

# ANÁLISIS TEÓRICO DE UNA PIEZA DE FUNDICIÓN NODULAR POR EL MÉTODO DE LOS MÓDULOS GEOMÉTRICOS Y SIMULACIÓN NUMÉRICA

Germán Abate<sup>1,2</sup>; Daniela Perez<sup>1,2</sup>; Javier Pouton<sup>1</sup>; Daniel Martínez Kraher<sup>1,2</sup>; Julieta Brignone<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centro de Mecánica, Instituto Nacional de Tecnología Industrial  
<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Lomas de Zamora  
<sup>3</sup>Brignone & Asociados  
[mkraher@inti.gob.ar](mailto:mkraher@inti.gob.ar)

## OBJETIVOS

- Analizar una pieza de fundición nodular por el método de los módulos geométricos y simulación computacional.
- Diseñar el canal de alimentación, y verificar por simulación, el proceso de solidificación.

## DESCRIPCIÓN

La fundición nodular o esferoidal, también llamada hierro dúctil, es un material usado en forma creciente desde hace varios años, principalmente en la industria automotriz, dado que permite combinar piezas con propiedades mecánicas adecuadas a sus solicitaciones en servicio, y a menores costos. Asimismo es también posible obtener menores espesores, un mayor grado de detalle geométrico y una menor densidad en comparación con el acero. Por otra parte, posee una particularidad muy especial. Controlando la calidad metalúrgica del líquido, la rigidez de los moldes, y el módulo del canal de ataque, es factible lograr un comportamiento expansivo eficaz, permitiendo mejorar el rendimiento del proceso de fundición (relación existente entre los kg de la pieza terminada y la cantidad de kg de líquido colado en el molde, más los derrames, salpicaduras y otras pérdidas del proceso), al poder achicar mazarotas, e incrementar la cantidad de cavidades por molde. Es por esta característica, que el desarrollo de las piezas de hierro nodular debe ser estudiado con un mayor grado de detalle. Basados en la metodología aplicada con éxito por N. Rizzo [1], en distintas fundiciones proveedoras de la industria automotriz, se seleccionó una campana de unos 15 kg y 2082 cm<sup>3</sup>, cuya geometría y dimensiones generales en mm, se observan más abajo:

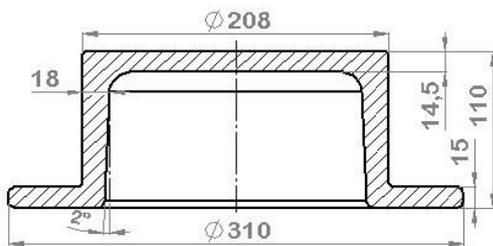


Figura 1: Dimensiones principales de la campana

Se comienza dividiendo en módulos (secciones) el diseño 3D de la pieza, tal como se muestra en la figura siguiente:



Figura 2: Separación de la pieza en módulos

Seguidamente se calculan los módulos (relación volumen y área de cada sección), y sus respectivas fracciones volumétricas. Estos datos se muestran en la tabla 1.

Tabla 1: Valores correspondientes a los módulos y fracciones volumétricas de la pieza en estudio

Sección	Módulo M (cm)	Volumen V (cm <sup>3</sup> )	Fracción volumétrica FV (%)
1	0,68	736	0,35
2	0,84	846	0,41
3	0,84	500	0,24
Total	0,77	2082	1,00

Para determinar el comportamiento del líquido, lo consideraremos de calidad metalúrgica promedio, tal como resulta en la mayoría de las fundiciones (se entiende por calidad el tipo de comportamiento que asume el líquido al solidificar), y para ello nos valdremos de la curva obtenida por N. Rizzo en forma experimental [1], la cual establece la variación volumétrica en función del módulo:

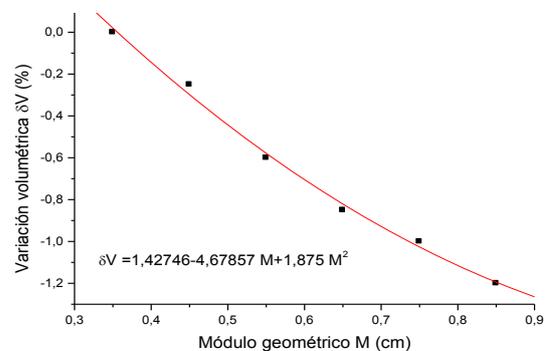


Figura 3: Curva experimental de variación volumétrica  $\delta V$  (%) vs módulo geométrico M (cm)

Haciendo uso de la curva de regresión cuadrática aplicada a cada módulo, y multiplicando el valor obtenido, por su fracción volumétrica, obtenemos la siguiente tabla:

**Tabla 2: Variación volumétrica de cada sección**

Sección	Módulo M (cm)	Variación volumétrica $\delta V$ (%)
1	0,68	-0,31
2	0,84	-0,48
3	0,84	-0,28
Total	0,77	-1,07

En consecuencia, del análisis de la tabla 2, se desprende que, el comportamiento de la pieza en estudio, utilizando una calidad metalúrgica promedio, será de tipo contractivo.

Al momento de diseñar un sistema de colada, estos pueden efectuarse de diferentes modos, a volumen constante o a presión constante.

Con un sistema a volumen constante, en combinación con la calidad metalúrgica del líquido, el control sobre el carbono equivalente residual y el proceso de inoculación, es posible conseguir que el líquido dentro del molde se comporte de manera expansiva, cuando originalmente era del tipo contractivo. Esto se logra utilizando un módulo de canal de alimentación menor que el modulo significativo menor de la pieza (0,68 cm) en función de una relación determinada en los tiempos de solidificación para cada caso. Ya que no disponemos de la curva de enfriamiento para un módulo de 0,68 cm y una masa equivalente al mismo (5,3 kg), optamos por desarrollar un sistema de alimentación a presión constante.

En este tipo de diseño, se mantiene el canal de colada "abierto" hasta que el módulo mayor comience a solidificar, para lo cual debemos utilizar un módulo en el canal de ataque, mayor al módulo significativo mayor de la pieza. Con esto se consigue que el sistema de aporte del líquido, sea quien contrarreste la contracción del mismo dentro de la pieza.

Entonces, emplearemos un módulo mayor que 0,84 cm para el canal de alimentación. El mismo fue de 0,90 cm calculado en este caso como Área/Perímetro, y recurriendo a un ataque de sección rectangular de 4,0 cm por 3,5 cm de lado, con una altura de 10,0 cm.

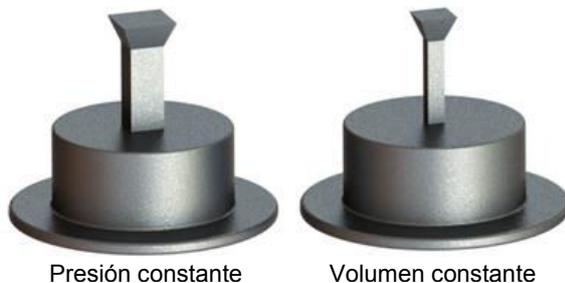


Figura 4: Sistemas de alimentación

Completado el diseño a presión constante mostrado en la figura 4, se procedió a realizar una simulación numérica del mismo empleando Quick Cast [2].

Las condiciones de la simulación fueron:

**Material:** fundición nodular, baja inoculación

**Método:** colada por gravedad

**Temperatura de colada:** 1350°C

**Tiempo de llenado:** 6,30 s

**Velocidad de colada:** 0,3 m/s

**Material del molde:** arena verde

**Dimensiones del molde:** molde implícito de 10cm de espesor

**Tamaño de la malla:** fina

## RESULTADOS

Del proceso de simulación se obtuvieron, el mapa de solidificación y sus respectivos tiempos para cada módulo:

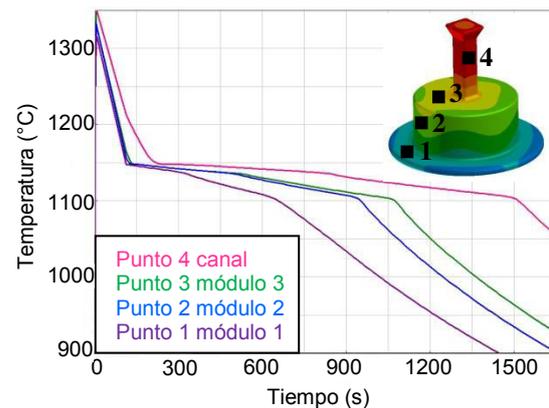


Figura 5: Gráfico de Temperatura – Tiempo

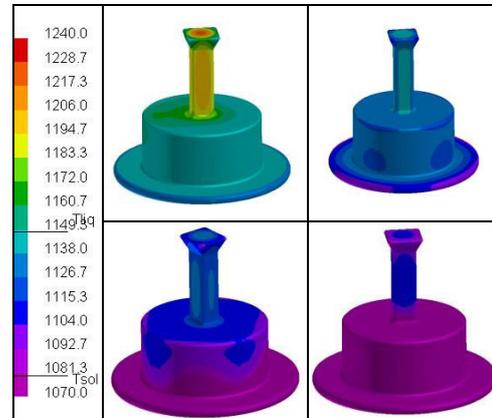


Figura 6: Gráficas de enfriamiento (temperatura °C)

A través del análisis de los resultados obtenidos por simulación se verificó una solidificación dirigida, propia de un sistema de alimentación a presión constante.

## CONCLUSIONES

- Se ha desarrollado en forma paulatina, el proceso de diseño teórico de una pieza de hierro nodular, de comportamiento contractivo, vinculando el método de los módulos geométricos con la simulación computacional.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Norberto Rizzo Downes y Daniel Martinez Krahmer, Fundición nodular de alto rendimiento, 2015 (cuadernillo tecnológico).
- [2] [www.esi-group.com](http://www.esi-group.com)