

2e: 21

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA



DEPTO. DE ENAYTES Y
EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

**FABRICACION DE FUNDICIONES GRISES
Y NODULARES EN HORNO DE INDUCCION**

TESIS MANCOMUNADA
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO METALURGICO
P R E S E N T A N

OCTAVIANO REYES ALVAREZ Y
VICTOR MANUEL CARDOSO MEANA

1 9 8 1



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

I N D I C E

	Pág.
I.- INTRODUCCION	1
II.- REVISION BIBLIOGRAFICA	3
II.1.- FUNDICION GRIS	3
II.1.1.- DESCRIPCION	3
II.1.2.- PROPIEDADES	8
II.1.3.- APLICACION	9
II.2.- FUNDICION NODULAR	11
II.2.1.- DESCRIPCION	11
II.2.2.- PROPIEDADES	13
II.2.3.- APLICACION	14
II.3.- ELEMENTOS PRIMARIOS, DE ALEACION Y NODULIZAN TES	17
II.3.1.- PRIMARIOS	17
II.3.2.- DE ALEACION	24
II.3.3.- ELEMENTOS NODULIZANTES	26
II.4.- FABRICACION.....	29
II.4.1.- CARGA DE MATERIALES	30
II.4.2.- FUSION	30
II.4.3.- ADICION DE ALEACIONES	31
II.4.4.- INOCULACION	34

II.4.5.- MODULIZACION	40
II.4.6.- DESULFURACION.....	45
II.4.7.- MOLDEO	45
III.- DESARROLLO EXPERIMENTAL	47
III.1.- CARACTERISTICAS DEL HORNO	47
III.2.- FABRICACION DE LOS ACCESORIOS PARA LAS COLADAS.	47
III.2.1.- FABRICACION DE LOS MOLDES SHELL.....	47
III.2.2.- FABRICACION DE CUCHARAS	51
III.3.- COLADAS	54
III.3.1.- FLAMEACION DE LAS COLADAS	54
IV.1.- RESULTADOS	70
IV.2.- ANALISIS DE RESULTADOS	82
V.- CONCLUSIONES.....	84

I. INTRODUCCION

Las fundiciones de fierros colados son un tipo especial de aleaciones de hierro-carbono que se diferencian de los aceros en varios aspectos, como por ejemplo, que su contenido de carbón es mayor al 2%, o que el carbono, además de aparecer combinado puede estar libre como grafito.

El proceso de fabricación de fundición gris y nodular es ya cotidiano y bien conocido en las empresas que se dedican a la fabricación de estas aleaciones. Pero debido a que, en el horno de inducción del laboratorio de la Facultad de Ingeniería nunca se habían fabricado ni hierro nodular, ni hierro gris fue que se decidió hacerse a la tarea de fabricar ambos tipos, con todos los problemas prácticos que ello representó, como el conseguir los materiales adecuados, la fabricación de cucharas y de moldes, etc. resultando ser esto un ejercicio de fabricación de estos 2 materiales partiendo desde la nada desde el punto de vista práctico solo con conocimientos.

Este trabajo tiene como otro de sus objetivos, servir de motivación para otros trabajos relacionados con los hierros grises y nodulares, lo que se desarrolla con más detalle al final.

Aquí sólo se trata con fundición gris y nodular, -- dejando a un lado la fundición maleable, ya que con el paso -

del tiempo, ésta ha ido perdiendo importancia con respecto a los otros dos tipos.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

II.1. FUNDICION GRIS.

II.1.1 DESCRIPCION La fundición gris es de los tres tipos -- de fundiciones, la de mayor volumen de producción, tanto en México, como en el mundo, es además la más antigua. Esto se -- debe a que su proceso de fabricación es relativamente sencillo, comparado con los otros dos procesos.

La fundición gris se distingue de la nodular en varios aspectos, dependiendo del punto de vista que se toma.

Desde el punto de vista metalográfico, se distingue que el grafito libre se encuentra en forma de láminas, que -- pueden adoptar diferentes configuraciones y tamaños, como los mostrados en la figura número 1, que da los diferentes tipos -- y tamaños de grafito laminar de acuerdo a ASTM.

Como se puede ver en la figura, se pueden encontrar marcadas diferencias entre los diferentes tipos de grafito -- laminar. Generalmente se considera deseable una distribución aleatoria de láminas tipo A y un tamaño pequeño, es decir 5 o 6. Sin embargo, es frecuente encontrar tipos celulares, se -- gregados, etc. Las láminas tipo E segregadas dendriticamente y con orientación preferencial son las más frecuentes.

Debido a que distribuciones diferentes al tipo A --

causan una disminución en las propiedades mecánicas, se ha investigado bastante esta situación. La mayoría de los investigadores asocian el grafito tipo D y E a un sub-enfriamiento durante la solidificación. Si durante el enfriamiento, la temperatura de solidificación se abate mucho, entonces el grafito no se formará tipo A, sino D y/o E.

En cuanto al tamaño de las láminas, éste está asociado con las ideas generales de nucleación y crecimiento. Láminas largas se forman cuando la velocidad de nucleación es pequeña y la velocidad de crecimiento es grande. Se encontrarán láminas pequeñas cuando la velocidad de nucleación es mayor -- que la velocidad de crecimiento.

A las fundiciones grises se les clasificaba antiguamente con 3 números que representaban la mínima resistencia a la tracción (en 1000 lbs/in²), tensión de fluencia y mínimo -- porcentaje de elongación, respectivamente. Así por ejemplo, un hierro 60-40-15 tiene una resistencia a la tracción mínima de 60 000 lb/in² que equivalen a 42.2 kg/mm² una tensión de fluencia de 40 000 lb/in² que equivalen a 28 kg/mm² y un 15% de -- elongación mínimo. Hoy día se han eliminado los dos últimos -- pares de números y se conserva sólo el valor de la resistencia a tracción. En la tabla 1 se presentan composiciones típicas -- para los más importantes hierros grises.

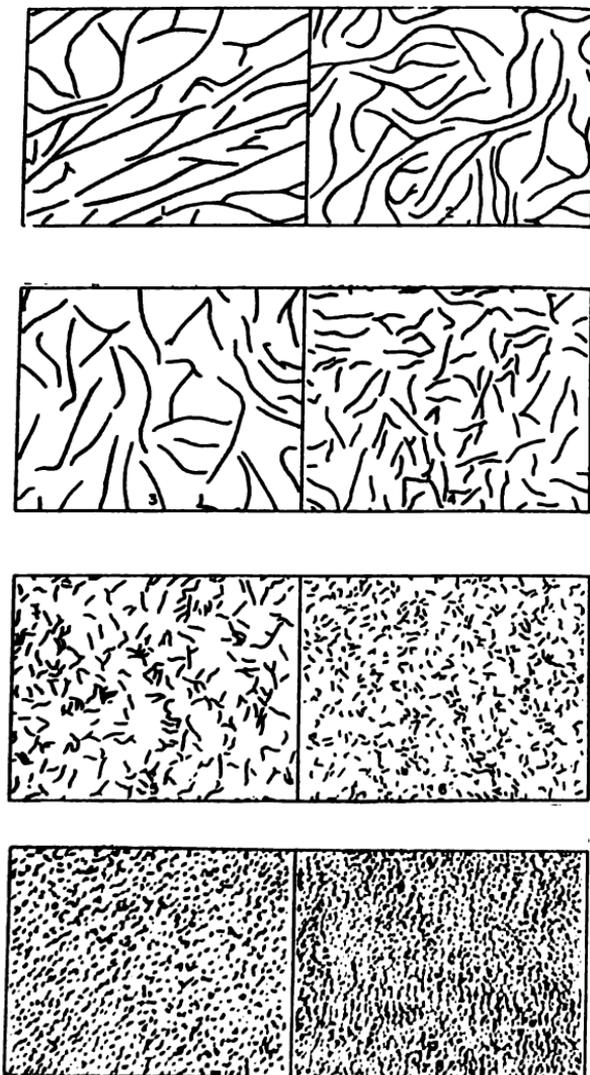


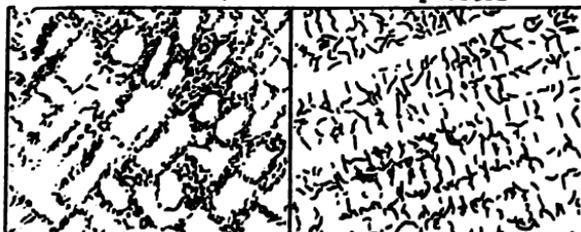
Fig. 1.a. Clasificación del Grafito de acuerdo al tamaño.



Distribución Alea
toria

Grupos de
Rosetas

Tamaños super-
impuestos



Segregación interden-
dritica alestoria

Segregación interden-
dritica preferencial

Fig. 1.b. Clasificación de Grafito lami-
nar de acuerdo al tipo.

TIPO	CT	SI	P	S	Mn	C.E.	Sec ción (in)	HDB HDB	Carga Trang vernal	Defle ción (in)	TR (Psi)
Clase 20	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.2	1000
Sección delgada	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.1	1000
Clase 20	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.2	1000
sección media	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.1	1000
Clase 20	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.2	1000
sección gruesa	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.1	1000
Clase 25	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.2	1000
Delgada	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.1	1000
Clase 25	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.2	1000
Gruesa	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.1	1000
Clase 30	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.2	1000
delgada	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.1	1000
Clase 30	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.2	1000
Media	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.1	1000
Clase 30	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.2	1000
Gruesa	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.1	1000
Clase 35	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.2	1000
Delgada	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.1	1000
Clase 35	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.2	1000
Media	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.1	1000
Clase 35	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.2	1000
Gruesa	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.1	1000
Clase 40	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.2	1000
Delgada	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.1	1000
Clase 40	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.2	1000
Media	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.1	1000
Clase 40	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.2	1000
Gruesa	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.1	1000
Clase 50	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.2	1000
Delgada	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.1	1000
Clase 50	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.2	1000
Media	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.1	1000
Clase 50	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.2	1000
Gruesa	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.1	1000
Clase 60	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.2	1000
Delgada	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.1	1000
Clase 60	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.2	1000
Media	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.1	1000
Clase 60	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.2	1000
Gruesa	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	10	10	10	0.1	1000

II.1.2 PROPIEDADES. Las fundiciones de hierro gris, incluyendo las aleadas, cubren el rango de resistencias de 14.50 a 43.00-kg/mm².

Muchas propiedades se pueden relacionar a la resistencia a la tracción, que a su vez depende del grado del material y del espesor de la sección. Por ejemplo la resistencia a la compresión es de 3 a 4 veces el correspondiente de la resistencia de tracción. El valor de la relación de Poisson es de 0.26. Este valor no varía significativamente con el grado del material o el nivel de tensiones.

La gráfica tensión-deformación total es curva a partir del origen y solo parte de la deformación se recupera al quitar la carga a partir de un valor inicial dado.

Bajo condiciones normales las fundiciones tienen un definido límite de fatiga, es decir, tensiones abajo de las cuales el material mostrará un infinito tiempo de vida; mayores tensiones resultarán en falla de fatiga.

En cuanto al comportamiento de estos materiales a bajas temperaturas, el cambio en la fractura de dúctil a frágil no es significativo. La falla ocurre de una manera frágil a todas temperaturas debido a la concentración interna de tensiones asociada con las láminas de grafito. Los valores de impacto son por lo tanto muy bajos para las fundiciones de hie -

ro gris y disminuyen sin ninguna transición rápida con la temperatura en una forma paulatina. Una disminución del 30% en el valor de impacto con una caída de temperatura de 100° C es típica.

La resistencia a la tracción se incrementa alrededor del 15% sobre el mismo rango de disminución de temperatura y alcanza un máximo a alrededor de -175°C seguido por una rápida disminución.

Cuando los hierros grises sufren oxidación superficial y expansión dimensional sufren el fenómeno que se conoce como "crecimiento". El crecimiento ocurre por descomposición estructural de la perlita a ferrita, lo cual es acompañado por un aumento de volumen y esto puede ocurrir a temperaturas inferiores a la temperatura crítica, esto es abajo aproximadamente de 700 ° C

En la fundición gris, el crecimiento puede tener lugar también por penetración de la oxidación abajo de la superficie a lo largo de las laminas de grafito oxidando el grafito y la matriz adyacente.

II.1.3 APLICACIONES. Las fundiciones tienen amplio uso en la industria en general debido a que presentan una serie de ventajas con respecto a otros materiales, como son mayores valo-

res de resistencia y dureza que la mayoría de los metales o -- aleaciones no ferrosas, tienen buena maquinabilidad, son resis-- tentes a la abrasión, presentan una regular resistencia a la-- corrosión. Con respecto al acero tienen la ventaja de que es -- más sencillo hacer piezas de formas complicadas por su buena -- colabilidad.

La fundición gris fue desarrollada anteriormente a-- la nodular y presenta, por la forma que adopta el grafito pro-- piedades mecánicas inferiores, pero a pesar de eso, aun tiene-- muchas aplicaciones y a escala mundial se producen en mayor -- cantidad que la fundición nodular y la maleable.

Las fundiciones de hierro gris son usadas en una am-- plia variedad de propósitos como son los motores de los vehícu-- los, máquinas de herramienta. También se fabrican accesorios - para industria eléctrica, fabricación de bombas, compresores,- etc.

El mayor campo de aplicación es la industria del -- automóvil, la cual ocupa alrededor del 30% de la producción to-- tal de fundiciones para partes como cigueñales, cajas de en -- granes, tambores de freno, brazos de suspensión y pequeñas par-- tes misceláneas que incluyen chapas de puertas, etc.

II.2 FUNDICION MODULAR.

II.2.1 DESCRIPCION. El desarrollo del primer proceso para producción directa de fundiciones con grafito en forma nodular -- fue introducido por H. Morrogh de Bristish Cast Iron Research en julio de 1946. El cerio fue el elemento usado como agente - nodulizante. Sin embargo, debido a serios problemas de control y alto costo éste proceso nunca fue altamente usado. Poco tiempo después este elemento fue sustituido por el magnesio que es el elemento que hasta la fecha se usa.

Debido a la forma esferoidal del grafito el hierro - nodular presenta ventajas con respecto al hierro gris, ya que disminuye la concentración de tensiones causada por la presencia de grafito en láminas.

Los hierros dúctiles pueden tener un espesor tan -- pequeño como 1/16 de pulgada y pesar una fracción de libra, -- aunque también puede tener secciones gruesas de más de 30 pulgadas y pesar más de 50 toneladas. El hierro dúctil posee las -- excelentes propiedades de cohesión del hierro gris además -- de valores de resistencia comparables a los de los aceros.

A los hierros dúctiles se les denomina con la nota -- ción de 3 números en la misma forma que se explico para la no-

tación de 3 números en la misma forma que se explicó para la notación de hierros grises. Esta notación es de acuerdo a --
 ASEM. Hay otros tipos de notaciones, como las usadas por los --
 militares en los Estados Unidos o de la S.A.E. En la tabla No. 2 se presentan las composiciones de algunos hierros.

TABLA No. 2		COMPOSICION				
Especificación	Grado		C.T.	Si	Otros	C.E.
ASTM A395-71	60-60-18	Min	3.0			
		Max		2.5	0.08	
ASTM A476-70	80-60-03	Min	3.0			3.8
		Max		3.0	0.055	4.5
MIL-I-24137	Clase A	Min	3.0	0.08		
		Max		2.5	0.08	0.055
MIL-I-22243	10 lb - ft	Min				
		Max		2.20	0.05	0.05
ASTM A-44571 API 604	60-60-18	Min	3.0			
		Max		2.5	0.08	
ASTM 5315		Min	3.2	1.7		
		Max	4.0	2.5	0.08	0.08
ASTM 5316		Min	3.2	1.7		
		Max	4.0	2.5	0.08	0.8 Min

II.2.2 PROPIEDADES. Al contrario de los hierros grises, los hierros dúctiles se comportan elásticamente sobre un amplio rango de esfuerzos, tanto en tensión como en compresión. La falla en compresión ocurre a muy altas deformaciones.

La tensión de corte es alrededor 0.9 veces la resistencia a la tracción. La relación de Poisson es de 0.26 a 0.27

En cuanto a las propiedades de fatiga el valor para la tensión de fatiga es alrededor de 0.5 la resistencia a la tracción para hierro nodular grado ferrítico y de 0.33 para hierro nodular perlítico.

En lo respectivo al comportamiento de impacto a diferentes temperaturas, los hierros ductiles al contrario de los grises si presentan una transición dúctil-fragil cuando se reduce la temperatura de prueba.

La temperatura de transición depende de la composición y en particular del contenido de fósforo y silicio, como se verá más adelante.

Los hierros nodulares ferríticos con resistencia a la tracción menores a 40 kg/mm^2 tienen relativamente alta ductilidad y el rango de temperaturas de transición es entre -10 y +30 °C.

Los hierros con resistencia de 50 kg/mm^2 o más que-

tengan 70-80% de ferrita en la matriz, aún tienen buen ductilidad, pero las propiedades de impacto decrecen con el aumento en el contenido de perlita. A resistencias superiores a -- 70 Kg/mm² los hierros nodulares son principalmente perlíticos y tienen valores de temperatura de transición superiores a la ambiente.

En cuanto al comportamiento a altas temperaturas de los hierros colados nodulares, éstos también sufren oxidación superficial y expansión dimensional.

En los hierros dúctiles el crecimiento está confinado a la descomposición de la perlita y no hay penetración del oxido a temperaturas subcríticas.

II.2.3 APLICACIONES. La fundición nodular tiene propiedades similares a las de la fundición maleable, pero tiene la ventaja de que su proceso de fabricación es más barato y -- mucho más rápido. Por esto la fundición nodular está desplazando en muchas de sus aplicaciones a la fundición maleable.-- Además han surgido algunas nuevas aplicaciones para las fundiciones nodulares de alta resistencia. En la tabla No. 3 se -- presentan aplicaciones específicas de acuerdo al tipo de fundición de que se trata.

TABLA No. 3

CARACTERISTICAS Y APLICACION DE LAS FUNDICIONES MODULARES POR TIPO

CARACTERISTICAS	APLICACION
<p>Tipo 60-40-18 (Recocido) Este grado de hierro ductil es generalmente recocido. aunque puede ser producido de colada. Tiene estructura ferrítica puede ser usada para reemplazar acero bajo carbono.</p>	<p>Aplicaciones marinas, válvulas, codos, camiones, e implementos agrícolas, partes de la dirección automotriz, donde ductilidad y propiedades de impacto se requieren.</p>
<p>Tipo 65-45-12 (De colada o recocida). Máxima resistencia y maquinabilidad. Estructura esencialmente ferrítica.</p>	<p>Fundición a presión cuerpos de valvulas, cuerpos de compresores, cilindros, cuerpos de bombas, bielas, partes resistentes al choque y aplicaciones de alta temperatura que requieren máxima resiliencia.</p>
<p>Tipo 80-55-06 (De colada). Estructura esencialmente perlítica con buena maquinabilidad y resiliencia, responde al endurecimiento por inducción. Puede ser soldada. Fue de soportar severas tensiones.</p>	<p>Engranajes, excéntricos, rodamientos, dados, pistones, cigueñales, catarinas y pequeñas partes para las industrias automotriz, aeronáutica, del papel, textil y otras relacionadas.</p>
<p>Tipo 100-70-03 Este grado esta normalmente normalizado y revenido, aunque puede ser aleado para producir estas propiedades sin tratamiento térmico. La estructura es perlítica. Ofrece una excelente combinación de resistencia, resiliencia y resistencia a la corrosión. Responde al endurecimiento por inducción.</p>	<p>Engranajes, cigueñales, flechas excéntricas, pistones, implementos agrícolas, tambores de freno de tracción, maquinaria pesada, balatas de camión.</p>

120-90-02

Este grado es usualmente templado en aceite y revenido, aunque secciones hasta 1.5 pulgadas de espesor pueden ser normalizadas y revenidas. Elementos de aleación tales como níquel y molibdeno deben ser usados para obtener la adecuada templabilidad en secciones gruesas. El temple por inducción da valores de hasta 38 Rc.

Tipo resistente al calor (2.8 a 6% de Si). Máxima resistencia a la oxidación y crecimiento. Secciones menores de una pulgada usualmente van recocidas para máxima estabilidad dimensional. Mayores contenidos de

Si aumentan la dureza y resistencia pero reducen la ductilidad y resiliencia a temperatura ambiente, aunque a mayores temperaturas se recuperan. Este grado no se recomienda para aplicaciones que envuelven un severo choque térmico.

Pifones, engranes, cigueñales excéntricos, dados, vias de maquinas, bombas, tambores de clutch.

Puertas y marcos de hornos, algunas partes de los altos hornos recipientes contenedores de plomo, recipientes contenedores de plomo, recipientes para recocido, canales para escoria, bocas para vaciar aluminio, etc.

II.3 ELEMENTOS PRIMARIOS, DE ALEACION Y NODULIZANTES EN LOS HIERROS.

II.3.1 ELEMENTOS PRIMARIOS

CARBONO. Antes de hablar de la influencia del carbono en las fundiciones, es conveniente definir un término que es muy útil al tratar con ellas: el carbón equivalente.

Nosotros sabemos que el punto eutéctico en el diagrama hierro-carbono cae en el 4.3% de carbono. Si añadimos cantidades crecientes de silicio, este punto se recorrerá hacia la izquierda. Esto se nota mediante la siguiente relación

$$C.E. = \% C + 1/3\% Si$$

Si al sumar el contenido de carbón de una determinada fundición con un tercio del contenido de silicio da menos de 4.3 se dice que dicha fundición es hipoeutéctica y su carbón equivalente es, obviamente inferior a 4.3. Si al hacer la suma nos da más de 4.3, la fundición será hiper eutéctica.

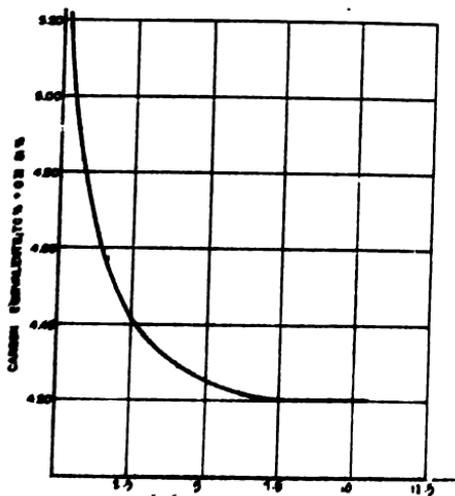
El carbono puede ocurrir en dos fases diferentes, - en forma combinada formando cementita, ó en forma libre como grafito.

La cementita es un compuesto intermetálico sumamente duro, pero por lo mismo, demasiado frágil, mientras que el grafito tiene muy baja dureza y, si adopta una forma esférica y bien distribuida la resistencia y propiedades de impacto -

serán mejores que si adoptara una forma laminar.

Las láminas de grafito también tienen importancia -- en el comportamiento del hierro a altas temperaturas. Si se -- aumenta el tamaño y cantidad de las láminas de grafito, la resistencia al agrietamiento en caliente se ve aumentada por una disminución del coeficiente de expansión térmica, lo que disminuye la deformación térmica total en la superficie calentada.

El carbono puede ocurrir en los hierros en un porcentaje variable entre 2 y 4.5%, dependiendo del espesor y del -- contenido del silicio. Esta relación se da en la figura número 2.



Espesor de la pieza (mm)
Figura No. 2

SILICIO El silicio está presente en los hierros -- grises en porcentajes que fluctúan entre 1.00 y 3.50%, mientras que en los nodulares el porcentaje varía entre 1.50 y -- 2.80%.

Microestructuralmente el silicio ocurre disuelto en la ferrita, aumentando su dureza y resistencia.

El silicio no sólo recorre el punto eutéctico del -- diagrama hierro-carbono, sino que lo mismo hace con el punto -- eutectoide y con las temperaturas de transformación, así un -- hierro gris con un 2% de silicio tendrá en su perlita sólo un 0.6% de carbono por el 0.8% que es el contenido del diagrama -- binario hierro - carbono.

El silicio es un elemento promotor de la fase ferrita. Este elemento es un desoxidante y un potente grafitizante. Generalmente aumenta el número de esferoides de grafito. El -- silicio disocia el carburo de hierro primario y suprime (cuando se encuentra en cantidad suficiente) la formación de perlita dando lugar a la formación de grafito (ya sea laminar o nodular) y ferrita.

Cuando se aumenta el contenido de silicio, la temperatura de transición dúctil frágil aumenta, como se muestra -- en la figura No. 3. Por esta razón el contenido de silicio --- en las fundiciones marinas para uso en climas fríos se toma a-

2.5% máximo.

El silicio combina sus efectos con el manganeso para obtener una matriz con diferentes cantidades relativas de ferrita y perlita, como se muestra en la figura 4.

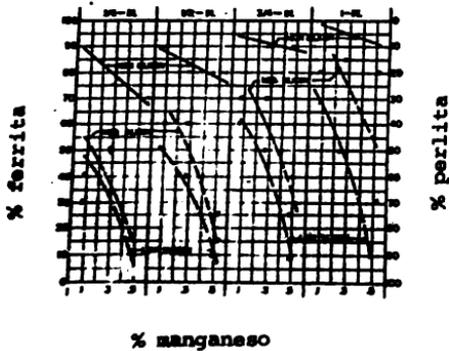
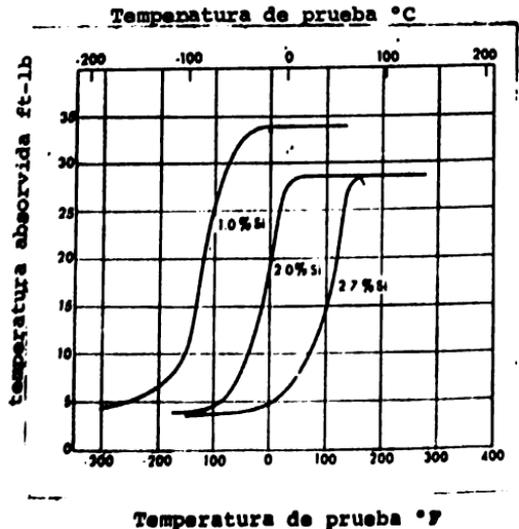


Figura 4 Influencia de Si y Mn sobre la cantidad de ferrita y perlita en la matriz.

Figura 3 Influencia del Si en la temperatura de transición ductil-fragil.



MANGANESO. El manganeso puede agregarse a los hierros como elemento de aleación o simplemente para neutralizar la acción dañina del azufre, o para ambas cosas.

Cuando el manganeso se agrega como elemento de aleación, se hace para estabilizar y refinar la perlita, combinando su efecto, como ya se dijo anteriormente, con el silicio.

Cuando se requiere una matriz ferrítica, el manganeso sólo se agrega como neutralizador del azufre. Algunas reglas --- que se pueden usar son las siguientes

- 1.- % S X 1.7 = % Mn equivalente químicamente-
con el azufre para formar --
MnS.
- 2.- % S X 1.7 + 0.15 = % Mn que promueve un --
máximo de ferrita y un míni-
mo de perlita.
- 3.- % S X 3 + 0.35 = % Mn que desarrollará una-
estructura perlítica.

Es bueno mencionar que las anteriores sólo son reglas-
generales que no toman en cuenta el efecto del silicio y que por
lo tanto no son siempre válidas (excepto la regla No. 1). Otra -
regla que se usa también muy comunmente para neutralizar el azu-
fre es la siguiente

$$\% \text{ Mn} = 3 \times \% \text{ S}$$

El manganeso es capaz de formar carburos. Estos carburos precipitan en forma intercelular, cuando el porcentaje de manganeso excede al 0.7%. El manganeso es, además un elemento estabilizador de la austenita.

Cuando el manganeso no se agrega en cantidad suficiente para neutralizar el azufre, éste puede tener efectos perjudiciales en la fundición. El azúfre forma con el hierro el sulfuro de hierro. Este compuesto por su bajo punto de fusión solidifica en la última etapa de solidificación, segregando en los límites de grano. Este compuesto también presenta problemas en el material, cuando es utilizado a altas temperaturas, por la misma causa.

AZUFRE Aunque anteriormente, al hablar del manganeso ya se habló un poco del azufre, aquí se va a terminar de hablar del tema.

El contenido de azufre de los hierros grises se permite hasta un 0.25%, mientras que para hierro nodular generalmente se encuentra entre 0.005 y 0.015%, siempre inferior a 0.02%. Una razón de esto es que al hacer el tratamiento de nodulización con magnesio, éste se combina primero con el azufre y hasta que lo ha hecho completamente, no ejerce su efecto nodulizante. Así altos niveles de azufre haran el tratamiento dema

siado caro por el alto consumo de magnesio.

Lo anterior obliga a ejercer un mayor control en los materiales de carga y algunas veces una etapa especial de desulfuración.

Aunque este asunto de buscar siempre el mínimo de azufre no está perfectamente aceptado, ya que algunos autores han encontrado en sus experimentos que el grafito tipo A es más favorecido por la presencia de al menos 0.05% de Azufre en los hierros grises. También se ha propuesto la necesidad de un cierto contenido de azufre anterior al tratamiento de magnesio. De acuerdo a estas propuestas, la presencia de alrededor de 0.01% de azufre, aumenta la cantidad de nodulos y disminuye los carburos de una forma similar a lo que hace en los hierros grises.

FOSFORO. El máximo nivel permitido del fósforo para las fundiciones es de 0.5%, aunque un nivel inferior a 0.35 es el deseado cuando se requiere máxima ductilidad. De la misma forma que lo hace en los aceros, el fósforo forma en las fundiciones la estreadita, compuesto demasiado frágil que segrega en las últimas etapas de enfriamiento. El fósforo afecta adversamente la ductilidad y la resistencia, reduciendo así la resistencia al impacto en condiciones estáticas. Así el porcentaje de fósforo debe ser mantenido tan bajo como sea posible.

más si el hierro va a ser usado sin tratamiento posterior a la colada.

II.3.2. ELEMENTOS DE ALEACION

NIQUEL. El níquel promueve medianamente la grafitización en el hierro, aproximadamente al 50% de efectividad con respecto al silicio. Se disuelve en la ferrita, endureciendo éste constituyente. El níquel es también un formador de perlita, por lo que no es recomendado cuando se busca una estructura ferrítica. Con un 3% de níquel la resistencia a la tracción puede incrementarse hasta 120,000 psi con un 3% de elongación. A este nivel de concentración un recocido de ferritización se retarda, pero la resistencia y la resiliencia se ven aumentadas.

El níquel es de los elementos considerados ganágenos, por lo que a elevados porcentajes, digamos alrededor -- del 15% de níquel, se obtiene una estructura completamente sustentada.

CRONO. En los hierros grises se agrega en porcentajes variables entre 0.14 y 0.75% para asegurar una estructura completamente perlítica, mientras que para hierro dúctil, los niveles aproximados son los siguientes.

1.- Cuando se busca estructura completamente ferrí

tica, el nivel debe ser tan bajo como sea posible. Un máximo de 0.04% puede ser tolerado.

2.- Cuando se requiere una estructura completamente perlítica, se puede tolerar un máximo de 0.15% de cromo.

3.- Cuando se desea resistencia a la abrasión se puede añadir hasta un 0.3%.

4.- En los hierros dúctiles austeníticos, el contenido de cromo es especificado por grado.

El cromo forma con el hierro y el carbono una serie de carburos complejos de cromo e hierro. Estos carburos se disuelven en la austenita lentamente. De esta forma se usa en combinación con el níquel para producir un material de alta dureza y ductilidad.

MOLIBDENO. El molibdeno se usa en las fundiciones en porcentajes inferiores a 1.0% El molibdeno es un elemento que aumenta la templeabilidad dando lugar a estructuras bainíticas o martensíticas. Por lo mismo se emplea para aumentar la dureza y resistencia de piezas de grueso espesor.

El molibdeno se agrega como ferromolibdeno (62%), preferiblemente después del tratamiento de magnesio para minimizar los carburos.

COBRE. No se conoce mucho acerca del cobre y algunos datos son contradictorios con respecto a este elemento, --

pero hay algunas cosas que se conocen con más o menos buena -- precisión.

El cobre disminuye la cantidad de ferrita y aproximadamente tiene una potencia perlitizante del doble del manganeso. Por lo anterior retarda el recocido de ferritización particularmente a bajos contenidos de silicio. Se tiene reportado -- que a porcentajes mayores del 2% el cobre ya no es soluble y -- precipita en los límites de grano. Sin embargo no es aparente -- que el cobre forme carburos.

II.3.3 ELEMENTOS ESFEROIDIZANTES.

MAGNESIO. Los niveles de magnesio que producirán -- que el grafito sea esferoidal varían entre 0.20 y 0.60%.

El proceso del magnesio es bien conocido, es relativamente barato y puede ser controlado. El magnesio es el elemento universalmente empleado para nodulizar el grafito, aunque pequeñas cantidades de cerio, Lantano, Calcio, Litio, Bario, Thorio, Estroncio, Sodio, etc. también pueden intensificar este efecto.

El magnesio además de ser nodulizante, es un efectivo desoxidante. Por ejemplo un hierro no tratado tuvo un contenido de oxígeno de 0.0135%, pero cuando fue tratado con magnesio, mostró una reducción hasta 0.003%.

El magnesio se combina también con el azufre para --

formar el sulfuro de magnesio. Una libra de magnesio removera 1.33 libras de azufre. La función de disminuir el contenido de azufre antes del tratamiento con magnesio hasta un nivel aproximado de 0.015%, es por lo tanto esencial en el proceso. El poco sulfuro de magnesio que se alcanza a formar tiene una relativamente baja solubilidad y flota a la superficie del baño -- donde puede ser removido.

El magnesio es también un potente estabilizador de carburos.

El magnesio está disponible en el mercado en diferentes formas, ya sea como aleación ferrosilicio-magnesio, como aleación níquel magnesio, tierras raras-magnesio, etc. ---- Estos materiales tienen diferente uso dependiendo del proceso y las circunstancias. Una lista de las principales aleaciones de magnesio se da en la tabla No. 4.

CERIO. El cerio fue el primer elemento usado para obtener grafito nodular en fundiciones hipereutécticas. El trabajo original fue hecho por H. Morrogh del British Cast Iron--Research.

Una cantidad de 0.035% de cerio en una fundición hipereutéctica es capaz de producir hierro nodular. El cerio es un potente estabilizador de carburos.

Los hierros tratados con Cerio deben tener un conte-

TABLA 4. COMPOSICION DE LAS PRINCIPALES ALEACIONES DE MAGNESIO USADAS EN LA PRODUCCION DE HIERRO DUCTIL

TIPO	ELEMENTOS (PORCIEN TO)						Fe
	Mg	Si	Si	Ca	Ce	Al	
H.M.A. No. 1	14.0-16.0	80.0-85.0					Bal.
H.M.S.A. No. 2	14.0-16.0	45.0-55.0	30.0	0.80-1.30			Bal.
Modelo 5	5.0-6.0		44.0-48.0	0.80-1.30	0.30-0.40	1.0 Max.	Bal.
Modelo 5LC	5.0-6.0		44.0-48.0	0.80-1.30	0.50-0.75	1.0 Max.	Bal.
Modelo 5C	5.0-6.0		44.0-48.0	0.80-1.30		1.0 Max.	Bal.
Modelo 6	6.0-7.0		44.0-48.0	0.80-1.30	0.30-0.40	1.0 Max.	Bal.
Modelo 6LC	6.0-7.0		44.0-48.0	0.80-1.30	0.50-0.75	1.0 Max.	Bal.
Modelo 6C	6.0-7.0		44.0-48.0	1.00-1.50		1.0 Max.	Bal.
Modelo 9	8.5-10.0		44.0-48.0	1.00-1.50	0.30-0.40	1.0 Max.	Bal.
Modelo 9LC	8.5-10.0		44.0-48.0	1.00-1.50	0.50-0.75	1.0 Max.	Bal.
Modelo 9C	8.5-10.0		44.0-48.0		0.50-0.75	1.0 Max.	Bal.
Modelo 18C	16.0-20.0		60.0-65.0			1.0 Max.	
Modelo 12	11.0-13.0		38.0-42.0			1.0 Max.	
Modelo 7C	8.0-9.5	*4.5-6.6	43.0-47.0		0.50-0.75	1.0 Max.	

* Cobre

nido de carbón superior al 3.8% y deben recibir una fuerte inoculación.

Hay otros elementos capaces de producir grafito no nodular, pero su efecto es mucho menos pronunciado que el del magnesio y el del cerio, por lo que no serán tratados.

II.4 Fabricación El proceso de fabricación de hierro gris es sencillo y rápido, mientras que para fabricar hierro nodular, hay algunas operaciones adicionales como la nodulización y la desulfurización en algunos casos.

A continuación se presentan las operaciones para fabricar hierro gris y nodular.

Fundición Gris	Función Nodular
a).- Carga de Materiales	a).- Varga de Materiales
b).- Fusión	b).- Fusión
c).- Adición de Aleaciones	c).- Adición de Aleaciones
d).- Inoculación	d).- Inoculación
e).- Moldeo	e).- Nodulización
	f).- Desulfurización (cuando es necesario)
	g).- Moldeo

Todas y cada una de las operaciones deben ser controladas para una buena pieza de fundición.

A continuación se tratan por separado y además un -- poco la forma de controlarlas.

II.4.1 Carga de Materiales. El horno de inducción puede car -- garse con diferentes materiales, como chatarra, arrabio ó sún -- hierro esponja.

En el caso de cargar chatarra, se debe tener cui --- dado al seleccionarla, ya que ésta puede ser fuente de impure -- zas, sobre todo en el hierro nodular que no acepta valores ma -- yores del 0.02% de S.

Si se carga hierro esponja se sabe desde un princi -- pio que esto va a producir una gran cantidad de escoria.

Por lo anterior el material de carga ideal es el -- arrabio especial para hierro tanto gris como nodular. El arra -- bio para hierro nodular es especialmente fabricado con bajos - contenidos de Azufre, Fósforo.

II.4.2 Fusión. Existen varios equipos para fundir hierros como -- son por ejemplo, El Cubilote, Hornos de Revérbero, Hornos Eléct -- ricos de Arco, Horno Eléctrico de Inducción, etc. En el ca -- so particular de éste trabajo, como todas las coladas se hicie -- ron en Horno Eléctrico de Inducción sin canal, se da una breve -- revisión de éste tipo de horno.

Los hornos eléctricos sin canal representan uno de -

los métodos de fusión más versátiles, desde la fundición de -- metales preciosos, hasta la aleación de materiales exóticos -- al vacío, pasando por las fundiciones de alta producción.

En la tabla No 5 se dan las capacidades de los diferentes equipos eléctricos de inducción sin núcleo. También en esta tabla No 5, como en toda regla, hay excepciones, que hacen que, en casos muy especiales los diseños se ajusten a otras potencias y capacidades, pero este punto no será tocado, ya -- que los valores estandarizados son los que interesan a la mayoría.

En relación a la producción de un horno de inducción sin canal, se puede decir que está influenciada por dos variables principales : La tensión y la Cantidad de material a fundir.

Cuando se aumenta la tensión, por la ley de Ohm, debido a que permanece constante la impedancia, aumentará la corriente, lo que se traduce en una mayor cantidad de calor y -- por lo tanto más producción.

Por otra parte, si se aumenta la cantidad de metal a fundir, es más sencillo hacer la operación.

II.4.3 Adición de Aleaciones y Control de la Temperatura de -- colada.

Una vez que la carga haya fundido se debe ajustar --

TABLA No. 5

Tipo	Frecuencia	Rango de potencia (kw)	Velocidad de Producción de Hierro y Acaro (Ton/Hr)	Capacidad en el cri sol Tons
Frecuencia Media Sin núcleo	60 H2	1000 a 20,000	1.5 a 2.1	3 a 60
Frecuencia Media sin núcleo estado sólido	180 H2	126 a 3000	0.18 a 5.5	0.227 a 20
Alta frecuencia sin núcleo, sólido	500 H2	150 a 2100	0.245 a 4.1	0.27 a 7
Alta frecuencia sin núcleo,	1000 H2	125 a 2100	0.110 a 0.59	0.13 a 4
Alta frecuencia sin núcleo, estado sólido	3000 H2	75 a 300	0.110 a 0.59	0.002 a 0.8

la composición del caldo.

Generalmente los elementos que se controlan son: -- Carbono, Silicio y Manganeso, que se agregan como ferroaleaciones.

Al adicionar las ferroaleaciones es necesario controlar la granulometría, ya que en caso de ser grande el tamaño de partícula es difícil que se disuelva.

Un parámetro que se debe controlar después que se ha ajustado la composición del caldo es la temperatura.

La temperatura de colada es un factor sumamente crítico, puesto que la falta de control puede causar defectos en las piezas.

Por ejemplo, una alta temperatura de colada puede producir porosidades y deformaciones del molde, o aún penetración del metal al molde, mientras que una baja temperatura, puede producir una solidificación prematura.

La temperatura del caldo se puede medir por medio de registradores o con pirómetros principalmente.

II.4.4 INOCULACION.

La inoculación es un medio para controlar la estructura y propiedades de las fundiciones gris, y nodular.

Este proceso se lleva a cabo con la adición al hierro fundido de una pequeña cantidad de material generalmente de silicio y/o grafito en presencia de otros elementos para provocar una desoxidación, y aumentar el grado de nucleación del grafito eutéctico y minimizar por consiguiente la tendencia al temple y a la formación de un tipo de grafito indeseable que afectan desfavorablemente a la maquinabilidad y a las propiedades mecánicas del hierro colado.

Como es sabido el hierro es sensible a los cambios de espesor, es decir, las propiedades mecánicas y físicas de una fundición variarán según el espesor o más correctamente dicho, con la velocidad de enfriamiento. La forma clásica de conseguir mejores propiedades físicas y estructura determinada con el hierro colado, de acuerdo con el espesor de la pieza ha sido y en gran manera continúa siéndolo, mediante variaciones en la composición química del hierro fundido.

Es prácticamente imposible ajustar la composición química a fin de obtener las propiedades óptimas en cada pieza de hierro colado, y más todavía cuando se tiene que obtener piezas de distintos espesores, partiendo de una misma aleación

de hierro fundido. Se llega, pues, a soluciones de compromiso.

Las propiedades físicas del hierro fundido están -- estrechamente ligadas con su microestructura. Para una alea -- ción de composición dada es posible sin modificación sensible del análisis, mejorar las propiedades físicas interviniendo so -- bre la microestructura, que es esencialmente el principio de -- la inoculación.

Por ejemplo tenemos mediante el uso adecuado de inoculante en la fundición gris, el grafito tiende a precipitar -- durante la solidificación en forma de pequeñas láminas de tipo A, uniformemente distribuidas en la matriz, mientras que en -- hierro que no ha sido inoculado, las piezas presentan frecuentemente estructuras blancas y atruchadas, particularmente en -- zonas delgadas y en superficies de las piezas, lo que es debido a la formación de grafito del tipo D y E.

Por consiguiente cuando tenemos piezas con variaciones de espesor, tenemos que se presentan diferencia de velocidades de enfriamiento, en las distintas partes de la pieza produciéndose diferentes tipos de grafito. Esta diferencia es inevitable pero la inoculación disminuye la influencia de la velocidad de enfriamiento, sobre la microestructura, consiguien-

dose así propiedades mas constantes en cualquier espesor de una pieza determinada, y se evita de esta manera el efecto -- de las difarencias de espesores. y

La inoculación nos ofrece muchas ventajas en el control de las piezas coladas, en homogenización y la sensibilidad al temple, y por lo tanto en conseguir propiedades más -- constantes, de ahí que adoptemos la inoculación como una fase en la técnica de fabricación.

Como se ha dicho la inoculación, disminuye la in -- fluencia de la velocidad de enfriamiento sobre la microestructura, esto es debido a que interviene directamente en factores metalurgicos, como son, El grado de nucleación, El grado de sobrefusión, y El grado de oxidación del hierro.

O sea un hierro solidificará o no blanco debido a los siguientes factores

- 1.- La composición química (particularmente el contenido de Si).
- 2.- La velocidad de enfriamiento.
- 3.- El grado de nucleación.
- 4.- El grado de sobrefusión
- 5.- El grado de oxidación del hierro.

La composición química utilizada, especialmente en lo que a los elementos principales se refiere, es una cuestión

de control físico y por lo tanto se aparta del campo de la inoculación. La velocidad de enfriamiento viene determinada por la masividad de la pieza, siendo un objetivo de la inoculación el de reducir la sensibilidad del temple al menor nivel posible para la composición química utilizada.

La inoculación controla esta sensibilidad al espesor efectuando sobre los puntos 3, 4, 5, anteriormente mencionados.

EL GRADO DE NUCLEACION (número de células eutécticas).

La inoculación aumenta el número de células eutécticas. El grafito es una célula eutéctica, que tiene una forma groseramente esférica, esta interconectado. Está compuesto de hojas serpenteantes y deformadas radiando todas de un centro común y dando la estructura normal de grafito en láminas. Aumentando el número de células eutécticas y con ello aumentando los centros de solidificación, el carbono en solución se puede separar a mayor velocidad y por consiguiente, facilita la obtención de estructuras grises a mayores velocidades de enfriamiento. (La migración del carbono en el líquido hacia una lámina de grafito creciente requiere cierto tiempo. Aumentando el número de células eutécticas, se reduce la distancia que tiene que recorrer el carbono).

EL GRADO DE SOBREFUSION.

Los hierros colados solidifican eventualmente como un eutéctico de austénita-gráfito o austenita-carburo de hierro. Se forman principalmente en el líquido dendritas de austenita. Estas dendritas continúan creciendo hasta que el líquido remanente alcanza la composición eutéctica (como la austenita contiene solamente 1.7 de C, el líquido remanente va enriqueciéndose de carbono). Bajo condiciones de equilibrio la composición solidifica a determinada temperatura conocida. Se forman los núcleos de grafito y posteriormente crecen juntas las láminas de grafito y austenita.

Mientras esto va ocurriendo, la temperatura permanece constante o puede incluso aumentar ligeramente hasta que todo el hierro ha solidificado.

Cuando la velocidad de enfriamiento excede de un valor crítico, el grafito no puede nuclearse hasta que se alcanza una temperatura más baja. O en casos extremos no puede nuclearse en absoluto. En las etapas intermedias la grafitización es retardada y el líquido llega a sobresaturarse de carbono. Este se conoce como sobre fusión. Bajo condiciones ideales, el calor desprendido como resultado de la solidificación del eutéctico puede interrumpir el descenso de la temperatura, pero cuando el calor es perdido por la pieza a una velocidad-

bastante rápida esto no ocurre.

El propósito de la inoculación es la nucleación artificial de los centros de solidificación evitando la sobre-fusión y por consiguiente la formación de grafito tipo D ó E- y favorecer la formación de estructuras perlíticas que contengan solamente láminas de grafito no orientadas.

EL EFECTO DEL METAL OXIDADO.

Es un hecho bien conocido que el metal producido bajo condiciones de fusión oxidantes es más sensible al temple. Se ha apuntado que el oxígeno probablemente, disuelto en el baño en forma de FeO , destruye los núcleos de grafito. Y por tanto causa mayor sobrefusión para una velocidad de enfriamiento dada, lo que favorece al temple.

Otros investigadores han sugerido que la velocidad de crecimiento de las láminas de grafito es adversamente afectada, lo que incrementa el tiempo necesario para que carbonosalgan de la solución. De este modo la velocidad de enfriamiento crítica por encima de la cual se forma carburo de hierro, queda grandemente reducida.

Sea cual sea la explicación, el hecho práctico exige. Los materiales que se usan como inoculantes pueden ser diversos. Aunque son en la mayoría de los casos aleaciones de hierro y silicio con contenidos variables de otros elementos-

como calcio. Existen diferentes técnicas para analizar la inoculación, aunque generalmente se procede de la siguiente forma. Antes de ajustar correctamente la composición del caldo -- se debe tener en cuenta que el material inoculante contiene -- invariablemente silicio.

Por ésto el caldo debe de tener una concentración de silicio inferior a la calculada y que se ajusta una vez realizada la inoculación.

Una vez que se hayan agregado las ferroaleaciones -- y demás elementos de aleación y el caldo este en la temperatura correcta de vaciado, pasar éste a una cuchara de inoculación, teniendo cuidado de agregar el inoculante sobre el chorro en el momento de vaciar.

II.4.5 Nodulización. La operación de nodulización obviamente sólo se hace a los hierros nodulares y tiene como finalidad -- dar la forma de nódulos al grafito. Esto se consigue por la -- adición de magnesio o alguna de sus aleaciones.

Industrialmente hay diferentes procesos de nodulización entre los que se encuentran el proceso Sandwich, el proceso Pour Over, el del convertidor Fisher, el proceso M A P, -- etc.

De ellos algunos usan magnesio puro, mientras que -- otros usan alguna aleación de éste elemento.

Entre todos los procesos de nodulización existen algunas otras diferencias, aparte del equipo y operación, como la capacidad de producción y los aprovechamientos de Magnesio. -- Ahora se trata con el proceso Sandwich que fue el utilizado -- en este trabajo. Este metodo es quiza el más ampliamente usado para producir hierro dúctil en grandes cantidades para la industria automotriz.

Este es un método muy sencillo, ya que necesita solo de una cuchara especialmente preparada con una pequeña depresión en el fondo, donde se coloca la aleación con magnesio, -- que a su vez se cubre con una laminilla de acero de bajo carbono.

Esto es con la finalidad de que la reacción entre el magnesio y el hierro no se lleve a cabo tan directamente y obtener una recuperación de magnesio mayor. Como el magnesio esta cubierto por la laminilla de acero, este no reaccionará con el hierro hasta que no se haya fundido la laminilla. Cuando -- la laminilla se haya fundido ya habra en la cuchara de tratamiento una considerable cantidad de metal que disminuirá las -- pérdidas del magnesio por la exposición producida por la reacción. Se reportan valores para la recuperación de 60-70% cuando el proceso se realiza en condiciones optimas.

Las aleaciones que dan mayor recuperación de magnesio con el metodo Sandwich son Noduloy 5C y Noduloy 5R, aunque

se pueden usar otras aleaciones sin mucho problema.

Con respecto a la temperatura de colada se recomienda que ésta sea de 1500 - 1550 °C para producciones inferiores a 1000 lb.

En este método de Sandwich la operación de nodulización generalmente se hace posterior a la inoculación en una -- cuchara diferente, lo que implica una alta temperatura de colada por las operaciones que se hacen al metal antes de vaciar-- lo en el molde.

Una operación alternativa es hacer la inoculación -- y nodulización en la misma cuchara, lo que hace que la temperatura no sea necesariamente muy alta y además ahorra la fabricación de una cuchara para inoculación, aunque, si la inoculación se hace en forma manual, esto acarrea un poco de riesgo a la persona que hace la inoculación ya que en el momento de estar agregando el inoculante está también reaccionando el hierro con la aleación de magnesio, lo que produce muchas chispas.

El procedimiento usual de tratamiento en el proceso-Sandwich es el siguiente

a).- Colocar la cantidad necesaria de la aleación -- de tratamiento dentro del desnivel de la cuchara de tratamiento, que previamente ha sido calentada a una temperatura supe -

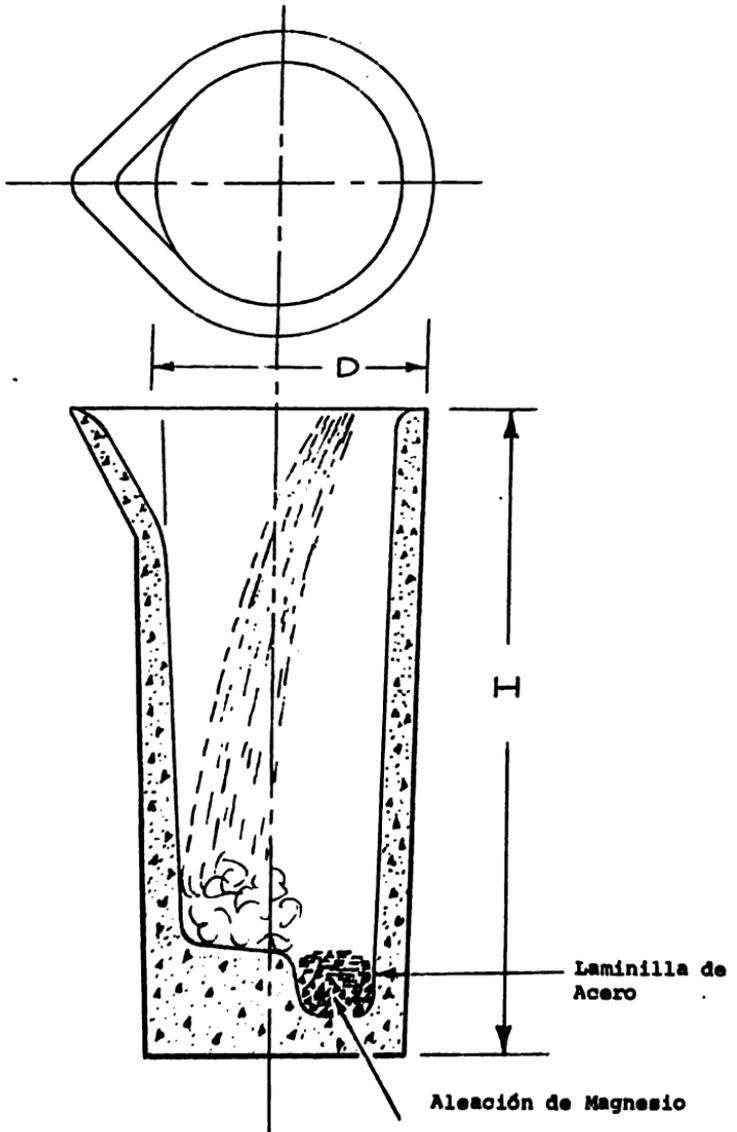


Fig. 5 Cuchara de tratamiento en el proceso Sandwich

rior a 1200 ° C.

b).- Colocar la laminilla de acero sobre la aleación de tratamiento, de manera que cubra lo más posible.

c).- Llene el recipiente lo más aprisa posible, de tal forma que el metal líquido caiga en el lado opuesto al que se encuentra la aleación, como lo muestra la figura.

d).- Quitar la escoria que ha quedado que la reacción ha terminado. Hacer esto también lo más rápido que sea posible.

e).- Cuando se hace la nodulización e inoculación en un mismo recipiente, se debe agregar el inoculante en el mismo momento en que se está vaciando sobre la cuchara, teniendo cuidado que las partículas de inoculante caigan sobre el chorro y no sobre la cuchara.

II.4.6 Desulfurización. Esta es una operación que generalmente sólo se hace cuando se fabrica hierro nodular en horno de cubilote, por el alto contenido de Azufre en el Coka.

Cuando alguna vez se hace la desulfurización en horno de inducción es porque la chatarra o el arrabio de carga-- llevan un elevado contenido de Azufre, superior al 2%, pero esto es muy raro y no es motivo de este trabajo su estudio, ya que en ninguna de las coladas hubo necesidad de hacer una desulfurización.

II.4.7 Moldeo. Esta es la última operación del proceso de fabricación de hierros tanto grisea como nodulares.

El moldeo se puede hacer por diferentes metodos, como el de moldeo en verde, moldeo en arena seca, moldeo en Shell, etc. Dependiendo del tipo y cantidad de las piezas a producir y de las facilidades que se tengan para hacer el moldeo por uno u otro método.

A escala laboratorio los métodos de moldeo en verde y Shell son los más adecuados, ya que en el primero la arena no necesita tratamiento y la herramienta adicional es barata y en moldeo de Shell aunque hay máquinas especiales que hacen el molde automáticamente, en un laboratorio que no cuenta con esta maquinaria se puede adaptar si se cuenta con un soplete de gas, como se explica en paginas posteriores.

El molde de Shell o de cascará se hace de arena mezclada con una resina especial que al calentarse se compacta -- y queda una cascara dura rodeando al modelo.

Es conveniente que al moldear en Shell, los moldes -- esten rodeados por una gran cantidad de arena fuertemente compacta con el fin de evitar perforaciones del metal caliente.

III DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1 CARACTERISTICAS DEL HORNO DE INDUCCION.

El horno en el cuál se trabajo es un horno de inducción de alta frecuencia y sus características principales son las siguientes

Marca AJAX MAGNETHERMIC, de 30 Kw de capacidad de generación nominal con 400 Volts en las terminales de salida, -- que proporciona una frecuencia de 4200 Hz.

El horno en si consiste de una unidad motogenerado -- ra de energía eléctrica de alta frecuencia y dos crisoles, además del conjunto de elementos de protección y acoplamiento.

La máquina es una estructura vertical enfriada por -- agua, construida de placas de acero soldado, consiste de un mo -- tor, de un generador de alta frecuencia y de un extractor de -- calor integral aleado de cobre.

El motor de inducción es de 50 Hp y está diseñado -- para operar a 50-60 Hz, tiene dos polos con una velocidad de -- operación de 3550 rpm en sistema de 220 Volts nominales entre -- fase y fase, con un factor de frecuencia de 0.85. Este motor -- impulsa el rotor del generador que produce el tipo y la can -- tidad de frecuencia para la cual fué diseñado.

3.2. FABRICACION DE LOS ACCESORIOS PARA LAS COLADAS.

3.2.1. Fabricación de los moldes Shell. En la fabricación se --

utilizo un modelo de 8 barras de aproximadamente un centímetro cuadrado de área transversal y una longitud de 15 cm. Estas barras reposan sobre una placa como se muestra en la figura.

El modelo está hecho de aluminio y debe estar completamente liso para obtener un desmoldeo rápido y bueno.

En la siguiente figura se presenta un dibujo del modelo utilizado.

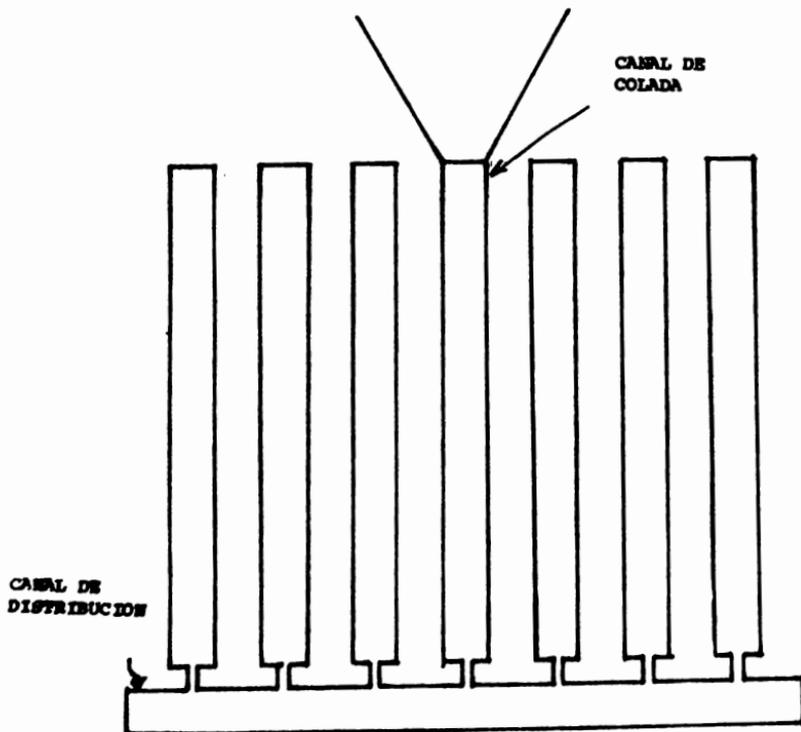
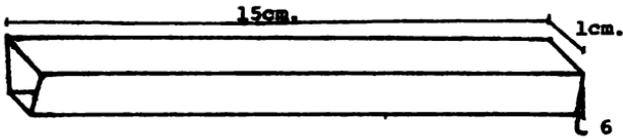
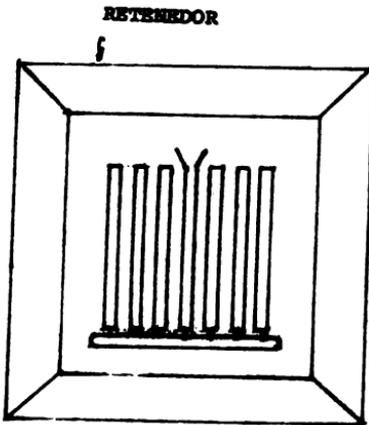


FIG. 6 REPRESENTACION DEL MODELO UTILIZADO



DETALLE DE LA PIEZA



DETALLE DEL RETENEDOR
CON EL MODELO

Las barras tienen una conicidad de 6° . El canal -- de colada, como se observa en la figura, tiene una entrada -- cónica con una sección transversal igual a la de las barras -- de aproximadamente un centímetro cuadrado. El canal de dis -- tribución también tiene las mismas dimensiones.

Como ya se mencionó anteriormente, para fabricar - arena shell se utiliza arena sílica mezclada con una resina - especial. Actualmente ya hay empresas que se dedican a la fa - bricación de éste tipo de arena especial para modelo shell.

La fabricación de los moldes se lleva a cabo en una máquina especial para moldes shell. Esta máquina trabaja au - tomáticamente a base de fuerza centrífuga y calentamiento de - la arena.

Esta máquina fabrica rápidamente una cantidad gran - de de moldes, dependiendo de las características de la máqui - na el tiempo varía entre 15 y 30 segundos para fabricar un -- molde.

En el caso particular de éste trabajo, se utilizó - el siguiente material

Un soplete de gas.

El modelo

Un retenedor de la arena, consistente de 4 placas - de acero soldadas en sus extremos cortos formando un rectángu

lo.

Una placa de acero de iguales dimensiones que el mo
delo.

La arena Shell. (arena revuelta en resina)

El procedimiento seguido es el siguiente. Primero - se calienta el modelo con el soplete por espacio de aproximadamente 30-40 segundos, lo mismo se hace con el retenedor. -- Una vez caliente modelo y retenedor, se coloca éste último -- de forma tal que rodee al modelo e inmediatamente después se agrega la arena lo más rápida y uniformemente posible. Entonces se calienta la arena con el soplete hasta que tome un color café ligeramente obscuro. Después se desmoldea golpeando al modelo por la parte posterior y por las orillas en forma - seca. Por último se fabrica la tapa colocando la placa de ace
ro, después de haberse calentado debajo del retenedor agregan
do la arena y calentando en la misma forma que se hizo ante -
riormente.

Una vez desmoldeados modelo y tapa, se lijan un poco para que ajusten perfectamente uno con otro y no haya peli
gro de orificios por donde pueda pasar el metal caliente.

3.2.2. FABRICACION DE CUCHARAS. Para la fabricación de cucha
ras se pueden utilizar diferentes tipos de material refractario. El refractario usado en la tesis fue un barro a base de-

silice. El barro se prepara mezclandolo con agua en una proporción de 10 litros de agua con 50 Kgs de barro y se deja -- reposar por aproximadamente 24 horas. Entonces está listo pa -- ra ser utilizado en la fabricación o recubrimiento de las --- cucharas.

Las cucharas son recipientes donde se transporta el metal hacia los moldes y donde también se puede realizar al -- guna operación como inoculación ó nodulización. Estas tienen en realidad una forma cónica y no de cuchara, como su nombre -- indica. Las cucharas se fabrican de lámina negra recubierta -- interiormente de barro refractario. Así cuando el barro está -- listo y a la lámina se le ha dado la forma deseada, se proce -- de a recubirla de tal forma que el grueso de la pared sea de -- aproximadamente una pulgada y se deja secar. Durante el seca -- do por la eliminación de agua de la mezcla, ésta se contrae -- y eventualmente aparecen grietas, las cuales se reparan con -- más barro.

El secado de las cucharas se puede hacer de dos for -- mas, una es dejando reposar las cucharas durante algún tiempo, digamos entre 24 y 48 horas. La segunda es calentando para -- evaporar más rápidamente el agua. Esta última forma de secado aumenta la cantidad de grietas, pero es muchísimo más rápida, por lo que se prefiere.

Tanto las cucharas, como el refractario el horno, - se van gastando con el paso del tiempo, así que de vez en --- cuando es necesario recubrir o "parchar" alguno de ellos, lo-cual se hace en la misma forma que se explico anteriormente.

3.3 COLADAS

3.3.1 PLANEACION DE LAS COLADAS. SE PLANEARON EN TOTAL ONCE COLADAS EN 2 ETAPAS. La primera etapa consistió de cinco coladas que fueron vaciadas en moldes shell, mientras que en la 2a. - etapa se coló en lingotearas.

Con respecto a los balances de materiales, estos se hicieron tomando un 95% de aprovechamiento para Manganeso y -- Silicio y 90% de aprovechamiento para carbón.

Se utilizaron 2 tipos de Arrabio con diferentes análisis químico y procedencia. El arrabio checado con el No.1 -- fue obtenido en los laboratorios de la Universidad y su composición es la siguiente

Arrabio No. 1	C	3.63%	0.18%, Mn	0.00%
---------------	---	-------	-----------	-------

El arrabio No. 2 fué donado por Automanufacturas -- S.A. y su composición es

Arrabio No. 2	C	4.15%, Si	1.48%, Mn	0.09%
---------------	---	-----------	-----------	-------

Para adicionar Manganeso y Silicio se utilizaron ferrosaleaciones con la siguiente composición.

Fe Si	75% Si
-------	--------

Fe Mn	72%
-------	-----

Para ajustar la composición de Carbono se agregó grafito en los casos en que fue necesario adicionar. Pero cuando se necesitó disminuir el contenido de carbono, éste se diluyó-

con varilla de acero (chatarra) cuya composición es

Varilla C 0.1% Si 0.00% Mn 0.00%

Con respecto al procedimiento seguido en la fabricación

- 1.- Al comenzar se hizo el balance de materiales, -- mientras se ponía a funcionar el horno.
- 2.- Se pasaron y cargaron el arrabio y/o la varilla -- cuando se necesito.
- 3.- El tiempo de fusión de la carga fluctuó entre 2 -- y 3 horas, tiempo que se aprovecho para hacer un pequeño agujero en la tierra, donde se colocaron los moldes shell en posi -- ción vertical y separados aproximadamente 15 cm. uno de otro. -- Después se relleno nuevamente el espacio entre los moldes, api -- sonando fuertemente. Así los moldes quedaron "enterrados" en la arena, sobresaliendo solamente la boquilla de vaciado.
- 4.- Simultaneamente a la colocación de los moldes en -- su lugar se prendió un horno de petroleo para parchar las cucha -- ras y precalentariás.
- 5.- Cuando la carga estuvo casi fundida, se agregó -- el resto del material de carga y se precalentaron los moldes.
- 6.- Una vez que estuvo toda la carga fundida se proce -- díó a vaciar.
- 7.- Cuando se hizo hierro gris, el caldo se vacio a --

una cuchara, inoculando en el chorro. La aleación inoculante-- (ferrosilicio) se colocó en un tubo largo y en el momento de pasar el hierro colado el tubo se acercó a la boca del horno y se le vació el inoculante.

De la cuchara se vació a los moldes.

8.- Cuando se coló hierro nodular, el caldo se vació sobre la cuchara sandwich, y ahí mismo se hizo la inoculación-- se hicieron en la misma cuchara. El tiempo de reacción en nodulización fue de unos cuantos segundos. De ahí se vació a los moldes.

9.- Se esperó alrededor de 20 minutos y se desmoldó.

En la primera etapa el objetivo fue el de obtener fundición gris y nodular de las más usadas en la industria. En base a esto las fundiciones buscadas fueron

No. 1 Obtener una fundición gris con una estructura de matriz perlítica.

No. 2 Obtener una fundición con una estructura en la matriz de perlita-ferrita (con mayor proporción de perlita).

No. 3 Obtener una fundición gris con una matriz ferrítica-perlítica. (con mayor proporción de ferrita).

No. 4 Obtener una fundición nodular con una estructura en la matriz de ferrita únicamente.

No. 5 Obtener una fundición nodular con una estructura en la matriz de ferrita-perlita.

En la segunda etapa el objetivo fue el de mantener más o menos constante la estructura de la matriz y obtener por medio de la inoculación un mejor tipo y tamaño de grafito.

No. 6 Obtener una fundición gris con una estructura en la matriz perlítica y un tipo de grafito D ó E.

No. 7 Obtener una fundición gris con estructura de matriz perlítica e incorporando el proceso de inoculación, observar el cambio en el tipo, tamaño y distribución del grafito, con respecto a la colada No. 6.

No. 8 Obtener una fundición gris con una estructura de matriz perlítica, sin inocular para obtener un grafito tipo D ó E.

No. 9 Obtener una fundición gris con una estructura de matriz perlítica con inoculación para obtener un grafito tipo A ó B.

No. 10 Obtener una fundición nodular con una estructura de matriz perlítica, sin inocular.

No. 11 Obtener una fundición nodular con una estructura en la matriz perlítica con mejor distribución, por efecto de la inoculación.

RESUMEN ESQUEMATICO DE LAS COLADAS REALIZADAS

TIPO DE FUNDICION	ESTRUCTURA EN LA MATRIZ Y NUMERO DE COLADA		
Fundición gris	Perlítica No. 1	Perlítica-Ferrítica No. 2	Ferrítica-Perlítica No. 3
Fundición Modular	Perlítica Nos. 10 y 11	Perlítica-Ferrítica No. 5	Ferrítica No. 4
	ESTRUCTURA EN MATRIZ PERLITICA		
Fundición gris	Grafito A ó B Nos. 7 y 9	Grafito D ó E Nos. 6 y 8	
Fundición Modular	Grafito nodular en poca cantidad	Grafito nodular con una mayor can- tidad de nodulos por centimetros - cuadrados	
	No. 10	No. 11	

COLADA No. 1

	Fe		Si		Mn		C		
	gr	%	gr	%	gr	%	gr	%	gr
Arrebio	1000	96.1	961	0.18	1.8	0.00	0.00	3.63	36.3
Fe Si 75%	19	23	4.37	71	13.49	0.00	0.00	0.00	0.00
FeMn 72%	11	26	2.86	0.00	0.00	68	748	0.00	0.00
C 90%	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	90	2.7
Total	1033	968.1	968.1		15.2		7.48		39.2
Análisis				1.47		0.71			3.81

COLADA No. 2

	Fe		Si		Mn		C		
	gr	%	gr	%	gr	%	gr	%	
Arrabio	1000	96.1	961	0.18	1.8	0.00	0.00	3.63	36.3
Fe Si	24	23	5.5	71	17.49	0.00	0.00	0.00	0.00
FeMn	8	26	2	0.00	0.00	68	5.4	0.00	0.00
Carbono	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	90	0.90
Total	1033	96.75			19.3		5.4		37.4
Analisis				1.89		0.53		3.63	

Gen.

COLADA No. 3

	Fe		Si		Mn		C		
	gr	%	gr	%	gr	%	gr	%	
Arreabio	1000	96.1	961	0.18	1.8	0.00	0.00	3.65	36.5
PoSi	26	23	5.9	71	18.4	0.00	0.00	0.00	0.00
PoMn	8	26	2	0.00	0.00	68	5.5	0.00	0.00
Carbono	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	90	2.7
Total	1037		968.9		20.2		5.5		39.2
Análisis				2.00		0.54		3.80	

COLADA No. 4

	Fe		Si		Mn		C		
	gr	%	gr	%	gr	%	gr	%	
Arrebio	1000	96.1	961	0.18	1.8	0.00	0.00	3.65	36.5
FeSi	37	23	8.5	71	26.2	0.00	0.00	0.00	0.00
FeMn	2	26	0.5	0.00	0.00	68	1.2	0.00	0.00
Grafito	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	1038		970				1.2		36.5
Análisis				2.72		0.11		3.50	

COLADA No. 5

	Fe		Si		Mn		C		
	gr	%	gr	%	gr	%	gr	%	gr
Arrabio	1000	96.1	961	0.18	1.80	0.00	0.00	3.65	36.5
FeSi	36	23	8	.71	25.5	0.00	0.00	0.00	0.00
M FeMn	1.5	26	0.4	0.00	0.00	68	1.00	0.0	0.00
Grafito	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	1037		969		27.3		1.00		36.5
Análisis				2.62		0.10		3.30	

COLADA No. 6

	Fe		Si		Mn		C		
	gr	%	gr	%	gr	%	gr	%	
Arrebio	1000	94.2	942.8	1.48	14.8	0.09	0.9	4.15	41.5
Varilla	90	79	79.2	0.00	0.00	0.00	0.00	1.0	0.8
FeSi	6	23	1.4	71	4.2	0.00	0.00	0.00	0.00
FeMn	12	26	3	0.00	0.00	68	8.1	0.00	0.00
Grafito	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	1.098		1026		19		9.0		42.3
Analisis				1.68		0.82		3.66	

COLADA No. 7

	Fe		Si		Mn		C		gr
	gr	%	gr	%	gr	%	gr	%	
Arrabio	1000	94.2	942	1.48	14.8	0.09	0.9	4.15	41.5
Chatarra	80	99.9	79.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.1	0.1
FeSi	6	23	13	71	4.2	0.00	0.00	0.00	0.00
FeMn	12	26	3	0.00	0.00	68	8.1	0.00	0.00
Grafito	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	1098		1026		19.0		9.0		41.6
Análisis				1.68		0.82		3.66	

COLADA No. 8

	Fe		Si		Mn		C		
	gr	%	gr	%	gr	%	gr	%	gr
Arrabio	1000	94.2	942	1.48	14.8	0.09	0.9	4.15	41.5
Chatarra	90	99.9	79.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.1	0.1
FaSi	1	23	0.2	71	0.7	0.00	0.00	0.00	0.00
FaMn	2.0	26	0.5	0.00	0.00	68	1.3	0.00	0.00
Grafito	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
Total	1093		1032		15.5		2.2		41.6
Análisis				1.37		0.21		3.78	

COLADA No. 9

	Fe		Si		Mn		C		gr
	gr	%	gr	%	gr	%	gr	%	
Arrabio	900	94.2	847.8	1.48	13.3	0.09	0.8	4.15	37.3
Chatarra	280	99.9	279.7	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.3
FeSi	14	23	3.2	71	9.9	0.00	0.00	0.00	0.00
FeMn	6	26	0.9	0.00	0.00	68	4.1	0.00	0.00
Grafito	2.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	90	1.8
Total	1202		1132		23.2		4.9		39.4
Análisis				1.92		0.43		3.27	

COLADA No. 10

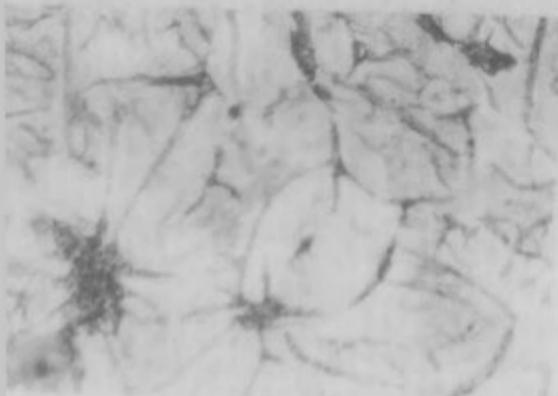
	Fe		Si		Mn		C		gr
	gr	%	gr	%	gr	%	gr	%	
Arrebio	1000	94.2	942	1.48	14.8	0.09	0.9	4.15	41.5
Chatarra	80	99.9	79.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.1	0.1
FaSi	3	23	0.6	71	2.1	0.00	0.00	0.00	0.00
FeMn	13	26	3.3	0.00	0.00	68	8.8	0.00	0.00
Grafito	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	90	2.7
Total	1100		1026		16.9		9.7		44.3
Análisis				1.53		0.87		3.99	

COLADA No. 11

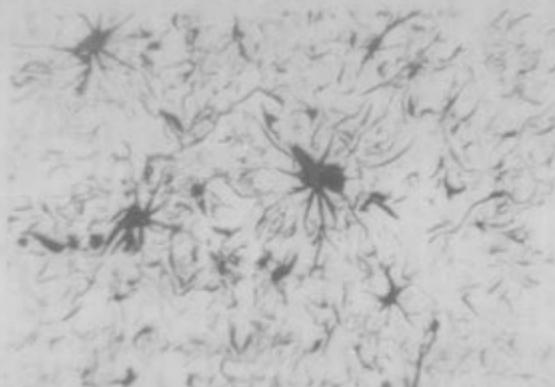
	Fe		Si		Mn		C		
	gr	%	gr	%	gr	%	gr	%	
Arrebolo	1000	94.2	942	1.48	14.8	0.09	0.9	4.15	41.5
Chatarra	80	99.9	79.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.1	0.1
PoSi	2	23	0.4	71	1.4	0.00	0.00	0.00	0.00
PoMn	13	26	3.3	0.00	0.00	68	8.8	0.00	0.00
Grafito	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	1095		1026		16.2		9.7		41.4
Análisis				1.50		0.83		3.57	



250 X
SIN ATACHE



Colada No. 2. La estructura resultó ser perlítica con algunas zonas ferríticas rodeando las láminas de grafito. El grafito es igual que en la anterior colada también fue radiante.



250 X

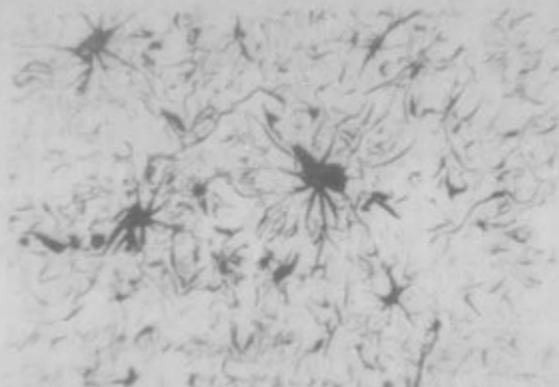
Sin ataque



400 X

Sin ataque, etiol 25'

Colada No. 2. La estructura resultó ser perlitica con algunas zonas ferríticas rodeando las láminas de grafito. El grafito es igual que en la anterior colada también fue bastante.



250 X

Sin ataque



400 X

Sin ataque inicial 70

Fig. 1. Agni ad obturem mucusosam una matris parificata.

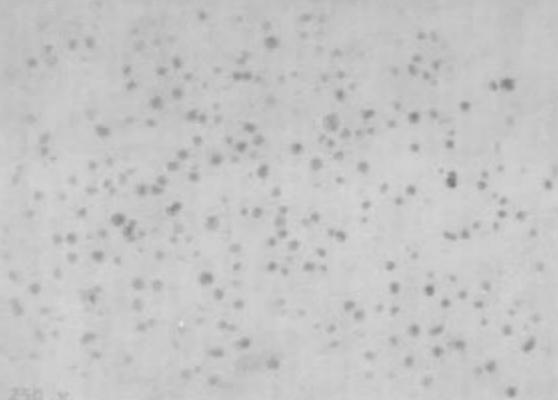


100x

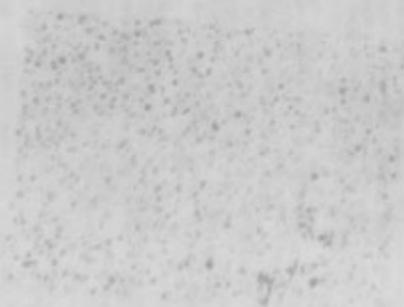
Am. Athysa



colada No. 4 se obtuvo hierro nodular con matriz ferrítica, -
con algunas zonas perlíticas rodeando los nódulos de grafito.

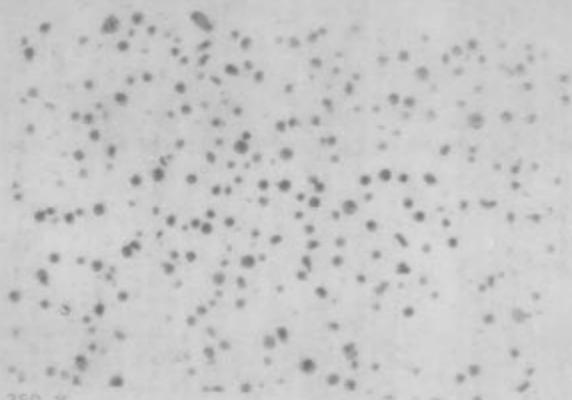


250 x
Sin Ataque



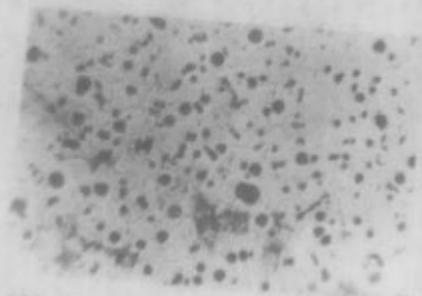
100 x
Ataque: Nital

Colada No. 5. Se obtuvo fundición nodular con matriz ferrítica perlítica y grafito.



250 X

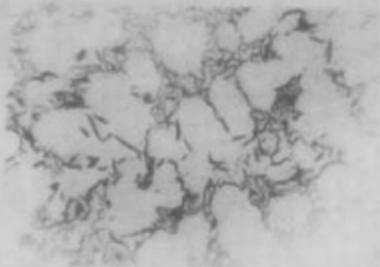
Sin Ataque



250

Ataque : Nital 3%

Colada No. 6. Se obtuvo una fundición atruchada con matriz perlitica, casi completamente blanca.

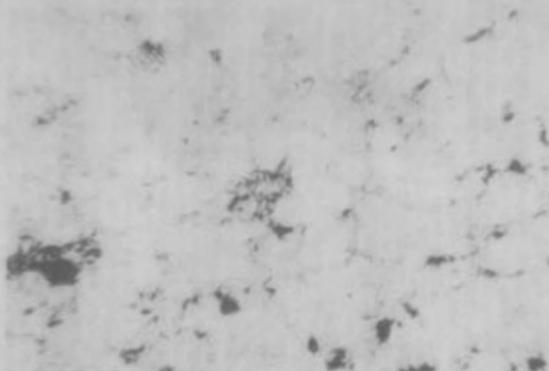


250 X
Sin ataque

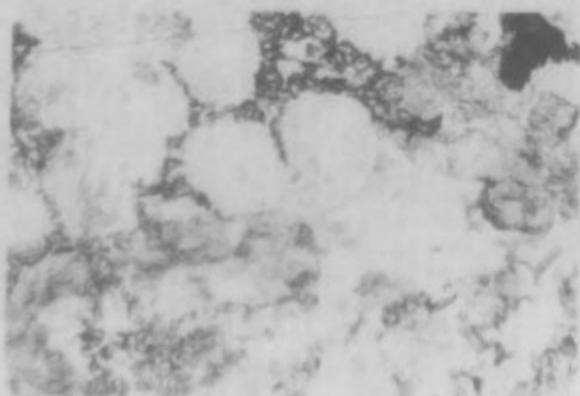


250 X
Ataque: nital 3%

Colada No. 7. Se obtuvo matriz perlítica con regular distribución de grafito "D".

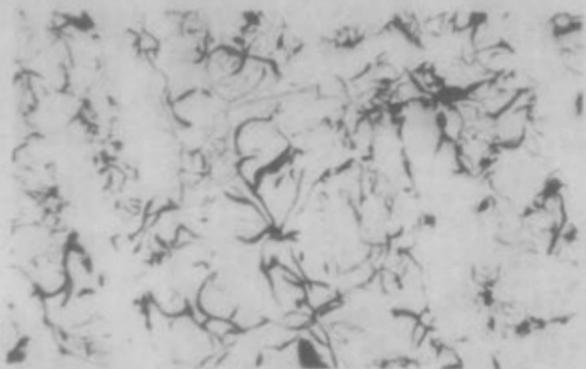


150 X
sin ataque

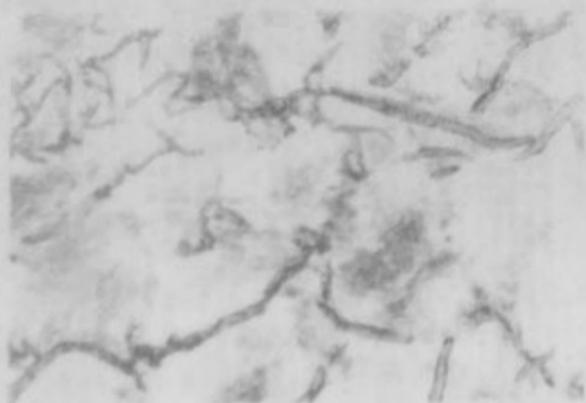


400 X
Ataque: Nival 33

Colada No. 3. Se obtuvo fundición gris con matriz perlítica y grafito tipo "D" y "E", mientras que en la superficie que estuvo en contacto con la lingotera, solidificó blanca.



250 X
Sin ataque

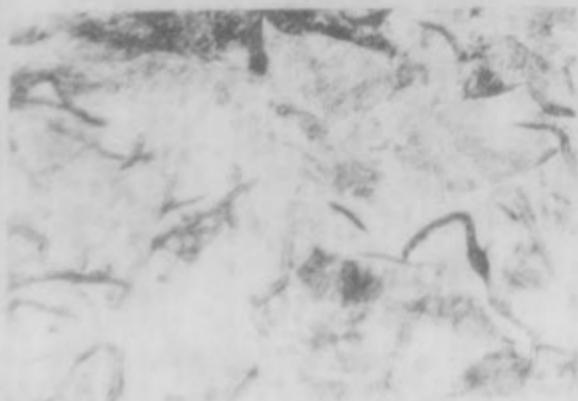


400 X
Ataque Nital 1%

Colocada No. 9. En ésta colada se obtuvo fundición gris con una matriz perlítica y grafito tipo A y B. Al igual que la anterior, la superficie solidificó blanca.

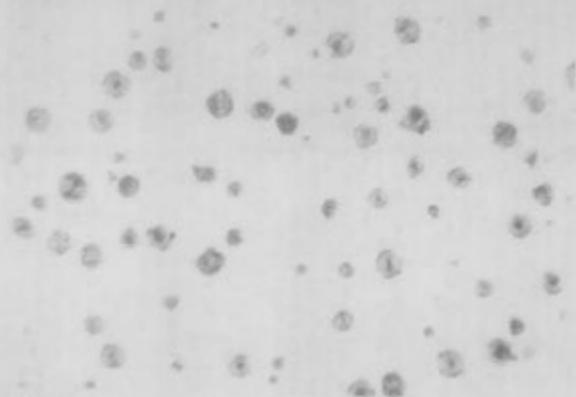


400 X
Sin ataque



400 X
Ataque: Nitro 2%

colada No. 10. Se obtuvo fundición nodular perlitica, con zonas blancas (las superficiales) y grafito.

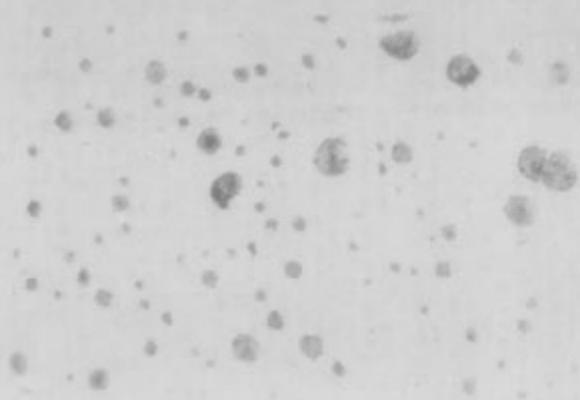


250 x
sin ataque

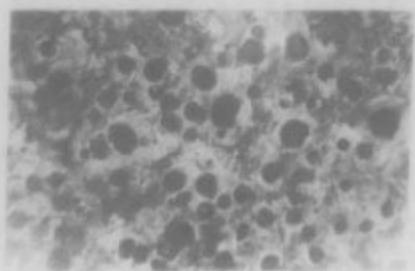


400 x
Ataque: Nital 3%

Colada No. 11. Se obtuvo fundición nodular periférica con una distribución uniforme de grafito tipo "A", aunque también se obtuvieron zonas blancas en la superficie.



250 X
Sin ataque



250 X
Ataque: NiCl4 2H2O

Coladas	<u>Análisis deseado</u>		
	<u>Análisis obtenido</u>		
	C	Mn	Si
1	3.81	0.71	1.47
	3.98	0.93	1.64
2	3.63	0.53	1.89
	3.91	0.70	1.93
4	3.50	0.11	2.72
	3.70	0.10	2.43
5	3.30	0.10	2.62
	3.21	0.21	2.90
3	3.80	0.54	2.00
	3.60	0.45	2.21
6	3.66	0.82	1.68
	3.12	0.94	1.57
7	3.66	0.82	1.68
	2.99	1.00	1.77
8	3.78	0.21	1.37
	3.01	0.95	1.25
9	3.27	0.43	1.92
	3.59	0.22	1.93
10	3.99	0.87	1.53
	3.57	1.58	2.53
11	3.57	0.83	1.50
	3.57	1.65	2.20

REPORTES DE LAS COLADAS

Coladas	<u>Análisis Químico</u>				Microestructura	grafito tipo	tama- ño	dureza	Microestructura buscada
	C	Mn	Si	otros					
1	3.81 3.98	0.71 0.93	1.47 1.64	-- --	Perlítica con zonas fe- rríticas rodeando las - láminas de grafito.	grafito lá- minar "A"	6	170	Gris perlítica
2	3.63 3.91	0.53 0.70	1.89 1.93	-- --	Perlítica con zonas fe- rríticas rodeando las láminas de grafito	grafito lá- minar "B"	5-6	185	Gris perlítica - con algo de fe - rrita.
4	3.50 3.70	0.11 0.10	2.72 2.43	-- --	ferrítica	grafito nó- dular "A"	8	317	Modular ferríti- ca
5	3.30 3.21	0.10 0.21	2.62 2.90	-- --	ferrítica	grafito nó- dular "A"	8	327	Modular ferrita- perlita.
3	3.80 3.60	0.54 0.45	2.00 2.21	-- --	perlita-ferrita	grafito lá- minar "A"	6	210	Gris ferrita per- lita
6	3.66 3.12	0.82 0.94	1.68 1.57	-- Cr0.3	perlita	grafito lá- minar "E"	7	265	Gris perlítica, con grafito ti- po A ó B
7	3.66 2.99	0.82 1.00	1.68 1.77	-- Cr0.34	perlita fina	grafito lá- minar "D"	6	229	Gris perlítica grafito tipo D ó B.
8	3.78 3.01	0.21 0.95	1.37 1.25	-- --	perlita -cementita	---	-	426	Gris perlítica grafito tipo D ó B
9	3.27 3.59	0.43 0.22	1.92 1.93	-- --	perlítica	grafito lá- minar "D"	6	180	Gris perlítica, grafito tipo A ó B
10	3.99 3.57	0.87 1.58	1.53 2.53	-- --	perlítica con zonas perlíticas rodeando los núcleos	Grafito nó- dular "A"	5-6	298	Modular perlíti- ca
11	3.57 3.57	0.83 1.65	1.50 2.20	-- --	igual a la anterior	Grafito nó- dular "A"	5-6	306	Modular perlíti- ca

4.2 Análisis de Resultados.

Al analizar los resultados obtenidos con lo planeado, se observó en general un buen acuerdo. Sin embargo hay alteraciones como son los análisis químicos deseados y los obtenidos. Los resultados del análisis químico obtenido en general son mayores que los planeados, esto se puede atribuir a dos causas:- Una es, que el horno tiene un mayor aprovechamiento ó rendimiento para los elementos: Al hacer los balances de cargas, se tomó 90% de aprovechamiento para carbón y 95% para silicio y manganeso, esto podría no ser cierto y si en cambio, los aprovechamientos podrían ser mayores, digamos 95% para carbón y un 97-98% para los otros dos elementos.

La otra causa que puede ser, es que el arrabio haya tenido un análisis mayor al reportado.

Otro punto observado es que se encontró un margen -- largo para la obtención de matriz perlítica con silicio como variable, de ahí que se haya obtenido mayor perlita en la metalografía que lo planeado.

En la segunda parte también se encontró una falla en el análisis químico del segundo tipo de arrabio utilizado, lo cuál hizo que los resultados en cuanto a análisis químico no fueran los esperados.

Se observó también que al vaciar en lingotera aumenta

la velocidad de enfriamiento y la homogeneidad de la pieza varía severamente.

Por otra parte se observó que la inoculación favorece a la pieza colada, ya que aunque en la segunda etapa se coló en lingoteras, se pudo obtener una mejor distribución de -- gráfita cuando se inoculó.

la velocidad de enfriamiento y la homogeneidad de la pieza varía severamente.

Por otra parte se observó que la inoculación favorece a la pieza colada, ya que aunque en la segunda etapa se coló en lingoteras, se pudo obtener una mejor distribución de -- gráfita cuando se inculó.

C A P I T U L O V

CONCLUSIONES

Como se puede constatar, el proceso de fabricación de fundiciones es un proceso simple, sobre todo en horno de inducción y con material de carga cruda, siempre y cuando se lleve un orden cronológico y un control estricto en cada parte del mismo. Sobre todo se deben controlar las materias primas, ya que si vienen contaminadas darán un resultado falso.

Otro punto de gran importancia es el incorporar la fase de inoculación como parte del proceso de fabricación, ya que sus beneficios son muchos.

Aunque se pueden obtener buenos resultados valiéndose de relativamente poco control, como el que se realizó en pístetrabajo, es recomendable contar con todo el equipo necesario para controlar el proceso, como, por ejemplo, un laboratorio de análisis químico, inventario de materias primas, pirómetro, etc.

Es recomendable también llevar un record de las celdas que se vayan realizando, para que, al ocurrir una falla, este record ayude a localizar la solución.

Por último, uno de los objetivos de éste trabajo es servir como introducción a posteriores trabajos sobre fundiciones, por ésto se sugieren a continuación algunos temas:

- 1.- "Los Tratamientos térmicos de las fundiciones". Este tema por sí sólo se podría subdividir en varios subtemas.
- 2.- "La influencia de la velocidad de enfriamiento en la estructura y propiedades de las fundiciones".
- 3.- "Fabricación de fundición maleable con altos contenidos de carbono y silicio".

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- "The Ductile Iron Process". Miller and Company Service - Handbook by A.F. Spangler.
- 2.- ASTM Handbook Vol. I.
- 3.- Principles of Metal Casting. Heine
- 4.- "State of The Art Series. Vol I, Ductile Iron. American Foundryman Society.
- 5.- Ductile Iron Molten Metal Processing. American Foundryman Society
- 6.- "The Selection and use of Cast. Irons". J.P. Scholes. Published by oxford University Press.
- 7.- The solidification of hypo- eutectic grey cast iron by- W. Oldfield. British cast iron research, Association -- Journal Vol. 8. 1960. pp. 177-192
- 8.- Recent developments in the production of nodular --- (spheroidal graphite) iron. R. Barton
- 9.- Fabricación de fundición con grafito esferoidal en hornos eléctricos de inducción. J. Aramburuzabala y E. Carreño. Revista Colada Vol. II, Num 3 (1978)
- 10.- La fundición esferoidal en la industria del automóvil.-- Factores que influyen en la nucleación del grafito B. -- Fernandez, A. Forn y J. Garcia. Revista Colada, Vol II,- Número 6 (1978)
- 11.- Development of Precision Inoculation to control microstructure of Cast Irons. J.R. Nieman. Revista Modern Casting. August 1976.
- 12.- La influencia del Nitrógeno sobre la resistencia, Sanidad y estructura en piezas de hierro gris. F.A. Montford. Revista Colada Vol. 11, numero 6 (1978).