

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

SEDE DE OCCIDENTE

RECINTO DE TACARES

**Memoria de Práctica Dirigida para optar por el grado de Licenciatura en
Laboratorista Químico**

**Comparación metodológica de Fry y Davis electrolítico en la recuperación
de series de identificación borradas en vehículos**

Kevin Murillo Valerio

Año 2017

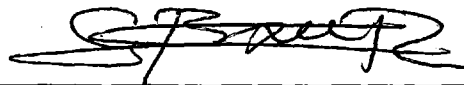
Memoria de Práctica Dirigida para optar al
grado de Licenciado en Laboratorista Químico

**Comparación metodológica de Fry y Davis Electrolytic en la recuperación de series
de identificación borradas e vehículos**

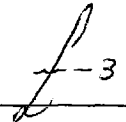
Presidente del Tribunal
Máster Esteban Pérez López



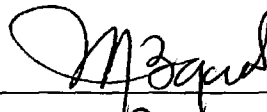
Lic. Gerardo Sánchez Rivera
Director Trabajo



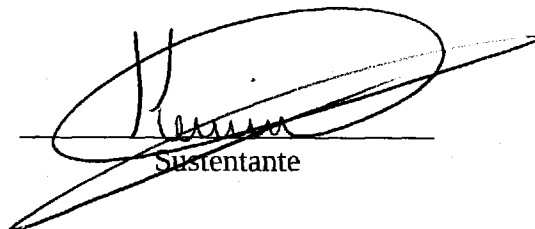
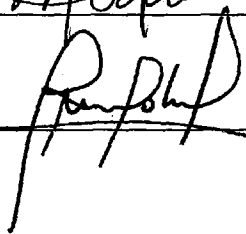
Lic. Ana Elena Brenes Arias
Lectora



Lic. Marvin Bogantes Jiménez
Lector



Máster John Diego Bolaños Alfaro
Miembro del Tribunal



Sustentante

Índice de Contenido

Resumen	v
Introducción	1
1) Justificación del Tema	1
2) Antecedentes sobre el tema	2
Objetivos.....	5
-General	5
-Específicos.....	5
Capítulo I: Marco Teórico	6
1) Enlace metálico.....	6
2) Aceros.....	7
3) Principales microestructuras encontradas en aceros.....	16
4) Métodos de marcado en la industria automotriz.....	22
5) Métodos de revelado.....	24
6) Normas vehiculares aplicables a la industria automotriz con fines de identificación ...	28
Capítulo II: Métodos de trabajo.....	31
Capítulo III: Resultados.....	34
Capítulo IV: Conclusiones.....	43
Capítulo V: Recomendaciones	45
Bibliografía.....	46
Anexo 1	49

Índice| de Cuadros

Cuadro 1. Tipos de aceros aleados y sus características.....	10
Cuadro 2. Tipos de aceros inoxidable y sus características.....	11
Cuadro 3. Grupos en que se dividen los aceros de herramientas.....	12
Cuadro 4. SAE J2329: Grados y porcentajes de los elementos que conforman el acero..	13
Cuadro 5. SAE J2329 Clasificación y propiedades de láminas de acero automotriz formables.....	14
Cuadro 6. SAE J2340 Clasificación y propiedades de láminas de acero automotriz con resistencia al abollado, alta resistencia y ultra alta resistencia.....	15
Cuadro 7. Comparativo de los métodos de marcado y sus remarcas.....	22
Cuadro 8. Resumen de las normas vehiculares ISO.....	28
Cuadro 9. Conformación del VIN (Número de Identificación Vehicular).....	30
Cuadro 10. Códigos de identificación del décimo dígito.....	30
Cuadro 11. Lista de materiales y equipos utilizados en el tratamiento de muestras.....	32
Cuadro 12. Resultados del desgaste producido por la lijadora neumática manual e información de producción contenida en las muestras de acero de bajo contenido de carbono.....	35
Cuadro 13. Resultados de los revelados utilizadas en cada uno de los trozos de muestra analizada, su comparación y tiempo de revelado.....	38

Índice de Figuras

Figura 1. Microestructura interna de la austenita.....	16
Figura 2. Microestructura interna de la ferrita.....	17
Figura 3. Microestructura interna de la perlita.....	18
Figura 4. Microestructura interna de la cementita.....	16
Figura 5. Fotomicrografía de un acero con microestructura martensítica.....	17
Figura 6. Diagrama de fases Fe-C.....	18
Figura 7. Representación de la deformación al aplicar una fuerza en el metal.....	20
Figura 8. Superficies metálicas observables con y sin ataque químico.....	29
Figura 9. Promedio de las profundidades visibles de impresión en porcentaje provocado por el fabricante en las muestras automotrices.....	31
Figura 10. Rapidez en segundos del revelado de las metodologías.....	34

Resumen

En la identificación vehicular forense, se parte de una hipótesis creada por una autoridad judicial competente, la cual remite una solicitud a la Unidad de Troquelados del Departamento de Ciencias Forenses. En este lugar se verifican cada uno de los medios de identificación que presenta, se interpreta las pruebas e información de una forma integral y se da respuesta a la interrogante inicial.

Se debe conocer la relación entre los diferentes medios identificatorios y la presencia, ausencia o alteración de cada uno de ellos. Debe indicarse en el dictamen pericial si existe una alteración en los medios de identificación y siempre que sea posible, si hay o no concordancia con el material de referencia, lo cual le da soporte a los resultados. Para esto debe valorarse el lugar de fabricación, el mercado de destino y las diferentes normativas internacionales.

Los metales utilizados en la fabricación de automotores en la actualidad son ligeros y generalmente, están conformados por estructuras metálicas policristalinas. Cuando se les aplica una fuerza, se provocan dos tipos de deformaciones: plástica y elástica. Este estudio se basa en la primera, ya que la deformación plástica permite que la información impresa en una superficie metálica se pueda percibir en el metal, ya que hay una variación irreversible de la estructura.

Existen diversas técnicas de revelado en metales, las cuales permiten recuperar y visualizar los medios de identificación puestos por el fabricante en los automotores y que pueden ser alterados por alguna acción delictiva, cada una tiene sus ventajas y desventajas. En este estudio se utilizaron dos métodos: la química, la cual es más comúnmente utilizada en la investigación forense costarricense mediante la utilización del reactivo Fry y la electroquímica mediante el reactivo Davis y una fuente de poder regulable a 6 y 12 voltios.

La comparación de las metodologías: química (Fry) y electroquímica (Davis) a 6 y 12 voltios hace que se estudien los tiempos y el trabajo de recuperación en la deformación plástica de una determinada pieza metálica automotriz.

Con este estudio se logra concluir que los tiempos de revelado con el método electroquímico del reactivo Davis a 12 voltios, fue el que obtuvo la mayor prontitud en la obtención de las series alfanuméricas que habían sido borradas en el metal automotriz. Por otra parte, todas las muestras tuvieron una propagación adecuada de la deformación plástica en el metal.

Introducción

1) Justificación del Tema

El robo de vehículos a nivel mundial ha sido un problema social que en el caso de Costa Rica ha venido en aumento los últimos años, según estadísticas oficiales (Pjenlinea.poder-judicial.go.cr, 2016). Los fabricantes de automóviles, junto con las leyes en cada país y/o mercado, han realizado enormes esfuerzos para tratar de detener esta tendencia y han incorporado nuevos sistemas de seguridad e identificación en los automotores. Sin embargo, la delincuencia siempre ha tratado de irse adaptando al cambio, por lo cual es común que busquen nuevas formas de cometer estos ilícitos.

Cada vehículo cuenta con una identificación propia a nivel mundial, la cual se le conoce frecuentemente por sus siglas en inglés como VIN (Número de Identificación Vehicular), esta puede sufrir algún tipo de alteración, ya sea mediante el gemeleo, acción en la cual se hace pasar un vehículo usualmente robado por otro automotor sin causas pendientes ante las autoridades. También se pueden considerar la sobre posición de trazos, desgaste, reimpresión parcial o total del VIN, entre otros. En el presente trabajo solamente se estudiará el desgaste de la secuencia identificatoria por conveniencia con la jefatura.

Según el Procedimiento para la Inspección Inicial de Indicios y/o Objetos de la Unidad de Troquelados del OIJ, las identificaciones que presentan los vehículos son variadas y se pueden catalogar en primarias, secundarias y electrónicas. Las primarias, las cuales van a ser objeto de este estudio, son las que están estampadas directamente sobre el motor, carrocería o chasis del vehículo, por lo tanto, en primera instancia son las que sufren algún tipo de alteración y para las fuerzas policiales son determinantes para identificar un vehículo.

Por otra parte, las identificaciones secundarias, son usualmente calcomanías y/o placas que se encuentran adheridas al metal, en la actualidad este tipo de medios pueden ser fácilmente alterados. A nivel policial no determinan por sí solas la identidad de un automotor, ya que su función principal es dar soporte para la identificación junto a las primarias y electrónicas.

Es de suma importancia que, a las superficies metálicas alteradas se les aplique una serie de metodologías físico-químicas para tratar de recuperar la identidad verdadera del vehículo y poder brindar información clara y concisa a la autoridad mediante un dictamen pericial.

Por lo tanto, la obtención de resultados claros sobre las metodologías comparadas en esta práctica dirigida, resulta determinante para el Laboratorio Forense del OIJ (Organismo de Investigación Judicial), ya que brinda bases sobre la efectividad de los análisis realizados y su modificación en los procedimientos existentes. Las marcas de automotores tratadas en el presente trabajo guardan relación con la lista justificada en el apartado de métodos de trabajo.

Actualmente se está trabajando en la tarea de revisión de todo el sistema de calidad, ya que a nivel departamental hay varias normativas nacionales e internacionales que están siendo implementadas en el Laboratorio Forense del OIJ.

2) Antecedentes sobre el tema

En Costa Rica se le denomina revelar y/o revelado a la acción de recuperar las secuencias identificadoras, que han sido alteradas en una muestra, a pesar de que a nivel mundial se utilicen las palabras restaurar y/o revelar. Por otro lado, la palabra “revenido” es definida como una operación que consiste en recocer el acero a temperatura inferior al punto de dureza o elasticidad que se le da a un metal (temple), mientras que “restaurar” se define como regresar una cosa en el estado o estimación que antes tenía. Ambas palabras (revenido y restaurar) bajo la interpretación de los peritos de esta área son inapropiadas, de acuerdo a los procedimientos de análisis de operación normados de la Unidad de Troquelados. Sin embargo, en la literatura internacional se puede considerar como procesos similares (R.A.E., 2001).

Existe gran cantidad de métodos para procesar y restaurar metales debido a la maleabilidad (Metz, Stauffer, & Bonfanti, 2006). Siempre es preferible y más aceptado internacionalmente comenzar con los métodos no destructivos, ya que no dañan el material y sus resultados son reproducibles con la misma muestra inicial.

Con el paso de los años, la literatura científica forense ha encaminado el uso de varios métodos de restauración. Los descritos con mayor frecuencia son los métodos químicos y electrolíticos para recobrar las series identificatorias. Sin embargo, está bien documentado un método no destructivo en que se usa partículas magnéticas y un método en que la muestra se calienta para recobrar la secuencia. (Metz et al., 2006)

La metodología de partículas magnéticas suspendidas es muy sencilla de aplicar, solo se necesita un yugo electromagnético y una suspensión de virutas de hierro. Las desventajas que tiene es que el material debe tener propiedades ferromagnéticas, debe haber espacio para colocar el imán y la superficie debe estar en posición horizontal. Hay variantes a este procedimiento (Weimar & Herrmann, 2011), en el cual se coloca un elemento sensor en vez de la suspensión de partículas. Sin embargo, no se realizan pruebas de otros factores o condiciones dentro del tratamiento de muestra como son: zonas con desgastes irregulares a diferentes profundidades, golpes causados con objetos punzo-cortantes, modificación de caracteres mediante la adición de trazos (transformación de un 1 en 4) y lijado.

Alrededor de 1940, G.W. Pirk, metalurgista asesor del Buró de Policía de Útica, Nueva York, propuso que una solución química mordiente conocida entre los metalógrafos como Fry podría usarse para recuperar números de serie. A partir de entonces, otros investigadores recomendaron muchos otros mordientes o agentes grabadores químicos, como se comprueba en los estudios de Mathews y Nicholls. (Treptow, 1978)

En 1950, el FBI anunció un método de restauración no destructivo apoyado en la actuación de partículas magnéticas sobre la superficie del espécimen mientras está magnetizado. Al mismo tiempo se ideó una variación del método químico en la que se utiliza una corriente para facilitar el proceso de grabado. El FBI ha desarrollado también una técnica destructiva basada en el calentamiento del espécimen con un equipo de oxi/acetileno. El método más comúnmente usado en la actualidad en los laboratorios criminológicos es el método químico. Se considera comparativamente eficaz y requiere apenas el equipo más sencillo. (Treptow, 1978)

En 1973 Stanley G. Young, del centro de investigaciones de la NASA, anunció un nuevo método de restauración el cual aprovecha la erosión de la superficie del material y el tiempo de incubación del proceso de desgaste por fatiga. Parece que la abrasión se produce principalmente en los sitios que han sido dañados por el estampado. Este método es conocido como cavitación ultrasónica y la NASA contrató en 1974 a la Universidad Estatal de Chicago para que se encargara de perfeccionar y evaluar el método ultrasónico.(Treptow, 1978)

En algunas ocasiones se puede presentar un tipo de impresión realizada con láser, este sistema es más usado en armas pero también puede ser aplicado a automotores(da Silva & dos Santos, 2008). Como es de esperar, este tipo de impresión genera poco o nula deformación plástica en el metal, con lo cual los sistemas convencionales de revelado, como lo son la utilización de reactivos químicos, se hace poco probable la obtención de resultados positivos. Se puede pulir la superficie hasta obtener el acabado espejo y aplicarle luz al material de manera que al visualizarlo mediante un estereoscopio con cámara se pueden visualizar los caracteres borrados (da Silva & dos Santos, 2008). Sin embargo, esta técnica en el análisis de identificaciones vehiculares es poco efectiva, ya que los implementos utilizados como un estereomicroscopio no son fácilmente adaptable a un automotor, por lo cual no es recomendada.(da Silva & dos Santos, 2008)

Objetivos

-General

Evaluar la recuperación de secuencias identificatorias primarias en acero automotriz mediante las metodologías: Fry y Davis Electrolítico para comprobar la necesidad de ampliar los procedimientos de análisis de la Unidad de Números Troquelados del OIJ.

-Específicos

a) Analizar los resultados de las muestras de acero automotriz enviadas al Laboratorio de Ensayo de Materiales del Instituto Nacional de Aprendizaje, para los análisis de composición por espectrometría y metalografía.

b) Comparar la recuperación de la información borrada mediante la variación del voltaje con el método electrolítico Davis a 6 y 12 voltios, en muestras de acero automotriz.

c) Determinar cuál de las metodologías Fry y Davis electrolítico muestran una mejora cualitativa y cuantitativa en cuanto a la recuperación de series identificatorias en acero automotriz.

Capítulo I: Marco Teórico

1) Enlace metálico

Un tipo de enlace atómico primario es el enlace metálico, que se muestra en los metales sólidos. En los metales en estado sólido, los átomos están dispuestos relativamente muy adyacentes en una ordenación sistemática o estructura cristalina. Los electrones de valencia no están, por tanto, agrupados férreamente a un núcleo individual, de manera que están dispersos entre los átomos en forma de una nube de carga electrónica de baja densidad, o “gas electrónico”. (Shackelford, 2005; Smith, 2006)

Los metales sólidos se consideran como compuestos por núcleos de iones positivos (átomos sin sus electrones de valencia) y por electrones de valencia dispersos en forma de nube electrónica que cubre una gran expansión de espacio.(Shackelford, 2005)

Los electrones de valencia están flojamente enlazados a los núcleos de iones positivos y consiguen moverse fácilmente en el metal cristalino, por esto se les conoce como electrones libres. Las altas conductividades térmica y eléctrica de los metales se basan en la teoría de que algunos electrones son libres para moverse a través de la celda cristalina del metal. Casi la totalidad de los metales pueden deformarse considerablemente sin fracturas debido a que los átomos de metal se pueden deslizar unos sobre otros sin distorsionar totalmente la estructura de enlace metálico. (Smith, 2006)

Los átomos en un enlace metálico sólido se conservan adyacentes mediante este enlace para lograr un estado de más baja energía (o más estable). En cuanto a los enlaces, para el enlace metálico no hay limitaciones sobre pares electrónicos como en el covalente, ni restricciones sobre la neutralidad de carga como en el de tipo iónico. En el enlace metálico los electrones de valencia más exteriores de los átomos son compartidos por varios átomos circundantes y de este modo, el enlace metálico es no direccional. (Shackelford, 2005)

Cuando los átomos metálicos se acoplan y comparten los electrones de valencia para crear un sólido cristalino, la energía general de los átomos por separado se ve reducida por el propio proceso de enlace. Los niveles de energía de los cristales metálicos multiatómicos difieren de los de los átomos individuales. Cuando los átomos metálicos se acoplan para formar un cristal metálico, sus energías disminuyen, pero a niveles ligeramente diferentes. Por lo cual, los electrones de valencia en un cristal metálico forman una “banda” de energía. (Smith, 2006)

2) Aceros

La SAE (Society of Automotive Engineers) los clasifica principalmente en: aceros al carbono, aceros de media aleación, aceros aleados, aceros inoxidable, aceros de alta resistencia, aceros de herramientas. (Society of Automotive Engineers, 1999; Society of Automotive Engineers, 2015)

2.1 Aceros al carbono

10XX donde XX es el contenido de C

Ej.: SAE 1010 (0,08 - 0,13 %C) SAE 1040 (0,3 - 0,43 %C)

Los restantes elementos presentes no están en porcentajes de aleación: P máx = 0,04%, S máx = 0,05%, Mn = 0,30 - 0,60% para aceros de bajo carbono (<0.30%C), 0,60 - 0,90% para aceros de alto carbono (>0,60%C) y aceros al C para cementación. (Kucher, 1987; Society of Automotive Engineers, 2015)

2.1.1 Aceros de muy bajo % de carbono (desde SAE 1005 a 1015)

Se eligen en segmentos cuyo requisito primario es el conformado en frío. Los aceros reposados se utilizan para embutidos profundos debido a sus buenas cualidades de deformación y terminación superficial. Los aceros calmados como también se les conoce, son más utilizados cuando se necesita forjarlos o llevarlos a tratamientos térmicos. Son

adecuados para utilizarles soldadura y para brazing (proceso de unir dos metales mediante un proceso de calentamiento a la temperatura adecuada, utilizando en la unión un metal de relleno). Su mecanizado por arranque de viruta se mejora mediante el estirado en frío. Son aptas al crecimiento del grano, fragilidad y rugosidad superficial si después del formado en frío se los calienta por encima de 600°C.(Kucher, 1987)(Smith, 2006; Society of Automotive Engineers, 1999)

2.1.2 Aceros de bajo % de carbono (desde SAE 1016 a 1030)

Este conjunto goza de mayor resistencia y dureza, reduciendo la deformabilidad que puede sufrir. Son comúnmente conocidos aceros de cementación. Los aceros reposados se utilizan para forjas. Su contestación al temple depende del % de C y Mn. Los de mayor contenido disfrutan mayor respuesta de núcleo. Los aceros de más alto % de Mn se fortifican más favorablemente en el núcleo y en la capa. Son idóneos para ser objeto de soldadura y brazing (facilidad con la que pueden ser mecanizados por arranque de viruta). La maquinabilidad de estos aceros incrementa con el forjado o normalizado, y disminuye con el recocido. (Society of Automotive Engineers, 2015) (Shackelford, 2005)

2.1.3 Aceros de medio % de carbono (desde SAE 1035 a 1053)

Estos aceros son preferidos en usos donde se necesitan propiedades mecánicas más elevadas y continuamente se les producen por tratamiento térmico para endurecimiento. Se utilizan en vasta diversidad de trozos sometidos a cargas dinámicas. El contenido de C y Mn, obedece de una serie de elementos. Por ejemplo, cuando se desea aumentar las propiedades mecánicas, la sección o la templabilidad, habitualmente se incrementa el % de C, de Mn o de ambos. (Smith, 2006; Society of Automotive Engineers, 1999)

Los de menor % de carbono se manejan para piezas deformadas en frío, sin embargo, los estampados se hallan limitados a plaqueados o doblados suaves, y habitualmente acarrear un

recocido o normalizado previo. Todos estos aceros se pueden emplear para elaborar piezas forjadas y su selección depende del tamaño y propiedades mecánicas posteriormente del tratamiento térmico. Los de mayor % de C, han de ser normalizados después de forjados para optimizar su maquinabilidad. (Shackelford, 2005; Society of Automotive Engineers, 2015)

Son también considerablemente usados en piezas maquinadas, partiendo de barras laminadas. Por otra parte, dependiendo del nivel de propiedades necesarias, pueden ser o no tratadas térmicamente. Logran soldarse, pero deben tenerse provisiones especiales para evadir fisuras debido al rápido calentamiento y enfriamiento. (Society of Automotive Engineers, 1999)

2.1.4 Aceros de alto % de carbono (desde SAE 1055 a 1095)

Se usan en aplicaciones en las que es necesario incrementar la resistencia al desgaste y altas durezas que no pueden lograrse con aceros de menor contenido de C. En general no se utilizan trabajados en frío, salvo plaqueados o en el enrollado de resortes. Prácticamente todas las piezas son tratadas térmicamente antes de usar, debiéndose tener especial sumo cuidado en estos procesos para evitar distorsiones y fisuras. (Chang, 2010; Society of Automotive Engineers, 2015)

2.2 Aceros de media aleación

2.2.1 Aceros al Mn

15XX

El porcentaje de Mn varía entre 1,20 y 1,65, según el %C. (Society of Automotive Engineers, 2015)

Ej.: SAE 1524 1,20—1,50 %Mn para construcción de engranajes

SAE 1542 1,35—1,65 %Mn para temple

2.2.2 Aceros de fácil maquinabilidad o aceros resulfurados

11XX

12XX

Son aceros de gran maquinabilidad; la presencia de gran cantidad de sulfuros crea viruta pequeña y, al tener los sulfuros alta plasticidad, operan como lubricantes internos. No son idóneos para soldar, tratamientos térmicos, ni forja debido a su bajo punto de fusión. (Society of Automotive Engineers, 2015)(Kucher, 1987)

Ej; SAE 11XX : 0,08—0,13 %S SAE 12XX : 0,24—0,33 %S

2.3 Aceros aleados para aplicaciones en construcciones comunes

Se supone que un acero es aleado cuando el contenido de un elemento aventaja uno o más de los siguientes límites: 1,65% de manganeso, 0,60% de silicio, 0,60% de cobre o cuando hay un % expreso de cromo, níquel, molibdeno, aluminio, cobalto, niobio, titanio, tungsteno, vanadio o zirconio. Se usan máximamente cuando se procura: desplegar el máximo de propiedades mecánicas con un mínimo de distorsión y fisuración, iniciar en un grado especial la resistencia al revenido, aumentar la tenacidad, disminuir la sensibilidad a la concentración de tensiones y optimizar la maquinabilidad en condición de temple y revenido, confrontándola con un acero de igual % de carbono en la misma condición. (Society of Automotive Engineers, 1999)(Smith, 2006)

Habitualmente se les usa tratados térmicamente; el criterio más importante para su discriminación es normalmente su templabilidad, pudiendo todos ser templados en aceite.

Cuadro 1. Tipos de aceros aleados y sus características.

Tipo de acero aleado	Nomenclatura	Características de la aleación
Al Ni	23XX, 25XX	El Ni acrecienta la tenacidad de la aleación; pero como no se puede mejorar la templabilidad, debe añadirse otro elemento aleante (Cr, Mo). Por este motivo usualmente no se utilizan. La

		temperatura de transición dúctil-frágil baja de -4°C para aceros al C hasta -40°C
Al Cr-Ni	31XX 32XX 33XX 34XX	Gran tenacidad y templabilidad; pero el excesivo Ni dificulta la maquinabilidad.
Al Mo	40XX 44XX	Aumenta ligeramente la templabilidad.
Al Cr-Mo	41XX	Poseen 1,00 %Cr y 0,15 a 0,30 %Mo. Se utilizan para nitrurado, tornillos de alta resistencia, etc.
Al Cr-Ni-Mo	86XX	Poseen 0,40 a 0,70 %Cr, 0,40 a 0,60 %Ni y 0,15 a 0,30 %Mo. Son las aleaciones más consumidas por su buena templabilidad. Por ejemplo: SAE 8620 para cementación, SAE 8640 para temple y revenido
Al silicio—Mn	92XX	Poseen aproximadamente 1,40 %Si y 1,00 %Mn. Son aceros para resortes; tienen excelente resistencia a la fatiga y templabilidad.)

(Society of Automotive Engineers, 2015)

2.4 Aceros inoxidables

A principios del siglo XX algunos metalurgistas descubrieron que añadiendo un poco más de 10% de cromo al acero, este no presentaba herrumbre bajo condiciones normales; la razón de ello es que el cromo suele unirse primeramente con el oxígeno del aire para formar una delgada película transparente de óxido de cromo sobre la superficie del acero y excluye la oxidación adicional del acero inoxidable.

Cuadro 2. Tipos de aceros inoxidables y sus características.

Tipo de acero inoxidable	Nomenclatura ANSI	Características
Austeníticos	302XX (17-19 % Cr, 4-8 % Ni y 6-8 % Mn) 303XX (8-13 % Cr y 8-14 % Ni)	No son duros ni templables, tienen una alta capacidad de deformarse plásticamente. El más considerablemente utilizado es el 304. A esta categoría corresponden los aceros refractarios (elevada resistencia a altas temperaturas). Ej: 30330 (35% Ni, 15% Cr).

	donde XX no es el porcentaje de C	
Martensíticos	514XX (11 a 18 % Cr)	Son templables; para durezas más dominantes se aumenta el % Cr (formación de carburos de Cr). Se usan para cuchillería; tienen excelente resistencia a la corrosión.
Ferríticos	514XX 515XX	Poseen bajo % de C y alto Cr (10-27 %), de manera para reducir el campo γ y conservar la estructura ferrítica aún a altas temperaturas.

(Society of Automotive Engineers, 2015)

2.5 Aceros de alta resistencia y baja aleación

9XX donde XX .103 lb/pulg², es el límite elástico del acero. Ej: SAE 942

Son de bajo % de C; aleados con Va, Nb, N, Ti, en aproximadamente 0,03% c/u, de manera que precipitan carbonitruros de Va, Nb, Ti que elevan el límite elástico entre 30 y 50 %. Presentan garantía de las propiedades mecánicas y ángulo de plegado. Son de fácil soldabilidad y tenaces. No permiten el tratamiento térmico.(Shackelford, 2005; Society of Automotive Engineers, 2015)

2.6 Aceros para herramientas

Cuadro 3. Grupos en que se dividen los aceros de herramientas.

Grupo	Símbolo y Tipo
Templados al agua	W: no contienen elementos aleantes y son de alto % de carbono (0,75 a 1.00%). Son los más baratos y se utilizan primariamente en mechas. En general tienen restricción en cuanto al diámetro, debido a su especificación de templabilidad.
Trabajo en frío	O: Sólo son aptos para trabajo en frío pues al aumentar la temperatura disminuye la dureza. A: Templados al aire. No soportan temple en aceite pues se figurarían; se utilizan para formas intrincadas (matrices), pues el alto contenido de cromo otorga temple homogéneo.

	D: Alta aleación. Contienen alto % de carbono para formar carburos de Cr (1,10-1,80%C). Gran resistencia al desgaste.
Trabajo en Caliente	H
Alta Velocidad	T en base a tungsteno M en base a molibdeno
Resistentes al impacto	S: Aceros para herramientas que trabajan al choque. Fácilmente templables en aceite. No se pueden usar en grandes secciones o formas intrincadas.

(Society of Automotive Engineers, 1999)

Cuadro 4. SAE J2329: Grados y porcentajes de los elementos que conforman el acero.

Elemento (% peso)	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 4	Grado 5
C max.	0.13	0.10	0.10	0.08	0.02
Mn max.	0.60	0.50	0.50	0.40	0.30
P max.	0.035	0.035	0.030	0.025	0.025
S max.	0.035	0.030	0.030	0.025	0.025
Al min.	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020

(Society of Automotive Engineers, 2015)

Según se observa en el Cuadro 4, el acero de la normativa SAE J2329 tiene cinco grados y están diferenciados de acuerdo a la conformación que deben tener en los siguientes elementos: carbono (C), manganeso (Mn), fósforo (P), azufre(S) y Aluminio (Al); de los cuales solamente el aluminio tiene como requisito un porcentaje mínimo de composición, mientras que todos los demás tienen límites máximos.

El Instituto Americano del Hierro y el Acero (AISI por sus siglas en inglés. American Iron and Steel Institute) estableció una clasificación para la calidad del acero laminado en atención al grado de desoxidación y al esfuerzo de la cedencia, que incluye 5 grados: comercial (CQ), estirado (DQ), embutido profundo (DDQ), embutido extra profundo (EDDQ) y embutido súper extraprofundo (super EDDQ).

Más recientemente la SAE (Society of Automotive Engineers), realiza una reclasificación de los aceros laminados formables y de alta resistencia para uso automotriz basándose en los niveles de formabilidad y resistencia a la tensión del material como se observa en el cuadro 5 (Society of Automotive Engineers, 2015). Esto según las dos especificaciones:

- SAE J2329. Categorías y propiedades en hojas de acero de bajo carbono.
- SAE J2340. Categorías y propiedades en hojas de acero para resistencia a la abolladura, alta resistencia y ultra alta resistencia.

Cuadro 5. SAE J2329 Clasificación y propiedades de láminas de acero automotriz formables.

	AISI	SAE	Propiedades
	CQ-Comercial	SAEJ2329 grado 1	N.A.
	DQ-Estirado	SAEJ2329 grado 2	YS: 180-290 MPa n: 0,16min
	DDQ-Embutido Profundo	SAEJ2329 grado 3	YS: 180-240 MPa n: 0,18min
	CQ-Comercial	SAEJ2329 grado 1	N.A.
	DQ-Estirado	SAEJ2329 grado 2	YS: 140-260 MPa n: 0,16min
	DQ-Estirado	SAEJ2329 grado 3	YS: 140-205 MPa n: 0,18min
	DDQ-Embutido Profundo	SAEJ2329 grado 4	YS: 140-185 MPa n: 0,20min
	EDDQ-Embutido Extra profundo	SAEJ2329 grado 5	YS: 110-170 MPa n: 0,22min

YS: Esfuerzo de cedencia, n: Exponente de endurecimiento por deformación, LC: Laminado en caliente, LF: Laminado en frío

(Society of Automotive Engineers, 2015)

El acero IF se utiliza para producir acero automotriz LC SAE J2329 grado 3 y LF SAE J2329 grado 3, 4 y 5, además de utilizarse como base para la obtención de acero SAE J2340 de tipo A, B y S en diferentes grados.

La Sociedad de Ingenieros Automotrices en la normativa SAE J2340 realiza una comparación de los tipos de aceros y su clasificación con base en lo que estipulan cada una de las organizaciones (AISI y SAE). Lo anterior se puede visualizar en el cuadro 6, además de los tipos de grados que abarcan y el tipo de resistencia de las clasificaciones.

Cuadro 6. SAE J2340 Clasificación y propiedades de láminas de acero automotriz con resistencia al abollado, alta resistencia y ultra alta resistencia.

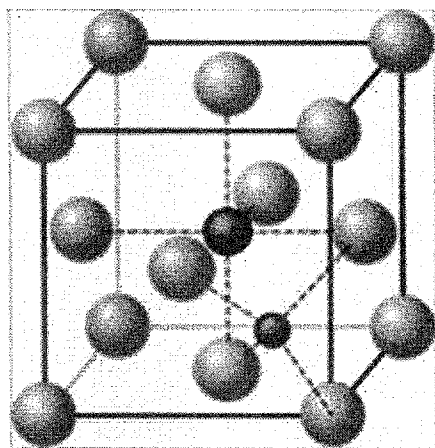
AISI	SAE
DR-Resistencia al Abollado	SAE J2340 Grado 180A, 210A, 250A,280A Resistente al Abollado No Endurecible por Horneado
BH-Endurecido por Horneado	SAE J2340 Grado 180B, 210B, 250B,280B Resistente al Abollado Endurecible por Horneado
Alta Resistencia Endurecido por Solución	SAE J2340 Grado 300S, 340S Alta Resistencia Endurecido por Solución
HSLA - Alta Resistencia Baja Aleación	SAE J2340 Grado 300X,Y; 340X,Y; 380X,Y; 420X,Y; 490X,Y; 550X,Y. HSLA
Alta Resistencia Recocido	SAE J2340 Grado 490R, 550R, 700R 830R. Alta Resistencia con Recocido de Recuperación
DP-Doble Fase, Acero Alta Resistencia (HSS)	SAE J2340 Grado DH/DL Mínimo TS: 500-1000 MPa Acero Doble Fase de Ultra Alta Resistencia
M-Acero de Alta Resistencia Martensítico	SAE J2340 Grado M Mínimo TS: 800-1500 Mpa Acero Martensítico Bajo C de Ultra Alta Resistencia
Todas las categorías son acero laminado en frío. TS: Esfuerzo máximo a la tensión	

(Society of Automotive Engineers, 1999)

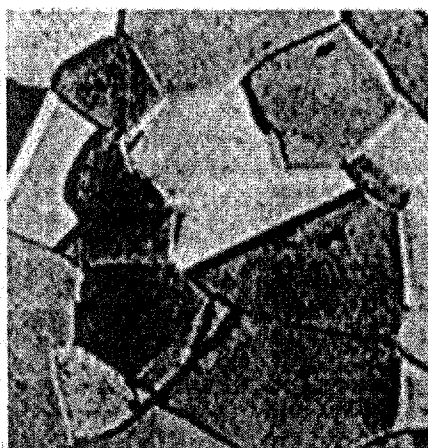
3) Principales microestructuras encontradas en aceros

En los aceros, el carbono se encuentra en general o combinado en forma de cementita o disuelto, rara vez en forma de grafito. Este es el motivo por el cual solo se emplea el diagrama de equilibrio metaestable Fe – Fe₃C para el estudio de los aceros. Los constituyentes estructurales más comunes de equilibrio de los aceros son:

3.1 Austenita: Se define como una solución sólida de carbono en hierro gamma. Solo es estable a temperaturas superiores a 723°C (ver Figura 1.), desdoblándose por reacción eutectoide, a temperaturas inferiores, en ferrita y cementita. Solo puede aparecer austenita a temperatura ambiente en los aceros austeníticos, en este caso la austenita si es estable a temperatura ambiente. Es deformable como el hierro gamma, poco duro, presenta gran resistencia al desgaste, es magnética, es el constituyente más denso de los aceros y no se ataca con reactivos. La resistencia de la austenita retenida a la temperatura ambiente oscila entre 800 y 1000 N/mm² y el alargamiento entre 20 y 25 %. Puede disolver hasta 1,7-1,8 % de carbono. Presenta red cristalográfica cúbica centrada en las caras (c.c.c.), con los siguientes parámetros de red, $a = 3,67 \text{ \AA}$ y $d = 2,52 \text{ \AA}$. (Kucher, 1987)



a)



b)

Figura 1. Microestructura interna de la austenita: a) Estructura típica de la austenita, b) Micrografía interna de la fase austenítica.

3.2 Ferrita: Este componente está hecho por una solución sólida de inserción de carbono en hierro alfa. Es el constituyente más blando de los aceros, pero es el más tenaz, es el más maleable, su resistencia a la tracción es de 2800 N/mm^2 y su alargamiento de 35%. Su solubilidad máxima es de 0,008%. Puede también mantener en solución de sustitución a otros elementos tales como Si, P, Ni, Cr, Cu, que figuran en los aceros, bien como impurezas, bien como elementos de aleación. La ferrita se presenta en los aceros hipoeutectoides como constituyente y mezclada con la cementita entra a formar parte de la perlita. Si el acero es muy pobre en carbono, su estructura está formada casi en su totalidad por granos de ferrita cuyos límites pueden revelarse fácilmente con el microscopio, después de un ataque con ácido nítrico diluido. Los granos son equiaxiales. Tiene una distancia interatómica de $2,86 \text{ \AA}$ y un diámetro atómico de $2,48 \text{ \AA}$ (Jimeno E., 1985; Shackelford, 2005).

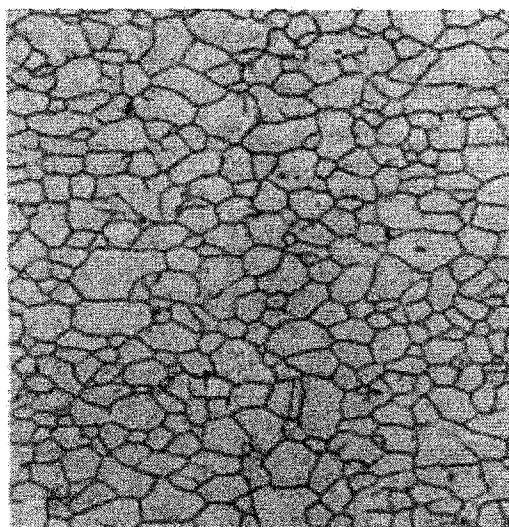


Figura 2. Microestructura interna de la ferrita.

3.3 Perlita: Está formada por una mezcla eutectoide de dos etapas, ferrita y cementita, se origina a 723°C cuando la composición es de 0,80%. Su estructura está constituida por láminas alternadas de ferrita y cementita, siendo el espesor de las láminas de ferrita superior al de las de cementita, estas últimas quedan en relieve después del ataque con ácido nítrico,

lo cual hace que en la observación microscópica se revelen por las sombras que proyectan sobre las láminas de ferrita. La perlita es más dura y resistente que la ferrita, pero más blanda y maleable que la cementita. Se presenta en forma laminar, reticular y globular. (Jimeno E., 1985; Smith, 2006)

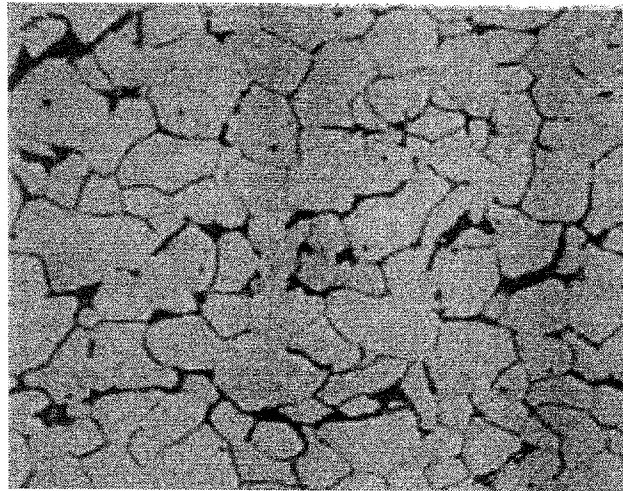


Figura 3. Microestructura interna de la perlita.

3.4 Cementita: Es un constituyente que surge en fundiciones y aceros. Es el carburo de hierro, de fórmula Fe_3C , que cristaliza en el sistema ortorrómbico. Es muy frágil y duro, teniendo sobre 840 Vickers, y es muy resistente al rozamiento en las fundiciones atruchadas. A bajas temperaturas es ferromagnético y pierde esta propiedad a $212^{\circ}C$ (punto de Curie). Se piensa que funde por encima de $1950^{\circ}C$ (ver figura 4) y es termodinámicamente inestable a temperaturas inferiores a $1200^{\circ}C$. Se puede presentar en forma reticular, laminar y globular. (Metz et al., 2006)

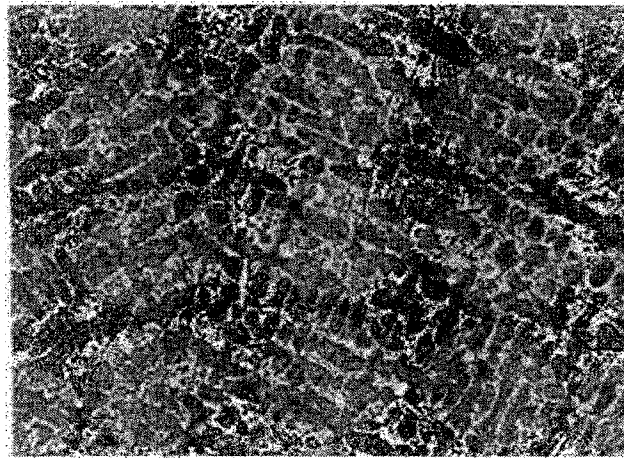


Figura 4. Microestructura interna de la cementita. Las zonas oscuras corresponden a cementita que es el mayor constituyente en la fundición blanca, las zonas claras corresponden a perlita.

3.5 Bainita: Es el constituyente que se obtiene en la transformación isotérmica de la austenita cuando la temperatura del baño de enfriamiento es de 250 a 500°C. Se diferencian dos tipos de estructuras: la Bainita superior de aspecto arborescente formada a 500-580°C, compuesta por una matriz ferrítica conteniendo carburos y la Bainita inferior, formada a 250-400°C tiene un aspecto similar a la martensita y está constituida por agujas alargadas de ferrita que contienen delgadas placas de carburos. La bainita tiene una dureza que va de 40 a 60 HRC. (Dureza Rockwell C) (Jimeno E., 1985)

3.6 Sorbita: Se obtiene con un revenido después del temple. Al realizar el calentamiento, la martensita experimenta una serie de transformaciones y en el intervalo comprendido entre 400 y 650°C la antigua martensita ha perdido tanto carbono, que se ha convertido ya en ferrita. La estructura así obtenida se conoce como sorbita. (Jimeno E., 1985)

3.7 Martensita: Es una solución sólida, intersticial, sobresaturada de carbono en hierro alfa. Es el componente estructural de temple de los aceros y su microestructura se muestra en forma de agujas cruzadas. Los átomos de hierro están como en la ferrita, en los vértices. Los

átomos de carbono están en las caras y en las aristas, presenta por tanto una red distorsionada. Esta distorsión de la red es la responsable de la dureza de la martensita. Presenta una red tetragonal. Sus características mecánicas son resistencia a la tracción entre 170-250 Kg/mm², dureza HRc entre 50-60, alargamiento de 0,5 % y es magnética. (Mohd. et al., 2007)



Figura 5. Fotomicrografía de un acero con microestructura martensítica. Los granos en forma de aguja es la martensita y las regiones blancas es austenita retenida.

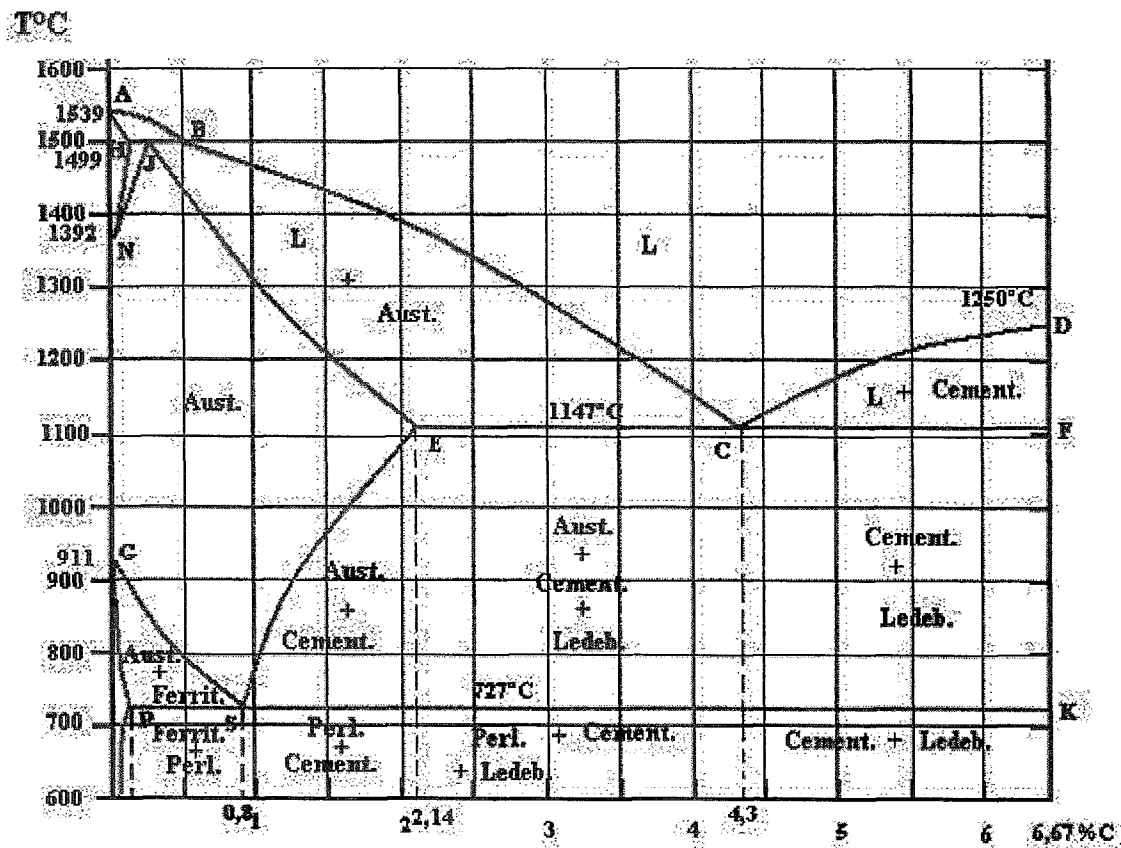


Figura 6. Diagrama de fases Fe-C.

La figura 6 tiene como intención primordial que se visualice una parte de las diversas fases hierro-carbono que pueden existir, tras la combinación de porcentajes de Carbono con una temperatura específica. Lo único importante para esta figura es conocer que la clasificación de las aleaciones férricas según el contenido en carbono comprende tres grandes grupos: hierro cuando contiene menos del 0.008 % en peso de C, acero cuando la aleación Fe-C tiene un contenido en C mayor del 0.008 % y menor del 2.11 % en peso, aunque generalmente contienen menos del 1 %), y fundición cuando la aleación Fe-C tiene un contenido en C superior al 2.1 % (aunque generalmente contienen entre el 3.5 y el 4 % de C).

4) Métodos de marcado en la industria automotriz

Cuadro 7. Comparativo de los métodos de marcado y sus remarcas.

Método	Remarcas
Dado de estampado, trabajo en frío	<p>Hay dos tipos de prensa de marcado o también llamados estampado convencional: trabajo frío en metales y trabajo caliente en plásticos.</p> <p>Esta técnica es adecuada para usarla con máquinas o a mano (golpe martillo). La herramienta de estampación se presiona en la pieza de trabajo en posición vertical. Las máquinas pueden ser operadas manualmente o neumáticamente y ejercer una fuerza muy alta de impacto. La cantidad de presión aplicada para lograr una cierta profundidad de intrusión durante el proceso de marcado depende de la fuerza del material de la superficie y la base. Para lograr una profundidad en la marca dada, un aumento de la dureza del metal requiere un aumento de la cantidad de presión.</p> <p>Las formas estampadas pueden ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> -cara aguda -cara plana -cara abierta <p>El uso universal está asegurado por la capacidad de aceptar una amplia variedad de herramientas estándar fácilmente intercambiables.</p>
Marcado aguja/alfiler	<p>La operación de hilado en frío se lleva a cabo por un marcador de punta portátil y no portátil y comúnmente se usa para en el marcado del VIN (Número de Identificación Vehicular, el mismo individualiza un automotor a nivel mundial, ya que es como un número de cédula y tiene información que se puede decodificar por parte del fabricante y fuerzas policiales). El VIN se inserta directamente en el chasis del vehículo utilizando un marcador de cabeza de punto montado en un soporte especial de sujeción. Se puede interactuar con los sistemas informáticos (controlados).</p> <p>Una aguja de punta de carburo graba más materiales, incluyendo metales duros y en superficies planas o irregulares usualmente controlados por computadora. En comparación con el proceso en estampado convencional que requiere un solo golpe para estampar un número. El estampado alfiler exige múltiples golpes. Los principios físicos son los mismos que en el estampado en matriz o laminación; el material se deformará más allá de su límite elástico que resulta en una marca permanente.</p>
Rodillo de marcado	<p>El método de prensada en frío se utiliza para marcar la periferia de piezas circulares cilíndricas o sólidos. Amortiguadores y discos de freno están grabados en las estaciones de rodillo de marcado.</p>
Tipo marcaje en rueda	<p>El método de prensada en frío, donde las marcas de vehículos se realizan en una prensa hidráulica tipo ruedas controlados por un ordenador o pre programados.</p>

Grabado	Una operación de corte en fragmentos, en donde el sustrato se corta por una cabeza de hilatura pequeña, deja marcas tales como el número de serie. Troqueles grabados pueden tener un realce macho o hembra y pueden ser aplicados con sellos de mano. En el manual de operación y grabadores automáticos, las proporciones de pantógrafo estándar se encuentran entre 1:2 a 1:7.
Marca escrita	Una combinación entre la hilatura en frío y el método de grabado, produciendo solo fragmentos micro debido al corte micro mecanizado. La marca escrita para marcar el VIN se monta a menudo en un brazo robótico. Se trata de unidades totalmente automatizadas. A veces, hay un sistema de cámaras integradas en la cabeza de la máquina para obtener imágenes de la marca VIN.
Marca de rayo láser	Los metales y polímeros están marcados por un rayo láser intenso a través de sistemas controlados por computadora. La cantidad de calor importado del rayo láser es capaz de alterar la estructura en el material (acero o plástico). Este fenómeno se llama la zona afectada por el calor. Sistemas láser de CO ₂ o el granate de itrio aluminio (YAG) se utilizan para producir etiquetas VIN en metales y plásticos. Estos procesos son muy rápidos, controlados por ordenador y aplicables en líneas de producción automáticas.

Cuadro tomado de (Metz et al., 2006) y (Poole Colin [Wayne State University], 2000)

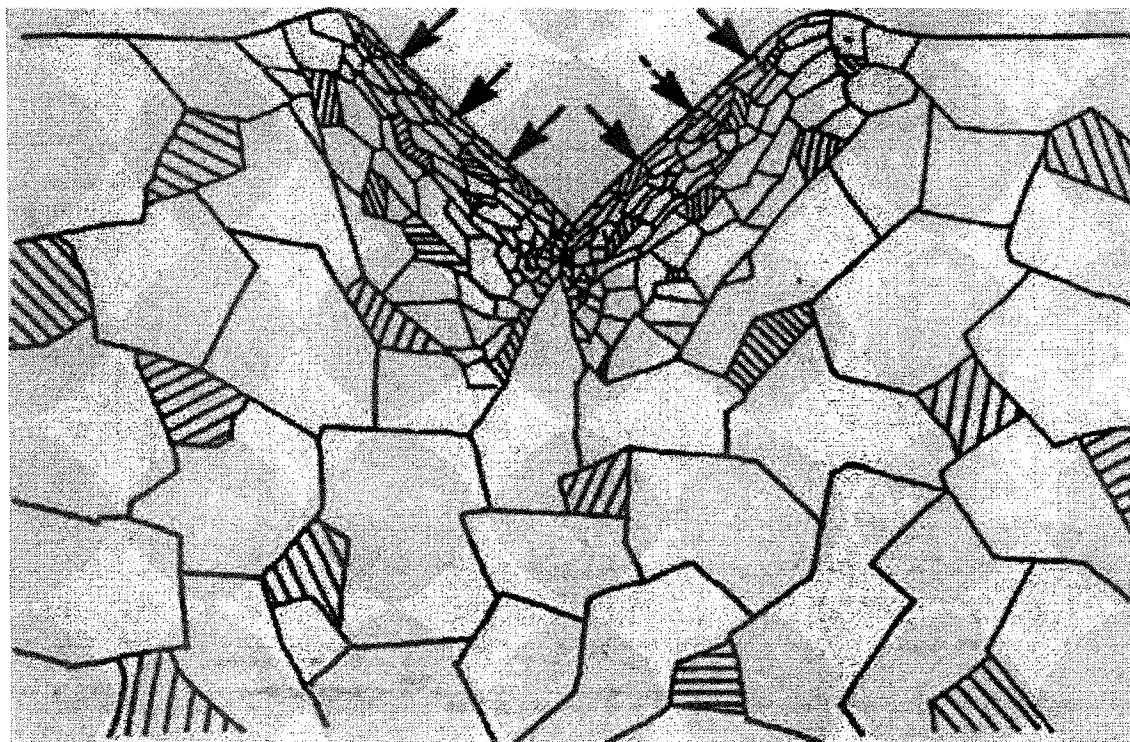


Figura 7. Representación de un corte transversal producto de una deformación al aplicar una fuerza en el metal. (Treptow, 1978)

5) Métodos de revelado

5.1 Método químico y electrolítico

El estudio del proceso electrolítico trabaja al conectar a un espécimen una fuente de corriente directa de voltaje variable, de tal forma que el espécimen se convierte en ánodo y un algodón absorbente mojado en la solución electrolítica, se convierte en el cátodo de una celda electroquímica. La aplicación de potencial eléctrico es lo que distingue el método electrolítico del método químico. En general, los científicos han indicado que el papel de este potencial es simplemente el de acelerar el proceso de revelado. (Metz et al., 2006)

Cuando se aplica el revelado químico a un metal, la superficie del mismo se disuelve por un proceso llamado oxidación. Los átomos del metal se oxidan al perder uno o más electrones, y de ese modo se convierten en iones de carga positiva. En esta nueva forma se disuelven en la solución de grabado. El proceso puede ilustrarse con la disolución del cinc en ácido clorhídrico: $Zn + 2HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2$ (Treptow, 1978)

El cinc metálico se convierte en cinc ionizado, en la forma de cloruro de cinc, un compuesto soluble. El gas hidrógeno es producto secundario de la reacción. Por el papel que juega, el ácido clorhídrico es designado el agente oxidante. En esta reacción el ácido clorhídrico se reduce, mientras que el cinc se oxida. En el método electrolítico el revelado se da de la misma forma, sólo que la fuente externa de potencial eléctrico funciona como una especie de "bomba" de electrones. Usando el anterior ejemplo, el cinc metálico se convierte en ánodo y sufre oxidación. Representamos así la media reacción: $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e$. (Treptow, 1978)

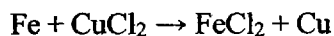
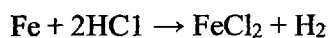
Los electrones liberados transitan por el alambre externo y la fuente eléctrica a la pinza metálica que retiene el algodón. En ese cátodo, el hidrógeno se reduce de acuerdo a la siguiente media reacción: $2H^+ + 2e \rightarrow H_2$. Así la reacción total es semejante a la que aparece arriba, ya que en ambos casos los dos productos finales son cinc ionizado y gas hidrógeno.

Lo que distingue al método electrolítico son la ubicación física aparte de las dos medias reacciones y el hecho de que una reacción dada ocurre más rápido con ayuda de una fuente de potencial. (Metz et al., 2006; Treptow, 1978)

Los metales varían en su capacidad de perder electrones y se pueden describir según su tendencia a la oxidación. Esa categorización se conoce en la química como la serie electroquímica. El potencial normal de oxidación para cada metal es la medida de su tendencia a perder electrones en ciertas condiciones normalizadas. La unidad usada en esta escala es el voltio, y convencionalmente se asigna al hidrógeno un valor de cero. (Chang, 2010)

Los agentes oxidantes se pueden catalogar de acuerdo a su predisposición a la reacción. Ya que los agentes oxidantes sufren reducción, el valor de cada uno se da como potencial normal de reducción. Un valor elevado indica que el agente oxidante es fuerte, a diferencia de tales reactivos, el ion hidrógeno del ácido clorhídrico normalmente no se conoce como agente oxidante, aunque juega ese papel con los metales reactivos. (Chang, 2010; Jimeno E., 1985)

Generalmente resulta un grabado y/o revelado químico acelerado cuando es suficientemente alta la combinación de factores de potencial de oxidación y reducción del mordiente. El reactivo de Fry, por ejemplo, reacciona fácilmente con todos los metales ferrosos. Estas son las principales reacciones químicas que ocurren:



En condiciones apropiadas se observan como productos, tanto gas hidrógeno como cobre metálico. (Chang, 2010; Treptow, 1978)

Para ser exitoso el proceso de revelado, el reactivo tiene que hacer más que atacar el metal prontamente. Tiene que atacarlo selectivamente para que la secuencia se distinga del metal

adyacente. La deformación mecánica acelera la tasa de revelado químico de un metal. La restauración química del metal ocurre porque el metal deformado inmediatamente debajo del número reacciona más rápidamente que el adyacente. (Treptow, 1978)

5.2 Método de Cavitación ultrasónica

La cavitación es un fenómeno que se puede producir en un líquido. Es la formación de burbujas de vapor debido a reducciones localizadas de presión. Así, el fenómeno es parecido a la ebullición, que es la formación de burbujas por aumentos localizados de temperatura. Un objeto sólido que se mueve rápidamente por un líquido puede crear las reducciones de presión necesarias para la cavitación. (Metz et al., 2006; Treptow, 1978)

La técnica con una fuente de potencia que convierte corriente alterna de 60 Hz en corriente eléctrica de 20 kHz. La corriente se transmite a un convertidor, en el que un transductor piezoeléctrico transforma la energía en vibraciones mecánicas de la misma frecuencia. Las vibraciones son transmitidas a un cuerno amplificador inmerso en agua de forma tal que la punta plana del cuerno vibra en dirección longitudinal, creando cavitación vibracional. Los especímenes de prueba se colocan directamente debajo de la punta del cuerno para recibir plenamente la acción grabadora de las burbujas cavitacionales. Se proporciona agua refrigerante para retirar el calor generado. Entre las ventajas del método ultrasónico figuran 1) su aplicabilidad sin variación a todos los metales, y 2) la eliminación de reactivos químicos y tratamiento preliminar de la superficie del espécimen. (Metz et al., 2006)

5.3 Método de partículas magnéticas

Una técnica comúnmente usada en la metalúrgica para detectar defectos superficiales o bajo la superficie del hierro y el acero es la conocida como la inspección con partículas metálicas. En esta técnica el espécimen de prueba se magnetiza primero y luego se rocía con partículas magnéticas finamente divididas. Las partículas migran sobre la superficie y se acumulan en el lugar donde existen grietas u otras discontinuidades. (Metz et al., 2006)

Hay una serie de constituciones de partículas magnéticas que se producen comercialmente para el trabajo de inspección. Se obtienen ya como polvos secos, como suspensiones en medio acuoso o aceite. En una variación las partículas se cubren con una sustancia química fluorescente bajo luz ultravioleta. Entre los métodos usados industrialmente para magnetizar temporalmente el espécimen figuran los siguientes: 1) pasar una corriente directa de alto amperaje de una unidad de prueba magnética por la pieza de prueba, 2) colocar la pieza en contacto con un imán de herradura 3) insertarla en un electroimán de bobinas. (Treptow, 1978)

Al igual que en otros métodos de restauración y, de acuerdo con el Procedimiento de revelado de la Unidad de Troquelados, primero se pule el espécimen, luego se coloca entre las platinas de contacto de una unidad de prueba magnética; ya que el espécimen es conductor eléctrico, sólo hace falta aplicarle un bajo voltaje para obtener la corriente de alto amperaje que se requiere. Si la restauración es exitosa, las partículas magnéticas aplicadas al espécimen dibujan el número borrado. Puesto que no daña la superficie del espécimen, se puede intentar primero, sin menoscabo de trabajos posteriores de restauración por otros métodos.

5.4 Método por calor

Las varias fases presentes en un metal policristalino muestran diferentes conductas cuando se exponen al calor. Este hecho se puede aprovechar para investigar la microestructura del metal. En esta técnica se usa un soplete de soldar para calentar el espécimen hasta que el número borrado se levanta de la superficie y se hace visible. Primero se le da al metal un pulido de espejo, calentándolo muy gradualmente para conseguir la restauración. Tras enfriarse, la superficie se pule ligeramente con papel lija 400 o similar, para quitarle depósitos de carbón. (Treptow, 1978)

6) Normas vehiculares aplicables a la industria automotriz con fines de identificación

Dentro de la información que se imprime en los aceros de uso automotriz existe una serie de normas, principalmente de la Organización Internacional de Normalización (ISO), como las que se citarán a continuación. Es importante indicar que según el mercado (europeo, asiático, suramericano, entre otros) al que vayan dirigidos los automotores, así serán las exigencias del mismo, las cuales pueden variar de un mercado a otro.

Cuadro 8. Resumen de las normas vehiculares ISO.

Norma	Resumen
ISO 4030	Especifica los requisitos para la ubicación y marcado del número de identificación del vehículo en los que son de motor, remolques, motocicletas y ciclomotores, según se define en ISO 3833. Es una combinación estructurada de caracteres asignados a un vehículo por el fabricante, con fines de identificación.
ISO 3779	Especifica el contenido y estructura de un número de identificación del vehículo para establecer, a nivel mundial, un sistema uniforme de numeración de identificación para los vehículos de uso en carretera. Se aplica a los vehículos de motor, vehículos remolcados, motocicletas y ciclomotores según la definición de la norma ISO 3833.
ISO 3780	Especifica el contenido y la estructura de un identificador con el fin de establecer, a nivel mundial, la identificación de los fabricantes de vehículos de carretera. El identificador mundial del fabricante (WMI) constituye la primera sección del número de identificación del vehículo (NIV) descrito en la norma ISO 3779. Se aplica a los vehículos de motor, vehículos remolcados, motocicletas y ciclomotores, según se define en la norma ISO 3833.
ISO 3833	Define términos relativos a algunos tipos de vehículos de carretera designados de acuerdo con determinadas características técnicas y de diseño. Se aplica a todos los vehículos destinados a la circulación por carretera, con excepción de los tractores agrícolas que sólo se utilizan incidentalmente para el transporte de personas o mercancías por carretera.

Cuadro tomado de www.iso.org

De forma general el VIN por sus siglas en inglés correspondiente al Número de Identificación Vehicular es una secuencia alfanumérica específica y única para cada unidad fabricada. Con anterioridad a 1980 no existía una norma para estos códigos, por lo que los diferentes fabricantes utilizaban distintos formatos. Los códigos actuales constan de 17 caracteres que no incluyen las letras I, O, Q y Ñ. (International Organization for Standardization, 1983)

El Número de Identificación Vehicular se encuentra compuesto por tres secciones:

WMI- Identificador Mundial del Fabricante - es un código asignado al fabricante para su identificación. El código está compuesto por tres caracteres (letras o cifras) asignados por el órgano correspondiente del país sede del fabricante, de acuerdo con la Organización Internacional para la Estandarización o su representante nacional. (International Organization for Standardization, 1983; Metz et al., 2006)

VDS- Sección Descriptiva del Vehículo - de seis caracteres que proporcionan la característica y descripción general del vehículo. Los caracteres, su orden y significado son definidos por el fabricante. En los lugares no aprovechados por el fabricante se ponen caracteres elegidos por el mismo que no tengan un significado definido. (International Organization for Standardization, 1983)

VIS- Sección Identificadora del Vehículo - los últimos ocho caracteres, de los cuales los últimos cuatro son cifras. Si el fabricante quiere indicar el año de fabricación y/o la fábrica, se recomienda que el año se indique en la primera y la fábrica en la segunda posición de la VIS. Por el "año" se entiende el año civil de la fabricación del vehículo o el año modelo del vehículo según lo defina el fabricante. (International Organization for Standardization, 1983)

Se autoriza a los fabricantes a aplicar caracteres que separen las partes del VIN, WMI, VIS, siempre y cuando estos no sean los caracteres mencionados que podrían confundirse con los mismos. Los caracteres de separación no pueden, sin embargo, utilizarse en los documentos. El número VIN en el vehículo debe mostrarse en una o dos líneas sin lugares vacíos, indicando que la continuidad de las tres partes del VIN: WMI, VDS, VIS no puede verse

perturbada. El VIN en las documentaciones debe ponerse en una línea de manera continua. La descripción y significado del VIN han sido indicados según el estándar ISO 3779 (1983).

Cuadro 9. Conformación del VIN (Número de Identificación Vehicular)

Estándar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ISO 3779	WMI			VDS						VIS							

WMI = World Manufacturer Identifier, VDS = Vehicle Descriptor Section, VIS = Vehicle Identifier Section (NICB, 2017)

La décima posición del código de identificación de vehículos nos indica el año del modelo (ver cuadro 10), así como el noveno corresponde a un dígito de chequeo.

Cuadro 10. Códigos de identificación del décimo dígito.

Código	Año	Código	Año	Código	Año	Código	Año	Código	Año
A=	1980	L=	1990	Y =	2000	A=	2010	L=	2020
B=	1981	M=	1991	1 =	2001	B=	2011	M=	2021
C=	1982	N=	1992	2 =	2002	C=	2012	N=	2022
D=	1983	P=	1993	3 =	2003	D=	2013	P=	2023
E=	1984	R=	1994	4 =	2004	E=	2014	R=	2024
F=	1985	S=	1995	5 =	2005	F=	2015	S=	2025
G=	1986	T=	1996	6 =	2006	G=	2016	T=	2026
H=	1987	V=	1997	7 =	2007	H=	2017	V=	2027
J=	1988	W=	1998	8 =	2008	J=	2018	W=	2028
K=	1989	X =	1999	9 =	2009	K =	2019	X =	2029

Cuadro tomado de (NICB, 2017)

Capítulo II: Métodos de trabajo

La toma de las muestras en los vehículos se realizó de manera aleatoria a partir de una lista de destrucción emitida por el Poder Judicial, la cual es de carácter confidencial. Cada pieza metálica fue cortada alrededor de la secuencia identificatoria primaria del automotor (carrocería) por un equipo de oxiacetileno, obteniéndose 16 trozos metálicos con secuencias de identificación.

Los reactivos utilizados fueron manipulados con equipo de protección personal, como mascarilla de gases y guantes, y se prepararon en la Unidad de Troquelados del Laboratorio de Ciencias Forenses.

Las 16 muestras tomadas se basan en el razonamiento estadístico-matemático de Acuña 1999, el cual tomó como supuesto una población finita cuando el número total muestreado es pequeño, con un factor de cobertura estándar del 95,00 % y un 5,00 % de significancia. (ver anexo 1 para más detalle), tomando como justificante para el tamaño de muestra mencionado que la Unidad de Troquelados del OIJ analiza aproximadamente 1300 casos por año.

A la totalidad de las muestras se les eliminó los residuos de pintura y óxido hasta obtener el metal desnudo, ya que se consideran contaminantes o interferencias dentro de la metodología. Luego de cada muestra se cortaron dos trozos de metal de forma aleatoria en cualquiera de los bordes, para ser enviados al Laboratorio de Ensayo de Materiales del INA (Instituto Nacional de Aprendizaje): uno de 1cm² y otro de 2 cm², debido a que esas eran las medidas mínimas necesarias para los análisis.

Con el primero se determinó la conformación cristalográfica y con el segundo la composición química. Los pasos que se siguieron fueron de la siguiente manera: El trozo de 1cm² lo encapsularon en material polimérico, lo pulieron y el analista lo observó al microscopio y determinó cada cristalografía. El trozo de 2 cm² lo colocaron y fue analizado directamente por el espectrómetro.

La secuencia alfanumérica de cada una de las muestras se desgastó por completo y se dividió en tres partes. Aleatoriamente, se le aplicó a cada una de las partes resultantes uno de los métodos siguientes: 1) Químico: Fry, 2) Electroquímico: Davis a 6V y 3) Electroquímico: Davis a 12V.

Se siguió el tratamiento y criterio de revelado de las muestras según se realiza en la Unidad de Troquelados del OIJ, bajo los Procedimientos Normados: *Procedimiento para el revelado de secuencias alfanuméricas o símbolos impresos en superficies metálicas* y *Procedimiento para el análisis de medios primarios de identificación*; los cuales son documentos confidenciales en su primera edición y del Sistema de Gestión de Calidad del Departamento de Ciencias Forenses de Costa Rica. Sin embargo, el procedimiento guarda similitud con el procedimiento indicado por Treptow 1978.

Cuadro 11. Lista de materiales y equipos utilizados en el tratamiento de muestras.

Cortadora neumática Pneumatic Tools PJ558620	Fuente de poder AC/DC
Mototool marca Kawasaki	Cámara digital, marca Cannon Eos Rebelt
Removedor de pintura, marca Diablo	Algodón
Cepillo manual de acero	Palillos de bambú
Taladro, marca Metabo PJ558555	Microscopio con cámara
Pulidora neumática	Vernier
Cronómetro	Espectrómetro

Uno de los principales obstáculos fue que las muestras después de estar libres de pintura y/o óxido, no se podían desgastar de forma controlada, ya que al momento del presente estudio

no se contaban con equipos automatizados que lo realizaran. Por lo cual, el desgaste de la superficie se tuvo que realizar con una lijadora neumática manual, y se dejaba de desgastar hasta que ya no fueran visibles los caracteres sobre la superficie, con lo cual al aplicársele los métodos de revelado (Davis 6v, Davis 12v y Fry), a cada muestra, se recuperaron la secuencia proveniente de la deformación plástica ocasionada por la impresión que realizó el fabricante. Otro obstáculo se podría atribuir a la heterogeneidad de las muestras en cuanto a la marca de fabricación y el tipo de impresión y la elección aleatoria de todos los factores utilizados.

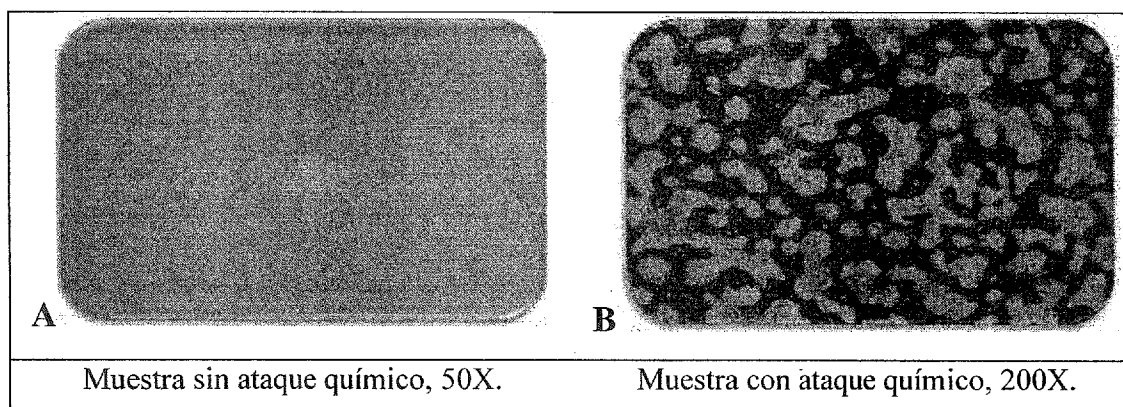
El principal factor que facilitó el presente estudio fue la caracterización realizada por el Laboratorio de Ensayo de Materiales del INA, que permitió conocer el tipo de metal con el que se trabajó.

Capítulo III: Resultados

Análisis por espectrometría de Emisión Óptica obtenidos por el INA, según informe LEM110-2016

De acuerdo al informe la cantidad de carbono presente en la aleación de todas las muestras es semejante. Tienen muy bajo contenido de carbono y presentan otros elementos como azufre, fósforo y manganeso, lo cual es concordante con una aleación igual o inferior al acero SAE 1006. Se encuentran pequeñas variaciones en los contenidos del elemento manganeso, lo que resulta en variaciones de la templabilidad (profundidad a la cual puede endurecerse), sin embargo, no son variaciones muy altas o notorias.

Figura 8. Superficies metálicas observables con y sin ataque químico.



Ensayo metalográfico según informe LEM111-2016 del INA

De acuerdo al informe LEM 111-2016 se contextualiza que, previo al ataque químico se visualizaban en las muestras al ser analizadas, un número pequeño de inclusiones no metálicas distribuidas de manera uniforme por toda la superficie de las muestras. Luego del ataque químico las muestras, dejan ver unas microestructuras diversas, siendo las mismas características de aceros de tipo hipoeutectoide de bajo contenido de carbono (porcentaje de carbono menor al 0,1% en su composición química), la cual se encuentra constituida por

granos con figuras poligonales, conexiones quebradas, agudas y de formas variadas de ferrita alfa.

Como se puede visualizar en la figura 8.A, la misma corresponde a la observación del metal con un aumento de 50X y sin ataque químico. Por otro lado, la 8B es la misma muestra metálica, pero con un ataque químico previo de Nital al 4%, el cual se encargó de hacer visible la microestructura del acero al carbono y se realizó con un aumento cuatro veces mayor (200X), para lograr detallar la forma de los granos.

Cuadro 12. Resultados del desgaste producido por la lijadora neumática manual e información de producción contenida en las muestras de acero de bajo contenido de carbono

Muestra	Secuencia	Espesor inicial (+/- 0.01mm)	Espesor final (+/- 0,01 mm)	Desgaste producido (+/- 0,01 mm)	Marca Automotriz	País de producción
1	KMHVF21NPRU086893	0,93	0,63	0,30	Hyundai	Corea
2	1HGAD5437EA033347	0,82	0,40	0,42	Honda	EEUU
3	KMHVF31JPMU434707	0,95	0,58	0,37	Hyundai	Corea
4	KMHCG51BPXU017987	0,80	0,55	0,25	Hyundai	Corea
5	JDAL251S001023036	0,80	0,54	0,26	Daihatsu	Japón
6	JHMEC3320HS016015	0,95	0,38	0,57	Honda	Japón
7	JF1AC2BL0CB628404	0,80	0,49	0,31	Subarú	Japón
8	AL21-0185378	0,93	0,34	0,59	Toyota	Japón
9	2HGEJ6648TH114642	0,87	0,60	0,27	Honda	Canadá
10	AT151-0124690	0,90	0,35	0,55	Toyota	Japón
11	DSFC11AJU00869	0,95	0,56	0,39	Mitsubishi	Japón
12	EL31-0233244	0,83	0,40	0,43	Toyota	Japón
13	KMHCG41BPYU061607	0,82	0,59	0,23	Hyundai	Corea
14	KMHVF31JPNU626617	0,90	0,63	0,27	Hyundai	Corea
15	8AD2AN6AD6G007917	0,98	0,65	0,33	Peugeot	Argentina
16	KMHVF11JPNU589647	0,85	0,58	0,27	Hyundai	Corea

De acuerdo con el Cuadro 12, se realizaron dos mediciones con el vernier; primeramente, de la superficie limpia; y posteriormente, después de haber eliminado la información que presentaba; luego, por diferencia se obtuvo el desgaste producido. De manera general las muestras manifestaron un desgaste aleatorio importante debido a factores como el tipo de impresión y la fuerza de grabado que el fabricante utilizó. Otro factor que pudo haber tenido influencia, pero que se descartó, fue la diferencia en el tipo de material, de acuerdo a los informes del Laboratorio de Materiales del INA: LEM110-2016 y LEM111-2016, ya que nos encontrábamos ante un mismo tipo de metal bajo la normativa SAE 1006, con bajo contenido de carbono y constituido principalmente por ferrita.

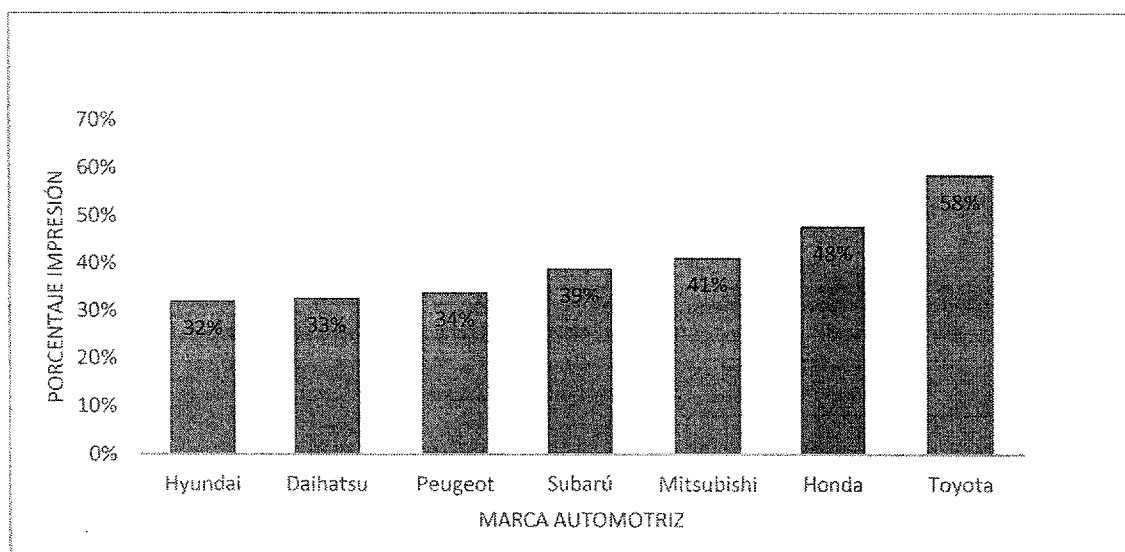
Debe tomarse en consideración que, de acuerdo a la legislación vigente en Costa Rica, no hay un claro detalle de los requisitos en materia de identificación, que deben poseer los vehículos para poder ser comercializados acá; ya que como se puede apreciar en nuestro parque vehicular, existe una inmensa diversidad de marcas automotrices de diferentes partes del mundo, dato a resaltar en el cuadro anterior.

El mismo problema anterior hace que el fabricante ponga sus propias reglas en materia de identificación e individualización y confirma que nuestro país sea un mercado muy diverso. Otro tema paralelo a considerar es que pueden existir diferentes percepciones de lo que es un adecuado medio de identificación y queda a criterio del comprador el asesorarse sobre la identificación propia de su vehículo, sabiendo que puede ser una placa, una calcomanía o una impresión primaria, así como las características morfológicas que debe presentar.

Existen países o mercados donde las normativas son más rígidas que las mencionadas anteriormente y que son un ejemplo a seguir como: EEUU, Europa o Suramérica, donde se tienen una estricta manipulación e identificación de medios primarios, secundarios; y también hasta para la comercialización de repuestos automotrices (Olvera Reyes 2004). En nuestra realidad se pueden ver una serie de debilidades en el ingreso de automotores por las aduanas, en los puestos fronterizos y en la inscripción por parte de notarios, sabiendo que

sólo por medio de una autoridad pertinente se puede demostrar la alteración de un vehículo, que ha estado circulando por un tiempo dentro del país.

Figura 9. Promedio de las profundidades visibles de impresión en porcentaje provocado por el fabricante en las muestras automotrices.



De acuerdo a la Figura 9, del grosor inicial de la lámina utilizada por el fabricante, la cual oscila entre 0.8 a 0.9mm aproximadamente, por ejemplo, en el caso de la marca Toyota el 58% del grosor se redujo producto de la contracción del metal al ser aplicado una fuerza a través de alguna forma de marcado y corresponde a la profundidad hasta la que llegó el sistema de impresión, lo cual deja en esa zona solamente un 42% del grosor original de la lámina metálica. De la misma manera bajo esa explicación en la marca Hyundai fue donde se obtuvo la menor penetración o compresión sobre el metal.

Sin embargo, es de vital importancia aclarar que el tipo de impresión juega otro papel importante, ya que desde un inicio en las muestras tratadas del total que eran 16, 14 tenían una impresión por medio de dado de impacto y solamente dos tenían un sistema de impresión mediante puntos, ambas de la marca Hyundai.

Cuadro 13. Resultados de los revelados utilizadas en cada uno de los trozos de muestra analizada, su comparación y tiempo de revelado.

Nº Muestra	Identificación Segmento	Trazos visibles inicialmente	Trazos visibles después del revelado	Metodología de revelado	Tiempo revelado (seg)
	Trozo 1	KMHVF2	KMHVF2	3	37
	Trozo 2	1NPRU0	1NPRU0	2	55
	Trozo 3	86893	86893	1	51
	Trozo 1	1HGAD5	1HGAD5	2	15
	Trozo 2	437EA0	437EA0	3	20
	Trozo 3	33347	33347	1	34
	Trozo 1	KMHVF	KMHVF	3	14
	Trozo 2	31JPM	31JPM	2	21
	Trozo 3	U4347	U4347	1	44
	Trozo 1	KMHCG5	KMHCG5	1	40
	Trozo 2	1BPXU0	1BPXU0	2	24
	Trozo 3	17987	17987	3	20
	Trozo 1	JDAL25	JDAL25	2	40
	Trozo 2	1S001	1S001	1	33
	Trozo 3	023036	023036	3	25
	Trozo 1	JHMEC3	JHMEC3	2	12
	Trozo 2	320HS	320HS	1	14
	Trozo 3	016015	016015	3	10
	Trozo 1	1AC2B	1AC2B	1	50
	Trozo 2	L0CB6	L0CB6	3	20
	Trozo 3	28404	28404	2	22
	Trozo 1	AL21	AL21	1	59
	Trozo 2	018	018	2	30
	Trozo 3	537	537	3	20

Continuación cuadro 13

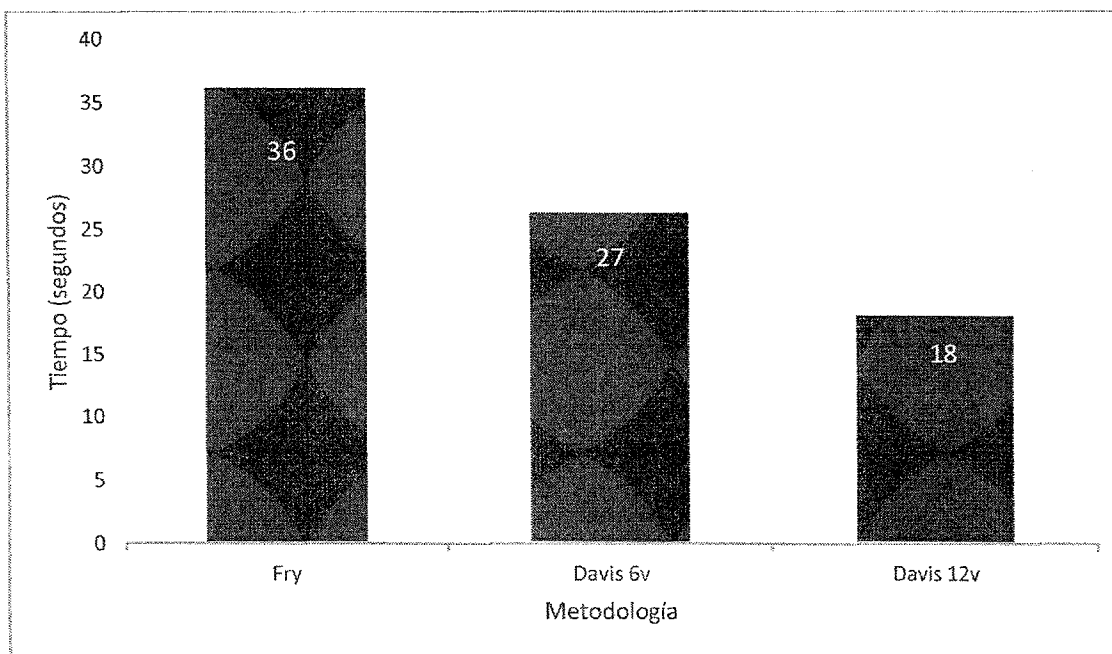
Nº Muestra	Identificación Segmento	Trazos visibles inicialmente	Trazos visibles después del revelado	Metodología de revelado	Tiempo revelado (seg)
	Trozo 1	2HGEJ6	2HGEJ6	3	19
	Trozo 2	648TH1	648TH1	2	26
	Trozo 3	14642	14642	1	26
	Trozo 1	AT151	AT151	2	27
	Trozo 2	-012	-012	3	15
	Trozo 3	4690	4690	1	24
	Trozo 1	DSFC	DSFC	3	17
	Trozo 2	11AJ	11AJ	1	25
	Trozo 3	U0086	U0086	2	20
	Trozo 1	31-	31-	1	44
	Trozo 2	0233	0233	2	30
	Trozo 3	244	244	3	16
	Trozo 1	KMHCG4	KMHCG4	2	23
	Trozo 2	1BPYU0	1BPYU0	1	28
	Trozo 3	61607	61607	3	16
	Trozo 1	VF31J	VF31J	2	19
	Trozo 2	PNU62	PNU62	1	20
	Trozo 3	6617	6617	3	11
	Trozo 1	AD2AN	AD2AN	1	45
	Trozo 2	6AD6G	6AD6G	3	16
	Trozo 3	007917	007917	2	34
	Trozo 1	KMHVF	KMHVF	1	45
	Trozo 2	11JPN	11JPN	2	26
	Trozo 3	U5896	U5896	3	17

En el cuadro anterior, se observa que en el total de las muestras fue posible recuperar todos los dígitos desgastados, lo anterior debido a la propagación adecuada de la deformación plástica ocasionada en la lámina metálica, así como por el desgaste realizado. Las metodologías objeto de estudio fueron: 1- Fry, 2- Davis 6V y 3- Davis 12V. Se marcó con una línea roja el trozo metálico que obtuvo la totalidad de los caracteres de forma más rápida por muestra.

Los reactivos Davis y Fry están conformados por las mismas sustancias, pero en diferentes proporciones. El reactivo Davis está conformado por 5g de CuCl_2 , 50mL de H_2O y 50mL de HCl ; con una proporción de sólido disuelto de 0.05g/mL, mientras que el Fry está compuesto por 90g de CuCl_2 , 100mL de H_2O y 120mL de HCl y una proporción de 0.40g/mL. De acuerdo con la reacción que ocurre entre el metal y el reactivo Fry, debería actuar según la teoría más rápido que el Davis en igualdad de condiciones. Ahora, cuando se aplica una corriente al reactivo Davis, esto provoca que funcione como un catalizador de la reacción con el metal y se puede visualizar este efecto en la Cuadro 10.

Un aumento del voltaje provocó como se puede observar en el cuadro anterior y en la figura 10, que en 15 de las 16 muestras los resultados indiquen que Davis a 12V sea la técnica más rápida en la obtención del revelado, con lo cual el flujo de electrones hace una mejora significativa en el revelado sobre superficies metálicas. En ningún caso el Fry superó la otra técnica aplicada.

Figura 10. Rapidez en segundos del revelado de las metodologías.



Como se observa en la Figura 10, la metodología Fry es la más lenta en promedio al revelar los trozos metálicos de bajo contenido de carbono. Al comparar el reactivo Davis y Fry sin una fuente eléctrica; según menciona Treptow, el reactivo Fry por mayor reactividad química debe revelar más rápidamente que el Davis. Si se observan los demás resultados, este efecto es opuesto, lo cual se le atribuye al voltaje aplicado y como al modificarlo provoca un efecto inmediato en el tiempo de revelado.

Las técnicas funcionan mediante una reacción de oxidación-reducción entre el metal y el reactivo. Algo importante a resaltar es que el acero de baja cantidad de carbono presenta una alta reactividad en comparación con otros tipos de aceros. (Treptow, 1978)

Además de que la metodología Davis a 12V fue la más rápida en recuperar la información desgastada y que hay un efecto directo del voltaje en la disminución del tiempo de revelado. Todas las muestras presentaban buena definición en los dígitos revelados y muy similares independientemente del tipo de metodología utilizada; lo cual, es una medida válida en el

revelado de muestras y más ya que es una pericia interpretativa implementada, tanto en el Departamento de Ciencias Forenses del OIJ como otros laboratorios forenses modelo a nivel mundial, ratificado dentro de la normativa ISO 17020.

Capítulo IV: Conclusiones

1. Todas las muestras se encuentran compuestas por láminas de acero de baja cantidad de carbono y se determinaron pertenecientes a la norma SAE 1006, lo que confirma la homogeneidad de las muestras en cuanto al tipo de metal que las conformaba. Por lo que se puede despreciar como variable de interés, el efecto que pudiera tener la composición química de la matriz sobre los resultados arrojados de las muestras objeto de estudio.
2. El ensayo metalográfico de las muestras en estudio, ratifica que los especímenes analizados son aceros de baja cantidad de carbono y presentan mayoritariamente granos equiaxiales de ferrita alfa, lo cual es concordante con aceros de aplicación automotriz que presentan facilidad para su deformado y/o moldeado.
3. El aumento de 6 a 12 voltios sobre las muestras de origen automotriz, aplicando el reactivo Davis, muestra una clara reducción del tiempo promedio de revelado en casi 10 segundos, lo cual asegura que el voltaje funciona como un acelerador de la reacción. Con lo cual, los peritos forenses identificadores, pueden llegar a obtener más fácilmente las series numéricas alteradas por desgaste y con ello, un aumento en la producción de casos.
4. Todas las metodologías aplicadas de acuerdo con el cuadro 13 tuvieron una recuperación de las secuencias borradas del 100%, esto debido en gran parte a la presencia de ferrita; lo que varió fue el tiempo de revelado o tiempo de recuperación, ya que se determinó que en 15 de las 16 muestras, la metodología electrolítica a 12 voltios, utilizando el reactivo Davis, dio la recuperación más rápida, lo anterior gracias a la aportación de electrones por parte de la fuente de poder a la reacción REDOX (reducción-oxidación). Este hallazgo, podría aplicarse para la realización

de pruebas intralaboratorias baratas y rápidas, mismas que ayudarán en el proceso de acreditación en que se encuentra actualmente la Sección de Pericias Físicas, pudiéndose con ello verificar la idoneidad y experticia de los peritos que se dedican a la recuperación de series identificadoras de bienes.

5. Las muestras analizadas presentaban profundidades de impresión diversas. Al categorizarlas por la marca de manufactura, nos revela que la marca automotriz Hyundai es la que imprime la información identificadora a menor profundidad. Por otro lado, Toyota lo realiza a mayor profundidad. Lo anterior, tiene relevancia debido a que al estar ante un mismo tipo de metal (SAE 1006), el ejercer una mayor fuerza en la impresión va a provocar un incremento en la deformación plástica a lo interno y por lo tanto, en piezas de un grosor mayor, el éxito de recuperación será más alto y las posibilidades de devolver el bien a su dueño aumentan.
6. Puede observarse que, aunque las muestras fueron elegidas de forma aleatoria dentro de un grupo de vehículos que iban a ser destruidos, muchas de las muestras analizadas corresponden a vehículos de origen asiático, principalmente Japón (Toyota) y Corea (Hyundai), por lo que se infiere que dichas marcas son más susceptibles a ser víctimas de delitos como robo y gemelo (clonación de automóviles en sus medios identificatorios); entre otros. Lo cual, es acorde con las estadísticas del OIJ en temas de robo de vehículos.

Capítulo V: Recomendaciones

1. Es necesario ampliar el trabajo de investigación a otras metodologías de revelado, metales y medios de identificación para poder comprobar por trabajo propio la efectividad reportada en algunos estudios científicos y poder mejorar los procedimientos de operación normados por parte de la Unidad de Troquelados del OIJ. Ya que el presente trabajo responde únicamente a objetivos planteados por vacíos bibliográficos existentes y se hace necesario mayor investigación para otras aplicaciones que están en desarrollo.
2. Con el presente trabajo se abre la posibilidad de incorporar pruebas intralaboratorias para comprobar la idoneidad de los peritos recuperadores de números de serie que laboran en el OIJ, con la ventaja de que dichas pruebas presentan un alto grado de similitud a los indicios que comúnmente se analizan en la Sección de Pericias Físicas.

Bibliografía

- Abdul Wahab, M. F., Mohamad Ghani, N. I., & Kuppuswamy, R. (2012). An investigation into the suitability of some etching reagents to restoring obliterated stamped numbers on cast iron engine blocks of cars. *Forensic Science International*, 223(1–3), 53–63. <http://doi.org/10.1016/j.forsciint.2012.07.020>
- Azlan Mohd. Zaili, M., Kuppuswamy, R., & Harun, H. (2007). Restoration of engraved marks on steel surfaces by etching technique. *Forensic Science International*, 171(1), 27–32. <http://doi.org/10.1016/j.forsciint.2006.09.010>
- Baharum, M. I. M., Kuppuswamy, R., & Rahman, A. A. (2008). Recovering obliterated engraved marks on aluminium surfaces by etching technique. *Forensic Science International*, 177(2–3), 221–227. <http://doi.org/10.1016/j.forsciint.2008.01.004>
- Chang, R. (2010). *Química* (10th ed.). Mexico: McGRaW-HiLL.
- da Silva, L., & dos Santos, P. a M. (2008). Recovering obliterated laser engraved serial numbers in firearms. *Forensic Science International*, 179(2–3), 63–66. <http://doi.org/10.1016/j.forsciint.2008.05.012>
- International Organization for Standardization. (1983). ISO 3779:1983 Road Vehicles-Vehicles Identification Number (VIN)-content and structure. *Geneva, Switzerland*.
- Jimeno E., M. P. M. F. R. (1985). *Metalurgia General, Volume 2 (II)*. Barcelona: Editorial Reverté. Retrieved from <http://books.google.com/books?id=I-hsKRVkzsAC&pgis=1>
- Kucher, A. (1987). *Tecnología de metales*.
- M, D., & Turley, M. (1987). Components Restoration of Stamp Marks on Steel Components Etching and Magnetic Magnetic Techniques by Etching, 32(3), 640–649.
- Metz, K., Stauffer, E., & Bonfanti, M. (2006). *Forensic Investigation of Stolen-Recovered and Other Crime-Related Vehicles. Forensic Investigation of Stolen-Recovered and*

Other Crime-Related Vehicles. Elsevier. <http://doi.org/10.1016/B978-012088486-5/50032-6>

NICB. (1994). *1994 Passenger Vehicle Identification Manual* (65 th). Palos Hills, Illinois: National Insurance Crime Bureau.

Olvera Reyes, P. J. (OCRA), & Pérez Parra, G. (Perito en J. de la P. (2004). *Identificación de Vehículos* (Segunda). OCRA.

Poole Colin (Wayne State University). (2000). *Enciclopedia de Ciencias Forenses*. (J. (Michigan S. U. Siegel, G. (National T. C. for S. S. to crime investigation) Knupfer, & P. (University of T. Saukko, Eds.). Academic Press.

R.A.E. (2001). *Diccionario de la Lengua Española* (22nd ed.).

Shackelford, J. F. (2005). *Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros*, 870.

Smith, W. F. (2006). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*.

Society of Automotive Engineers. (1999). SAE J2340.

Society of Automotive Engineers. (2015). SAE J2329.

Song, Q. (2015). Restoration of obliterated engraved marks on steel surfaces by chemical etching reagent. *Forensic Science International*, 250, 33–36. <http://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.02.018>

Treptow, R. S. (1978). *Handbook of methods for the restoration of obliterated serial numbers*. Chicago, Illinois.

Uli, N., Kuppuswamy, R., & Amran, M. F. C. (2011). A survey of some metallographic etching reagents for restoration of obliterated engraved marks on aluminium-silicon alloy surfaces. *Forensic Science International*, 208(1–3), 66–73. <http://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.11.005>

Weimar, B., & Herrmann, D. (2011). A simple magneto-optical method for the restoration of erased markings in metals. *Forensic Science International*, 207(1–3), 119–121. <http://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.09.015>

- White, R. M., & Keller, R. R. (2015). Restoration of firearm serial numbers with electron backscatter diffraction (EBSD). *Forensic Science International*, 249, 266–270. <http://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.02.003>
- Wightman, G., & Matthew, J. (2008a). Development of an etching paste. *Forensic Science International*, 180(1), 54–57. <http://doi.org/10.1016/j.forsciint.2008.06.019>
- Wightman, G., & Matthew, J. (2008b). Restoration of stamp marks on steel components. *Forensic Science International*, 180(1), 32–36. <http://doi.org/10.1016/j.forsciint.2008.06.017>

Anexo 1

Justificación matemática tamaño de muestra

A) Las fórmulas de tamaño de muestra (n), para una aproximación o suposición de que la distribución es normal para las características o atributos de una población de tamaño conocido (N); son:

1) Para una muestra de población finita (cuando N es pequeño, SI depende de N):

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 N \sigma^2}{Z_{\alpha/2}^2 \sigma^2 + N E^2}$$

Fórmula tomada de Acuña, 1999

2) Para una muestra de población infinita (cuando N es muy grande, NO depende de N):

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \sigma^2}{E^2}$$

Fórmula tomada de Acuña, 1999

En ambas fórmulas:

- $Z_{\alpha/2}$ es el factor de cobertura estándar a la probabilidad α deseada (generalmente 95,00 % de confianza o 5,00 % de significancia, lo que significa $\alpha=0,05$ y $Z_{\alpha/2} = 1,96$);

- N es el tamaño de la población;

- σ es la desviación estándar de la población bajo estudio para una característica particular;

- E es el error de muestreo tolerado en el estudio cuando se analice la muestra y se utilicen los estimadores o estadígrafos de muestra para inferencias sobre la población.

B) Además, las fórmulas de las definiciones relativas de error y dispersión con respecto a la media de la población, son:

3) Para el error relativo (% de error):

$$\%E = \frac{E}{\mu} * 100\%$$

Fórmula tomada de Acuña, 1999

4) Para la dispersión relativa (DER o CV):

$$DER = CV = \frac{\sigma}{\mu} * 100\%$$

Fórmula tomada de Acuña, 1999

En ambas fórmulas:

- μ es la media de la característica o atributo en particular para la población bajo estudio.

C) Si se consideran las definiciones anteriores, primero para despejar las ecuaciones de los apartados 3 y 4 (para expresar E y σ , respectivamente en función de las otras variables), y luego sustituir las expresiones resultantes en ambas ecuaciones de los apartados 1 y 2, se puede obtener:

5) Para una muestra de población finita (cuando N es pequeño, SI depende de N):

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 N (CV)^2}{Z_{\alpha/2}^2 (CV)^2 + N (\%E)^2}$$

Fórmula tomada de Acuña, 1999

6) Para una muestra de población infinita (cuando N es muy grande, NO depende de N):

$$= \frac{Z_{\alpha/2}^2 (CV)^2}{(\%E)^2}$$

Fórmula tomada de Acuña, 1999

D) La ventaja de expresar las dos ecuaciones anteriores en términos relativos (CV y %E), es que permite realizar cálculos independientemente de los valores absolutos de E, σ y μ ; lo que a la vez permite suponer aspectos de dispersión y de error, incluso para atributos o características no cuantificables o cuantitativas.

Por ejemplo, para una población de 1500 casos de análisis por año, relacionados con la adulteración del código VIN en automóviles, se puede seleccionar muestras representativas para estudios de cualquier tipo de atributos y características, si se supone que la variabilidad relativa del estudio puede ser de hasta un mínimo del 100,00 % (CV = 100,00 %) y se quiere tolerar un error relativo máximo de muestreo de 5,00 % (%E = 5,00 %). El error de muestreo es solamente el que se puede asignar a los parámetros estudiados por no realizar un estudio del total de unidades que representan la población (error de estimación por realizar el muestreo).

Estas dos suposiciones permiten obtener las siguientes cantidades de muestra:

7) Para una muestra de población finita (cuando N es pequeño, SI depende de N):

$$n = \frac{(1,96)^2 1500 (100,00 \%)^2}{(1,96)^2 (100,00 \%)^2 + 1500 (5,00 \%)^2} = \frac{57624000}{75916} = 759$$

8) Para una muestra de población infinita (cuando N es muy grande, NO depende de N):

$$n = \frac{(1,96)^2 (100,00 \%)^2}{(5,00 \%)^2} = 1537$$

E) De acuerdo con el tamaño de la población finita de 1500 casos por año, la fórmula que aplica es la primera (población finita y no grande) y tal como se observa la muestra necesaria es muy grande (si CV es como mínimo tan grande como 100,00 %), prácticamente la muestra es igual a la mitad de la población.

Es por esto que mejor vamos a usar esa fórmula de otra forma. Por ejemplo, se puede calcular el error máximo de muestreo, cuando se usa una muestra de $n = 15$ (y por ahora seguimos manteniendo que la variación es grande $CV = 100,00 \%$).

Para una muestra de población finita (cuando N es pequeño, SI depende de N), desarrollamos a partir de la ecuación del apartado 5:

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 N (CV)^2}{Z_{\alpha/2}^2 (CV)^2 + N (\%E)^2}$$

$$Z_{\alpha/2}^2 (CV)^2 + N (\%E)^2 = \frac{Z_{\alpha/2}^2 N (CV)^2}{n}$$

$$N (\%E)^2 = \frac{Z_{\alpha/2}^2 N (CV)^2}{n} - Z_{\alpha/2}^2 (CV)^2$$

$$(\%E)^2 = \frac{Z_{\alpha/2}^2 (CV)^2}{n} - \frac{Z_{\alpha/2}^2 (CV)^2}{N}$$

$$(\%E)^2 = \left(\frac{1}{n} - \frac{1}{N} \right) Z_{\alpha/2}^2 (CV)^2$$

Fórmulas tomadas de Acuña, 1999

9) Que finalmente permite obtener:

$$\%E = \sqrt{\left(\frac{1}{n} - \frac{1}{N} \right)} Z_{\alpha/2} CV$$

Fórmula tomada de Acuña, 1999

Para este caso, se puede estimar en primera instancia:

$$\%E = \sqrt{2 \left(\frac{1}{15} - \frac{1}{1500} \right)} 1,96 (100,00 \%) = 50,35 \%$$

Esto significa que con una muestra de $n = 15$, el error relativo de muestreo podría ser como máximo de 50,35 %, siempre que la variabilidad sea como mínimo de $CV = 100,00 \%$. Pero si CV o la variabilidad es menor, como por ejemplo $CV = 25,00 \%$, el cálculo sería:

$$\%E = \sqrt{2 \left(\frac{1}{15} - \frac{1}{1500} \right)} 1,96 (25,00 \%) = 12,59 \%$$

Este es un error aceptable para el estudio, por las características de atributos que implica el trabajo que se desarrollará.

Si consideramos en los cálculos del tamaño de muestra que la variabilidad mínima es $CV = 25,00 \%$ (porque la variabilidad no tiene que ser tan grande si los experimentos se realizan cuidadosamente y los diseños aleatorios son adecuados) y que $\%E = 12,50 \%$ (NOTA: como si el error permitido fuera como máximo la mitad del CV anterior, lo cual se fundamenta en que CV y $\%E$ están intrínsecamente relacionados de acuerdo con la ecuación del apartado 9).

Al considerar lo anterior ($CV=25,00 \%$ y $\%E=12,50$), se obtiene:

10) Para una muestra de población finita (cuando N es pequeño, SI depende de N):

$$n = \frac{(1,96)^2 1500 (25,00\%)^2}{(1,96)^2 (25,00\%)^2 + 1500 (12,50\%)^2} = \frac{3601500}{236775} = 15,21 \approx 16$$

11) Para una muestra de población infinita (cuando N es muy grande, NO depende de N):

$$n = \frac{(1,96)^2 (25,00\%)^2}{(12,50\%)^2} = 15,36 \approx 16$$

Y para este caso, se puede estimar en segunda instancia con la fórmula del apartado:

$$\%E = z \sqrt{\left(\frac{1}{16} - \frac{1}{1500}\right)} 1,96 (25,00\%) = 12,18\%$$

Valor levemente inferior al 12,50 % permitido como máximo (porque 16 es mayor a 15).

Por lo anterior para una población N = 1500 casos por año, con una muestra n = 16, si la variabilidad esperada como máximo es de CV = 25,00 % el error de muestreo va a ser como máximo 12,50 %.