

## Ensayo de Impacto de Piezas de Fundición Esferoidal de Pequeño Espesor

M. Caldera, J. Massone, R. Boeri y J. Sikora

División Metalurgia INTEMA - Univ.Nacional de Mar del Plata – CONICET, Juan B. Justo 4302,  
(B7608FDQ) Mar del Plata, Argentina.

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

---

### RESUMEN

En el presente trabajo se estudia del comportamiento de la fundición esferoidal de pequeño espesor, y por lo tanto de elevado conteo nodular, ante sollicitaciones de impacto, realizando comparaciones con probetas extraídas de bloques "Y" de 1/2 y 1 pulgada (ASTM A395). Se evaluó la influencia de la forma de la probeta de choque utilizada, encontrándose que los valores de resiliencia obtenidos difieren para distintos espesores de probeta. Se observó una disminución de la temperatura de transición con el aumento del conteo nodular, mientras que la energía absorbida en el "upper shelf" disminuye a medida que aumenta el conteo nodular.

**Palabras claves:** Fundición esferoidal, espesor delgado, resistencia al impacto, conteo nodular.

---

### Impact Tests of Thin Wall Ductile Iron

#### ABSTRACT

This work studies the impact strength of thin wall ductile iron. The impact energy of thin wall plates cast on sand moulds of thickness ranging from 2 to 4 mm, in which nodule counts range from 1700 to 1300 nod/mm<sup>2</sup>, are measured and compared to test results obtained on samples taken from 13 and 25mm Y blocks (ASTM A395), in which regular nodule counts are about 200 nod/mm<sup>2</sup>. Since standard Charpy specimens could not be machined from the thin plates, some complementary studies were necessary. Impact testing of ductile iron samples of regular nodule count and different widths, showed that the resilience increases noticeably and the ductile-brittle transition temperature drops as the width diminishes. The increase in the nodule count causes a significant decrease in upper shelf resilience, and a decrease in the ductile-brittle transition temperature. Very high nodule count ferritic ductile iron, of nodule count between 1300 and 1700 nod/mm<sup>2</sup>, shows a ductile-brittle transition temperature of approximately -80°C and upper shelf resilience of about 16 J/cm<sup>2</sup>. A ductile iron of similar chemical composition, but of regular nodule count, shows a transition temperature of approximately -45 and upper shelf resilience of approximately 22 J/cm<sup>2</sup>.

**Keywords:** Spheroidal melting, thickness thin, resistance to the impact, nodule count.

---

### 1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el desarrollo de fundiciones esferoidales (FE) de espesores delgados ocupa el interés de científicos y tecnólogos. Los estudios procuran incrementar el campo de aplicación de las FE, un material que posee ventajas comparativas por resistencia y costo de producción en relación con su densidad, por lo que puede ser considerado intrínsecamente liviano.

La caracterización de las propiedades de impacto, y la determinación de las temperaturas de transición, tienen gran importancia tecnológica dado que prevén el comportamiento del material y el tipo de fractura, datos imprescindibles para evitar fallas catastróficas de piezas en servicio.

Hasta el momento, los esfuerzos aplicados en la investigación de FE de espesores delgados se han centralizado en: a) mejorar los métodos del llenado de los moldes para obtener piezas delgadas libres de defectos, b) estudiar los procedimientos de colada y composición química del caldo líquido para obtener estructuras libres de carburos, y c) caracterizar las propiedades mecánicas mediante ensayos estáticos de tracción y dureza [1, 2, 3, 4]. Actualmente la industria requiere también la caracterización de este material

frente a otras solicitaciones, tales como fatiga, desgaste y choque. La bibliografía referida al comportamiento de FE de espesores delgados ante estos tipos de solicitaciones es escasa.

La literatura reporta curvas de temperaturas de transición para fundiciones nodulares de espesores "convencionales" (aprox. 10 a 75 mm), caracterizados por conteos nodulares de entre 100 y 300 nod/mm<sup>2</sup>, Figura 1 [5]. Los resultados muestran una disminución de la temperatura de transición dúctil/frágil y una disminución de la energía absorbida en el "upper shelf" con el aumento del conteo nodular. Labrecque et al [6] midieron la resistencia al impacto de probetas nodulares de FE provenientes de placas de 3 y 10 mm de espesor. Observaron una resiliencia mucho menor en las probetas más delgadas, pero sus resultados no son significativos ya que la microestructura de la matriz de las muestras no fue idéntica en todos los casos. Davis et al. [7], midieron la tenacidad de probetas extraídas de placas de FE de 3 y 12 mm de espesor. En coincidencia con los resultados de Labrecque, observaron una menor resiliencia en las muestras provenientes de las placas de menor espesor. Sin embargo, nuevamente la microestructura no fue la misma en ambos tipos de muestra, por lo que no se puede establecer con claridad la influencia del conteo nodular sobre la tenacidad de las FE.

El objetivo del presente trabajo es estudiar las propiedades de la fundición esferoidal con altos conteos nodulares frente a cargas de impacto a fin de determinar las temperaturas de transición dúctil/frágil, establecer la influencia del conteo nodular sobre la energía absorbida, y analizar el efecto del tamaño de la probeta y de la entalla.

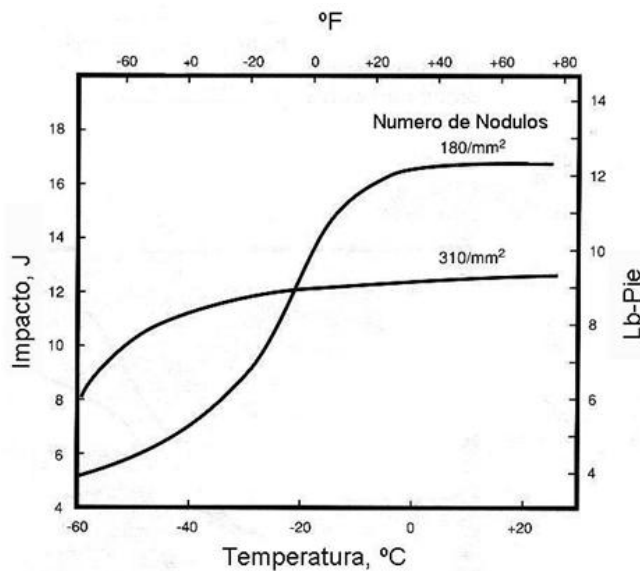


Figura 1: Curvas de transición para bajos conteos.

## 2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

### 2.1 Coladas

Se realizaron 2 coladas experimentales en la planta piloto del INTEMA, identificadas como "A" y "B". Se empleó un horno de fusión eléctrico de media frecuencia y 50 Kg de capacidad. La carga consistió en 30% de arrabio y 70% de chatarra de acero. Para lograr el tenor de carbono deseado se carburó con grafito (90% de rendimiento) y se utilizó FeSi (75% Si) en piedras para ajustar el % de Si del metal base. El metal líquido fue sobrecalentado hasta 1540°C durante 10 minutos, en ambas coladas. En la nodulización se utilizó Fe-Si-Mg y se aplicó el método "sandwich". La inoculación se llevó a cabo en una segunda cuchara y se utilizó FeSi (75%Si) como inoculante. En la tabla I se indican las composiciones químicas de las coladas.

Tabla 1. Composición química de las coladas.

Colada	Composición Química (%)						C.E.
	C	Si	Mn	S	P	Mg	
A	3.60	3.02	0.23	0.02	0.04	0.04	4.60
B	3.40	3.00	0.24	0.01	0.03	0.05	4.40

## 2.2 Moldes y Modelos

Empleando la colada A se colaron cuatro piezas conteniendo cada una de ellas 2 placas de 2 y 4 mm de espesor, Figura 2. Con la colada B se colaron dos bloques Y de 25 mm de espesor y tres de 13 mm.



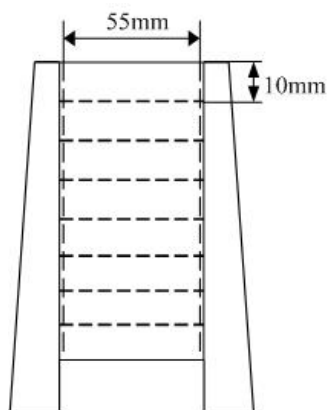
**Figura 2:** Pieza colada de espesor delgado

Todas las piezas empleadas para la preparación de probetas fueron previamente ferritizadas mediante un tratamiento térmico de austenizado a 920°C seguido de un enfriamiento dentro del horno, a fin de uniformizar la matriz de todas las piezas y disolver los carburos ledeburíticos que pudieran estar presentes como consecuencia del régimen de enfriamiento impuesto durante la solidificación.

## 2.3 Probetas Utilizadas

Los espesores normalizados para probetas de choque, ASTM E23-94b, son de 10, 7,5, 5 y 2,5mm. En el presente caso se emplearon espesores menores, por lo que fue necesario utilizar probetas fuera de norma. Se mecanizaron probetas de choque rectificadas, es decir sin piel, empleando las dimensiones definidas en la norma ASTM E23-94b “Charpy Subsize Type A”, con excepción del espesor, con y sin entalla. Debe destacarse que los valores de resiliencia medidos en probetas de distinto espesor dependen de este último parámetro, no siendo directamente comparables.

De la colada "A", se mecanizaron probetas de tracción "ASTM E 8M Subsize Specimen", obteniéndose cuatro probetas de cada uno de los espesores (placas de 2 y 4 mm). Después de los ensayos se realizaron metalografías para evaluar los conteos nodulares usando un analizador de imágenes.

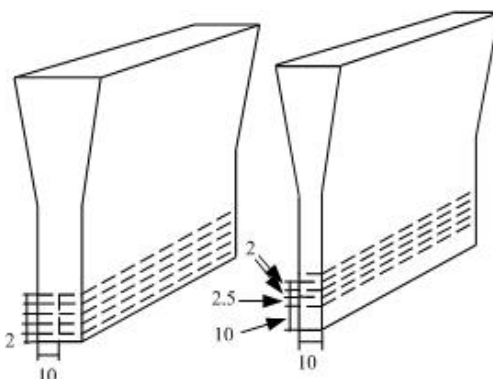


**Figura 3.** Forma en la cual se obtuvieron las probetas de choque a partir de las placas delgadas.

La Figura 3 esquematiza la forma en la cual se cortaron las placas de espesor delgado para obtener las probetas de choque. Es importante señalar que las probetas provenientes de las placas de 2mm resultaron

de 1,6 mm luego del rectificado superficial. En cambio, el espesor de las placas de 4mm fue reducido a 2mm para obtener probetas de choque delgadas.

A partir de los bloques “Y” de la colada B se obtuvieron probetas de choque de 2; 2,5; 3,5; 7 y 10mm de espesor. En la Figura 4 se esquematiza el seccionamiento de los bloques Y



**Figura 4:** Seccionamiento de bloques Y de 25 y 13 mm para obtener probetas de choque.

Para el análisis del efecto de la entalla sobre probetas de choque “subsize”, se mecanizaron además probetas sin entalla de 2mm de espesor a partir de un bloque Y de 13 mm.

## 2.4 Ensayos de Resiliencia

Los ensayos de choque fueron realizados en un péndulo Wolpert-Lestor Tipo PW5 con capacidad energética de 0.5 a 50 Joule.

Las temperaturas de ensayo utilizadas fueron +45°C, +20°C, -10°C, -45°C, -65°C y -75°C, ensayándose cuatro probetas a cada temperatura. Para determinar la temperatura de transición se empleó el criterio del 50% de la energía absorbida en el "upper shelf".

## 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

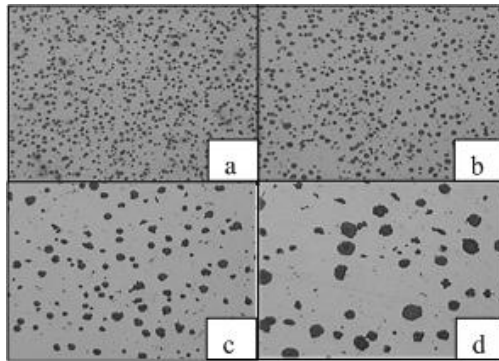
### 3.1 Caracterización y Propiedades Mecánicas

En la tabla II, se listan las propiedades mecánicas obtenidas como resultado de los ensayos de tracción de la colada "A"; y los conteos nodulares de los distintos espesores de pieza utilizados.

**Tabla II:** Resultados de los ensayos de tracción y conteos nodulares de ambas coladas.

	Colada	UTS (Mpa)	Alarg. Rotura (%)	ConteoNod. (nod/mm <sup>2</sup> )
A	Espesor 2mm	462	21	1700
	Espesor 4mm	447	19.5	1300
B	Bloque Y, 13 mm			390
	Bloque Y, 25 mm			220

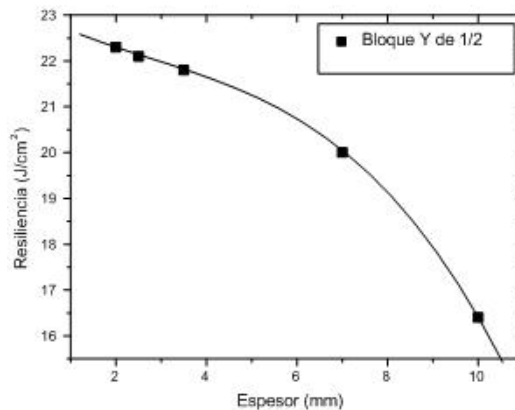
En la Figura 5 se observan las metalografías a 100X de las piezas. En todos los casos la matriz es totalmente ferrítica, como resultado del tratamiento de ferritizado.



**Figura 5.** Metalografías a 100X de los distintos conteos nodulares, a) 1700 nod/mm<sup>2</sup>, b) 1300 nod/mm<sup>2</sup>, c) 390 nod/mm<sup>2</sup> y d) 220 nod/mm<sup>2</sup>

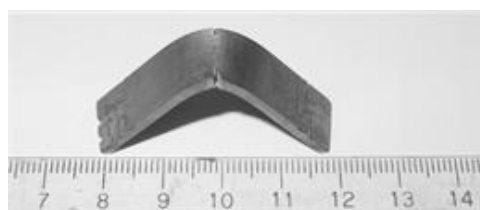
### 3.2 Influencia del Tamaño y la Forma de la Probeta

En la Figura 6 se gráfica la energía absorbida por unidad de área (resiliencia) a temperatura ambiente, para probetas entalladas de distinto espesor, provenientes de un mismo bloque “Y” de 13 mm, ensayadas a temperatura ambiente. Cada punto representa el promedio de cuatro ensayos. Se observa que la resiliencia disminuye a medida que aumenta el espesor de la probeta, confirmando que los valores de energía absorbida para distintas secciones no pueden ser comparables al ser afectados por el área (resiliencia). Puede verse, por ejemplo, que las probetas de 10 mm de espesor, que poseen un área neta de 80 mm<sup>2</sup>, tienen una resiliencia promedio de 16,4 J/cm<sup>2</sup>, mientras que las probetas de 2 mm de espesor del mismo material, con un área neta de 16mm<sup>2</sup>, tienen un valor promedio de 22.3 J/cm<sup>2</sup>. Debe notarse que esta tendencia podría variar para otras temperaturas de ensayo.



**Figura 6:** Influencia del espesor de la probeta en los valores de resiliencia.

Los resultados obtenidos en las probetas sin entalla mostraron una gran dispersión en los valores, atribuida a que la mayoría de las probetas se deformaron plásticamente, curvándose de manera significativa antes de la rotura, de lo que se desprende que una gran parte de la energía absorbida fue empleada en la deformación plástica. En la Figura 7, se observa una probeta curvada, sin romper. Estos resultados condujeron al empleo de probetas entalladas exclusivamente.



**Figura 7:** Probeta curvada sin alcanzar la rotura.

### 3.3 Temperaturas de Transición

La Figura 8 muestra la variación de resiliencia en función de la temperatura para muestras de distinto conteo nodular. La temperatura de transición es de aproximadamente  $-45^{\circ}\text{C}$  para una fundición de  $220\text{ nod/mm}^2$ , mientras que este valor disminuye a  $-80^{\circ}\text{C}$  para el conteo nodular máximo de  $1700\text{ nod/mm}^2$ . Los valores de resiliencia en el "upper shelf" son mayores para las fundiciones de menor conteo nodular, variando de  $22.5\text{ J/cm}^2$  a  $16\text{ J/cm}^2$ .

Los resultados obtenidos para las probetas con altos conteos nodulares mostraron una tendencia semejante a la observada para conteos convencionales [5].

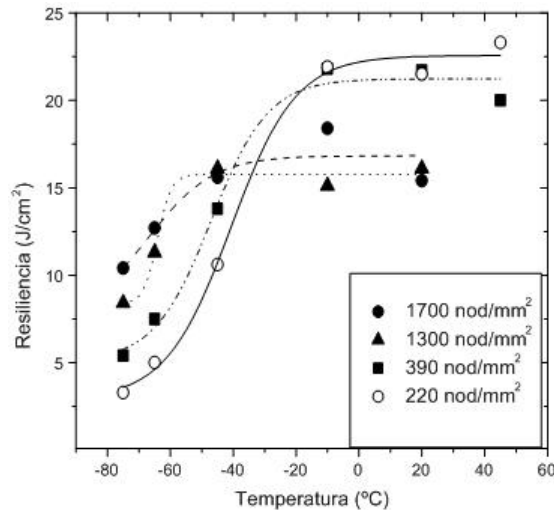


Figura 8: Curvas de transición para los distintos conteos nodulares

### 3.4 Energía de Impacto en Función del Conteo Nodular

En la Figura 9 se grafican los resultados de resiliencia a  $20^{\circ}\text{C}$  vs. conteo nodular. Se incluye una ecuación que describe la variación de resiliencia en función del conteo nodular dentro de los rangos investigados. A efectos de garantizar que todas las probetas de distintos conteos nodulares se encuentren en el "upper shelf", se emplearon resultados de ensayos a temperatura ambiente ( $+20\text{ C}$ ). Se puede ver que la resiliencia disminuye a medida que aumenta el conteo nodular, observándose una reducción de aproximadamente el 25% al elevar el conteo nodular de  $220$  a  $1700\text{ nod/mm}^2$ . Las razones que fundamentan este comportamiento no son evidentes y serán motivo de estudios futuros.

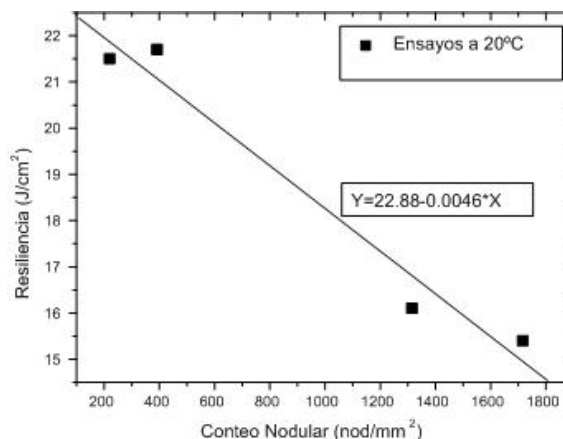


Figura 9: Influencia del conteo nodular en los valores de resiliencia obtenidos a  $20^{\circ}\text{C}$ .

#### 4 CONCLUSIONES

Se confirmó que los valores de resiliencia obtenidos con probetas de distinto espesor, no son comparables entre sí, observándose que probetas de igual material muestran mayor resiliencia a medida que disminuye su espesor.

Los ensayos de choque en espesores delgados deben realizarse con probetas entalladas. Las probetas no entalladas se deforman notablemente (curvado) por lo que muestran grandes dispersiones que invalidan la comparación de resultados.

La temperatura de transición disminuye con el aumento del conteo nodular. Por su parte, la resistencia al impacto en el "upper shelf" aumenta con la disminución del conteo nodular.

Las fundiciones esferoidales de alto conteo nodular (1300-1700 nod/mm<sup>2</sup>) ferritizadas, muestran una temperatura de transición de aproximadamente -80°C y una resiliencia en el "upper shelf" de aproximadamente 15 J/cm<sup>2</sup> cuando se lo mide en probetas de aproximadamente 2 mm de espesor.

#### 5 REFERENCIAS

- [1] CALDERA, M., MASSONE, J., BOERI, R., *et al*, "Obtención de Piezas de Fundición Esferoidal de Pequeño Espesor Libres de Defecto", in: *SAM*, 2001.
- [2] NOVELLI, D., MASSONE, J., BOERI, R., *et al*, "Fundiciones Esferoidales de Espesores Delgados – Avances en la Tecnología de Producción", in: *CONAMET/SAM*, 2002.
- [3] MAMPAEY, F., XU, Z.A., Mold Filling and Solidification of a Thin-Wall Ductile Iron Casting, *AFS Transactions*, v. 97-73, pp. 95-103.
- [4] DIX, L.P., RUXANDA, R., TORRANCE, *et al*, "Statics Mechanical Properties of Ferritic and Perlitic Lightweight Ductile Iron Castings", in: *AFS Transactions*, paper 03-109 (05), 2003.
- [5] QIT-Fer et Titane Inc, Ductile Iron Data for Design Engineers, Section 3, 1990, pp. 3-43 a 3-51.
- [6] LABRECQUE, C., GAGNE, M., JAVAID, *et al*, "Production and Properties of Thin-Wall Ductile Iron Castings", in: *SPCI7*, Barcelona, sección 8, 2002.
- [7] DAVIS, K.G., SAHOO, M., JAVAID, A., "Effect of Chemistry and Processing Variables on the Mechanical Properties of Thin Wall Iron Castings", in: *AFS Casting Congress*, 2000.
- [8] DIETER, G. E., *Metalurgia Mecánica*, Aguilar, Madrid, 1961, pp.395-407, cap. 14.