John R. y Milford, Frederick J. Fundamentos de la Teoría Electromagnética. UTEHA. Mexico, D.F. Abril 1981.
3. Serway, Raymond A. y Jewett Jr. John W. Física para Ciencias e Ingenierías. Thomson, California. 6ª. Ed. Volumen II. Junio 2005.
4. Treptow, Richard S. Manual de Métodos para la restauración de números de serie borrados. Universidad Estatal de Chicago. Chicago Illinois.