

**Efecto de los tratamientos térmicos sobre las propiedades  
mecánicas de aceros al carbono.**

**Effect of heat treatments on the mechanical properties of carbon  
steels.**

Ing. Frida G. Salazar Ferrel\*,  
Dra. Ma. de Jesús Soria Aguilar,  
Dr. Francisco Raúl Carrillo Pedroza

Facultad de Metalurgia, Universidad Autónoma de Coahuila, Carretera 57,  
kilómetro 5. CP. 25710. Monclova, Coahuila, México.

Correo electrónico: [fridasalazarferrel@uadec.edu.mx](mailto:fridasalazarferrel@uadec.edu.mx)

## Resumen

Este artículo consiste en una revisión de la literatura con el objetivo de analizar los tratamientos térmicos en aceros al carbono. Estos modifican su microestructura mediante tratamientos térmicos, que influyen directamente en las propiedades mecánicas del material. Los tratamientos abordados en este artículo son el temple, normalizado, recocido y revenido, y uno de vanguardia, la criogenia y su combinación con el temple y el revenido. Las propiedades mecánicas de los aceros son un factor determinante en sus aplicaciones. Durante años, industrias e investigadores han buscado mejorar estas propiedades mecánicas en base al diagrama de fase para que cada día los aceros sean más viables y con mejores propiedades de fabricación.

**Palabras clave: Tratamientos térmicos, Acero, Temple, Recocido, Propiedades mecánicas.**

## Abstract

This article consists of a literature review aiming to analyze heat treatments in carbon steels. These modify their microstructure through thermal treatments, which directly influence the material's mechanical properties. The treatments addressed in this article are hardening, normalized, annealed, and tempered, and an avant-garde one, cryogenics and its combination with quenching and tempering. The mechanical properties of steels are a determining factor in their applications. For years, industries and researchers have sought to improve these mechanical properties based on the phase diagram so that each day steels are more viable and with the best manufacturing properties.

**Keywords: Heat treatments, Steel, Tempering, Annealing, Mechanical properties**

## Introducción

Un tratamiento térmico es definido como el proceso por el cual se obtienen diferentes propiedades de un material que dependerá directamente de la microestructura y del tipo de materia, dos factores importantes para obtener estas propiedades son: la temperatura y la velocidad de enfriamiento de este. Aunque en un tratamiento térmico se contemplan tres fases: calentamiento, mantenimiento de temperatura y enfriamiento (Ávila y Chávez, 2017).

En la actualidad, es común utilizar los tratamientos térmicos como medios para modificar o controlar los tamaños de grano microestructurales en el acero, a lo que se atribuyen las propiedades del material, además de su composición química, y los elementos de aleación de los aceros. Es por esto que cada vez existen más tratamientos térmicos innovadores que son definidos para obtener propiedades específicas, sin embargo, los clásicos nunca pasan de moda, debido al conocimiento de sus principios fundamentales y a sus buenos resultados a nivel industrial. En este artículo se estudian los tratamientos térmicos fundamentales, como lo son: recocido, revenido, temple y austenizado, hasta llegar a uno de los tratamientos térmicos más novedosos: la criogenia. Aunque cabe resaltar que esta es una recopilación de casos donde las propiedades de los aceros pueden estar sujetos a su composición química y pueden conferir características, se dará un enfoque general de los tratamientos térmicos, los cuales resultan en características completamente distintas a pesar de tener composiciones químicas similares.

Algunas de las propiedades que se pueden modificar en los aceros por la aplicación de los tratamientos térmicos son: dureza, tenacidad, resistencia al impacto, entre otras, (DeGarmo y col., 1994). El objetivo de poder controlar estas propiedades es darles mayor aplicabilidad a los aceros comerciales, tan es así, que, en grandes industrias como Altos Hornos de México, se instaló todo un proceso de producción para comercializar aceros normalizados, con la finalidad de ampliar su mercado y

conservar sus procesos establecidos con composiciones químicas específicas (Valdés, 2016).

El propósito de este artículo es recolectar información para la comprensión de los tratamientos térmicos aplicables al acero, y cómo pudiera influir cada uno en la modificación de la microestructura, por ende, en las propiedades finales del material.

### **Antecedentes**

Las propiedades mecánicas de cada acero dependen en gran medida de la composición química; sin embargo, es posible modificar esas propiedades utilizando tratamientos térmicos, cuya definición general se podría resumir en la aplicación de un calentamiento y enfriamiento controlado que se le da a un material, en este caso un acero, para obtener las propiedades deseadas (Pérez, 1996).

La dureza es la característica que tiene el metal para oponerse a ser rayado o penetrado por otro material, según la Real Academia Española. Para medir la dureza de algún material, se utilizan pruebas de resistencia, por ejemplo, la oposición que muestra un material al ser deformado por otro más duro.

La resistencia al impacto es una propiedad principal en los aceros utilizados para herramienta. Esta característica se mide mediante un ensayo de impacto que más bien define si el material es frágil o no, es decir, si se fractura o deforma al golpear a otro de igual o diferente dureza; por lo tanto, este concepto está estrechamente ligado con la resistencia mecánica del material (Federación de Enseñanza, 2011).

Antes de iniciar a explicar los tratamientos térmicos y el propósito de cada uno de ellos, es crucial entender cuáles son las fases que se pueden encontrar en un acero, esto se explica mejor utilizando un diagrama de fases Fe-Fe<sub>3</sub>C como se muestra en la Figura 1.

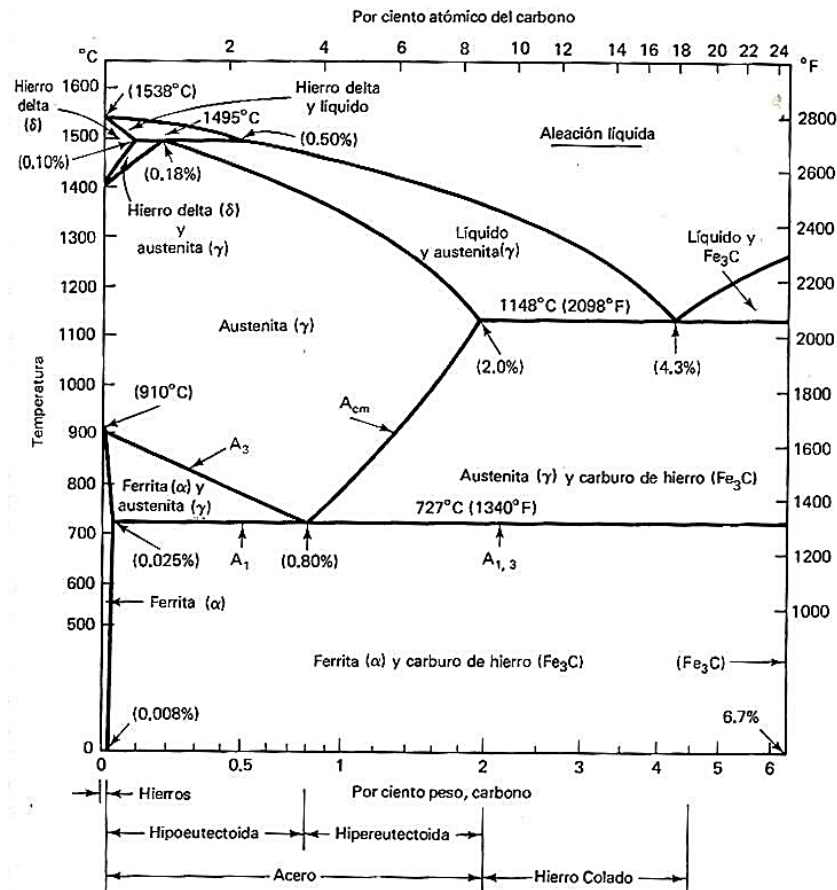


Figura 1.- Diagrama de fases de equilibrio de los aceros (Arano, 2008).

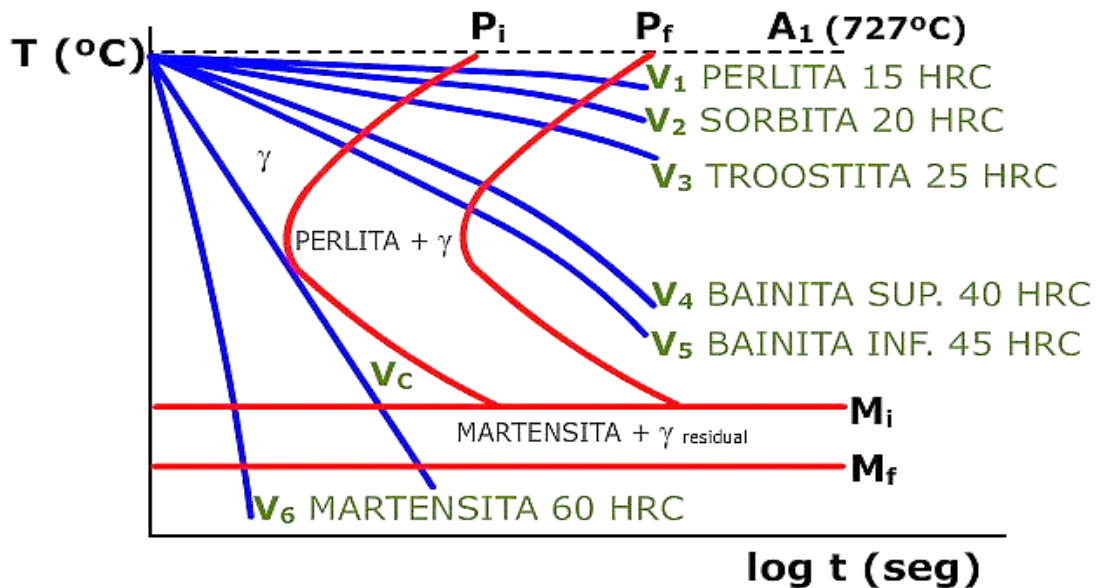
Las fases de equilibrio que se pueden encontrar en el diagrama son:

**Ferrita ( $\alpha$ ):** Esta fase es conocida por contener el hierro puro, se caracteriza por ser una fase suave, dúctil y magnética.

**Austenita ( $\gamma$ ):** Se encuentra sobre los 950°C (aproximadamente) y contiene un porcentaje de carbono de 0.008 a 1.9. Es blanda y dúctil.

**Cementita ( $Fe_3C$ ):** El carburo de hierro se produce al contener un exceso de carbono en el límite de solubilidad, se caracteriza por ser muy duro, pero también muy frágil.

Además del diagrama de fases Fe-Fe<sub>3</sub>C, podemos reconocer distintas microestructuras que se obtienen al modificar térmicamente el acero, haciendo uso de los tratamientos térmicos. Estas microestructuras las podemos encontrar en los diagramas TTT (tiempo, temperatura y transformación de fase), como se muestra en la Figura 2:



**Figura 2.-** Diagrama TTT (tiempo, temperatura y transformación de fase). (Smith y col.,2006)

**Martensita:** Esta es una sobresaturación de carbono en hierro alfa. Es el segundo constituyente más duro de los aceros templados (después de la cementita). Su dureza depende del % de carbono contenido.

**Bainita:** Crece en forma de placas delgadas buscando minimizar la deformación relacionada a desplazamientos. Cuando bainita es una estructura generada por un movimiento coordinado de átomos, debe existir una relación de orientación entre la austenita y la bainita.

Sorbita: Estructura que aparece en los aceros templados como consecuencia de la descomposición de la martensita por un calentamiento posterior. La temperatura a la que aparece la sorbita es superior a la de la troostita.

Troostita: agregado fino de cementita y ferrita, se produce por enfriamiento de la austenita con una velocidad de enfriamiento ligeramente inferior a la crítica de temple.

Uno de los principales tratamientos térmicos utilizados en la industria es el normalizado, que se emplea principalmente para cambiar la microestructura del acero y darle homogeneidad, eliminando las tensiones generadas por los procesos anteriores. El austenizado, por su parte, cumple su función para transformar la ferrita en austenita, dando así, un crecimiento de grano que posteriormente tomará características de un grano más fino. Típicamente, se comienza con un tratamiento de austenizado, para seguir con un temple, que formará la martensita.

Otro de los tratamientos térmicos más comunes es el de recocido, que tiene como propósito calentar el acero a una cierta temperatura y enfriarlo lentamente. Después del recocido, sigue el revenido, cuya finalidad es liberar tensiones internas generadas dentro del material consiste en calentar el material a una temperatura inferior a la del recocido y, posteriormente, utilizar un enfriamiento lento.

Por otro lado, el temple se caracteriza se caracteriza por determinar primeramente las temperaturas críticas de transformación de fase en calentamiento y posteriormente obtener la martensita, además, es un aliado útil para obtener microestructuras martensíticas, que a su vez favorecen la dureza (Patino y Rosero, 2016).

El tratamiento criogénico consiste en sumergir una pieza de acero en un tanque especial lleno con nitrógeno líquido y dejarlo durante determinado tiempo a temperaturas críticas de menos de 0°C. Si bien, algunos estudios muestran la combinación de este nuevo método con algunos tratamientos térmicos



convencionales como el temple y revenido, estos trabajos demuestran que la correcta combinación entre la criogenia y los tratamientos térmicos puede mejorar las propiedades de dureza y resistencia al impacto, al reducir la austenita en el acero (Mora y Niño, 2018).

En la Tabla 1 se muestra una comparativa entre los diferentes tratamientos térmicos utilizados por algunos autores, en diferentes grados de aceros al carbono.

**Tabla 1.-** Recopilación de autores, las propiedades mecánicas y fases microestructurales que encontraron según los tratamientos térmicos aplicados.

<i>Acero utilizado</i>	<i>Tratamientos térmicos aplicado</i>	<i>Propiedades mecánicas/ mejora y/o mejor resultado</i>	<i>Fases</i>	<i>Autor</i>
AISI/SAE 4140	Temple, criogenia y revenido	Dureza y resistencia a la fatiga. El material que presento un comportamiento, óptimo fue revenido a 15 minutos con criogenia a 48 H.	Ferrita 22% y martensita 74%	Peralta y Moreno, (2017)
AISI/SAE 5160	Temple, criogenia y revenido	Dureza, resistencia al impacto, tenacidad. Al utilizar la criogenia sufre un aumento en su	Martensita, ferrita y cementita	Mora y Niño, (2018)



		tenacidad al 37% con respecto a las probetas tratadas convencionalmente.		
AISI 1045	Recocido y normalizado	Tracción, torción y dureza. La ductilidad y tenacidad aumentan respecto a la condición de trefilado en frío.	---	Bolaños y col., (2018)
SAE 1045	Temple, criogenia y revenido	Dureza, límite de fluencia y tenacidad. Aumentan la microdureza de las zonas duras en un mínimo de 30% y se refuerzan las zonas blandas en un 35%.	Ferrita, cementita, martensita,	Guzmán, (2017)
Hadfield grado F	Temple, revenido y criogenia	Dureza, desgaste abrasivo. aumento su dureza, se obtuvo un 61.42% en comparación sin este tratamiento.	Martensita	Avedaño y Montañez, (2017)
Acero para herramienta HSS	Criogenia	Dureza. Aumento de 11% de microdureza.	Martensita	Posso y Giraldo, (2017)

<p>Acero Naval ASTM A- 131</p>	<p>Temple y revenido</p>	<p>Dureza y resistencia al impacto. Mayor temperatura y tiempo de duración del tratamiento de revenido, mayor será la reducción en la dureza del material.</p>	<p>Martensita y ferrita</p>	<p>Pinilla y De Los Ríos, (2018)</p>
<p>AISI 1045</p>	<p>Temple, revenido, criogenia</p>	<p>Dureza y tensión. Incremento en la resistencia a la tensión para tiempos de revenido inferiores a 50-60 minutos.</p>	<p>Perlita, ferrita</p>	<p>Vergara y Romero, (2018)</p>
<p>AISI/SAE 4140</p>	<p>Temple y revenido</p>	<p>Dureza y resistencia a la torsión. Esfuerzo cortante debido a la torsión de 1048.27Mpa que comparado con las propiedades en estado de suministro el cual corresponde a 829.76Mpa, se evidencia un aumento del 26.27%.</p>	<p>---</p>	<p>Ñacata y Cherres, (2019)</p>

AISI/SAE 4340	Temple y revenido	Dureza y resistencia a la tracción. Dureza en temple de 54 a 56 HRC y en 30 a 35 HRC. Es necesario realizar un doble revenido.	Martensita, bainita, cementita y austenita	Cholango y Zapata, (2020)
API 5L grado B	Normalizado, temple y recocido	Dureza. Valores altos de dureza Brinell en la probeta de temple, debido a la formación de agujas en el interior de la martensita	Perlita y ferrita	Castro y col., (2021)

## Conclusiones

Los tratamientos térmicos actualmente son precisos en el manejo de propiedades mecánicas en los aceros, especialmente para las aplicaciones que se demanden. El secreto de un buen tratamiento térmico es encontrar la temperatura correcta de calentamiento y de enfriamiento de acuerdo a las características finales deseadas. Es de suma importancia conocer las fases microestructurales, además de tamaño, morfología y distribución de las fases que se pueden encontrar según el tratamiento térmico que se aplica al acero, de esta manera será más fácil predecir las propiedades de dicho material.

## Agradecimientos

Artículo escrito en agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, cuyo financiamiento 800640 es aprovechado para mis estudios en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila.

## Referencias bibliográficas

Avendaño, J., Montañez, N. (2017). Evaluación del efecto de los tratamientos térmicos de temple, revenido y criogenización en aceros hadfield grado f, mediante los ensayos de desgaste abrasivo, dureza y microdureza. [Proyecto de grado] Universidad Libre, Facultad De Ingeniería. Facultad De Ingeniería Mecánica. Bogotá. Disponible en: <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/10579>. Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2021.

Arano D. (2008) Conservación de cañones de fundición de hierro del periodo colonial que forman parte del patrimonio cultural de la ciudad de San Francisco de Campeche [Tesis de maestría] Universidad Autónoma de Campeche, Facultad de Ingeniería. Disponible en: <https://www.researchgate.net/profile/Diana-Arano/publication/303750915/Conservacion-de-canones-de-fundicion-de-hierro-del-periodo-colonial-que-forman-parte-del-patrimonio-cultural-de-la-ciudad-de-San-Francisco-de-Campeche/links/582cb38e08aef19cb8103fcb/Conservacion-de-canones-de-fundicion-de-hierro-del-periodo-colonial-que-forman-parte-del-patrimonio-cultural-de-la-ciudad-de-San-Francisco-de-Campeche.pdf>. Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2021.

Avila, K., Chavez, J. (2017). Caracterización microestructural de un acero SAE 1045 con un tratamiento termomecánico. [Proyecto de grado] Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, Facultad de Tecnología. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/8291>. Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2021.

Bolaños, F., Caicedo, J., Alfonzo, C., Santeliz, A., & Porrello, A. (2018). Evaluación del comportamiento mecánico de un acero AISI 1045 sometido a tratamientos térmicos. *Revista Ingeniería UC*. 25(1): 99-107.

Castro, L., Moreno, M., Noguera, A. (2021) Caracterización del acero API 5L grado B. *Polo del Conocimiento*.58(6): 164-178. DOI: 10.23857/6i5.2645.

Cholango, A., Zapata, J. (2020) Determinar la resistencia a la tracción y dureza del acero AISI/SAE 4340, tratado térmicamente por temple a 860°C y revenido a 280 °C, 320 °C y 380 °C. [Proyecto de grado para la obtención de título de Ingeniero Mecánico. Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19191>. Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2021.

De Garmo, E., Black, J., Kohser, R.(2019). Materiales y procesos de fabricación. (Segunda edición). Ed Reverté.

Federación de Enseñanza (2011). Propiedades de los metales. Revista Temas para la Educación. Disponible en: <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8631.pdf>. Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2021.

Guzmán E. (2018). Caracterización del Acero 1018 con tratamientos térmicos. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/330956549\\_Caracterizacion\\_del\\_Acero\\_1018\\_con\\_tratamientos\\_termicos](https://www.researchgate.net/publication/330956549_Caracterizacion_del_Acero_1018_con_tratamientos_termicos). Fecha de consulta: 20 de octubre de 2021. DOI: 10.13140

Mora, G., Niño, C. (2018) Influencia de diferentes tratamientos térmicos y criogénico en la resistencia al impacto y dureza de un acero AISI/SAE 5160. [Proyecto curricular de ingeniería mecánica]. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/14188>. Fecha de consulta: 20 de octubre de 2021.

Ñacata, H., Cherres, A. (2019) Análisis de la variación de la resistencia a la torsión del acero AISI/SAE 4140 tratado térmicamente por temple a 830°C – 860°C y revenido a 500°C. [Proyecto técnico para obtener el título de Ingeniero Mecánico]

Universidad Politécnica Salesiana, Quito. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17714>. Fecha de consulta: 20 de octubre de 2021.

Patino, H., Rosero, B. (2016) Tratamiento térmico de temple, influencia del medio de enfriamiento. *Journal de Ciencia e Ingenieria*. 8 (1): 52-58. ISSN 2145-2628.

Peralta, L. P. & Moreno, J. M. (2017) Influencia de los tratamientos térmicos a temperaturas intercríticas IHT y tratamientos criogénicos y un posterior revenido de 15, 30 y 45 minutos a la resistencia a la fatiga de un acero AISI/SAE “4140”. Universidad Distrital Francisco José De Caldas. Facultad Tecnológica, Ingeniería Mecánica, Bogotá D.C. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/6052>. Fecha de consulta: 20 de octubre de 2021.

Pérez, J. (1996) *Tratamientos Térmicos de los aceros*, [Tesis de maestría] Universidad Autónoma de Nuevo León. Disponible en: <https://eprints.uanl.mx/435/1/1020115008.PDF>. Fecha de consulta: 20 de octubre de 2021.

Pinilla, J., De Los Ríos, F. (2018) Análisis y evaluación de las propiedades microestructurales del acero naval ASTM A-131, sometido a prueba de impacto, con tratamiento de temple a temperaturas intercríticas y un revenido a 550 °C. [Proyecto curricular de tecnología e ingeniería mecánica] Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Facultad Tecnológica. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/15653>. Fecha de consulta: 20 de octubre de 2021.

Posso, C., Giraldo, R. (2017) Influencia de los tratamientos térmicos criogénicos en la dureza y resistencia al desgaste en aceros HSS (Jaguar HSS 3/8x3”). [Proyecto de grado]. Universidad Libre, Facultad De Ingeniería. Ingeniería Mecánica. Bogotá.

Disponible en: <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/10381>. Fecha de consulta: 20 de octubre de 2021.

Smith, W. Hashemi, J., Cázares, G., González-Caver, P. (2006). Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. (Quinta Edición) México: Ed.McGraw-Hill.

Valdés (2016). “AHMSA invierte 140 mdd en Planta de Normalizado de Placa”, en *Milenio*. Disponible en: <https://www.milenio.com/negocios/ahmsa-invierte-140-mdd-planta-normalizado-placa>. Fecha de consulta: 20 de octubre de 2021.

Vergara, D., Romero, D. (2018). Influencia del tratamiento térmico de temple con austenización parcial, criogenia y revenido sobre la resistencia a la tensión y la dureza de un acero con contenido de carbono superior al 0.5%. [Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero mecánico] Universidad Distrital Francisco José De Caldas. Facultad Tecnológica. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/14177>. Fecha de consulta: 20 de octubre de 2021.