

Efecto de las variables de proceso sobre la profundidad efectiva y la distribución de la dureza en un acero 8620 cementado

Efeito das variáveis de processo na distribuição efetiva da profundidade e dureza em um aço 8620 cementado

DOI:10.34117/bjdv9n3-139

Recebimento dos originais: 17/02/2023

Aceitação para publicação: 16/03/2023

Eduardo Daniel Jareño Betancourt

Doctorado en Ciencias de la Ingeniería

Institución: Programa de Ingeniería Mecánica - Universidad Autónoma de Zacatecas
Dirección: Jardín Juárez #147, Col. Centro Histórico, Zacatecas, Zacatecas, C.P. 98000,
México

Correo electrónico: ejareno@yahoo.com.mx

Salvador Gómez Jiménez

Doctorado en Ciencias de la Ingeniería

Institución: Programa de Ingeniería Mecánica - Universidad Autónoma de Zacatecas
Dirección: Jardín Juárez #147, Col. Centro Histórico, Zacatecas, Zacatecas, C.P. 98000,
México

Correo electrónico: jimenezs@uaz.edu.mx

Ana María Becerra Ferreiro

Doctorado en Ciencias de la Ingeniería

Institución: Programa de Ingeniería Mecánica - Universidad Autónoma de Zacatecas
Dirección: Jardín Juárez #147, Col. Centro Histórico, Zacatecas, Zacatecas, C.P. 98000,
México

Correo electrónico: aferreiro@uaz.edu.mx

RESUMEN

El acero SAE 8620 se utiliza para la fabricación de piezas que requieren una capa superficial endurecida. El proceso de cementado en caja es utilizado con esos fines. En el presente estudio se utilizó una mezcla carburante con 70 % de carbón vegetal y un 30 % de carbonato bórico y se modificó la secuencia del tratamiento térmico final. Se ensayaron tres intervalos de permanencia a la temperatura de cementado: 4, 6 y 8 horas. Se midió la microdureza de la capa cementada y se analizó la microestructura formada. La permanencia más efectiva de las ensayadas fue de 8 horas. Con esta se obtuvo una microdureza promedio de 994.75 HV a 0.8 mm de profundidad, mayor que las publicadas en trabajos anteriores. En la microestructura resultante se observa una disminución de la austenita residual, lo que favorece el incremento de la dureza de la capa cementada.

Palabras clave: cementación en caja, microdureza, acero 8620.

RESUMO

O aço SAE 8620 é utilizado para a fabricação de peças que necessitam de uma camada superficial endurecida. O processo de endurecimento da caixa é utilizado para estes fins. No presente estudo, foi utilizada uma mistura de combustível de 70% de carvão vegetal

e 30% de carbonato de bário e a seqüência final de tratamento térmico foi modificada. Foram testados três tempos de permanência à temperatura de carburantes: 4, 6 e 8 horas. A microdureza da camada cimentada foi medida e a microestrutura formada foi analisada. O tempo de permanência mais efetivo entre os testados foi de 8 horas. Isto deu uma microdureza média de 994,75 HV a 0,8 mm de profundidade, maior do que as publicadas em trabalhos anteriores. A microestrutura resultante mostra uma diminuição na austenita residual, o que favorece um aumento na dureza da camada cimentada.

Palavras-chave: endurecimento de caixas, microdureza, aço 8620.

1 INTRODUCCIÓN

La aleación SAE 8620 se utiliza en la fabricación de engranes y otros elementos mecánicos sujetos a grandes esfuerzos y que requieren una alta resistencia al desgaste en la superficie de contacto y conservar el núcleo tenaz. Para el uso de la aleación SAE 8620 en la fabricación de engranajes se requiere de tratamientos termoquímicos y térmicos para incrementar sus propiedades mecánicas. La cementación es un tratamiento termoquímico aplicada a estos efectos que consiste en calentar un determinado acero a temperaturas entre 900 y 980 °C con permanencia variable en un determinado medio cementante (sólido, líquido o gaseoso) que suministrará carbono a la superficie de la pieza, obteniendo así una capa superficial más resistente al desgaste y a la fatiga por contacto. Se han publicado varios estudios realizados sobre el cementado de la aleación 8620 con carburante sólido, pero los resultados reportados no son uniformes en cuanto a la distribución y a la cuantificación de la dureza [1-4]. Por tanto, se requiere continuar con el estudio de las variables que inciden en el resultado final de este proceso. Basados en las publicaciones anteriores que analizan los efectos de diferentes procesos de cementación sobre la microestructura y la distribución de la microdureza, en el presente estudio se analizó en específico el efecto de dos variables de proceso fundamentales durante la cementación en la distribución de la microdureza de la capa superficial: la permanencia a altas temperaturas y el ciclo térmico posterior. El resultado de la investigación indica, entre otros aspectos que la variabilidad de los valores de dureza reportados está relacionada con el tipo y parámetros de medición y con la homogeneidad microestructural resultante del tratamiento aplicado. Se obtuvieron valores de microdureza superiores a los publicados para esta aleación con cementación en caja, pero la profundidad de la capa cementada efectiva es similar a la publicada en otros estudios [1-4]. Por otro lado, el resultado obtenido indica que es probable que el enfriamiento lento después del cementado, antes del tratamiento térmico final, contribuya, junto con el

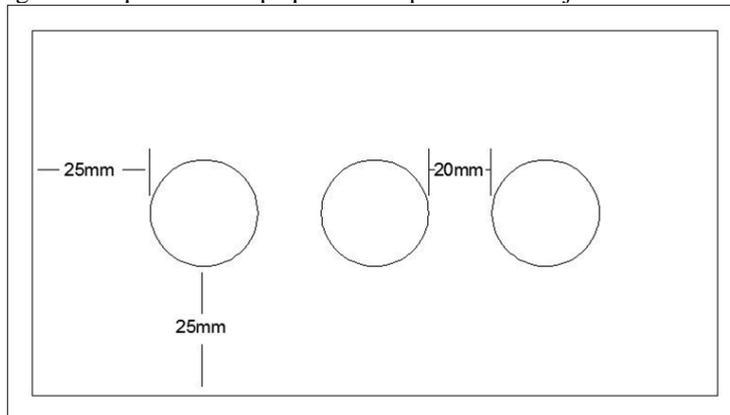
incremento en la permanencia a una menor cantidad de austenita retenida y con ello a un incremento de la dureza.

2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Se verificó que la composición química de las muestras correspondiera con la norma para el acero SAE 8620. Para esto se utilizó un equipo de espectrometría de absorción por chispa de la marca Bruker, modelo Q4 Tasman. Adicionalmente se midió la dureza HRC y se observó la microestructura de partida. La dureza se midió utilizando un durómetro analógico marca AFFRI, modelo 206RT. Las muestras a ensayar se obtuvieron cortando una barra cilíndrica de acero AISI 8620 de 25.4 mm en segmentos de 25.4 mm de largo. Se prepararon 3 muestras por cada permanencia a ensayar y se elaboró una adicional para verificar las condiciones de partida. Se utilizaron permanencias de 4, 6 y 8 horas a 950 °C. Se utilizó una mezcla carburante con 70 % de carbón de mezquite y 30 % de carbonato bórico.

Se fabricaron 3 cajas de metal con capacidad de 3 muestras por cada caja. Las muestras se colocaron en fila dentro de la caja de cementación elaborada con placas de acero de 6 mm (1/4 de pulgada) de espesor soldadas entre sí, Figura 1. En el fondo de la caja se deposita levemente compactado el carburante en una capa de 25-30 mm; sobre esta se colocan las muestras separadas 20 mm entre ellas y de las paredes de la caja a 25 mm; sobre y entre las piezas se coloca otra capa de carburante que se apisona ligeramente; y así sucesivamente se van colocando capas de carburante hasta que se llena la caja de cementación hasta arriba. Finalmente la caja se selló con una tapa elaborada del mismo material que el del resto de la caja.

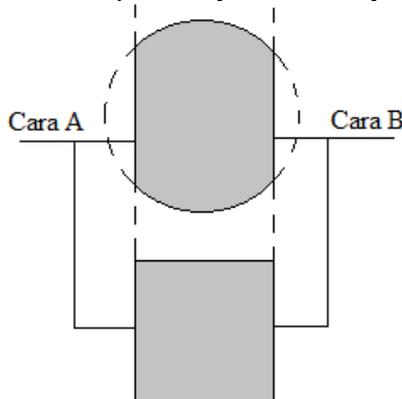
Figura 1 Esquema de empaquetado de piezas en la caja de cementación



En el ciclo térmico aplicado para la cementación, a diferencia de los publicados para cementación gaseosa en los que se transita desde la temperatura de cementación a la de temple en un paso [5], se enfrió lentamente desde la temperatura de cementación hasta la temperatura ambiente sin destapar la caja con las muestras y posteriormente se aplicó el tratamiento térmico de temple y revenido. Para el temple se elevó la temperatura de las nueve muestras en un lote hasta los 850 °C por 30 minutos enfriando bruscamente en aceite automotriz hasta la temperatura ambiente. Se aplicó un revenido a 230 °C por 20 minutos terminando el enfriamiento al aire. En todos los ciclos térmicos utilizados la temperatura de la mufla se controló comparando la temperatura digitalizada por el horno con las mediciones realizadas con un termopar inserto próximo a las cajas.

Las muestras fueron seccionadas para su estudio de acuerdo con el croquis que se presenta en la Figura 2. Se cortaron dos caras paralelas para realizar con mayor precisión la medición de la microdureza. En este caso, la cara A se utilizó para colocarse sobre el soporte del durómetro y sobre la cara B adecuadamente pulida se realizaron los ensayos de microdureza y el análisis microestructural.

Figura 2 Seccionado de muestras para ensayos de dureza y análisis microestructural



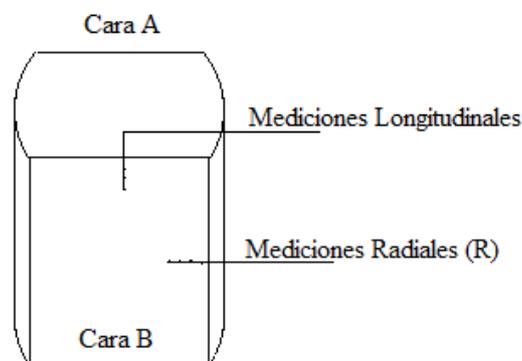
2.1 ANÁLISIS MICROESTRUCTURAL

Al tratarse de una aleación conocida, el análisis microestructural se basó en la comparación de las imágenes obtenidas por microscopía óptica con las publicadas por diferentes autores [1, 2, 6]. Se utilizó un microscopio óptico metalográfico marca Versament, modelo 3. Las muestras fueron atacadas con Nital al 1%.

2.2 MEDICIONES DE MICRODUREZA

Para la medición de la microdureza se utilizó el equipo marca Shimadzu, serie HMV-2. La microdureza se midió en sentido radial según se presenta en el esquema de la Figura 3 teniendo en cuenta que la involuta del perfil de los dientes de los engranajes es una secuencia de radios de curvatura. En la muestra con permanencia intermedia de seis horas se midió en el sentido longitudinal para observar el probable efecto de la orientación de los granos observados en la microestructura de partida producto a la dirección del laminado sobre la distribución de la microdureza y la profundidad de la capa cementada.

Figura 3 Esquema para las mediciones de microdureza



2.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la Tabla 1 se compara la composición química según la norma con la medida por espectrometría de absorción por chispa en el Laboratorio de la Maestría en Ciencias de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Los valores medidos corresponden aproximadamente con los valores normados, excepto por una variación de 0.004 % en peso por debajo del mínimo en los contenidos de carbono y de molibdeno. La dureza superficial promedio medida en el mismo Laboratorio resultó de 21 HRC, similar al valor máximo de 235 HBN señalados por el proveedor [7] (aproximadamente entre 20 y 22 HRC). No obstante, el resultado de la medición de la microdureza de partida es un valor de referencia para el análisis de los resultados y su valor exacto no es determinante sobre el resultado final del procedimiento aplicado debido a las modificaciones microestructurales que se producen.

Tabla 1 Composición química de la muestra de partida

| | C | Si | Mn | Ni | Cr | Mo |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Norma SAE | 0.17-0.23 | 0.1-0.4 | 0.6-0.95 | 0.35-0.75 | 0.4-0.6 | 0.15-0.25 |
| Medido | 0.166 | 0.290 | 0.776 | 0.422 | 0.578 | 0.146 |

2.4 MICROESTRUCTURA DE PARTIDA

En la Figura 4 se presenta una imagen de la microestructura de un acero de baja aleación de alta resistencia (0.2% de C) rolado en caliente formada por ferrita (color claro) y perlita (color oscuro) [6]. La muestra suministrada de acero SAE 8620 presenta una microestructura similar en cuanto a las fases que la forman y a la distribución de estas, Figura 5.

Figura 4 Microestructura de un acero de baja aleación (0.2% C), 200x [6]

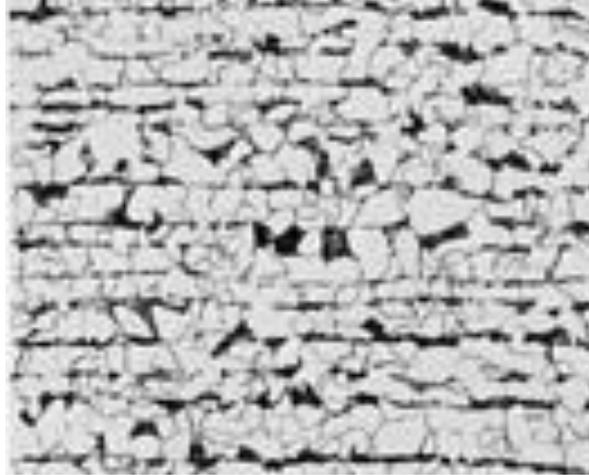
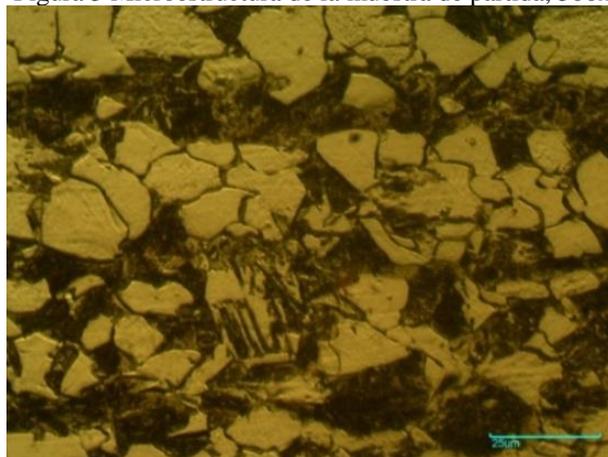


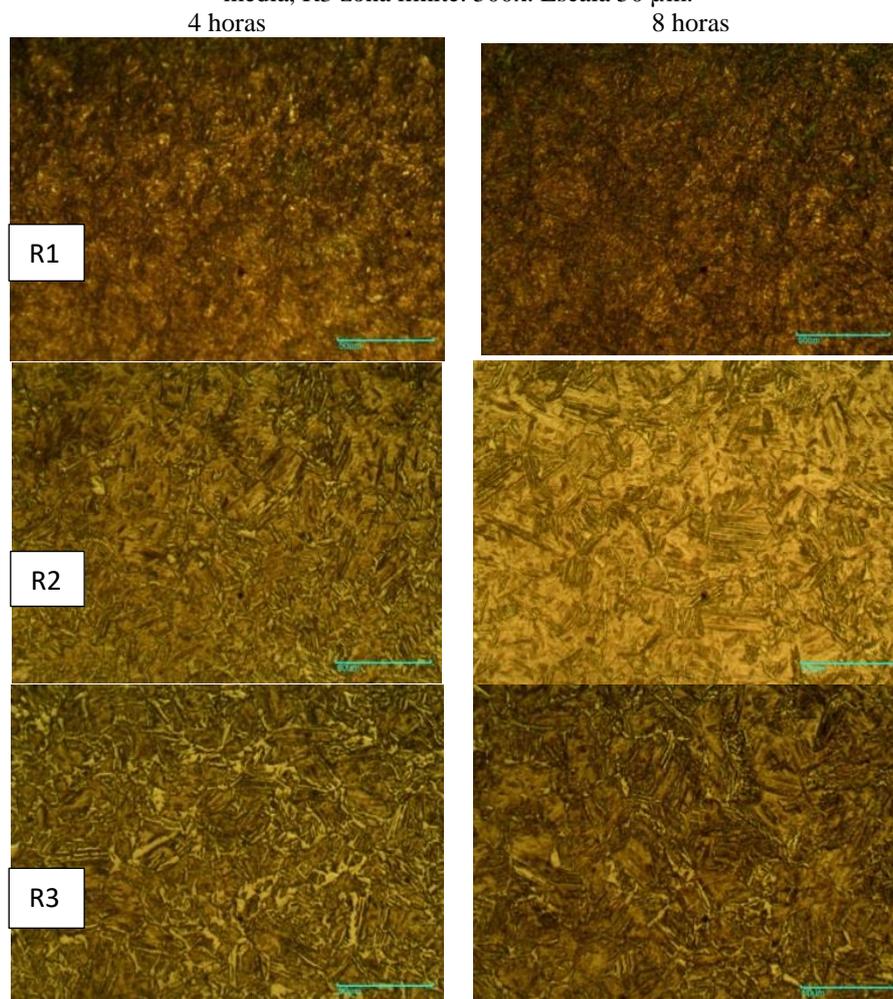
Figura 5 Microestructura de la muestra de partida, 500x



2.5 MICROESTRUCTURA DE LAS PIEZAS CEMENTADAS Y CON TRATAMIENTO TÉRMICO

En la Figura 6 se muestran fotomicrográficas de las muestras tratadas después de 4 y 8 horas de permanencia. La zona R1 se refiere al borde exterior, la zona límite R3 es donde se obtuvieron mediciones de microdureza de 500 HV y R2 es la zona media entre el borde y el límite.

Figura 6 Microestructuras de las muestras tratadas con permanencia de 4 y 8 horas. R1 borde, R2 zona media, R3 zona límite. 500x. Escala 50 μm .



En la zona R1 de la muestra con 4 horas se observa una mayor presencia de carburos (puntos blancos) que en la muestra a 8 horas. Por otro lado, en ambos casos, la estructura es mayormente de perlita y ferrita equiaxiales, siendo más compacta a 8 horas [1, 2]. En las regiones R2 y R3 se formó una microestructura compuesta por una matriz martensítica que presenta austenita retenida y bainita acicular (agujas de color oscuro) en la R2 de 4 horas. Se observa una mayor cantidad de austenita retenida en la muestra a 4

horas (placas en tono más claro) [2]. Este resultado es consistente con una publicación anterior en la que se cuantificó la cantidad de austenita retenida en función de la permanencia a la temperatura de cementado, siendo menor en la medida en que se incrementa este intervalo [5].

2.6 MEDICIONES DE MICRODUREZA

Tomando como referencia la Figura 3, en la Figura 7 se presenta la microdureza medida en sentido radial. A estos efectos se presentan los resultados de una muestra con permanencia de 6 horas por ser la permanencia intermedia y los resultados en este sentido ser similares en la otra dirección. Las mediciones de la microdureza se hicieron en Vickers con carga de 2.942 N (HV 0.3). Adicionalmente, el equipo utilizado digitaliza de manera directa la equivalencia en Rockwell C (HRC) hasta valores de 940 HV como máximo (68 HRC).

En la Figura 8 se presenta la imagen correspondiente de la zona cementada de la muestra 1 en sentido radial. Aproximadamente, hasta el punto de medición nueve se observa una microestructura modificada con una microdureza de 430 HV que contrasta con la microestructura formada en dirección al centro de la muestra. Algunos autores indican el espesor de la capa cementada según la microestructura característica del cementado [1]. Por ejemplo, se considera que la capa cementada se divide en tres zonas, una exterior con una microestructura hipereutectoide (perlita más cementita) una zona media eutectoide (perlita) y una tercera, más alejada de la superficie, hipoeutectoide (perlita más ferrita), considerando la profundidad de la capa cementada hasta la mitad de esta última [8]. En el caso de los engranajes se considera como dureza efectiva hasta donde la microdureza es de 500 HV [3], o 550 HV, aproximadamente 52 HRC según la norma ISO 6336 [9]. A efectos de este estudio, hemos considerado el criterio de la dureza efectiva a 500 HV. En la Figura 8 se observan los puntos de medición espaciados a 100 μm . Es posible apreciar cualitativamente que la microestructura en cada punto de medición es variable.

Figura 7 Imagen de la zona cementada en sentido radial con 6 horas de permanencia, 50x. Escala 200 μm

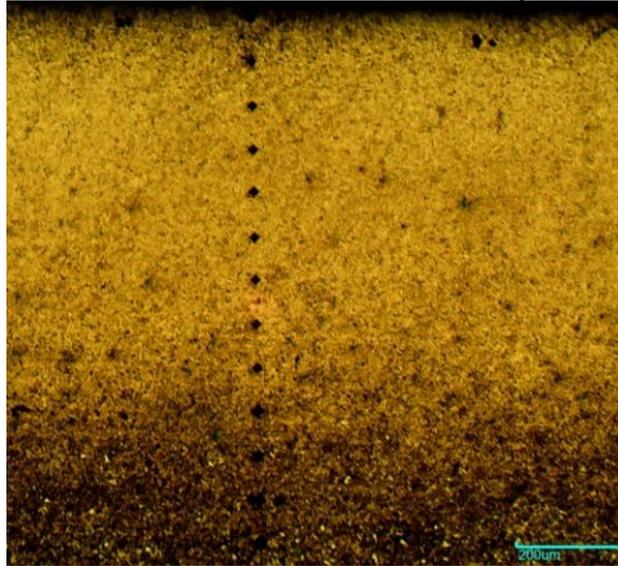
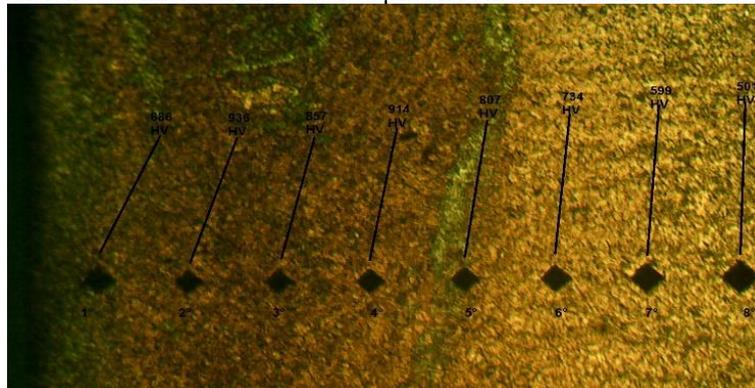


Figura 8 Mediciones de microdureza cada 100 μm en la muestra 1 con 6 horas de permanencia



2.7 RELACIÓN ENTRE LA MICRODUREZA Y LA PROFUNDIDAD DE LA CAPA CEMENTADA

En las Tablas 2, 3 y 4 se presentan los resultados de la microdureza medidos desde la superficie de las muestras. Se puede apreciar que estos no tienen una relación lineal decreciente desde la superficie al centro tal y como se publica en trabajos anteriores [1] donde las mediciones se realizaron en HBN o HRC. Independientemente a que existen tablas comparativas entre los diferentes métodos de medición de durezas, la forma y dimensiones del indentador, así como la carga aplicada implica diferencias en el resultado [10]. En este caso, al aplicar la carga de manera puntual sobre una microestructura no homogénea es probable que las mediciones se realicen sobre fases con propiedades físicas diferentes.

Tabla 2 Resultados de las mediciones de microdureza HV con permanencia de 4 horas

| Profundidad, mm | Muestra 1 | Muestra 2 | Promedio |
|-----------------|-----------|-----------|----------|
| 0.1 | 866 | 899 | 882.5 |
| 0.2 | 951 | 960 | 955.5 |
| 0.3 | 1031 | 980 | 1005.5 |
| 0.4 | 880 | 895 | 887.5 |
| 0.5 | 735 | 786 | 760.5 |
| 0.6 | 620 | 643 | 631.5 |
| 0.7 | 494 | 483 | 488.5 |

Tabla 3 Resultados de las mediciones de microdureza HV con permanencia de 6 horas. R-radial, L-longitudinal.

| Profundidad, mm | Muestra 1 | Muestra 2 R | Muestra 2 L | Promedio |
|-----------------|-----------|-------------|-------------|----------|
| 0.1 | 686 | 809 | 795 | 763.3 |
| 0.2 | 936 | 827 | 904 | 889.0 |
| 0.3 | 857 | 838 | 861 | 852.0 |
| 0.4 | 914 | 809 | 826 | 849.6 |
| 0.5 | 807 | 791 | 790 | 796.0 |
| 0.6 | 734 | 764 | 705 | 734.0 |
| 0.7 | 599 | 601 | 561 | 587.0 |
| 0.8 | 501 | 471 | 452 | 474.6 |

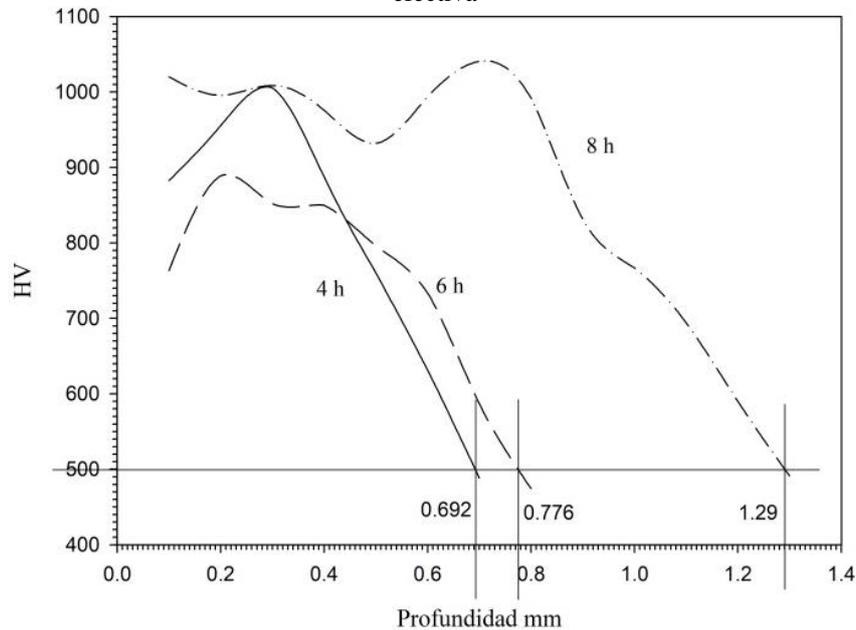
Tabla 4 Resultados de las mediciones de microdureza HV con permanencia de 8 horas

| Profundidad, mm | Muestra 1 | Muestra 2 | Promedio |
|-----------------|-----------|-----------|----------|
| 0.1 | 989 | 1051 | 1020.0 |
| 0.2 | 1012 | 979 | 995.5 |
| 0.3 | 1061 | 956 | 1008.5 |
| 0.4 | 1062 | 889 | 975.5 |
| 0.5 | 965 | 899 | 932.0 |
| 0.6 | 1015 | 974 | 994.0 |
| 0.7 | 934 | 1147 | 1040.5 |
| 0.8 | 886 | 1098 | 992.0 |
| 0.9 | 745 | 918 | 831.5 |
| 1.0 | 683 | 850 | 766.5 |
| 1.1 | 631 | 757 | 694.0 |
| 1.2 | 533 | 647 | 590.0 |
| 1.3 | 448 | 534 | 491.0 |

A partir de las Tablas 2, 3 y 4, en la Figura 9 se resumen comparativamente las mediciones promedio obtenidas de la microdureza con relación a la profundidad y a la permanencia. La línea trazada a 500 HV indica la profundidad de la capa cementada efectiva de acuerdo con la norma ASTM E384-84 [3]. De igual manera se podrían obtener esos valores si se considerara como profundidad efectiva una microdureza de 550 HV. La profundidad efectiva obtenida indica que la permanencia y los tratamientos térmicos aplicados no modifican este aspecto ya que los valores medidos son similares a los reportados en estudios previos [3, 5]. Pero los valores de microdureza obtenidos son superiores a las publicaciones consultadas que oscilan entre 750 y 800 HV [1, 3, 5, 10]. Considerando estos resultados podríamos resumir que la secuencia del tratamiento

térmico aplicado mejora la dureza de este material y que la profundidad está relacionada con la permanencia.

Figura 9 Curvas comparativas del efecto de la permanencia sobre la microdureza y la profundidad efectiva



Las fluctuaciones de las medidas de la microdureza para este material en las capas superficiales podrían estar asociadas a una distribución de fases no homogénea. Según un estudio anterior [2] se debe a la formación de una capa descarburada, y debajo de esta, a la variación del contenido de austenita retenida y de martensita aunado a la presencia de carburos intergranulares distribuidos irregularmente.

Adicionalmente, cuando se vaya a comparar el resultado de las mediciones de la microdureza obtenidos en un estudio con los resultados publicados anteriormente es necesario tener en cuenta la carga aplicada, ya que al variar esta se producen diferentes tamaños de huella. Una huella mayor puede abarcar diferentes fases y por tanto, medir la dureza resultante [10]. Con un menor tamaño de huella, las mediciones se realizan sobre fases en particular y próximo a la superficie hay una mayor cantidad de austenita residual y otras fases que interactúan. No obstante a ello, se debe considerar que en el comportamiento mecánico de un material incide la interacción de las fases que lo componen. De ahí que las mediciones de dureza para aplicaciones tecnológicas de estas aleaciones se debe de basar en métodos donde la huella promedia la dureza de las fases que la componen y los resultados indican una mayor estabilidad en las mediciones.

Por otro lado, la heterogeneidad microestructural se puede modificar con un mantenimiento isotérmico a la temperatura de formación de la bainita, pero con una consecuente disminución de la dureza [2]. No obstante a la variabilidad de las mediciones el valor promedio obtenido de la microdureza para la muestra con permanencia de 8 horas hasta la profundidad de 0.8 mm (994.75 HV) excede a lo publicado para este tipo de cementado en las que alcanza valores entre 750 y 806 HV [1, 4]. Por otro lado, la profundidad efectiva es similar a la de una publicación anterior [3].

Es probable que el enfriamiento lento después del cementado haya disminuido la cantidad de austenita sin modificarse antes del temple, siendo la austenita que se formó al elevar la temperatura nuevamente para el templado la que generó la martensita resultante. A su vez, de acuerdo con las publicaciones citadas, es posible que la disminución de la cantidad de austenita sin modificarse antes del temple haya generado una menor cantidad de austenita residual y con ello, el incremento en la microdureza [4, 5, 11].

3 CONCLUSIONES

Se obtuvo un patrón de microdurezas en la zona cementada fluctuante debido a la formación de una microestructura no homogénea. La microdureza promedio obtenida con 8 horas de permanencia a la temperatura de cementado hasta una profundidad de 0.8 mm es de 994.75 HV, mayor que las publicadas en trabajos anteriores independientemente a que la microestructura final no es homogénea y presenta austenita residual y ferrita. Esto implica que aún se pueden obtener mejores resultados a partir de una mayor homogeneidad microestructural. Por ejemplo: actualmente se experimenta con métodos de enfriamiento por debajo de la temperatura inferior de la transformación martensítica para eliminar la austenita residual y sus efectos adversos para la dureza. La profundidad efectiva de la capa cementada es similar a la obtenida en trabajos anteriores.

REFERENCIAS

- [1] R. Ayala Rodríguez, Experimentación y valoración de la influencia de los elementos de aleación en la resistencia al desgaste de la capa dura en un proceso de cementación sólida. Tesis Maestría IPN (2006).
- [2] G. F. Vander Voort, Gabriel M. Lucas, Heat Treating Progress (2009)
- [3] G.A. López-Huape, A. López-Ceja, Rev. Metal. Madrid, (1996) 32 (4)
- [4] M. Munza, Effect of boron addition and retained austenite on the mechanical properties of high strength low alloy (HSLA) SAE 8620 steel, Master Degree Thesis (2014)
- [5] O. ASİ, A.K.Ü. Uşak Müh. Fak. M. Müh, G.U. Journal of Science (2004) 17(4):103-113
- [6] ASM Handbook Vol. 9, Metallography and Microstructures, ASM International (1998)
- [7] <https://www.aceroslevinson.com/>
- [8] A. Malishev, G. Nikolaiev, Yu Shuvalov, Tecnología de los Metales (4ta ed.). Moscú: Editorial Mir (1975)
- [9] G. González Rey, Ingeniería Mecánica 2, C. Habana: Ediciones ISPJAE (1999)
- [10] D.I. Feldiorean, M.H. Tearean, Recent (2018) Vol. 19, no. 2(55)
- [11] D. H. Herring, IndustrialHeating.com, (Marzo 2005)