

## Estudio de la Resistencia a la Tracción y Deformación de Fundición Esferoidal de Pequeño Espesor

P.H. David, J. M. Massone, J.A. Sikora.

División Metalurgia, INTEMA, Univ. Nacional de Mar del Plata – CONICET

Av. Juan B. Justo 4302 - B7608FDQ Mar del Plata.

e-mail: [pdavid@fi.mdp.edu.ar](mailto:pdavid@fi.mdp.edu.ar), [massonej@fi.mdp.edu.ar](mailto:massonej@fi.mdp.edu.ar), [jsikora@fi.mdp.edu.ar](mailto:jsikora@fi.mdp.edu.ar)

---

### RESUMEN

El presente trabajo analiza las propiedades mecánicas de placas de fundición nodular con espesores que varían entre 1.5 y 4 mm, coladas en moldes de arena con modelos de disposición vertical y horizontal. Se realizaron coladas con distintos carbonos equivalentes, obteniéndose conteos nodulares en el rango de 900 a 2200 nod/mm<sup>2</sup>. Todas las probetas ensayadas fueron sometidas previamente a un tratamiento de ferritizado, a fin de evitar la influencia de los distintos microconstituyentes. Se obtuvieron resultados de alargamiento a la rotura que superan lo estipulado por la norma ASTM A536, lográndose valores de hasta 32%, en placas de 4 mm de espesor coladas en molde vertical. Se establecieron las influencias que el Carbono Equivalente (CE), el conteo nodular y la composición química ejercen sobre las propiedades mecánicas.

**Palabras claves:** Fundición nodular, espesores delgados, propiedades mecánicas.

---

### Study on the Tensile Strength and Elongation of Thin Wall Ductile Iron

#### ABSTRACT

The present work analyzes the mechanical properties of plates with thickness ranged between 1.5 to 4mm. Heats with different carbon equivalent (CE) were produced and resin bonded sand molds with vertical and horizontal gating systems were pour. Nodules counting ranged between 900 to 2200 nod/mm<sup>2</sup> were obtained. All plates were ferritized prior to machining tensile test samples in order to avoid the influence of the different micro constituents. Elongation values higher than the values stipulate in the ASTM A356 standard were obtained, reaching up to 32% in plates of 4mm thickness, vertical mold.

The influence of CE, nodule count and chemical composition on the mechanical properties were established.

**Keywords:** Ductile iron, thin wall, mechanical properties

---

## 1 INTRODUCCION

Frente a la constante demanda en la reducción de peso de los componentes, la fundición de grafito esferoidal de pequeños espesores está en una posición promisoría, en razón de sus ventajas técnicas y económicas en comparación, por ejemplo, con aleaciones de aluminio. Asimismo, muchas piezas de fundición de espesores convencionales (más de 10 mm) podrían ser fabricadas como piezas huecas, mejorando la performance en servicio. La fundición nodular de pequeños espesores no solo permite una reducción del peso final de una pieza, sino que además posibilita la fabricación de componentes con relaciones resistencia-peso superiores a las logradas con aluminio. Sin embargo, las cualidades de las piezas de pequeños espesores están condicionadas por su calidad metalúrgica, toda vez que las propiedades mecánicas son muy dependientes de los defectos microestructurales presentes. Estos defectos disminuyen la resistencia y la ductilidad de las piezas y generan gran dispersión de resultados en los ensayos mecánicos, como aparece reportado en la literatura [1-3]. Por eso, para evaluar propiedades en pequeños espesores, debemos primeramente producir piezas estructuralmente sanas. La utilización de simulaciones en computadora permite optimizar las variables de colada y diseñar moldes a partir de los cuales pueden obtenerse placas de espesores delgados libres de defectos de colada, tanto micro como macroestructurales [2]. Otras variables operativas, tales como la composición química, pueden también influir significativamente en la sanidad de las piezas.

El presente trabajo analiza las propiedades mecánicas, particularmente el alargamiento a la rotura, de probetas de fundición nodular de pequeños espesores considerando como variables el Carbono Equivalente (CE), los porcentajes individuales de C y de Si y el conteo nodular

## 2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

El material utilizado en el presente trabajo fue producido en la Planta Piloto de la División Metalurgia de INTEMA-UNMDP, empleando un horno de inducción de media frecuencia con una capacidad de 60 Kg. El metal líquido fue sobrecalentado hasta los 1540 °C, controlándose la temperatura con un pirómetro óptico fijo ubicado encima del crisol. El tratamiento del metal líquido se realizó en dos etapas. La nodulización se efectuó en el bolsillo de una primera cuchara cubriéndose el nodulizante con chatarra de acero (método sándwich). Como nodulizante se utilizó FeSiMg (6%Mg), tipo comercial. La etapa de inoculación se realizó durante el traspaso a una segunda cuchara, inoculándose en el chorro con FeSi (75%Si).

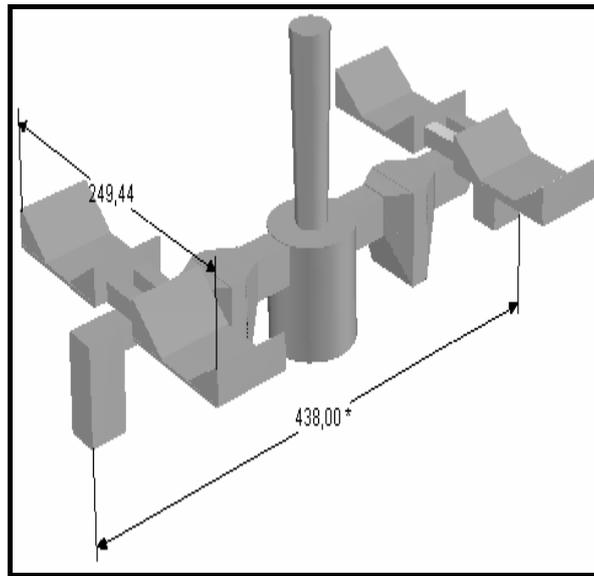


Figura 1: Modelo horizontal

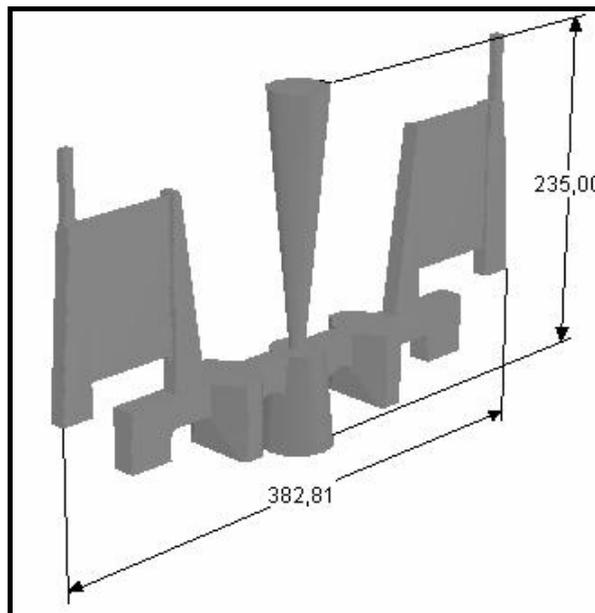


Figura 2: Modelo vertical

La Figura 1 muestra el modelo horizontal utilizado para obtener las placas de 1,5, 2, 3 y 4 mm de espesor. La Figura 2 muestra el modelo vertical empleado para producir las placas de 2 y 4 mm de espesor. Ambos modelos fueron optimizados anteriormente [4].

Los moldes fueron realizados empleando arena clasificada de granulometría AFS-60 ligada con resinas alquídicas.

Todas las placas, a excepción de las provenientes del molde vertical de la colada A, fueron austenizadas a 930 °C en caja durante 2 horas y luego enfriadas en el horno, a fin de obtener una microestructura totalmente ferrítica. Las probetas fueron mecanizadas y rectificadas, realizándose luego ensayos de tracción en una máquina Instron 8501 obteniéndose valores de tensión y alargamiento a la rotura según Norma ASTM E 8M-95a con probetas planas. En la Figura 3 podemos observar un croquis del modelo de probeta de tracción utilizada.

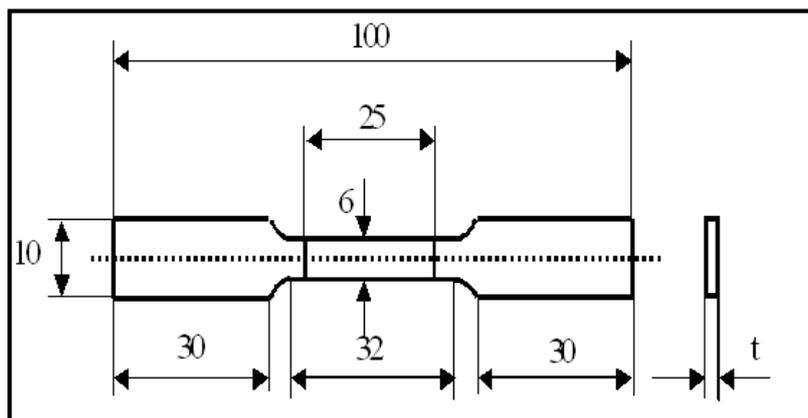


Figura 3: Croquis probeta de tracción plana

Las composiciones químicas de las coladas empleadas en este trabajo, se detallan en la Tabla I.

Tabla I: Composición química de coladas realizadas

Colada	Composición Química						
	C	Si	Mn	S	P	Mg	CE
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
A	3,70	3,26	0,28	0,026	0,058	0,059	4,78
B	3,65	3,59	0,27	0,032	0,032	0,021	4,85
C	3,80	2,92	0,27	0,027	0,043	0,04	4,77
D	3,53	2,89	0,32	0,07	0,049	0,052	4,49
E	3,65	3,04	0,20	0,041	0,053	0,048	4,65
F	3,73	2,7	0,18	0,036	0,041	0,049	4,63
G	3,46	2,85	0,18	0,020	0,047	0,029	4,41

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Ensayos de Tracción

Las Figuras 4 a 7 permiten comparar los valores de Tensión de Rotura y Alargamiento (%) respecto a los valores mínimos establecidos en la norma ASTM A536. La línea de base que se muestra en los gráficos corresponde a la unión de los valores mínimos de tensión a la rotura y alargamiento para los 5 grados de fundición nodular especificados en la norma.

En las Figuras 4 y 5 se grafican los alargamientos de las placas de 2 y 4 mm del molde vertical. Las coladas B y C presentaron valores de alargamiento a la rotura que no alcanzan el mínimo estipulado por norma.

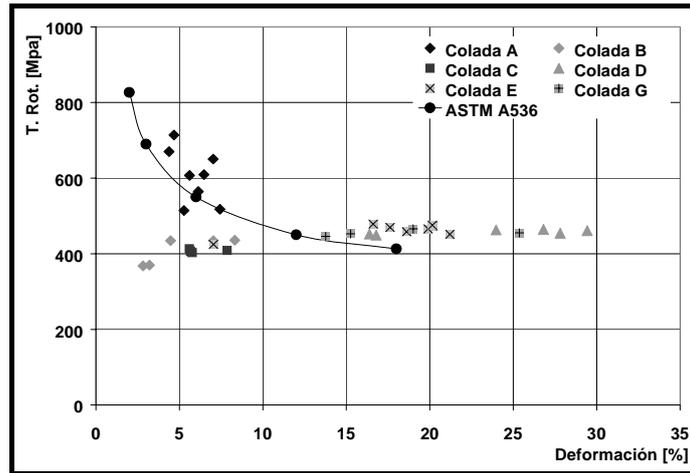


Figura 4: Tensión Rotura Vs. Alargamiento, molde vertical, espesor 2 mm.

Las placas de 2 y 4 mm del molde vertical de la colada A se ensayaron en estado bruto de colada, lo que produjo valores mas altos de tensión de rotura combinados con bajos alargamientos, aunque con valores que superaron siempre el mínimo establecido en la norma. Cabe señalar que la presencia de carburos en bruto de colada está limitada a las zonas correspondientes a los bordes superior e inferior de las placas, y no se extienden más allá de los 10 mm del borde, por lo que no generan efectos perjudiciales sobre el alargamiento a la rotura. Sin embargo, la matriz en bruto de colada presenta áreas de perlita que si afectan la resistencia y ductilidad.

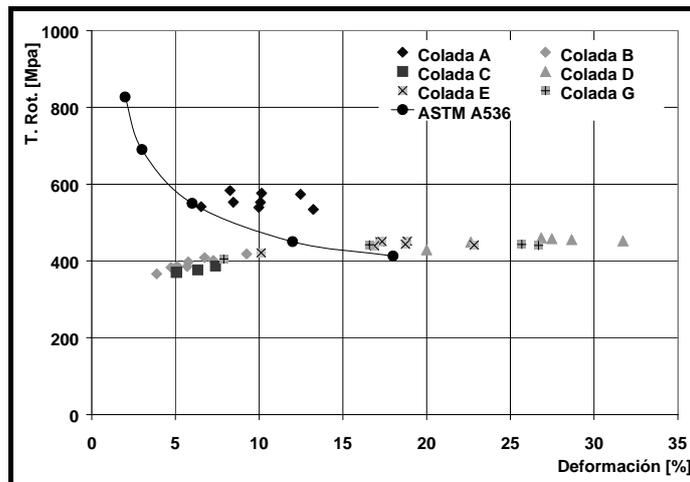


Figura 5: Tensión Rotura Vs. Alargamiento, molde vertical, espesor 4 mm.

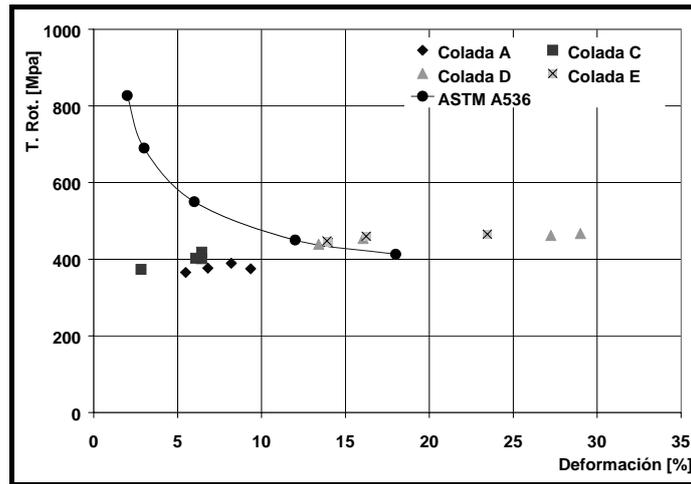


Figura 6. Tensión Rotura Vs. Alargamiento, molde horizontal, espesor 2 mm

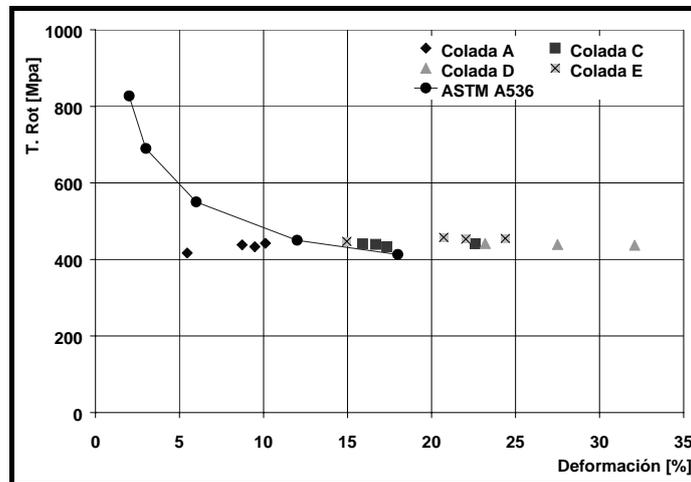


Figura 7: Tensión Rotura Vs. Alargamiento, molde horizontal, espesor 4 mm

### 3.2 Efecto del Carbono Equivalente (CE)

En las Figuras 4 a 7 se observa también que los valores de alargamiento a la rotura superan los mínimos estipulados por norma en los casos en que el CE es menor que 4.65 %. La colada C, en la placa de 4 mm, Figura 7, supera levemente el mínimo de la norma, pero igualmente se encuentra por debajo de las coladas que poseen CE menores.

En las Figuras 8 a 11 podemos observar más claramente como una disminución en el valor del CE produce un aumento en el alargamiento a la rotura, tanto para moldes verticales como horizontales.

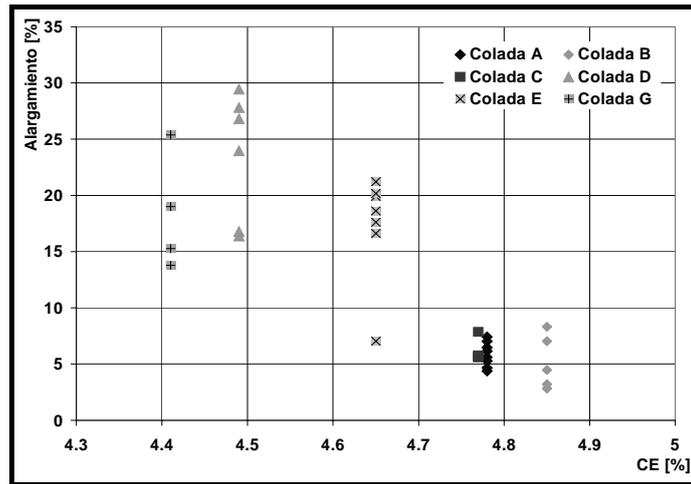


Figura 8: CE Vs. Alargamiento, molde vertical, espesor 2 mm.

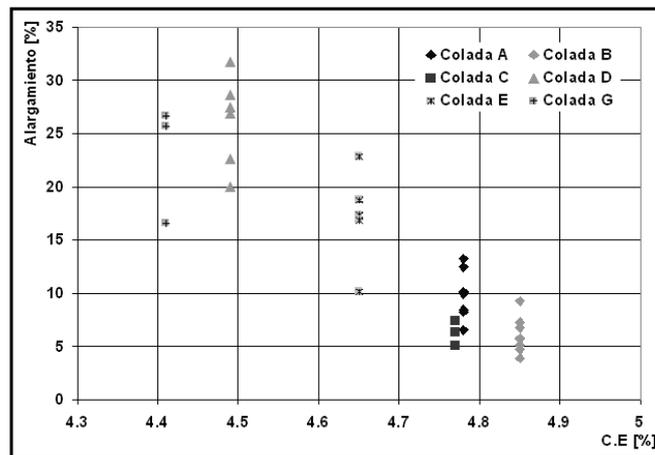


Figura 9: CE Vs. Alargamiento, molde vertical, espesor 4 mm.

Esto se contrapone con el criterio generalizado reportado en la bibliografía respecto a la conveniencia del uso de CE altos en piezas de espesores delgados. Este comportamiento es atribuido al efecto perjudicial ejercido por el tamaño, morfología y distribución de los nódulos primarios de gran tamaño presentes en las coladas más hipereutécticas [5]. La tensión a la rotura, en cambio, no es afectada por las variaciones del CE, como puede observarse en las Figuras 4 a 7.

### 3.3 Efecto del % C y % Si.

En las Figuras 12 y 13 se observa que en las placas de disposición vertical, para % Si similares, cuando el %C aumenta, disminuye el alargamiento a la rotura.

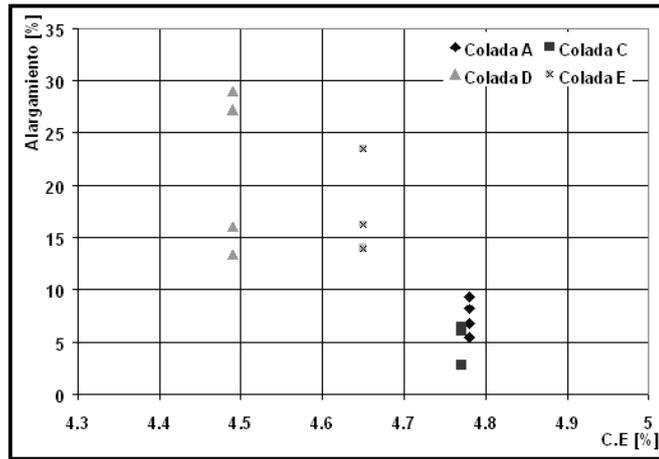


Figura 10: CE Vs. largamiento, molde horizontal, espesor 2 mm.

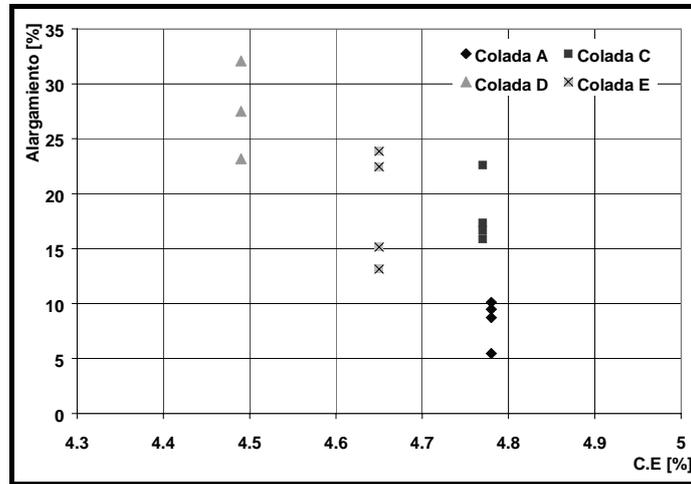


Figura 11: CE Vs. Alargamiento, molde horizontal, espesor 4 mm.

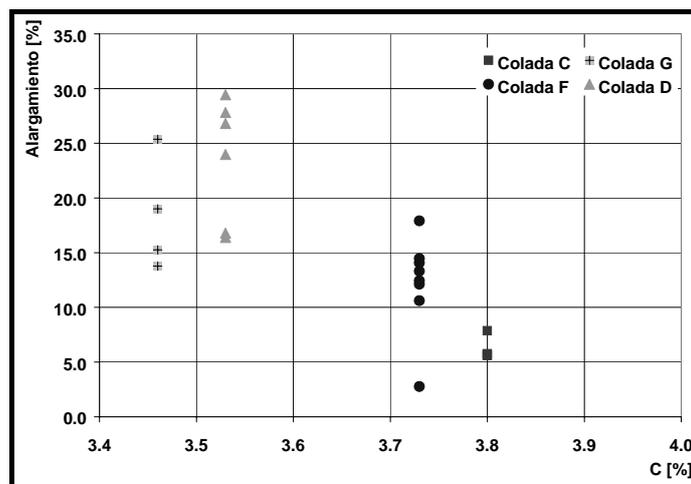


Figura 12: %C Vs. Alargamiento, molde vertical, espesor 2 mm.

En las Figuras 14 y 15 se aprecia que el %Si tiene un efecto similar, aunque menos marcado que el del C.

Para las matrices ferríticas estudiadas, esto se atribuye a los mismos motivos microestructurales mencionados para los altos C.E.

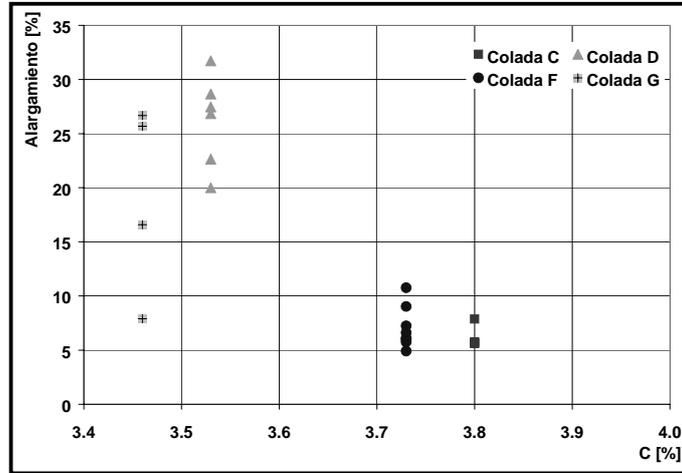


Figura 13: %C Vs. Alargamiento, molde vertical, espesor 4 mm.

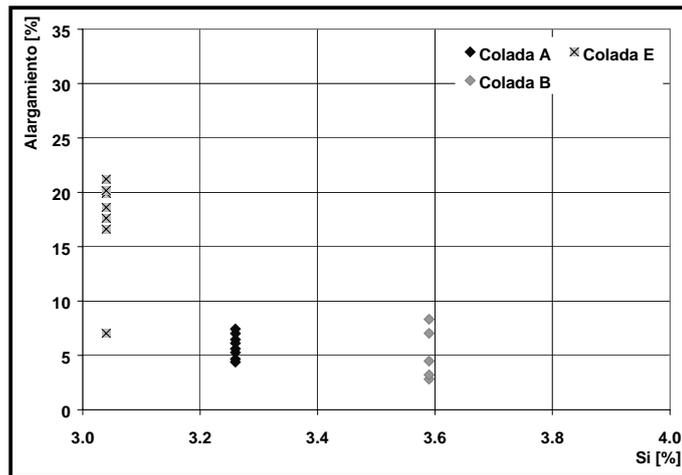


Figura 14: %Si Vs. Alargamiento, molde vertical, espesor 2 mm.

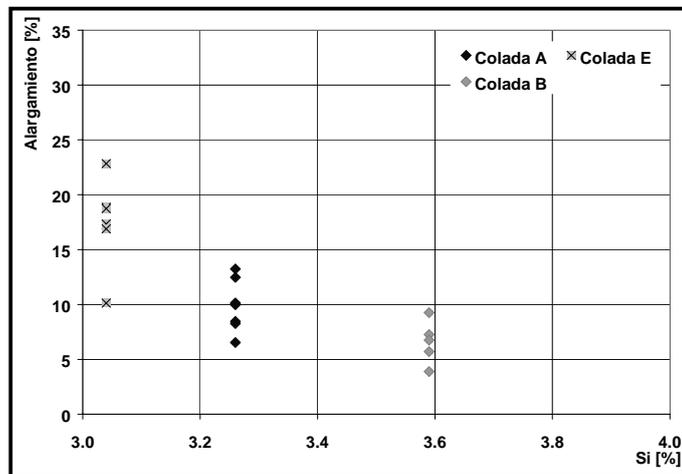


Figura 15. %Si Vs. Alargamiento, molde vertical, espesor 4 mm.

### 3.4 Efecto del Conteo Nodular.

Es importante señalar que en el presente estudio, al trabajar con matrices totalmente ferríticas, no es posible una comparación directa con los resultados reportados por otros autores [1]. Sin embargo, al independizarnos de la influencia de las distintas microestructuras, es posible analizar directamente el efecto del conteo nodular sobre el alargamiento a la rotura.

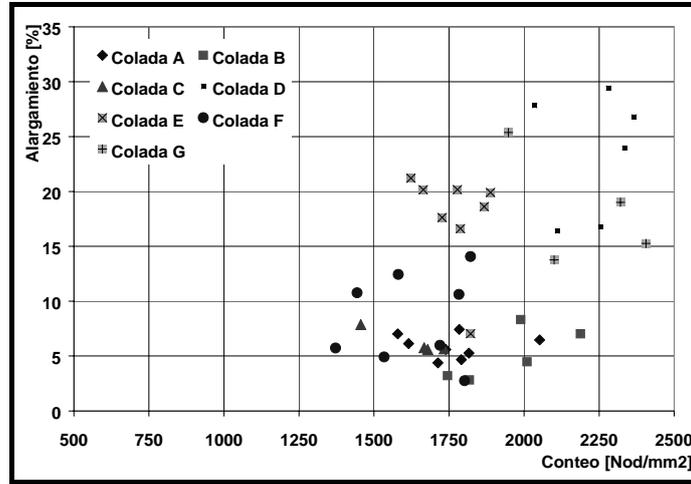


Figura 16. Conteo nodular Vs. Alargamiento, molde vertical, espesor 2 mm.

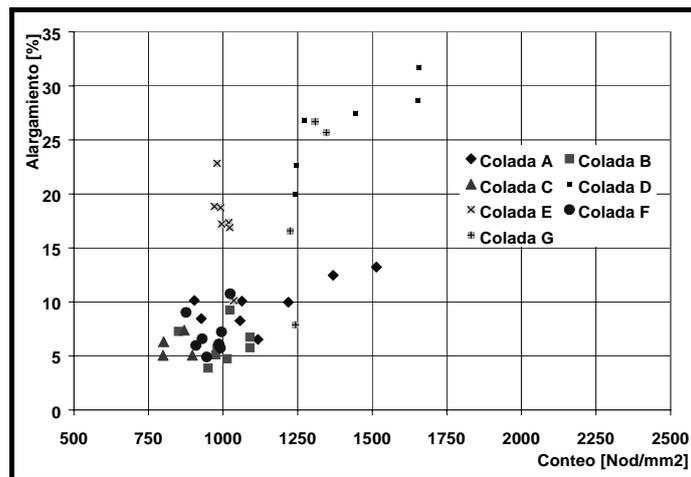


Figura 17. Conteo nodular Vs. Alargamiento, molde vertical, espesor 4 mm.

Las Figuras 16 y 17 muestran que en las placas de 2 y 4 mm de espesor del molde vertical, el alargamiento a la rotura aumenta con el aumento del conteo nodular.

Esta tendencia se mantiene para el molde horizontal, aunque no de manera tan marcada.

## 4 CONCLUSIONES

- Todas las coladas con CE < 4.65% poseen valores de alargamiento a la rotura que superan el mínimo de la Norma ASTM A 536.
- Una disminución en el C.E produce una mejora en el alargamiento a la rotura en el rango de las composiciones hipereutécticas.
- La tensión a la rotura es insensible a la variación del C.E.
- Para un espesor determinado de placa, un aumento en el conteo nodular produce una mejora en el alargamiento a la rotura.

## 5 REFERENCIAS

- [1] JAVAID, A., DAVIS, K.G., SAHOO, M., “Effect of Chemistry and Processing Variables on Mechanical Properties of Thin-Wall DI Castings”, *AFS Transactions*, v. 108, pp. 191-200, 2000.
- [2] STEFANESCU, D.M, DIX, L.P., RUXANDA, R.E., CORBITT, C., PIWONKA, T.S., “Tensile Properties of Thin Wall Ductile Iron”, *AFS Transactions*, pp. 02-178, pp. 1149-1161, 2000.
- [3] DIX, L.P., RUXANDA, R., TORRANCE, J., FUKUMOTO, M., STEFANESCU, D.M. “Static Mechanical Properties of Ferritic and Pearlitic Lightweight Ductile Iron Castings”, *AFS Transaction*, 2003.
- [4] NOVELLI, D., MASSONE, J.M., BOERI, R., SIKORA, J.A., “Fundiciones Esferoidales de Espesores Delgados - Avances en la Tecnología de Producción”, In: *Anales Jornadas CONAMET/SAM*, pp. 163-168, 2002.
- [5] MASSONE, J.M., DAVID, P.H., SIKORA, J.A., “Caracterización Micro y Macro-Estructural de Placas de Fundición Esferoidal de Espesores Delgados”, *Jornada SAM/CONAMET*, pp. 81-84, 2003.