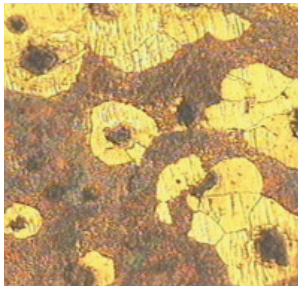


# Influencia del cobre en las propiedades mecánicas del hierro nodular

Hugo E. Cruz Cristerna, Ana Ma. Guzmán Hernández,  
Guadalupe A. Castillo Rodríguez, Juan Fco. Flores Preciado  
Programa Doctoral en Ingeniería de Materiales, FIME-UANL  
gana@gama.fime.uanl.mx, acastill@gama.fime.uanl.mx



## RESUMEN

*Se realizaron estudios comparativos del comportamiento mecánico y análisis microestructural de dos aleaciones distintas de hierro nodular. Se estudió una aleación con contenido de cobre residual y otra con 1% de Cu en peso. El estudio del comportamiento mecánico se realizó en probetas de acuerdo a la norma ASTM E8, para el análisis metalográfico se prepararon muestras según lo recomienda la norma de la ASTM E3 y la composición química se obtuvo mediante espectroscopía de chispa. Microestructuralmente se observó un incremento en el contenido de perlita en la aleación de 1% de cobre y en relación a sus propiedades mecánicas se encontró un incremento en la dureza y en la resistencia a la tensión así como también en la fragilidad.*

## PALABRAS CLAVES

Ferrita, perlita, nodularidad, tratamiento térmico, cobre.

## ABSTRACT

*Comparative studies of the mechanical behavior and the microstructural analysis of two different alloys of ductile iron smelting were conducted. The copper content was residual and 1 wt % respectively. The study of the mechanical behavior was carried out in a mechanical test machine according to ASTM E8, the metallographic analysis samples were prepared as indicated by ASTM E3; and the chemical analysis was obtained by spark spectroscopy. An increase in the perlite content was observed for the 1% copper alloy and regarding the mechanical properties, hardness as well as brittle were incremented.*

## KEYWORDS

Ferrite, perlite, nodularity, heat treatment, copper.

## INTRODUCCIÓN

El hierro nodular o hierro dúctil, miembro de la familia de hierros fundidos que incluyen el hierro gris, blanco y maleable, se caracteriza porque el grafito aparece en forma esferoidal. Al encontrarse el carbono en esta forma, la continuidad de la matriz no se ve interrumpida en la misma proporción que cuando se encuentra en forma laminar, y entonces, la resistencia a la tracción y tenacidad son mayores que en la fundición gris ordinaria.<sup>1,2,3</sup>

Las fundiciones nodulares, cuya matriz presenta como máximo un 10% de perlita, se denominan ferríticas, esta estructura proporciona la máxima ductilidad, tenacidad y maquinabilidad. pero las fundiciones perlíticas ofrecen aun mayor resistencia, dureza y menor ductilidad.<sup>2,4, 5,6</sup>

Con el objetivo de mejorar las propiedades mecánicas se adicionan elementos aleantes a la fundición evitando el costo de los tratamientos térmicos. Los aleantes utilizados para modificar el contenido de perlita o ferrita en el hierro nodular son: silicio, manganeso y cobre. El Mn y Cu son utilizados para promover el crecimiento de perlita, mientras que el Si es promotor de ferrita. Para hierros perlíticos el porcentaje de Si se mantiene en cantidades por debajo del 2.5% en peso, para el grado ferrítico los porcentajes se mantienen entre 2.5 - 2.8%, el Mn se mantiene entre 0.4 - 0.6% en grado perlítico y por debajo de 0.3% en grado ferrítico, el Cu se mantiene entre 0.4 - 0.9% en grado perlítico y no se agrega en la producción grado ferrítico.<sup>7,8</sup>

El objetivo principal de este trabajo es mostrar un análisis comparativo entre dos aleaciones con diferente contenido de cobre, utilizando las herramientas y pruebas estandarizadas que existen dentro de un laboratorio de control de calidad en la industria.

## EXPERIMENTACIÓN

Se obtuvieron dos aleaciones con diferentes contenidos de cobre mediante el proceso de fusión a 1,500 °C en horno de arco eléctrico, se utilizó un esferoidizante a base de ferrosilicio del grupo Noduloy3. Las temperaturas y tiempos de vaciado fueron de 1435 °C y 15 min. para M-1 y 1405 °C y 12 min. para M-2 respectivamente. En la zona de vaciado se obtuvieron muestras de 3 cm de diámetro x 0.5 cm de espesor para análisis químico, el cual se llevó a cabo en un espectrómetro de chispa.

Se extrajeron del molde probetas de 1 cm de diámetro x 20 cm de largo para el análisis metalográfico, las probetas fueron cortadas con disco abrasivo y después montadas para ser pulidas según los estándares recomendados por la ASTM E3. Las muestras fueron atacadas con nital para la observación de su microestructura mediante un microscopio óptico con analizador de imágenes. Los resultados de porcentajes de ferrita, perlita, carburos y nódulos por milímetro cuadrado (nod/mm<sup>2</sup>), fueron obtenidos utilizando las tablas de comparación de ASTM para hierro dúctil.<sup>9</sup>

Se moldearon barras T (piezas testigo) para la obtención de probetas de 2 cm de diámetro x 10 cm de largo, por medio de maquinado. Las propiedades mecánicas (esfuerzo de cedencia, esfuerzo último y elongación) se determinaron utilizando una máquina universal de pruebas mecánicas, con una carga inicial de 1000 Pa hasta la falla.

Se midió la dureza Brinell de piezas terminadas, utilizando un indentador de bola con una carga de 3,000 Kg. y un analizador de imagen para la medición de la huella.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La composición química obtenida mediante espectroscopia de chispa se presenta en la tabla I. Se observa una composición similar entre las aleaciones M-1 y M-2 solo con diferencia en el contenido de cobre y en el contenido de manganeso en menor orden. Estos resultados están dentro de los rangos esperados en la composición química final de ambas aleaciones.

En las aleaciones M-1 y M-2 se encontraron nodularidades de 95% en promedio, observando así que la influencia del contenido de cobre en esta característica de las aleaciones fue nula (figura 1).

En la aleación M-1 se observó una microestructura ferrítica sin presencia notable de carburos y con una cantidad de 100 nod/mm<sup>2</sup> (figura 2).

Tabla I. Composición química.

Muestra	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cu	%Cr	%Al	%Mo	%Ce	%Ti
M-1	3.54	2.44	0.23	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.05	0.01	0.01
M-2	3.68	2.45	0.6	0.02	0.01	0.98	0.01	0	0.07	0.02	0.01

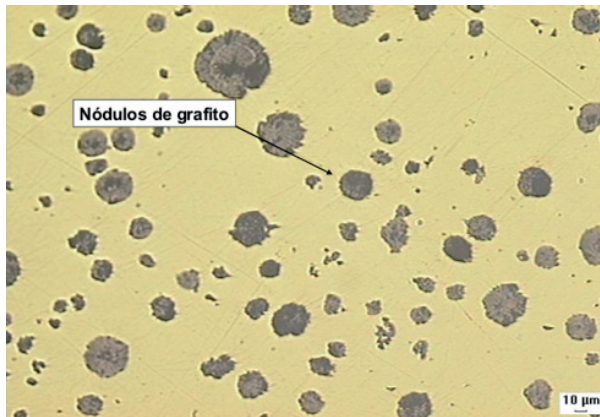


Fig. 1. Microestructura de hierro nodular sin ataque.

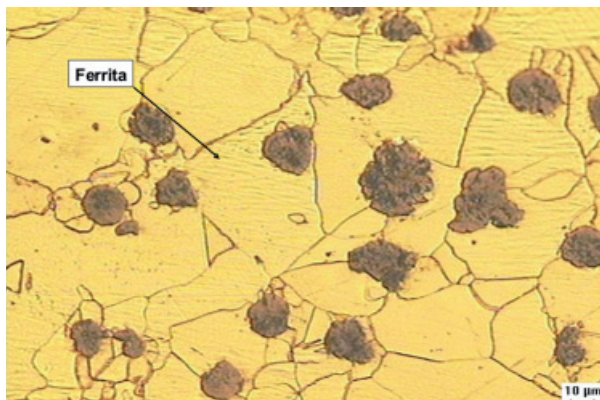


Fig. 2. Microestructura de M-1, hierro nodular ferrítico.

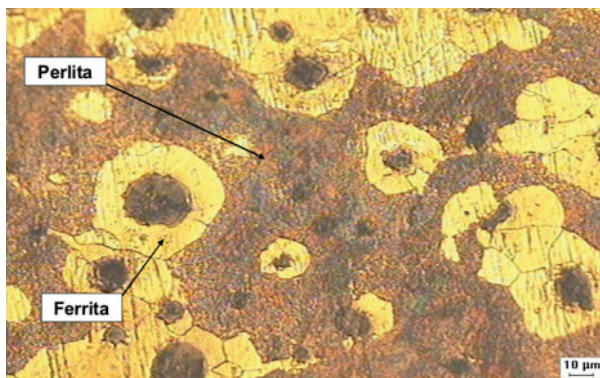


Fig. 3. Microestructura de M-2, hierro nodular ferrítico-perlítico.

En la figura 3 se presenta la micrografía de la aleación M-2 con una microestructura ferrítica-perlítica en proporción 30/70, no se identificaron carburos y se observaron 100 Nod/mm<sup>2</sup>. Esta microestructura es el resultado de la adición de los promotores de perlita como el cobre y el manganeso.

De acuerdo a otros estudios <sup>4,7,10</sup> para la obtención de esta matriz, es necesario aplicar un tratamiento térmico de normalizado durante 1 hora con un enfriamiento al aire, lo cual significa un mayor gasto.

Las propiedades mecánicas promedio, esfuerzo de cedencia, esfuerzo último y dureza, presentan un incremento significativo en la aleación M-2, mientras que en la elongación se observó un decremento. Ese incremento fue generado principalmente por el alto contenido de perlita de esta aleación (tabla II).

Tabla II. Propiedades Mecánicas.

Muestra	Dureza Brinell HB	Esfuerzo de cedencia MPa	Esfuerzo último MPa	% Elongación
M-1	182	326.8	481.7	15.75
M-2	267	509.8	749.1	6.67

## CONCLUSIONES

La aleación M-2 mostró una microestructura con mayor contenido de perlita. La nodularidad y tamaño de partícula no varió de una a otra aleación.

Las propiedades mecánicas de la aleación M-2 mejoraron con respecto a las de la M-1 obteniendo así dos materiales para distintas aplicaciones solo con una pequeña adición de elementos clave. La adición de aleantes contribuyó a la formación de más perlita mejorando las propiedades mecánicas de la aleación sin la necesidad de someterla a tratamiento térmico.

## REFERENCIAS

- Riviera Landero, I., Cerriteno Salgado, J. y Hernández Reyes, B., "Influencia del Niobio sobre la Microestructura y Propiedades Mecánicas del Hierro Nodular.", Memorias del Congreso Internacional de Materiales, pp 116 -128, 1998.
- ASTM International: Metals Test Methods & Analytical Procedures, Editor David L. Olson.
- Neri, M. A., Carreño, C., "Effect of the copper content on the microstructure an mechanical properties of a modified nodular iron.", Materials Characterization, Vol. 51, pp 219 -224, 2003.

4. Gonzaga, R.A., González, J., “Influence of an appropriate balance of the alloying elements on microstructure and on mechanical properties of nodular cast iron.”, *Materials Processing Technology*, pp 1 – 5, 2005.
5. “Fundiciones de Hierro.”, ILAFA, 1986.
6. Nadot, Y., Mendez, J., Ranganathan, N., “Influence of casting defects on the fatigue limit of nodular cast iron.”, *International Journal of Fatigue*, Vol. 26, pp 311–319, 2004.
7. Avner, S.H., “Metalurgia Física”, 1975.
8. Smith, W., “Introducción a la Ciencia de los Materiales”, Mc Graw-Hill, 1999.
9. Askeland, D.R., “Ciencia e ingeniería de los Materiales.”, International Thomson Editor, 1999.
10. Rodríguez, G., Hernández, B., “Análisis de la influencia del calcio-silicio y tierras raras, como inoculantes de hierro nodular.” *Memorias del Congreso Internacional de Materiales*, pp 60-72, 1998.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la empresa Proeza Grede, S.A. de C.V. por el material proporcionado y el acceso a su laboratorio, así como al Programa Doctoral en Ingeniería de Materiales de la FIME-UANL por las facilidades otorgadas para la realización de este estudio.

Anúnciense en:

# Ingenierías



**INFORMES:**  
Tel: (52) (81) 83294020 Ext. 5854  
Fax: (52) (81) 83320904  
E-mail: [revistaingenierias@gmail.mx](mailto:revistaingenierias@gmail.mx)  
Internet: <http://ingenierias.uanl.mx>