

# Dureza efectiva de una capa cementada en una atmósfera endotérmica a partir de metano, en aceros de bajo carbono

Effective hardness of a cemented layer in an endothermic atmosphere from methane in low carbon steels

Andrés Ortiz Cárdenas<sup>1</sup>, Carlos Alberto López<sup>2</sup>  
 Corporación Eco-eficiente, Medellín, Colombia  
 aortiz@forjasbolivar.com  
 clopez@corpoeco.org

**Resumen—** En el presente trabajo se presenta un procedimiento para evaluar la dureza efectiva en la capa cementada, en dos tipos de aceros AISI/SAE 8620 y 1020 en los que se requiere asegurar una dureza de 57 a 62 HRC hasta una profundidad superior a 0.7 mm. El procedimiento propuesto fue corroborado y complementado con análisis metalográfico.

**Palabras clave—** atmósfera endotérmica controlada, cementación, dureza Rockwell, martensita.

**Abstract—** In the present study is evaluated the effective hardness of a cemented layer treated in endothermic controlled atmosphere of methane, in two types of steel AISI / SAE 8620 and 1020 ensuring a hardness of 57 to 62 HRC at the surface and remains constant above 0.7 mm, is this the maximum adjustment between two moving parts such as bushings, pins and rollers, which in a drive chains are those that are subject to greatest abrasion wear

**Key Word —** carburizing endothermic controlled atmosphere, Rockwell Hardness, , martensite.

## I. INTRODUCCIÓN

Los aceros que se someten a procesos termoquímicos como la cementación, por lo general tienen un contenido máximo de 0.25%, en peso de carbono, en este trabajo se han evaluado dos de esos aceros con igual porcentaje de carbono (0.18-0.23% 4n peso de carbono) y diferente contenido de elementos de aleación; los aceros seleccionados fueron: el acero AISI/SAE 8620, un acero para cementación aleado con Cromo-Níquel-Molibdeno para cementación de aceptable templabilidad, que en el estado cementado y templado ofrece buena dureza

superficial y tenacidad en el núcleo; y el aceros AISI/SAE 1020, un acero simple al carbono que se utiliza para la fabricación de piezas estructurales o de maquinaria de mediana resistencia y buena tenacidad, puede utilizarse cementado templado y revenido o simplemente calibrado[1][3].

La profundidad de capa cementada en estos aceros es toda aquella sección que, desde la superficie hacia el centro, tiene un mayor porcentaje de carbono comparado con su composición química original; sin embargo, no toda la capa enriquecida en carbono, al ser templada, adquiere la dureza esperada, que para el caso de muchas industrias es de 88.9 a 91.4 Rockwell superficial 15N (57 a 63 HRC), esta condición se puede alcanzar si se consiguen una de las siguientes condiciones; con transformación con 80% de martensita en una capa cementada con un contenido de carbono de 0.7% en peso, o transformación de martensita del 95% para una capa cementada con contenido de Carbono de 0.5% en peso[5]. Estas condiciones se requieren para ofrecer una adecuada resistencia a piezas que en la industria serán sometidas a condiciones de desgaste por abrasión.

En sistemas que requieren ajustes precisos como rodillo-buje, bujes-pasador donde la holgura permisible en el ajuste es de máximo hasta 0.7 mm en diámetro, se requiere entonces asegurar que la capa efectiva conserve su dureza como mínimo hasta esa profundidad; para lo cual el tratamiento de cementación se diseña de tal manera que las piezas adquieran una capa cementada en el rango de 1 a 1.5 mm radial, en la que la profundidad capa dura oscila entre 47% y 70% de la profundidad de la capa enriquecida en carbono. De esta manera se pretende asegurar que en las piezas ensambladas, la capa dura sobrepase la holgura permitida para el ajuste seleccionado (0,7mm) y por tanto que el cambio de las piezas no se produzca por defectos en el tratamiento térmico.

Este artículo describe un método para inspeccionar la capa dura efectiva y predecir el porcentaje de carbono contenido en la

<sup>1</sup> Ingeniero de Materiales, Ingeniero de proyectos

<sup>2</sup> Ingeniero metalúrgico, M. Sc. , Director de proyectos

martensita [5], a su vez este resultado se refuerza con un análisis metalográfico de la capa cementada.

## II. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### A. Materiales

Se utilizaron probetas cilíndricas de dos tipos de aceros cuyas especificaciones y dimensiones se muestran en la Tabla 1. Como ya se mencionó, los aceros seleccionados con comúnmente utilizados en la fabricación de piezas como bujes, piñones, pasadores y rodillos, con exigencias en profundidad de capa total hasta de 1.2 mm. [6]

Aceros AISI/SAE	Diámetro en milímetros	Longitud en milímetros
1020	17.8	180
8620	23.8	150

Tabla 1. Dimensiones de las probetas

### B. Tratamiento térmico.

El tratamiento térmico fue realizado en la planta de la compañía Forjas Bolívar S.A., donde el proceso de cementación se realiza en medio gaseoso con atmósfera endotérmica craqueada a partir de metano[7], la planta de tratamientos térmicos esta compuesta por hornos y equipos verticales de pozo tipo “batch” (discontinuos); con una capacidad máxima de carga de 400kg, también cuenta con una sonda zirconia, la cual permite realizar una medición directa del potencial de carbono que contiene la atmósfera interna del horno de cementación.

Los parámetros con los que se realizaron los tratamientos en la planta se describen en la siguiente tabla 2:

Tratamiento	Temp °C	tiem (min)	% C	Temp Aceite
Cementación	930	60	1	45
	930	60	0,9	
	930	120	0,8	
Temple	800	60	0,5	
Revenido	180	120		

Tabla 2. Variables del proceso

### C. Preparación de las muestras

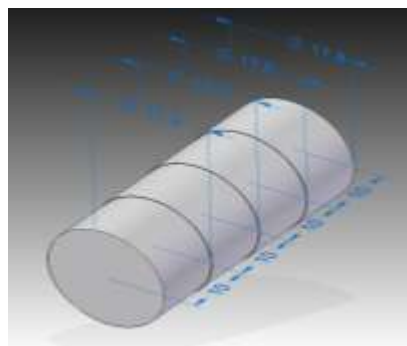
Las probetas fueron cilindradas en un torno CNC Leadwell LTC25IL, luego se le realizó un rectificado para obtener las dimensiones mostradas en la tabla 1.

### D. Procedimiento de inspección

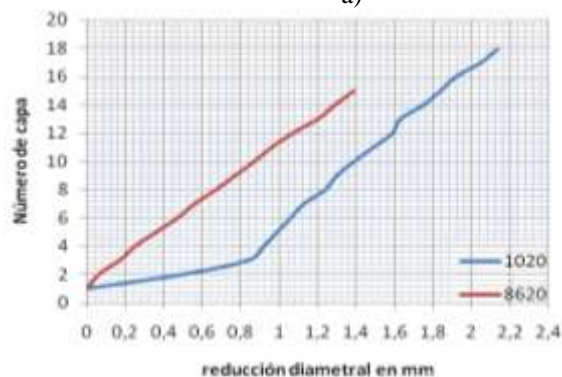
Después de haber realizado el tratamiento térmico en las

probetas y a lo largo de toda la longitud se rectificó el diámetro a una profundidad promedio de 0.1mm cada 10mm de longitud en una rectificadora sin centros Estarta 310; en la figura 1 se observa los datos reales del maquinado.

El procedimiento para la toma de dureza se hizo según la norma ASTM E18-05-1[8] para durezas Rockwell, las indentaciones se hicieron en diferentes partes de la superficie maquinada, se realizaron 5 tomas de durezas Rockwell superficial 15N en cada capa, en un durómetro marca Instrom tipo Rockwell RB2003 con sistema electrónico de control.



a)



b)

Fig. 1a-b-). Maquinado posterior cada 10 mm

### E. Ensayo metalográfico

El análisis metalográfico se realizó con el fin de complementar los datos obtenidos a través del ensayo de dureza, se hizo mediante la técnica tradicional de pulido hasta superficie espejo y posterior ataque químico para revelar la microestructura, el reactivo utilizado fue Nital al 0.5%, las muestras templadas se cortaron con disco diamantado, antes de realizarle el rectificado posterior de cada capa.

## III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### A. Análisis metalográfico

En la figura 2a) se observa una microestructura compuesta principalmente por martensita, de la misma manera se puede ver que el centro de la muestra está constituido principalmente por

martensita bruta con cantidades apreciables de perlita y carburos 2b). Por otro lado en la figura 2c) se observar la capa cementada la cual está constituida principalmente por martensita fina, igualmente se puede observar la interfase entre la capa cementada y el centro de la muestra, en la cual se observa la formación de perlita en una matriz de martensita y la formación de ferrita widmanstatten. En la figura 2d) se observa el centro de la muestra, donde aparece una microestructura conformada principalmente por martensita con contornos de grano de ferrita widmanstatten.

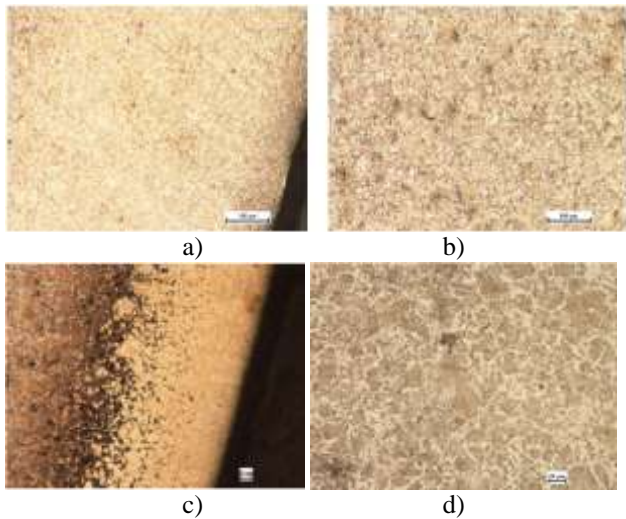


Fig. 2. Metalografías acero AISI/SAE a-b) 8620, c-d) 1020

El tratamiento térmico fue diseñado para un temple único posterior a la cementación sin afinamiento de núcleo, al templear desde esta temperatura (800°C) se buscaron dos resultados principalmente: martensita muy fina en la capa externa con la máxima dureza y poca cementita; y segundo la temperatura de temple es insuficiente para la austenización del núcleo bajo en carbono como se observa en las anteriores micrografías, en éste la estructura resulta basta, con ferrita gruesa sin transformar y con bajas propiedades mecánica, por esto el objeto de estudio para este trabajo es solo la capa cementada[9].

**B. Ensayo de dureza**



a)



Fig. 3. Durezas de las probetas a) 8620, b) 1020

Las figuras 3a y 3b muestran los valores promedio de 5 indentaciones realizadas para cada capa rectificada Vs. la reducción en diámetro a través del rectificado de forma diametral; en la figura 3a) se muestra que para una reducción de capa de 0.7 mm presenta el mayor valor de la dureza 91.62 HR15N, de igual manera para la probeta de AISI/SAE 1020 donde para la misma reducción de capa presenta un valor de la dureza de 91.28 HR15N.

Por otro lado, en ambas probetas hay una tendencia inesperada de aumentar la dureza al interior de la capa cementada, esto se puede atribuir al hecho de que las dos últimas horas del proceso de cementación se redujo el potencial de carbono, con el fin de evitar la presencia de redes de cementita o de carburos que pueden hacer frágil la capa cementada y con tendencia a descascarillarse, por esto la martensita interior de la capa puede presentar un mayor porcentaje de carbón e incrementar la dureza de la misma como se muestra en la gráfica de la figura 4 obtenida de la referencia[5], otro posible efecto de reducir el potencial de carbono, es que se puede generar una “descarburación” en la superficie, lo que ha generado la reducción de dureza:

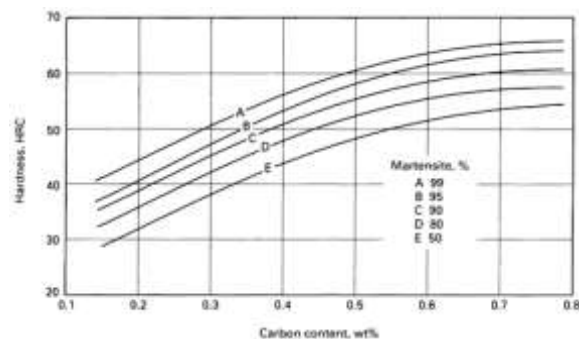


Fig.4 Relación entre la dureza, el contenido de carbono y la cantidad de martensita [5].

#### IV. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

Los resultados aquí presentados sugieren que la capa efectiva presente en la profundidad total de capa cementada en estas probetas, se conserva en los 0.7mm que son los límites permisivos para la holgura entre piezas que están en movimiento relativo y requieren una buena resistencia al desgaste por abrasión.

La dureza promedio obtenida para el acero 8620 es de 89.85 HR15N (58.5HRC) y para el 1020 es de 91 HR15N (62 HRC); en ambos casos se puede atribuir entonces una transformación mínimo de 95% martensita y con un contenido de carbono mínimo de 0.7% de carbono.

Se requiere entonces realizar nuevamente el procedimiento con mayor número de piezas con un manejo estadístico adecuado y, de ser posible, realizar un barrido de microdurezas en la sección transversal.

El proceso de cementación bajo atmósfera gaseosa controlada endotérmica, comparado con la cementación en estado sólido y líquido es el único que permite controlar el potencial exacto de carbono.

El método propuesto para reducir el diámetro del redondo de manera sucesiva, parece ser adecuado para ser aplicado a escala industrial por su versatilidad; este método podría extrapolarse a otras geometrías axisimétricas como platinas, barras cuadradas, entre otras.

#### REFERENCIAS

- [1] SAE J404 *Chemical Compositions of SAE Alloy Steels*, SAE standard, junio, 2000.
- [2] SAE J403 *Chemical Compositions of SAE Carbon Steels*, SAE standard, noviembre, 2001.
- [3] Compañía General de Aceros S.A. *Catálogo técnico*, octubre, 2005.
- [4] Bohler. *Manual de aceros*, 2000.
- [5] ASM International. *Metals Handbook*, 9th edition, vol. 4, pgs 30 – 34, Metals park: ASM international, 1998.
- [6] Aparaz Barreiro J. *Tratamientos térmicos de los aceros*. Editorial Dossat S.A. 8º Edición. 1984. Pgs. 324 a 335.
- [7] Aichelin-Stahl Inc., *Lesson's Summit, Principles and use of Endothermic atmosphere*. 17th ASM
- [8] ASTM E18-05-1. *Standard Test Method for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials*, ASTM standard, 2001.
- [9] A. Valencia Giraldo. *Tecnología del tratamiento térmico de los metales*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia, 2009. Pgs.335 – 365.
- [10] G. Krauss, *Steels processing, structure and performance*, 1<sup>st</sup> ed., Materials Park: ASM, 2005.
- [11] M. A. Grossman, E.C. Bain. *Principios de tratamientos térmicos*. Editorial Blume. 1972
- [12] G. E. Totten, *Steel heat treatment handbook*, 2<sup>nd</sup> ed., Boca Raton: CRC, 2006.
- [13] L. F. Rueda. *Tratamientos termoquímicos para endurecimiento superficial del acero*. Medellín: Centro metalmeccánico SENA Regional Antioquia, 2002.
- [14] ASM International. *Metals Handbook*, 9th edition, vol. 9, Metals park: ASM international, 1998.
- [15] F. Franco, J.H. Paz. *Tratamientos térmicos de aceros de bajo carbono en horno de atmósfera controlada*. Volumen 6 No. 2. Diciembre 2004
- [16] H.Sierra, D.M. Tobón. "Resistencia a la abrasión vs. resistencia al impacto del acero AISI 15B30, templado + revenido". *Revista Dyna*, Año 74, Nro. 153, pp. 125-133. Medellín, No