

# Relación entre la estructura en estado recocido del acero grado construcción y las propiedades mecánicas después de un tratamiento térmico final

Józef Wójcik\*, Eduardo Rincón Mejía\*, Alberto A. Domínguez Gómez\*

Recepción: 7 de junio de 2006

Aceptación: 7 de diciembre de 2006

\*Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México.

Correo electrónico: jwf@uaemex.mx,

jozefwf@yahoo.com.mx

**Resumen.** En esta investigación se analizó la influencia de diferentes estructuras obtenidas en el proceso de recocido para la vida útil de los elementos finales (baleros). Se observó, con base en los resultados, que existe una estrecha relación entre las estructuras (tamaño de carburos) en estado recocido y las propiedades mecánicas de elementos finales después del temple y revenido.

**Palabras clave:** microestructura, cementita, austenita, carburos.

**Influence of de Size of the Annealing Carbons in Steel for Ball Bearings in Relation with Stabilization of Diameters and Mechanical Properties after the Final Thermic Treatment**

**Abstract.** In this investigation the influence was analyzed of different structures obtained in the annealing process for the useful life of their final objects (bearing). It was observed that there exists a strong relationship between the structures in the annealing state (size of the carbides) and the mechanical properties of the final components after the heat treatment.

**Key words:** microstructure, cementite, austenite, carbides.

## Introducción

Los aceros son las aleaciones metálicas más importantes y más utilizadas por sus buenas propiedades, como son: gran plasticidad y maleabilidad a elevadas temperaturas, alta resistencia al desgaste, etc. Este material, a través del tratamiento térmico, puede lograr excelente maquinabilidad, así como buenas propiedades mecánicas, que se caracterizan por alta dureza, alta resistencia y tensidad, dando finalmente una vida muy prolongada de los elementos de construcción en función del tiempo de trabajo. En esta investigación se analizó la influencia de las estructuras obtenidas a través de los diferentes procesos de recocido para las propiedades de unas piezas fabricadas

(baleros). Se observó, con base en los resultados, que existe una estrecha relación entre las estructuras (tamaño de carburos) en estado recocido y las propiedades de piezas fabricadas de elementos finales después de temple y revenido.

## 1. Materiales y procedimiento experimental

Este artículo presenta el análisis del acero grado construcción tipo 52100 para rodamientos según la norma ASTM-A535- 79 cuya composición química se presenta en la tabla 1 (Wójcik, 2002; Luty, 1996; Tadeusz, 2002).

Para el análisis del problema se preparó una colada del acero 52100. Después de la laminación, el material fue

dividido en tres partes con el propósito de preparar distintas estructuras de diferente forma y dispersión de los carburos en estado recocido. Las microestructuras en estado recocido, así como en estado templado y revenido pueden ser observadas en el anexo (cuadros 1 y 2).

## 2. Resultado

Con base en los resultados obtenidos según las diferentes tecnologías de recocido se puede decir que la forma y dispersión de los carburos que se obtuvo tiene gran influencia en los parámetros de dureza, tamaño del grano (austenítico) y composición química de la austenita y es finalmente uno de los principales factores para la cinética del proceso de austenitización. Presentando la influencia de diferentes microestructuras del mismo acero para resultados finales, después del temple y revenido se debe mencionar que el acero tipo 2100 en estado recocido tiene de 16.03 a 16.40% de los carburos, los cuales contienen 9% Cr, mientras la matriz ferrítica contiene solamente 0.2% Cr y 0.03% C. Después del temple desde la temperatura de 850 °C durante 30 min

Tabla 1. La composición química de acero, de acuerdo con la norma ASTM

	Composición química							
	C	Mn	Si	Cr	P	S	Ni	Cu
Colada								
Nº 13028	1.1	0.3	0.31	1.34	0.017	0.015	0.16	0.1

Tabla 2. Cantidad de los carburos en estado recocido y templado dependiendo del grado de dispersión

Nº de probeta	Vp 100 (%) de volumen	
	% de volumen de los carburos en estado recocido	% de volumen de los carburos en estado templado
3036	16.034	8.6
3037	16.4	8.7
3038	16.2	8.22

Tabla 3. Dureza HB del material en estado recocido y estado templado HRC

Colada Nº 13028			
Estado del material	Grupo de los materiales	Dureza de los grupos en estado:	
<b>Recocido</b>	3036 - RI	HBmin - 197	HBmax - 201
	3037 - RII	HBmin - 187	HBmax - 197
	3038 - RIII	HBmin - 174	HBmax - 183
<b>Templado y Revenido</b>	3036 - HI	HRCmin - 61	HRCmax - 62
	3037 - HII	HRCmin - 61	HRCmax - 61.5
	3038 - HIII	HRCmin - 60.5	HRCmax - 61.5

R = Material en estado recocido; H = Material en estado templado y revenido.  
 Grupos en estado recocido: 3036-RI = Estructura de cementita globular muy fina; 3037-RII = Estructura de cementita globular fina y 3038-RIII = Estructura de cementita globular gruesa.  
 Grupos en estado templado y revenido: 3036-HI = Estructura de cementita globular muy fina; 3037-HII = Estructura de cementita globular fina y 3038-HIII = Estructura de cementita globular gruesa.

de austenización, la cantidad de los carburos tienen un valor aproximado de 8.6%, que se presenta en la tabla 2.

Los resultados de la medición de la dureza del acero en los tres grupos, tanto en estado recocido como templado y revenido, son presentados en la tabla 3.

En la tabla 4 se muestran las cantidades de austenita residual obtenidas de las pruebas del acero grado construcción con diferentes estructuras en estado recocido templadas desde 850 °C y revenidos en 150 °C durante 2 horas.

Como se observa, con base en los resultados podemos decir que la estructura de la materia prima en estado recocido influye en la cantidad de austenita residual, después de temple y revenido.

La forma ilustrativa de la influencia de la austenita residual a la temperatura ambiente para estabilidad de diámetros se presenta en la figura 1.

La cantidad de austenita residual que garantiza la estabilidad de diámetros en las temperaturas de trabajo bajo cero, después de temple y revenido, se presentan en la tabla 5.

## 3. Discusión

La estructura y forma de los carburos en estado recocido tiene influencia principal para la homogeneidad de la austenita, proceso de templabilidad, la cantidad de austenita residual después del tratamiento térmico final y estabilidad de diámetros.

Considerando el análisis sobre la influencia de dispersión y forma de los carburos en estado recocido, se puede decir que las estructuras con alto grado de dispersión, aunque aumentan la cantidad de austenita residual, nos propone la obtención de elementos con dureza por arriba de 60 HRC, así como con grano muy fino (ver tabla 6). Estos parámetros garantizan la gran resistencia a la fatiga.

Para analizar la resistencia a la fatiga de las probetas del acero tipo 52100 primero fueron templadas y revenidas con los parámetros siguientes que cuya representación se muestra en la figura 2:

- Calentamiento t1-200 °C, tiempo: 15 minutos.
- Calentamiento t2-680 °C, tiempo: 12 minutos.
- Calentamiento t3-850 °C, tiempo: 18 minutos.
- Enfriamiento t4- 40 °C-70 °C, tiempo: 15 minutos.
- Revenido t5-160 °C, tiempo: 180 minutos.
- Revenido bajo (estabilización de diámetros) t6-140 °C, tiempo: 360 minutos.

Después del tratamiento térmico y rectificado, las probetas fueron sometidas a análisis de prueba de fatiga.

La probabilidad de fatiga se analizó utilizando distribución de Weibull, según ecuación dada.

**Tabla 4.** Cantidad de austenita residual después de temple y revenido dependiendo de la microestructura en estado recocido

Tipo de la estructura	% de cantidad de la austenita residual
a) Estructura de cementita globular fina	14%
b) Estructura de cementita globular gruesa	8%
c) Estructura de cementita globular y perlita	18%

$$F(t) = 1 - e^{-(t/T)^k}$$

Donde:

$F(t)$  = Probabilidad de que la probeta muestre su fatiga en el tiempo  $t$

$k$  = Parámetro que caracteriza los valores del material

$T$  = Parámetro que caracteriza los valores de construcción

$t$  = Tiempo

Los resultados preparados estadísticamente a partir de la fórmula de Weibull (Wójcik, 2002) se presentan en la tabla 7 y en la figura figura 3.

### Conclusiones

Como resultado de esta investigación se puede decir lo siguiente:

1. Existe una estrecha relación entre el grado de dispersión de los carburos en estado recocido y la dispersión de la estructura martensítica, que se presenta en los grupos de fotografías 1 y 2.
2. Los materiales con carburos muy finos tienen alto grado de saturación con carbono y cromo, lo que finalmente aumenta propiedades mecánicas (Wójcik, 2002).
3. La estructura de materia prima con carburos finos presenta mejor estabilización de diámetros en función del tiempo, tanto en temperaturas bajas como en medio ambiente.
4. Los materiales que tienen alto grado de dispersión de los carburos en estado recocido, nos da después de temple y revenido, grano más fino aumentando las propiedades de la fatiga hasta cuatro veces (Wójcik, 2002).
5. Como se observa en las fotografías de las probetas tanto en estado recocido como en templado y revenido se puede concluir que estructuras finas iniciales nos dan estructuras con carburos muy finos después de las últimas operaciones de temple y revenido, aumentando por lo mismo las propiedades mecánicas.

**Tabla 7.** La influencia del grado de dispersión de los carburos en la duración del trabajo de los cojinetes

Estado del material	Grupo del material	Diámetro medio de los carburos (mm)	Duración convencional $L_{10}$ min / %	Duración media $L_{50}$ Min / %	Diámetro medio grano austenítico (mm)
Templado y revenido	H1	$11 \times 10^{-4}$	117.13/393	232.64/325.7	0.0170
	H2	$14.5 \times 10^{-4}$	79.86/267	165.63/241.2	0.0265
	H3	$16.2 \times 10^{-4}$	29.87/100	68.67/100	0.0310

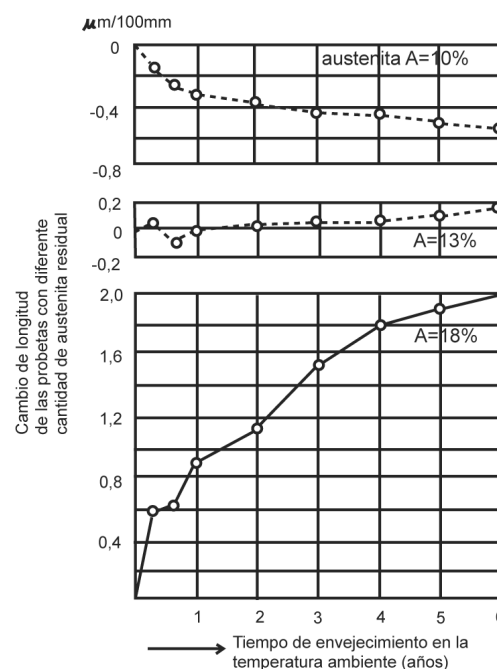
**Tabla 5.** Cantidad de austenita residual con cambios aceptados de diámetros. ( $1 \times 10^{-5}$  mm/mm). Acero templado y revenido a 150 °C – 2 Hrs

Material	Temperatura del temple en aceite °C	% de austenita residual estable		
		-50 °C	-200 °C	Temp. Ambiente durante 5
Acero	840	14	10	10
52100	860	16	14	15 años

**Tabla 6.** Tamaño de grano de austenita en función de la forma de la cementita

Estado del material	No. de probetas según estructuras	Tamaño del grano de austenita según ASTM	Promedio del diámetro de grano austenítico (mm)
Templado y Revenido	3036-HI cementita muy fina	9/8	0.017
	3037-HII cementita media	7/8	0.0265
	3038-HIII cementita gruesa	7	0.031

**Figura 1.** Cambio de longitud de las probetas del acero grado construcción tipo 52100 con diferente cantidad de austenita residual [6]



Las probetas después de temple y revenido fueron estabilizadas en la temperatura de 120 °C, durante 90 horas.

**Bibliografía**

Askeland, D. R. y P. P. Pradeep (2006). *The science and engineering of materials*. Ed. Thomson.

Butnicki, S. (1991). *Spawalnoce i kruszace stali*. Ed. W.N.T., Warszawa, Polonia, pp. 55 – 309.

Dobrzanski, L. A. (2002). *Metalożnawstwo z Podstawami nauki o materialach*. Ed. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Gilwice-Warszawa Polonia, pp. 601-604.

Lajtin, Y. M. (1985). *Metalografía y tratamiento térmico de los metales*. Ed. Mir, Moscú, pp. 317-318.

Liebmann, G.(2003). *Beeinflussung der Funktionstüchtigkeit gehärteter Bauteile aus niedriglegierten Werkzeugstählen durch unterschiedliche Restaustenmengen*. Neue Hütte.

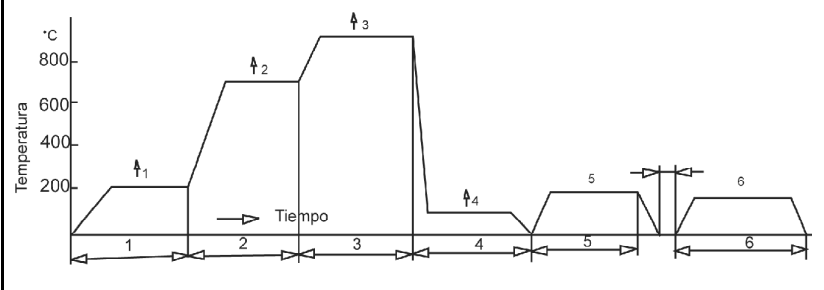
Luty, W. (1996). *Stale Łożyskowe*. Ed. W.N.T., Warszawa, Polonia, pp. 27-278.

Shackelford, J. F. (1998). *Ciencia de los materiales para ingenieros*. Ed. Prentice Hall, Español.

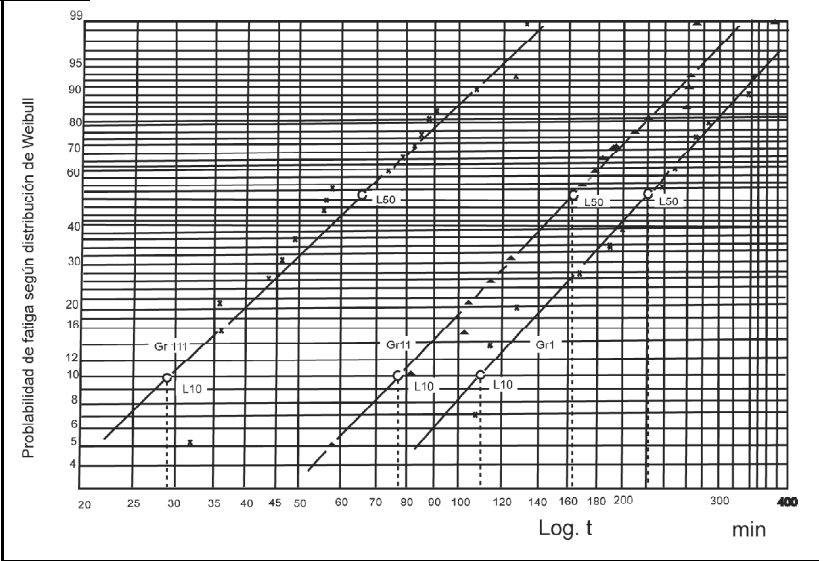
Szucki, T. (2002). *Inżynieria materiałowa*. Ed. O.P.W.W.- Warszawa, Polonia, p. 260.

Wójcik, J. (2002). *14<sup>th</sup> Rolling Conference IA S*. San Nicolás. Argentina. Ed. Amalevi, Mendoza, Rosario-Santa Fe, pp. 229-238.

**Figura 2.** Los parámetros del tratamiento térmico de las probetas del acero tipo 52100



**Figura 3.** Diagrama de fatiga en función del tiempo de trabajo

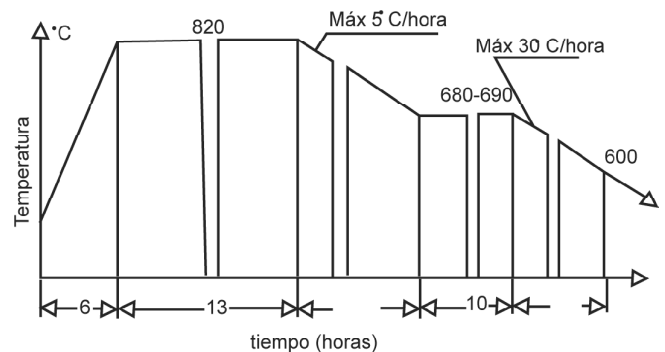
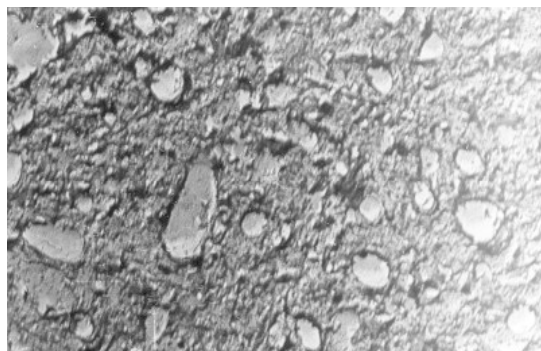


**Anexo**

**Tecnologías del recocido para obtener diferentes estructuras**

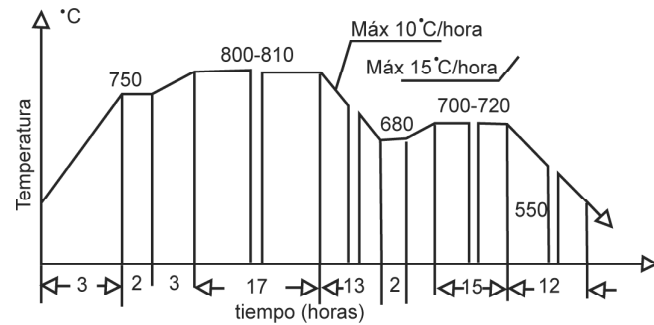
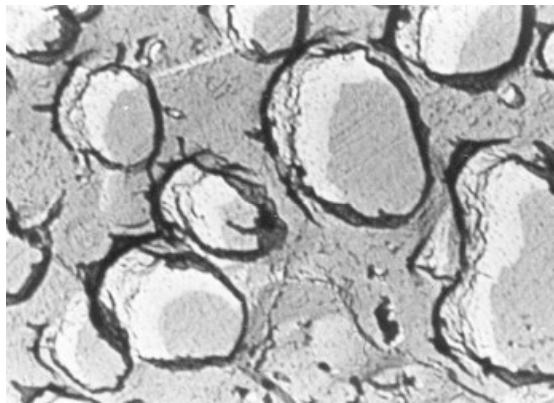
**Cuadro 1.** Grupo de fotografías 1) Las microestructuras en estado recocido R (con un aumento de 5,000 x-microscopio electrónico). Obtenidas con base en diferentes tecnologías

a) Tecnología de recocido para obtener una estructura de los carburos finos Grupo RI

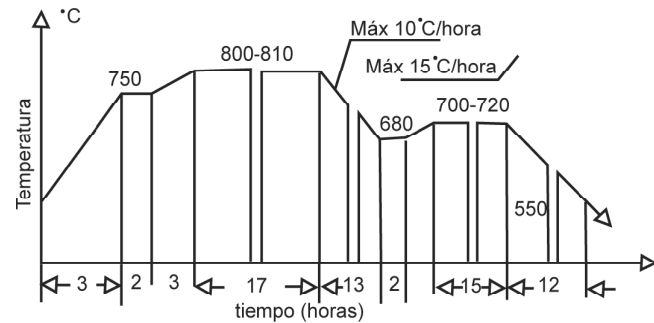
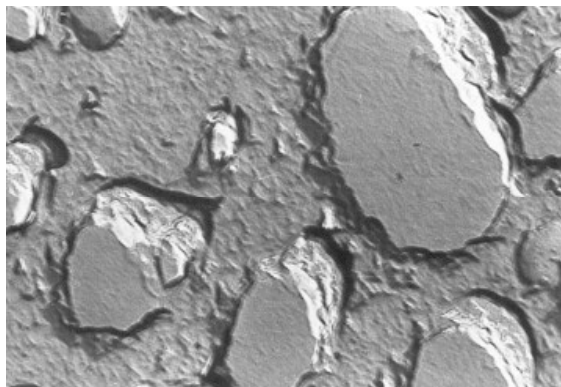


**Cuadro 1.** Grupo de fotografías 1) Las microestructuras en estado recocido R (con un aumento de 5,000 x-microscopio electrónico). Obtenidas con bases en diferentes tecnologías (CONTINUACIÓN)

b) Tecnología de recocido para obtener una estructura de los carburos gruesos Grupo RII



c) Tecnología de recocido para obtener una estructura de los carburos más gruesos Grupo RIII

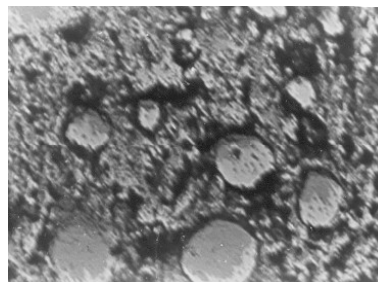


**Cuadro 2.** Grupo de fotografías 2) Las microestructuras en estado templado y revenido T (con un aumento de 5,000 x-microscopio electrónico) de las mismas probetas obtenidas después de las diferentes tecnologías de recocido, así como de temple y revenido. La tecnología de temple y revenido fue constante para todas las probetas según la figura 2

Microestructura con carburos finos HI.



Microestructura con carburos gruesos HII.



Microestructura con carburos muy gruesos HIII.

