

EVALUACIÓN MICROESTRUCTURAL DEL ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO AISI 420 SOMETIDO A TRATAMIENTOS TÉRMICOS

R. Medina⁽¹⁾, C.P. Serna⁽²⁾

(1) Departamento de Ingeniería Metalúrgica y de Materiales, Universidad de Antioquia, COLOMBIA

(2) Directora Grupo de Investigaciones Pirometalúrgicas y de Materiales –GIPIMME-, Universidad de Antioquia, Medellín, COLOMBIA

E-mail (autor de contacto): rufinomedina@gmail.com

RESUMEN

Los aceros inoxidable martensíticos son utilizados en herramientas y equipos que serán sometidos a altas exigencias mecánicas debido a su buena resistencia a la cavitación, corrosión y a la oxidación, su buena soldabilidad, su capacidad de endurecimiento por tratamientos térmicos y por deformación en frío.

En este trabajo se evalúa la respuesta del acero inoxidable martensítico AISI-SAE 420 a diferentes tratamientos térmicos de temple utilizando dos temperaturas de austenización 1020 °C y 1050 °C, dos medios de enfriamiento aire y aceite y manteniendo el tiempo de permanencia a cada temperatura constante por 30 minutos para todos los ensayos, también se estudió la respuesta de los diferentes temples sometidos a un mismo tratamiento de revenido de 200°C, con tiempo de sostenimiento constante de dos horas. Para el desarrollo del experimento se definió que el modelo más apropiado es un tratamiento con diseño factorial 2².

La caracterización microestructural se realizó por medio de microscopía óptica, microscopía electrónica de barrido y mediciones de dureza Vickers utilizando carga de 30kN. El material en estado de entrega fue caracterizado en composición química por espectrometría de emisión óptica, microscopía óptica y dureza Vickers. Los resultados de los tratamientos térmicos de temple para el acero AISI 420 muestran que al aumentar la temperatura desde 1020°C hasta 1050°C se observa una disminución en la dureza, y cuando se pasa de un medio de enfriamiento de Aire a Aceite, se presenta un pequeño aumento en la dureza, la combinación de ambos efectos también disminuye la dureza

Tópico 2: Materiales Metálicos

Palabras claves: Tratamientos Térmicos de Aceros Inoxidables Martensíticos

1. INTRODUCCIÓN

Tanto en la industria como en la investigación los acero inoxidable son utilizados tratados térmicamente por lo tanto este trabajo está enfocado a estudiar el efecto de la temperatura y el medio de enfriamiento sobre la dureza en los aceros inoxidable martensíticos AISI 420. Como introducción a los aceros inoxidable martensíticos se puede decir que son aceros con alto contenido de elementos aleantes, principalmente Cromo entre el 11% y el 18%, y Carbono hasta 1.20%, contienen además cantidades pequeñas de otros elementos aleantes como azufre, aluminio y níquel. El cromo es un fuerte estabilizador de la ferrita, pero la presencia del carbono ayuda a la estabilización del bucle austenítico, esto es lo que permite que ocurran transformaciones austenita-martensita y así estos aceros son endurecibles por tratamientos térmicos. Debe destacarse que la máxima dureza que puede alcanzarse depende fundamentalmente del contenido de carbono. Otra de las principales propiedades en estos materiales es su moderada resistencia a la corrosión [1]. Los aceros inoxidable martensíticos son utilizados en herramientas y equipos que serán sometidos a altas exigencias mecánicas debido a su buena resistencia a la cavitación, corrosión y a la oxidación, su buena soldabilidad, su capacidad de endurecimiento por tratamientos térmicos y por deformación en frío[2], lo cual facilita su procesamiento y además por ser magnéticos permiten la utilización de técnicas de inspección no destructiva como partículas magnéticas o Ruido Magnético de Barkhausen[3] para la determinación de fallas incipientes y la realización de oportunos mantenimientos preventivos.

La composición que tienen los aceros inoxidables martensíticos permite que la austenita transforme a martensita, y por su elevada templabilidad, no se requiere de medios de enfriamiento severos. Estos aceros pueden templar usando como medio de enfriamiento el aire. Así el control de las propiedades mecánicas se puede realizar controlando la transformación austenita-martensita por medio de las temperaturas de austenización y medios de enfriamiento.

Típicamente, las temperaturas de austenización son suficientemente altas para garantizar la disolución de los carburos y la obtención de una estructura martensítica.[2]. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra el diagrama de enfriamiento continuo de un acero inoxidable martensítico AISI 420 comercial, de composición 0.41%C-0.70%Si-0.45%Mn-14.3%Cr-0.49Ni-0.6%Mo, el cual será utilizado para realizar esta investigación.

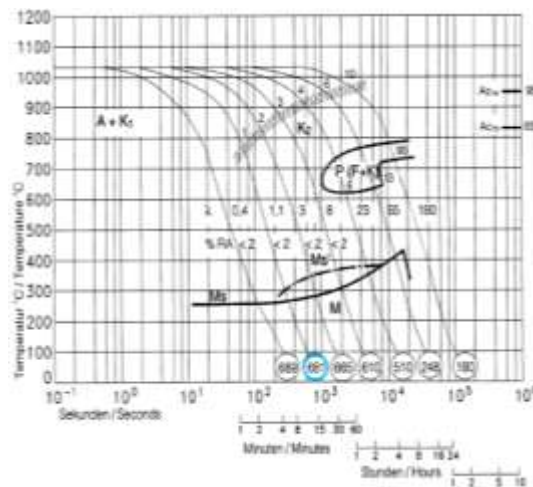


Figura 1. Diagrama de enfriamiento continuo de un acero inoxidable martensítico comercial AISI 420. [4]

Del diagrama de la Figura 1 se precisa que para que exista una disolución completa de carburos, el acero debe llevarse a temperatura de austenización por encima de 1025°C y se observa que la nariz perlítica está bastante desplazada a la derecha, a una temperatura de 650°C en 15 minutos, lo cual hace posible la obtención de martensita mediante el temple en medios de enfriamiento como baño de sales, aceite, aire o aire comprimido. El inicio de la transformación martensítica ocurre a una temperatura de 260°C, y no se evidencia el fin de la transformación.

Durante el revenido de este acero se aprecia apenas una disminución de la dureza a bajas temperaturas debido al revenido de la martensita, un aumento a temperaturas entre 300°C y 500°C y una drástica caída de la dureza a temperatura superiores a 500°C.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El procedimiento experimental se realizó siguiendo las siguientes etapas; se adquirió un acero inoxidable martensítico comercial, del cual se tomaron muestras de sección circular de dos pulgadas de diámetro y 10 mm de espesor, utilizando una sierra sin fin con un posterior refrentado, se realizó la caracterización del material en estado de entrega mediante espectrometría de emisión óptica, microscopía óptica (MO), Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) y dureza Vickers con carga de 15 KPa. El ensayo de dureza Vickers reveló que las muestras en estado de entrega no presentaban una distribución homogénea a través de la superficie, por lo tanto fue necesario realizar un tratamiento térmico de recocido isotérmico a todas las muestras llegando hasta 1020°C y luego sosteniendo a 700° por 2.5 horas, asegurando así la completa transformación de la austenita y para garantizar homogeneidad en la microestructura.

Posteriormente se hicieron los tratamientos térmicos de temple a temperaturas de 1020°C y 1050°C, sostenidas 30 minutos, y con enfriamiento en aire y en aceite, encaminados a modificar significativamente el tamaño de grano[4], la dureza y la microestructura del material[5]. Los tratamientos de temple se realizaron utilizando el modelo con diseños factoriales 2², como se muestra en la Tabla 1, el cual consiste de todas las combinaciones posibles de los niveles de los factores. [6]

Tabla 1. Combinaciones posibles de los factores

| FACTORES | Nivel 1 (-) | Nivel 2 (+) |
|-----------------------|--------------------|--------------------|
| Temperatura (°C) | 1020 | 1050 |
| Medio de Enfriamiento | Aire | Aceite |
| Tiempo (minutos) | 30 minutos | |

Posterior a cada temple se realizaron tratamientos térmicos de revenido a temperatura de 200°C por 2 horas.

Es importante señalar que tanto los tratamientos de temple como de revenido se realizaron en las muestras y su réplica tal y como sugiere el diseño de experimento, y que además se utilizó una nomenclatura de dos dígitos para mejor tratamiento de los resultados como lo muestra la

Tabla 2,

Tabla 2. Resultados de todas las combinaciones posibles de los factores

| TRATAMIENTO | TEMPLE | TRATAMIENTO | TEMPLE + REVENIDO |
|--------------------|------------------|--------------------|--------------------------|
| 10 | 1020°C-30-Aire | 11 | 10 + Revenido |
| 20 | 1020°C-30-Aceite | 21 | 20 + Revenido |
| 30 | 1050°C-30-Aire | 31 | 30 + Revenido |
| 40 | 1050°C-30-Aceite | 41 | 40 + Revenido |

Como lo muestra la

Tabla 2 se pueden comparar cada subgrupo entre sí o el efecto que deriva de cada muestra templada con posterior revenido.

Para el análisis microestructural, las muestras fueron preparadas metalográficamente con lijas 220,320, 400, 600 y pulidas con alúmina 3 micras, posteriormente fueron atacadas con Vilella durante 8 segundos y observadas en el microscopio óptico marca Nikon. También se observaron en el microscopio electrónico, los resultados obtenidos fueron analizados utilizando una herramienta de análisis estadístico.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La composición química por espectrometría de emisión óptica arroja los resultados presentados en la Tabla 3

Tabla 3. Resultados Espectrometría de emisión óptica

| Elemento | Fe | C | Si | Ni | Cr |
|-----------------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Porcentaje (%) | 85,760 | 0,214 | 0,489 | 0,504 | 12,335 |

La composición observada en la Tabla 3, confirma que el material corresponde a un acero inoxidable martensítico AISI 420, ya que se encuentra en el rango de composición.

En la figura 2 se muestran las micrografías obtenidas por Microscopia Óptica (MO) y Microscopia Electronica de Barrido (MEB) para las muestras en estado de entrega.

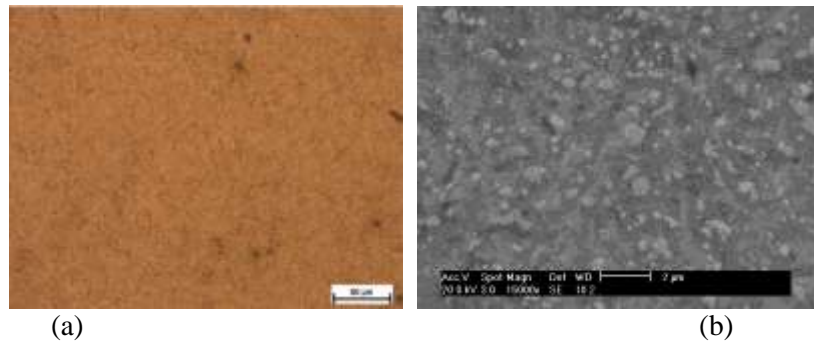


Figura 2. Acero AISI 420 en estado de entrega (a) microscopía óptica (b) Imagen MEB

Las muestras en estado de entrega al igual que las muestras en estado recocido presentan una microestructura compuesta por carburos disueltos en una matriz de ferrita. En la figura 2a se muestra la imagen obtenida por microscopía óptica, en tanto en la figura 2b se muestra la imagen obtenida en el microscopio electrónico de barrido. En esta figura, los carburos se presentan como una fase clara de morfología redondeada, dispersos en la matriz.

Las microestructuras de las muestras templadas desde las dos temperaturas y enfriadas en aire y en aceite, está formada por una estructura de martensita en listones. Un ejemplo se ilustra en la (a) (b)

Figura 3 para las muestras templadas a 1020°C y enfriadas al aire.

En la Figura 3 se muestra la microestructura de las muestras templadas desde 1020 °C. Se aprecia de estas figuras que la muestra enfriada en aceite presenta listones de martensita de mayor tamaño y más gruesos que las muestras templadas en aire, esto debido a la velocidad de enfriamiento, la fase transformada conserva características de la fase matriz: como la composición química, o sea que no hay tiempo para la difusión. Si la matriz es austenita (CFC) y dado el contenido de carbono, se esperaría que la martensita también sea cúbica (CBC) [7].

A medida que la velocidad de enfriamiento disminuye, la difusión puede ocurrir, y así la estructura que se obtiene es menos saturada. Un comportamiento similar se observa en las muestras templadas desde 1020°C.

De las figuras 3 se observa que la martensita con temperatura de austenización de 1020 °C es más pequeña y más fina que la martensita con temperatura de austenización de 1050°C. Esto se debe al crecimiento del grano austenítico que ocurre con la mayor temperatura de austenización[8].

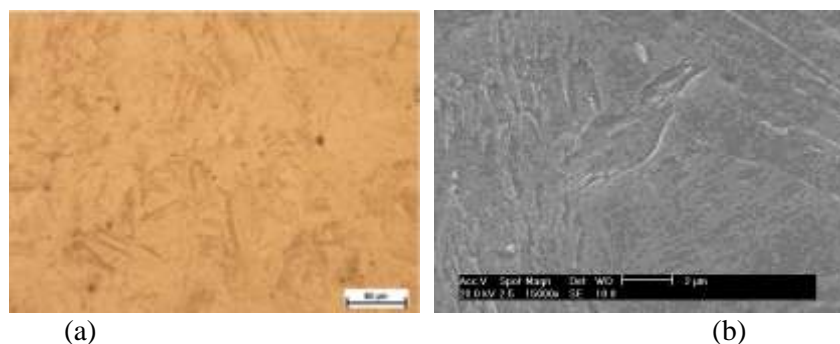


Figura 3. Imagen (a) MO y (b) MEB de la muestra (10) templada a 1020°C con enfriamiento al Aire

A pesar que las estructuras observadas en cada muestra corresponde a martensita existen diferencias en la distribución y morfología de estas fases, lo cual ocasiona variación en la dureza y en los efectos de los revenidos.

En la Figura 4 se observa las diferencias en la morfología, tamaño y distribución de la martensita en cada temple y como cambia esta después del revenido, lo cual ocasiona una diferencia en la dureza.

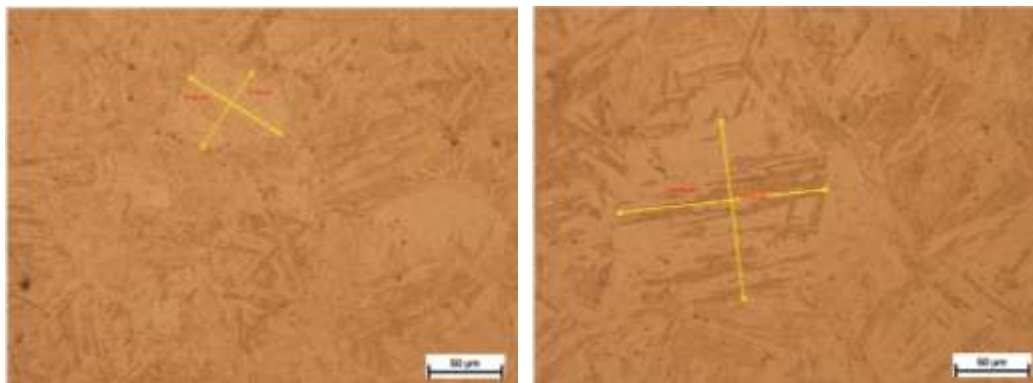
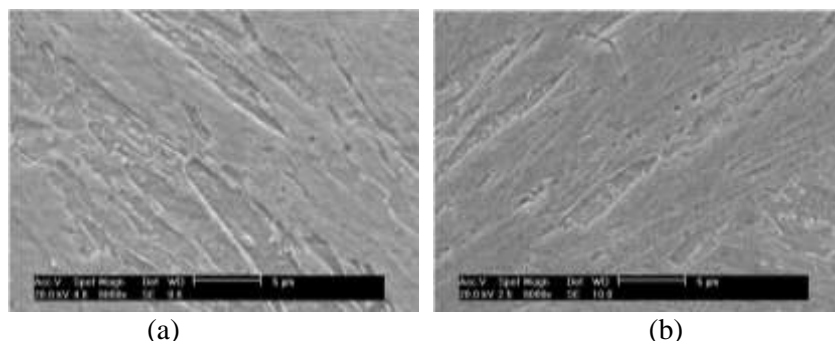


Figura 4. Muestras 21 (Izquierda) y 41 (Derecha)

Al medir el tamaño de grano de la austenita previa a la transformación se evidencia el crecimiento de grano con el aumento de la temperatura desde aproximadamente 70 µm a 1020°C hasta 180 µm a 1050°C como se observa claramente en las muestras enfriadas en aceite desde 1020°C y 1050°C (21 y 41) de la Figura 4 respectivamente.

A continuación se presenta un comparativo entre las imágenes MEB de los tratamientos 10 y 30 donde se evidencia claramente las diferencia en la morfología de las martensita para cada uno de estos tratamientos, en la 5a se observa una martensita mucho más grande y unas agujas bien definidas, la cual corresponde a una estructura templada a 1020°C y enfriada al aire, mientras que en la 5b se observa unas agujas de martensita mucho más pequeñas la cual corresponde a un temple a 1050°C enfriando al aire.



(a) (b)
Figura 5. Imagenes MEB del tratamiento (a) 10 y (b) 30

Los resultados de las mediciones de dureza Vickers se presentan en la Tabla 4

Tabla 4. Resultado de las mediciones de dureza las muestras templadas y templadas mas revenidas

| TRATAMIENTO | DUREZA (Hv) | DESV.EST |
|-------------|-------------|----------|
| R | 189,1 | ± 5,3 |
| 10 | 432,3 | ± 9,1 |
| 11 | 412,2 | ± 8,6 |
| 20 | 496,3 | ± 7,4 |
| 21 | 467,9 | ± 4,0 |
| 30 | 395,6 | ± 8,4 |
| 31 | 365,2 | ± 2,3 |
| 40 | 401,5 | ± 2,6 |
| 41 | 383,9 | ± 6,8 |

Los resultados de dureza se analizaron con la ayuda de un software estadístico el cual permitió realizar el análisis ANOVA para la muestras y para las réplicas tomando un intervalo de confianza del 95% es decir $p \leq 0,05$. Arrojando los resultado de la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados de P obtenidos en el ensayo

| Factores | Valores de P obtenidos |
|-----------------------|--------------------------|
| Temperatura | 0.265 |
| Medio de enfriamiento | 0.441 |

Los valores P de la Tabla 5 indican que para el acero AISI 420 es mucho más significativo los cambios de temperatura que los cambios en el medio de enfriamiento a pesar que el análisis ANOVA arrojó que para un intervalo de confianza del 95% no son suficientemente significativos estos cambios[6], es decir no hay cambios significativos en la dureza al pasar de 1020°C a 1050°C al igual que al pasar de un medio de enfriamiento aire a aceite, de pronto hay que considerar un rango de temperaturas mas distanciados o un intervalo de confianza más factible.

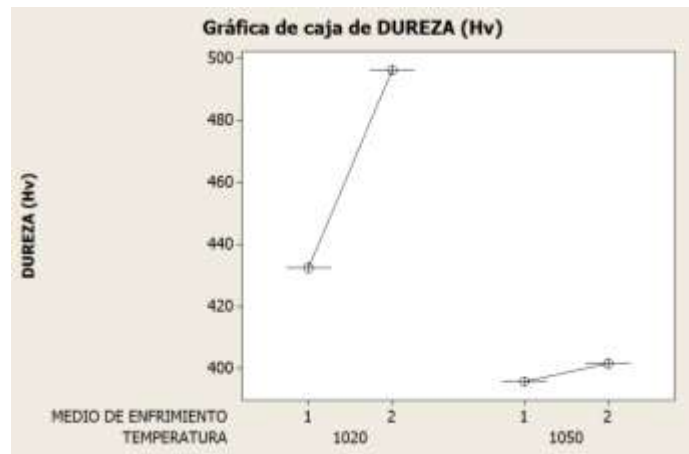


Figura 6. Grafico comparativo de los efectos temperatura de austenización y el medio de enfriamiento.

Al analizar los resultados de la Figura 6 se aprecia un mayor efecto del medio de enfriamiento a temperatura de 1020°C que a 1050°C esto debido a menor crecimiento de grano austenítico y la menor disminución de la dureza con el cambio de temperatura él cual fue mucho menor para 1020°C

En la Figura 6 se observa claramente una disminución en la dureza al pasar de 1020°C hasta 1050°C, tal y como se reporta en [8], donde al igual que en otras investigaciones reporta una aumento de la dureza a medida que se aumenta la temperatura de austenización hasta más o menos 1020°C y una disminución en la dureza a partir de esta temperatura hasta más o menos 1065°C que ha sido reportado, mientras que se presenta un aumento en la dureza al pasa de un medio de enfriamiento Aire hasta Aceite, esto debido a que el aceite es un medio de enfriamiento mucho más severo que el aire provocando un enfriamiento mucho más rápido lo que provoca un aumento en la dureza de los materiales férreos.

En la Figura 7 se analiza el efecto principal de cada factor tomando como parámetro comparativo la media de los datos de dureza para cada tratamiento. Claramente se observa que para el Acero AISI 420 la dureza disminuye al pasar de una temperatura de 1020°C a 1050°C, mientras que al cambiar de medio de enfriamiento de Aire a Aceite la dureza presenta un leve aumento para ambas temperaturas.

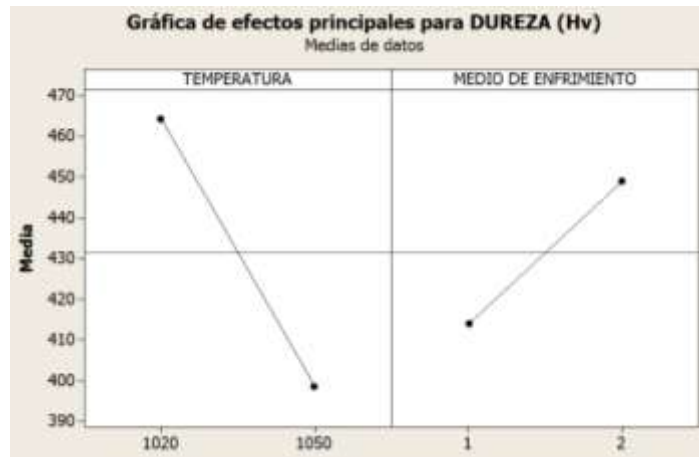


Figura 7. Grafica de efectos principales

Los resultados del revenido de 200°C sobre todas las muestras templadas, se observa en la Figura 8, donde se revela una disminución de la dureza en proporciones un poco diferente respecto a cada temple, esta disminución se debe al revenido de la martensita, al alivio de tensiones internas.

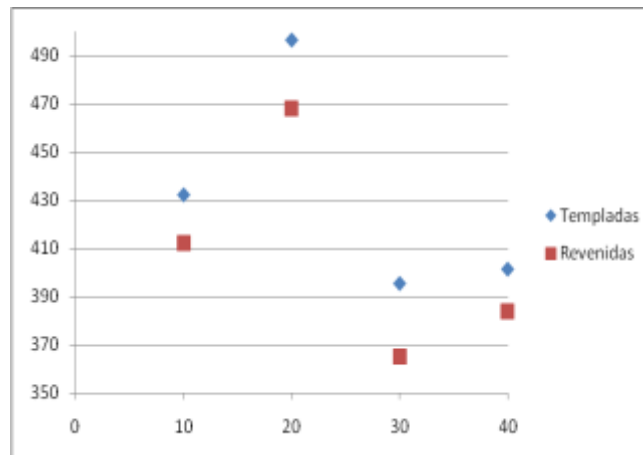


Figura 8. Efecto del revenido sobre cada una de las muestras templadas

Y lo que diferencia el efecto de un mismo revenido sobre diferentes temples es el tamaño de grano austenítico, que es mayor a más altas temperaturas, granos más grandes también sugieren menor cantidad de límites de granos y a su vez menores áreas expuestas a temperaturas más elevadas que posiblemente estuvieron parcialmente fundidas.

4. CONCLUSIONES

Se concluye que para el acero inoxidable martensítico AISI 420 es mayor el efecto sobre la microestructura y la dureza, ocasionado por la temperatura de austenización que por el medio de enfriamiento.

Que los revenidos a 200°C sobre los diferentes temples del acero AISI 420 causan una disminución de la dureza. Y que esta disminución es proporcional a la dureza

REFERENCIAS

1. VALENCIA, ASDRÚBAL. Tecnología del tratamiento térmico de los metales. Editorial Universidad de Antioquia. 1992. 630 p.

2. T. SOURMAIL, H.K.D.H. BHADSHIA. http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/2005/Stainless_steels/stainless.html
3. J. CAPÓ-SANCHEZ, PADOVESE, L.R., SERNA-GIRALDO, C.P, in II Congreso Nacional de Engenharia Mecânica. , João Pessoa, Brasil 2002.
4. Catálogo Bohler. <http://www.bohler.at/deutsch/files/downloads/M310DE.pdf>
5. S. YAKAMURA, FURUYA, Y. WATANABE, T, Acta materialia 2001, V 49, 3019.
6. R. O. Kuehl, *Diseño de experimentos Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación*, 2000.
7. Valencia A, Tecnología del tratamiento térmico de los metales, editoril Universidad de Antioquia, Medellin, 2009.
8. *Heat Treating*, Volume 4 of the *ASM Handbook*. ASM Handbook Committee. Copyright © 2002 ASM International®, pag 769-792
9. Reed, Robert. Principios de Metalurgia Física. Compañía Editorial Continental. México, 1974.
10. PORTER, D.A. and EASTERLING, K.E. Phase transformations in Metals and Alloys. Second edition. Chapman and Hall. London. 1993.
11. Viafara, Cristian y Vélez, Manuel. Transformación bainítica en aleaciones Fe-C. Revista Ingeniería y Ciencia, Vol 1 No. 2, septiembre de 2005.
12. Bhadeshia, H.K.D.H. The bainite Transformation: unresolved issues. Materials Science and Engineering A 273-275 (1999).
13. Putatunda, Susil; Singar, Arjun; Tackett, Ronald y Lawes, Gavin. Development of a High Strength High Toughness Ausferritic Steel. Materials Science and Engineering A 513-514 (2009), p. 329-339.
14. Navea, L.; Mannheim, R. y Garín, J. Transformación Martensítica mediante deformación en frío de fundiciones nodulares austemperadas. Revista de la Facultad de Ingeniería. Universidad de Atacama, Vol. 20 (2006), p. 21-26.
15. Smith. McGraw-Hill. Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales