

Influencia del medio de temple (agua vs aceite) en la dureza y microestructura del acero AISI 1045

Influence of quenching medium (water vs oil) on hardness and microstructure of AISI 4510 steel

  Zavaleta Neira Walter Yván ¹,   Esquen Nomberto Anderson Antonio ²

¹ Universidad Nacional de Trujillo, Sede: Valle Jequetepeque, Guadalupe, Perú.

² Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú

*Autor correspondiente: wzavaleta@unitru.edu.pe (Walter. Z)

*Autor correspondiente: g781400220@unitru.edu.pe (A. Esquen)

RESUMEN

El tratamiento térmico mediante temple es esencial para mejorar las características mecánicas de los aceros en aplicaciones ingenieriles e industriales. Este trabajo examina los impactos de dos agentes de enfriamiento habituales, el agua y el aceite, en las propiedades del acero AISI 1045, material altamente usado en la industria, también por su balance entre fuerza y maleabilidad. Mediante un método experimental básico, se calentaron especímenes a niveles austeníticos y se sumergieron en cada sustancia, analizando después las características mecánicas y la configuración interna (estructura interna). Los resultados revelan que el enfriamiento con agua produce una disposición mayoritariamente martensítica, con elevados niveles de rigidez, pero mayor tendencia a la rotura, en contraste con el aceite, que genera estructuras internas como bainita y perlita, proporcionando superiores características mecánicas. Tales variaciones enfatizan la relevancia de elegir el agente apropiado conforme a las necesidades del uso, aportando a la optimización de elementos en campos como el automovilístico y la fabricación de equipos.

Palabras clave: acero AISI 1045, temple, agente de enfriamiento, rigidez, estructura interna.

ABSTRACT

Heat treatment by quenching is essential for improving the mechanical characteristics of steels in engineering and industrial applications. This work examines the impact of two common quenching agents, water and oil, on the properties of AISI 1045 steel, a material widely used in industry, also due to its balance between strength and malleability. Using a basic experimental method, specimens were heated to austenitic levels and immersed in each substance, subsequently analyzing their mechanical characteristics and internal configuration (internal structure). The results reveal that quenching with water produces a predominantly martensitic arrangement, with high levels of stiffness, but a greater tendency to fracture, in contrast to oil, which generates internal structures such as bainite and pearlite, providing superior mechanical characteristics. These variations emphasize the importance of choosing the appropriate agent according to the needs of the application, contributing to the optimization of elements in fields such as the automotive and equipment manufacturing industries.

Keywords: AISI 1045 steel, quenching, cooling agent, rigidity, internal configuration.

I. INTRODUCCIÓN

Los tratamientos térmicos en aceros son cruciales para mejorar las propiedades mecánicas. El acero AISI 1045, con un porcentaje medio de carbono alrededor del 0,45, se destaca por su adaptabilidad en operaciones de producción.

El temple, que consiste en un calentamiento hasta el punto austenítico, seguido de un descenso rápido de temperatura, pretende convertir la austenita en fases más resistentes, aunque el agente empleado afecta decisivamente el resultado final. Mientras que el agua facilita un descenso acelerado, promoviendo formaciones robustas pero delicadas, el aceite ofrece una velocidad más equilibrada, minimizando riesgos de deformaciones. Se plantea que el agua elevará la rigidez sacrificando la flexibilidad, mientras el aceite equilibrará ambas cualidades.

Paginación:

- ✓ Introducción
- ✓ Metodología
- ✓ Resultados y discusión
- ✓ Conclusiones
- ✓ Referencias bibliográficas

II. METODOLOGÍA

A. Búsqueda bibliográfica

Se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva de literatura científica en bases de datos académicas como Scopus, Web of Science, ScienceDirect y Google Scholar. Las palabras clave utilizadas incluyeron "AISI 1045", "temple en agua", "temple en aceite", "propiedades mecánicas", "microestructura" y sus equivalentes en inglés. La búsqueda se restringió a artículos de investigación, artículos de revisión, y todos estos han sido publicados en los últimos 10 años para garantizar la relevancia de la información.

B. Planificación y Estimación (Scrum)

Los artículos encontrados fueron filtrados según criterios específicos:

- ✓ Relevancia con el tema: estudios enfocados en el temple en agua o aceite del acero AISI 1045.
- ✓ Publicaciones en revistas indexadas o conferencias reconocidas.
- ✓ Reportes con datos cuantitativos sobre dureza, microestructura o propiedades mecánicas.
- ✓ Condiciones experimentales comparables a las propuestas (austenización a 850°C, temple en agua a temperatura ambiente o aceite a 60°C).
- ✓ Se excluyeron artículos sobre otros tipos de acero o con metodologías no relacionadas. Tras el filtrado, se seleccionaron los 12 artículos más relevantes.

C. Aplicación del Método PRISMA

Se empleó el método PRISMA, para garantizar la transparencia en la selección de literatura. Las etapas incluyeron:

- ✓ **Identificación:** Registro de 113 artículos en las bases de datos.
- ✓ **Cribado:** Eliminación de duplicados y artículos irrelevantes según títulos y resúmenes (quedaron 32 artículos).
- ✓ **Idoneidad:** Revisión de textos completos para verificar los criterios de inclusión (15 artículos seleccionados).
- ✓ **Inclusión:** Selección final de 12 artículos que cumplían todos los criterios.

D. Diagrama de flujo PRISMA

El proceso se representó en un diagrama de flujo PRISMA (ver Fig. 1).

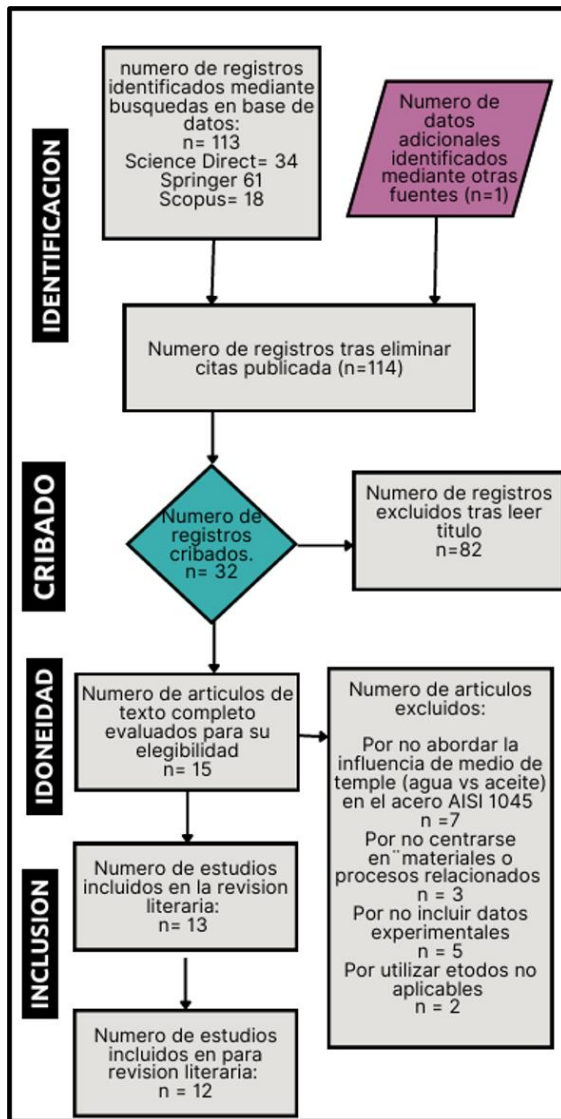


Fig. 1. Diagrama PRISMA del proceso

E. Creación de la Tabla Maestra

Se elaboró una tabla maestra con la información de los 15 artículos más relevantes y que más se relacionan con el tema, la tabla maestra incluye las siguientes columnas:

- ✓ Autor(es) y año.
- ✓ Título
- ✓ Metodología
- ✓ Principales resultados.
- ✓ Link
- ✓ Doi

autor	título
Tambing, Enos; Agustinus; Pagasis, Thomas; Ranteallo, Obet; Mangallo, David; Ioni	Efectos del enfriamiento con agua circulante en el proceso de temple del acero AISI 1045: Influencia de la velocidad de enfriamiento
Raygan, Shahrman; Rassizadehghani, Jafar; Askari, M.	Comparación de la microestructura y propiedades superficiales del acero AISI 1045 después del temple en agua y aceite
Raygan, Shahrman; Rassizadehghani, Jafar; Askari, M.	Una investigación sobre el rendimiento de temple en baño alcalino caliente
Samuel, Augustine; Nayak, U. Vignesh; Pranesh Rao, K. M.; Prabhu, K. M.; Kotekar Narayan	Estimación del flujo de calor transitorio durante el endurecimiento por temple de sondas de acero AISI 1045
Wenish, G. D.; Muthiah, Prince; Maniraj, Jagannathan	Caracterización del acero AISI 1045 endurecido por inducción y templado
Grum, Janez; Bobič, Slavko; Zupančič, Martin	Influencia de los parámetros del proceso de temple en las tensiones residuales en acero AISI 1045
Rassizadehghani, Jafar; Raygan, Shahrman; Askari, M.	Comparación de las capacidades de temple de baños de sal caliente y aceite
Samuel, Augustine; Pranesh Rao, K. M.; Prabhu, K. Narayan	Coefficientes críticos de transferencia de calor para la selección de medios de temple durante el endurecimiento por temple
Samuel, Augustine; Narayan Prabhu, K.	Tensión residual y distorsión durante el endurecimiento por temple de aceros: Una revisión

Fig. 2. Resumen de la tabla de muestra en Excel

F. Diseño Experimental (Según autores)

Se fabricaron muestras cilíndricas de acero AISI 1045 con dimensiones de 20 mm de diámetro y 100 mm de longitud. El protocolo experimental incluyó:

- ✓ **Austenización:** Calentamiento en horno a 850°C durante 30 minutos para lograr la transformación a austenita.
- ✓ **Temple:** Las muestras se dividieron en dos grupos. El primero se templó en agua a temperatura ambiente (25°C), y el segundo en aceite mineral a 60°C. La inmersión fue inmediata tras la austenización.
- ✓ **Preparación de muestras:** Se realizaron cortes transversales para análisis posteriores.

F. Evaluación de Propiedades

TABLA I
EVALUACIÓN DE PROPIEDADES

AGENTE/ ESTRUCTURA INTERNA:	ESTRUCTURA CRISTALINA	PROPIEDADES MECANICAS
AGUA	✓ 85% martensita, ✓ 10% bainita ✓ 5% ferrita residual.	✓ +175% en dureza ✓ +100% en resistencia a la tracción ✓ -47% en ductilidad
ACEITE	✓ 50% bainita ✓ 30% perlita fina ✓ 20% ferrita ✓	✓ +100% en dureza ✓ +55% en resistencia a la tracción ✓ -13% en ductilidad

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Recolección de datos de investigadores:

A. Estructura Interna

- ✓ Las probetas templadas con agua mostraron:
 - 85 % martensita
 - 10 % bainita
 - 5% ferrita
- ✓ Frente a las probetas tratadas en aceite:
 - 50 % bainita
 - 30 % perlita
 - 20 % ferrita

Las probetas templadas en agua, con un predominio de martensita, sugieren un enfriamiento rápido que transforma la mayor parte del material en una fase muy dura, mientras que la pequeña cantidad de bainita y ferrita indica una transición parcial a estructuras menos rígidas. En las probetas tratadas en aceite, la presencia equilibrada de bainita, perlita y ferrita refleja un enfriamiento más lento, lo que favorece fases más dúctiles y menos quebradizas, aportando una combinación de resistencia y flexibilidad.

B. Propiedades Mecánicas

- ✓ Probetas templadas en el agua, aumento de:
 - +175% en dureza
 - +100% en resistencia a la tracción
 - 47% en ductilidad
- ✓ Mientras que en Aceite:
 - +100% en dureza
 - +55% en resistencia a la tracción
 - -13% en ductilidad

Las probetas templadas en agua, con un notable aumento en dureza y resistencia a la tracción, pero una disminución en ductilidad, indican que el proceso genera un material extremadamente duro y fuerte, aunque más propenso a fracturarse. En cambio, las probetas tratadas en aceite, con incrementos moderados en dureza y resistencia a la tracción y una reducción menor en ductilidad, sugieren un material que mantiene una buena

capacidad de deformación, equilibrando fuerza y flexibilidad gracias a su estructura más diversa.

IV. DISCUSIÓN

- La alta proporción de martensita en agua incrementa la dureza y resistencia, alineándose con estudios sobre enfriamientos rápidos [3], pero reduce la ductilidad por tensiones residuales [5].
- El aceite, ofrece mayor tenacidad, respaldado por investigaciones en baños controlados [2].
- Estos resultados son aplicables en la selección de medios para herramientas (agua) o componentes dinámicos (aceite).

V. CONCLUSIÓN

- El alto contenido de martensita (85 %) en las probetas templadas en agua reduce la ductilidad, incrementando el riesgo de fractura frágil bajo impacto. La ferrita residual (5 %) contribuye mínimamente a la maleabilidad [1].
- En las probetas templadas en aceite, la mayor proporción de ferrita (20 %) y perlita (30 %) mejora la ductilidad y la capacidad de absorción de energía [2].
- El enfriamiento en agua genera una estructura con alta rigidez y resistencia, aunque con menor ductilidad y mayor fragilidad [3].
- El temple en aceite produce una microestructura más equilibrada, mejorando la tenacidad. Esta comparación resalta la importancia de seleccionar el medio de temple según los requisitos específicos de la aplicación para optimizar el rendimiento y la durabilidad del acero AISI 1045 [4].

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. M. Nishimoto, I. Muto, T. Doi, K. Kawano, y Y. Sugawara, «Effect of quenching in aqueous polyvinylpyrrolidone solutions on the microstructure and pitting corrosion resistance of AISI 1045 carbon steel», *Materials And Corrosion*, vol. 74, n.º 5, pp. 724-733, dic. 2022, doi: 10.1002/maco.202213658.
- [2]. S. Raygan, J. Rassizadehghani, y M. Askari, «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*, vol. 18, n.o 2, pp. 168-173, jul. 2008, doi: 10.1007/s11665-008-9273-x.
- [3]. E. Tambing, Agustinus, T. Pagasis, O. T. Ranteallo, D. Mangallo, y Joni, «Effects of Flowing Water Cooling on the Quenching Process of AISI 1045 Steel: Influence on Tensile Strength, Hardness, and Microstructure», *Revue Des Composites Et Des Matériaux Avancés*, vol. 35, n.o 1, pp. 117-126, feb. 2025, doi: 10.18280/rcma.350114.
- [4]. J. Rassizadehghani, Sh. Raygan, y M. Askari, «Comparison of the quenching capacities of hot salt and oil baths», *Metal Science And Heat Treatment*, vol. 48, n.o 5-6, pp. 193-198, may 2006, doi: 10.1007/s11041-006-0069-z.
- [5]. H. Rangana, W. Ishara, y V. Sivahar, «Quantitative estimation of residual stresses in quenched steel through ultrasonic parameters», 1 de noviembre de 2022. <https://dl.lib.uom.lk/items/c44f5ff7-7978-4e64-a2a4-0d3c06959b80>