



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción.**

“Investigación y Desarrollo de Material para la Fabricación
de Camisas para Motores MTU 672”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Presentada por:

Francisco Xavier Terán Ochoa

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2008

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios. A mis Padres y a Mi esposa, que siempre confiaron en mi. A toda mi familia que me brindaron su apoyo. Al Ing. Ignacio Wiesner por su ayuda y sus enseñanzas en mi formación profesional. Y a la Armada Nacional

DEDICATORIA

A MIS PADRES

MI ESPOSA

MI FAMILIA

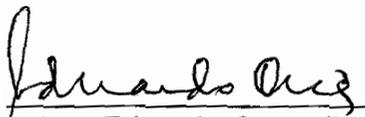
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



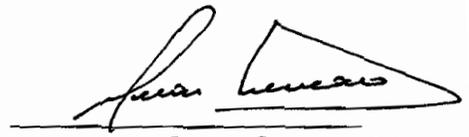
Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Ignacio Wiesner F.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Eduardo Orces P.
VOCAL



Ing. Omar Serrano V.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Francisco Xavier Terán Ochoa

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolla como una alternativa de solución a un problema presentado en los motores de combustión interna marca MTU modelo 672 que poseen las Lanchas Misileras tipo Manta de la Armada del Ecuador que, básicamente consiste a alargar la vida útil de estos motores por medio de la elaboración de camisas de cilindro.

En su primera parte se analiza el tipo de material de la camisa original, con los métodos de ingeniería conocidos y que brindan información sobre la microestructura y su composición química y también el proceso de manufactura que se emplea para la elaboración de estas piezas.

La composición química encontrada en el material original establece un alto porcentaje de Carbono (C) y bajo contenido de Silicio (Si) con contenidos de estos elementos que representan una composición eutéctica. Para lograr esta condición fue necesario realizar varios tipos de acondicionamiento del metal líquido y tener la composición química requerida, no fue una tarea fácil dada las limitaciones del equipo existente en INTRAMET, empresa fundidora que nos dió las facilidades del equipo.

En la parte experimental, en primer lugar se hicieron pruebas con sistema de colado por gravedad aunque los resultados del tamaño de las laminas de

grafito no eran aptos; luego se procedió a la simulación del proceso de centrifugación por medio de la adaptación de un pequeño torno y se hicieron las ultimas pruebas de colado, además se mejoró el C_E por medio de insuflado de grafito, con los que se consiguieron características tecnológicas y las propiedades del hierro gris que requieren las camisas de los motores en estudio. Al final del trabajo experimental se logró el objetivo propuesto.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
INTRODUCCIÓN.....	1
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
1.1 Características de los motores MTU 672.....	3
1.2 Información específica de los materiales y las camisas.....	6
1.3 Vida útil de las camisas.....	10
2. INFORMACIÓN TÉCNICA ESPECIALIZADA.....	13
2.1. Fundición de Hierro Gris.....	13
2.2. Obtención de la fundición de alta calidad.....	17
2.3. Equipos de Fusión y Colado.....	22
2.4. Técnicas para la Obtención del material apropiado.....	28
3. TRABAJO EXPERIMENTAL.....	37

3.1. Técnica Experimental Utilizada.....	37
3.2. Prueba Experimental No. 1.....	39
3.3. Prueba Experimental No. 2.....	43
3.4. Prueba Experimental No. 3.....	46
3.5. Análisis de los Resultados.....	49

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	54
4.1 Conclusiones.....	54
4.2 Recomendaciones.....	55

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

MTU	Motor and Turbine Unit
DINDES	Dirección de Investigación y Desarrollo Naval
C	Carbono
C _E	Carbono Equivalente
C _T	Carbono Total
Si	Silicio
Kg.	Kilogramo
Kg./cm ²	Kilogramo por centímetro cuadrado
L	Litros
L/s	Litros por segundo
Rpm	Revoluciones por minuto
m	Metros
mm	Milímetros
µm	Micras
m ³ /min	Metros cubicos por minuto
h	Horas
Cr	Cromo
Fe	Hierro
°C	Grados celcius
V	Voltios AC

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1	Lancha Miselera tipo Manta.....4
Figura 1.2	Motores usados por las lancha tipo Manta.....4
Figura 1.3	Microestructura de la camisa cilindro original,(a) X100 sin ataque, (b)X100 con ataque, (c) X200 con ataque.....10
Figura 2.1	Rangos del contenido de carbono y silicio en aleaciones ferrosas (hierros fundidos).....14
Figura 2.2	Grafito laminar (vista a través del microscopio) sin ataque Químico.....15
Figura 2.3	Grafito nodular (vista a través del microscopio) sin ataque Químico.....16
Figura 2.4	Grafito esferoidal (vista a través del microscopio) sin ataque Químico.....16
Figura 2.5	Sub-clasificación del tipo de grafito laminar por ASTM.....22
Figura 2.6	Proceso de Fundición por centrifugación.....25
Figura 2.7	Torno para fundición por centrifugación.....27
Figura 2.8	Incremento de carbono debido al insuflado de grafito.....31
Figura 2.9	Variación del incremento de carbono en función del carbono En función del carbono equivalente de la colada.....33
Figura 2.10	Horno con tapón poroso.....34
Figura 2.11	Equipo adaptado para la recarburación.....36
Figura 3.1	Microestructura del material prueba N°1.....42
Figura 3.2	Microestructura del material prueba N°2.....46
Figura 3.3	Microestructura del material prueba N°3.....48

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	Características de los Motores.....5
Tabla 2	Composición Química de la camisa original.....9
Tabla 3	Composición Química del material prueba N°1.....41
Tabla 4	Composición Química del material prueba N°2.....45
Tabla 5	Composición Química del material prueba N°3.....48

INTRODUCCIÓN

Los motores MTU 672 constituyen la fuerza propulsora de las Lanchas Clase “Manta” de la Armada del Ecuador, que fueron construidas en los años 70`s en la fábrica Mercedes Benz, Alemania. Son motores de gran potencia y alta velocidad, y que en estos momentos se encuentran con serias limitaciones, debido al tiempo de operación de sus componentes con el concebido desgaste de los mismos.

Del análisis de los componentes del motor que más desgaste presentan y por el cual el rendimiento de esta máquina se ve disminuido por la baja compresión de los cilindros, se certifica que las camisas cilindros se encuentran fuera de las tolerancias mínimas exigidas por los fabricantes.

Considerando que si obtuviéramos camisas de cilindro nuevas y las instalaríamos en los motores, estos elevarían su rendimiento y por ende, alargaríamos la vida útil del mismo, razón ésta que nos motivó para poder conseguir camisas cilindro nuevas, y que por la obsolescencia logística que se presenta para este tipo de motores y accesorios la fabrica MTU de la Mercedes Benz ya no los fabrica; nos impusimos como objetivo específico la elaboración de una camisa a nivel nacional, con un trabajo artesanal de fundición como que fuera un proceso de producción masiva y de acuerdo con nuestras

posibilidades, y con otro objetivo específico que es lograr fundir un material de similares macro y micro características, propiedades físicas y químicas que posee el material original de las camisas de este motor y que la industria alemana lo consiguió hace más de 40 años.

Entonces nace la idea de realizar un proyecto para cumplir estos dos objetivos específicos por medio de Investigación y Desarrollo para conseguir el material apropiado para hacer las camisas. Se realizarán varias fundiciones experimentales, aplicando las técnicas necesarias para poder lograr la calidad del material requerido. Dentro de las diversas técnicas para fundir un material especificado, y que vamos a aplicar son: la fundición en verde o por gravedad y, la fundición centrifugada, seleccionando la materia prima que es muy importante para tener una composición química cercana a la final, pero se usó también la recarburización por medio de insuflar carbono en forma de grafito en polvo cuyo fin fue lograr compensar y reponer el carbono y silicio perdido durante la fusión de la carga metálica.

Los análisis químicos se harán por medio del espectrómetro de rayos X de la Compañía Andec y los análisis micro y macroscópicos se harán en los laboratorios de la Armada y de la empresa Intramet en la Escuela Politécnica del Litoral.

CAPITULO 1

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Características de los Motores MTU 672

Los motores MTU 672 son motores marinos de alta velocidad de la serie MB 518 C de fabricación alemana Mercedes Benz con una soplante del aire de carga y refrigeración del mismo aire. Se encuentran instalados en la Lanchas Misileras tipo Manta en un número de 3 por cada unidad, como parte del sistema de propulsión principal de estos buques.

Son motores de gran potencia y por consiguiente de gran tamaño, cuyo peso es aproximadamente de 5000 Kg. incluido reductor, el reductor pesa 575 Kg.



FIGURA 1.1 LANCHA MISILERA TIPO MANTA

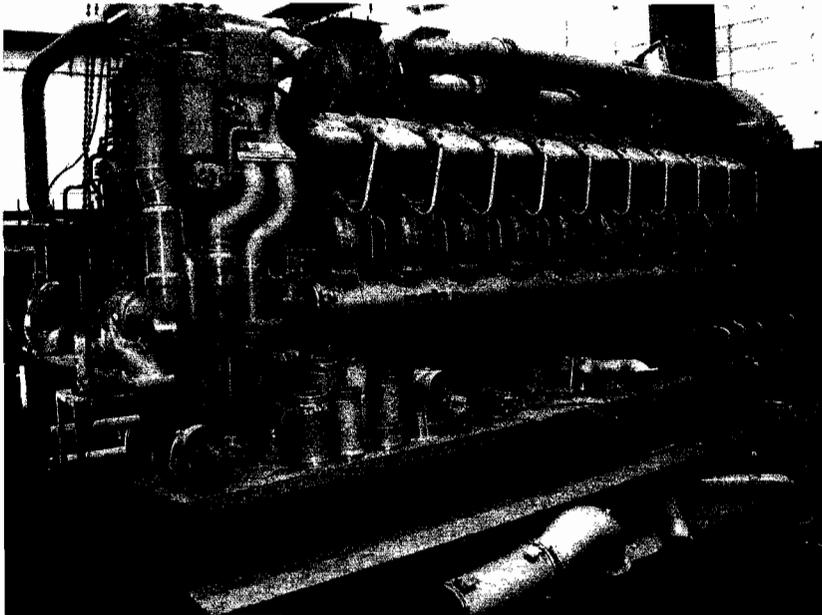


FIGURA 1.2 MOTORES USADOS POR LAS LANCHAS TIPO MANTA

El arranque es por medio de aire comprimido requiriendo una presión de 40 Kg/cm^2 sobre los cilindros del motor, es necesario que alcance el mínimo de revoluciones requerido para el encendido que es 150 rpm y el consumo de combustible por cada arranque es aproximadamente 150 l/seg.

TABLA 1
CARACTERÍSTICAS DE LOS MOTORES MTU 672

Forma de construcción	20 cilindros en V ordenada a 40°
Procedimiento de trabajo	Pre-cámara central
Modo de trabajo	4 tiempos, de efecto simple
Potencia continua	2500 HP con 1620 r.p.m.
Sobre potencia (máx. 2 h.)	2750 HP con 1670 r.p.m.
Potencia Máxima (máx. $\frac{1}{2}$ h.)	3000 HP con 1720 r.p.m.
Relación de compresión	14 : 1
Carrera del pistón	250 mm.
Cilindrada por cilindro	6,72 lt.

En la mayoría de motores de gran tamaño se usa cilindros separables o desmontables, es decir que no se encuentran fundidos en el block del motor, obteniendo una gran ventaja sobre los fundidos en el block,

los cuales no pueden ser desmontados representando mayores costos en el mantenimiento.

Las camisas o cilindros de estos motores son del tipo húmedos, es decir que el líquido de enfriamiento (agua), esta en contacto con la superficie externa de la camisa logrando tener el mayor intercambio de calor entre esta y el agua.

1.2 Información específica de los materiales y las camisas

El material utilizado en la elaboración de las camisas es fundición de hierro gris. Los motivos fundamentales para la elección de este material son sus elevadas características para el desgaste por fricción, por ende son ideales para este tipo de aplicación, donde se requiere: buena resistencia mecánica, apropiado coeficiente de transmisión de calor, ya que el hierro fundido se lo considera un material compuesto natural porque combina una matriz de acero (perlita) y carbono en forma de grafito que actúa disminuyendo el coeficiente de fricción además de actuar como lubricante sólido durante el funcionamiento del motor.

Las camisas o cilindros son generalmente confeccionados de fundiciones de hierro gris o también para ciertas aplicaciones se

utiliza aleaciones de aluminio. Las camisas de hierro fundido tienen la ventaja de ser relativamente más baratos los costos de manufactura y no tiende a la distorsión por cambios en la temperatura de la máquina, sin embargo es relativamente pesado. La densidad del Hierro es prácticamente 3 veces la densidad del Aluminio.

Los cilindros de aleación de aluminio son extremadamente livianos pero muy fuertes y son buenos conductores de calor, la desventaja de estos cilindros es la tendencia a la distorsión causada por los efectos de calentamiento e enfriamiento que está sujeto el motor. Sus costos de manufactura son altos lo que limita su aplicación.

Las características específicas de una camisa se pueden clasificar en: Características metalúrgicas (que comprende el material, composición, estructura microscópica, tratamiento superficial y características geométricas (macro: forma y tipo de anclaje; y micro: textura superficial y rugosidad).

La composición química de la fundición gris más utilizada varía en función del tratamiento posterior que va a ser sometida. Su carbono

total suele estar comprendido entre 3.10 y 3.50%, oscilando su carbono combinado ósea el que esta constituyendo la perlita entre 0.50 y 0.80% de concentración en peso.

Se trata pues de una fundición hipo-eutectica, muy cercana a la composición eutectica por medio de su relación con el contenido de Silicio (Si), expresado por la siguiente formula:

$$C.E = \%C + \frac{\%SI + \%P}{3} = 4.3$$

C_E Carbono Equivalente

C_T Carbono Total

El grafito contenido en la microestructura y que es la mayor parte de del contenido de Carbono (C) debe presentarse ajustado al tipo y tamaño que en términos de ensayo de laboratorio debe corresponder a: grafito laminar forma I, distribución tipo A y tamaño de lámina 5, sin embargo al tratarse de fundición obtenida por centrifugación en molde metálico, suele encontrarse a veces elevados porcentajes de grafito tipo B en rosetas, e incluso tipos D y E, en concentraciones variables. Los tamaños de las láminas suelen ser de 6 y 7.

La matriz metálica suele ser perlítica, aunque dependiendo de la composición puede presentar elevadas concentraciones de cementita o carburos de hierro y debe tener un máximo de 5% de ferrita libre.

Las camisas y los rines de los motores MTU 672 son una fundición de Hierro Gris centrifugado, cuya composición química se detalla en la Tabla No. 2 y su estructura está compuesta de una matriz perlítica con un tipo de distribución de grafito A y tamaño de las láminas 5 según lo que se puede observar en la figura No.1.3 y de la composición química de la camisa se puede señalar que es una fundición hiper-eutectoide, con un carbón equivalente de: **4.73 %**

TABLA 2
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CAMISA ORIGINAL

%Fe	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cu	%Cr
92.94	4.33	0.63	1.20	0.268	0.111	0.058	0.20
%Ni	%Mo	%Sn	%Al	%Zn	%Pb	%V	
0.05	0.06	0.123	0.001	0.00	0.001	0.020	

Esta fundición tiene grafito tipo A y tamaño 5, matriz perlítica con presencia de 5% de cementita, como se puede observar en la figura No. 1.3

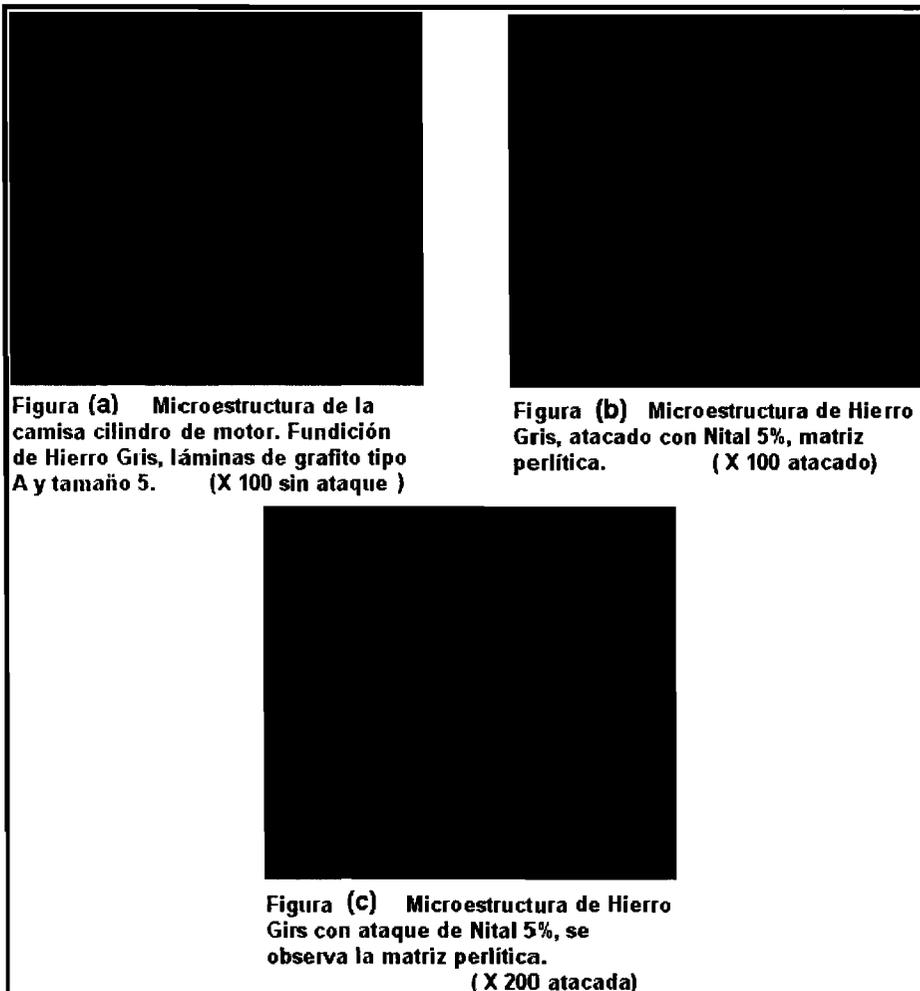


FIGURA 1.3 MICROESTRUCTURA DE LA CAMISA CILINDRO ORIGINAL (a) X100 SIN ATAQUE, (b) X100 CON ATAQUE, (c)X200 CON ATAQUE

1.3 Vida útil de las camisas

Aparte del desgaste uniforme que se produce en toda la carrera del émbolo, existen dos zonas en las que el desgaste es máximo y que corresponden al cambio de sentido en el movimiento del émbolo, una

en la parte superior y otra en la parte inferior, aunque en ésta el desgaste suele ser menor.

Es difícil precisar en relación al desgaste de un cilindro, qué profundidad de escalón es la máxima admisible, pues quien desmonta una camisa lo hace por otro motivo que el control de su desgaste. Es por esto que, en función del análisis de todos los elementos que pueden incidir en el problema, y una vez levantada la información sobre el desgaste de las camisas hasta esta fecha, en general se puede decir que en motores diesel de gran velocidad, el desgaste ha sido grande, aproximadamente de 50 μm por cada 3000 hr. de operación.

Por este motivo, luego de haber sido reparado W6 (cada 3000 horas) por dos ocasiones cada uno de estos motores, el 98 % de la totalidad de las camisas se encuentran fuera de las tolerancias máximas según el manual de operación, lo que ha dado como resultado la pérdida de compresión en la recámara y por consiguiente la pérdida de potencia del motor.

Las posibles soluciones para alargar la vida útil de este motor son:

1. Adquirir las camisas por compra directa es una de las opciones para resolver el problema; pero visto que los motores son de una versión descontinuada los pedidos de repuestos para este motor son recargados económicamente y por lo tanto limita la negociación.
2. La elaboración de camisas en el país a cargo de la Dirección de Investigación y Desarrollo Naval (DINDES) entonces se presentó ante este organismo como proyecto de investigación y desarrollo y fue realizado en las instalaciones de INTRAMET, en la ESPOL.

CAPITULO 2

2. INFORMACIÓN TÉCNICA ESPECIALIZADA

2.1. Fundición de Hierro Gris

En la maquinaria moderna se aplica en gran escala la fundición gris; el peso específico de las piezas de fundición constituye en término medio el 50% del peso de las máquinas fabricadas. La fundición gris es una aleación de hierro con contenidos variables de carbono (2.0% – 4.5%), de Silicio (0.5% – 3.5%), de Manganeso (0.5% – 1.5%), de Fósforo (0.1% – 1.0%) y de Azufre (hasta 0.15%), los cuales determinan las diferencias en las propiedades de la fundición.

El diagrama de equilibrio Fe – C – Si proporciona solamente una idea de la composición y no da ninguna idea sobre la forma de las fases que se producen, así como tampoco puede explicar la formación de

las estructuras, que se verifican siempre en la fundición al alterar el estado de equilibrio.

La formación de estructuras cristalinas en la fundición se realiza en el proceso de enfriamiento, de aquí la importancia en el control de la temperatura en todo momento, desde la preparación de la colada hasta verter en el molde. Es así, que cualquier variación no controlada de la temperatura cambia la estructura cristalina y el material se transforma en diferentes tipos de hierros fundidos, tal como se puede apreciar en la Figura 2.1

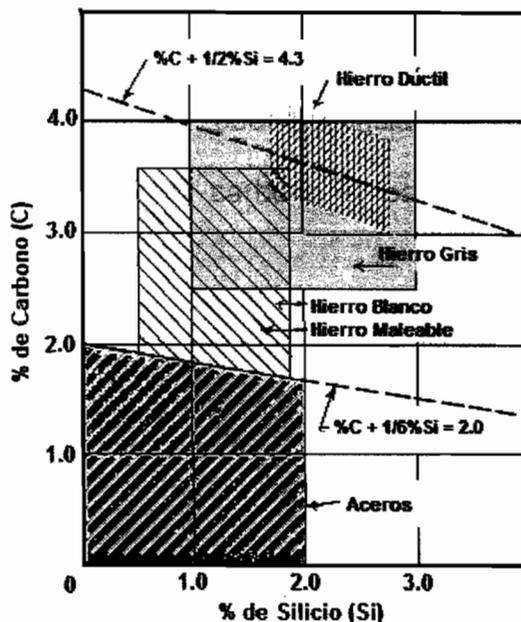


FIGURA 2.1 RANGOS DEL CONTENIDO DE CARBONO Y SILICIO EN ALEACIONES FERROSAS (HIERROS FUNDIDOS)

La masa principal de la fundición está determinada por las condiciones de enfriamiento durante las etapas de transformación primaria (eutéctica) y transformación secundaria (eutectoide).

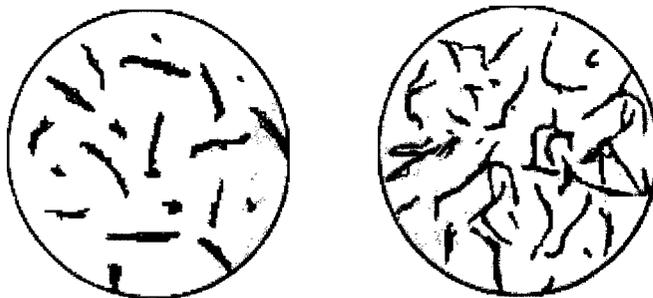
Formas del grafito

El carbono en la fundición puede estar en forma de compuesto Fe_3C (cementita) y en estado libre (grafito). El grafito en la fundición puede tener formas diferentes:

Grafito en forma de láminas.

En la fundición gris se puede considerar como producto de la cristalización directa del carbono a partir de la solución líquida.

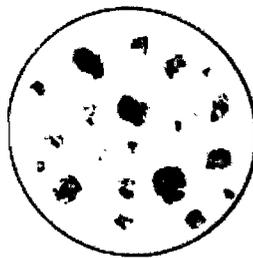
Fig.2.2.



**FIGURA 2.2 GRAFITO LAMINAR (Vista a través del Microscopio)
- SIN ATAQUE QUÍMICO**

Grafito en forma de Nódulos.

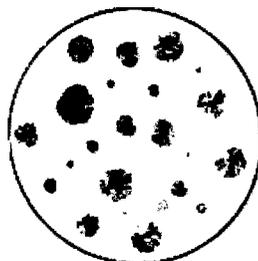
Es el grafito en forma de Nódulos que se obtiene en tratar térmicamente la fundición blanca y en el proceso para obtener fundición maleable. Fig. 2.3



**FIGURA 2.3 GRAFITO NODULAR (Vista a través del Microscopio)
SIN ATAQUE QUÍMICO**

Grafito Esferoidal

En la estructura de las fundiciones de alta resistencia se obtiene como resultado de la elaboración de la fundición gris líquida añadiéndole Magnesio o Cerio, Fig.2.4



**FIGURA 2.4 GRAFITO ESFEROIDAL (Vista a través del
Microscopio). SIN ATAQUE QUÍMICO**

2.2. Obtención de la Fundición de Alta Calidad

Las propiedades mecánicas de la fundición dependen de dos factores importantes:

- a) de la cantidad, tamaño, forma y distribución de las inclusiones de grafito en la fundición, y
- b) de la estructura de la matriz en la microestructura.

El **primer factor** tiene una importancia decisiva, ya que las inclusiones de grafito, al distribuirse en la fundición creando algo semejante a huecos alargados que forman entalladuras en la matriz del metal, debilitan su resistencia en un grado, tanto más alto, cuanto mayor sea la cantidad de grafito y más grandes en espesor y longitud sus inclusiones.

Las inclusiones de grafito, por otro lado, son los que hace idóneos para la auto lubricación que algunos mecanismos requieren, por ejemplo en las camisas de cilindro.

Al contrario, cuanto más finas y en forma de remolino sean las inclusiones de grafito tanto más resistente es la fundición.

Las altas propiedades mecánicas de la fundición con grafito nodular se deben a la forma redonda de las inclusiones de grafito que

disminuyen la concentración de tensiones internas en la fundición, pero que no son morfologías de grafito apropiadas para la lubricación, porque depositan rápidamente el grafito.

El **segundo factor** que influye en la resistencia de la fundición es la estructura de la matriz del metal. Como estructura normal de la matriz de fundición gris (sin considerar la adición de elementos de aleación y sin someterla al tratamiento térmico) se considera la estructuras de Ferritas, Perlita y la estructura intermedia entre estas: ferrita – perlita o perlita – ferrita de acuerdo al porcentaje de fase preponderante, generan resistencias bajas e intermedias respectivamente.

En la fundición de alta resistencia la matriz del metal es la perlita con contenido de 0,8% de carbono ligado (en forma de Fe_3C). De tal manera, las fundiciones con matriz ferrita y ferrita-perlita tienen, en condiciones iguales, una resistencia reducida con respecto a la fundición perlítica, ya que tienen menor cantidad o no tienen completo el carbono ligado, o combinado, aunque poseen una resiliencia relativamente elevada. Para camisas de cilindro es aceptable hasta 5% de ferrita en una matriz perlítica.

La principal función de las adiciones de aleantes es controlar la transformación de la austenita a fin de alcanzar una estructura perlítica fina. Desgraciadamente, algunos elementos que promueven esta función tienen efectos perjudiciales sobre el proceso de solidificación, ya que inducen temple y formación de carburos; y aunque los carburos no actúan en detrimento de la resistencia, dan lugar a un aumento de dureza, disminuyen la relación resistencia/dureza y reducen drásticamente la maquinabilidad, que es un factor de alta consideración durante la manufactura por los altos costos que genera este maquinado.

Por ejemplo, la acción del Cromo (Cr) es muy efectiva en la reducción del contenido de ferrita y en la producción de estructuras perlíticas en espesores grandes, también puede aumentar el temple y el contenido de carburos en espesores finos.

Las adiciones de Silicio pueden disminuir la tendencia al temple en secciones delgadas, pero reducen la resistencia de la pieza y la uniformidad estructural en los espesores gruesos debido a su efecto promotor de ferrita ya que es un poderoso grafitante.

Tanto el silicio como el Fósforo están relacionados tradicionalmente con el Carbono en la fórmula de Carbono Equivalente como ya se expresó en páginas anteriores

Mediante esta fórmula puede verse que el Silicio y el Fósforo son sustitutos del carbono.

Los elementos que aumentan el contenido de C_E como son : Ni, Cu, Al, Si, S y P; se llaman *Grafitizadores* y los que reducen el C_E como son: Mo, Mn, Cr, V y Ti; se llaman *Estabilizadores de Carburos*.

La solidificación primaria o eutéctica se da cuando el C.E del líquido restante se iguala al eutéctico (4.3%) y consiste en un crecimiento simultáneo y cooperativo de la austenita y el grafito. Cada célula eutéctica crece radialmente, pero las láminas de grafito, a pesar de ser planas, en forma de hojuelas de maíz, están sujetas a torcimientos y ramificaciones.

Por lo tanto el examen microscópico de la fase grafito muestra laminillas discretas y no un retículo continuo. La distribución de láminas de grafito (tipo y tamaño de las mismas) es función en gran

parte de la temperatura y velocidad de solidificación, así como del estado de nucleación del fundido.

Grafitos tipo D, con laminillas finas y sub-enfriadas están confinadas en áreas interdendríticas, resultan de una solidificación a temperatura muy por debajo de la temperatura eutéctica de equilibrio (1150°C), a la cual las velocidades de crecimiento y ramificación de las láminas de grafito son muy rápidas. Esta modalidad de estructura de grafito no es deseable en la mayoría de los casos ya que interfiere la posibilidad de obtener matrices totalmente perlíticas.

La forma más deseable de grafito es el Grafito tipo A, una distribución al azar de laminas de longitud lo más pareja posible. Esta estructura se obtiene normalmente en hierros que tienen un grado de nucleación adecuadamente alto, de manera que la reacción eutéctica se inicia y crece a una temperatura próxima a la temperatura de equilibrio eutéctico.

En relación con el grado de subenfriamiento y la presencia de centros de cristalización se pueden producir 3 formas de grafito: Láminas distribuidas uniformemente, Rosetas y Nódulos. Así mismo estas

láminas tienen diferente distribución y tamaño los cuales se pueden apreciar en la Figura No. 2.5

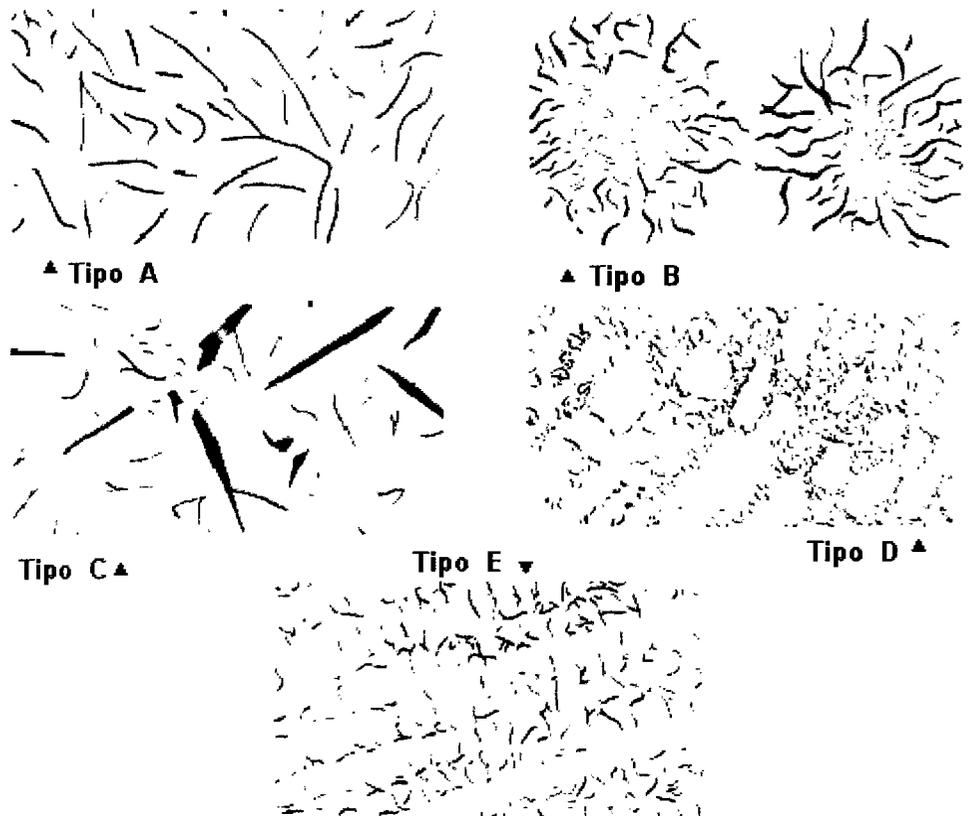


FIGURA 2.5 SUB-CLASIFICACION DEL TIPO DE GRAFITO LAMINAR POR ASTM

2.3. Equipos de Fusión y Colado

La función de un horno de fundición es el suministro del metal líquido, con cualidades satisfactorias, a la temperatura que se requiera dependiendo del metal y al menor costo posible.

En la fundición de hierro, es imposible señalar un solo tipo de horno que satisfaga al mismo tiempo los requerimientos técnicos y económicos. La selección de un horno depende sobre todo del costo de combustible o de la energía eléctrica, y del volumen del metal a ser fundido.

Los hornos más comunes para la fundición de hierro son:

- a) Hornos eléctricos de inducción: generalmente usados para fundiciones de alta calidad y capacidad, son de alto rendimiento energético.
- b) Hornos eléctricos de arco indirecto: muy poco utilizados por el alto costo de energía eléctrica.
- c) Hornos de combustible: estacionario y de llama abierta, también llamados hornos basculantes de crisol fijo, estos hornos son los más conocidos, donde el tamaño del crisol debe estar acorde con el volumen del material fundido.

Fundición por Centrifugación

El procedimiento de centrifugación de la colada fue patentado en 1809 por un fundidor inglés, pero recién en 1910 se resolvieron en Alemania los problemas para poder llevar a la práctica real el evento.

El investigador francés De Lavaud fue el autor de la máquina para colada por centrifugación, tal como se la conoce hoy en día.

Este método de fundición consiste en vaciar la colada en moldes en rotación, ya sea vertical u horizontal. Mientras el metal líquido es vaciado se va formando una pared uniforme no adherida al molde y mantenida en su sitio por la fuerza centrífuga, quedando al centro un hueco cilíndrico concéntrico con la circunferencia interior del molde.

Fig. 2.6

Tenemos algunas ventajas inherentes al hecho mismo de centrifugar la colada:

- a) La fundición centrífuga por si misma se enfría y se solidifica progresivamente y deja un tamaño de grano uniforme en el espesor solidificado.
- b) La escoria se recoge al centro de la pieza fundida.
- c) El proceso desarrolla presiones internas altas, que compactan el material y lo liberan de porosidades.
- d) Adaptando al proceso un sistema de enfriamiento con agua, la calidad, uniformidad y finura de grano son óptimos.

De acuerdo a la posición del eje de rotación, la fundición centrífuga puede ser de eje horizontal o de eje vertical, dependiendo esto de la geometría de la pieza a fundir.

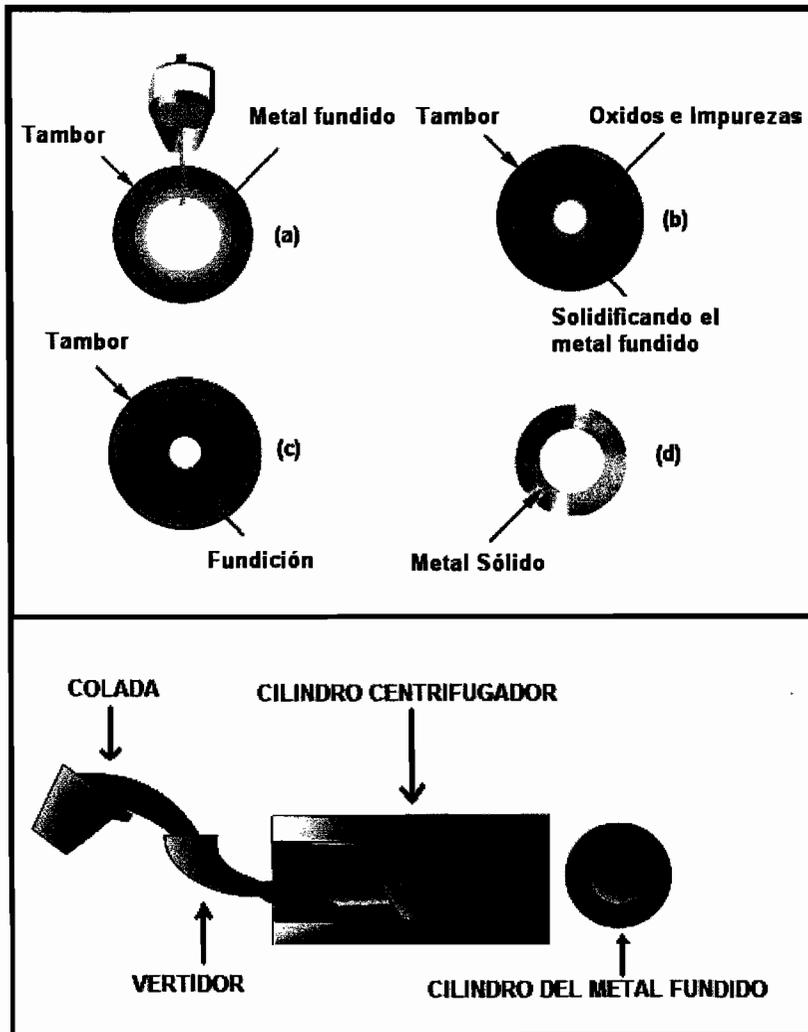


FIGURA 2.6 PROCESO DE FUNDICIÓN POR CENTRIFUGACIÓN

El numero de revoluciones que el eje debe rotar para una óptima distribución y compactación está dada en función del peso específico de la fundición (γ) y el radio interior de la pieza a fundir (R). Lo cual se representa en la siguiente ecuación:

$$\text{RPM} = \frac{5520}{\sqrt{\gamma * R}}$$

$$N = \text{RPM} = 649.86 = \mathbf{650 \text{ rpm}}$$

γ = Peso específico de la aleación en g/cm^3 (7.8 g/cm^3)

R = Radio interior de la pieza en cm. (9.25 cm.)

Adaptación del equipo para centrifugación de camisas

Para la realización de la parte experimental fue necesario adaptar un equipo para realizar la centrifugación de la camisa, básicamente se utilizó una base de un torno pequeño adaptando un motor y un sistema de poleas para la transmisión de potencia.

El motor instalado es trifásico de 220V y de 3600 rpm. acoplados por bandas y poleas hasta llegar al eje del cilindro

Aplicando la ecuación (1), con una densidad relativa (γ) para el hierro gris de 7.079 g/cm^3 , y con un radio interior de cilindro de 9.25 cm. , obtenemos el número mínimo de revoluciones que el cilindro centrifugador debe operar para la óptima formación de la camisa en cuestión.

El cilindro centrifugador está hecho firme al eje del torno en el cual se encuentra acoplada la polea 1, que es la que transmite el torque del motor por medio del sistema antes mencionado.

Este cilindro centrifugador descansa sobre una media luna de rodamientos, los cuales se encuentran fijos en el mesón del torno.



FIGURA 2.7 TORNO PARA FUNDICIÓN POR CENTRIFUGACIÓN

Así mismo, el cilindro centrifugador debe estar balanceado, para evitar vibraciones en el todo el sistema. Este cilindro está sobredimensionado de las medidas exteriores de la camisa, y realiza el molde interior, con arena de sílice mas silicato de sodio, para que la colada no entre en contacto con el metal del cilindro.

Otro elemento importante en el sistema de centrifugación es el vertedero, por donde fluye la colada al interior del cilindro una vez que esta ha salido del horno y vaciada en la boca del vertedero. Este vertedero debe tener protección con arena de silicato, para evitar el contacto de la colada con el metal del vertedero, así mismo, tiene una pendiente de caída suficiente para que la colada pueda deslizarse sin problemas.

2.4. Técnicas para la obtención del material apropiado

La carga metálica para fusión no es otra cosa que el tipo de materia prima o chatarra que se utilizará en la fundición para que el material, en este caso hierro gris, tenga la composición química más cercana a la requerida, que para nuestro estudio es la composición química de la camisa original que consta en la Tabla No. I.

Trabajamos entonces con el Carbono Equivalente (CE), que es un parámetro básico para el seleccionamiento de la materia prima en todo tipo de fundiciones de hierro. El CE de la camisa original es 4.73%, composición hipereutéctica, esto nos da la pauta de que la materia prima debe ser la que tenga el máximo porcentaje de carbono, manteniendo un silicio por debajo de 2.0%.

La chatarra que tiene en su composición el más alto contenido de carbono y que va a servir como materia prima de la fundición es:

- Block de motor : (3.30% C , 1.90% Si) con un CE = 3.93 %
- Tambor de freno: (3.70% C , 1.80% Si) con un CE = 4.3%

Se puede trabajar con porcentajes en peso de cada uno de estos, dependiendo de los resultados que obtendríamos en las prácticas, por ejemplo si fundimos 150 Kg. podríamos fundir 50% de Block y 50% de tambor, proyectando obtener un material con una composición cercana a su promedio, es decir un hierro gris de 3.5% C, 1.85% Si por lo tanto el CE = 4.1 %.

Pero como el CE de la muestra original es 4.73 %, se tendría un faltante de carbono el cual se puede insuflar en la colada con un llamado "Proceso de Recarburación", que se detalla a continuación.

Proceso de Recarburación

El proceso de recarburación del hierro consiste básicamente en elevar o reponer el porcentaje de carbono en una colada, aplicando un agente carburizante tomando en consideración los parámetros estipulados para este proceso.

La eficiencia de la carburización depende de los siguientes factores:

1. El tipo de agente carburizante usado
2. La temperatura del metal
3. La composición del metal
4. El grado de mezcla entre el agente y el metal

El tipo de agente usado

El grado de carburización tiene un efecto significativo en el rango de captación de carbono por parte de la colada. Esto fue demostrado cuando en una colada de bajo contenido de CE a una temperatura de 1500 ° C se aplicaron algunos agentes carburizantes.

Donde el grafito de gran pureza dió un 74% de recuperación de carbono, y pase el material que se uso, otros agentes carburizantes como coque molido y antracita no dieron resultado positivo ya que la recuperación de carbono estuvo debajo de 4%.

No obstante, cuando el agente carburizante es usado, la respuesta del carbono en el hierro es un proceso endotérmico y la temperatura del metal se reduce por lo menos 8 °C por cada 0.1 % de incremento del contenido de carbono.

Temperatura del metal

El efecto de la temperatura del metal en la recuperación de carbono fue anunciado anteriormente, la mayor eficiencia de la carburización es obtenida con las más altas temperaturas de la colada del metal.

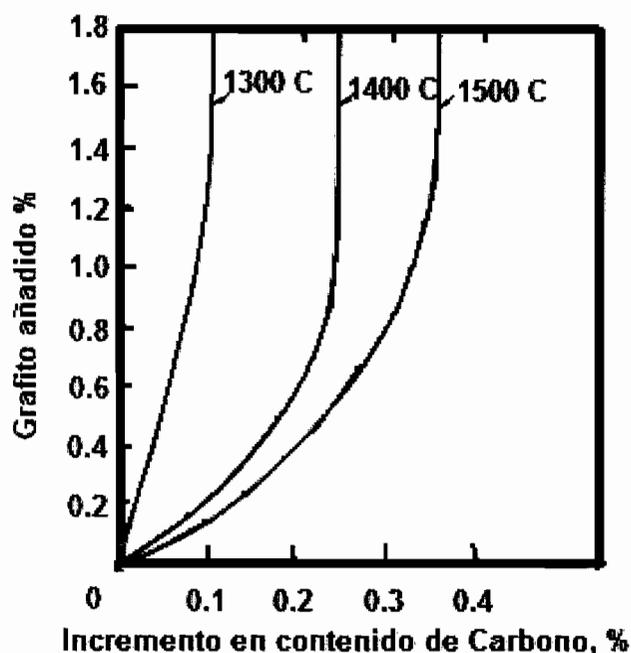


FIGURA 2.8 INCREMENTO DE CARBONO DEBIDO AL INSUFLADO DE GRAFITO

Para una adición de 1% de grafito, el carbón recuperado a 1500 ° C es cuatro veces mayor que el obtenido a una temperatura de 1300 ° C. Fig. 2.7, es por esta circunstancia que la temperatura del metal en el horno preferiblemente tiene que ser alta.

Composición del metal

La eficiencia de la carburización depende del contenido de CE del hierro. Los resultados obtenidos con hierros de CE diferentes y con varias cantidades de grafito, a una temperatura de 1500 ° C; demuestra que la recuperación de carbono es retardada en hierros de gran contenido de CE. Ya que tiene un alto grado de saturación y por lo tanto para hierros de CE 4.2% incrementa el 0.2 % de carbono y para CE 3.1 el incremento de carbono es 0.8%. Fig. 2.9

Grado de la mezcla, metal líquido – grafito

Los agentes carburizantes son livianos y son materiales no-metálicos si son adicionados con un cucharón en el metal fundido, estos materiales flotarán en la superficie y muy poca o ninguna reacción ocurrirá en la colada.

Por este motivo se debe optar por un sistema que permita mezclar al agente carburizante con la colada, y así obtener la mayor reacción de este agente y por consiguiente una mayor eficiencia del proceso de recarburización.

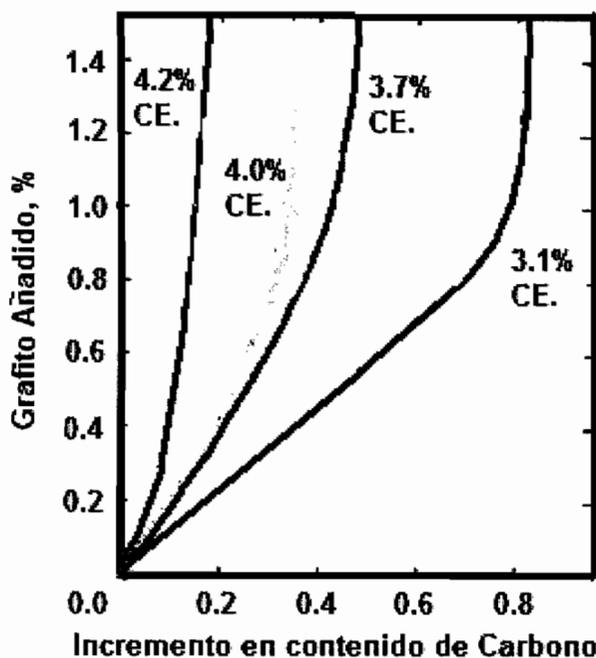


FIGURA 2.9 VARIACION DEL INCREMENTO DE CARBONO EN FUNCION DEL CARBONO EQUIVALENTE DE LA COLADA

Equipo para la recarburación

En la bibliografía connotan un sin número de procesos que han sido desarrollados por los fundidores de hierro para recarburizar a las fundiciones de hierro. Sin excepción, todos esos procesos involucran algunos métodos artificiales para crear turbulencia dentro del metal,

para así lograr el contacto óptimo entre el reactante y el metal fundido y, de esa manera incrementar el rango de reacción y la eficiencia del proceso.

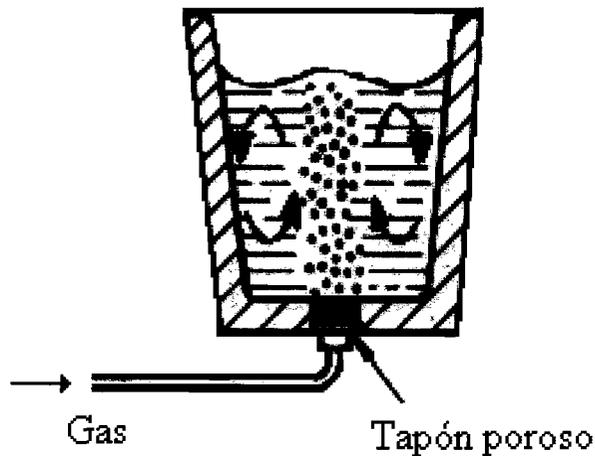


FIGURA 2.10 HORNO CON TAPÓN POROSO

La técnica de menor costo para la agitación del metal es por medio de insuflación a través de tapón poroso (porous-plug) instalado en la base de la cuchara de tratamiento y que por medio de un gas inerte CO₂ o Nitrógeno introduce el agente carburizante en la colada, creando la turbulencia y disolución necesaria para una óptima mezcla. Fig. 2.10

El gas utilizado para la insuflación del agente carburizante puede ser: Aire comprimido o nitrógeno, con un flujo de aire de

aproximadamente $0.14 - 0.23 \text{ m}^3/\text{min.}$ ($5 - 8 \text{ ft}^3/\text{min.}$) debe pasar a través del tapón poroso y el tratamiento tiene una duración de 2 a 4 minutos, que es lo que normalmente requiere para una completa reacción.

El uso de este sistema de insuflación es utilizado en pequeños y medianos talleres de fundición, por su menor costo y fácil aplicación.

Equipo para la práctica experimental

Puesto que los hornos disponibles en INTRAMET no tienen este sistema, para la práctica experimental se confeccionó una tubo de grafito de aproximadamente 70 cm. de largo, en la cual se realizó una perforación pasante a todo el largo de esta varilla, un terminal de esta se acopla con un reservorio, que no es otra cosa que un tramo de tubo de 5 cm. de diámetro y 25 cm. de largo, en el cual se deposita el agente carburizante (grafito de gran pureza), teniendo una entrada y una salida por donde va a fluir el aire a presión que sale de un compresor a través de una manguera que se encuentra acoplada la entrada del reservorio.

Al abrir la válvula de paso del compresor, el aire sale a una presión de 25 psi pasando por el reservorio, llevando consigo el agente

carburizante que se encuentra en este reservorio e introduciendo en la colada aire a presión y dicho agente en suspensión, produciendo la turbulencia necesaria para que se realice la reacción del proceso.

Fig. 2.11



FIGURA 2.11 EQUIPO ADAPTADO PARA LA RECARBURACION

CAPITULO 3

3. TRABAJO EXPERIMENTAL

3.1. Técnica experimental utilizada

Para las pruebas experimentales a realizar por medio de la fundición por centrifugación y luego de haber aplicado el proceso de recarburación en prueba preliminar, se ha establecido la siguiente técnica para el desarrollo de las pruebas una vez que los equipos están en condiciones para realizarlas experimentos confiables siguiendo la siguiente secuencia de operaciones:

1. Cálculo de la carga de fusión
2. Cantidad de agente carburizante y tiempo del proceso
3. Centrifugación de la colada
4. Control de calidad del material obtenido

Esta técnica experimental se repite en todas las prácticas realizadas, dependiendo de los resultados obtenidos en comparación a la muestra de la camisa original. Los parámetros que se consideran para el estudio son:

- a) Composición química del material, método de evaluación por medio de Espectrómetro Rayos X.
- b) Microestructura del material con microscopio óptico hasta 1000X para determinar los parámetros de calidad (matriz, tipo y tamaño de grafito)
- c) Macroestructura del material, a simple vista y al microscopio para determinar el color de la superficie de la fractura y el tamaño de grano respectivamente.

Para llegar a las condiciones del metal tomado como patrón se requerirá la experimentación por medio de "prueba y error", es decir, que de acuerdo con los resultados que se obtengan se planifica la siguiente práctica, este procedimiento se repite hasta obtener los parámetros más próximos a los parámetros base, que son los de la camisa original.

3.2. Prueba Experimental No. 1

Fundición por gravedad

A fin poder confrontar los parámetros de las dos diferentes formas de fundición, la centrifugada y la de gravedad, se realizó esta primera fundición con moldeo de cilindro con arena en verde, para lo cual se hicieron los siguientes trabajos preliminares:

Trabajos realizados:

- **Confección del molde de arena:**

Se confeccionaron dos moldes teniendo como molde patrón la camisa original, el primero es el molde con las medidas exteriores del cilindro pero aumentado su diámetro en 1.5% que es el valor que compensa la contracción volumétrica que sufre el material al pasar de estado líquido hasta la temperatura ambiente y más de 3 mm adicionales que sirven para realizar el maquinado. También se aumentó 8 mm, en el largo del cilindro. Así mismo, el segundo modelo o caja de machos que se confecciona con el diámetro interior del cilindro o camisa original pero con 3 mm. menos en su radio, que tiene el mismo propósito de dejar un exceso para las operaciones de maquinado.

- **Confección del molde :**

Los enfriadores son trozos de metal que son insertados en las paredes del molde y van estar en contacto con el metal fundido al ser vertido en el molde. Básicamente sirven para acelerar el proceso de enfriamiento de la colada, esto hace que el tamaño de grano disminuya y por medio de esta acción se aumenta la resistencia mecánica.

- **Carga de fusión:**

La colada fue preparada con 70 Kg. de Block de motor y 30 Kg. de tambores de frenos, no se recarburó para tener un parámetro base sin este proceso. Un conocimiento de la composición química consta pérdidas y ganancias que ocurren dentro del proceso de fusión ya que existen reacciones superficiales entre el metal y la atmósfera del horno.

- **Control de calidad:**

Se obtuvo una pieza sana, sin poros y sin rechupes abiertos o cerrados, de fundición de hierro gris con esto probamos el Sistema de colado y valores de contracción del material y la influencia de la velocidad de enfriamiento en un molde de baja

conductividad térmica. La composición química de este material se puede observar en la Tabla No. II

TABLA 3
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MATERIAL PRUEBA No. 1

%Fe	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cu	%Cr
93.73	3.32	0.64	1.40	0.043	0.173	0.14	0.27
%Ni	%Mo	%Sn	%Al	%Zn	%Pb	%V	
0.03	0.01	0.120	0.003	0.12	0.001	0.009	

el carbono equivalente resultante es.

$$C_E = 3.32 + \frac{1.40}{3} + \frac{0.043}{3}$$

$$C_E = 3.32 + .466 + .0143$$

$$C_E = 3.8003$$

Que es bajo con relación a 4.3 por lo tanto debemos considerar la recarburación para subir el C_E en base al solo aporte de C ya que el contenido de Si es el ideal.

De los resultados encontrados podemos observar que este material tiene un CE. de 3.8003 %, es decir nos encontramos con un déficit de 0.50 % de CE. valor que pretendemos compensar por la recarburación.

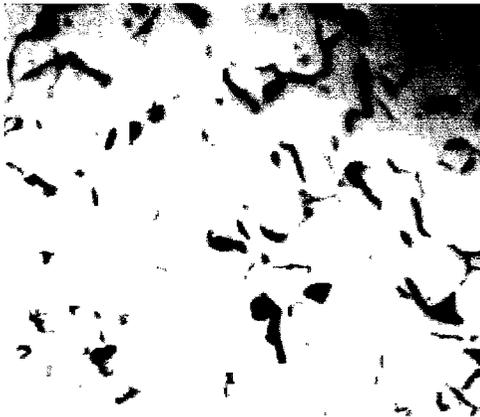


Figura (a) Microestructura del material prueba No. 1. Fundición de Hierro gris, grafito tipo A tamaño 5
100X Sin ataque

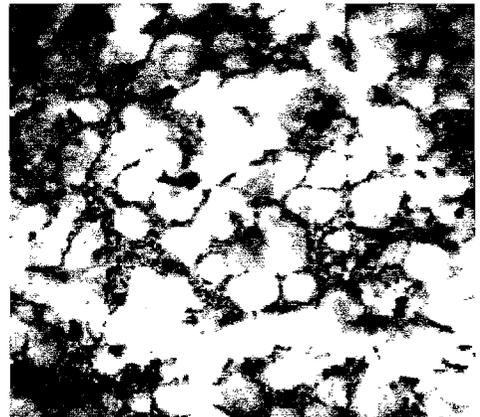


Figura (b) Microestructura del material prueba No. 1 Atacada con Nital 5%. Matriz perlítica.
100X Nital al 5%

FIGURA3.1 MICROESTRUCTURA DEL MATERIAL PRUEBA N°1

De acuerdo a lo que se observa en la figura 3.1, la microestructura de este hierro fundido esta compuesta de una matriz perlítica, con tamaño de grafito 5, tipo A y con presencia de cementita entre 3 – 5 % lo cual perjudica las propiedades del metal ya que constituye una fase dura y que no participa en pro de un coeficiente de fricción bajo.

3.3. Prueba Experimental No. 2

Fundición Centrifugada No.1

Una vez preparado el equipo que constó de insuflador de grafito cuyo objetivo es mejorar el C_E y llevarlo a las cercanías de 4.3. Se procedió con otros preparativos.

Trabajos Desarrollados:

- **Confección del molde de arena e instalación del molde cilíndrico giratorio**

Se tomó como modelo al propio cilindro original, teniendo en cuenta las sobre medidas que se dieron en la experiencia 1. Se moldea con arena con silicato en el interior del cilindro centrifugador, y se lo gasea con CO_2 para que esta arena se endurezca, quedando el molde listo para ser utilizado. Para un mejor acabado se pinta el interior del molde de arena con una pintura de grafito.

Se instala el cilindro en el torno, ubicando la base de rodamientos a la altura correcta, y se prueba haciendo girar

manualmente al cilindro. Luego de esto, se lo hace rotar con el motor a la velocidad de fundición.

- **Preparación del vertedero:**

El vertedero con la tolva se lo recubre de una mezcla de arena con bentonita, esta masa se la compacta normalmente en todo el recorrido de la colada, protegiendo al metal del vertedero y así la colada no pierde temperatura. También, se debe dar un ángulo de caída para todo el largo del canal, para que la colada pueda ingresar sin dificultad al interior del cilindro.

- **Carga de Fusión:**

Se procede a fundir con la materia prima y porcentajes establecidos anteriormente (block 50% y tambor de freno 50%), en un crisol de 70 Kg. en un horno donde se quema diesel como combustible.

- **Recarburación:**

Una vez fundido todo el material, se procede a la RECARBURACION, insuflando grafito en polvo por medio de aire a presión (25 psi) y por un tiempo de 60 segundos, temperatura promedio 1350 °C.

El porcentaje de grafito insuflado fue equivalente a 0.5 Kg. de grafito en 70 Kg. de metal.

- **Centrifugación:**

Al vertir la colada en el tolva del vertedero, se notó la falta de colabilidad, lo cual dificultó la entrada de la colada al interior del cilindro, quedando una buena cantidad de metal en el vertedero. Prueba fallida por baja temperatura del metal.

- **Control de calidad:**

El análisis químico del material (Tabla No. IV) nos indica que el porcentaje de CE. se encuentra en 4.53%.

TABLA N 4

COMPOSICION QUIMICA DEL MATERIAL PRUEBA No. 2

%Fe	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cu	%Cr
88.46	4.10	0.79	1.29	0.203	0.291	1.09	0.15
%Ni	%Mo	%Sn	%Al	%Zn	%Pb	%V	
0.04	0.01	0.179	0.002	0.09	0.017	0.017	

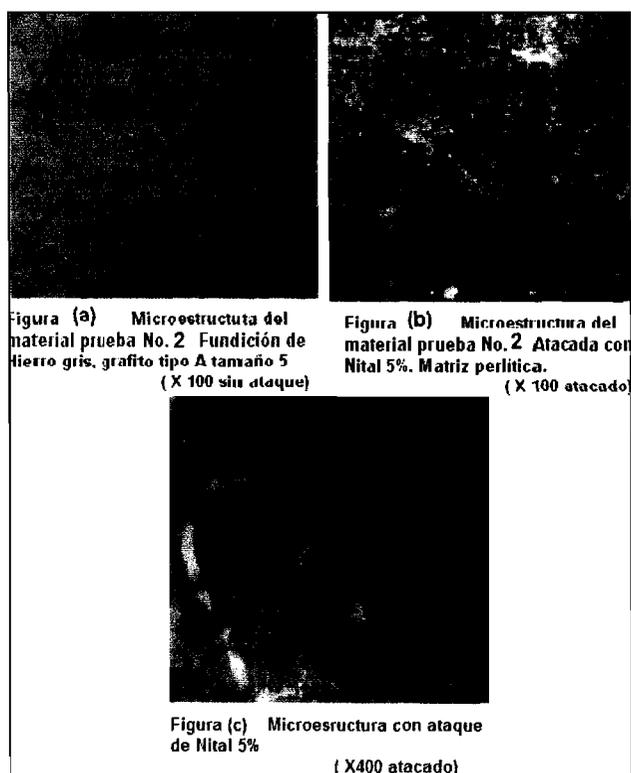


FIGURA 3.2 MICROESTRUCTURA DEL MATERIAL PRUEBA N°2

3.4. Prueba Experimental No. 3

Fundición Centrifugada No.2

Luego de corregir los problemas de la fundición anterior, se procede a la prueba bajando el porcentaje de agente carburizante.

Trabajos Desarrollados:

- **Confección del molde de arena e instalación del cilindro**

Se repiten los pasos de la prueba anterior.

- **Preparación del vertedero:**

Con el mismo procedimiento anterior se altera el ángulo de caída en todo lo largo del canal del vertedero.

- **Carga de Fusión:**

Se procede a fundir con la materia prima y porcentajes establecidos anteriormente (block 50% y tambor de freno 50%), en un crisol de 100 Kg. en un horno de llama abierta.

- **Carburización:**

Una vez fundido todo el material, se procede a la RECARBURACION, insuflando grafito en polvo por medio de aire a presión (25 psi) y por un tiempo de 30 segundos, temperatura promedio 1350 °C.

- **Centrifugación:**

Una vez solucionado los problemas anteriores sin inconvenientes para la centrifugación, obteniendo el primer cilindro o camisa lista para ser maquinado.

- **Control de Calidad:**

Según el análisis de la composición química de este material (Tabla No. V), el porcentaje de CE. es de 4.58%.

TABLA N 5
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MATERIAL PRUEBA No. 3

%Fe	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cu	%Cr
89.99	4.27	0.71	0.93	0.340	0.509	0.46	0.08
%Ni	%Mo	%Sn	%Al	%Zn	%Pb	%V	
0.05	0.02	0.048	0.006	0.03	0.020	0.022	

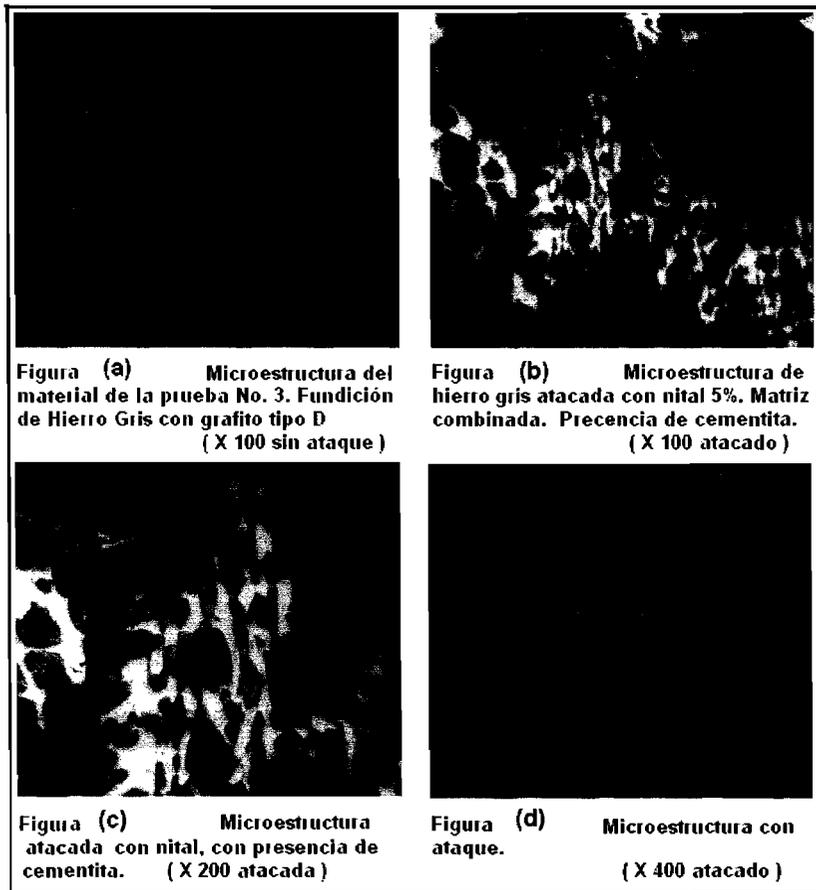


FIGURA 3.3 MICROESTRUCTURA DEL MATERIAL PRUEBA No. 3

En la microestructura se puede observar que es una fundición de hierro blanco, ya que la presencia de cementita supera el 20 % de la microestructura y la superficie de fractura ya no es gris sino que tiende a ser blanca debido al rápido enfriamiento de la colada en el tambor. Se observa la presencia de cementita, y poco grafito. Se observa en las Figura 3.3

3.5. Análisis de Resultados

Después de haber efectuado el trabajo experimental con el que se encuentran resultados negativos al comienzo del mismo y luego por inducción se desarrollaron técnicas de trabajo que dieron resultados positivos en relación con el objetivo del tema: encontrar una técnica para fundir y solidificar un material apropiado para la fabricación de camisas para motores MTU 672 de las Lanchas Misileras clase Manta de la Armada del Ecuador, se establecen a continuación las siguientes consideraciones que avalizan el método seguido, a nivel artesanal, con calidad similar al material original.

Se tomó como patrón de calidad la camisa del motor MTU 672, después de hacer una homologación con ensayos de laboratorio de alto grado de confiabilidad, como son los siguientes equipos: Análisis

químico realizados con Espectrómetro de Rayos X, observación microscópica realizada con microscopio Lletz asistido por computadora.

El análisis químico de la camisa original dio como resultado un carbono equivalente CE. del orden de 4.73% que representa una composición hiper-eutectoide, cuyos componentes tienen los siguientes porcentajes C es 4.33% y el Si es 1.20%, lo cual nos planteo el problema de trabajar con chatarras con composición cercana tales como los materiales que se fabrican los tambores de freno automotriz y blocks de motores, aun así los resultados no alcanzaban el CE. requerido, por ello se buscó y aplicó posteriormente, la técnica de recarburación por el insuflado de grafito en el metal liquido, acción que tiene sus problemas de aplicación, ya que por un lado el insuflado del grafito con una corriente de aire tiene como resultado quemar Si y Mn, aunque también se quema algo de C pero en el tiempo de acción del aire enfriaba el metal posteriormente, fue mas cómoda de aplicar y con excelentes resultados, tal como se habría revisado en la información técnica consultada. Se logro tener

finalmente un CE. =4.53% compuesto por un % de C = 4.10 y % de Si = 1.29.

Esta técnica ha sido reemplazada con el cambio de chatarras orientando la composición a dejar un porcentaje de Si bajo en el horno de inducción y recargando sin la necesidad de insuflar grafito, sino poniendo en la superficie del líquido y se verifica por rotura de probeta de temple hasta tener toda la cuña gris.

Con relación a la micro estructura obtenida por análisis metalográfico con probetas pulidas del material original y aplicando las cartas para calificación del tipo, método y tamaño de grafito solidificado, normalizado por la ASTM, los resultados son: de grafito tipo A, laminas uniformemente distribuidas con orientación al azar y el tamaño #5 , la matriz, o sea la fase continua del material es perlita que representa, la fase de mas alta resistencia mecánica: no se encontraron ni la fase de ferrita (parte suave del metal) ni la fase cementita (parte dura del material) en forma de islotes; ambas fases perjudican propiedades del metal.

La experiencia realizada con la solidificación en equipo de centrifugación dio como resultado tipo de grafito A y tamaño de grafito

No. 4, en las siguientes experiencias se pudo conseguir tamaño de #5 o sea de menor dimensión que trabaje mejor para mejorar el coeficiente de fricción y el auto lubricación. La ventaja del método de solidificación por centrifugación es prácticamente irremplazable para tener tamaño de grafito fino sin tenerlo en condiciones de ser intendentritico sino laminar tipo A.

Durante el transcurso de las experiencias de centrifugación no se hicieron las evaluaciones de todos los ensayos efectuados, solo de los más representativos y es así que se presentan también otros resultados en los que se encontraron fases de cementito que se presento por la alta sensibilidad de hierro gris a la velocidad de enfriamiento que provee la centrifugación. Estos materiales se pueden modificar por medio de tratamientos térmicos que transforman la cementita en hierro y carbono secundario, pero, ya no son útiles para la aplicación de fabricación de camisas de motores.

La técnica de insuflado de grafito que se utilizó, probó ser efectiva para cambiar la composición química de metal, disminuyendo el % de Si y aumentando el contenido de C, que son los elementos que manejan las propiedades del metal cuando se lo va a solidificar en un

molde metálico que esta sujeto a fuerzas de centrifugación. En realidad esta práctica solo se utiliza cuando durante el proceso de fusión la atmósfera disminuye el contenido de C y Si del baño tal como ocurre en el equipo utilizado que fue un horno basculante de crisol fijo de 200 kg de capacidad con quemador de premezcla aire-combustible mejorado por enriquecimiento con oxígeno y combustible mixto, diesel- gas propano butano cuya temperatura límite sube hasta 1560°C en llamas, lo cual da al fundidor artesanal la capacidad de hacer materiales especiales; aunque ahora la tecnología y hornos de inducción para fundir metales ferrosos es irremplazable por el momento.

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

A partir de la discusión de resultados se tienen las siguientes conclusiones:

- 1) El método general de fabricación de partes con hierro gris centrifugado asegura el tipo y tamaño de grafito requerido para tener coeficiente de fricción bajo y se produzca la autolubricación lo más cerca posible a las características reveladas por el análisis de laboratorio del material original.
- 2) El método seguido para obtener una composición química de alto carbono y bajo silicio combinando técnicas de cálculo de carga a partir de composiciones de las chatarras participantes y posteriores ajustes por insuflación de grafito es efectivo.

- 3) La evaluación metalúrgica de la calidad del material obtenida se ajusta al original en composición química, microestructuras y por ende sus características tecnológicas y propiedades requeridas para las camisas de motores, por lo tanto es posible realizar recambio de las piezas gastadas por nuevas mejorando la vida útil de los motores.

4.2 Recomendaciones

- 1) Propulsar proyectos de investigación y desarrollo para hacer transferencia de tecnología entre la Armada del Ecuador y la ESPOL, a fin de resolver problemas técnicos de alta complejidad tecnológica en el mantenimiento de los Buques de Guerra.

- 2) Proponer a la Armada del Ecuador la implementación del Laboratorio Metalúrgico para evaluación de materiales a fin de contar con la información que permita tomar decisiones para resolver, localmente, problemas de ingeniería.

BIBLIOGRAFÍA

1. LÓPEZ VÁZQUEZ LUÍS, Estudio de los aspectos metalúrgicos sobre prevención de fallas en piezas fundidas de motor. Camisas de cilindro. (Revista técnica de fundición, 1994).
2. MALISEV A., NIKOLAIEV O, SHUVALOV YU, Tecnología de los metales, Quinta edición.
3. WALTON CHARLES F., Iron Castings Handbooks, 1981, Timothy J. Opar.
4. BCIRA. Cupola Design, Operation and Control.
5. www.centrifugalcasting.com
6. www.efunda.com
7. www.spuncas.com/centrif.html