



<https://eqrcode.co/a/aCMc7q>

# Aplicación de métodos de análisis químico y metalográfico en la clasificación de materiales

## *Application of Methods of Chemical and Metallographic Analysis in the Classification of Steels*

MSc. Yosbel Jiménez-Armelo<sup>1</sup>, Lic. Yalina Valé-Fernández

Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba

**RESUMEN.** El taller donde se realizó el estudio en el momento de la investigación poseía barras de laminados de sección transversal redonda de diferentes diámetros en los que se desconocía su clasificación, esta problemática es muy común en los talleres de las empresas que utilizan los materiales metálicos para la fabricación de piezas, por todas las consecuencias negativas que pueden traer consigo, el mismo persigue el objetivo de clasificar los materiales que hoy resultan desconocidos y son empleados en dicho taller en los procesos de elaboración mecánica de piezas. Para ello se realizaron análisis químicos, análisis metalográficos y ensayos mecánicos de dureza mediante el método de destrucción mecánica, esto permitió clasificar las muestras de los materiales estudiados dando como resultado la muestra No 1 un acero aleado, la muestra No 2 un acero común y la muestra No 3 un acero de alta calidad.

**Palabras clave:** taller, muestras, laminados metálicos, piezas.

**ABSTRACT.** The workshop where the study was carried out at the time of the research had rolled bars of round cross-section of different diameters whose classification was unknown. This problematic is common in the workshops of the enterprises that use the rolled bars for the manufacture of pieces, and for that the objective of this research was to classify the steel bars used in that workshop whose classification is unknown. To this end, chemical and metallographic analyzes as well as mechanical hardness tests were carried out using the mechanical destruction method. It made possible to classify the samples of the materials studied resulting that the sample No. 1 is an alloy steel, sample No. 2 a common steel and sample No. 3 a high-quality steel.

**Keywords:** Workshop, Samples, Metallic Laminates, Pieces.

### INTRODUCCION

El acero es uno de los materiales más utilizados en la práctica de la Ingeniería por poseer un conjunto de propiedades, que lo hacen indispensable en la construcción o reparación de maquinaria de todo tipo, se han caracterizado por la masiva utilización del mismo; centrándose su motivo principal en la variedad de usos, entre ellos la construcción de maquinaria agrícola, debido a la versatilidad de sus propiedades mecánicas (Kusmin y Samojotki, 1986; Moinov, 1995; Riba, 2018; Sales, 2018; Keyser, 2019; Padilla, 2020).

En el caso particular de Cuba la producción de este material juega un papel fundamental, cuyas producciones están destinadas a la fabricación de maquinarias y equipos (Cubadebate, 2007). Entre estas destacan, fundamentalmente la producción de ómnibus, maquinarias cañeras y sistemas para el riego en la agricultura entre otros.

Las entidades empresariales dedicadas a la fabricación de los diferentes artículos precisan con antelación de la clasificación de los diferentes materiales a emplear para su posterior

<sup>1</sup> Autor para correspondencia: Yosbel Jiménez Armelo, e-mail: yosbel@unah.edu.cu

**Recibido:** 20/05/2020.

**Aprobado:** 09/12/2020.

selección a la hora de conformar las diferentes piezas (Martínez *et al.*, 1985a, 1985b, Larrinaga, 2011b, 2011a; Padilla, 2020).

El método de análisis químico por espectrometría, ensayos metalográficos y mecánicos como la dureza permite conocer las propiedades químicas a partir del conocimiento de los diferentes elementos químicos presentes en su estructura, así como las propiedades metalográficas (Guliaev, 1983; Moinov, 1995; Larrinaga, 2011a, 2011b; Correa, 2013; Askeland, 2014; Kern, 2017; Bramfitt, y Bencoter, 2019; Dumitrescu *et al.*, 2019; Dureza & action, 2019; Keyser, 2019).

Por otra parte, Padilla (2020), plantea que el desconocimiento de su clasificación puede traer consecuencias negativas en el momento de su selección, ya que puede suponer costes económicos, retrasos en la entrega del producto final, problemas de funcionamiento y en el peor de los casos la pérdida de vidas humanas. En Cuba muchos talleres disponen de almacenes de laminados metálicos de los cuales en la mayoría de los casos no conocen su clasificación, propiedades mecánicas y características principales de los mismos.

Caso típico ocurre en el taller de la UEB de la empresa en estudio, la cual tiene como objeto social la producción de tabaco en su fase agrícola, el acopio y beneficio del mismo. El taller se encuentra equipado con diversas máquinas herramientas que posibilitan la fabricación de piezas con alto grado de complejidad, empleadas tanto en la construcción de prototipos como en la reparación de máquinas. Este taller en la actualidad posee barras de laminados de sección transversal redonda de diferentes diámetros en los que se desconoce su clasificación y por ello los diferentes artículos que hoy se desarrollan en el mismo, están sujetos a enfrentar las consecuencias negativas antes mencionadas. Clasificar dichas barras mediante el estudio de la distribución de las fases y las propiedades mecánicas a través del ensayo de dureza de tres de los materiales empleados en el referido centro de producción (Correa, 2013).

Es por ello que el presente trabajo de investigación declara como objetivo; clasificar las barras de laminados de sección transversal redonda de diferentes diámetros existentes en el taller de la UEB de la Empresa de Acopio y Beneficio en Guane Pinar del Río.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación fue realizada en el taller de la UEB de servicios técnicos pertenecientes a la Empresa de Acopio y Beneficio en Guane Pinar del Río, donde se seleccionaron las muestras para su estudio, destacando que las mismas son representativas tanto para este taller como para otros existentes en el país. Los análisis químicos por espectrometría, ensayos metalográficos y mecánicos como la dureza se realizaron en los laboratorios de la Empresa Reparadora de Centrales Eléctricas (EMCE). La investigación se desarrolla en condiciones reales de producción del taller en estudio, cumpliendo con las exigencias para el desarrollo de los diferentes procedimientos experimentales, es importante destacar que los materiales más utilizados

por los mismos son los aceros, de los laminados presentes se toman tres muestras para su clasificación.

Para la determinación de la composición química de las muestras objeto de estudio se empleó el método de espectrometría por emisión atómica mediante un espectrómetro de emisión atómica de marca PMI–MASTER PRO. Para ello se tuvo en cuenta las etapas de preparación de estas, realizando los procedimientos exigidos durante la etapa. Durante la etapa de preparación se empleó una desbastadora pulidora de plato estacionaria de marca IBERTEST, modelo Tecnipol con un diámetro del plato de esmerilado y pulido de 200 mm, 225 mm, 250 mm. Posteriormente en la etapa de ejecución del ensayo para el análisis químico se empleó el espectrómetro de emisión atómica PMI–MASTER PRO.

### Análisis metalográfico de las muestras objeto de estudio

Para la materialización del análisis metalográfico se procedió a la preparación de las muestras con el fin de lograr una superficie tipo espejo a través de la ejecución de las etapas de desbastes, pulido y ataque químico. Luego de su exhaustiva preparación se procedió a su observación con ataque y sin ataque químico, empleándose para ello un microscopio metalográfico marca Nikon ECLIPSE MA200. Mediante el mismo se pudo realizar la observación microscópica de las diferentes zonas de interés a los aumentos estimados según material, (100X, 500X) para determinar las diferencias de composición estructural, según composición química del material analizado por probeta.

### Ensayo de dureza de los materiales investigados

Para la realización del ensayo de dureza de los materiales estudiados se empleó un durómetro estacionario de marca Vickers AKASMI. Durante la ejecución de dicho ensayo se procedió a la elección de la pirámide recta, la carga de ensayo y su tiempo de aplicación. Todo ello se realizó de acuerdo a lo establecido en la norma UNE-EN ISO 6507-1: 2006. Ninguna deformación debe ser visible en la cara opuesta de la probeta. Una vez determinada la dureza Vickers se procede a la conversión a Brinell donde se realiza utilizando la tabla de conversión de dureza.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis y discusión de los resultados de la determinación de la composición química de las muestras objeto de estudio

El análisis químico se realizó en la Empresa de Mantenimiento a Centrales Eléctricas y las muestras fueron clasificadas por la Norma GOST correspondiente. En la Tabla 1 se registran los valores medios de los elementos químicos presentes en las muestras estudiadas.

TABLA 1. Resultados del análisis químico para las muestras estudiadas

Elementos	Muestra I	Muestra II	Muestra III
	Concentración (%)	Concentración (%)	Concentración (%)
Fe	98,7	99,2	88,5
C	0,383	0,15	0,498

Elementos	Muestra I Concentración (%)	Muestra II Concentración (%)	Muestra III Concentración (%)
Si	0,165	0,0022	0,105
Mn	0,690	0,327	0,120
P	0,0241	0,12	0,0243
S	0,0267	0,15	0,0105
Cr	12,40	0,0045	0,0025
Mo	0,0238	0,001	0,0058
Ni	28,5	0,030	0,180
Al	0,004	0,0001	0,0075
Co	0,0035	0,0090	0,0230
Cu	0,105	0,0225	0,145
Nb	0,003	0,002	0,0135
Ti	0,001	0,001	0,001
V	0,001	0,0105	0,863
W	0,03	0,0134	0,075
Pb	0,01	0,001	0,01
Sn	0,0125	0,002	-
B	0,001	0,0015	-
Ca	0,001	0,001	-
Zr	0,002	0,001	-
As	0,0210	0,0180	-
Bi	0,0150	0,0270	-

Con respecto a la muestra No. 1 se puede evidenciar que el porcentaje de carbono no supera el 2 %, siendo clasificado como un acero, en este caso las concentraciones de cromo y níquel se encuentran en elevados porcentajes, con valores de concentración 12,40 y 28,5 % respectivamente. Es decir ambos se encuentran por encima de los valores límites para ser considerados como un acero aleado, por tanto podemos afirmar que este material es aleado al cromo y al níquel, este resultado coincide con los criterios de Guliaev (1978), al considerar que estos elementos químicos son de aleación a partir de adición al acero en determinadas concentraciones con el fin de variar su estructura y propiedades. Es importante destacar que este material posee gran resistencia mecánica y puede ser utilizado en la fabricación de piezas que requieran dichas propiedades.

Tal como sucede con la muestra 1, el porcentaje de carbono presente en la muestra N° 2 tampoco supera los valores de 2 %, por lo que se clasifica como un acero, sin embargo, es importante destacar los valores de concentración de azufre y fósforo los cuales son de 0,15 y 0,12 % respectivamente, evidenciando que cada uno de estos elementos presente en la misma sobrepasan los valores límites, demuestra que es un material de baja calidad, siendo en este caso un acero común.

Como resultado del análisis químico a las muestras estudiadas en el caso particular de la muestra 3, se puede observar que el porcentaje de cada elemento presente en el material en

cuestión, no sobrepasan los valores límites superiores de los elementos presentes para ser considerado como un acero aleado.

Ello coincide con los criterios de Kozlov (1986), quien plantea que un acero al carbono tiene una composición química compleja, con pequeños contenidos de impurezas. Mientras que el contenido de carbono, quien influye de manera marcada en las propiedades del acero, no supera los valores de 2 %. Sin embargo a pesar de que el carbono registre concentraciones menores con respecto a otros elementos, se evidencia su estado de influencia en las propiedades del acero, incluso cuando su contenido varía de forma insignificante (Guliaev, 1978).

Por otro parte debido a la concentración del carbono en la muestra No 3 es de aproximadamente 0,498 % y los demás elementos no sobrepasan los límites superiores, este puede ser clasificado como acero 50 de alta calidad para la construcción. Según Kozlov (1986), estos se diferencian de los aceros de calidad normal por poseer un menor contenido de azufre, fósforo y otras impurezas nocivas, los que no deben sobrepasar los límites de 0,05 % para el caso de estos dos elementos químicos, los cuales resultan de difícil eliminación durante el proceso de fabricación del acero.

De acuerdo al contenido de carbono las tres muestras clasifican como aceros hipoeutectoides, ya que sus valores de carbono están por debajo de 0,8 %. Con estos resultados y haciendo uso del documento “Llave de los aceros” se clasifican estas muestras (Tabla 2).

**TABLA 2. Clasificación de los aceros según resultados del análisis químico**

Clasificación	Muestras		
	Muestra No. I	Muestra No. II	Muestra No. III
	40CrNi3	VCT-3	Ac50

**Pudiéndose definir cada muestra como:**

- Muestra 1: Acero aleado con 0,4 % de carbono, 1 % de cromo y 3 % de níquel.
- Muestra 2: Acero común del grupo V con 0,15 % de carbono.
- Muestras 3: Acero de alta calidad con 0,5 % de carbono.

**Análisis y discusión de los resultados obtenidos de la realización del análisis metalográfico de las muestras suministradas**

Como resultado del análisis metalográfico de las muestras objeto de estudio se obtuvo imágenes de cada uno de los ejemplares, superficies libres de suciedades y ralladuras. Esto permitió identificar fácilmente en cada foto las inclusiones y fases presentes en los metales sin y con ataque químico a diferentes aumentos (S/A- 100X, C/A- 100X, 500X) según aparece

en las fotos 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9. Utilizando la norma UNE 36-431-8, el procedimiento MBE 5,4-004 005 y los constituyentes observados, se determina el tipo de acero.

**Resultados obtenidos de la realización del análisis metalográfico sin ataque químico de cada una de las muestras estudiadas**

En la Figura 1 se aprecia las imágenes correspondientes a las Fotos 1, 2 y 3 a (100x) sin ataque químico de las muestras estudiadas donde se visualiza en todas ellas una matriz metálica con la presencia de poros muy pequeños (casi invisibles), de forma muy aislada, más la presencia de algún que otro poro de tamaño mediano. Así como la ausencia de inclusiones metálicas y grietas, todo lo cual favorece la microestructura de las muestras.

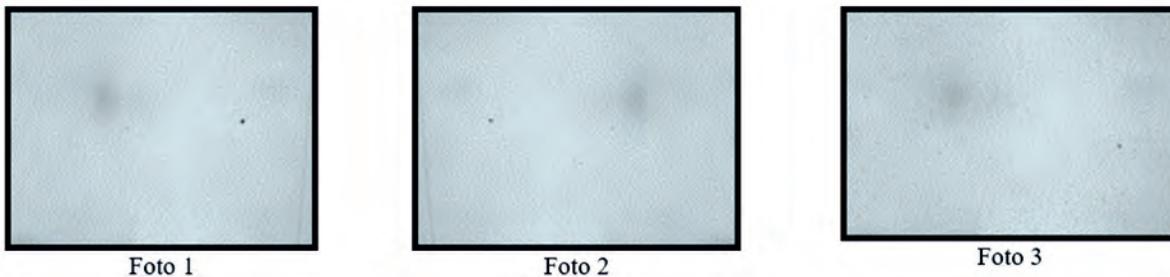


FIGURA 1. Imágenes (fotos) a (100x) visualizadas sin ataque químico de cada una de las muestras estudiadas.

Resultados obtenidos de la realización del análisis metalográfico con ataque químico de la muestra No 1 de Ac40 al carbono de construcción.

En la Figura 2 se aprecia mediante las fotos 4 (100x) y 5 (500x) una estructura constituida por Perlita en forma de granos, tamaño de puntuación 8, más Ferrita en borde de grano formando red continua con tendencia a la formación de estructura Widmanstätten. Obsérvese en detalle a 500 x, la marcada morfología acicular de las formaciones en todas las zonas de fase ferrítica.

La formación de la perlita y la ferrita responde a las carac-

terísticas propias de los aceros hipoeutectoides que contienen menos de 0,8 % de carbono y en la muestra estudiada su concentración es de 0,39 %, además ambas estructuras metalográficas son propias del acero. La presencia de la ferrita se justifica por la poca solubilidad del carbono en el hierro  $\alpha$ . Esto se corrobora con el diagrama de estado hierro – carbono, donde se puede apreciar las estructuras presentes en los aceros con esta concentración de carbono. La formación de la estructura Widmanstätten responde a la separación de la ferrita de los granos de austenita.

Resultados obtenidos de la realización del análisis metalográfico con ataque químico de la muestra No 2 de VCT-3 acero común.

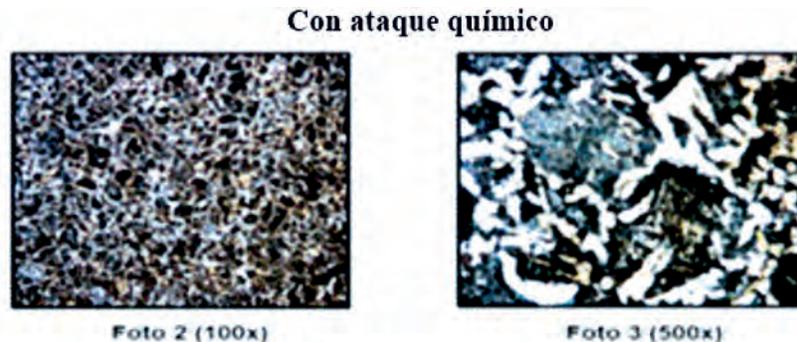


FIGURA 2. Muestra I 40CrNi3, Ø 20 mm con ataque químico a (100x) y (500x)

En la Figura 3 se visualizan las Fotos 6 (100x) y 7 (500x) donde se aprecia una estructura constituida por Matriz Ferrítica - Perlítica, con elevada tendencia a la formación de estructura

Widmanstätten. Obsérvese en detalle a 500x, la morfología acicular de las formaciones en zonas de fase ferrítica. Además, se aprecia de forma aislada zonas con fronteras en la Ferrita.

### Con ataque químico

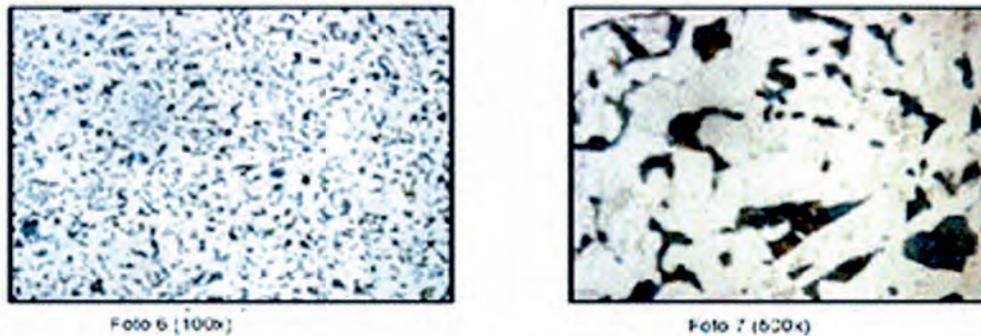


FIGURA 3. Muestra II (VCT-3, Ø 40 mm) con ataque químico a (100x) y (500x).

Resultados obtenidos de la realización del análisis metalográfico con ataque de la muestra No III de Ac50 acero de alta calidad

En la Figura 4 mediante las fotos 8 (100x) y 9 (500x) se puede apreciar una estructura constituida por Matriz perlítica muy fina, más Carburos muy frágiles de baja adhesión a la

matriz por bordes del grano originario austenítico y formando red discontinua fina. Obsérvese en detalle a 500x, la morfología de alta heterogeneidad de las formaciones de Carburos, distribuidos invariablemente por fronteras, donde además se aprecia un elevado número de desprendimientos de éstos, evidenciando su baja adhesión y fragilidad.

### Con ataque químico

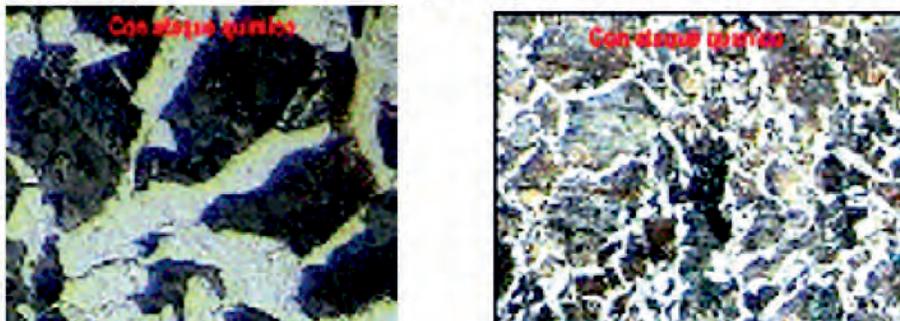


FIGURA 4. Muestra 3 del Ac50, Ø 120 mm con ataque químico.

Análisis y discusión de los resultados de los ensayos mecánicos (dureza) realizado a las muestras objeto de estudio

Como resultado de los análisis de dureza, a cada una de las muestras objeto de estudio se obtuvo mediante el durómetro Vicker AKASHI Modelo AVK-A con una carga de 10 kg y el empleo de la norma UNE- EN-ISO 6507-1: 2006, los diámetros de las huellas producidas en la superficie de las probetas (Tabla 3).

TABLA 3. Diámetro de la huella producida por el penetrador en la superficie de las probetas

Identificación	I_eq.	q5	q4	q3	q2	q1	q_prom.
d <sub>huella</sub> , M1 Æ 30	0,33	0,372	0,374	0,375	0,373	0,372	0,373
d <sub>huella</sub> , M2 Æ 40	0,33	0,254	0,252	0,253	0,254	0,252	0,253
d <sub>huella</sub> , M3 Æ 60	0,33	0,485	0,487	0,483	0,485	0,482	0,484
d <sub>huella</sub> , Patrón	0,33						

A partir de esta información se procedió al cálculo del valor medio (d) de las longitudes de las diagonales (horizontal d1 y vertical d2):  $d = (d1 + d2) / 2$  y por este valor medio (d) se determina el número de dureza Vicker (HV) que posteriormente se llevaron a escala de dureza Brinell (HB).

Las mediciones fueron realizadas sobre las superficies de las zonas en que se evaluaron las estructuras metalográficas. De los cinco valores registrados de dureza Vicker se obtuvo el valor medio y su equivalente a dureza Brinell como se aprecia en la Tabla 4.

Se evidencia en esta tabla, que la muestra No. 3 presenta un valor medio de dureza más elevado en relación a las otras. Ello se justifica debido a los altos por ciento de carbono que presenta la misma y a su estructura interna bien definida, hace que adquiera una alta dureza y elevada resistencia mecánica a

la muestra en cuestión. Mientras que la de menor dureza es la muestra No. 2 debido al bajo contenido de carbono, pues según Kozlov (1986)), los aceros comunes se funden pobres en carbono de aquí que pueda ser utilizado fundamentalmente en la fabricación de piezas aisladas y en materiales de la construcción.

**TABLA 4. Análisis de dureza de las muestras objeto de estudio**

Muestra	Zona	Dureza, HV					Valor Medio	Equivalente
		q5	q4	q3	q2	q1		
Muestra #1	Sección Transversal	288	287	290	289	289	289	HV 280 HB
Muestra #2	Sección Transversal	135	137	136	135	135	133	HV 130 HB
Muestra #3	Sección Transversal	422	418	421	419	415	419	HV 408 HB

Observaciones:

- Rango de aceptación: M1.- (178-221 HB) M2.- (103-149 HB) M3.- (207-255 HB).

Según los resultados de la prueba de dureza y teniendo en cuenta los análisis químicos y metalográficos según la norma, hay coincidencia de los mismos pudiéndose corroborar que las muestras estudiadas son:

Muestra No 1: corresponde con--- 40CrNi3--- acero aleado;

Muestra No 2: con--- VCT-3--- acero común;  
Muestra No 3: con Ac50--- acero de alta calidad.

### **Caracterización del material de la muestra No. 1 Ac40 al carbono de construcción**

Luego de los análisis y ensayos realizados a las muestras de materiales objeto de estudio se efectúa una breve caracterización de estos para su empleo y usos, los cuales se recogen en las Tablas 5,6 y 7.

### **Caracterización del material de la muestra No. 1 40CrNi3 acero aleado**

**TABLA 5. Características del material de la muestra No. 1**

Grado del acero (según GOST)	Composición química	Estructura metalográfica	Dureza, (HB)	Resistencia teórica (MPa)
40CrNi3	Acero aleado con 1 % de cromo y 3 % de níquel	Hipoeutectoide	280	755

Nota: para su correcto empleo requiere de tratamiento térmico de regeneración estructural, lo cual se logra mediante la aplicación de recocido o normalizado

Este material al ser un acero aleado puede ser utilizado para la fabricación de piezas que requieran propiedades específicas, tiene buena dureza y es frágil, se utiliza principalmente en la metalurgia para aportar resistencia a la construcciones, el cromo ejerce una influencia útil en las propiedades mecánicas, al igual que el níquel constituye un elemento fuerte de formación del carburo que se introduce en pequeñas cantidades hasta 3 % lo que aumenta la resistencia a la corrosión y un acabado brillante.

### **Caracterización del material de la muestra No. 2 VCT-3 acero común**

**TABLA 6. Características del material de la muestra No II**

Grado del acero (según GOST)	Composición química	Estructura metalográfica	Dureza (HB)	Resistencia teórica (MPa)
VCT-3	Estructural al Carbono	Hipoeutectoide	130	386

Nota: para su correcto empleo requiere de tratamiento térmico de regeneración estructural, lo cual se logra mediante la aplicación de recocido o normalizado

El acero común es un material que tiene valores de impurezas de azufre y fósforo superior al 0,5 % por lo que no es considerado una acero de alta calidad, por tanto no puede ser utilizado en la fabricación de piezas en la construcción de maquinarias agrícolas y automóviles, pero si tienen un gran uso en la fabricación de materiales de la construcción como: (cabillas, alambres), también se puede utilizar para fabricar

vigas, angulares, tubos que los mismos se utilizan en la fabricación de puentes, en las cubiertas de techos, en mesas, sillas, etc.

Según reporta Kozlov (1986), estos aceros son relativamente baratos. Las chapas de este metal son destinadas para la fabricación de piezas de carrocería de automóviles, tienen buenas cualidades de estampado realizando operaciones de cambio de formas por estampado de hojas en frío.

## Caracterización del material de la muestra No.3 Ac50 acero de alta calidad

TABLA 7. Características del material de la muestra No III

Grado del acero (según GOST)	Composición química	Estructura metalográfica	Dureza, (HB)	Resistencia teórica (MPa)
Ac. 50	Al Carbono de Construcción de Maquinarias	Hipoeutectoide,	408	880

Nota: para su correcto empleo requiere de tratamiento térmico de regeneración estructural, lo cual se logra mediante la aplicación de recocido o normalizado

Según Martínez *et al.* (1985), este acero puede ser utilizado para la elaboración de piezas con resistencia elevada tales como bielas, árboles, engranajes de todo tipo, pernos. Además, admiten alta complejidad de forma, como son: ejes, husillos, piñones, ruedas dentadas, elementos de agarre / unión de herramientas de mano y mecanismos, etc.

Por su parte Kusmin y Samojotki (1986), este tipo de acero habitualmente se someten a mejoramiento. Es decir, al temple con temperatura aproximada a 850 °C y revenido a 550 °C, obteniéndose estructura de sorbita. Después de su mejoramiento estos adquieren una alta resistencia mecánica, plasticidad, un alto límite de resistencia y son pocos sensibles a la fragilidad de revenido. Además, según estos mismos autores, este acero

posee pequeña templabilidad a profundidad de hasta 10 a 12 mm, razón por la cual son utilizados para piezas pequeñas, o para las de mayor tamaño, pero que trabajan con cargas no altas y no requieren una templabilidad total.

### CONCLUSIONES

- El país dispone de laboratorios perfectamente equipados para realizar la clasificación de laminados metálicos, esto contribuye a la correcta selección de los mismos, para la fabricación de piezas con alto grado de complejidad, empleadas tanto en la construcción de prototipos como en la reparación de máquinas.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASKELAND, R.D.: *La ciencia e ingeniería de los materiales*, Ed. International Thomson, 3ª Edición ed., México, DF, 2014.
- BRAMFITT, B.L.; BENCOTER, A.O.: *Metallographer's guide: practices and procedures for irons and steels*, Ed. ASM International, USA, 2019.
- CORREA, J.: *Materiales y ensayo*, [en línea], 2013, Disponible en: <http://es.wordpress.com/tag/materiales-y-ensayo>, [Consulta: 7 de abril de 2020].
- CUBADEBATE: “¿Desarrollo sin industria? Miradas a la sideromecánica cubana”, La Habana, Cuba, agosto de 2007, Disponible en: <http://es.wordpress.com/tag/materiales-y-ensayo>, [Consulta: 7 de abril de 2020].
- DUMITRESCU, L.; QUESADA, R.; PÉREZ, A.M.; HERNÁNDEZ, L.W.: “Una herramienta para la selección automatizada de aceros en el contexto de la Ingeniería Mecánica”, *Ingeniería Mecánica*, 13(1), 2019, ISSN: 1815-5944.
- DUREZA & ACTION: *Dureza*, [en línea], 2019, Disponible en: <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Discusi%C3%B3n:Dureza&action=edit&redlink=1>, [Consulta: 5 de mayo de 2020].
- GULIAEV, P.A.: *Metalografía Tomo II*, Ed. Mir, vol. Tomo II, Moscú, Rusia, URSS, 1978.
- GULIAEV, P.A.: *Metalografía Tomo I*, Ed. Mir, vol. Tomo I, Moscú, Rusia, URSS, 1983.
- KERN, R.F.: *Steel Selection: A Guide for Improving Performance and Profits*, Ed. John Wiley & Sons, New York, USA, 445 p., 2017.
- KEYSER, C.A.: *Técnicas de laboratorio para pruebas de materiales*, Ed. Limusa, México, DF, 2019.
- KOZLOV, Y.: *Ciencia de los Materiales*, Ed. Mir, Moscú, Rusia, URSS, 1986.
- KUSMIN, B.A.; SAMOJOTKI, A.I.: *Metalurgia, Metalografía y Materiales de Construcción*, Ed. Mir, Moscú, Rusia, URSS, 1986.
- LARRINAGA, M.Z.: *Análisis Metalográfico*, Inst. EMCE, La Habana, Cuba, 1 p., 2011a.
- LARRINAGA, M.Z.: *Ensayo de Dureza*, Inst. EMCE, La Habana, Cuba, 1 p., 2011b.
- MARTÍNEZ, A.F.; DOMÍNGUEZ, E.G.; HERNÁNDEZ, S.F.: *Tecnología de los Metales I*, Ed. Eficiones IPJAE, La Habana, Cuba, 1985a.
- MARTÍNEZ, A.F.; DOMÍNGUEZ, F.G.; HERNÁNDEZ, S.F.: *Tecnología de los metales II*, Ed. Eficiones IPJAE, La Habana, Cuba, 1985b.
- MOINOV, S.: *Falling employment, the trend in steel*, Ed. MBM, Moscú, Rusia, 40–45 p., 1995.
- PADILLA, H.: *La producción mundial de acero bruto crece un 4,6% en marzo*, [en línea], Eng. Thesis, 2020, Disponible en: <http://192.188.59.56/bitstream/123456789/12017/1/Tesis%20Padilla%20P.doc>, [Consulta: 26 de mayo de 2020].
- RIBA, R.C.: *Selección de Materiales en el Diseño de Máquinas*, Ed. Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL., España, 172 p., 2018.
- SALES: *Changchun Research Institute for Testing Machirles Co., Ltd. Instruction Manual*, [en línea], noviembre de 2018, Disponible en: [www.ccss.com.cn/sales@ccss.com.cn](http://www.ccss.com.cn/sales@ccss.com.cn), [Consulta: 7 de junio de 2020].

Yosbel Jiménez-Armelo, Profesor, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba e-mail: [yosbel@unah.edu.cu](mailto:yosbel@unah.edu.cu)

Yalina Valé-Fernández, Profesora, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba e-mail: [yalina@unah.edu.cu](mailto:yalina@unah.edu.cu)

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra sujeto a la Licencia de Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.