

# ESTUDIO DE ACEROS AL MANGANESO NITROGENADOS

## STUDY OF NITROGEN MANGANESE STEELS

M. Rossi<sup>1</sup>, C. Rodríguez Torres<sup>2</sup>, R. Gregorutti<sup>3</sup>, J. Grau<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Becario CIC-LEMIT

<sup>2</sup> Investigador CONICET-UNLP

<sup>3</sup> Investigador CIC-LEMIT. [metalurgia@lemit.gov.ar](mailto:metalurgia@lemit.gov.ar)

<sup>4</sup> Personal Apoyo CIC-LEMIT-UNLP

### RESUMEN

El presente trabajo se basa en la comparación de características microestructurales y mecánicas de aceros al manganeso (Hadfield) con y sin nitrógeno. Se ha observado que el nitrógeno aumenta la resistencia al impacto y la dureza del acero al manganeso. Al mismo tiempo, disminuye la pérdida de masa en condiciones de trabajo de desgaste.

**Palabras clave:** aceros al manganeso, nitrógeno, resistencia al impacto, desgaste.

### ABSTRACT

The present work is based on the comparison of microstructural and mechanical characteristics of steels to manganese (Hadfield) with and without nitrogen. It has been observed that nitrogen increases the impact strength and hardness of manganese steel. At the same time, it reduces the loss of mass in wear-resistant working conditions.

**Keywords:** manganese steels, nitrogen, impact resistance, wear.

### INTRODUCCIÓN

El acero austenítico al manganeso contiene alrededor de 1,2% de C y 12% de Mn, y fue desarrollado por Sir Robert Hadfield en 1882, motivo por el cual es denominado acero Hadfield. Este acero combina alta tenacidad y ductilidad con una alta capacidad de endurecimiento, debido

a la transformación de la austenita a martensita por deformación plástica. Por esta razón, posee una muy buena resistencia al desgaste. Puede elaborarse en forma de piezas coladas o planchas laminadas. Su aplicación es en condiciones de trabajo que combinan abrasión e impacto, por

lo que son ampliamente utilizados en industrias mineras y de molienda, así como también en la ferroviaria.

En lo que respecta a las piezas coladas, debido a la afinidad entre el C y el Mn, en el acero hadfield se pueden formar carburos del tipo  $(Fe,Mn)_3C$  y  $Mn_3C$  durante la solidificación, que reducen su resistencia al impacto y su ductilidad. La eliminación de estos carburos se debe realizar mediante un tratamiento térmico de solubilizado, consistente en un calentamiento a temperaturas del orden de los  $1100^{\circ}C$  aproximadamente, para que se produzca su disolución, y un posterior enfriamiento en agua [1]. Durante este enfriamiento brusco, la transformación martensítica se inhibe debido a los altos porcentajes de C y Mn, que estabilizan la austenita.

Las propiedades mecánicas de los aceros austeníticos se ven modificadas, tanto por el contenido en manganeso como por el contenido en carbono. A medida que aumenta el porcentaje de carbono, se hace más difícil su retención en solución sólida, lo que puede provocar la reducción en la resistencia a tracción y en la ductilidad disminuya. Por el contrario, la resistencia al desgaste aumenta con el contenido de C, debido a la formación de carburos en borde de grano. En aplicaciones en las que se requiera alta resistencia al desgaste, se prefiere aumentar el carbono aunque implique la caída de la ductilidad [2]. El Mn tiene poca influencia en el límite de fluencia del acero, mientras que la resistencia a la tracción y ductilidad aumentan hasta un contenido de 12-13% de Mn, y luego tienden a estabilizarse.

Los recientes desarrollos en las tecnologías de procesamiento de acero con N han dado lugar a un aumento del uso de aleación con contenido de nitrógeno como un mecanismo de fortalecimiento de los aceros. Dado que el N como elemento aleante, es un fuerte estabilizador de la austenita, el endurecimiento se obtiene sin una pérdida significativa de la tenacidad.

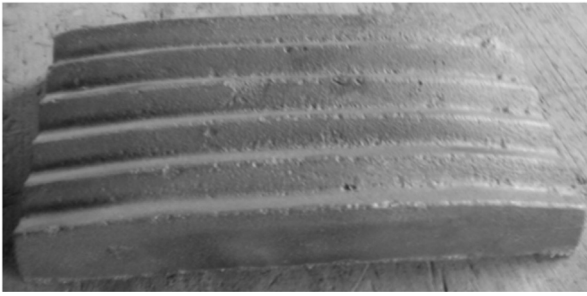
### Metodología

Las fundiciones se realizaron en un horno de inducción de capacidad de 30 Kg de Fe, al aire y presión atmosférica. Las materias primas usadas fueron: chatarra de Fe, grafito y manganeso en el caso del acero al manganeso (Hadfield) convencional. Para el acero al manganeso con nitrógeno se utilizó además, manganeso nitrogenado. Las composiciones químicas de los aceros estudiados se indican en la Tabla 1.

Se colaron probetas para la realización de ensayos de impacto (Charpy), micro dureza, dureza y microscopía óptica, así como también la colada de dos mandíbulas para máquinas de molienda (Figura 1). Una de ellas se obtuvo con acero al manganeso (hadfield) convencional y la otra con acero al manganeso nitrogenado (0,5% de nitrógeno), para evaluar el efecto del N. Todos los aceros fueron sometidos a un tratamiento térmico de solubilizado a  $1050^{\circ}C$  durante una hora, en las probetas no mayores a 13 mm de espesor. Para las mandíbulas de molienda, el tiempo fue de una hora y media, debido a los mayores espesores de las piezas.

Tabla 1. Composición química.

	C [%]	Mn [%]	Si [%]	N[%]
Acero al manganeso (Hadfield) convencional	1,29	12,65	0,12	0
Acero al manganeso N0.5	1,12	13,97	0,14	0,5
Acero al manganeso N1	1,33	12,00	0,09	1,0



**Figura 1.** Mandíbula de máquina para molienda.

Debido a la dificultad que presenta la medición del contenido de nitrógeno incorporado en el acero, se realizó un ensayo de espectroscopia por efecto Mössbauer, el cual indica de manera cualitativa si se produjo incorporación de Nitrógeno en dicho material.

La base del efecto Mössbauer consiste en la emisión de rayos gamma por los núcleos radioactivos de la fuente, y la subsiguiente reabsorción de los mismos por otros núcleos del mismo tipo situados en el absorbente. Los niveles nucleares son afectados por la distribución de carga y por campos magnéticos extranucleares. Midiendo estos pequeños cambios se puede deducir información respecto del entorno de los núcleos sonda, tales como el Fe.

La espectroscopia Mössbauer es una técnica no destructiva aplicable en general a muestras en estado sólido con apropiado contenido de Fe. La alta sensibilidad de esta técnica permite detectar la influencia de los átomos que rodean a un átomo de Fe sobre los niveles nucleares de dicho elemento. A partir de las interacciones hiperfinas, es posible identificar las distintas fases que se encuentran presentes en la muestra. Es por ello que esta técnica resulta apropiada para identificar fases como ferrita, austenita, martensita y fases intermetálicas que puedan encontrarse en aleaciones ferrosas.

Los ensayos de impacto se realizaron usando probetas Charpy, de acuerdo a la Norma IRAM- IAS U 500-16. La mediciones de dureza se hicieron siguiendo el método Brinell, con

bolilla de diámetro 2,5 mm y carga de 187,5 Kg (Norma IRAM-IAS U500-104). Mientras que para las medidas de microdureza, se siguió el procedimiento Vickers (Norma IRAM-IAS U500-110). En todos los ensayos se compararon los aceros en bruto de colada y solubilizados.

Para analizar la transformación martensítica por deformación plástica, se indujo en los aceros al manganeso con y sin nitrógeno deformaciones mediante una prensa hidráulica con un penetrador esférico de 10 mm de diámetro y cargas de 1000, 2000 y 3000 Kg. Luego se realizó un corte transversal al plano de la impronta, para evaluar el grado de transformación martensítica mediante microscopia óptica y microdureza, a través de la toma de datos en intervalos regulares.

Se llevó a cabo un ensayo de desgaste en condiciones normales de trabajo, el cual consistió en colocar las mandíbulas mencionadas en la máquina de molienda y su posterior puesta en puesta en servicio, mediante la molienda de probetas de hormigón (Figura 2, utilizadas en ensayos de compresión) durante 30 horas. Lo que resultó en una molienda aproximada de 5.500 Kg. Transcurrido este tiempo de trabajo se llevó a cabo el pesaje de dichas mandíbulas y posterior comparación. Además se tomó una muestra de la sección más solicitada y se realizó un barrido por microdureza para la caracterización de la transformación martensítica.



**Figura 2.** Probeta de hormigón.

## Resultados

### Microscopia óptica

Mediante microscopia óptica se observan una menor cantidad de carburos interdendríticos en el acero con contenido de nitrógeno, en condición bruto de colada (Figura 3).

### Espectroscopia Mössbauer

A partir de los corrimientos isométricos obtenidos en los espectros Mössbauer (Figura 4), se determinaron de manera cualitativa la existencia de nitrógeno en solución en la muestra obtenida de la colada de la mandíbula para molienda constituida

por el material el cual se identificó como acero al manganeso N0.5. (Figura 5).

### Ensayo de Charpy

Se realizaron ensayos de impacto a los aceros al manganeso con y sin nitrógeno en condiciones de bruto de colada y solubilizados a 1050°C. Los resultados de los ensayos de impacto de los respectivos materiales se detallan en las Figuras 6 y 7.

### Ensayo de dureza

Se realizaron ensayos de dureza para comparar los aceros al manganeso con y sin nitrógeno en

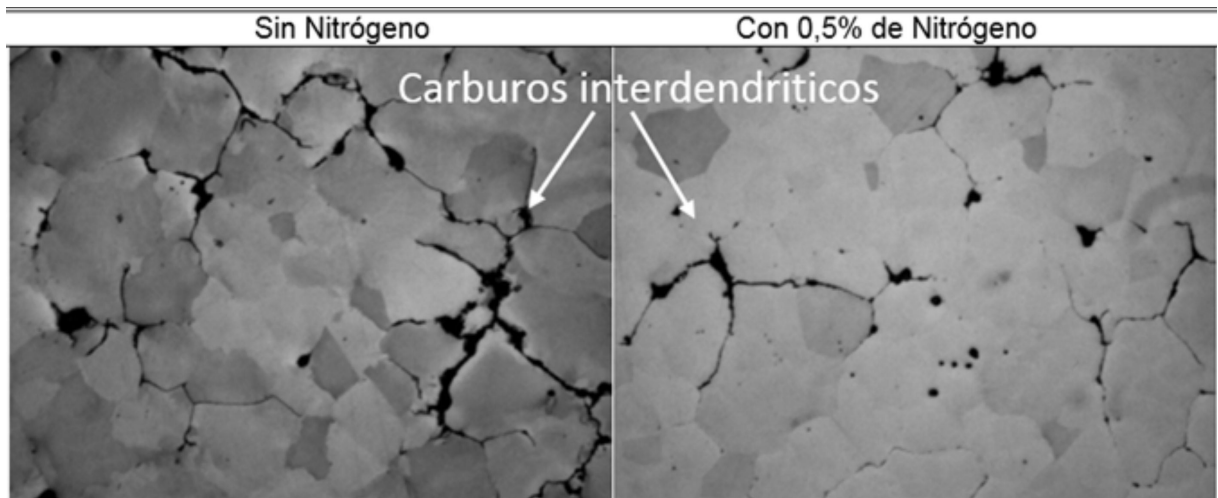


Figura 3. Microscopia óptica en condición bruto de colada.

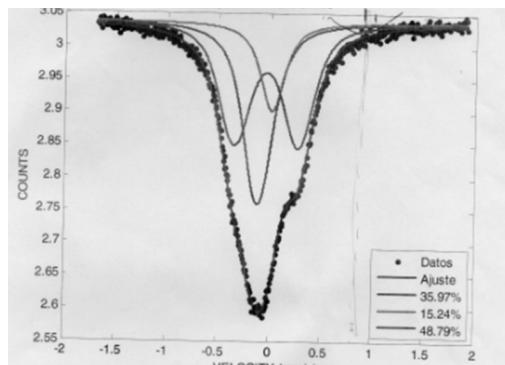


Figura 4. Espectro Mossbauer.

§ Section : Parameters (14) - Data : - Function : m_m_e .				
par 1	FONDO	3.037900e+05	3.863190e+01	0
par 2	Gamma	2.500000e-01	0.000000e+00	1
par 3	-----AREA1-----	1.147880e+04	4.397110e+03	0
par 4	Isomerico	-1.275370e-01	3.566720e-02	0
par 5	Sigma	6.249350e-02	1.761340e-02	0
par 6	-----AREA2-----	7.688690e+03	4.893820e+03	0
par 7	Isomerico	1.086770e-02	2.834920e-02	0
par 8	Sigma	4.242920e-02	2.527560e-02	0
par 9	-----AREA3-----	1.887630e+04	7.365850e+02	0
par 10	Isomerico	-3.246240e-02	1.225270e-03	0
par 11	Sigma	1.705750e-01	9.438290e-03	0
par 12	Cuadrupolar	6.217280e-01	1.071850e-02	0
par 13	Corr Is-Q	0.000000e+00	0.000000e+00	1
par 14	L12	1.000000e+00	0.000000e+00	1

Figura 5. Corrimientos isométricos.

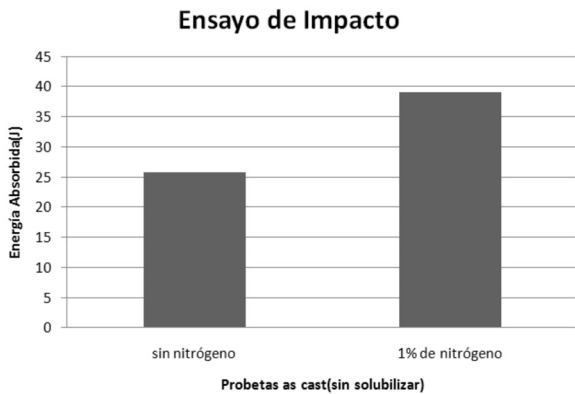


Figura 6. Resultados de los ensayos de impacto en probetas “as cast”.

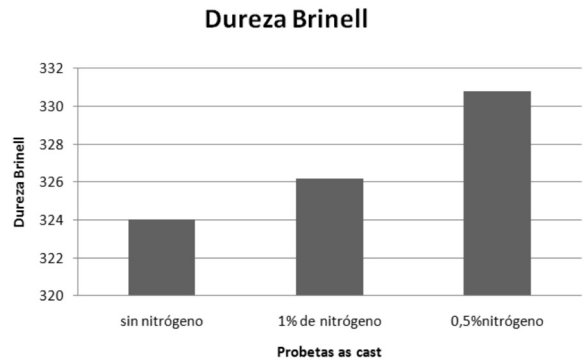


Figura 8. Resultados de los ensayos de dureza.

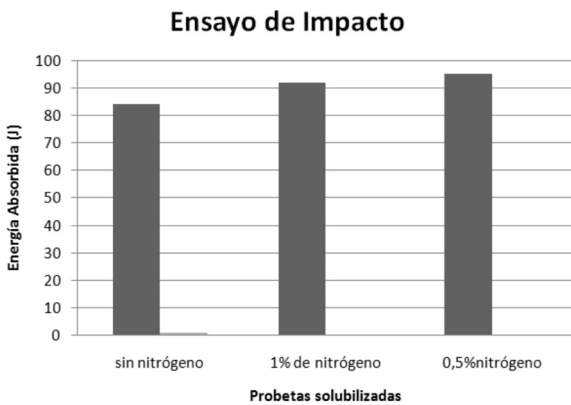


Figura 7. Resultados de los ensayos de impacto en probetas solubilizadas.

condición de bruto de colada. Los resultados se detallan la Figura 8.

### Transformación Martensítica

Se llevaron a cabo deformaciones en los materiales mencionados (Figura 6) mediante una prensa hidráulica con un penetrador esférico de 10 mm de diámetro y cargas de 1000, 2000 y 3000 Kg. En la Figura 9, se esquematiza la impronta y la zona circundante donde se produce la transformación martensítica por deformación plástica. Los diámetros de las improntas en cada uno de los materiales se detallan en la Tabla 2.

Luego se produjo un corte en el plano de la impronta, se realizaron microscopias ópticas (Figura 10) y barrido por medio de la toma de datos de micro dureza a intervalos regulares.

Para una carga aplicada de 3000 Kg se observa una mayor transformación martensítica en el material que posee nitrógeno. Mientras que para las cargas de 1000 y 2000 Kg no se observa diferencia significativa entre aceros al manganeso con y sin nitrógeno.

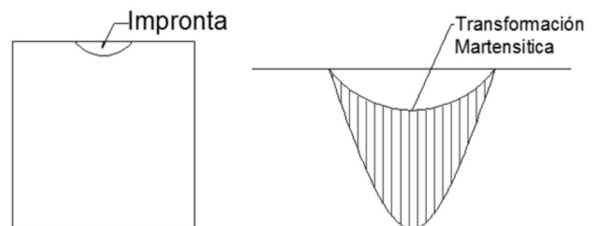


Figura 9. Esquema para caracterizar la transformación martensítica.

Tabla 2. Carga vs diámetro de la impronta.

Sin Nitrógeno		Con Nitrógeno	
Carga [Kg]	Impronta [mm]	Carga [Kg]	Impronta [mm]
1000	2,7	1000	2,7
2000	3,9	2000	4,0
3000	4,6	3000	4,7

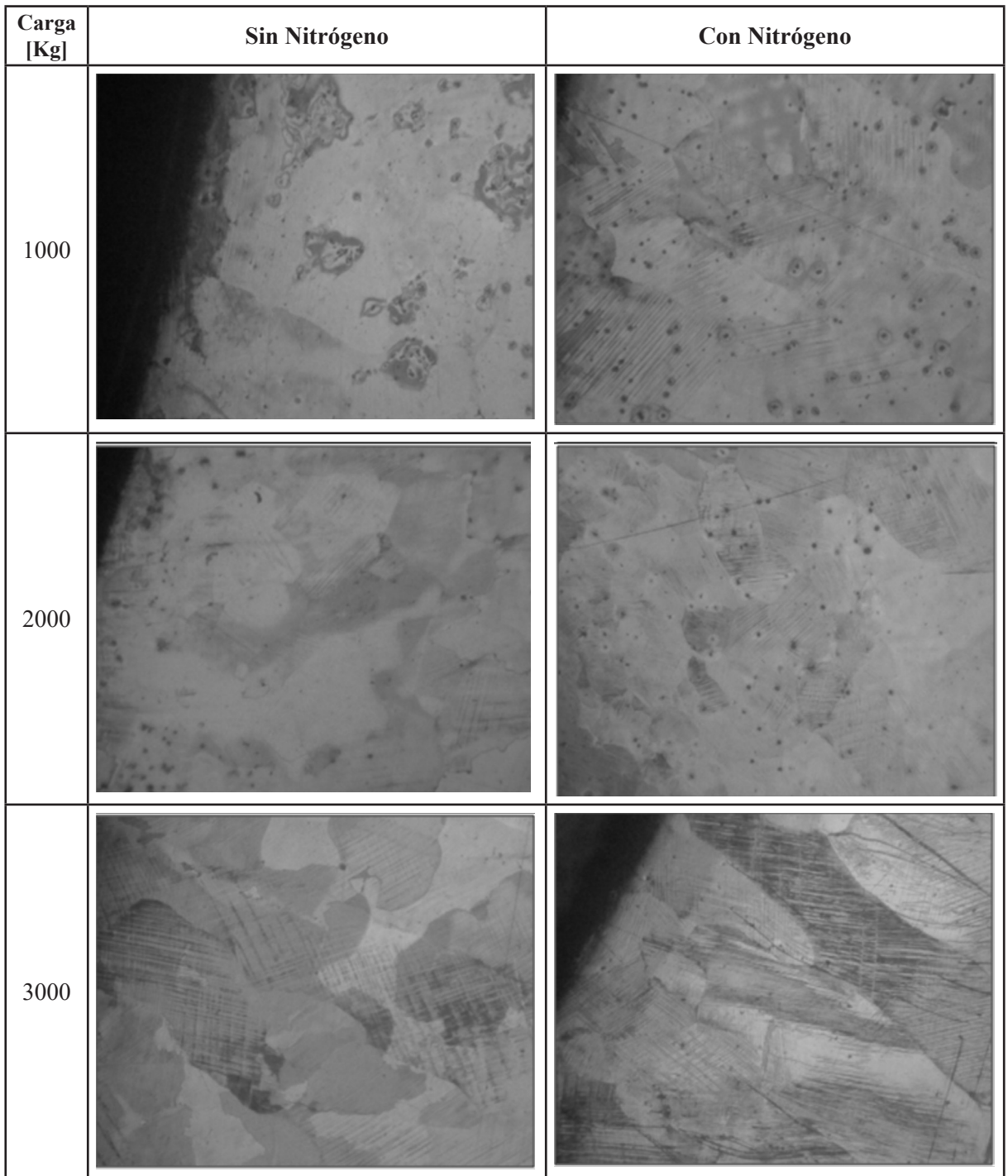


Figura 10. Transformación martensítica.

En las Figuras 11 a 13 se ilustran las dispersiones de microdureza obtenidas para las distintas cargas aplicadas.

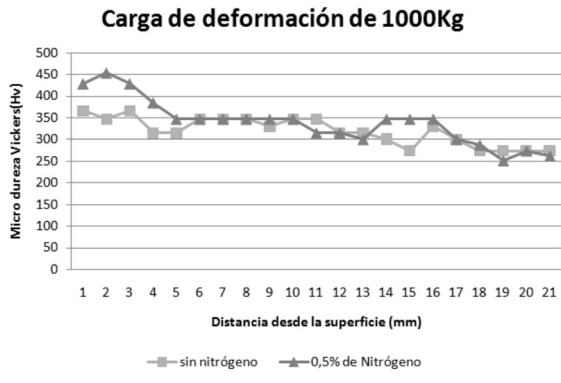


Figura 11. Gráfico de dispersión de microdureza para P = 1000 Kg.

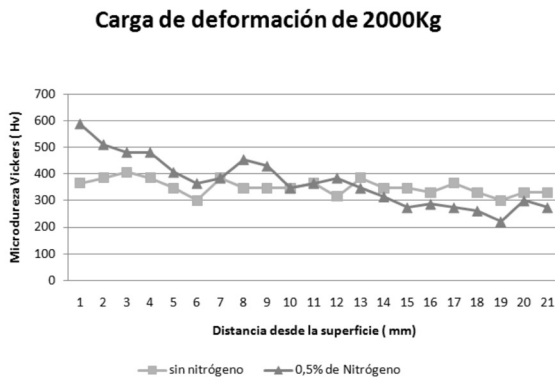


Figura 12. Gráfico de dispersión de microdureza para P = 2000 Kg.

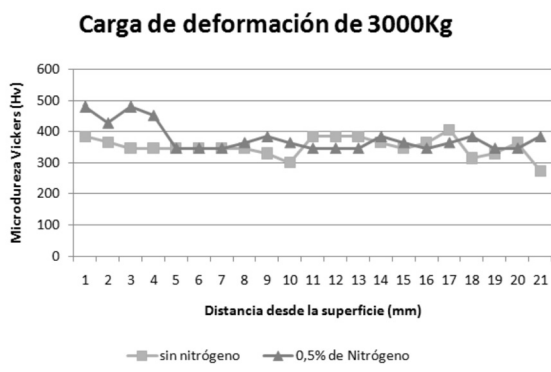


Figura 13. Gráfico de dispersión de microdureza para P = 3000 Kg.

Se observa para todas las cargas aplicadas, una mayor dureza en los materiales con contenido de nitrógeno en las primeras décimas de milímetro respecto de la superficie de la impronta. Luego de dicha distancia se advierte un comportamiento similar entre los materiales con y sin contenido de nitrógeno.

### Ensayo de desgaste en condiciones normales de trabajo

Luego de realizado el ensayo de desgaste con impacto y posterior pesaje de las mandíbulas se obtuvieron los datos que se detallan a continuación en la Tabla 3.

Se observa que el material con contenido de nitrógeno posee una menor pérdida porcentual de masa.

Tabla 3. Pérdida de masa producida por ensayo de desgaste.

	Acero al manganeso (Hadfield) convencional	Acero al manganeso Con contenido de Nitrógeno
Peso antes del ensayo [gr]	5670	6086
Peso luego del ensayo [gr]	5548	6003
Pérdida	[gr]	122
	[%]	2,15
	83	1,36

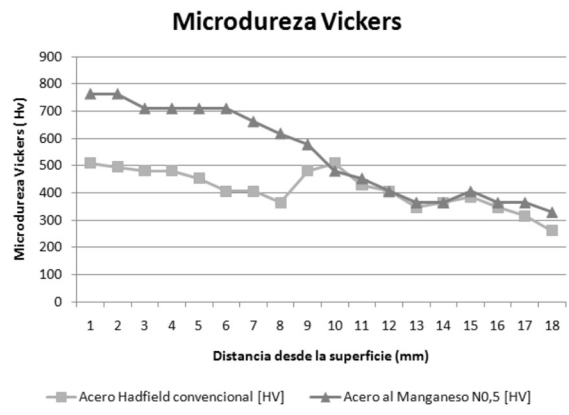


Figura 14. Gráfico de dispersión de microdureza para materiales sometidos a ensayo de desgaste.

A través del barrido por microdureza se obtuvieron las dispersiones de microdureza que se detallan en la Figura 14.

En condiciones de desgaste por impacto, se observa que, en las primeras décimas de milímetro respecto de la superficie de la impronta, la microdureza del material con contenido de nitrógeno es considerablemente mayor en relación al acero Hadfield convencional. Luego de dicha distancia se advierte un comportamiento similar entre los materiales con y sin contenido de nitrógeno.

## REFERENCIAS

- 1.- D.K. Subramanyam, Austenitic manganese steels, in: ASM Handbook Vol. 1, Properties and Selection: Irons, Steels and High performance alloys, 9th Edition, vol. 1, ASM International, 2005.
- 2.- A. García, Á. Varela, J.L. Mier, C. Camba y F. Barbadillo, Estudio tribológico de aceros austeníticos tipo Hadfield: influencia del manganeso en su respuesta frente al desgaste, *Revista de Metalurgia*, vol. 46, 2010, pp. 47-52.
- 3.- D. Canadinc, I. Karaman, H. Sehitoglu, Y. I. Chumlyakov, H. J. Maier, The Role of Nitrogen on the Deformation Response of Hadfield Steel Single Crystals, *Mechanical Science and Engineering*, vol. 34A, 2003, pp. 1821-1831.
- 4.- J. M. R. Génin, Mössbauer spectra analysis of Fe-N austenites, *Scripta Metallurgica et Materialia*, vol. 24, 1990, pp. 399-401.

## CONCLUSIONES

Mediante los resultados obtenidos en el presente estudio, se puede concluir que existe una mejora en las propiedades mecánicas en los aceros al manganeso con contenido de nitrógeno. Esto queda en evidencia dado que se observa que presentan una mayor resistencia al impacto, mayor dureza en las primeras decimas de milímetro respecto a la superficie deformada, tanto en condiciones de deformación lenta como por impacto. Además de la menor pérdida de masa de este material cuando es sometido a desgaste en condiciones normales de trabajo.