

### 3. CONCLUSIONES

#### 3.1. Conclusiones Particulares

##### 3.1.1. Conclusiones sobre propiedades mecánicas

- Las diferencias en propiedades mecánicas y dureza en el rango de composición estudiado obedecen en todo caso a variación de la estructura de la matriz, A su vez las variaciones de la estructura de la matriz para el rango de composiciones estudiadas (composiciones ferríticas) obedecen a factores como diferencia de velocidad de enfriamiento y no a las pequeñas variaciones que presentan los diferentes elementos (C, Si, Mn, P, Ni, S) que conforman la composición base.
  
- Independiente de las pequeñas variaciones que se presentan en las composiciones base, siempre y cuando estas composiciones se ajusten a composición ferrítica, los resultados de matriz, dureza y propiedades mecánicas se ajustarán a los valores del grado 60-40-18. Esto ocurrirá cuando la matriz que se presente "As cast" sea ferrítica

y el grafito tipo I y II y tamaño 5.

- La presencia de grafito degenerado disminuye notablemente las propiedades mecánicas de la fundición: resistencia a la tracción, límite elástico y ductilidad, incluso disminuye la dureza al estado ferrítico.

- Cabe anotar que las fundiciones nodulares del Valle de Aburrá con composición ferrítica y matriz ferrítica, superan en todos los valores las propiedades mecánicas del grado 60-40-18. Similarmente las fundiciones nodulares con composición ferrítica pero con matriz perlito-ferrítica también superan en todos los valores las propiedades mecánicas del grado 80-55-06.

### 3.1.2. Conclusiones sobre el normalizado

- De los resultados obtenidos en los normalizado realizados a las diferentes temperaturas (840°C, 900°C y 950°C) se concluye que el criterio "a" con que se seleccionó la temperatura de 900°C para el ciclo base, es completamente válido.

- Las pequeñas variaciones de composición química en la fundición nodular (rango estudiado) no afectan marcadamente la respuesta al normalizado, es decir, no hay variacio-

nes considerables de dureza y estructura para un mismo tiempo de sostenimiento ( $t_a$ ) y una misma temperatura de austenización ( $T_a$ ).

- 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  $900^{\circ}\text{C}$ .

- La temperatura más indicada, de las utilizadas, para normalizar las fundiciones nodulares con matriz ferrítica comprendidas en el rango estudiado (Tabla # 2) es  $900^{\circ}\text{C}$ , pues a  $840^{\circ}\text{C}$  no alcanza a formarse perlita 100 %, a  $950^{\circ}\text{C}$  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.

- 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 fun -

dición.

- 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 perlito-ferrítica, ya que los resultados tanto de dureza como de estructura coinciden con lo que recomienda la ASTM (A-536-70) para matriz perlito-ferrítica.

- La única diferencia apreciable que presenta la colada No.4 respecto a las demás es la presencia de grafito Tipo IV o degenerado. Es muy posible que el grafito degenerado impida la perlitización de la fundición nodular (rango estudiado). Esto es demostrado parcialmente por los resultados obtenidos tanto en dureza como en estructura durante el normalizado de la colada No. 4. Sería necesario estudiar otras coladas con grafito degenerado para poder afirmarlo con más propiedad.

- 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.

- 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.

### 3.1.3. Conclusiones sobre Ferritización

- La Fundición Nodular del Valle de Aburrá y con composición química base, es ferritizable y los resultados se pueden predecir con cierta exactitud utilizando la gráfica No. 4 . Esta gráfica es válida para el ciclo de doble etapa y una temperatura de sostenimiento a 690°C.

- Las pequeñas variaciones de la composición química afectan considerablemente el proceso de ferritización. Esto se puede observar en la gráfica No. 6. En esta gráfica se tienen los resultados de dureza promedio, máxima y mínima, correspondientes a las coladas No. 10, 11, 12 y 14 que tienen composición base similar a las coladas No. 1, 2, 3 y 5 y su única diferencia son ligeros porcentajes de cobre (0.15 a 0.39). Por tanto, el cobre se comporta como un estabilizador de la perlita y retarda el proceso de fe-

rritización. Cabe anotar que teóricamente el níquel ejerce un efecto similar al cobre.

- Al combinar el níquel y el cobre en porcentajes similares y comprendidos entre 0.08 a 0.12 % , parece ser que el efecto de ambos se neutraliza, permitiendo que el proceso de ferritización se dé completamente. Esto se puede observar en el gráfico No. 5 . En esta gráfica se tienen los resultados de dureza promedio, máxima y mínima, correspondientes a las coladas No. 13, 15, 16, 18 y 19, que contienen níquel y cobre en porcentajes similares.

Los gráficos No. 4 y No. 5 son muy similares aunque los rangos de composiciones químicas son diferentes, debido probablemente a la razón anotada.

#### 3.1.4. Conclusiones sobre templabilidad.

- La Fundición Nodular en el rango de composición química estudiado y su templabilidad es análoga a la templabilidad del acero 1041 (Ref.1)

- Las pequeñas variaciones de composición química en el rango estudiado no ejercen un efecto muy sensible en cuanto a templabilidad se refiere.

- 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.

- Los resultados que se obtuvieron en el ensayo Jominy, realizado sobre la colada No.4 , parecen indicar que el grafito degenerado no influye sensiblemente en la templabilidad de la fundición nodular, pues los resultados de esta colada son muy similares a los de las otras coladas.

### 3.2. Conclusiones Generales

#### 1. Tipo y tamaño de grafito

Todas las coladas estudiadas presentaron grafito tipo I y II, aprox. 80 y 20 % respectivamente y tamaño entre 5 y 6 según cartas ASTM - 247 . La única colada que no se ajusta a estos resultados es la colada # 4 que presentó grafito degenerado.

#### 2. Efecto de la composición química

Las pequeñas variaciones de composición química que se presentan en las coladas estudiadas (según Tabla # 2) no producen efectos apreciables en los siguientes aspectos :

- Estructura obtenida (estado As-cast). La estructura

depende de la velocidad con que se enfrían las piezas. Velocidad que está determinada por la temperatura de desmoldeo, tipo de molde utilizado, etc.

- El límite Elástico, la Resistencia a la Tracción y la Elongación, dependen de la estructura de la matriz de la Fundición Nodular.

- La respuesta al normalizado, depende de la temperatura y el tiempo de tratamiento utilizado y el tipo de horno.

- La respuesta al tratamiento de ferritización sí depende de la composición química y las pequeñas variaciones de los elementos tienen un efecto marcado sobre el proceso de transformación. Estudiar detalladamente este efecto requeriría realizar otro proyecto.

3. En vista de los largos tiempos que se requieren para ejecutar el tratamiento de ferritización resulta antieconómico realizar dicho tratamiento y su ejecución sólo es justificable en piezas excepcionales (p.ej. piezas vaciadas en coquilla metálica y que requieran matriz ferrítica).

4. Estamos convencidos que desde el punto de vista económico es preferible obtener la estructura y por ende las propiedades que se requieran, directamente de colada mediante la adición de elementos de aleación.



5. Teniendo en cuenta la templabilidad, los valores de límite elástico, resistencia a la tracción, elongación y reducción de área la fundición nodular de matriz ferrítica o ferrito-perlítica es perfectamente asimilable a un acero al carbón normalizado tipo AISI 1030 ó AISI 1040.

6. Para realizar la segunda etapa de la investigación creemos conveniente estudiar las posibilidades de temple superficial en la Fundición Nodular (rango de C.Q. Tabla # 2), pues este sería el único tratamiento justificable para el mejoramiento de propiedades además de que económicamente resultaría favorable.