

# "POSIBILIDAD DE TRATAMIENTOS TERMICOS DE LAS FUNDICIONES NODULARES PRODUCIDAS EN EL VALLE DE ABURRA"

## PRIMERA PARTE

Por: Horacio Sierra R.  
Alonso Guerra G.  
César Chaves R.

Ingenieros Mecánicos  
Profesores del Departamento  
de Tecnología Mecánica

### INTRODUCCION

La fundición nodular en nuestro medio está tomando un auge inusitado y la gama de aplicaciones en Ingeniería se ha ampliado considerablemente debido a sus características. Estas características pueden ser mejoradas mediante tratamientos térmicos, no existiendo en nuestro medio un buen conocimiento acerca de ellos. El conocimiento de los tratamientos térmicos de las fundiciones en nuestro medio y sus aplicaciones, ampliará, aún más, la gama de utilización de dicho material.

El estudio lo está desarrollando un grupo de profesores de la Facultad de Minas, pertenecientes al Departamento de Tecnología Mecánica, Sección de Materiales Metálicos, utilizando las instalaciones del Laboratorio de Metalografía y con ayuda financiera de Ciencias.

El estudio fue propuesto para desarrollar en tres etapas, a saber:

**PRIMERA ETAPA:** Definición de conjunto de las F.N. sobre el cual se va a trabajar, limitándonos al tipo ferrítico.

**SEGUNDA ETAPA:** Estudio de la posibilidad de tratamientos térmicos que se pueden efectuar sobre el conjunto seleccionado anteriormente, y de las

propiedades mecánicas resultantes después de cada uno de los tratamientos.

**TERCERA ETAPA:** El estudio anterior se piensa realizar sobre funciones no aleadas, lo cual puede ser limitante para alcanzar el objetivo de la segunda; entonces en la tercera etapa ampliaremos la investigación a las fundiciones aleadas.

Ciñéndonos al plan propuesto, hemos dado curso a la primera etapa.

### PRIMERA ETAPA:

**Objetivos:** La primera etapa de la investigación tiene un doble objetivo:

- Caracterizar las fundiciones nodulares producidas por las principales empresas de la región.
- Seleccionar y definir las fundiciones sobre las cuales se estudiarán las posibilidades de tratamiento térmico, en la segunda etapa.

Para realizar esta primera etapa, trabajaremos con muestras de 20 coladas diferentes suministradas por Simesa y Apolo, las cuales producen, con otras empresas de la región, prácticamente el 100% de fundición nodular en el país.

Estas muestras se recolectaron en un período de 6 meses.

El rango de composiciones químicas estudiado se da en la tabla No. 1.

TABLA No. 1

<u>% C</u>	<u>% Mn</u>	<u>% Si</u>	<u>% S</u>	<u>% Ni</u>	<u>% Cr</u>	<u>% Cu</u>	<u>% P</u>
3.0 a	0.26 a	2.28 a	< 0.01	0.12 a	0.01 a	0.07 a	
4.30	0.47	2.78		0.01	0.08	0.21	< 0.07

En este rango sólo se tienen en cuenta 18 coladas, pues las dos restantes presentaron cobre en porcentajes de 0.4% siendo por ello consideradas como aleadas.

#### Realizaciones:

Para cumplir con los objetivos propuestos en la primera etapa, dividimos el estudio en dos capítulos, el primero sobre caracterización, y el segundo sobre tratamientos térmicos.

#### 1. CARACTERIZACION DE LAS FUNDICIONES NODULARES DEL VALLE DE ABURRA

En la ejecución de este capítulo realizamos sobre las 20 coladas lo siguiente:

- Metalografía al estado de entrega "as cast"
- Toma de dureza al estado de entrega
- Ensayos de tracción al estado de entrega

Cada uno de estos análisis se realizó siguiendo las normas que la ASTM estipula para ellos.

Después de observar y analizar los resultados una serie de conclusiones anotando en este artículo las más importantes (4):

a. Doce de las 20 coladas presentan matriz ferrítica y su dureza está comprendida entre 140 y 170 HB. Esto coincide con los valores de dureza para el grado 60-40-18, cuya matriz es ferrítica y su dureza está entre 149 HB y 187 HB (recomendación ASTM A-536-70). Seis coladas presentaron matriz perlito-ferrítica y la dureza medida está entre 194 HB y 243 HB. Según la recomendación ASTM A-536-70 coincide con el grado 80-55-06 cuya matriz es perlito-ferrítica y su dureza está comprendida entre 187 HB y 255 HB.

Estas 18 coladas no presentan diferencias significativas en su composición química, por tanto, la diferencia estructural entre las 12 ferríticas y las 6 perlito-ferríticas, en estado de entrega, obedece a diferente velocidad de enfriamiento. Las dos coladas restantes presentaron matriz perlítica debido al incremento del cobre, que llega a ser de 0.4%.

b. En cuanto a propiedades mecánicas, las coladas que presentan matriz ferrítica (excepto una colada que presenta grafito degenerado, tipo IV), se ajustan al grado 60-40-18, pues lo obtenido por nosotros en los ensayos es en promedio 64-45-21, viendo con ello que la fabricación nodular de matriz ferrítica producida en el Valle supera lo estipulado por la norma.

Las coladas que presentaron matriz perlita-ferrítica las podemos asimilar al grado 80-55-06, pues lo obtenido en los ensayos realizados fue de 89-66-10 (en promedio), superando así el valor estipulado por la norma.

c. La presencia de grafito degenerado disminuyó notablemente las propiedades mecánicas de la fundición: Resistencia a la tracción, límite elástico y ductibilidad, incluso, disminuyó la dureza al estado ferrítico.

## 2. RESPUESTA A LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Para ejecutar este capítulo realizamos tratamientos de normalizado, ferritizado y Ensayo Jominy.

### 2.1 Normalizado

Consiste básicamente en calentar la fundición a la temperatura de austenización de la matriz y luego dejar enfriar al aire.

Para la escogencia de la temperatura óptima de austenización, hicimos la consideración de que la matriz austenizada alcanza su saturación en carbono según el diagrama Fe-C-Si estable, pero el enfriamiento se realiza siguien-

do el diagrama Fe-C-Si metaestable, es decir, el paso del diagrama metaestable se produce inmediatamente comienza el enfriamiento.

Según lo anterior, para lograr la perlitzación total hay que llevar la pieza a una temperatura tal que la saturación de la austenita, según el diagrama estable, corresponde al porcentaje de carbono del punto autectoide del diagrama metaestable, lo cual ocurre a 900°C para el rango de composición estudiado.

También se realizaron tratamientos a 840°C y 950°C para corroborar lo anterior y para estudiar el efecto tiempo-temperatura en la perlitzación. Para calcular dichas temperaturas se construyeron los diagramas estable y metaestable de acuerdo a las relaciones dadas por Laplanche (3) y las curvas dadas por Albert Desey et Julian Vidts (2).

El estudio de las condiciones de normalizado implica realizar ese tratamiento térmico para diferentes tiempos de sostenimiento ( $ta$ ) a la temperatura de austenización, con lo cual se estudia el aumento de la cantidad de perlita en la matriz al aumentar  $ta$ , mediante medición de dureza y observación metalográfica.

Graficando Dureza vs  $ta$  se obtiene una curva que informa del  $ta$  mínimo requerido para lograr la perlitzación completa, o si se desea, el  $ta$  para conseguir un determinado porcentaje de perlita en la matriz y por lo tanto, una dureza y unas propiedades mecánicas dadas. Esto se hizo em-

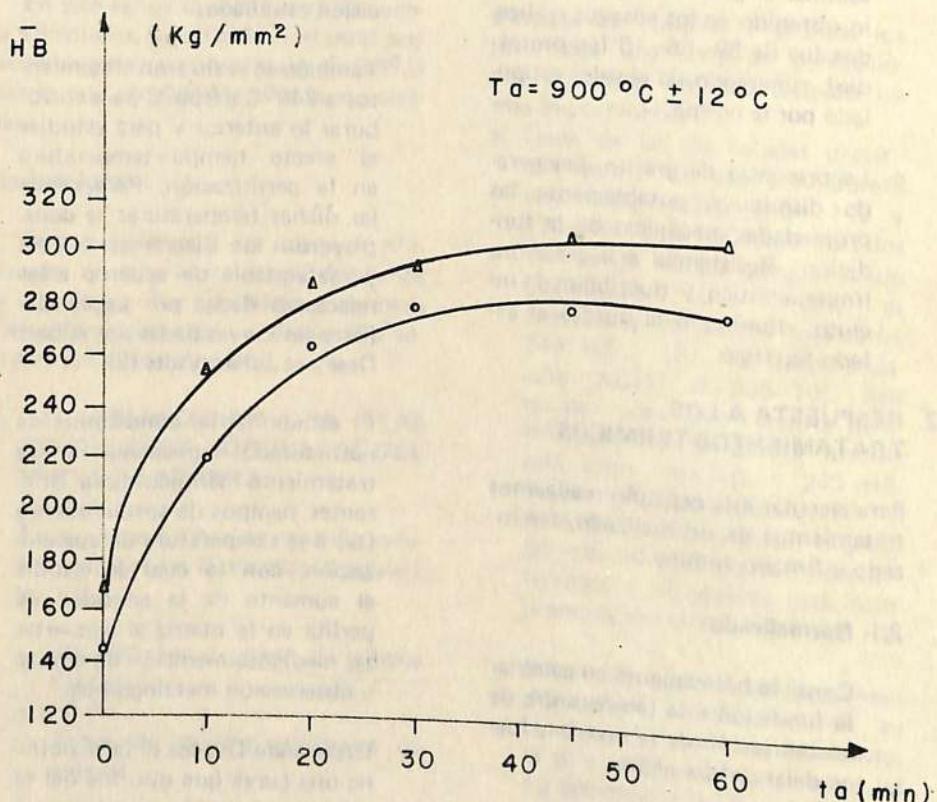
pleando 6 tiempos de austenitación diferentes y para cada una de las 12 coladas de matriz ferrítica.

Debido a la similitud de la respuesta al normalizado de las 12 coladas, elaboramos con los

resultados obtenidos una banda de dureza vs  $t_a$ . En la gráfica 1 aparece el rango de variación para temperatura de austenitación de  $900^{\circ}\text{C}$ . Para  $840^{\circ}\text{C}$  y  $950^{\circ}\text{C}$  ver los rangos en las gráficas 2 y 3 respectivamente.

### BANDAS DE DUREZA BRINELL Vrs $t_a$

GRAFICA N° 1

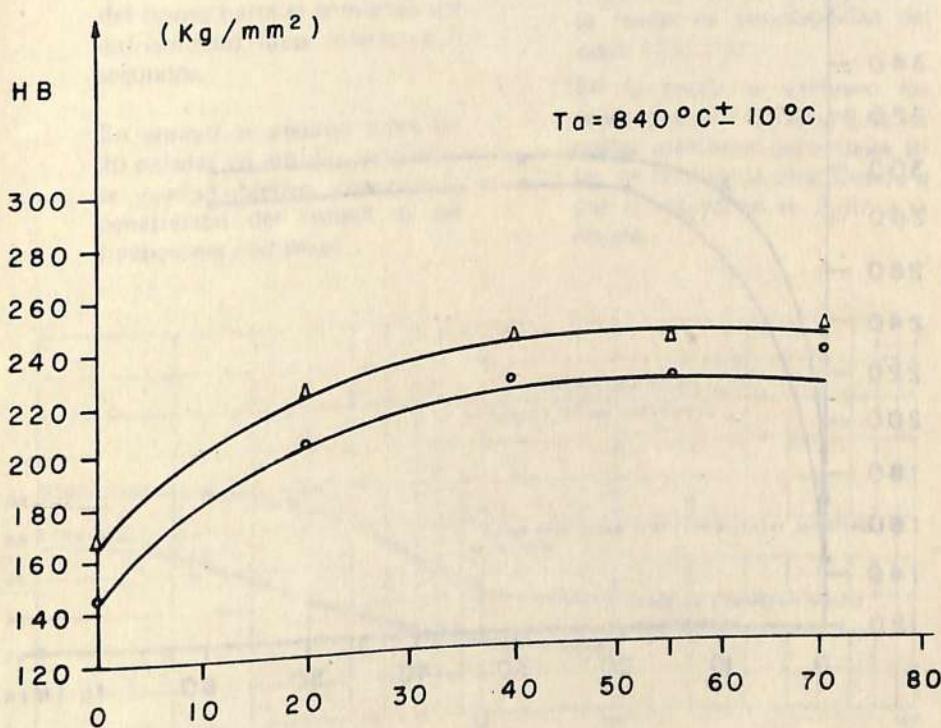


#### CONVENCIONES

$\Delta$  HB máximo

$\circ$  HB mínimo

BANDAS DE DUREZA BRINELL Vrs ta  
GRAFICA N° 2

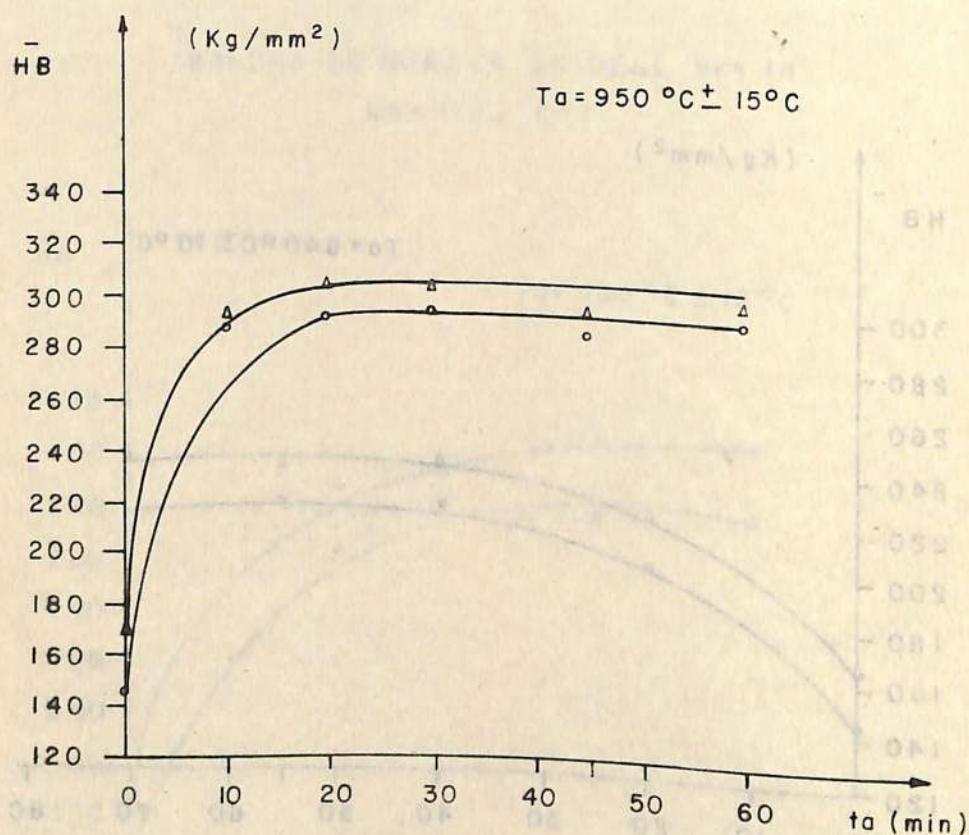


CONVENCIONES

Δ HB máximo  
○ HB mínimo

BANDAS DE DUREZA BRINELL Vrs ta

GRAFICA N° 3



CONVENCIONES

Δ HB <sub>máximo</sub>

○ HB <sub>mínimo</sub>

## 2.2. Jominy

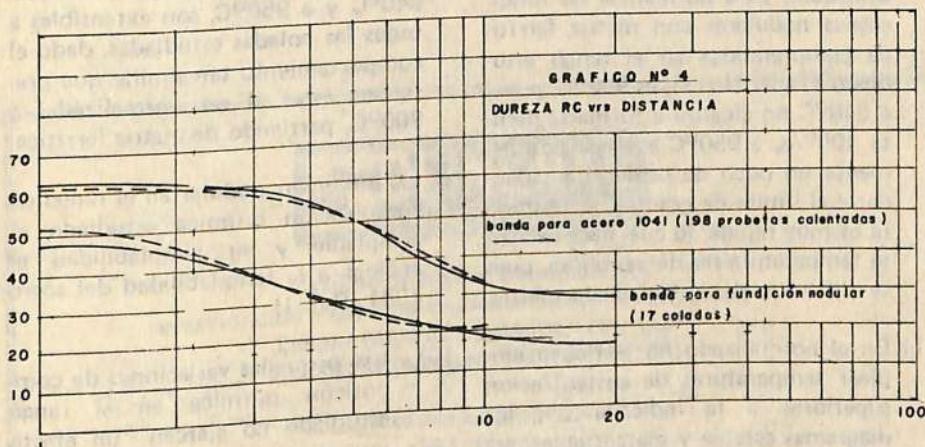
El ensayo se realizó calentando las probetas Jominy a 900°C y sosteniendo durante 30 minutos, de acuerdo a la norma ASTM A 255-67. El enfriamiento establecido por dicha norma se realizó en un equipo "METASERV" y, en todo momento, se procuró que el tiempo transcurrido desde el momento de sacar la probeta del horno hasta el comienzo del enfriamiento fuese inferior a 5 segundos.

En ensayo se efectuó sobre las 20 coladas en estudio, teniendo como objetivo conocer la penetración del temple de las fundiciones nodulares.

Los resultados obtenidos se imprimieron en una gráfica de dureza contra distancia, obteniéndose así la banda de templabilidad de las fundiciones nodulares, cuya composición se encuentra dentro del rango de la Tabla No. 1.

En la gráfica No. 4 se da la banda de templabilidad correspondiente a 17 coladas de fundición nodular y a su vez se superpone la banda de templabilidad del acero 1041 (1).

En la banda se excluyen los resultados de 3 coladas, 2 de las cuales presentan porcentajes altos de cobre y la otra, debido a que el ensayo no se ajustó a la norma.



## 2.3. Ferritizado

Por el momento, estamos realizando una serie de ensayos, posteriormente, se dará información más amplia y se expondrán los resultados obtenidos.

## CONCLUSIONES

- 1) De los resultados obtenidos en los normalizados realizados a las diferentes temperaturas (840°C, 900°C y 950°C) se concluye que, efectivamente, la temperatura de normalizado para las fundiciones nodulares está determinada por la combinación de los diagramas estable y metaestable.

- 2) Las pequeñas variaciones de composición química en la fundición nodular (rango estudiado) no afectan marcadamente la respuesta al normalizado, es decir, no hay variaciones considerables de dureza y estructura, para un mismo tiempo de sostenimiento (ta) y una misma temperatura de austenización (Ta).
- 3) La fundición nodular ferrítica producida en el Valle de Aburrá y que se encuentra en el rango de composición estudiado, es normalizable y los resultados de dureza y estructura de la matriz se pueden predecir con cierta exactitud de acuerdo a la banda de dureza correspondiente a la temperatura de austenización de 900°C.
- 4) La temperatura más indicada, de las utilizadas, para normalizar las fundiciones nodulares con matriz ferrítica comprendidas en el rango estudiado (Tabla No. 1), es 900°C, pues: a 840°C no alcanza a formarse perlita 100%, a 950°C aparece posiblemente un poco de cementita secundaria al límite de grano y la respuesta es muy rápida, lo cual hace que esta temperatura sea desventajosa, pues se dificulta el control de la matriz.
- 5) En el normalizado no se deben emplear temperaturas de austenización superiores a la indicada por los diagramas estable y metaestable para obtener 100% de perlita, pues se corre el peligro de que aparezca cementita, en los límites de grano, lo que fragiliza peligrosamente la fundición.
- 6) Normalizando a 840°C no se alcanza a obtener matriz perlítica. Las experiencias realizadas muestran que incluso para tiempos de sostenimiento largos, el resultado que se obtiene es una matriz compuesta en un 50% a 60% de perlita. Por tanto, este ciclo se puede utilizar en la transformación de matriz ferrítica a matriz perlita-ferrítica ya que los resultados tanto de dureza como de estructura coinciden con lo que recomienda la ASTM (A-536-70) para matriz perlita-ferrítica.
- 7) Para el normalizado a 900°C a los 30 minutos de austenización se tiene una matriz completamente perlítica y una dureza de 280 a 300 HB. Este resultado es importante para la realización de los ensayos Jominy.
- 8) Consideramos que los resultados obtenidos en los ensayos realizados a 840°C y a 950°C, son extensibles a todas las coladas estudiadas, dado el comportamiento tan similar que presentan éstas al ser normalizadas a 900°C, partiendo de matriz ferrítica.
- 9) La fundición nodular en el rango de composición química estudiado es templable y su templabilidad es análoga a la templabilidad del acero 1041 (Ref. 1).
- 10) Las pequeñas variaciones de composición química en el rango estudiado no ejercen un efecto muy sensible en cuanto a templabilidad se refiere.
- 11) Por ser templable, la fundición nodular de composición química ferrítica se puede utilizar en la fabricación de piezas que requieran temple superficial, tales como piñones, catalinas, etc.

## REFERENCIAS

1. American Society For Metals, Metals Handbook, Vol I, pág 207.
2. Desy Albert y Vidts Julian. Metalurgie estructurale, Teórica y Aplicada. Editorial Dunod, París 92, Calle Bonaparte, 1a. Edición, 1962, Capítulo XI.
3. Laplanche Henri, Revistas Tratamientos Térmicos  
No. 66, año 1972, págs. 53-63  
No. 75, año 1973, pag. 64
4. Sierra R. Horacio, Guerra G. Alonso, Chaves R. César. Informe Parcial. Primera Etapa. Proyecto 10022-2-13-77. "Posibilidad de Tratamientos Térmicos de las Fundiciones Nodulares producidas en el Valle de Aburá".



ESTUDIO DE SUELOS Y FUNDACIONES  
INVESTIGACION Y ASESORIA PARA MATERIALES DE CONSTRUCCION  
LABORATORIO DE CONCRETO Y ASFALTO  
INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS Y MINERAS

OFICINAS Y LABORATORIOS

Calle 51 No. 70-25

MEDELLIN

TELEFONOS:

Dept. de Campo  
Gerencia

34 51 01  
34 54 80

Laboratorio  
Dept. Técnico

34 54 41  
34 54 21

Afiliado a Camacol