



# Temple del acero SAE/AISI 1045 usando aceites reutilizados como medio de enfriamiento

## Quenching of SAE/AISI 1045 steel using reused oils as a cooling medium

Luis I. Negrín-Hernández<sup>1, \*</sup>, Eduardo A. Pérez-Ruiz<sup>II</sup>, Roberto Rodríguez-Marcial<sup>I</sup>, Nelson Cárdenas-Olivier<sup>III</sup>, Alejandro Duffus Scot<sup>I</sup>

I. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Villaclara, Cuba.

II. Universidad de Ibagué, Programa de Ingeniería Mecánica. Ibagué, Colombia.

III. Universidade Federal do Vale do Sao Francisco, Colegiado de Engenharia Mecanica. Brasil.

\*Autor de correspondencia: [linegrin@uclv.edu.cu](mailto:linegrin@uclv.edu.cu)

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Recibido: 1 de septiembre de 2021

Aceptado: 4 de noviembre de 2021

### Resumen

En el presente trabajo se realizó el temple a probetas de acero SAE/AISI 1045 enfriándolas en sustancias no convencionales. Se realizaron tres grupos de cinco probetas cada uno, el primer grupo se enfrió en aceite vegetal desechado por el uso en la fritada de alimentos, el segundo en aceite mineral 15W40, también después de ser utilizado (5000 h) en el motor de un automóvil y el tercer grupo se enfrió en agua para tomarlo como patrón de referencia. Fue medida la dureza a estas probetas sin tratamiento, comprobándose que corresponde con lo estipulado en la literatura para este tipo de acero laminado en frío. A continuación, cada una de las probetas fue sometida 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 Ac3 del diagrama Fe-Fe3C. Así mismo fue considerado un tiempo de sostenimiento a temperatura de austenización de  $30 \pm 2$  min. Posteriormente cada grupo de probetas se enfrió en la sustancia correspondiente. Después se realizó el análisis estructural de los diferentes grupos de probetas y se midió la dureza en las mismas. Finalmente se hizo el ensayo de desgaste abrasivo utilizando el método de arena seca-rueda de caucho establecido por la norma ASTM G 65.

**Palabras claves:** tratamiento térmico; medio de enfriamiento; aceites reutilizados.

### Abstract

In the present work, quenching is performed on SAE / AISI 1045 steel specimens, cooling them with non-conventional substances. Three groups of five test pieces each were made, the first group was cooled in vegetable oil discarded for use in food frying, the second in 15W40 mineral oil, also after being used (5000 h) in a car engine and the third group is cooled in water to take it as the reference standard. The hardness of these test pieces without treatment is measured, verifying that it corresponds to what is stipulated in the literature for this type of steel cold rolled. Next, each of the specimens was subjected to an austenitization temperature of  $840 \pm 10^\circ\text{C}$ , which was established within the range of

$30-60^\circ\text{C}$  above the Ac3 curve of the Fe-Fe3C diagram. Likewise, a holding time at austenitization temperature of  $30 \pm 2$  min was considered. Subsequently, each group of specimens is cooled in the corresponding substance. Afterwards, the structural analysis of the different groups of test pieces is carried out and the hardness in them is measured. Finally, the abrasive wear test is made using the rubber wheel dry sand method established by the ASTM G 65 standard.

**Key words:** heat treatment; quenching media; reused oils.

### Cómo citar este artículo:

Negrín Hernández LI, Pérez Ruiz EA, Rodríguez Marcial R, et al. Temple del acero SAE/AISI 1045 usando aceites reutilizados como medio de enfriamiento. Ingeniería Mecánica. 2022;25(1):e638. ISSN 1815-5944.

## 1. Introducción

Los tratamientos térmicos consisten en calentar y mantener a temperaturas determinadas, por un cierto periodo de tiempo las piezas del metal a tratar, y luego se deben enfriar de acuerdo al propósito que se requiera conseguir. El objetivo de los tratamientos térmicos es alterar parcial o totalmente las propiedades y características de la pieza o herramienta de acero, para lograr hacerlas más adecuadas para ciertas aplicaciones [1].

Dentro de los tratamientos térmicos más utilizados en los aceros se encuentra el temple. Su finalidad es aumentar la dureza y la resistencia de los aceros. Para ello, se calienta el acero a una temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior a  $A_c^3$  (entre 700-950 °C) y se enfría luego más o menos rápidamente (según características de la pieza) en un medio como agua, aceite o aire entre otros, el agua enfría más rápidamente que el aceite, pero aquí es una desventaja, pues el enfriamiento demasiado rápido puede provocar fisuras y distorsión [2]. Al enfriar en aceite se reduce el gradiente térmico en el proceso de enfriamiento y por lo tanto disminuye la aparición de grietas y deformaciones en la pieza. Los aceites más utilizados en este proceso son los aceites minerales, que son derivados del petróleo [3].

Existen trabajos en los que se realiza el temple al acero AISI-SAE 1045 enfriándolo en diferentes sustancias, obteniendo diversas propiedades. Se pueden destacar algunos trabajos, tomando como referencia la dureza obtenida:

Raygan, et al [4], realiza el tratamiento utilizando una temperatura de 845 °C y tiempo de mantenimiento de una hora. Posteriormente se enfrían en un baño de sales, compuesto por 60 % KOH y 40 % NaOH a 205 °C, y aceite para motores estacionarios a temperatura ambiente. Se obtienen las siguientes durezas: baños de sales: 60 HRC; aceite estacionario: 60 HRC.

Mazuera [5], calientan a tres temperaturas diferentes y enfrían en aceite, en el trabajo no se especifica el tiempo de permanencia, obteniendo las siguientes durezas: 820 °C: 63,9 HRC; 870 °C: 59 HRC; 930 °C: 64,8 HRC

AbdImanan, et al [6], trabajan con una temperatura de 850 °C, aunque no especifican el tiempo de permanencia. Enfrían en agua y obtienen una dureza de 52,6 HRC.

Bohórquez [7], trabaja con cuatro temperaturas diferentes y se enfría en agua y aceite. Se obtienen las siguientes durezas: a 740 °C: en agua 60,5 HRC, en aceite 47 HRC; a 750 °C: en agua 61 HRC, en aceite 36 HRC; a 760 °C: en agua 59,5 HRC, en aceite 37,5 HRC; a 770 °C: en agua 59 HRC, en aceite 48,5 HRC.

Yi S [8], calientan el acero a cinco temperaturas diferentes y mantienen las mismas por 20 minutos, enfriando posteriormente en agua. Se obtienen las siguientes durezas: 760 °C: 20,08 HRC; 800 °C: 24,36 HRC; 840 °C: 32,78 HRC; 88 0°C: 42,44 HRC; 920 °C: 44,2 HRC.

Patiño [9], elevan la temperatura de las probetas de acero a 850 °C y la mantienen por 22 minutos. Posteriormente se enfría en aceite, agua y agua con sal y hielo, obteniéndose las siguientes durezas: acero sin tratar: 5,2 HRC; enfriado en aceite: 12,17 RC; enfriado en agua: 44,41 HRC; enfriado en agua con sal y hielo: 57,1 HRC.

Garzón, et al [10], realizan el temple a una temperatura de 760 °C y permanencia de 30 minutos. Se enfría en agua y la dureza resultante es de 54 HRC.

Pérez, et al [11], trabajan con una temperatura de 850 °C y tiempo de mantenimiento de 40 minutos. Posteriormente se enfrían en agua y tres soluciones de agua con líquido refrigerante para maquinado. Se obtienen las siguientes durezas: Sin tratamiento: 17 HRC; Agua: 58 HRC; Mezcla 90% agua y 10% líquido refrigerante: 57 HRC; Mezcla 70% agua y 30% líquido refrigerante: 35 HRC; Mezcla 60% agua y 40% líquido refrigerante: 30 HRC.

Pérez [12], realizan el temple con una temperatura de 850°C y se mantienen a 40 minutos. Posteriormente se enfrían en agua y tres tipos de aceites vegetales. Se obtienen las siguientes durezas: Sin tratamiento: 18,5 HRC; Agua: 59,8 HRC; Aceite de soya: 21 HRC; Aceite de girasol: 40 HRC; Aceite de canola: 41 HRC.

Tsun, et al [13], proponen un modelo, utilizando el método de los elementos finitos, para simular el proceso de temple del acero 1045 por láser. Para validar el mismo realizan experimentos reales en los que varían parámetros del proceso como son el tamaño del punto, velocidad, potencia del láser y posición de escaneo. En los experimentos se obtienen varios valores de dureza que varían entre los 27 HRC y 48 HRC.

Brito, et al [14], realizan el temple de los aceros AISI 1045 y AISI 4340, enfriando en aceite de soya, aceite de girasol y aceite mineral a diferentes temperaturas. En el caso del AISI 1045 después de enfriados en los aceites a temperatura ambiente se obtienen las siguientes durezas: aceite mineral 25,9 HRC, aceite de soya 28,3 HRC y aceite de girasol 29,5 HRC.

Goncalves, et al. [15], presentan un estudio en el que aplican temple a probetas de acero 1045 y las enfrían en tres diferentes medios que son: aire, agua y aceite mineral. Posteriormente analizan los cambios en la microestructura y las propiedades mecánicas. En el proceso de temple las probetas se calientan a una temperatura de 850 °C, no se especifica el tiempo de permanencia. Después del proceso de temple se obtienen las siguientes durezas: enfriando en el aire a temperatura ambiente 15 HRC; enfriando en aceite mineral 47,6 HRC y enfriando en agua 59 HRC.

Echerry, et al [16], Realizan un estudio en el que se aplica temple a probetas de acero 1045, posteriormente se le aplica revenido a diferentes temperaturas y finalmente se le realiza el ensayo de desgaste con el método de pin sobre disco. Al realizar el temple se eleva la temperatura a 850 °C, no se especifica el tiempo de mantenimiento ni el medio de enfriamiento, se indica que después de ese proceso la dureza obtenida es de 45,6 HRC.

En el presente trabajo se utilizan como refrigerantes en el proceso de temple del AISI 1045 dos tipos de aceite, uno vegetal que ha sido utilizado en la fritada de alimentos y otro mineral que se utilizó en un motor de combustión interna. Posteriormente se realiza un análisis de la estructura resultante del tratamiento térmico, se mide la dureza de las probetas y se realiza el ensayo de desgaste abrasivo según el método de arena seca-rueda de caucho establecido en la norma ASTM G 65

## 2. Métodos y Materiales

### 2.1. Fabricación de las probetas

Las probetas tienen forma prismática y sus dimensiones son de 75 x 26 x 8 mm, figura 1.



**Fig. 1.** Probetas utilizadas. Fuente autores

Se determinó que el número de muestras mínimo, a partir de estimar un nivel de confiabilidad del 95 %, es de cuatro elementos [16]. En este trabajo se realizaron 15 probetas de las que se utilizarán 5 para enfriar en agua, 5 para enfriar en el aceite de motor usado y otras 5 para enfriar en el aceite vegetal usado.

Posteriormente se realizó el análisis químico al material para confirmar que se corresponde con el AISI-SAE 1045. En este proceso se utilizó el equipo Spektrometrie Opto- Elektronik, marca Belec de fabricación alemana con las siguientes características: longitudes de onda utilizables 120-430 nm, rejilla 3600 líneas/mm, dispersión recíproca 0,52 nm/mm (1er orden), año de fabricación 2006.

En el análisis químico se hicieron un total de 12 pruebas y se promediaron obteniéndose los resultados mostrados en la tabla 1.

**Tabla 1.** Valores promedio de la composición química del acero. Fuente: autores

Promedio %	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Nb	Co	W	Pb
	0,439	0,187	0,61	0,031	<0,001	0,004	0,007	0,832	<0,001	<0,001	0,003	0,004	<0,001	<0,001	0,003	<0,001

Como se puede apreciar, esta composición coincide exactamente con el del acero AISI/SAE 1045 [19].

También se realizaron mediciones de dureza, en este paso se utilizó un durómetro Rockwell HRS-150 de fabricación China, con las siguientes características: rango de medición: 20-88 HRA, 20-100 HRB, 20-70 HRC, fuerza de ensayo: 588,4, 980,7, 1471 N (60, 100, 150 Kgf), año de fabricación 2011.

Se realizaron 10 mediciones en diferentes partes de 5 probetas y se promedió el resultado. La dureza determinada fue de 11,85 HRC, la que corresponde a un acero AISI-SAE 1045 laminado en frío (fuente: Steel Construction Manual, American Institute of Steel Construction, 2017).

### 2.2. Aceites utilizados

Como se plantea anteriormente, para el enfriamiento de las probetas se utiliza aceite vegetal después de ser utilizado en la fritada de alimentos y aceite mineral 15W40 después de utilizarse en un motor de combustión interna. Se utilizaron aceites usados con el objetivo fundamental de estudiar su posible uso en el proceso de temple, de esta forma se reutilizarían y se evitó el uso de aceites nuevos, lo que constituyó una buena práctica económica y medioambiental.

Antes de la utilización de los mismos se determinaron algunas de las propiedades de estos aceites. La viscosidad se determinó utilizando un viscosímetro rotatorio marca RHEOTEST 2.1 de fabricación alemana, características: rango de viscosidad 1... 10 000 mPas, rango de temperatura -10... + 80 °C, volumen de llenado 25 ml, año de fabricación 2002

El punto de inflamación y de ebullición se determinó según el Método de la Copa Abierta de Cleveland (ASTM D1310-01 AASHTO T79-96), en la tabla 2 se muestran los resultados.

**Tabla 2.** Propiedades de los aceites usados. Fuente: autores

Aceites usados	Viscosidad (mPas)	Temperatura de inflamación (°C)	Temperatura de ebullición (°C)
Vegetal	9,35	250	471,01

15W40	18,32	210	412,45
-------	-------	-----	--------

### 2.3. Tratamiento térmico

Para la realización del tratamiento térmico del acero AISI/SAE 1045 se estableció el régimen del temple. Para esto se siguieron las recomendaciones de la bibliografía [11, 12], que son los parámetros establecidos por el Proyecto de Investigación al que tributa este trabajo. Las probetas se someterán a una temperatura de  $840 \pm 10$  °C y se mantendrá por un tiempo de  $30 \pm 2$  minutos.

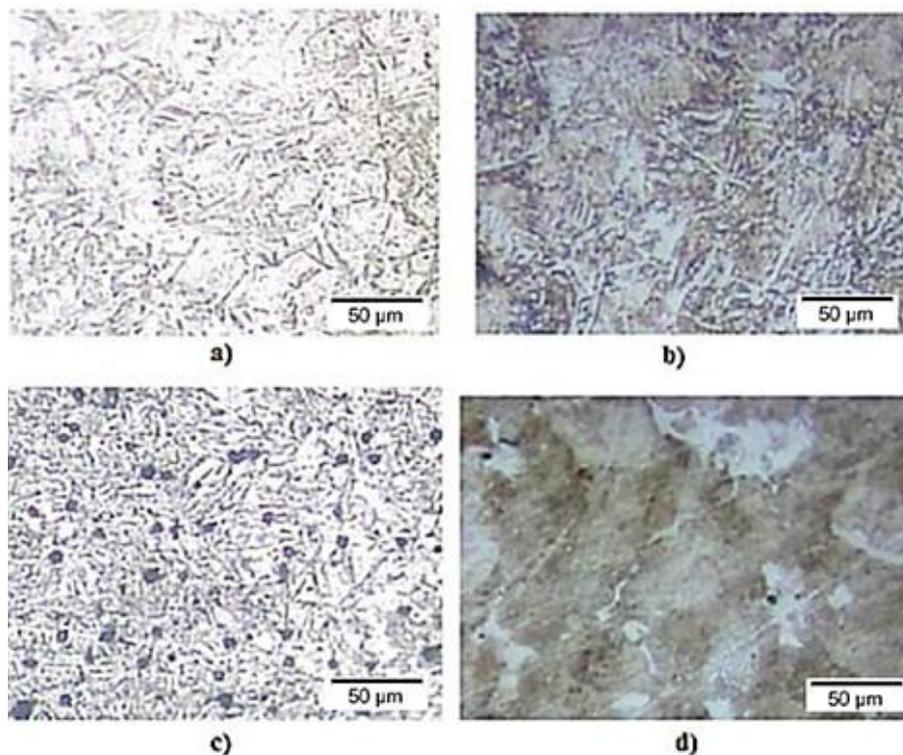
En el proceso de calentamiento se utilizó un horno de mufla marca JP SELECTA Sa. Modelo SELECT-Horn 2000366, características: temperatura regulable hasta 1150 °C +/- 1 %, horno aislado, gradiente para 8 y 4 segmentos, año de fabricación 2010, español.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1. Análisis estructural

Para la realización del análisis metalográfico se comenzó por la preparación de las probetas, tomando una de cada diferente medio de enfriamiento en el temple, además de una probeta sin tratamiento.

La toma de las micrografías se realizó en un microscopio Neophot32 de fabricación alemana, características: aumento máximo de 400 x, distancia interpupilar de 48 hasta 75 mm, año de fabricación 2002 y los resultados se muestran en la figura 2.



**Fig. 2.** Micrografía de las muestras 200 x.

a) Aceite vegetal usado, b) Aceite mineral usado, c) Agua. d) Sin tratamiento. Fuente: autores

En la figura 2a se presenta la micrografía realizada a la muestra enfriada en aceite vegetal usado. Como se puede apreciar la estructura contiene una zona de martensita, con bastante austenita residual.

En la figura 2b templada en aceite mineral 15W40 usado, también se observan las colonias de martensita y austenita residual.

Mientras que la figura 2c, enfriada en agua; presenta una mayor cantidad de martensita y menos austenita residual además de inclusiones no metálicas (puntos de óxido).

En la figura 2d, la cual no se le realizó el temple por lo que está en estado comercial se puede observar granos de perlitas y contorno de ferrita.

Como se puede observar en todas las muestras enfriadas en los diferentes tipos de aceites y agua se observa la microestructura típica de los aceros templados, teniendo a la martensita como componente principal, que se ve al microscopio bajo la forma de agujas en V o en Z.

### 3.2. Medición de la dureza

Finalmente se realizó la medición de la dureza en las diferentes probetas. En este proceso se realizaron 15 mediciones en diferentes partes de cada grupo de cuerpos de prueba y se promediaron los resultados que se muestran en la tabla 3.

**Tabla 3.** Durezas promedio obtenidas al enfriar en diferentes medios. Fuente: autores

Medio de enfriamiento	Dureza promedio (HRC)
Aceite vegetal usado	47,10
Aceite mineral usado	45,00
Agua	61,67
Sin tratamiento	11,85

Al analizar la dureza se puede apreciar que, después del temple, la dureza del acero aumenta de 11.85 HRC a 47,1 HRC las probetas enfriadas de aceite vegetal usado, a 45 HRC las enfriadas en aceite 15W40 usado y 61,67 HRC las enfriadas en agua. Como se aprecia la diferencia entre la dureza obtenida con los diferentes medios de enfriamiento es significativa. No obstante, estos valores se encuentran dentro del rango que aparece reportado en la literatura, que de por sí ya son bien diversos.

### 3.3. Ensayo de desgaste

Los ensayos de desgaste abrasivo se llevaron a cabo según el método de rueda de caucho-arena seca establecido en la ASTM G65. Esta norma contempla cinco diferentes procedimientos de ensayos, escogiéndose en este caso el procedimiento identificado con la letra E, que tiene como parámetros de trabajo: fuerza aplicada de 130 N, 1000 revoluciones de la rueda, lo que equivale a una longitud lineal de abrasión de 718 mm.

Las probetas se pesaron antes y después del ensayo utilizando una balanza digital marca SCALTEC que tiene una precisión de 0,0001 g como establece la norma. En la figura 3 se muestran algunas de las probetas después del ensayo.



**Fig. 3.** Huella del desgaste en las probetas. Fuente: autores

Después del pesaje se determina la masa perdida por la diferencia de peso. Se promedian para cada probeta, y a partir de esto se determina el volumen perdido como se establece. Los resultados se muestran en la tabla 4.

**Tabla 4.** Resultados del ensayo de desgaste. Fuente: autores

Medio de enfriamiento	Pérdida de masa Promedio (g)	Volumen perdido Promedio (mm <sup>3</sup> )
Aceite vegetal usado	0,09654	12,27
Aceite mineral usado	0,12314	15,64
Agua	0,06796	8,63

El medio de enfriamiento provoca que se obtengan durezas diferentes, y esta dureza tiene gran influencia en la resistencia al desgaste. Al enfriar en agua se obtiene una dureza de 61,67 HRC y el volumen perdido es de 8,63 mm<sup>3</sup>. Cuando se enfría en aceite vegetal la dureza obtenida es de 47,1 HRC y el volumen perdido es de 12,27 mm<sup>3</sup>. Y al enfriar en aceite 15W40 se obtiene una dureza de 45 HRC y el volumen perdido es de 15,63 mm<sup>3</sup>. Como se puede apreciar a mayor dureza el volumen perdido es menor.

La eficacia de los aceites en el proceso de temple está ampliamente estudiada, en este caso no se puede plantear que el uso de aceites usados para enfriar tenga ventajas sobre los nuevos desde el punto de vista tecnológico. Como se aprecia las propiedades obtenidas en los diferentes ensayos realizados a las probetas de AISI 1045, después del temple y enfriamiento en los aceites usados, se encuentran dentro del rango obtenido por otros investigadores, por lo que se considera que es factible su uso. La ventaja de esta práctica estaría dada por el ahorro económico que representa la reutilización de esos aceites, que en estos momentos se desechan, con el correspondiente riesgo ambiental en su manipulación, transportación y almacenamiento.

## 4. Conclusiones

Los aceites vegetales usados y el aceite mineral 15W40 usado pueden utilizarse en el temple del acero AISI 1045, pues se obtiene la microestructura típica de los aceros templados teniendo a la martensita como

componente principal. Además los resultados de dureza obtenidos se encuentran dentro del rango reportado en la literatura. Esto constituiría una buena práctica ambiental.

El medio de enfriamiento tiene una influencia significativa en la resistencia al desgaste del acero SAE/AISI 1045 después del temple. Esto está relacionado directamente con la dureza obtenida, a mayor dureza una mayor resistencia al desgaste.

## 5. Referencias

1. Totten G. Steel Heat Treatment. USA: CRC Press; 2019.
2. Callister W. Materials Science and Engineering: an Introduction. USA: John Wiley & Sons; 2014.
3. Ramesh G, Prabhu K. Wetting and Cooling Performance of Mineral Oils for Quench Heat Treatment of Steels. ISIJ International. 2014;54(6):1426-35.
4. Raygan S, Rassizadehghani J, Askari M. Comparison of Microstructure and Surface Properties of AISI 1045 Steel After Quenching in Hot Alkaline Salt Bath and Oil. Journal of Materials Engineering and Performance. 2008.
5. Mazuera D, Ortiz A. Evaluación de los parámetros de temple y revenido para el acero AISI-SAE 1045 a escala industrial. Scientia et Técnica. 2011;(49).
6. AbdImanam S, Elmaryami A, Badrul O. Modeling LHP in carbon steel 1045 during quenching. Mathematical Theory and Modeling. 2012;2(12).
7. Bohórquez C. Influencia del tratamiento térmico desde temperaturas intercríticas en las propiedades mecánicas del acero 1045. Mecánica Computacional. 2012;XXXI.
8. Yi S, Tuan Y. Assessing the Hardness of Quenched Medium Steel Using an Ultrasonic Nondestructive Method. Advances in Materials Science and Engineering. 2015.
9. Patiño H, Rosero B. Tratamiento térmico de temple, influencia del medio de enfriamiento. Journal de Ciencia e Ingeniería. 2016;8(1).
10. Garzón J, et al. Influencia en las propiedades mecánicas del acero AISI-SAE 1045 tratado térmicamente con temple a temperatura intercrítica y revenido. Revista Avances e Investigación en Ingeniería. 2016;13(1).
11. Pérez E. Effect of machining fluid like quenching media on the friction and wear behavior of AISI 1045 steel. International Journal of Mechanical Engineering and Technology. 2018;9(7).
12. Pérez E, Llano J. Friction and Wear Behavior of AISI 1045 Steel Quenched in Vegetable Oils. International Journal of Mechanical Engineering and Technology. 2018;9(7):116-26.
13. Tsun Pin H, Hao En S, Jao Hwa K. Temperature Modeling of AISI 1045 Steel during Surface Hardening Processes. Materials. 2018;11(1815). DOI: 10.3390/ma11101815
14. Brito, et al. Experimental investigation of cooling behavior and residual stresses for quenching with vegetable oils at different bath temperatures. Journal of Cleaner Production. 2019;216:230-238.
15. Goncalves G, et al. Study of Microstructural Evolution and Mechanical Properties of SAE 1045 Commercial Steel subjected to Tempering Heat Treatment in Different Cooling Means. IOSR Journal of Engineering. 2019;09(2).
16. Maxwell S, Delaney H, Kelley K. Designin experiments and analyzing data. Routledge Taylor and Francis Group. 2018.

Los datos de las referencias son responsabilidad de los autores

### Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

### Contribución de los autores

**Luis Iván Negrín Hernández.** <https://orcid.org/0000-0002-8180-1285>

Coordinó el desarrollo del trabajo y propició los intercambios entre los participantes. Participó en la realización de los ensayos de desgaste, toma de los datos y procesamiento de los resultados del mismo. Participó en la revisión y redacción del informe final.

**Eduardo Alberto Pérez Ruiz.** <https://orcid.org/0000-0002-9983-5926>

Coordina el proyecto de investigación del cual se desprende este trabajo. Preparó y estableció todo el procedimiento tecnológico para el temple de las probetas, así como la selección de los aceites a utilizar en el enfriamiento. Participó en la revisión y redacción del informe final.

**Roberto Rodríguez Marcial.** <https://orcid.org/0000-0002-0810-4125>

Se encargó de la revisión bibliográfica necesaria para el trabajo. Participó en todo los desarrollos experimentales realizados, tanto en la ejecución, la toma de datos y el posterior procesamiento y en la revisión y redacción del informe final.

**Nelson Cárdenas Olivier.** <https://orcid.org/0000-0003-0501-4949>

Realizó el estudio de los aceites utilizados, determinando sus propiedades fundamentales de forma experimental. Participó en la revisión y redacción del informe final.

**Alejandro Duffus Scot.** <https://orcid.org/0000-0001-9959-5697>

Apoyó en la revisión del estado del arte. Trabajó en la recolección de los datos y en la revisión y redacción final del trabajo. Participó en la revisión y redacción del informe final.