

# Evaluación de la dureza y microestructura del acero 1045 templado en sustancias refrigerantes no tradicionales

Evaluation of hardness and microstructure of 1045 steel quenched in no conventional coolants

Eduardo A. Pérez Ruiz<sup>1</sup>, Angy C. Galeano Perilla<sup>1</sup>, Luis I. Negrín Hernández<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Ibagué, Ibagué, Colombia.*  
eduardo.perez@unibague.edu.co, categal.cg@gmail.com

<sup>2</sup> *Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Cuba*  
linegrin@uclv.edu.cu

**Resumen**— El tratamiento térmico de temple en los aceros al carbono, es una alternativa tecnológica que favorece el incremento de las propiedades mecánicas como consecuencia de la transformación micro estructural del material.

Actualmente no existe una sustancia ideal, para la realización del enfriamiento durante el temple de aceros al Carbono, por lo tanto, el objetivo de este estudio se centra en verificar el comportamiento de la dureza y la microestructura que se obtienen durante el temple de un acero AISI 1045 utilizando como medios de enfriamiento agua, refrigerante de radiador y refrigerante para mecanizado industrial.

Los resultados indican que el uso de refrigerante de radiador favorece la obtención de alta dureza en la región superficial (60HRC), así como la obtención de estructura martensítica. El uso de refrigerante para mecanizado favorece la obtención de durezas inferiores (52HRC), pero con la presencia de bainita en una matriz martensítica lo que favorece la tenacidad.

**Palabras clave**— Temple, Dureza, Refrigerante radiadores, Refrigerante Mecanizado.

**Abstract**— The heat treatment of quenching in carbon steels, is a technological alternative that to increase the mechanical properties due to the microstructural change of material.

Actualy, there is no substance for the cooling during the quenching heat treatment of carbon steels, for this reason, the aim of this study is the verification of the mechanical behavior

(hardness) and microstructure obtained during hardening of steel AISI 104, using water, coolant radiator and coolant for industrial machining as substance of cooling.

The results indicate that the use of coolant radiator favors high hardness in the surface zone (60HRC) and obtaining martensite structure. The use of coolant for machining applications generate lower hardness (52HRC), but favors the presence of bainite in a martensitic matrix leading to the high toughness.

**Key Word** — Quenching, Hardness, Radiator Coolant, Machining Coolant

## I. INTRODUCCIÓN

Las variables que gobiernan el proceso de tratamiento térmico de temple son la temperatura de austenización, el tiempo de calentamiento y la velocidad de enfriamiento, esta última es la que determina la estructura resultante y por consecuencia directa los valores de resistencia (dureza) alcanzados en el material [1].

Actualmente no existe un medio de enfriamiento ideal para la realización de temple. Sin embargo, en la literatura se encuentra el uso de sustancias como agua, agua con mezclas de sales (agua+5% de NaCl, agua+10%NaCl, agua+5% de NaOH, agua+10%NaOH), aceite, aire, entre otros [1]. El uso de sales en el agua de temple bajo agitación favorece un enfriamiento rápido [2]. Así mismo, el agua enfría rápidamente la superficie llevando a la formación de una región superficial de alta dureza, la cual puede crear esfuerzos internos y dar origen a deformaciones y o grietas en las piezas.

De otro lado, el uso de aceites, favorece la obtención de menores velocidades de enfriamiento que las obtenidas con agua o con soluciones de sales inorgánicas. Con el uso de estas sustancias, es obtenida una remoción de calor de mayor uniformidad, lo que lleva a menor posibilidad de agrietamiento y/o distorsión de las piezas tratadas. Igualmente, la concentración de algunos aditivos en los aceites lleva a cambios en las características de temple de los mismos, particularmente los aceites animales y vegetales, se descomponen a determinadas temperaturas y llevan a temple irregulares [3]. Sin embargo, como reportado por Criollo 2011 [4], el uso de aceites vegetales de maíz, de girasol, de palma y de oliva como medio de enfriamiento permite la obtención de valores de dureza y de resistencia a la tracción comparables con las obtenidas en temple con agua. De esta forma, para el temple de un acero AISI 1045 en agua, en aceite de palma y en aceite de oliva, fueron obtenidos valores de dureza de 57HRC, 52 HRC y 51 HRC respectivamente [4].

En cuanto al uso de aceites minerales como medios de enfriamiento, estos podrían llevar a la obtención de esfuerzos internos y deformaciones inferiores a los que se obtienen con el agua y la solución de agua y sales [1-4,5].

Como se evidencia en la literatura, no existe un medio de enfriamiento totalmente indicado para la realización de temple en aceros hipoeutéctoides, por lo que se ha explorado el uso de aceites vegetales y mezclas de agua con sales inorgánicas. Igualmente se ha estudiado el verdadero efecto de la velocidad de enfriamiento en los problemas que se presentan en el temple [6]. El principal objetivo de esta investigación se centra en conocer el efecto que tiene en la dureza y la microestructura del acero AISI 1045, el uso de sustancias refrigerantes no convencionales en tratamientos térmicos de aceros al carbono, como lo son refrigerante para radiador y refrigerante para procesos de mecanizado industrial.

## II. PROCEDIMIENTO

Fue realizado tratamiento de temple a seis (6) cuerpos de prueba de acero AISI 1045, con geometría cilíndrica con diámetro de 19,5 mm y espesor de 8mm como se presenta en la figura 1.

Antes de realizar cada temple fue realizado ensayo de dureza utilizando un durómetro TIME HBRVU Hardness Tester e identificación microestructural. Para esto, fue realizado proceso metalográfico el cual incluyó desbaste con lijas Número 80, 180, 220, 320, 400, 600 y 1000, así como pulido con polvo de alúmina de 2 $\mu$ m. El ataque químico fue realizado con Nital al 2% durante 5 segundos. Las imágenes fueron obtenidas a través de un microscopio OLYMPUS PME3 a 500x.

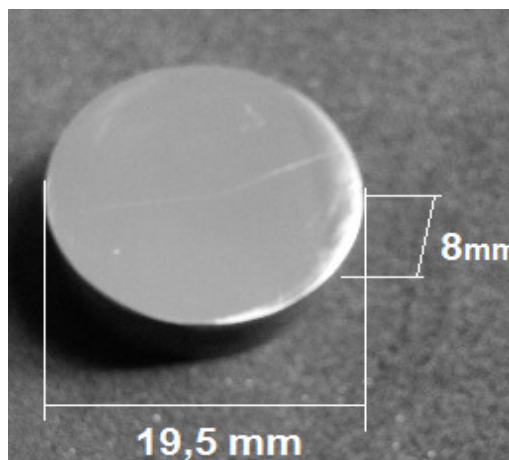


Figura 1. Geometría de los cuerpos de prueba

A continuación, cada uno de los cuerpos de prueba fueron sometidos a una temperatura de austenización de  $840\pm 10^{\circ}\text{C}$ , la cual fue establecida dentro del rango de  $30-60^{\circ}\text{C}$  por encima de la curva  $\text{Ac}_3$  del diagrama  $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$  [5]. Igualmente ha sido utilizada como temperatura de austenización en otras investigaciones [7]. Así mismo fue considerado un tiempo de sostenimiento a temperatura de austenización de  $30\pm 2$  min [2,5].

Como medio de enfriamiento fueron utilizados 2000 ml de agua, refrigerante para radiador QUALITOR y refrigerante para mecanizado SOLUBEG, todos a temperatura ambiente:

En tabla 1 se presentan las temperaturas de ebullición y la conductividad térmica aproximada de las sustancias en estudio, las cuales han sido obtenidas de la literatura [8].

Cada tratamiento de temple fue realizado sumergiendo y agitando el acero 1045 dentro del medio refrigerante por 1 minuto. Cada tratamiento de temple fue replicado por una única vez. Después del tratamiento, a cada uno de los cuerpos de prueba le fue realizada verificación de dureza y análisis microestructural.

Sustancia	Temperatura de ebullición	Conductividad Térmica
<b>Agua</b>	100 C	0,58 W/(m.K)
<b>Refrigerante Radiador</b>	120 C	0,256 W/(m.K)
<b>Refrigerante mecanizado</b>	218 C	0,122 W/(m.K)

Tabla 1. Temperaturas de ebullición y conductividad térmica

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura2 se presentan las marcas de dureza obtenidas en el material antes del tratamiento de temple (estado comercial). Las mediciones fueron realizadas en la parte central de la

geometría (0), a 1/4 de radio (1/4R), 3/4 de radio (3/4R) y en la parte cercana al borde (R).

En la tabla 2, se presentan las durezas HRC obtenidas en el acero en estado comercial (antes de temple).

En la figura 3, se presenta la microestructura obtenida en el acero AISI 1045 en estado comercial, la cual consta de granos de perlita y contornos de ferrita.

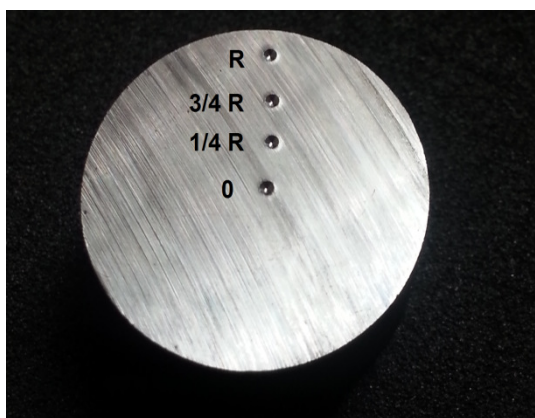


Figura 2. Marcas de dureza antes del temple

	\$	\$
162	29.000	4.698.000

Tabla 2. Durezas a lo largo de la sección transversal



Figura 3. Micrografía con la microestructura del acero AISI 1045 en estado comercial

**Resultados después del temple**

En la tabla 3 se presentan las durezas HRC, obtenidas a lo largo del radio (0, 1/4R, 3/4R, R) en cada uno de los temple según la sustancia de enfriamiento.

	\$	\$
162	29.000	4.698.000
		\$
		2.052.000

Tabla 3. Durezas a lo largo del radio

En las figuras 4, 5, 6, 7, 8 y 9 se presenta la microestructura de forma general y en detalle, obtenida en el tratamiento de temple utilizando agua, refrigerante para radiador y refrigerante para mecanizado industrial como medio de enfriamiento, respectivamente.



Figura 4. Micrografía con la microestructura general del acero AISI 1045 templado en agua.

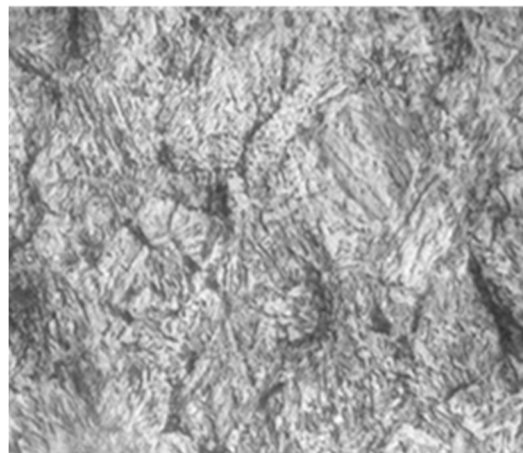


Figura 5. Micrografía con la microestructura en detalle del acero AISI 1045 templado en agua

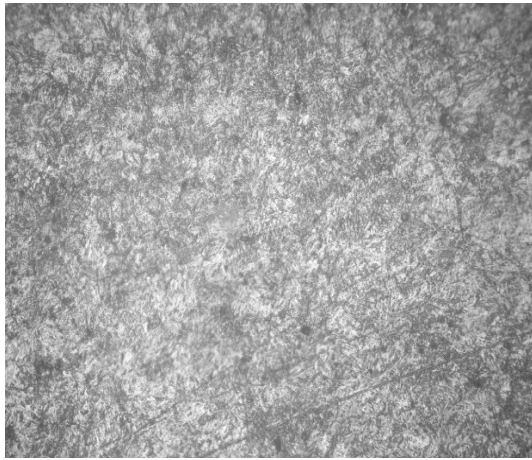


Figura 6. Micrografía con la microestructura general del acero AISI 1045 templado en refrigerante para radiador

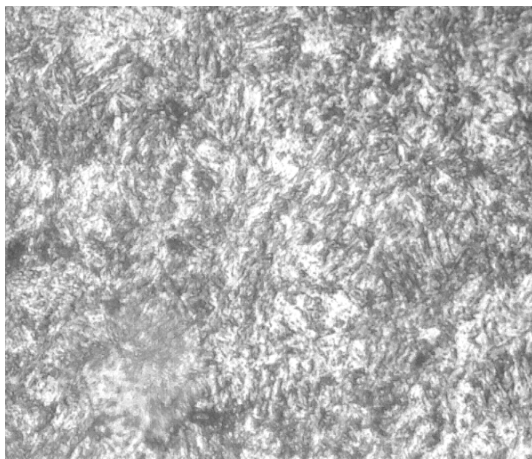


Figura 7. Micrografía con la microestructura en detalle del acero AISI 1045 templado en refrigerante para radiador



Figura 8. Micrografía con la microestructura general del acero AISI 1045 templado en refrigerante para mecanizado

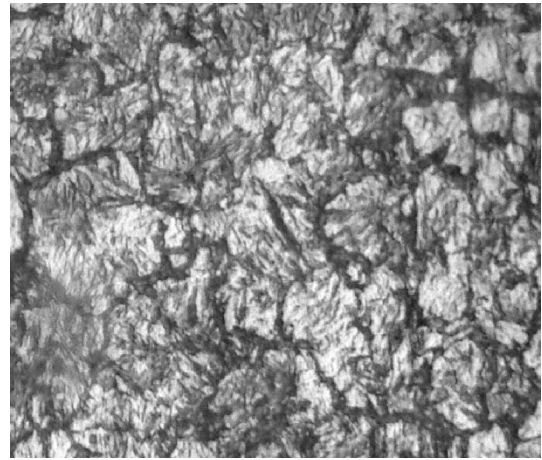


Figura 9. Micrografía con la microestructura en detalle del acero AISI 1045 templado en refrigerante para mecanizado

En cada una de las figuras 4, 6 y 8 se observa una microestructura típica de aceros templados en forma de agujas de martensita como constituyente principal. En las figuras 5, 7 y 9 se observa en detalle, la presencia de la martensita en el interior de los granos, los cuales se presentan bien definidos en la figura 9, de forma irregular en la figura 5 y no se evidencian de forma clara en la figura 7.

En los resultados que se presentan se observa la presencia de martensita. La presencia de esta microestructura depende del contenido de carbono del acero. Si el acero contiene menos de 0,6% C, la martensita presenta forma de agujas que se cortan en zigzag con ángulos de  $120^\circ$  entre ellas [2,9].

De los resultados es importante observar que en los casos en donde fue utilizada agua (figuras 3 y 4) y refrigerante para radiador (figuras 5 y 6) como medios de enfriamiento durante el temple, se presenta una matriz predominantemente martensítica, minimizando la aparición de contornos de grano, lo que sugiere que la ferrita ubicada en los contornos de grano (proeutectoide) transforma en alto porcentaje, durante el calentamiento, a austenita y esta a su vez durante el enfriamiento brusco a martensita. Sin embargo, en el caso del temple en donde fue utilizado refrigerante para mecanizado (figuras 7 y 8), se presentaron contornos de grano definidos, con presencia de una matriz martensítica, con aparente bainita inferior al interior de los granos. La bainita, se puede presentar en temple convencionales o en tratamientos isotérmicos. Esta microestructura se forma durante el enfriamiento a  $600^\circ\text{-}250^\circ\text{C}$  aproximadamente. En el caso de la bainita superior su morfología es predominantemente arborescente, mientras que la bainita inferior, la cual se forma a temperaturas próximas a la de transformación martensítica [10], tiene un aspecto similar al de la martensita con agujas alargadas de ferrita y delgadas placas de cementita. Estas placas son paralelas y forman un ángulo de  $60^\circ$  con el eje de las agujas de ferrita [2]. A diferencia de la martensita no presenta secuencia de agujas en zigzag.

Al considerar la dureza que se obtuvo con cada medio de enfriamiento (tabla 3), se observa que en el caso del refrigerante para radiador, la dureza es mayor en la región próxima a la superficie y en la propia superficie, en comparación con la que se presenta para los otros refrigerantes. De la misma forma, se observa que el uso de refrigerante para mecanizado lleva a la obtención de menor dureza, lo cual es coherente con la microestructura que se observa, la cual es bainita y martensita, localizadas dentro de granos de contornos definidos. La bainita aporta durezas en el rango de 40-60 HRC en el material y favorece la tenacidad y la resistencia.

Se considera que el resultado obtenido en durezas y microestructuras es consecuencia directa de las sustancias utilizadas como medio de enfriamiento, ya que las propiedades que más influyen en el poder de temple de los medios de enfriamiento son: la temperatura de ebullición, la conductividad térmica, viscosidad, calor específico entre otros.

Es importante destacar que durante el enfriamiento del acero caliente se presentan tres (3) fases. En la primera, debido a la alta temperatura del acero se forma una capa de vapor que rodea al metal. El enfriamiento en esta fase es relativamente lento influyendo la temperatura de ebullición del líquido [2,9,10]. En la segunda etapa, la película de vapor va desapareciendo, pero surgen burbujas que rodean al metal, de esta forma el vapor se va separando de la superficie del metal y va siendo reemplazado por el líquido. En esta etapa se presenta la mayor tasa de enfriamiento. En la tercera etapa, la cual se presenta por debajo de 300°C, la diferencia de temperaturas entre el metal y el refrigerante es menor y el enfriamiento es más lento como consecuencia de la conductividad térmica que presenta la sustancia refrigerante. Por lo anterior, la temperatura de ebullición es muy importante en la primera etapa, el calor de vaporización en la segunda y la conductividad térmica en la tercera etapa del temple.

Como se presentó en la tabla 1, el agua tiene la menor temperatura de ebullición lo que favorece la aparición rápida de vapor en la región circundante al metal caliente, de esta forma se espera que al crearse primero el vapor también se remueva de primero, permitiendo una alta dureza en el temple. De igual forma, el agua presenta la mayor conductividad térmica, lo que favorece la obtención de valores iguales o próximos de dureza en la sección transversal (templabilidad). En el caso del refrigerante para radiador, aunque presenta una temperatura de ebullición mayor que el agua, presenta conductividad térmica menor, lo que, junto con la presencia de sales como hidróxido de Sodio, Benzoato de Sodio, Nitrito de Sodio, las cuales favorecen un enfriamiento rápido en la superficie, justifica la reducción en los valores de dureza desde el borde hacia el centro a lo largo del radio (reducción de la templabilidad). Finalmente, el refrigerante para mecanizado presenta la mayor temperatura de ebullición al

igual que la menor conductividad térmica, lo que sugiere que el inicio del temple en su primera fase, se inicie a mayor temperatura que en los otros casos, lo que retrasa la transformación rápida de austenita a martensita, y favoreciendo la presencia de bainita. Lo anterior reduce un poco la obtención de altos valores de dureza, sin embargo, a pesar de tener la menor conductividad térmica de las tres sustancias presentó una adecuada templabilidad. Se induce que el complemento de sustancias que actúan como aditivos contra la oxidación y corrosión tienen un papel importante en los resultados de templabilidad del acero AISI 1045.

#### IV. CONCLUSIONES

Actualmente no existe una sustancia ideal para ser utilizada como medio de enfriamiento durante el tratamiento térmico de temple de aceros al carbono, por esta razón se reportan estudios de sustancias como aceites naturales y minerales utilizados como sustancias alternativas al agua y a la mezcla de agua y sales inorgánicas.

El uso de sustancias refrigerantes con aplicaciones en radiadores y en procesos de mecanizado industrial entregan buenos resultados en cuanto a la microestructura obtenida (martensita) y los valores de dureza alcanzados (>52HRC), sin embargo, dentro de las sustancias estudiadas se evidenció que, el uso del refrigerante para radiadores favorece la obtención de alta dureza superficial, pero a su vez presenta una ligera reducción en el nivel de templabilidad. El uso de refrigerante para mecanizado permitió obtener valores de dureza inferiores a los reportados con agua y refrigerante de radiador, pero a sí mismo favorece la obtención de una microestructura bainítica que favorece la dureza y a su vez la tenacidad.

#### REFERENCIAS

- [1]. Caballero S.N, Figueroa C. G., "Medios de enfriamiento para el temple", *Ingeniería Mecánica*. 1999, Vol 2 pp. 63-66
- [2]. Apraiz Barreiro José, *Tratamientos térmicos de los aceros*, Editorial Dossat S.A., Octava Edición reimpresión 1985.
- [3]. Palafox M.M, "Modelación de la carburación y temple en aceros", MSc Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León, México, 1996.
- [4]. Criollo C. M, "Estudio del temple en el acero utilizando grasas vegetales y su incidencia en las propiedades mecánicas". Trabajo de Grado, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Universidad Técnica de Ambato 2011.



- [5]. Valencia Asdrubal, *Tecnología del tratamiento térmico de los metales*, Editorial Universidad de Antioquia, 2009.
- [6]. De la Torre L., Berenguer M., Oliva L., Millán Z., “Velocidad de Enfriamiento: Su determinación en problemas de templado”, *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*. 2014, No. 1, Vol 18 pp. 57-64
- [7]. David Mazuera Robledo, Andrés Ortiz Cárdenas., “Evaluación de los parámetros de temple y revenido para el acero AISI SAE 1045 a escala industrial”, *Scientia et Technica*. 2011, No 49, pp 25-29
- [8]. ASM International, *Metals Handbook Metallography and microstructures*, V.9, Editor George F. Vander Voort, 2004
- [9]. Buczek. A, Telejko. T., “Investigation of heat transfer coefficient during quenching in various cooling agents” *International Journal of Heat and Fluid Flow*. 2013, Vol. 44
- [10]. Shu-Han Hsu, Yuan-Hong Ho, Ming-Xi Ho, Jian-Chiuan Wang, Chin Pan., “On the formation of vapor film during quenching in de-ionized water and elimination of film boiling during quenching in natural sea water”. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2015, Vol. 86, pp. 65-71