

Influencia del temple desde temperaturas intercríticas y el revenido en las propiedades mecánicas de tensión y dureza en un acero AISI-SAE 1018

Influence from intercritical temperature hardening and tempering on the mechanical properties of hardness and tension in a steel AISI-SAE 1018

David S. Barrera

Armalco

dsbarrerac@correo.udistrital.edu.co

Paubla A. Calderón

Famoc Depanel

pacalderonc@correo.udistrital.edu.co

Carlos A. Bohórquez

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

cabohorqueza@udistrital.edu.co

Hoy en día la mayoría de los materiales empleados en la industria automotriz, deben ser livianos sin que se disminuya las características mecánicas. Por eso en las aplicaciones estructurales de los vehículos, una buena combinación de propiedades (alta resistencia y gran deformación) es la ideal, y en ese orden de ideas, la relación peso/esfuerzo puede hacerse cada vez más pequeña. Como resultado de las investigaciones existentes acerca de los aceros DP (*Dual Phase*), se han aumentado sus aplicaciones en este campo, pues cumplen estos requerimientos. Para el acero AISI SAE 1018 no se encuentran trabajos previos de tratamientos térmicos, este trabajo de investigación pretende determinar la influencia de una secuencia de tratamientos de temple y revenido en las propiedades mecánicas de tensión y dureza. Los resultados de la secuencia de tratamientos evidencian una disminución de la dureza al aumentar el tiempo de revenido, y el análisis metalográfico muestra como varían las estructuras permitiendo encontrar martensita revenida y ferrita sin ser necesario llevar al material a una temperatura de austenización total.

Palabras clave: Aceros doble fase, temple, temperaturas intercríticas, revenido

Today most of the materials used in the automotive industry should be light without the mechanical properties is decreased. So in structural applications of vehicles a good combination of properties (high strength and high strain) is the ideal, and in that vein the weight/strain relationship can become increasingly smaller. As a result of existing research on the DP steels (*Dual Phase*), they have increased their applications in this field as they meet these requirements. For steel AISI SAE 1018 are no previous studies of head treatment, this research aims to determine the influence of a sequence of treatments of quenching and tempering on the mechanical properties of tension and hardness. The results show a sequence of treatments hardness decreased with increasing annealing time and the like vary metallographic analysis shows structures allowing find tempered martensite and ferrite without being necessary to take the material to a total austenitization temperature.

Keywords: Dual-phase steels, hardening, intercritical temperature, tempering

Introducción

El estudio de los aceros no solo se centra en las propiedades físicas o mecánicas que puede tener el material, su estudio también plantea las posibles modificaciones internas que puede tener. Estas modificaciones se obtienen

gracias a diferentes tratamientos térmicos que se pueden aplicar sobre los materiales (Ju, Zhang, y Zhang, 2006; Rocha, Melo, Pereloma, y Santos, 2005). Dependiendo de qué es lo que se está buscando, estos tratamientos pueden ser de lo más variados, pues las modificaciones que cada uno de estos tratamiento le hace al material, trae consigo

una modificación considerable a las propiedades iniciales del material (Silva, Pacheco, y Savi, 2004; Totten, 2006).

Los tratamientos térmicos brindan la posibilidad de mejorar las propiedades mecánicas de los aceros, las cuales se relacionan directamente con la microestructura obtenida (Liedl, Traint, y Werner, 2002; Liu, Xu, y Liu, 2003). Uno de estos tratamientos es el temple, que generalmente se realiza desde temperaturas superiores a A_3 , lo que permite tener una sola fase. Con el propósito de obtener propiedades diferentes a las del clásico temple, se lleva el material al campo $\alpha + \gamma$ del diagrama Fe-C, con lo que se consigue una microestructura DP (Hüseyin, Havva, y Ceylan, 2010). Realizando un enfriamiento rápido desde estas temperaturas, la austenita presente se transforma en martensita obteniendo dos fases a temperatura ambiente (Idesman, Levitas, Preston, y Cho, 2005). Al aumentar la temperatura desde A_1 cambian las fracciones de los constituyentes modificando las estructuras finales y en consecuencia sus propiedades mecánicas.

Los tratamientos térmicos han sido un amplio campo de investigación, pues aunque ya lleve un largo tiempo desde su auge, aún son muy utilizados en el campo de la ingeniería para facilitar el uso de materiales que cumplan diferentes características, y así ampliar el uso de ellos. Este proyecto de investigación pretende determinar las variaciones en las propiedades térmicas de tensión y dureza de un acero AISI SAE 1018 luego de ser sometido a un temple a temperaturas intercríticas y a revenidos de 2, 4 y 6 horas. Como resultado de esta serie de tratamientos se busca obtener un acero DP (Doble Fase) que cumpla con condiciones de alta dureza y alta resistencia a la tensión (Demir y Erdoğan, 2008; Erdogan y Tekeli, 2002). Para ello se formulan tres actividades centrales: (1) Realizar pruebas de tensión y de durezas que determinen las mejoras obtenidas con los diferentes tratamientos térmicos al que fue sometido el material, (2) determinar el estado microestructural del acero tratado, para correlacionar los datos obtenidos, y (3) determinar valores de microdureza en la microestructura del acero AISI SAE 1018.

Fecha recepción del manuscrito: Mayo 23, 2014

Fecha aceptación del manuscrito: Junio 9, 2014

David S. Barrera, Armalco; Paubla A. Calderón, Famoc Depanel; Carlos A. Bohórquez, Facultad Tecnológica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Esta investigación fue financiada por: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Correspondencia en relación con el artículo debe ser enviada a: Paubla Andrea Calderón. Email: paublalcalderonc@gmail.com

Con el propósito de establecer el número adecuado de probetas, se realizó un diseño experimental el cual arrojó que eran necesarias tres probetas por cada temperatura. Se llevó el acero a 800°C para mirar la influencia del temple, posteriormente se hacen revenidos de 2, 4, y 6 horas a una temperatura de 350°C, con la intención de obtener martensita revenida que brinde una buena combinación de características mecánicas en el material. Los resultados de la primera etapa del tratamiento muestran que el material ha disminuido significativamente su dureza, pasando de 93 Rb a 80.5 Rb y después de un día se hace el revenido a diferentes tiempos de permanencia en el horno muestra que su dureza y resistencia mecánica han sido variadas.

Diseño experimental

Se realizó un diseño experimental factorial fraccionado previo con el fin de determinar el número de probetas necesarias para cada una de los tratamientos térmicos, el cual arrojó que debían ser tres probetas por cada temperatura (tabla 1).

Tabla 1

Cantidad de probetas para los ensayos.

Tratamiento	Cantidad de probetas
Material Base	3
Temple	3
Temple + revenido 2 horas	3
Temple+ revenido 4 horas	3
Temple + revenido 6 horas	3

Las probetas se fabricaron para el ensayo de tensión de acuerdo a la norma ASTM E8-00, y con dicha norma se determinó las medidas de las probetas para realizar el ensayo de tensión.

Para corroborar que el material cumpla con las condiciones de un acero AISI SAE 1018, se tomaron mediante una espectrometría de emisión los porcentajes de sus elementos constituyentes. Los resultados se enuncian en la tabla 2, en comparación con los datos nominales para un acero de este tipo, datos que fueron tomados de las especificaciones técnicas de la empresa SUMINOX.

tabla 2

De acuerdo a la composición química suministrada por la espectrometría de emisión del acero AISI SAE 1018, se determinaron los rangos de temperaturas para las temperaturas comprendidas entre A_1 y A_3 , zona conocida como de austenización parcial, de temperaturas intercríticas o de doble fase, que han derivado su nombre por la presencia de ferrita y austenita (Movahed, Kolahgar, Marashi, Pouranvari, y Parvin, 2009).

Tabla 2

Composición química acero AISI SAE 1018.

	Datos espectrometría	Datos nominales
C %	0.17	0.15-0.20
Mn %	0.85	0.60-0.90
Si %	0.22	0.15-0.35
P %	0.01	0.04 (max)
S %	0.02	0.04 (max)
Cr %	0.03	0
Ni %	0.02	0
Mo %	0.00	0
Cu %	0.04	0
Sn %	0.006	0

Dichas temperaturas se pueden calcular mediante las siguientes expresiones (ecuación 1):

$$\begin{aligned}
 A_{c1} (^{\circ}C) = & 723 - 7,08[Mn] + 37,7[Si] \\
 & + 18,1[Cr] + 44,2[Mo] + 8,95[Ni] + 50,1[V] \\
 & + 21,7[Al] + 3,18[W] + 297[S] - 830[N] \\
 & - 11,5[C * Si] - 14,0[Mn * Si] - 3,10[Si * Cr] \\
 & - 57,9[C * Mo] - 15,5[Mn * Mo] - 5,28[C * Ni] \\
 & - 6,0[Mn * Ni] + 6,77[Si * Ni] - 0,80[Cr * Ni] \\
 & - 27,4[C * V] + 30,8[Mo * V] - 0,84[Cr2] \\
 & - 3,46[Mo2] - 0,46[Ni2] - 28[V2]
 \end{aligned} \quad (1)$$

Cuando se realiza en un estado de austenización total la temperatura debe estar por encima de A3, lo que se calcula de acuerdo con (Hakan y Jiansheng, 2008) (ecuación 2):

$$\begin{aligned}
 A3 (^{\circ}C) = & 912 - 203 + 15,2[\%Ni] + 44,7[\%Si] \\
 & + 104[\%V] + 31,5[\%Mo] + 13,1[\%W] - 30[\%Mn] \\
 & - 11[\%Cr] - 20[\%Cu] + 700[\%P] + 400[\%Al] \\
 & + 120[\%As] + 400[\%Ti]
 \end{aligned} \quad (2)$$

Para llevar a cabo la secuencia de tratamientos se lleva a cabo un revenido a baja temperatura, para que no haya un cambio de fase la temperatura debe ser menor a Ms (Martensita start), de acuerdo a esto Ms se puede calcular mediante (Hakan y Jiansheng, 2008) (ecuación 3):

$$\begin{aligned}
 Ms (^{\circ}C) = & 496 * [1 - 0,62 * C] \\
 & * [1 - 0,092 * Mn] * [1 - 0,033 * Si] \\
 & * [1 - 0,045 * Ni] * [1 - 0,07 * Cr] \\
 & * [1 - 0,029 * Mo] * [1 - 0,018 * W] \\
 & * [1 - 0,012 * Co]
 \end{aligned} \quad (3)$$

Aplicando las ecuaciones 1, 2 y 3 para los valores porcentuales obtenidos del material, se calculan las temperaturas A1, A3 y Ms respectivamente. Estas

temperaturas se enuncian en la tabla 3. Los valores que se presentan son los valores máximos de las temperaturas, según la bibliografía especializada disponible, estos valores tiene una desviación de $\pm 15^{\circ}C$ en cada una de las temperaturas mencionadas.

Tabla 3

Temperaturas A₁, A₃ y Ms para el acero AISI SAE 1018.

A ₁ (°C)	A ₃ (°C)	Ms (°C)
729	851	405

Las temperaturas empleadas para la secuencia de tratamientos térmicos, al igual que los tiempos para cada una de los tratamientos se muestran en la Fig. 1. Se seleccionan temperaturas intermedias que comprendan valores para la zona de austenización parcial para el temple y por debajo de la zona de comienzo de transformación de martensita. Se escogieron 800°C para temple y 350°C para revenido. Para asegurar la aparición de martensita, se emplea una solución de salmuera del 3 al 5 % para realizar el enfriamiento.

Luego de realizar cada una de las secuencias de tratamientos térmicos, se realizaron las pruebas respectivas de tensión, de dureza y microdureza. Para el ensayo de tensión se utilizó una máquina de universal ensayo WIN UH-50A. Para las durezas se tomaron las especificaciones de la norma ASTM E18; se utilizó un durómetro SwissRock con un indentador punta de diamante con forma de esfera de 1/16. Aplicando una precarga de 100 kg con un tiempo entre 15 y 20 segundos. Las microdurezas se tomaron de acuerdo a la norma ASTM B578 en la máquina HMV Micro Hardness Tester Shimadzu.

Se realizó un análisis metalográfico bajo la norma ASTM E3 a cada una de las probetas para confirmar el comportamiento microestructural del acero bajo los diferentes tratamientos. Para llevar a cabo el estudio, se emplearon dos métodos: el primero por medio de un microscopio electrónico de barrido (SEM) y el segundo utilizando un microscopio óptico para corroborar las imágenes obtenidas con el SEM, facilitando el análisis de los diversos tipos de microestructuras presentes en los diferentes muestras luego de sus respectivos tratamientos.

Análisis de datos

Pruebas de tensión

Las probetas fueron sometidas al ensayo de tensión (que es una de las propiedades a analizar) en la máquina universal de ensayos Win (Universal Hidráulica) UH-50A. Los resultados se muestran en la Fig. 2.

Las curvas de esfuerzo-deformación muestran el aumento de la resistencia a la tensión del mismo. En comparación frente al material base, la resistencia del mismo aumentó de manera significativa, para la cual se obtuvo una desviación

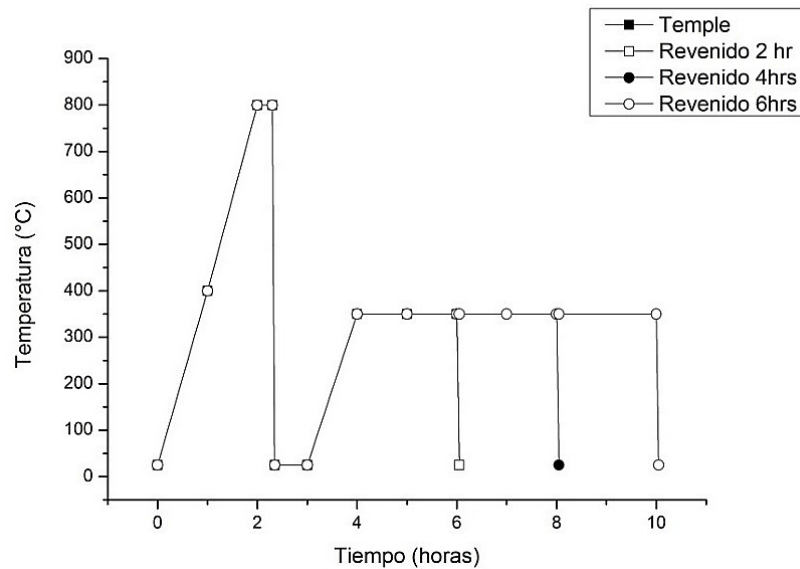


Figura 1. Representación esquemática de la secuencia de tratamientos empleados.

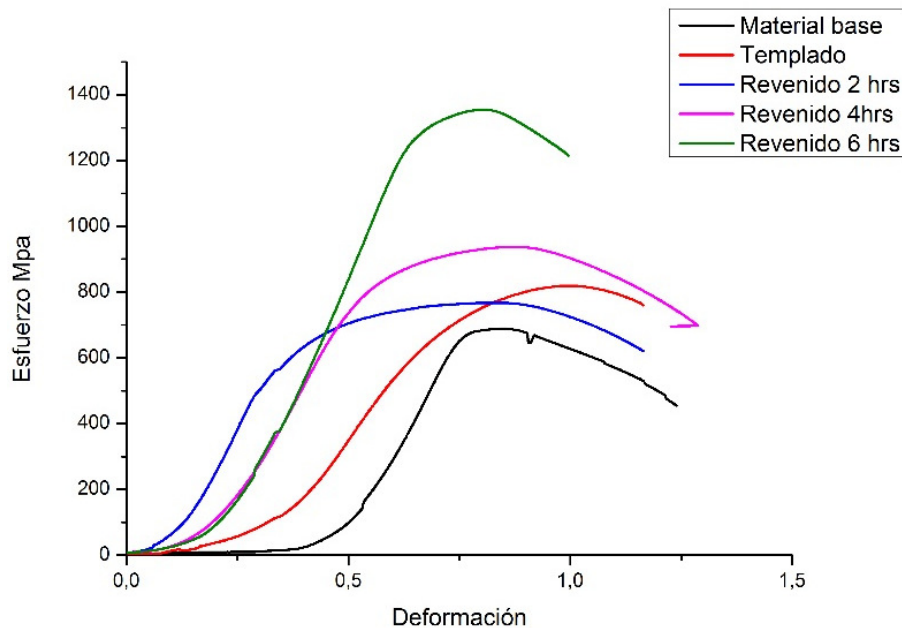


Figura 2. Pruebas de tensión promedio.

media de 1. Estas curvas fueron realizadas tomando valores promedio del total de las probetas con el mismo tratamiento.

En cuanto a los esfuerzos máximos (Fig. 3), se evidencia un aumento significativo en los valores que puede soportar el material luego de la secuencia de tratamientos.

Prueba de dureza

Otra de las propiedades a analizar es la dureza. A continuación se presentan los valores de dureza (Fig. 4) y microdureza (tabla 4) analizados luego de los respectivos

tratamientos térmicos. La tabla de durezas muestra el incremento que presenta con respecto al material base, evidenciando un crecimiento significativo con respecto al material de entrega. De acuerdo con los valores de dureza registrados, se procedió a realizar el estudio de las microdurezas, evidenciando un crecimiento en cada uno de los tratamientos.

Para realizar un acercamiento de cómo se debería comportar el material bajo la misma condición de tratamiento térmico a diferentes tiempos de revenido, se

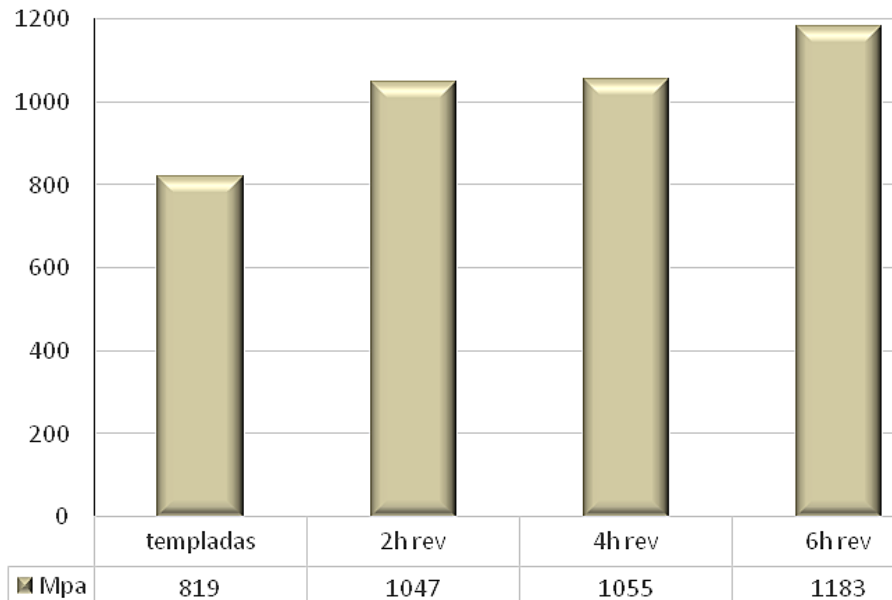


Figura 3. Valores de esfuerzo máximos para el material templado y los diferentes tiempos de revenido.

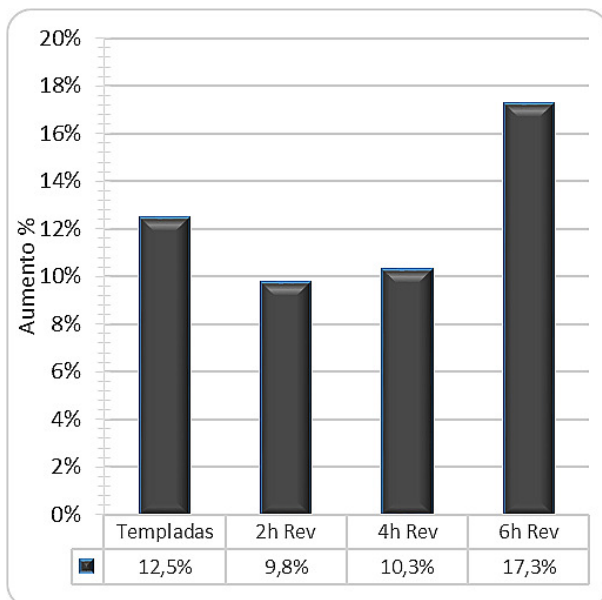


Figura 4. Aumento porcentual de la dureza después de la secuencia de tratamientos térmicos.

Tabla 4

Valores de microdurezas para los aceros tratados.

Tratamiento	Microdurezas (HV)					
	371	371	407	446	412	
Temple						
Temple + Revenido 2 horas	429	393	387	396	347	322
Temple + Revenido 4 horas	316	343	397	367	374	386
Temple + Revenido 6 horas	518	557	514	572	595	579

utilizaron los valores anteriormente mostrados añadiendo

la medida promedio (tabla 5) para realizar una curva de seguimiento del patrón de microdureza, evidenciando un alto crecimiento luego del revenido de 6 horas.

Tabla 5

Valores promedio de microdurezas para los aceros tratados.

	Microdurezas promedio (HV)
Templadas	401
Temple + revenido 2 horas	379
Temple + revenido 4 horas	364
Temple + revenido 6 horas	556

Pruebas metalográficas

A continuación (Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8 y Fig. 9) se muestran las metalografías con los tratamientos térmicos para determinar no solo como varía la dureza del Acero 1018, sino también su composición microestructural.

Se conoce gracias al estudio previo que con el temple se tiene martensita retenida, lo que hace que el material sea muy duro y que a mayor tiempo de revenido el material logre aliviar las tensiones superficiales, brindando así martensita revenida que es la causante de que el material logre soportar grandes esfuerzos con poca deformación plástica. Dichos cambios en las estructuras del material se muestran en las Fig. 10 y Fig. 11.

Se asume que la parte clara es martensita, ya que al poseer mayor dureza es más difícil de pulir, por lo tanto, no se desprende con tanta facilidad de la superficie del material. Por otro lado, se asume que la parte oscura es ferrita tanto por su forma, como por su baja dureza, y la posibilidad de ser atacada por el Nital.

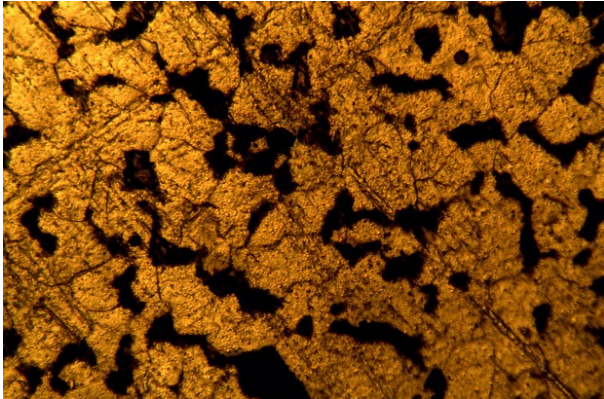


Figura 5. Metalografías del material en los diferentes momentos del tratamiento, con ataque de Nital al 3%. Material base X500.

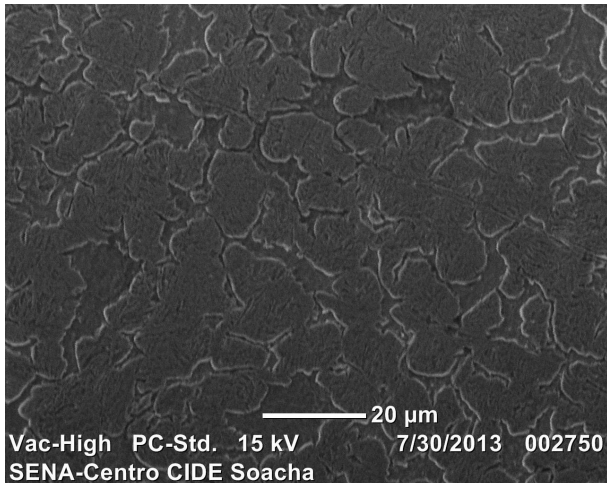


Figura 6. Metalografías del material en los diferentes momentos del tratamiento, con ataque de Nital al 3%. Material templado X500.

Conclusiones

El objetivo de esta investigación se centra en determinar la influencia del tiempo de revenido en la resistencia a la tensión, dureza y la evolución microestructural de un acero AISI 1018 templado desde temperaturas intercríticas y revenido a 350°C con tiempos de 2, 4 y 6 horas.

En la prueba de tensión para las probetas templadas, se puede ver que el material soporta una carga más alta que el material base. Mientras que en las probetas de revenido se notó un comportamiento proporcional, es decir, a mayor tiempo de revenido el material puede soportar mucha más carga. Se encuentra que las proporciones de martensita obtenidas (de acuerdo a la norma ASTM 562) en las diferentes probetas aumenta significativamente la capacidad del material de soportar más carga. También, para los aceros con los tratamientos de revenido a diferentes horas, se pudo

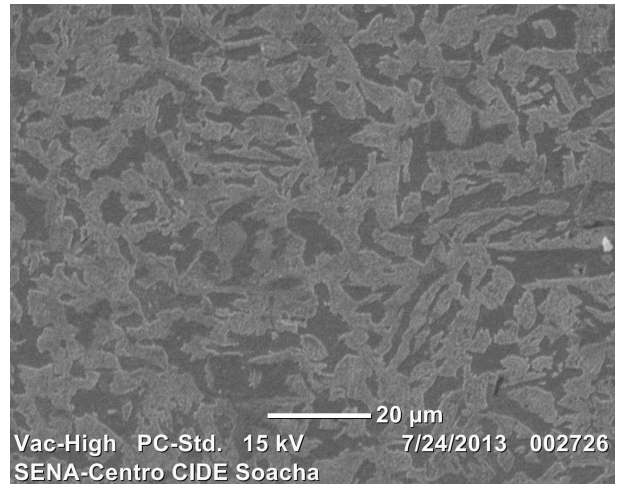


Figura 7. Metalografías del material en los diferentes momentos del tratamiento, con ataque de Nital al 3%. Material templado y revenido a 2 horas X500.

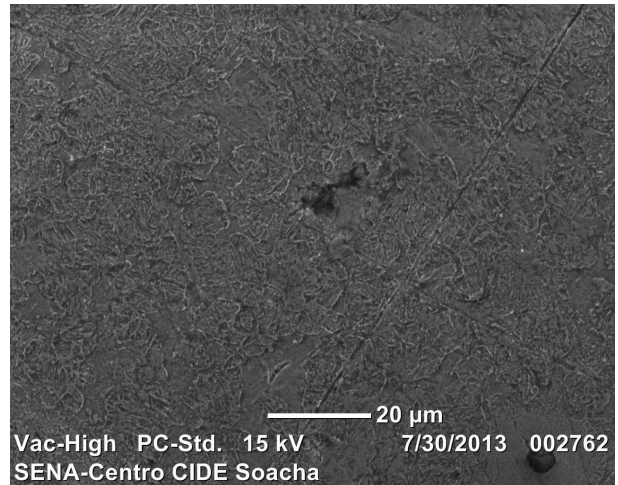


Figura 8. Metalografías del material en los diferentes momentos del tratamiento, con ataque de Nital al 3%. Material templado y revenido a 4 horas X500.

evidenciar que no logra tener una zona plástica extensa, lo cual es muy bueno ya que hoy en día se busca que los aceros cuenten con una alta resistencia al impacto pero con poca capacidad de deformación.

De acuerdo a bibliografía posterior, se encontró que un acero 1018 es denominado un acero *suave*. Dicho acero puede ser sometido a pruebas de endurecimiento y temple, pero no se puede suavizar debido a poseer un porcentaje bajo de carbono. Dicha afirmación se pudo comprobar en la prueba dureza. Se pudo notar que al templar el acero, su dureza incrementó notablemente respecto al material base, y en la toma de durezas de las probetas templadas - revenidas se evidenció que no hubo una disminución de dichas durezas, por el contrario, las durezas tienden a aumentar.

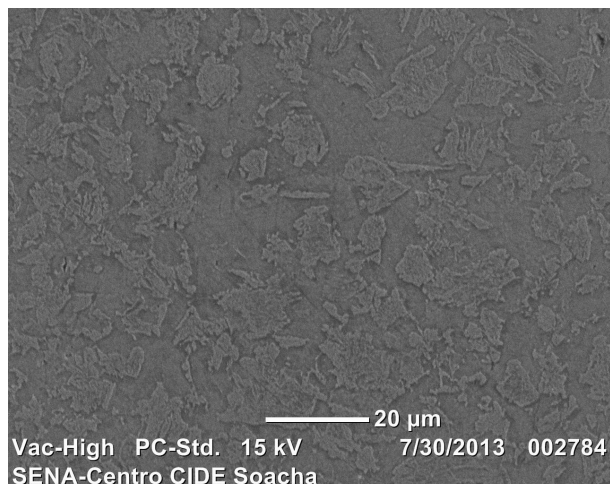


Figura 9. Metalografías del material en los diferentes momentos del tratamiento, con ataque de Nital al 3%. Material templado y revenido a 6 horas X500.

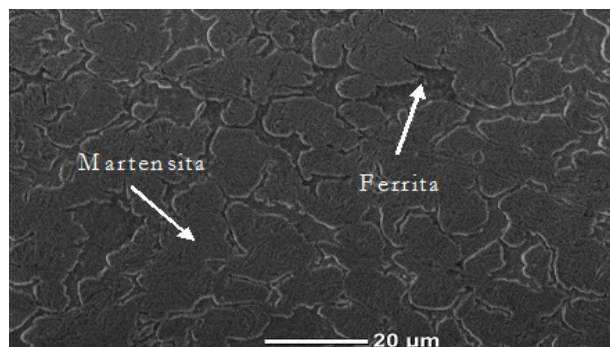


Figura 10. Metalografías del material en los diferentes momentos del tratamiento X1000. Material templado.

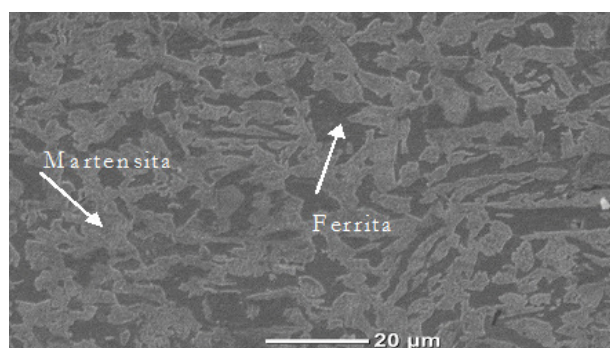


Figura 11. Metalografías del material en los diferentes momentos del tratamiento X1000. Material templado y revenido a 2 horas.

Es probable que la indentación tomada sea el promedio de dos fases, pues al hacer las pruebas de micrografía, la muesca que deja el indentador es muy grande, dificultando la medición de un grano en específico.

Con los resultados del estudio metalográfico, se puede decir que con el temple se obtiene más martensita retenida, ya que no se alcanza a llevar al punto de austenización total, lo que se evidencia en el estudio de durezas como un aumento considerable en dicha propiedad del material.

El revenido es un tratamiento que alivia un poco los esfuerzos, y cuando se realiza a bajas temperaturas tiene como finalidad la reducción de tensiones internas del material templado, sin reducir la dureza, incrementando los niveles de martensita obtenida durante el temple, aumentando la dureza y la resistencia a la tensión. Sin embargo, al aumentar estos valores se disminuye la zona plástica del material.

Referencias

- Demir, B., y Erdoğan, M. (2008). The hardenability of austenite with different alloy content and dispersion in dual-phase steels. *Journal of Materials Processing Technology*, 208(1-3), 75 - 84. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013608000174>
- Erdogan, M., y Tekeli, S. (2002). The effect of martensite volume fraction and particle size on the tensile properties of a surface-carburized {AISI} 8620 steel with a dual-phase core microstructure. *Materials Characterization*, 49(5), 445 - 454. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1044580303000706>
- Hakan, C., y Jiansheng, P. (2008). *Handbook of thermal process modeling steels* (1.ª ed.). CRC Press.
- Hüseyin, A., Havva, K. Z., y Ceylan, K. (2010). Effect of intercritical annealing parameters on dual phase behavior of commercial low-alloyed steels. *Journal of Iron and Steel Research, International*, 17(4), 73 - 78. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1006706X10600891>
- Idesman, A., Levitas, V., Preston, D., y Cho, J.-Y. (2005). Finite element simulations of martensitic phase transitions and microstructures based on a strain softening model. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 53(3), 495 - 523. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022509604001735>
- Ju, D., Zhang, W., y Zhang, Y. (2006). Modeling and experimental verification of martensitic transformation plastic behavior in carbon steel for quenching process. *Materials Science and Engineering: A*, 438-440(0), 246 - 250. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921509306006125> (Proceedings of the International Conference on Martensitic Transformations)

- Liedl, U., Traint, S., y Werner, E. (2002). An unexpected feature of the stress–strain diagram of dual-phase steel. *Computational Materials Science*, 25(1–2), 122 - 128. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927025602002562>
- Liu, C., Xu, X., y Liu, Z. (2003). A {FEM} modeling of quenching and tempering and its application in industrial engineering. *Finite Elements in Analysis and Design*, 39(11), 1053 - 1070. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168874X02001567>
- Movahed, P., Kolahgar, S., Marashi, S., Pouranvari, M., y Parvin, N. (2009). The effect of intercritical heat treatment temperature on the tensile properties and work hardening behavior of ferrite–martensite dual phase steel sheets. *Materials Science and Engineering: A*, 518(1-2), 1 - 6. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921509309006248>
- Rocha, R., Melo, T., Pereloma, E., y Santos, D. (2005). Microstructural evolution at the initial stages of continuous annealing of cold rolled dual-phase steel. *Materials Science and Engineering: A*, 391(1–2), 296 - 304. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921509304011189>
- Silva, E. P., Pacheco, P. M. C. L., y Savi, M. A. (2004). On the thermo-mechanical coupling in austenite–martensite phase transformation related to the quenching process. *International Journal of Solids and Structures*, 41(3–4), 1139 - 1155. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020768303005420>
- Totten, G. (2006). *Steel heat treatment: Metallurgy and technologies. steel heat treatment handbook* (2.^a ed.). CRC Press.