

Ventajas de los aceros avanzados de alta resistencia en la disminución de consumo de combustible.

*Advantages of advanced high-strength steels in reducing fuel
consumption.*

¹ García-Guzmán Alejandra A., ² Soria-Aguilar, Ma. de Jesús*,

² Carillo-Pedroza, Francisco R., ³ García-Sánchez, Edgar O.

¹ Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, Coahuila,
México.

² Facultad de Metalurgia, Universidad Autónoma de Coahuila, Monclova, Coahuila,
México.

³ Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Universidad Autónoma de Nuevo León, San
Nicolas de los Garza, Nuevo León, México.

Correspondencia para: Soria-Aguilar Ma. de Jesús, Correo electrónico:

ma.soria@uadec.edu.mx*

Resumen

El empleo de aceros avanzados de alta resistencia (AHSS), toma relevancia por las altas propiedades y resistencia al impacto, en situaciones donde se compromete la seguridad de los ocupantes de un vehículo, además de la necesidad de disminuir el peso de estos, lo que redundará en menor consumo de combustible. Por tal motivo, se realizó la presente revisión, donde es posible constatar que el empleo de AHSS es acertado gracias a que la aplicación de tratamientos térmicos conduce al incremento de propiedades mecánicas, tales como la ductilidad y la resistencia, además de acortar los valores de peso de los vehículos, lo que conlleva a la reducción en el consumo de combustible, y por ende, a la disminución en la contaminación por emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera, lo que beneficiará a generaciones futuras.

Palabras Clave: Aceros avanzados de alta resistencia, AHSS, reducción de consumo de combustible

Abstract:

Advanced high strength steels (AHSS), are being increasingly used in applications where the safety of the occupants of a vehicle is of vital importance. This, since they can offer a good combination of high strength and high toughness. Current requirements in the automotive industry involve apart from high mechanical strength the need to reduce the weight of steel components in order to reduce fuel consumption. For this reason, the present review was carried out, where it is possible to verify that the use of AHSS is correct thanks to the fact

that the application of thermal treatments leads to the increase of mechanical properties, such as ductility and resistance, in addition to reducing the weight values of vehicles, which leads to a reduction in fuel consumption, and therefore, to a decrease in pollution due to the emission of greenhouse gases into the atmosphere, which will benefit future generations.

Keywords: Steel, AHSS, strength.

Introducción

En la época actual, existe un crecimiento exponencial en la emisión de contaminantes a la atmósfera derivado de los combustibles que se emplean en la industria automotriz, los cuales originan un desprendimiento de dióxido de carbono (CO₂), lo que se ve reflejado en el efecto invernadero, el calentamiento global y, en consecuencia, en el desgaste de la capa de ozono. Dicha problemática, ha causado que el sector automotriz se vea en la necesidad de emplear materiales más competentes, resistentes y ligeros, y como consecuencia, se requiere un cambio en el enfoque particular del desarrollo tecnológico, para la generación de aceros avanzados de alta resistencia (AHSS). Estos aceros, son materiales prometedores para lograr una disminución en el empleo de combustible y un incremento en el rendimiento de los neumáticos, lo cual permite una disminución de emisión de contaminantes.

Los AHSS tienen alto grado de resistencia-conformabilidad en comparación con los aceros convencionales y se clasifican en aceros de primera, segunda y tercera generación. Los AHSS de primera generación se basan en su mayor parte en la fase ferrita, donde se encuentran los aceros doble fase (DP), los aceros de fase compleja (CP) y los aceros de plasticidad inducida

por transformación (TRIP). Los AHSS de segunda generación se distinguen por contener la fase de austenita estabilizada en su microestructura, se conforman por aceros ligeros con plasticidad inducida (L-IP), aceros por plasticidad inducida por maclaje (TWIP). Por último los AHSS de tercera generación son considerados una extensión mejorada de los aceros de primera generación, ya que, bajo la influencia de técnicas como el refinamiento de grano, mejoran sus propiedades mecánicas.

Por tanto, el presente artículo, se enfoca en un panorama generalizado de parámetros a considerar para la modificación de propiedades en aceros avanzados de alta resistencia, medidas que originan un cambio en la competencia tecnológica de la industria automotriz con un enfoque en la reducción de empleo de combustible y, en consecuencia, la disminución en la emisión de contaminantes como CO₂ y monóxido de carbono, principales causantes del efecto invernadero.

Antecedentes

En el sector automotriz, los aceros están clasificados en función de su resistencia, por ello se les identifica por aceros de baja resistencia, aceros dulces y aceros libres de elementos intersticiales (IF); aceros convencionales de alta resistencia (HSS) y aceros avanzados de alta resistencia (AHSS). Un reto trascendental para la industria siderúrgica es lograr que los automóviles cuenten con una mayor resistencia al impacto, de la mano con disminución de peso y menor consumo de combustible, y es donde se da la importancia al desarrollo de la categoría de aceros avanzados de alta resistencia (Nanda y col., 2016). Los AHSS cumplen el propósito en comparación de aceros convencionales, de mejorar la relación de resistencia-

conformabilidad, pero si se trata de superar el grado de conformabilidad de los aceros de baja aleación y alta resistencia (HSLA), se recurre a los AHSS de segunda generación, los cuales ofrecen una mejor relación resistencia-conformabilidad, pero requieren aumentar el costo por la adición de elementos de aleación (Mn, Ni etc.). Para disminuir este costo, se optó por desarrollar AHSS de tercera generación, los cuales cumplen con la triada de resistencia-conformabilidad-bajo costo (Matlock y col., 2010) (Cora y col., 2014).

Aceros avanzados de alta resistencia

Los aceros avanzados de alta resistencia son aceros con fases múltiples en la microestructura, martensita, ferrita, austenita y bainita retenida como resultado de una acertada selección de composición química, lo cual proporciona al material propiedades como, resistencia, ductilidad y tenacidad (Mallick, 2020; Necati y col., 2014).

Su implementación surgió por la necesidad de emplear materiales más ligeros en la industria automotriz, tomando en cuenta su potencial para cambiar lo convencional, tal como es el hierro fundido, para lograr una reducción de consumo energético mediante una disminución de peso en los vehículos (Zhang y col., 2022).

Una demanda actual es mejorar la rentabilidad del vehículo cumpliendo con los lineamientos ambientales globales y de seguridad; (Reyes y col., 2019) menciona la importancia de que los materiales con aplicaciones vehiculares cumplan con alta resistencia y rigidez, lo cual difícilmente se logra con un espesor reducido. Los AHSS presentan una combinación mayor de resistencia y ductilidad ya que absorben más energía al impacto, pero no permiten como

tal, la reducción de consumo de combustible ni la emisión de gases a la atmósfera, hasta que se optó por la reducción de espesor de los componentes (Keeler y col., 2017) (Shaw y col., 2002).

Clasificación de los aceros avanzados de alta resistencia.

El **acero doble fase (DP)**, se caracteriza por tener dos fases, ferrita y martensita, a esta última, se le atribuyen propiedades de alta resistencia, mientras que a la matriz ferrítica se le atribuyen propiedades de buena ductilidad, lo cual puede resultar en un material competente para cumplir con las exigencias de la industria automotriz en comparación con los aceros de alta resistencia convencionales.

El acero DP, de acuerdo con los datos reportados por la ULSAB-AVC (Ultra Light Steel Auto Body - Advance Vehicle Concept), está considerado el material más empleado en fabricación de autopartes, hasta en un 74% (Madías, 2012).

Los **aceros de fase compleja (CP)** se distinguen por poseer una microestructura multifásica, es decir, que está compuesta por ferrita, bainita, martensita y austenita retenida, además de ser de bajo carbono con contenidos de manganeso en porcentajes de 2.2%, y elementos aleantes como cromo, molibdeno, niobio, titanio aluminio, vanadio y boro. Al contener múltiples fases, consiguen valores de resistencia a la tensión que oscilan alrededor de 800 MPa. Las aplicaciones en el sector automotriz son particularmente en parachoques, y zonas de mayor riesgo en caso de accidente, ya que entre la combinación de propiedades adquiridas están la soldabilidad, resistencia y ductilidad (Pérez, 2021; Nanda y col., 2016).

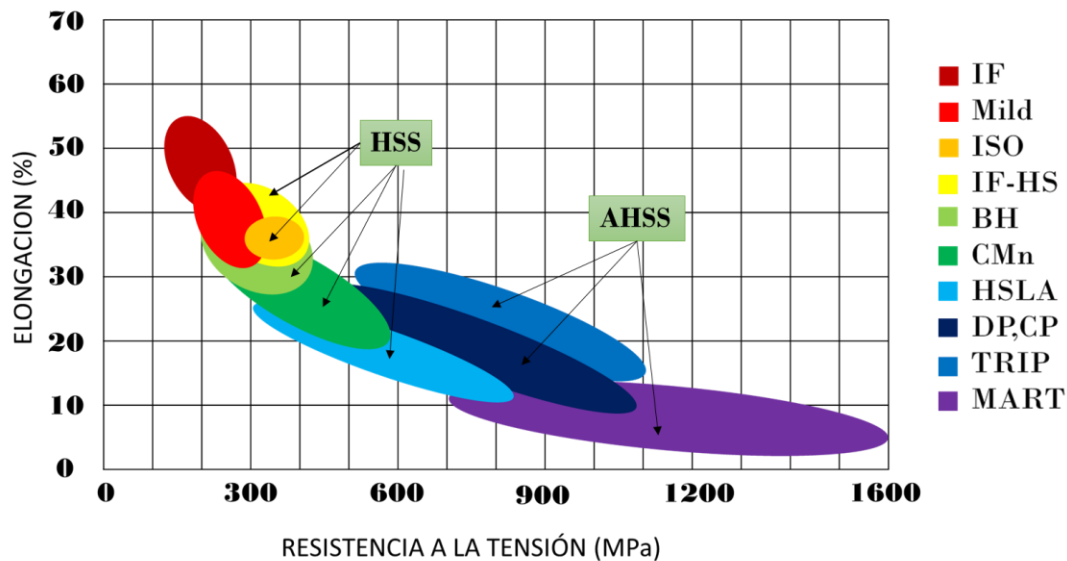


Fig. 1. Grafica de banana (adaptado de Sadagopan, 2004).

Los **aceros de plasticidad inducida por transformación (TRIP)**, se encuentran dentro de la categoría de aceros avanzados, su microestructura se compone por ferrita, bainita, y austenita retenida en un porcentaje aproximado de 5%, que se transforma de manera progresiva a martensita, lo que es conocido como efecto TRIP y se consigue mediante la acción de tensiones y deformaciones, logrando una combinación de elevada resistencia mecánica y alta ductilidad (Alza y col., 2022).

Los **aceros por plasticidad inducida por maclaje (TWIP)**, se definen por la fase austenita que es estable a temperatura ambiente, y en comparación con aceros convencionales, poseen valores más altos de resistencia y ductilidad. Su mecanismo de deformación se caracteriza por producir maclas que inhiben el deslizamiento y apilamiento de dislocaciones que incrementan la ductilidad de los aceros (Bastidas y col., 2021).

Importancia de la disminución de combustible en la industria automotriz

La tarea principal de las refinerías es la producción de gasolina, debido a la demanda del sector automotriz, dicha producción genera un problema de contaminación de importancia global, por ello se pretende la disminución de consumo energético (Franco, 2021).

Con la segunda ley enunciada por Newton (ecuación 1), Es posible saber que la variable dependiente es la fuerza, mientras que la variable independiente será la masa del objeto en cuestión, por tanto, de acuerdo con esto, cuanto mayor sea el peso del vehículo, mayor será la fuerza necesaria para incrementar su velocidad, por lo que el consumo de combustible será mayor.

$$F = m * a \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde

a = aceleración que experimenta un objeto (m/s²)

F = fuerza aplicada (N)

m= masa del objeto (kg)

Con base en esto, la industria automotriz busca el uso de aceros más ligeros y de alta resistencia, en partes estructurales de los vehículos, que optimicen el gasto de combustible, que va de la mano con la reducción de contaminación, que es un tema de gran importancia en la actualidad y para generaciones futuras (Lesch, 2017).

Barajas y col. (2016) en una revisión bibliográfica, recopilaron información acerca de propiedades y aplicaciones del acero, entre ellas la alta resistencia y tenacidad para

incrementar la absorción de energía durante un choque, para disminuir el riesgo de daños a los pasajeros, centrándose en la importancia del desarrollo de aceros con excelentes propiedades para satisfacer la demanda del mercado. Además, Tais y col. (2019) analizaron el empleo de AHSS frente a un acero convencional F36 empleados para estructuras metálicas, donde seguido de la designación F, se encuentra el valor mínimo de límite de fluencia, con el objeto de observar su resistencia, bajo condiciones iguales de trabajo soportando una capacidad de 55.5 toneladas incluyendo carga de servicio, peso propio, ejes y suspensión, donde se concluyó que ambos aceros satisfacen la condición de tensión de trabajo y deflexión vertical máxima; sin embargo, el acero avanzado de alta resistencia reduce un 30% el peso total de la estructura. Por tanto, en los AHSS, la reducción en peso es directamente proporcional a la reducción de costo por tonelada de transporte.

Las carrocerías de los automóviles se diseñan con la intención de proporcionar rigidez, y resistir la fatiga en un uso promedio, por último, pero no menos sustancial, ofrecer seguridad a los pasajeros en caso de un impacto. Las piezas que conforman el vehículo que son claves para la protección requieren de propiedades como resistencia a la deformación, alta absorción de energía en caso de una deformación (Hilditch y col., 2015).

A través del tiempo, el hierro y su aplicabilidad en aleaciones han incrementado para mejoras en el sector automotriz, conduciendo a un aumento de resistencia sin afectar propiedades como la ductilidad, dando lugar a los AHSS. Donde se concluyó que a pesar de que el hierro es un material que precede desde la antigüedad, tiene muchas oportunidades de evolución (Schmitt, 2018).

Hardwick y Outteridge (2016) realizaron un estudio para comparar un acero al boro frente a un acero AHSS doble fase DP800/DP1000, empleado en el pilar B de un vehículo modelo Ford Fusion (Figura 2) producido desde 2005, con el objeto de no sacrificar su rendimiento. El uso de aceros avanzados de alta resistencia logró mejoras desde el impacto ambiental, resistencia y disminución de peso y espesores, el valor de masa de la pieza consta de un 8% del peso total del vehículo con 13.3 kg en acero al boro, para el 2013, ocurrió un rediseño empleando AHSS DP800/DP1000, con lo que se alcanzó una disminución de 4 kg, consiguiendo un valor de 9.3 kg, lo que permite establecer que al emplear AHSS como sustituto de aceros convencionales, se logrará disminuir el peso total de los vehículos. Aunado a esto, el potencial del calentamiento global (GWP) disminuyó un 29% en AHSS DP800/DP1000 respecto a los aceros al boro.

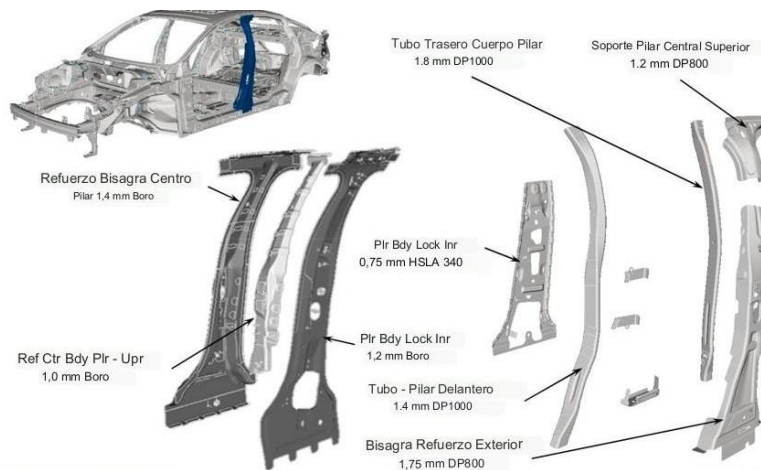


Fig. 2. Diseño Pilar-B Ford Fusion

<http://www.boronextrication.com/2012/11/08/2013-ford-fusion-body-structure-hydroformed/>

Como alternativa de procesamiento se encuentra el proceso de laminación en frío, donde los aceros de alta generación han logrado innovación tecnológica, contribuyendo a la resistencia y conformado del acero (Bleck y col., 2019). Esta evolución de AHSS se atribuye a la composición química, propiedades mecánicas adquiridas, así como a la estructura de dislocación jerárquica, la meta-estabilidad de la fase austenita, la transformación por deformación, además de la dispersión de los diferentes constituyentes de la microestructura. Dicha serie de características, son un factor importante en la contribución de varios mecanismos de endurecimiento (Raabe, 2020).

Los aceros (DP) son de gran utilidad para el sector industrial debido a las propiedades de alta resistencia mecánica y resistencia a la fatiga, debido a que sus fases constan de disimilitudes que permiten el apilamiento de dislocaciones, resultando así valores mayores de esfuerzo último y resistencia a la fatiga respecto a aceros convencionales. Además, son de fácil fabricación sin necesidad de variar su composición química (Murillo, 2020).

Castillo y col. (2018) realizaron una caracterización microestructural y mecánica en un acero (SAE 8620) para la obtención de un acero fase dual, donde llevaron a cabo tratamientos térmicos. El primer tratamiento térmico constó de un austenizado a 915 °C durante un tiempo de 30 minutos, un normalizado en aire, un calentamiento en el rango intercrítico a 780 °C durante 30 minutos y por último un temple en agua. En el segundo tratamiento térmico se llevó a cabo un calentamiento a 915 °C durante 30 minutos seguido de un enfriamiento en agua, posteriormente se calentó el material hasta un rango intercrítico a 780 °C y por último se enfrió en agua. Y el tercer tratamiento fue un proceso termomecánico donde después de

llevarse a cabo una austenización a temperatura de 915 °C por un tiempo de 20 minutos, se realizó un normalizado en aire, posteriormente un calentamiento a una temperatura intercrítica de 810 °C en un tiempo de 20 minutos, seguido de una deformación en caliente del 10%, un temple en solución de NaOH al 5% y por último un revenido a 200 °C por un tiempo de 1 hora. En base con los resultados obtenidos por estos investigadores, los tratamientos que no involucraron transformaciones en caliente presentaron mejores características como resistencia mecánica y conformabilidad. El material que se sometió al primer tratamiento obtuvo los valores más altos de absorción al impacto, debido a que durante la primera etapa de normalizado el material consigue una recuperación microestructural, homogenizando el tamaño de grano, lo que elimina heterogeneidades que se obtienen durante la fabricación, permitiendo así que durante la transformación estructural se encuentre en mejores condiciones.

Conclusiones

Se concluye mediante la revisión bibliográfica, que los aceros de alta resistencia (AHSS), permiten propiedades como buena relación resistencia/ductilidad, donde se consigue mantener las propiedades de los AHSS con disminución de peso, espesor y de consumo de combustible. Dichas propiedades son conseguidas a través de la aplicación de tratamientos térmicos, debido al efecto del endurecimiento por deformación, lo que indica que los aceros avanzados de alta resistencia (AHSS), siguen siendo una alternativa viable para generaciones futuras, ya que con los avances tecnológicos se pueden producir propiedades óptimas para

sus aplicaciones, donde se ven involucradas variables, como transformaciones de fase, microestructuras, así como procesamiento.

Agradecimientos

AAGG agradece al Posgrado Maestría y Ciencia y Tecnología de Materiales de la Facultad de Ciencias Químicas, a la Facultad de Metalurgia, Universidad Autónoma de Coahuila, y al CONACYT por la beca número *1240928*.

Referencias bibliográficas

Alza, V. A. y Chávez, V. P. (2022). TRIP Steels: Factors influencing their formation, Mechanical Properties and Microstructure. A Review. *J. Mech. Civ. Eng*, 19: 37-60.

Bastidas, D. M., Röss, J., Bosch, J. y Martin, U. (2021). *Mecanismos de corrosión de aceros de plasticidad inducida por gemelo de alto Mn (TWIP): una revisión crítica. Metales*, 11(2): 287. doi:10.3390/met11020287

Barajas, N., García A., Camporredondo, J., Equihua, F., & Castruita, L. (2016). Tendencia de los aceros y su aplicación en la industria automotriz. *CienciAcierta*, (48): 1-12. <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2016/12/13/tendencia-de-los-aceros-y-su-aplicacion-en-la-industria-automotriz/>

Bleck, W., Brühl, F., Ma, Y. & Sasse, C. (2019). Materials and Processes for the Third-generation Advanced High-strength Steels. *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, 164(11): 466-474. <https://doi.org/10.1007/s00501-019-00904-y>

Castillo, D. E. Angarita, I. I., Rodríguez, R. (2018). Caracterización microestructural y mecánica de aceros de fase dual (ferrita-martensita), obtenidos mediante procesos térmicos y termomecánicos. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 26 (3): 430-439.

Cora, Ö. N., & Koç, M. (2014). Promises and problems of ultra/advanced high strength steel (U/AHSS) utilization in automotive industry. In *7th Automotive Technologies Congress (OTEKON 2014), Bursa, Turkey* :1-8.

Franco, A., (2021). Evaluación de los factores de conducción eficiente en vehículos particulares y su relación con la carga contaminante proveniente del consumo de combustible. Monografía Especialidad. Fundación Universidad de América, Facultad de educación permanente y avanzada especialización en gestión ambiental Bogotá D.C.
<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8395/1/793282-2021-I-GA.pdf>

Hardwick, A.P., Outteridge, T. (2016) Vehicle lightweighting through the use of molybdenum-bearing advanced high-strength steels (AHSS). *Int J Life Cycle Assess*, 21: 1616–1623. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0967-7>

Hilditch, T. B., de Souza, T., & Hodgson, P. D. (2015). 2—Properties and automotive applications of advanced high-strength steels (AHSS). En M. Shome & M. Tumuluru (Eds.), *Welding and Joining of Advanced High Strength Steels (AHSS)*: 9-28. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-85709-436-0.00002-3>

Lesch, C., Kwiaton, N. & Klose, F. B. (2017). Advanced High Strength Steels (AHSS) for Automotive Applications – Tailored Properties by Smart Microstructural Adjustments. *steel research international*, 88(10): 1700210. <https://doi.org/10.1002/srin.201700210>

Madías, J. (2012) Avances en la producción y aplicación de aceros bifásicos. *Acero Latinoamericano*, 532: 46-54.

Mallick, D. (2020). Hydrogen behavior in first and second generation of advanced high strength steels. Materials. Tesis de Doctorado. Université de Lyon; Indian Institute of Technology (Bombay, Inde),

Matlock, D. K. y Speer, J. G. (2010). Oportunidades de procesamiento para nuevas chapas de acero avanzadas de alta resistencia. *Materiales y procesos de fabricación*, 25(1-3): 7–13. doi:10.1080/10426910903158272

Murillo, J. (2020). Identificación automática de fases de la microestructura de aceros de fase dual a partir del procesamiento digital de imágenes. Tesis de Licenciatura. Bogotá, D.C. Fundación Universidad de América. [Biblioteca Universidad de América Koha > Detalles de: Identificación automática de fases de la microestructura de aceros de fase dual a partir del procesamiento digital de imágenes \(uamerica.edu.co\)](#)

Nanda T., Singh Vishal., Singh Virender., Chakraborty A., and Sharma S. (2016). Third generation of advanced high strength steels: Processing routes and properties. *J. of Materials Design and Applications*, 233: 209-238

Pérez, V. (2021). *Influencia de los microaleantes en las transformaciones de un acero de fase compleja endurecible en prensa utilizado en automoción*. Master Interuniversitario. Universidad de Oviedo. Recuperado 19 de septiembre de 2022, de <https://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/61362>

Raabe, D., Sun, B., Kwiatkowski Da Silva, A., Gault, B., Yen, H. W., Sedighiani, K., Thoudden Sukumar, P., Souza Filho, I. R., Katnagallu, S., Jäggle, E., Kürnsteiner, P., Kusampudi, N., Stephenson, L., Herbig, M., Liebscher, C. H., Springer, H., Zaefferer, S., Shah, V., Wong, S. L., Ponge, D. (2020). Current Challenges and Opportunities in Microstructure-Related Properties of Advanced High-Strength Steels. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 51(11): 5517-5586. <https://doi.org/10.1007/s11661-020-05947-2>

Sadagopan, S. (2004). Formability characterization of advanced high-strength steels. In *Great Designs in Steel Seminar*:1-25. American Iron and Steel Institute.

Salas Reyes, A. E., Vera Aguilar, S. B., Chávez Alcalá, J. F., González Mancera, G., Ruíz Tamayo, A. G., & García Robledo, J. F. (2019). Caracterización microestructural de un acero avanzado de alta resistencia de fase compleja tratado térmicamente. *Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química*, 5(5): 494-501. https://revistatediq.azc.uam.mx/Docs/revista_tendencias_2019.pdf.

Salas Reyes, A. E., Acevedo Sánchez, F. D., Altamirano Guerrero, G., Chávez Alcalá, J. F., Mercado Lemus, V. H., & Ruíz Tamayo, A. G. (2020). Acondicionamiento microestructural de un acero AHSS de fase compleja microaleado con boro tratado vía Q&P. *Revista*

Tendencias en Docencia e Investigación en Química, 6(6): 429-435 https://revistatediq.azc.uam.mx/Docs/Revista_TeDIQ_2020.pdf.

Shaw J., Heenan W., Smith V. (2002). ULSAB-AVC (Advanced Vehicle Concepts): A Solution for Today (Engineering, Life Cycle Inventory and Cost Analyses). *American Council for an Energy-Efficient Economy*, 1: 117- 131

Schmitt, J. H. & Iung, T. (2018, diciembre). New developments of advanced high-strength steels for automotive applications. *Comptes Rendus Physique*, 19(8): 641-656. <https://doi.org/10.1016/j.crhy.2018.11.004>

Sheu, J., Yu, C. & Wang, J. (2017). Die Designs of Cold Roll Forming Process for Car Bumper Using Advanced High Strength Steel. *Procedia Engineering*, 207: 1308-1313. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.888>

Tais, C., Costamagna, M., Marino, M. (2019). Análisis de la factibilidad de uso de los aceros microaleados en semirremolques de alta capacidad de carga. *Mecánica Computacional*, XXXVII: 591-600.

Zhang, W. & Xu, J. (2022). Advanced lightweight materials for Automobiles: A review. *Materials & Design*, 221:110994. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.110994>