

## Aceros con Boro y aplicaciones

### Boron steels and applications



**Imagen 1.** Componentes de acero al boro en una carrocería

Fuente: <https://www.revistacesvimap.com/comportamiento-de-los-aceros-especiales-ante-impactos-laterales/>

Eduardo Castor Parra, Antonia Martínez Luévanos.

*Universidad Autónoma de Coahuila. Facultad de Ciencias Químicas*

*Posgrado en Ciencia y Tecnología de los Materiales*

\*Autor de correspondencia: [eduardocastorparra@uadec.edu.mx](mailto:eduardocastorparra@uadec.edu.mx)

## Resumen

En este artículo se abordó el tema del boro en aleación con el acero y otras aleaciones de hierro. Se comenzó por explicar lo que es un acero y cómo es la mejoría de este material al agregar cantidades de boro en su elaboración. Esto debido a los beneficios que tiene el agregar este elemento; que es accesible, económico y que en proporciones muy pequeñas aumentan la templabilidad del acero, brindándole mejores propiedades mecánicas. Además se presentan diferentes aplicaciones del uso del boro, desde el uso en la industria automotriz, industria de tuberías, medicina, hasta industria nuclear.

**Palabras clave:** *aceros al boro, aleación, templabilidad, dureza.*

## Abstract

This article addressed the subject of boron in alloy with steel and other iron alloys. It began by explaining what steel is and how this material is improved by adding amounts of boron in its production. This is due to the benefits of adding this element; that it is accessible, economical and in very small proportions increases the hardenability of the steel, giving it better mechanical properties. In addition, there are different applications for the use of boron, from the automotive industry, piping industry, medicine, and even the nuclear industry.

**Keywords:** *boron steels, alloy, hardenability, hardness*

## Introducción

Uno de los materiales que vemos en el día a día, y que sin duda se encuentra en muchas áreas, es el acero. El acero es una aleación que ha sido empleada desde la construcción hasta la industria automotriz y que ha ido evolucionando en la implementación de nuevos elementos de aleación. Uno de esos elementos de aleación es el Boro, el cual al ser añadido en dosis variadas, brinda propiedades diversas al acero, dando así una utilidad específica para cada ámbito que se requiera. Así, en este artículo se pretende dar a conocer el

uso del Boro como un elemento de aleación a los aceros, teniendo así características interesantes y una amplia gama de aplicaciones.

### **Antecedentes**

En la ingeniería como en la construcción, uno de los materiales más importantes empleados es el acero. Su importancia radica en que es un material que puede llegar a tener una resistencia mecánica muy alta, ser blando, dúctil o hasta tener cierta tenacidad como para ser usado en los ejes de un automóvil.

#### *El acero.*

Un acero es, fundamentalmente, una aleación de hierro y carbono. Existen aceros al simple carbono que son aquellos aceros que además de la aleación hierro – carbono, contienen además un porcentaje pequeño de otros elementos como Mn, Si, S y P. Existen aceros aleados que son aquellos que contienen elementos como el níquel, cromo, vanadio y tungsteno. Estas aleaciones sirven para darles propiedades específicas al acero en cuestión (Maldonado, 1996).

La adición del Boro y la templabilidad sobre el acero.

El boro es el segundo elemento más duro después del diamante. Es un metaloide sin propiedades mecánicas útiles, pero que se utiliza como elemento de aleación en el acero (Habashi, 2013). Entre los beneficios más importantes del boro están el que es accesible, económico y, en particular, solo se requieren pequeñas cantidades de este elemento en las aleaciones. (Manashev, 2009). En muchos materiales, el boro se usa como elemento de aleación, pero en aleación con el acero, este provoca que haya una mejora su templabilidad. Esta templabilidad se define como la facilidad con la que los aceros se pueden enfriar para formar martensita, la cual brinda de dureza al acero; más específicamente, la velocidad crítica de enfriamiento que se necesita para formar una microestructura completamente martensítica (Rayan, 2011). El boro se agrega a los aceros no aleados y de baja aleación para mejorar el nivel de dureza a través de una mejor templabilidad. Incluso en la

pequeña cantidad del grado de tamaño de hasta 100 ppm, el boro produce el mismo efecto de mejora de la templabilidad que otros elementos más caros que deben agregarse en una cantidad mucho mayor. Por ejemplo, la adición de 30 ppm B en SAE reemplaza aproximadamente 1% Ni, 0,5% C, 0.2% Mn, 0.12% V, 0.3% Mo o 0.4% Cr. Por ejemplo, el boro agregado a los aceros de corte de alta velocidad, que contiene 18% W, 4% Cr y 1% V, mejora su rendimiento de corte, pero reduce sus cualidades de forja.

Se tiene que tener en cuenta que los aceros al boro no son nada nuevo. La idea original de usar cantidades pequeñas de boro para aumentar la templabilidad se concibió a mediados de los años veinte. En cuanto a la templabilidad, son más potentes los aceros con aleación de boro que el acero con aleaciones como el níquel y cromo. (Maldonado, 1996)

Un acero al boro es un material que ha venido tomando fuerza debido a la alta resistencia que este posee. El término "acero al boro" se utiliza debido a las adiciones de boro a la composición del acero base, que mejora la templabilidad del acero. El acero al boro es uno de los materiales que representa al acero de ultra alta resistencia (UHSS) (Yoon y col. 2018). Aunque, los aceros de ultra alta resistencia representan un gran desafío en el procesamiento debido a su formabilidad limitada y a su recuperación elástica a temperatura ambiente (Altan, 2007)

Además, los aceros de boro también son menos susceptibles de agrietarse y distorsionarse durante el tratamiento térmico, y al agrietamiento de la zona afectada por el calor en aplicaciones soldadas que los aceros aleados convencionales (Kapadia, 1987)

### **Porciones de Boro en el acero**

La cantidad de boro introducido depende del grado de acero, su grado de desoxidación, la composición de la ferroaleación que contiene boro, etc. Aunque hay que mencionar que los mejores resultados en la aleación de boro

de acero se obtienen cuando el boro se introduce simultáneamente con otros elementos de aleación (Nb, V, Mn, Si) (Zhuchkov y col. 2011)

El boro debe estar en su estado atómico para mejorar la templabilidad, lo que significa que se debe tener cuidado durante la producción de acero para que el boro sea efectivo. El boro también puede volverse ineficaz si su estado cambia por un tratamiento térmico incorrecto. Por ejemplo, deben evitarse las altas temperaturas de austenización, así como los rangos de temperatura donde ocurren ciertos precipitados de boro. Pero el proceso utilizado para hacerlo tan fuerte elimina algunas de las propiedades del acero, como poder enderezarlo. (Pocajt, 2007) Resultados indican que la adición de B hasta 0.00230 aumenta bruscamente el rendimiento. También el alargamiento del acero aumenta a medida que el contenido de boro aumenta hasta 0.0055%. La adición de boro mejora la resistencia al impacto a 25 ° C. (Saeed y col. 2012) (12.B) En general, se acepta que se alcanza un máximo de templabilidad cuando la cantidad de boro está entre 3 y 15 ppm. En caso de que la cantidad de boro sea excesiva (> 30 ppm), los constituyentes del boro se segregan en los límites del grano de austenita, lo que no solo reduce la capacidad de endurecimiento, sino que también puede disminuir la tenacidad y causa fragilidad. El efecto del boro en la templabilidad también depende de la cantidad de carbono en el acero. El efecto del boro aumenta en proporción inversa al porcentaje de carbono presente. Aunque el boro es más efectivo en aceros con bajo contenido de carbono (hasta 0.25% C) pero también se usa ampliamente en aceros con contenido medio de carbono (hasta 0.4% C). (El-Shennawy, 2016)

El efecto de la microaleación con boro sobre las propiedades del acero se estudia utilizando un complejo de silicio, manganeso y boro que contiene ferroaleaciones FSMB. Las propiedades mecánicas y la estructura de las aleaciones de acero con esta ferroaleación son comparables o incluso superiores a las del acero aleado con ferrobórón (aleación que consiste en hierro y boro) (Kim y col. 2010)

Sin embargo, la necesidad de obtener con precisión su concentración en acero y las dificultades asociadas con la asimilación del metal procesado limitan el uso generalizado de boro. Actualmente, hay una gran cantidad de trabajos que proporcionan datos sobre el uso de boro en varios campos de la metalurgia. (Kel', 2019)

### Aplicaciones

Como elemento de aleación, el Boro brinda propiedades interesantes en una amplia gama de aplicaciones en la industria automotriz, industria de tuberías, en la construcción, entre otras. (El-Shennawy, 2016). Así, en los aceros de boro, podemos ver su gran utilidad en diversas aplicaciones, como material de desgaste y como acero estructural de alta resistencia. Algunos ejemplos incluyen a las herramientas como cuchillos, espadas, hojas de sierra, vigas de seguridad en vehículos, etc. (Pocaj, 2007)

En la industria de tuberías, la planta de tuberías Seversky fue una de las principales plantas ubicada en Polevskoy, Rusia, que han empleado la tecnología de desoxidación y la microaleación económica de acero con ferroaleaciones complejas que contienen boro para mejorar el proceso y operaciones del producto laminado en metal. (Stepanov y col. 2014) En la Figura 1 se muestra un tubo de acero al boro.



**Figura 1.** Tubo de acero al boro

**Fuente:** <https://www.exportersindia.com/qingdaomaxcool/boron-steel-tubes-4827847.htm>



En el lado de la ingeniería se ha usado el acero al boro en componentes estructurales que realizan cargas cíclicas (Li y col. 2019)

También, podemos encontrar el uso del boro en aceros inoxidable en el área médica. Por ejemplo, cuando se habla del acero inoxidable austenítico 316L que ha sido un biomaterial muy usado al momento de producir implantes desde la década de 1930 con el primer reemplazo de cadera (Figura 2). Un problema con este material es que incluye la lixiviación de iones de níquel. Para esto, se ha optado por usar una aleación con titanio y con boro. Este último posee una buena tendencia a formar boruros con hierro y níquel que pueden disminuir la lixiviación. (Ali y col. 2019)



**Figura 2.** Prótesis de cadera

Fuente: <https://metalcas.com.mx/2020/08/28/protesis-de-cadera/>

El boro tiene una capacidad alta de absorción de neutrones. Por este motivo, se agrega a ciertos tipos de acero inoxidable para el uso en la industria nuclear. Se han usado niveles de 4% de boro pero salen deficiencias como falta de ductilidad y soldabilidad, por esta razón se usan contenidos de 0.5 a 1% para la aplicación de absorción de neutrones. (Pocajt, 2007)

Por el lado de la metalurgia, un efecto positivo en el uso del boro es en la fabricación de gránulos de mineral de hierro y procesamiento metalúrgico, ya que se ha demostrado un efecto positivo del boro en la calidad de su procesamiento y el rendimiento de su producción. Las pruebas industriales confirmaron el crecimiento en la producción de metales, la reducción de materiales y el consumo de energía debido al uso de pequeñas dosis de flujos de borato en el proceso de fundición de ferrosilicio, silicocromo, ferrocromo. (Akberdin y col. 2013)

En cuanto al uso en la industria automotriz, existen diferentes tipos de acero comúnmente utilizados que cubren una amplia gama de propiedades mecánicas que requiere el fabricante. Se puede elegir un grado particular de acero por su resistencia o ductilidad, dependiendo de la aplicación. Los aceros suaves y de baja resistencia pueden deformarse a niveles bastante altos de deformación antes del fallo, lo que es beneficioso tanto para la absorción de energía como para la formación de geometrías complicadas. La compensación con el uso de metales suaves o de baja resistencia es su baja resistencia a la tracción, que requiere un calibre mucho más grueso para aplicaciones estructurales. Los aceros martensíticos templados tienen resistencias considerablemente más altas; sin embargo, su baja ductilidad tiende a limitar su uso en estructuras de aplastamiento y otros componentes que absorben energía. (Rayan, 2011). La demanda en la reducción de peso en los automóviles ha encaminado a la industria a desarrollar e implementar nuevos materiales livianos y procesos de fabricación. También, el aumento por la seguridad de los viajeros, ha llevado a la adopción de materiales que mejoren la integridad del vehículo cuando ocurre un choque y al mismo tiempo mejoran la absorción de energía y previsibilidad de deformación por choque. El proceso conocido como temple de matriz de conformado en caliente, también conocido como estampado en caliente o endurecimiento por presión, utiliza láminas de acero al boro para crear componentes estampados con propiedades de acero de ultra alta resistencia (UHSS), con resistencias a la tracción de hasta 1,500MPa. El aumento en la resistencia permite el uso de un material de calibre más delgado, lo que resulta en un ahorro de peso con respecto a los componentes de acero convencionales.

El tipo de acero al boro utilizado en los vehículos de hoy tiene una resistencia extremadamente alta. El acero al boro utilizado en los automóviles Volvo tiene un punto de rendimiento de aproximadamente 1.350-1.400 MPa. Eso es aproximadamente cuatro veces más fuerte que el acero de alta resistencia promedio. Un ejemplo es el XC90 un nuevo automóvil Volvo para el 2020. En el cual, para ayudar a mantener intacto el espacio del ocupante en el interior en un choque, se ha fortalecido literalmente en todos los sentidos. Esto se logra mediante un uso más extenso del acero al boro conformado en caliente en la jaula de seguridad alrededor de los ocupantes y está diseñada para la su máxima protección en todo tipo de escenarios de choque. El acero conformado en caliente representa aproximadamente el 40 por ciento del peso corporal total. (<https://www.media.volvocars.com/global/en-gb/media/pressreleases/148123/all-new-volvo-xc90-two-world-firsts-one-of-the-safest-cars-in-the-world> . 2014)



En la **Tabla 1** aparecen los usos de las aleaciones con Boro y un ejemplo de aplicación.

**Tabla 1.** Usos de las aleaciones con Boro

Uso de aleaciones con Boro		
Aleación	Uso	Ejemplo
<b>Acero inoxidable 316 con Boro y Titanio</b>	Médico	Fabricación de implantes (Ali y col. 2019)
<b>FeSi65 y Boro</b>	Industria metalúrgica	Peletización de mineral de hierro (Akberdin y col. 2013)
<b>Acero al boro</b>	Industria automotriz	Fabricación de jaulas de seguridad en autos ( <a href="https://www.media.volvocars.com/global/en-gb/media/pressreleases/148123/all-new-volvo-xc90-two-world-firsts-one-of-the-safest-cars-in-the-world">https://www.media.volvocars.com/global/en-gb/media/pressreleases/148123/all-new-volvo-xc90-two-world-firsts-one-of-the-safest-cars-in-the-world</a> . 2014)
<b>Acero inoxidable y Boro</b>	Industria nuclear	Absorción de neutrones (Pocajt, 2007)
<b>Al-Si de acero al boro</b>	Industria automotriz	Componentes estructurales para cargas cíclicas (Li y col. 2019)
<b>Acero al boro</b>	Industria metalúrgica	Acero estructural (Pocajt, 2007)
<b>Acero, Ferrosilicio y boro</b>	Industria de tuberías	Producto laminado en metal (Stepanov y col. 2014)

## Conclusiones

El boro, elemento accesible y económico, que por sí solo no tiene un uso provechoso, puede usarse en adición, a muy bajas concentraciones, sobre el acero o una aleación de hierro. El añadir esas cantidades de boro produce aceros con mejores características mecánicas para su uso en la industria automotriz, en aleación con titanio disminuye la lixiviación para prótesis de cadera para su uso en el área médica, así como para la absorción de neutrones en la industria nuclear, el incremento de la resistencia para aceros estructurales en la industria metalúrgica y como en componentes estructurales que realizan cargas cíclicas en la ingeniería.

## Agradecimientos

A la Facultad de Ciencias Químicas por la atención dada para llevar a cabo dicho artículo. A la maestría en Ciencia y Tecnología de los Materiales y núcleo académico. Al CONACyT con número de becario 1010613 por el apoyo brindado.

## Referencias bibliográficas

Maldonado, J. (1996). Aceros y sus aplicaciones. (Tesis de posgrado). Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, NL.

Rayan, G. (2011). Hot Forming of Boron Steels with Tailored Mechanical Properties Experiments and Numerical Simulations. (Tesis de posgrado). Universidad de Waterloo, Canada.

Yoon H., Kyu C. & Gil C. 2018. Effect on Blank Holding Force on Blank Deformation at Direct and Indirect Hot Deep Drawings of Boron Steel Sheet. *MDPI journal*.

Boron in Steel (2007). Disponible en : [https://www.totalmateria.com/pag\\_e.aspx?ID=CheckArticle&site=kts&NM\\_214](https://www.totalmateria.com/pag_e.aspx?ID=CheckArticle&site=kts&NM_214). Fecha de consulta: 14 de septiembre de 2019.

Ali, S., Abdul, A.M., Ahmad, R., Hastuty, S., Hussain, M., Shehzad, N., Baig, Z. & Azeez, A.A. 2019. An Efficient Approach for Nitrogen Diffusion and Surface Nitriding of Boron Titanium Modified Stainless Steel Alloy for Biomedical Application. *MDPI Journal*.

Li, Y., Tan, N., Xu, Z., Luo, Z., Han, K., Zhai, Q. & Zheng, H. 2019. Enhancement of Fatigue Endurance by Al-Si Coating in Hot-Stamping Boron Steel Sheet. *MDPI Journal*.

Saeed N., Hoda S., Mamdouh M. 2019. Influence of Boron Additions on Mechanical Properties of Carbon Steel. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*.

R&D Update: Hot-stamping boron-alloyed steels for automotive parts - Part I (2007). Disponible en: <https://www.thefabricator.com/stampingjournal/article/stamping/hot-stamping-boron-alloyed-steels-for-automotive-parts> . Fecha de consulta: 16 de septiembre de 2019.

El-Shennawy, M., Farahat, A., Masoud, M. & Abdel-Aziz, A. 2016. Effect of Boron Content on Metallurgical and Mechanical Characteristics of low Carbon Steel. *International Journal of Mechanical Engineering (IJME)*.

Kapadia, B. 1987. Effect of Boron Additions on the Toughness of Heat-Treated Low-Alloy Steels. *Journal of Heat Treating*.

All-new Volvo XC90: two world-firsts, one of the safest cars in the world (2014)  
Disponble en: <https://www.media.volvocars.com/global/en-gb/media/pressreleases/148123/all-new-volvo-xc90-two-world-firsts-one-of-the-safest-cars-in-the-world>. Fecha de consulta: 16 de septiembre de 2019.

Stepanov, A., Babenko, A., Sychev, A., Zhuchkov, V., Murzin, A., Dresvyankina, L. & Ushakov, M. 2014. Development of Technology for Microalloying Steel with Boron using Ferro-Silicon-Boron. *Metallurgist*, Vol. 58.

Zhuchkov, V., Akberdin, A., Vatolin, N., Leont'ev, L., Zayakin, O., Kim, A. & Konurov, U. 2011. Application of Boron Containing Materials in Metallurgy. *Russian Metallurgy (Metally)*, Vol. 2011, No. 12, pp. 1134–1137.

Kim, A., Zayakin, O., Akberdin, A. & Kontsevoi, V. 2010. Production and Application of New Complex Boron Containing Ferroalloys. *Russian Metallurgy (Metally)*, Vol. 2010, No. 12, pp. 1148–1150.

Akberdin, A., Kim, A., Ilmaz, O., Isletmeleri, G. & Zhuchkov, V. 2013. Boron in Ferroalloy Production. *The thirteenth International Ferroalloys Congress Efficient technologies in ferroalloy industry*.

Manashev, I., Shatokhin, I., Ziatdinov, M. & Bigeev, V. 2009. Microalloying of Steel with Boron and the Development of Ferrotitanium Boride. "Stal", No. 10, pp. 34–38.

Nikolaevich, I. 2019. The Using Boron-containing Materials in Ferroalloy Industry. *Kn E Materials Science*, pages 285–290.

Habashi, F. 2013. *Boron: Physical and Chemical Properties*. Encyclopedia of Metalloproteins.