

# Caracterización de piezas industriales de acero Hadfield sometidas a alto desgaste.

Edmundo Tolabín<sup>1</sup>, Edith A. Gareca<sup>1</sup>, Teresa Antequera<sup>1</sup> & Leonardo Maclis<sup>1</sup>

(1) *Laboratorio de Materiales, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.*  
etolabin@fi.unju.edu.ar

**RESUMEN:** Desde hace unos años se ha dado importancia al estudio de desgaste de piezas industriales, sobre todo debido a que por este fenómeno se generan numerosos inconvenientes y pérdidas económicas asociadas a las paradas de producción necesarias para la reparación o recambio de las piezas dañadas. Esto no solo dificulta la continuidad de la producción sino que conlleva, además, al aumento de los costos empresariales. Un material utilizado en las piezas sometidas a alto desgaste es el acero Hadfield, cuya característica principal es presentar una microestructura austenítica, que al estar expuesta a fuertes impactos durante el trabajo en servicio, se transforma a martensita, dando lugar a un favorable endurecimiento superficial. Siendo una necesidad imperante del sector productivo encarar el problema de la reposición de piezas desgastadas de equipos industriales y teniendo en cuenta la extensiva utilización del acero Hadfield para estos casos, se hace necesario encarar el estudio de las condiciones que mejorarían el tiempo de uso de las piezas fabricadas con este acero. Con miras a encontrar soluciones eficaces tanto técnicas como económicas, en el presente trabajo se estudian piezas de un componente industrial de acero Hadfield, caracterizando las mismas y correlacionando su rendimiento con las condiciones encontradas.

## 1 INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

Desde hace unos años se ha venido dando importancia el estudio de desgaste de materiales, como uno de los uno de los últimos aspectos de la mecánica clásica que aún presenta interrogantes abiertos importantes. Bajo la óptica de la ingeniería, su importancia está en aumento, en función de las cargas impuestas a los componentes mecánicos, la disminución constante de las tolerancias permitidas en los procesos de fabricación y las crecientes restricciones en cuanto a la emisión de contaminantes (Calainho Lage, 1999).

El conocimiento de las grandes pérdidas económicas generadas por la continua reposición de piezas dañadas por el desgaste, llevó a países industrializados a enfrentar este problema. Existen estudios, realizados en Gran Bretaña, China y Estado Unidos entre otros, que muestran la gran incidencia que tiene en los costos empresariales la reparación o reposición de componentes sometidos a alto desgaste (Mesa, 2002).

Visto desde la Ingeniería de Materiales, el desgaste es un fenómeno que se ha buscado combatir y prevenir de muchas maneras. Una de las formas de evitar que se presente es determinando las características mecánicas de un material (resistencia al desgaste, resistencia

mecánica, dureza, resistencia al impacto, etc) y el comportamiento que tendrá cuando entre en contacto con otro, ya que no solo basta con que un material cumpla los requerimientos de resistencia, sino también que pueda cumplir su función durante un período de tiempo razonable.

Se pueden encontrar numerosos trabajos que concluyen la importancia de algunos tópicos para la determinación de propiedades y del rendimiento del material en servicio. Así por ejemplo, se ha podido analizar la resistencia al desgaste erosivo en seco, en forma cualitativa y cuantitativa, de materiales de ingeniería tales como acero, aleaciones no ferrosas y materiales compuestos a base de resinas plásticas reforzadas con fibra de vidrio, utilizando fotografía de alta resolución, microscopía electrónica de barrido y microanálisis químico (Velazquez, 2004). También se cuenta con antecedentes de haber relacionado el primer estado de desgaste con los contaminantes que contiene el material (Tristancho, 2007) y que la diferente respuesta al desgaste de un material de determinada microestructura está estrechamente relacionada con su estabilidad térmica, con su resistencia a la deformación plástica y con la resistencia a la nucleación y propagación de fisuras (Wang, 1999; Zum Gahr, 1987).

Lo anterior nos muestra la necesidad de encarar el problema del rendimiento de piezas de equipos industriales sometidas a alto desgaste, con miras a encontrar soluciones eficaces tanto técnicas como económicas.

Consecuentemente con lo expuesto, el objetivo del presente trabajo es caracterizar componentes industriales sometidos a desgaste mediante el análisis microestructural y la determinación de propiedades mecánicas.

### 1.2 Aceros austeníticos al manganeso (Aceros Hadfield)

El acero austenítico al manganeso fue desarrollado y patentado por Robert Hadfield, en Sheffield, Inglaterra, en 1883. Este acero presenta alta resistencia a la tracción, compresión, elevada tenacidad, elevada resistencia al desgaste y elevada resistencia al impacto.

Los aceros Hadfield tienen una composición nominal de 1.2% C y 12 a 13% de Mn como elemento esencial. Las aleaciones comerciales usualmente varían en el rango de 1 a 1.45 % C y 11 a 14% Mn como lo establece la norma ASTM A128.

Es una aleación no magnética que sustenta sus características mecánicas en su composición química, adecuado tratamiento térmico y estructura austenítica (Heredia, 2012).

La principal característica de este material es que al ser sometido a temple no sufre la típica transformación martensítica propia de los aceros, sino que queda en el mismo estado que tenía a la temperatura de tratamiento y por lo tanto en una situación que puede considerarse de in equilibrio, ya que el manganeso, que es el responsable de la retención de la austenita, queda disuelto en esta microestructura. Al ser el material sometido a fuertes impactos durante el trabajo ya en servicio, se transforma a martensita y con ello tiene lugar el endurecimiento superficial en todas las zonas afectadas por la energía del impacto (Vega, 2000). Esto permite al material adquirir una alta dureza superficial, conservando el núcleo tenaz. Este es un fenómeno similar al que se produce en el temple superficial, con la diferencia de que la capa endurecida es de un espesor mucho menor en el caso de los aceros Hadfield. Se debe destacar el hecho de que esta capacidad del material de transformarse en un microestructura mucho más dura a medida que es impactado, permite que se adecúe su superficie a las exigencias a las que esté expuesto, haciéndolo entonces muy apto para condiciones de operación donde los componentes están sometidos a condiciones severas de impacto, abrasión, esfuerzos de tracción, compresión, flexión y torsión.

Debido a la conjunción de propiedades expuestas, el acero Hadfield se utiliza extensivamente en campos de movimiento de tierra, minería, perforación de pozos, siderurgia, y en la

fabricación de cemento y de productos de arcilla. Más específicamente, este acero se utiliza en equipos tales como trituradoras de roca, molinos, dientes de pala y bombas para manejar grava.

## 2 DESARROLLO

### 2.1.- Material de estudio

Para encarar el estudio de desgaste se han seleccionado unas piezas pertenecientes a un equipo industrial de una empresa productora de cemento. Las piezas en cuestión son martillos utilizados en un molino triturador, cuya función es la de pulverizar la mezcla de materias primas que se lleva a horno para la obtención del clinker con el que se elabora las distintas calidades de cemento como producto final.

Estas piezas se desgastan quedando inutilizadas en un tiempo aproximado de tres a cuatro meses, con lo cual se requiere su recambio en forma periódica, con la consecuente parada de producción. En la Fig. 1 se muestran los martillos instalados en el molino triturador:

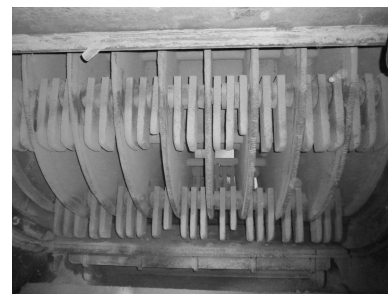


Figura 1.- Zona del molino triturador- Se observa la hilera de martillos

### 2.2 Metodología empleada

#### 2.2.1.- Inspección visual

Se procedió a realizar la inspección visual de los martillos antes y después de su uso. Esta observación se realizó en laboratorio en martillos cedidos por la empresa en calidad de muestras y también, in situ, para apreciar el equipo industrial en general y el modo de montaje y de trabajo de las piezas en estudio, todo esto a los efectos de tener un panorama general de la situación.

#### 2.2.2 Análisis de la composición química

Se efectuó el análisis químico de muestras obtenidas del martillo sin uso mediante mediante Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X.

#### 2.2.3 Tratamiento Térmico

Se tomaron muestras del martillo nuevo, las cuales fueron sometidas a hipertemple. El equipo empleado fue un horno eléctrico INDEF modelo 660. La selección de la temperatura de tratamiento se realizó teniendo en cuenta que se exceda en 50 °C la línea Acm de transformación austenítica (Fig. 2), empleándose distintos tiempos para ver el efecto producido en la homogeneización de la microestructura.

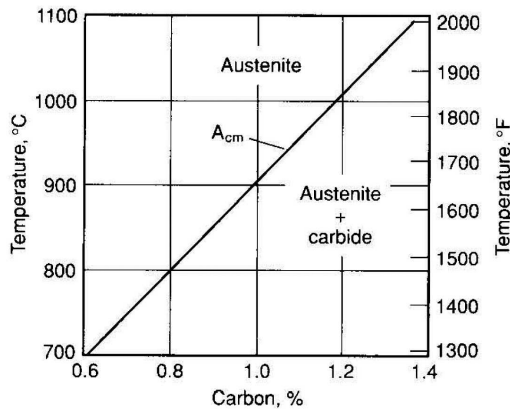


Figura 2.- Curvas de transformación isotérmica para un acero al manganeso tipo Hadfield.

Las temperaturas y tiempos utilizados fueron los siguientes:

- .-Muestra MNT1: 1050 °C durante media hora
- .-Muestra MNT2: 1050 °C con tiempo de permanencia de una hora
- .-Muestra MNT3: 1000 °C durante seis horas

Posteriormente las probetas fueron enfriadas en agua teniendo en cuenta que el desarrollo de una microestructura simple de austenita depende de la rapidez y efectividad del temple en agua durante el tratamiento térmico (Fig. 3).

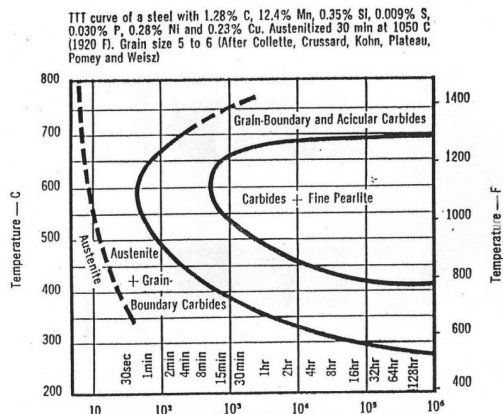


Figura 3. Curvas de transformación isotérmica para un acero al manganeso

## 2.2.4 Análisis de la microestructura

Se realizó la observación de la microestructura de las muestras de las piezas en desuso y en su estado nuevo, antes y después de realizar el tratamiento de hipertemple a distintos tiempos y temperaturas.

Para la preparación de las muestras se efectuó un pulido mecánico, usando pulidoras de disco y papel abrasivo N° 200, 320, 400 y 600, finalizando el pulido en paño con alúmina de granulometría en el orden del micrón. Para el revelado de la microestructura se atacaron químicamente las probetas con Nital 4 (solución de ácido nítrico en alcohol al 4 %).

Las muestras se observaron en un microscopio óptico Metalux II, a aumentos de 100X, 200X y 500 X.

## 2.2.5.- Ensayo de Dureza

Para realizar el estudio de las piezas se tomó la dureza con un durómetro portátil. Se procedió a definir los puntos de medición en las piezas, abarcando las zonas que se encuentran cerca del sector de mayor exigencia de trabajo y las zonas de soporte. En la Fig. 4 y Fig. 5 se muestran los puntos de medición para un martillo nuevo y otro en desuso, respectivamente:

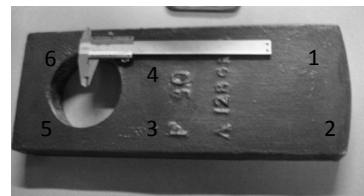


Figura 4.- Puntos de medición de dureza-Martillo nuevo

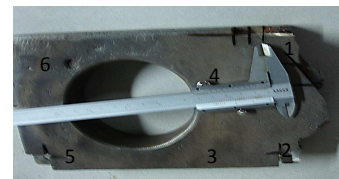


Figura 5.- Puntos de medición de dureza Martillo en desuso

Los valores de dureza se establecieron en base a un promedio de tres determinaciones en cada punto.

## 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Inspección visual

La pieza fuera de servicio manifiesta un desgaste visible a simple vista. Comparando las piezas entre sí, se puede notar un desgaste aproximado de 3 mm en el ancho, lo cual es esperable si se tiene en cuenta estos martillos trabajan de canto.

En las instalaciones de la planta productora se pudieron observar las piezas desechadas, apreciándose que en general, tienen una pérdida de hasta aproximadamente un 30 % en peso por desgaste, antes de quedar inutilizadas y proceder a su reemplazo.

### 3.2 Análisis de la composición química

El resultado de la composición química de la pieza estudiada (martillo nuevo) se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis químico martillo nuevo

Elementos	C	Mn	Cr	Si	P
% en Peso	1.2	10.9	1.9	0.05	0.04

Este acero, por los elementos que contiene es asimilable a un acero de la Norma ASTM A 128, tipo D. Sin embargo es posible ver que el contenido de Mn no cumple con el requisito establecido por esta norma que requiere un mínimo de 11, 5 % de este elemento.

### 3.3 Microestructuras y Tratamiento Térmico

A continuación se muestra la microestructura de los martillos nuevo y en desuso, antes de ser sometidos a hipertemple. En la Fig. 6 se puede observar la presencia de martensita formada en el grano de austenita (zona A). La presencia de martensita se ve distribuida en toda la fase austenítica (Zona B). Esto no resulta conveniente ya que en la pieza sin uso debería esperarse una microestructura totalmente austenítica. En la figura 7 aparece la martensita de transformación por energía impacto.

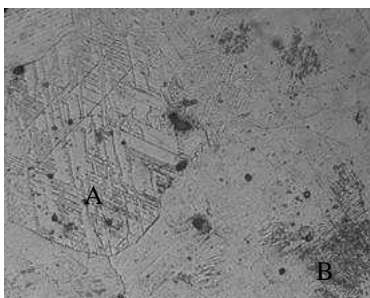


Figura 6.- Microestructura original martillo nuevo- 500 X

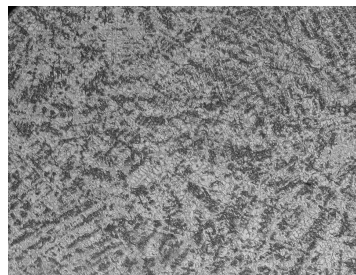


Figura 7.- Microestructura martillo en desuso sin tratamiento térmico – 100 X



Figura 8.- Microestructura probeta MN1- 200 X



Figura 9- Microestructura Probeta- MN2- 200 X



Figura 10.- Microestructura Probeta MN3 – 200 X

En las Fig. 8, 9 y 10, que corresponden al material sometido a hipertemple, puede verse la aparición de martensita. Debido al enfriamiento brusco utilizado en este tratamiento, esta microestructura no debería aparecer. Esto puede deberse a que el contenido de Mn no es lo suficiente, con lo cual no se alcanza a estabilizar debidamente la fase austenítica, produciéndose,

en algunas zonas, un templado del material, en lugar del hipertemple. Esto disminuirá el rendimiento de las piezas debido a que la martensita es una microestructura que le concede al material alta dureza y fragilidad, lo que resulta inconveniente cuando una pieza está sometida a impactos.

No se observan cambios microestructurales considerables al variar el tiempo de permanencia del material a la temperatura de hipertemple.

### 3.4 Dureza

En la Tabla 2, se resumen los resultados obtenidos para en ensayo de dureza para el martillo nuevo (Pieza 1) y el martillo en desuso (Pieza 2).

Tabla 2. Valores de dureza obtenidos para las piezas en estudio

	1	2	3	4	5	6
Dureza (HB) Pieza 1	220	226	230	225	206	210
Dureza (HB) Pieza 2	483	487	414	385	240	230

Puede notarse la variación de los valores de dureza y el endurecimiento que se presenta en el material. Los puntos 1, 2 y 3 pertenecen a la zona que trabaja al impacto, por lo cual es razonable que presenten el máximo valor de dureza. Mientras que los puntos 5 y 6 corresponden a la zona de soporte de la pieza, la cual no se encuentra exigida por las condiciones de trabajo, variando solo ligeramente el valor de dureza original.

### 4.-CONCLUSIONES

.-Las características microestructurales (presencia de Martensita) se debe al bajo porcentaje de Mn que contiene la muestra, que no permite una retención adecuada de la fase austenítica

- La microestructura presente condiciona el rendimiento de la pieza, estimándose que se tendrá un desgaste prematuro de la misma.

- A pesar de haber realizado el hipertemple a distintas tiempos de exposición a la temperatura de austenización, la pieza conserva su microestructura con fase martensítica.

- Los valores de dureza, antes y después del trabajo mecánico, resultan adecuados para el caso.

- Se debería proceder al ajuste de la composición química de las piezas, en conformidad a los requisitos de la norma respectiva, para tener una evaluación consistente de su efectivo rendimiento.

### 4 REFERENCIAS

Calainho Lage J. A., Horta Antunes C., Lomônaco Gillet F. “*Cavitação em turbinas hidráulicas do tipo Francis e Kaplan no Brasil. XV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Eneqía Eléctrica*” (SNPTEE), Brasil, 1999.

Mesa, G.D.; Sinatora, A- “*El desgaste de materiales, enfrentarlo o dejarlo de lado y asumir los riesgos*” -Scientia et Technica, Año IX, N° 22,. UTP. ISSN 0122-1701, Octubre 2003.

Velazquez, J; Mejía Jaramillo,E; Mesa,D – “*Estudio de la resistencia al desgaste erosivo en seco de materiales de ingeniería*” – Revista especializada DYNA-Vol 71, Número 144, Año 2004, Colombia.

Tristancho, J; Higuera, F; Florez, I – “*Evaluación del desgaste adhesivo del acero AISI - SAE 1020*”, Scientia and Technica, Año XIII, N° 36, Universida Tecnológica de Pereira- 2007-

Wang, H; Lei, T; Liu,J – “*Tribo-metallographic behavior of high carbon steels in dry sliding II. Microstructure and wear*” –ELSEVIER - Wear 231 \_1999. 12–19- 1999

Zum Gahr, K. H. “*Microstructure and Wear of Materials*”. ELSEVIER, Amsterdam, 1987

Heredia, J. “*Estabilidad de la fase austenítica, variación de la dureza en los aceros al manganeso afectados por el calor y sometidos a impactos*”, Revista de Instituto de Investigación RIIGEO, FIGMMG-UNMSM, Vol 15, N° 29, 2012.-

Vega,M. “*Aceros al desgaste-Algunos criterios para la elección del material de las herramientas utilizadas en operaciones de molienda y*

*trituration*” Memorias de trabajos de difusión científica y técnica, ISSN 1510-7450, N°. 1, Universidad de Montevideo, 2000.-