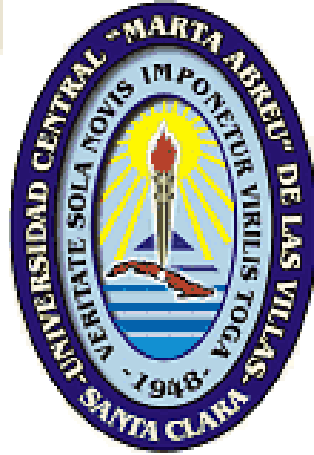


Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial

Departamento de Ingeniería Mecánica



TRABAJO DE DIPLOMA

**Evaluación preliminar para la recuperación y
fabricación de las camisas del motor YUCHAI**

Autor: Esney Concepción Concepción

Tutores: MSc. Lázaro H. Suárez Lisca

Dr. Arnaldo Herrera Artiles

Santa Clara 2016

"Año 58 de la Revolución"

PENSAMIENTO

No andar con melindres, con quejas y lamentaciones, sino a trabajar, a producir, a crear lo que necesitamos, a esforzarnos para construir la nueva sociedad.

Ernesto Che Guevara

DEDICATORIA

Le dedico el presente trabajo de diploma a toda mi familia por su apoyo y ayuda que me ha permitido llegar hasta aquí y lograr mis propósitos.

AGRADECIMIENTOS

No existe en el mundo exceso más bello que el de la gratitud, pues le estaré eternamente agradecido a todas aquellas personas que forman parte de este esfuerzo, porque cualquier desvelo, preocupación o atención aunque pequeña siempre será recordado.

A mi familia por su apoyo en todo momento y su ayuda que sin esta no hubiese llegado hasta aquí.

A mis tutores Lázaro H. Suárez Lisca y Arnaldo Herrera Artiles por haberme guiado por el camino correcto.

A mi novia Jessica Valero por su amor incondicional y por estar siempre a mi lado acompañándome en los momentos más difíciles.

A todos mis compañeros que de una forma u otra me han ayudado a salir adelante, compartiendo a mi lado momentos que para mí son inolvidables.

A todos muchas gracias.

RESUMEN

En el presente trabajo se hace una revisión bibliográfica con el fin de establecer una metodología para la fabricación de las camisas del motor YUCHAI por fundición centrífuga, así como la recuperación de las mismas. Para la fabricación y recuperación de estas camisas se realiza un análisis metalográfico y de composición química con el objetivo de determinar algunas propiedades de las camisas, para establecer una metodología con el fin de realizar la fundición de las mismas y usar el método más adecuado para recuperarlas. Con el análisis metalográfico se determina el tipo de material de la aleación, la matriz que presenta el mismo, así como, la presencia o no de tratamiento térmico y también se determina con la composición química los elementos que componen la aleación. Se realiza un estudio de los principales defectos y las condiciones de trabajo en que operan estas. También se describe la metodología a seguir en el proceso de fabricación.

ABSTRACT

In this paper a literature review was done in order to establish a methodology for making cylinder liner for centrifugally cast YUCHAI engine and recovering them. For the manufacture and recovery of these cylinder liner metallographic analysis and chemical composition in order to determine some properties of cylinder liner, to establish a methodology in order to perform the casting thereof and use the most suitable method is performed to recover. The metallographic analysis determined the type of alloy material, the matrix having the same, and the presence or absence of heat treatment and is determined by the chemical composition the elements of the alloy. A study of the major flaws and working conditions in operating these is performed. The methodology to be used in the manufacturing process is also described.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
1.1. Introducción.....	3
1.2. Características generales de las camisas de los motores de combustión interna.....	3
1.3. Materiales utilizados en la fabricación de camisas.....	5
1.4. Características fundamentales de la fundición gris	6
1.5. Efecto de los elementos aleantes	11
1.3. Métodos utilizados para la recuperación de camisas.....	17
1.3.1. Por deformación térmica	18
1.3.2. El metalizado	18
1.3.3. Deformación plástica.....	19
1.3.4. Encasquillado	19
1.3.5. Método de dimensiones de reparación	19
CAPÍTULO II. CARATERIZACIÓN DE LAS CAMISAS DEL MOTOR YUCHAI Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	20
2.1. Características generales del motor YUCHAI.....	20
2.2. Descripción de las camisas del motor YUCHAI.....	20
2.3. Condiciones de trabajo y defectos de las camisas del motor YUCHAI	20
2.4. Caracterización de laboratorio de la camisa	21
2.5. Análisis de los principales métodos de recuperación	24
CAPÍTULO III. PROCESO DE FABRICACIÓN DE LAS CAMISAS	28
3.1. Consideraciones en el proceso de fabricación de las camisas	28
3.1.1. Proceso de centrifugación.....	29
3.1.2. Posición del eje de rotación	29
3.1.3. Determinación de la velocidad de giro	30
3.1.4. Temperatura del molde, metal y dosificación del metal líquido	31
3.1.5. El proceso de obtención del metal.....	33
3.1.6. Composición química.....	33
3.1.7. Inspección y aseguramiento del horno de inducción.....	33
3.1.8. Preparación del horno de inducción con crisol para la fusión.....	34

3.1.9. Proceso de fusión.....	37
3.2. Proceso de fabricación.....	37
3.2.1. Operación del horno de inducción.....	40
3.2.2. Verificación del proceso de fusión	41
3.2.3. Vertido	42
3.2.4. Centrifugación	43
3.2.5. Obtención del semiproducto de la camisa	44
3.2.6. Preparación de la máquina para el próximo vertido	45
3.2.7. Fin de la centrifugación	45
CONCLUSIONES	47
RECOMENDACIONES	48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
ANEXOS	52

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

En nuestro país existe un amplia gama de equipos, los que se someten a regímenes de explotación variable, provocando en sus piezas diferentes defectos siendo el desgaste por fricción el predominante sin embargo la solución para la recuperación exige de una diversidad de métodos para seleccionar en ellos el más adecuado para las características de cada pieza. Otra solución sería la fabricación de estas piezas pero para ello es necesario realizar determinados estudios de la misma para determinar sus propiedades y así elegir el material adecuado que garantice las exigencias de trabajo de la pieza.

La recuperación de las piezas no solo nos permite reducir considerablemente el costo de las reparaciones, sino que nos permite en ocasiones mejorar las propiedades de las piezas y disminuir gastos innecesarios en piezas de repuesto.

La Empresa Militar Industrial de Sancti Spíritus “Coronel Francisco Aguiar Rodríguez” desarrolla entre otras actividades la reconstrucción y reparaciones generales de diferentes medios de transporte y de sus agregados para el país.

Actualmente la empresa se encuentra enfrascada en desarrollar la reparación general de los motores YUCHAI de fabricación China que constituyen la fuente motriz de miles de equipos en explotación. Como vía de disminuir los costos de la reparación y de sustituir importaciones esta empresa prioriza los estudios y desarrollo de tecnologías para la recuperación y fabricación de diferentes piezas, entre las que se encuentran las camisas que son desechadas debido a fallas que presentan como agrietamiento, desgaste y rayado de la superficie interior de la camisa.

Problema técnico

Necesidad de la caracterización de las camisas del motor YUCHAI en cuanto a, dimensiones, desgaste permisible, composición química de la fundición, microestructura, existencia o no de tratamiento térmico total o superficial.

INTRODUCCIÓN

Hipótesis

Conociendo las características constructivas y propiedades químico-físicas de las camisas es posible precisar los métodos o procesos de recuperación y de fabricación por fundición que le permitan a la empresa desarrollar posteriormente la tecnología para recuperar o fabricar dichas camisas.

Objetivo general

Proponer y fundamentar el método de recuperación más conveniente y de fabricación por fundición de las camisas del motor YUCHAI, precisando las especificaciones, requisitos técnicos necesarios y recomendaciones en los procesos tecnológicos, que permitan a la empresa elaborar las tecnologías de recuperación y fabricación acorde a las condiciones de la misma.

Objetivos específicos:

1. Realizar una caracterización general de las camisas a partir de la bibliografía general, la documentación técnica disponible y la información que pueda brindar el área técnica de la empresa.
2. Determinar el tipo de material, composición química, su microestructura y posible existencia de tratamiento térmico que permita obtener características no descritas en la información recopilada y que permita además verificar las obtenidas en la información teórica.
3. Precisar los métodos o procesos típicos de recuperación a aplicar en las camisas y el más conveniente para las condiciones actuales de la empresa, estableciendo requisitos y consideraciones técnicas para el proceso que permitan la elaboración futura de una tecnología.
4. Precisar el método o proceso de fabricación por fundición de las camisas tomando en consideración experiencias existentes en el país en la fabricación de camisas similares, precisando consideraciones, parámetros tecnológicos, requisitos y especificaciones técnicas en las distintas etapas y operaciones del proceso, que permita a la empresa la elaboración de la tecnología o establecer la transferencia tecnológica acorde a sus condiciones.

CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Introducción

En el presente capítulo se exponen los aspectos más generales de las camisas, los posibles métodos de recuperación, las características de la fundición gris particularmente en la fabricación de estas, así como la influencia de los elementos aleantes.

1.2. Características generales de las camisas de los motores de combustión interna

En algunos motores el cilindro es constituido por una "camisa" que nada más que es un tubo cilíndrico colocado en el bloque del motor y que posibilita la circulación de agua a su alrededor, así como una fácil sustitución en caso de desgaste. Las medidas internas de la camisa del cilindro vienen dadas normalmente por el fabricante, pero pueden ser rectificadas en caso de desgaste.

Durante la combustión, la presión de los gases en algunas circunstancias puede alcanzar valores del orden de 200 bares en los motores diésel modernos. Gran parte de esa carga mecánica es transferida a los segmentos del pistón del primer canal, causando en las regiones próximas a la inversión del movimiento de esos segmentos un elevado desgaste.

La energía mecánica generada en la camisa puede ser utilizada para el movimiento de la hélice de un barco o también para generar energía eléctrica para el caso de motores generadores, tanto en instalaciones fijas para suministro de la misma, así como en los barcos tanto para propulsión eléctrica como para suministro de energía eléctrica en el mismo (Wikipedia, 2016).

En las camisas de los cilindros de los motores se desliza el émbolo en su movimiento alternativo y dentro de la misma tiene lugar la explosión de la mezcla en su parte alta (Ariaz Paz, 1966). La camisa del cilindro es uno de los elementos que por su estado garantiza el óptimo funcionamiento del motor de combustión interna.

CAPÍTULO I

De acuerdo al tipo de camisa del cilindro que se utiliza, así como su ajuste al bloque cárter dependerá la rigidez de este último. Existen camisas secas y húmedas.



Figura 1.1. Camisa húmeda.

Las camisas húmedas extraen mejor el calor y se usan en los motores forzados. Los bloques-cárter de camisas húmedas son menos rígidos que los de camisas secas. Para aumentar la rigidez de las camisas húmedas su superficie externa se hace algunas veces con tendones circulares. Las camisas húmedas se refrigeran mejor y se pueden sustituir con facilidad cuando se deterioran, sin necesidad de quitar el motor del chasis. En este caso se montan camisas, émbolos y segmentos nuevos por lo que se encarece el costo a diferencia de las camisas secas. Para que conserve su forma geométrica, la camisa tiene dos resaltes anulares guías (uno arriba y otro abajo), siendo el diámetro del inferior algo más pequeño que el del superior. Las superficies de apoyo de las camisas húmedas se colocan en unos salientes anulares que tiene el bloque de cilindros cuya rigidez debe ser suficiente para que al apretar los espárragos se altere lo menos posible la forma geométrica de la camisa.

Las camisas húmedas ofrecen una mejor refrigeración del motor, y se emplea generalmente en motores de gran potencia, donde se necesita una mayor evacuación de calor. Las camisas húmedas son unos cilindros independientes que se acoplan al bloque que es completamente hueco. Se ajustan al bloque por medio de unas juntas de estanqueidad, para evitar que el agua

CAPÍTULO I

pase al cárter de aceite. Estas camisas sobresalen ligeramente del plano superior del bloque de forma que quedan fijadas una vez que se aprieta la culata (Google, 2016).

Las camisas secas son aquellas que su superficie externa está en contacto con la superficie interna del cilindro. El empleo de este tipo de camisas da la posibilidad de conseguir superficies altamente resistentes al desgaste con pequeños gastos de materiales de aleaciones caras, además aumenta la rigidez del bloque del cárter.

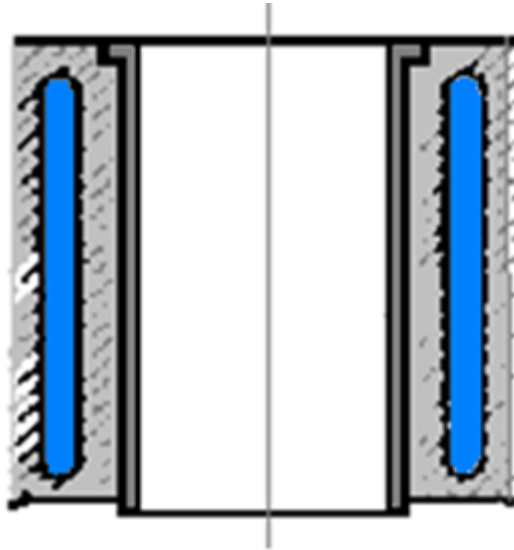


Figura 1.2. Camisa seca.

Las camisas de los cilindros deben reunir las siguientes condiciones:

- 1- Suficiente solidez para aguantar la fuerza de los gases.
- 2- Buena resistencia al desgaste del cilindro durante un largo plazo de funcionamiento del motor.
- 3- Elevadas propiedades antifriccionales y anticorrosivas.
- 4- Posibilidad de dilatarse en sentido longitudinal ya que son camisas húmedas.

1.3. Materiales utilizados en la fabricación de camisas

El material utilizado en la elaboración de las camisas generalmente es fundición de hierro gris. Los motivos fundamentales para la elección de este material son por sus elevadas características ante el desgaste por fricción, por ende son ideales para este tipo de aplicación, donde se requiere buena resistencia y apropiado coeficiente de transferencia de calor, ya que el

CAPÍTULO I

hierro fundido se le 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 (Terán Ochoa, 2008).

La fundición gris (Barinov, 1988), (Petrov, 1988) es la más empleada, con una producción anual superior al resto de los metales fundidos, contiene carbono en forma de grafito laminar y cementita que se halla en la perlita. Las propiedades de la fundición gris dependen en gran parte de la cantidad de grafito, perlita y ferrita, como también de la forma y tamaño de las inclusiones de grafito. Las inclusiones de grafito debilitan la sección transversal de la matriz metálica en la dirección perpendicular a la aplicación de la fuerza de extensión externa y ejerce una acción "de entalla" en la matriz metálica.

1.4. Características fundamentales de la fundición gris

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 % – 1,05 %) y de azufre (hasta 0,15 %) (Terán Ochoa, 2008).

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 el molde. Es así, que cualquier variación no controlada de temperatura cambia la estructura cristalina y el material se transforma en diferentes tipos de hierro fundido.

Las fundiciones son aleaciones de hierro-carbono y silicio en contenidos mayores del 1 %, generalmente contienen también manganeso, fósforo, azufre, etc. Son de mayor contenido en carbono que los aceros y adquieren su forma definitiva directamente por colada, no siendo nunca las fundiciones sometidas a procesos de deformación plástica ni en frío ni en caliente. En general, no son dúctiles ni maleables y no pueden forjarse ni laminarse, pero existen algunas fundiciones que son excepción, las cuales son tenaces y tienen cierta ductilidad. En este grupo de excepción se incluyen las fundiciones maleables y otras especiales como las fundiciones "dúctiles" de grafito esferoidal (Pino, 2005a).

CAPÍTULO I

El mayor porcentaje de carbono hace que la temperatura de fusión de las fundiciones sea menor que la de los aceros y además se logra una mayor fluidez del material líquido, lo que permite el llenado de piezas de espesores menores y de formas complicadas, tienen una mejor colabilidad. Por otra parte, la menor temperatura de fusión permite que la interacción metal-molde sea menos agresiva y en consecuencia se pueden obtener piezas de mejor calidad superficial.

El bajo costo de estas fundiciones y su muy buena colabilidad han dado lugar a un extenso desarrollo de estas aleaciones en aplicaciones como: bloques de motor, camisas de pistón, engranajes, cuerpos de válvula, cojinetes de deslizamiento, autopartes y otras muchas piezas para maquinaria industrial y de todo tipo (Pino, 2005a).

Ventajas y desventajas de la fundición gris:

- La Fundición gris es una aleación común en la ingeniería debido a su relativo bajo costo y buena maquinabilidad, lo que es resultado de las bandas de grafito que lubrican el corte y la viruta. También tiene buena resistencia al desgaste, debido a que las "hojuelas" de grafito sirven de autolubricante.
- La fundición gris posee una rotura frágil, es decir, no es dúctil, por lo que no presenta deformaciones permanentes importantes antes de llevarla a su tensión de rotura: no es tenaz. Al tener una alta tensión de rotura, pero baja ductilidad, casi toda su curva de tensión de alargamiento presenta muchas zonas en donde las tensiones son proporcionales a las deformaciones: tiene mucha resiliencia, es decir, capacidad de absorber trabajo en el período elástico o de deformaciones no permanentes.
- El silicio promueve una buena resistencia a la corrosión e incrementa la fluidez de la colada de fundición, la fundición gris es considerada, generalmente, fácil de soldar (Wikipedia, 2016).

Comparada con otras aleaciones de hierro modernas, el hierro gris tiene una baja resistencia a la tracción y ductibilidad; por lo tanto su resistencia al impacto es casi inexistente.

Una característica distintiva del hierro gris es que el carbono se encuentra en general en forma de grafito adoptando formas irregulares descritas como hojuelas, este grafito es el que les da la típica coloración gris a las superficies de fracturas en las piezas elaboradas con esta aleación.

CAPÍTULO I

Las propiedades físicas y en particular las mecánicas varían dentro de amplios intervalos respondiendo a factores como la composición química, rapidez de enfriamiento después del vaciado, tamaño y espesor de las piezas, práctica de vaciado, tratamiento térmico y parámetros microestructurales como la naturaleza de la matriz y la forma y tamaño de las hojuelas de grafito (Díaz del Castillo Rodríguez, 2007).

Por la estructura de la base metálica, las fundiciones grises se dividen en cuatro tipos:

Fundición gris perlito cementítica (P+C+G) consta de perlita, inclusiones de cementitas estructuralmente libre y grafito laminar. Es posible obtener esta estructura con un reducido contenido de silicio en la fundición y un rápido enfriamiento de las piezas en el molde. Estas fundiciones poseen una elevada resistencia y se labran mal con cuchillas. Mediante la inoculación con magnesio o cerio es posible obtener una fundición de alta resistencia con una estructura perlito cementítica y grafito esferoidal.

Fundición gris perlítica (P+G) se compone de perlita y grafito laminar, después de la inoculación con magnesio o cerio (figura 1.3) de perlita y grafito esferoidal (AZOM.Com., 2002). Generalmente, la fundición perlítica contiene grafito de láminas pequeñas y tiene una dureza moderada (HB 200-300), alta resistencia mecánica y resistencia al desgaste y se labra bien con cuchillas. La fundición gris perlítica con grafito esferoidal posee una resistencia mecánica aun mayor, por eso se llama de alta resistencia.

Fundición gris perlito ferrítica (P+F+G) está compuesta de perlita, ferrita y grafito laminar (figura 1.4 a) (AZOM.Com., 2002). La resistencia de la fundición perlito ferrítica es inferior a la de la perlítica, puesto que las láminas de grafito en estas son mayores. Su dureza es inferior y se labra con más facilidad por corte. La estructura P+F+G con grafito laminar con más frecuencia se encuentra en las molduras de fundición corrientes, utilizadas en la construcción de máquinas.

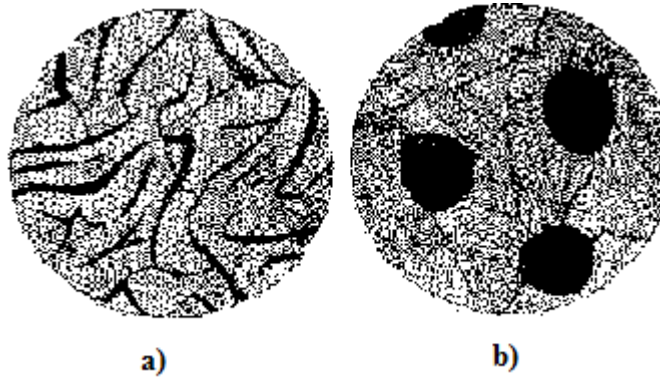


Figura 1.3. Fundición gris perlítica
a) con grafito laminar b) con grafito esferoidal.

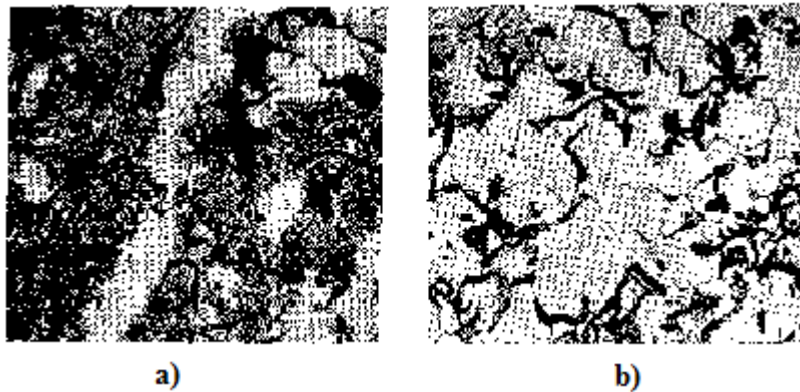


Figura 1.4. Fundición gris. a) perlito-ferrítica; b) ferrítica.

Fundición gris ferrítica (F+G) consta de ferrita y grafito laminar (figura 1.4 b), se obtiene siendo alto el contenido de silicio y carbono en las molduras de paredes gruesas y su lento enfriamiento en el molde. Las inclusiones de grafito son muy grandes. La fundición ferrítica posee propiedades mecánicas bajas, es muy blanda, frágil, se desgasta con rapidez, pero se maquina con facilidad.

El grafito de las fundiciones puede tener tres formas principales (Cardona, 2002):

Laminar, esferoidal y nodular.

Grafito laminar. En la fundición gris ordinaria toma el grafito la forma de vetas pequeñas; este grafito se llama laminar. En la figura 1.5 a) se muestra la estructura de la fundición

CAPÍTULO I

ferrítica ordinaria con vetas de grafito; la vista espacial de estas inclusiones de grafito se reproduce en la figura 1.6 a).

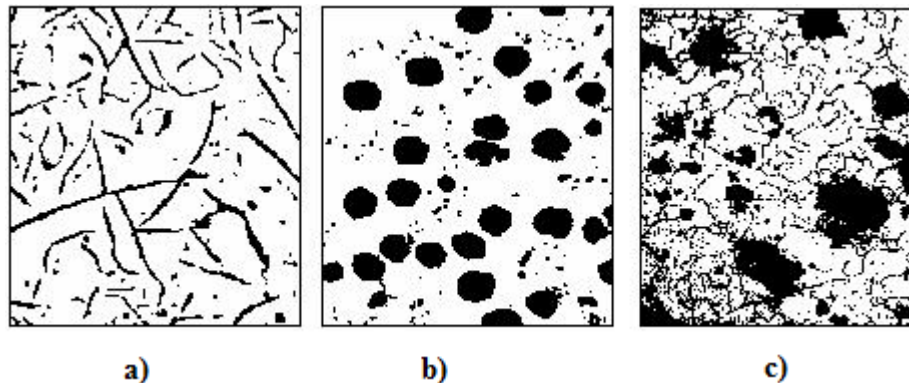


Figura 1.5. Microestructura de la fundición con diversa forma de grafito.

- a) Forma laminar del grafito (fundición gris ordinaria); b) esferoidal (fundición de alta resistencia); c) rosetas (fundición maleable).**

El grafito laminar reduce la resistencia de la fundición a la tracción, al impacto, a la abrasión (Pages, 2000) y también la elasticidad y la ductilidad (alargamiento relativo, resiliencia). Es posible reducir la influencia negativa del grafito en estas propiedades disminuyendo la cantidad y las dimensiones de las inclusiones, así como la aproximación máxima de su forma a la esferoidal. Sin embargo, presenta propiedades excelentes como la colabilidad, facilidad para el maquinado y la amortiguación de vibraciones y buena resistencia a la corrosión (superiores a los aceros). Se emplea en la fabricación de carcasas, bloques, cuerpos de válvulas, cuerpos, estructuras y elementos de maquinaria agrícola y bancada de máquinas de herramientas (Castro, 2009), y es una de las preferidas para los cojinetes de deslizamiento (Petrov, 1988).

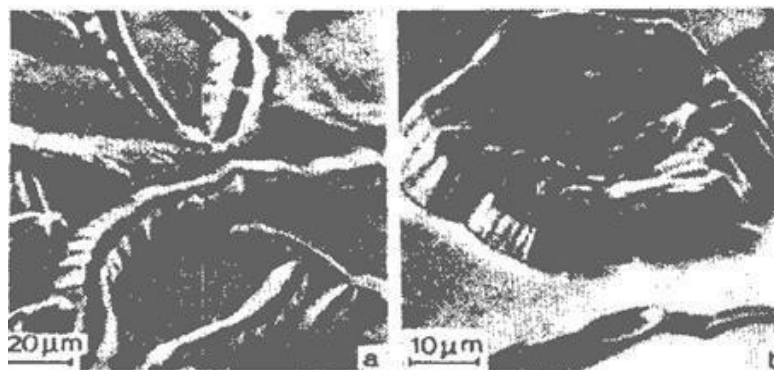


Figura 1.6. Aspecto exterior de las inclusiones de grafito en la fundición
a) inclusiones laminares; b) esferoidales.

CAPÍTULO I

Grafito esferoidal. En la búsqueda del aumento del módulo de elasticidad del hierro surgió hace relativamente pocos años el hierro esferoidal el cual es de mayor elasticidad y resistencia mecánica que las fundiciones grises y se utilizan en piezas donde la ductibilidad es de mucha importancia (Piñones, ejes cigüeñales, válvulas y cuerpos de bombas para alta presión, tubería), llamado por algunos autores como hierro dúctil, por el incremento que sufre esta propiedad. Sin embargo estas aleaciones no son las más utilizadas en el caso donde las piezas producidas son empleadas en condiciones donde predomina el desgaste abrasivo, donde el hierro blanco presenta un mejor comportamiento y aún superior los hierros de elevada aleación, pero estos últimos tienen el gran inconveniente de ser prácticamente no maquinables (Cardona, 2002). En la figura 1.5 b) se ve la microestructura de la fundición gris con grafito esferoidal, y en la figura 1.6 b), la fotografía de una inclusión de grafito.

Grafito nodular. Con el objetivo de mejorar la baja resistencia a la tracción del hierro gris, fue inventado el hierro maleable, el cual se obtiene a partir de la fundición blanca aprovechando la inestabilidad de la cementita se somete a recosido para descomponerla, el grafito que se obtiene toma una forma compacta, casi equiaxial, pero no redonda con matriz perlítica, pero el costo de estas producciones es muy superior al del hierro gris (Cardona, 2002).

Por lo tanto, la fundición con grafito laminar se llama fundición gris ordinaria, la fundición con grafito esferoidal, fundición de alta resistencia, y la fundición con grafito nodular, fundición maleable.

1.5. Efecto de los elementos aleantes

Las influencias de los elementos de aleación en el hierro fundido, pueden dividirse en dos direcciones fundamentalmente: en el estado y distribución del carbono y en el control de la transformación de la austenita (Key To Steel, 2002).

De acuerdo al efecto de los elementos de aleación sobre el estado del carbono, es decir su acción sobre el proceso de grafitización; pueden dividirse en dos grandes grupos: los que favorecen la grafitización (grafitizantes) y los que se oponen a la grafitización y estabilizan a los carburos (antigrafitizantes). El proceso de grafitización es muy complejo y la acción de los elementos de aleación no puede ser esquematizada, pues elementos como el cobre y el níquel

CAPÍTULO I

son grafitizantes durante la etapa eutéctica, sin embargo no lo son en la etapa eutectoide, por poner un ejemplo.

Los elementos de aleación con orbitales 3d más ocupados que el hierro se conocen como grafitizantes, los elementos representativos son el silicio, el aluminio y el fósforo, mientras que aquellos con orbitales 3d menos ocupados que el hierro son elementos que se oponen a la grafitización.

Efecto del carbono

El carbono es sin lugar a dudas, después del hierro, el elemento más importante. Se le puede encontrar combinado con el hierro en forma de carburo (cementita con 6,67% C) o en el estado libre de grafito (carbono libre o grafitico).

Entre los factores que influyen en que el carbono se encuentre en una u otra forma están la velocidad de enfriamiento y la presencia de elementos grafitizantes. Un enfriamiento lento y la presencia de silicio, níquel, cobre, etc.; facilitan la formación de grafito, por lo que la solidificación se puede explicar mediante el empleo del diagrama estable (Van de Velde, 2000). La forma, cantidad, tamaño y distribución de las láminas de grafito deben ser controladas cuando se requiere obtener fundiciones de calidad (Ghaderi, 2003). Por otra parte, un enfriamiento rápido o la presencia de agentes formadores y/o estabilizadores de carburos como el cromo y el molibdeno, dan lugar a la formación de carburos y entonces la solidificación se explica a través del diagrama metaestable. El hierro que se obtiene así presenta elevada dureza y no puede ser mecanizado con los medios normales en las máquinas herramientas.

Efecto del silicio

Algunos autores como (Krause, 1969), (Janowak, 1987) y otros, plantean que el silicio disminuye la solubilidad del carbono en la austenita y favorece la difusión del carbono, por lo que favorece la formación de grafito a partir de la descomposición de los carburos primarios.

El silicio presenta una solubilidad en el hierro a 20 °C de 15% aproximadamente, además eleva el punto A₃ y baja el A₄ y cierra totalmente la cuña que forma la región gamma. Cuando el silicio alcanza contenidos cercanos al 2%, el hierro asume la estructura ferrítica. El efecto

CAPÍTULO I

de este elemento en el hierro provoca endurecimiento de la ferrita, pero disminuye su tenacidad.

El silicio se necesita por dos razones. Una pequeña cantidad para garantizar la fluidez del metal fundido y producir escoria fluida, pero de igual manera es importante su efecto sobre la dureza. El silicio tiene un efecto negativo en las fundiciones grises, debido a que favorece la formación de ferrita libre y al aumento que origina en la temperatura A_1 , reduce la dureza de la perlita al favorecer su formación a temperaturas más altas, con lo que induce a la formación de perlita basta y como consecuencia produce efectos negativos sobre la resistencia (Janowak, 1987).

Las cantidades de silicio presentes en el hierro fundido deben ser calculadas teniendo en cuenta el carbono total, la velocidad de enfriamiento y el espesor de la pieza. Por su parte (Janowak, 1987) proponen un nomograma, en papel logarítmico que permite la determinación de la resistencia a la tracción básica, a partir del carbono equivalente (CE) y el espesor de las piezas en fundiciones grises no aleadas.

Efecto del manganeso

Un contenido de hasta 1.5% de Mn influye positivamente en las propiedades mecánicas de la fundición gris. Sin embargo el papel primario del manganeso en las aleaciones ferrosas, es su efecto sobre el azufre, elemento que tiene mayor afinidad con el manganeso que con el hierro, por lo que se forma preferentemente el sulfuro de manganeso al del hierro, lo cual favorece a las propiedades mecánicas, como es bien conocido. Muchos autores entre los que se encuentran (Anderson, 1998), (Shackelford, 1996), (Askeland, 1991) señalan que la cantidad necesaria de manganeso para neutralizar el efecto del azufre se puede calcular a través de la expresión $(\%Mn = 1,7 * \%S + 0,3)$. Por eso sólo el exceso de manganeso sobre esta cantidad es la que puede considerarse como elemento aleante sobre el hierro.

El manganeso en cantidad superior a la necesaria para compensar el azufre, retarda la formación de ferrita y afina moderadamente la perlita. Es un fuerte promotor de perlita, ya que estabiliza la austenita al aumentar la solubilidad del carbono en ella y también reduce la temperatura de equilibrio de formación de ferrita.

CAPÍTULO I

Efecto del cobre

Con un contenido de hasta un 3-4 % se disuelve con facilidad en la fundición líquida, contribuye a la grafitización y reduce la dureza de la fundición, en la fundición gris contribuye a la estabilización de la perlita y eleva la dureza, disminuye la temperatura de la transformación eutéctica, favorece la obtención de una estructura próxima en las secciones delgadas y gruesas de la pieza fundida. El reducido contenido de cobre en la fundición rica en carbono eleva la resistencia y la dureza. El contenido óptimo de cobre en la fundición gris aleada es de 3-4%. Durante la solidificación del hierro colado el cobre contribuye a la grafitización, pero en el progreso de la transformación eutectoide ésta obstaculiza la desintegración de la perlita. El cobre eleva la resistencia de la fundición a la corrosión en condiciones atmosféricas, en soluciones de sales, ácidos y petróleo (Callister, 2003), (Avner, 1990), (Anderson, 1998).

De acuerdo con datos reportados por (Buchholtz, 1960) en la solución sólida eutectoide contiene alrededor de 2,3% de cobre. Estos investigadores establecieron además que la máxima solubilidad de cobre para 810°C es de 3,3%. Se conoce que la solubilidad disminuye con la disminución de la temperatura y por debajo de 650°C llega a ser prácticamente constante e igual a 0,35%. En el sistema ternario fue encontrada una eutéctica ternaria para 4,73% de carbono y 3% de cobre. La temperatura de cristalización de la eutéctica ternaria es de 25 °C, inferior que el sistema binario hierro-carbono. El cobre disminuye un poco el punto perlítico del hierro gris de a 6-10°C para 1% de cobre y hasta 3% de cobre disminuye insignificadamente el contenido de carbono en la eutéctica ternaria.

El cobre adicionado en un nivel bajo posibilita la formación de grafito. Este no influye considerablemente en la forma del grafito. Según (Kopp, 1985), para la adición de 2,36% de cobre observó unos engrosamientos no significativos de las láminas de grafito.

Como el cobre metálico funde a 1082°C, puede alearse fácilmente con el hierro en la cuchara, mediante su adición en forma de pedazos, alambres, granallas, etc. Pero solo debe usarse cobre de conocida pureza. La recuperación que se puede obtener es del 100% según se señala en la (Cuppola Handbook, 1999), cuando no se superan los límites de solubilidad del elemento de aleación en el hierro fundido.

CAPÍTULO I

Efecto del azufre

El azufre con el hierro forma un eutéctico fusible con una temperatura de fusión de 985°C. En la fundición líquida el azufre puede disolverse en cantidad ilimitada y en la sólida en cantidad insignificante.

El azufre se encuentra en forma de sulfuros ricos en hierro o en forma de eutéctica, este frena la grafitización en las fundiciones pobres en manganeso, reduce sus propiedades a causa de la creación de una eutéctica frágil en los límites de los granos. La neutralización de esta influencia del azufre y el grano máximo de grafitización para la fundición se logra siendo la relación $Mn/S = 4/5$. En este caso, el azufre se halla principalmente en forma de sulfuros manganosos, que no influyen en la grafitización. Los compuestos de sulfuro elevan la viscosidad de la fundición, empeoran la fluidez y las propiedades mecánicas. Con un contenido de 0.12-0.14% de S se reduce bruscamente la fluidez y aumenta la cantidad de cementita y perlita en la estructura de la fundición, ocurre el temple al aire en las secciones delgadas de las piezas fundidas. El temple al aire resulta debido a que los sulfuros ferrosos, teniendo una baja temperatura de fusión, se cristalizan por los límites de los granos y obstaculizan la disolución del carbono, el silicio en el hierro y la desintegración de la cementita (Callister, 2003), (Avner, 1990), (Anderson, 1998).

El azufre favorece también la formación de la fundición blanca, y empeora las características de fusión y colada, al disminuir la fluidez de la aleación. Al igual que en los aceros, provoca la fragilidad al rojo, conduciendo al agrietamiento de piezas y lingotes. Dicha fragilidad es debida a que el azufre forma una eutéctica muy fusible la cual solidifica tardíamente y se distribuye entre los granos metálicos de la fundición. El contenido de azufre para piezas pequeñas solo se admite hasta un 0,08%, y para las más grandes hasta 0,12%.

Efecto del fósforo

Como se menciona en (Callister, 2003), (Avner, 1990), (Anderson, 1998), el fósforo reduce la solubilidad del carbono en la fundición y la temperatura de transformación eutéctica. Aproximadamente un 0.2 % de fósforo permanece en solución, mientras que cualquier exceso de esta porción se presenta como fosfuro de hierro, constituyente eutéctico de bajo punto de fusión. Este constituyente puede ser ternario, formado por cementita, fosfuro de hierro y austenita, en el que el carburo de hierro está reemplazado por grafito. El punto de fusión en del

CAPÍTULO I

eutéctico de fósforo, en la fundición ordinaria es de 930 °C aproximadamente y puesto que es el último constituyente que solidifica, usualmente aparece en la fundición gris como un duro retículo que delimita los bordes del grano, fragiliza la fundición y es por eso que en la fundición para piezas fundidas importantes debe haber $\leq 0.15-0.20$ % de P, y para las piezas que experimentan frote sin golpes, cuando se requiere buenas propiedades de antifricción, $<0.6-0.7$ % de P.

Efecto del cromo

El cromo en la fundición durante la transformación eutéctica sirve como elemento que forma carburos y durante la eutectoide eleva la estabilidad de la austenita. Este elemento incrementa la resistencia de la fundición a temperaturas elevadas y calentamientos múltiples, por lo que se introduce en la composición de las fundiciones resistentes a la formación de cascarilla y altas temperaturas. El cromo eleva la dureza, la resistencia al desgaste, la corrosión en agua de mar y soluciones ácidas débiles, pero aumenta la fragilidad de la fundición. Con un contenido mayor del 0.8% de Cr la resistencia de la fundición se reduce a causa de la formación de carburos de cromo libres (Key To Steel, 2002), (Callister, 2003), (Anderson, 1998).

Efecto del níquel

El níquel en las aleaciones hierro - carbono reduce los puntos críticos A_1 y A_3 , desplaza hacia la izquierda y hacia abajo los puntos críticos E y S, eleva algo la temperatura de transformación eutéctica, aumenta la estabilidad de la austenita, la solubilidad del carbono en soluciones líquidas y sólidas, así como también el contenido de carbono en la eutéctica y eutectoide (Key To Steel, 2002). Es un elemento grafitizante en el mismo sentido que lo es el cobre. El níquel actúa en la transformación eutéctica en forma análoga al silicio, al mismo tiempo retiene la desintegración de los carburos eutectoides y con ello estabiliza la perlita y contribuye al aumento de su grado de dispersión.

Según (Callister, 2003), (Avner, 1990), (Anderson, 1998), un contenido mayor del 2% de níquel la estructura de la fundición se convierte al principio completamente perlítica, luego sorbítica; con un contenido de 4.5-5% de Ni se forma martensita. El níquel eleva la resistencia a la corrosión de las piezas fundidas de fundición en agua de mar y álcalis.

Debido a que el objetivo de este trabajo es la obtención de una aleación resistente al desgaste para cilindro de combustión interna en los talleres de fundición cubanos, resulta necesario la

CAPÍTULO I

elección de un sistema aleante que conduzca a favorecer la formación de una matriz perlítica-ferrítica con grafito laminar recto distribuido uniformemente que presente buena maquinabilidad y que además sea una aleación que no tenga altos costos.

Aunque en la literatura especializada se muestra el efecto de los elementos de aleación como un aspecto muy estudiado en el hierro fundido, se ha comprobado que la composición química de los motores de combustión interna que requieren determinada resistencia al desgaste adhesivo, difieren en las distintas firmas comerciales que se dedican a su producción y comercialización, se ha determinado que los cilindros fabricados por la norma GOST presenta en su composición química un contenido de cromo entre 0.3 y 0.5%, elemento que como se expresó anteriormente mejora la resistencia al desgaste; pero es un formador de carburos que aumenta considerablemente la dureza y dificulta la maquinabilidad, aspecto este es negativo para los talleres de maquinado cubanos, en el que las máquinas herramientas no poseen la rigidez necesaria, además de encarecer el proceso al tener que importar herramental de punta que permita la elaboración de los cilindros. Por otro lado se conoce que los cilindros fabricados por los españoles contienen fósforo entre 0.3-0.5 % y como ya se ha dicho anteriormente con estas cantidades se forma fosfuro de hierro que a pesar de ser un grano resistente al desgaste no presenta buenas propiedades mecánicas ya que aumenta la fragilidad.

Además como siempre resulta de interés particular el encontrar aquellas ecuaciones que permitan cuantificar el efecto de dichos elementos en un sistema aleante determinado, sobre propiedades relacionadas con las microestructuras presentes y las propiedades mecánico-tribológicas, para lo cual el diseño de experimentos es una herramienta de indiscutible utilidad como muestra (Pino, 2005b), se persigue obtener dichas relaciones para el sistema aleante empleado, como un aporte a los estudios ya realizados en sistemas aleantes del hierro fundido.

1.3. Métodos utilizados para la recuperación de camisas

Una de las vías para seguir explotando las camisas del motor YUCHAI sería la recuperación de estas por algún método de recuperación, ya que es una vía factible a utilizar y hace mucho más rápida las reparaciones.

CAPÍTULO I

Entre los métodos más utilizados están:

- ✓ Por deformación térmica
- ✓ El metalizado
- ✓ Deformación plástica
- ✓ Encasquillado
- ✓ Método de dimensiones de reparación

1.3.1. Por deformación térmica

Este método se fundamenta en la deformación plástica de la pieza bajo la acción térmica. Este proceso tecnológico de restauración incluye la defectación, deformación térmica, el temple y tratamiento de la superficie interna, restauración de su superficie de asentamiento, la prueba y el control. Este método no es aplicable a las camisas de los cilindros cuyo desgaste diametral exceda los 0,5 mm.

Este procedimiento requiere el calentamiento de la pieza a una elevada temperatura (840 – 880 °C) con una corriente de alta frecuencia, dependiendo de la temperatura máxima de la camisa, de la forma del campo de temperatura, de las propiedades físico – mecánicas del metal, de la intensidad del enfriamiento y de las dimensiones geométricas (Herrera Artiles, 2005) , (Merkulov, 1981).

1.3.2. El metalizado

La metalización consiste en la proyección sobre las superficies de las piezas de diminutas partículas de metal (de 0,015 a 0,020 mm), fundidos por arco eléctrico o por una llama oxiacetilénica y pulverizado por un chorro de aire comprimido, estas partículas al chocar con la superficie a metalizar lo hacen con gran velocidad adhiriéndose gracias a esto y formando una capa sólida.

El metalizado se utiliza con el objetivo de proteger superficialmente los metales y contrarrestar los efectos del desgaste, lo cual permite alargar la vida útil de las piezas. Esta es una solución a numerosos problemas de desgaste, aplicando aleaciones diseñadas específicamente para combatir cada uno de los mecanismos de deterioro superficial como lo son la abrasión, la corrosión, el calor, etc (Herrera Artiles, 2005).

CAPÍTULO I

1.3.3. Deformación plástica

Este método consiste en la reducción del diámetro interior del cilindro mediante una deformación plástica volumétrica, haciendo pasar por la camisa con interferencia por el interior de un anillo previamente calculado de forma tal que la camisa se quede con deformación residual en su volumen, restableciéndose posteriormente por metalizado, las dimensiones exteriores de ajuste (Herrera Artiles, 2005), (León Cruz, 1993).

1.3.4. Encasquillado

El encasquillado es un método con el cual se logra una superficie interior de mayor resistencia al desgaste, introduciendo dentro de las camisas de los cilindros un casquillo previamente elaborado y tratado mecánicamente de una lámina fina. Posee la ventaja que las camisas encasquilladas pueden ser recuperadas reiteradamente sustituyendo el casquillo desgastado por uno nuevo, siendo esto de gran interés ya que no limita la vida de la camisas de los cilindros.

Los casquillos para este proceso se obtienen a partir de chapas de acero seleccionado generalmente (acero 60Mn y 65Mn), la cual se conforma hasta obtener un cilindro que se introduce en la camisa en una medida prefijada mediante el prensado. La unión de los extremos de la chapa conformada quedan comprimidos durante el montaje haciéndose prácticamente imperceptible después de la elaboración mecánica. El encasquillado se puede realizar con láminas finas (0,6 – 0,8 mm de espesor) que después de montadas no necesitan elaboración mecánica posterior. El montaje se realiza por prensado con interferencia y sobremedida interior para el maquinado y el posterior bruñido de terminación (Herrera Artiles, 2005), (Colectivo de autores, 1989).

1.3.5. Método de dimensiones de reparación

El método consiste en elaborar hasta una medida en una dimensión mayor prefijada, la superficie desgastada y montarla nuevamente con nuevos pistones y aros fabricados para dichas dimensiones los cuales se pueden adquirir del propio fabricante. Es un método ventajoso y hace económica y más rápida las reparaciones (Koshnov, 1982), (Levitski, 1982).

CAPÍTULO II

CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN DE LAS CAMISAS DEL MOTOR YUCHAI Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

2.1. Características generales del motor YUCHAI

Características del motor YUCHAI según el manual de explotación y mantenimiento

- Tipo: vertical, en línea, 4 tiempos, enfriamiento por agua.
- Número de cilindros: 6
- Diámetro del cilindro: 108 mm
- Recorrido del émbolo: 125 mm
- Potencia Nominal: 112 kW
- Revoluciones nominal: 2800 rpm
- Peso neto: 550 kg
- Torque máximo: 428 N*m
- Velocidad en el torque máximo: 1600 – 1900 rpm

2.2. Descripción de las camisas del motor YUCHAI

Los modelos de motor YC6105QC y YC6108 usan camisas de tipo húmedo ya que la pared exterior de la camisa contacta directamente con el agua de enfriamiento. Consta de un resaltante anular o saliente circular para ajustarse al bloque del cárter lo que proporciona mayor rigidez (figura 2.1). El diámetro interior (par tribológico con el pistón y los aros) de la camisa es de 108 mm con una desviación superior de +0.035 mm, el desgaste límite permisible es de 108,180 mm de diámetro y una longitud de 300 mm .

2.3. Condiciones de trabajo y defectos de las camisas del motor YUCHAI

Las camisas son sometidas a altas temperaturas y elevadas presiones durante el proceso de combustión, así como a la fricción provocada por el pistón sobre la pared interior de la camisa. El principal desgaste de la camisa se encuentra localizado en la parte superior de la misma ya que la lubricación en esta zona es bastante deficiente.

CAPÍTULO II

En la zona inferior las fuerzas normales del pistón son menores al igual que las temperaturas, y la lubricación es generalmente buena por lo que el desgaste y la corrosión es mucho menor que en la parte superior. En las camisas pueden aparecer otros defectos tales como: grietas, rayados en la superficie de trabajo, entre otras, pero estos defectos se encuentran en menor proporción.

La temperatura de la superficie de los cilindros puede alcanzar valores del orden de 150 °C en regiones próximas al punto muerto superior de los segmentos del primer canal, con un nivel de lubricación muy bajo (Terán Ochoa, 2008).



Figura 2.1. Camisa del motor YUCHAI.

2.4. Caracterización de laboratorio de la camisa

Con el estudio de laboratorio se determina si el Material es acero o fundición gris (tipo de fundición), así como la microestructura y la existencia o no de algún tratamiento térmico o tratamiento mecánico superficial de endurecimiento.

El análisis metalográfico se realizó a través de un fragmento de la camisa que se cortó de forma transversal para poder determinar su microestructura y también se determinó si esta presenta algún tipo de tratamiento térmico o mecánico.

En la figura 2.2 y 2.3 se puede apreciar que se trata de una fundición gris delatado por la presencia de grafito y también se puede decir que es del tipo laminar porque el grafito está distribuido en forma de láminas. También se puede apreciar que la camisa no presenta

CAPÍTULO II

tratamiento térmico ya que no se aprecia ningún cambio de estructura a lo largo del material, o sea que su distribución es uniforme a lo largo de toda su estructura.

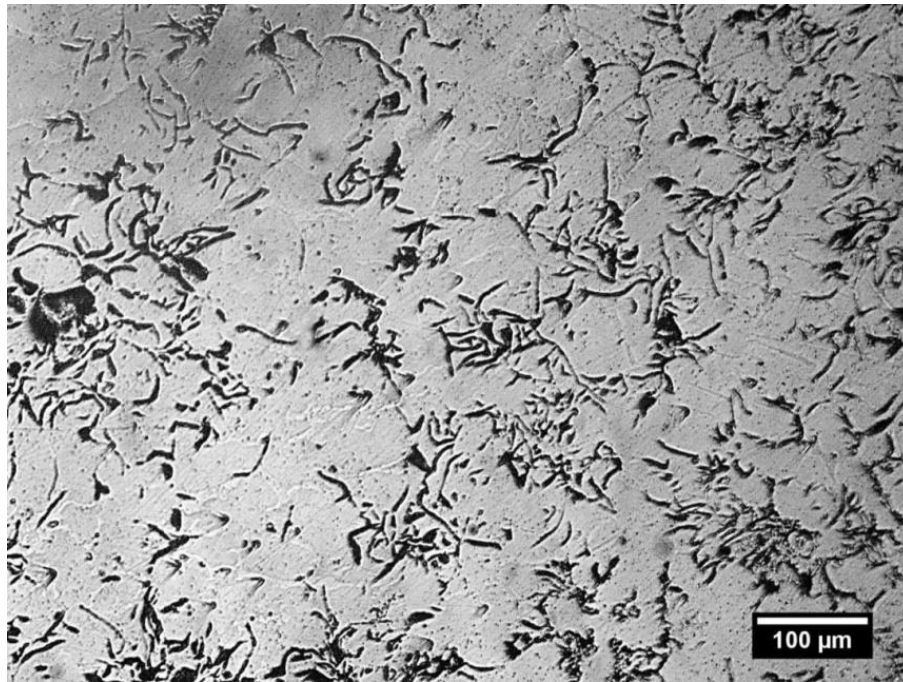


Figura 2.2. Microestructura de la fundición gris sin ataque químico.

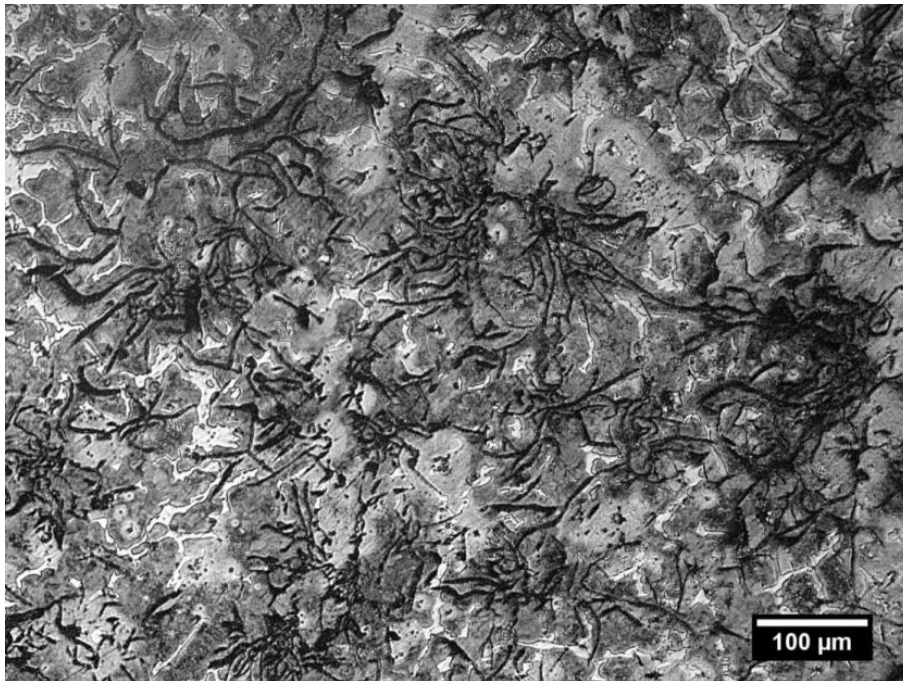


Figura 2.3. Microestructura de la fundición gris con ataque químico.

CAPÍTULO II

El análisis metalográfico mostró:

- ✓ Fundición gris de grafito laminar tipo nido.
- ✓ Tamaño de la inclusión de grafito: 30 – 60 μm .
- ✓ Cantidad de la inclusión de grafito: 5 – 8 %.
- ✓ Matriz ferrítico-perlítico mayoritariamente perlítico.
- ✓ No presenta tratamiento térmico, ni mecánico.

La presencia de las inclusiones de grafito en las fundiciones tiene ventajas sobre el acero porque la presencia de estas facilita la mecanización, hace que la viruta sea frágil y se rompa cuando la herramienta llegue a la inclusión de grafito; la fundición tiene buenas propiedades antifricción debido a sus cualidades lubricantes; la fundición es casi insensible a los defectos de la superficie (Guliaev, 1966).

La composición química de la camisa esta se realizó en la empresa Planta Mecánica de Santa Clara con un SPECTROCAST de alta fiabilidad, la misma se obtuvo de una probeta realizada de un fragmento de la camisa que se cortó de forma transversal de la pared de la misma como se muestra en la figura 2.4, para determinar qué elementos integran dicha aleación la cual arrojó los siguientes resultados:

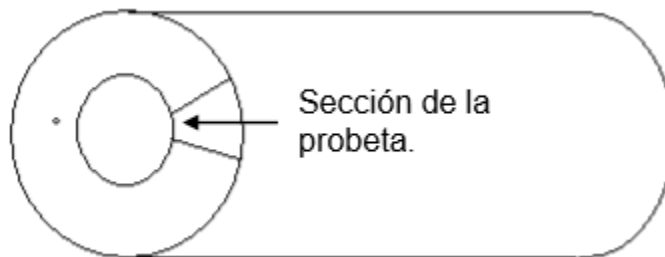


Figura 2.4. Corte transversal para obtener la probeta

Tabla 2.1. Composición química de la camisa del motor YUCHAI

Elemento	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Cr	Mo
%	3.30	2.33	1.320	0.049	0.042	0.398	<0.001	0.367	0.071
Elemento	Ni	V	Ti	Nb	Co	W	Pb	Mg	Fe
%	0.120	0.030	0.034	<0.001	0.009	<0.001	<0.001	<0.001	91.92

CAPÍTULO II

Tabla 2.2. Composición química usada en el taller “Román Roca”

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu
3.20	2.00	0.40	0.13		0.60	0.18	0.40
a	a	a	a	<0.10	a	a	a
3.50	2.20	0.60	0.18		0.80	0.23	0.90

En la tabla 2.1 y 2.2 se puede apreciar que las composiciones químicas obtenidas son bastante similares, por lo que se pudiera aplicar la tecnología existente en el taller “Román Roca” para la fabricación de las camisas del motor YUCHAI debido a la similitud que existe en las composiciones de estas camisas, lo que sería factible que se transfiriera la tecnología de esta empresa hacia la Empresa Militar Industrial de Sancti Spíritus o que estas camisas se produjeran en este taller.

2.5. Análisis de los principales métodos de recuperación

Con el objetivo de seguir explotando las camisas y alargar su vida útil una vía para lograr este objetivo es recuperar estas aplicando algún método de recuperación. Según lo planteado en el capítulo anterior existen varios métodos de recuperación entre los que se encuentran recuperación por deformación térmica, metalizado, deformación plástica, encasquillado y método de dimensiones de reparación. A continuación se hará un análisis para determinar cuál de estos métodos es factible aplicar a nuestro caso, según las condiciones con que cuenta la empresa.

Por deformación térmica

Este método se fundamenta en la deformación plástica de la pieza bajo la acción térmica. Este proceso tecnológico de restauración incluye la defectación, deformación térmica, el temple y tratamiento de la superficie interna, restauración de su superficie de asentamiento, la prueba y el control. Este método no es aplicable a las camisas de los cilindros cuyo desgaste diametral exceda los 0,5 mm.

Este método no es factible utilizarlo porque requiere la fabricación de un equipamiento adicional para su aplicación y esto encarecería el costo de recuperación de la camisa,

CAPÍTULO II

además no se cuenta con la tecnología para la fabricación de este equipo adicional y sería necesario hacer un estudio más detallado para la implementación de este método.

El metalizado

La metalización consiste en la proyección sobre las superficies de las piezas de diminutas partículas de metal (de 0,015 a 0,020 mm), fundidos por arco eléctrico o por una llama oxiacetilénica y pulverizado por un chorro de aire comprimido, estas partículas al chocar con la superficie a metalizar lo hacen con gran velocidad adhiriéndose gracias a esto y formando una capa sólida.

Este caso no es posible aplicarlo porque no se lograría la proyección sobre la superficie interna de la camisa diminutas partículas de metal y fundirlas por arco eléctrico o por una llama oxiacetilénica, ya que las características geométricas de la camisa no lo permiten, o sea que presenta un diámetro muy pequeño

Deformación plástica

Este método consiste en la reducción del diámetro interior del cilindro mediante una deformación plástica volumétrica, haciendo pasar por la camisa con interferencia por el interior de un anillo previamente calculado de forma tal que la camisa se quede con deformación residual en su volumen, restableciéndose posteriormente por metalizado, las dimensiones exteriores de ajuste.

Dadas las condiciones de la camisa que estudiamos y sus características como son las irregularidades exteriores que esta presenta por ser una camisa del tipo húmeda, este método no lo consideramos utilizable por los inconvenientes que existen para devolver los parámetros exteriores.

Encasquillado

El encasquillado es un método con el cual se logra una superficie interior de mayor resistencia al desgaste, introduciendo dentro de las camisas de los cilindros un casquillo previamente elaborado y tratado mecánicamente de una lámina fina. Posee la ventaja que las camisas encasquilladas pueden ser recuperadas reiteradamente sustituyendo el casquillo

CAPÍTULO II

desgastado por uno nuevo, siendo esto de gran interés ya que no limita la vida de las camisas de los cilindros.

Este método no requiere de instalaciones complejas ni de grandes inversiones para su aplicación lo que resulta que es método sería muy factible emplearlo para la recuperación de las camisas del cilindro del motor YUCHAI. Un inconveniente para la aplicación de este método sería la elaboración de un dispositivo para el montaje de las láminas con prensado por interferencia y sobremedida interior para su posterior maquinado y bruñido de terminación.

Método de dimensiones de reparación.

El método consiste en elaborar hasta una medida en una dimensión mayor prefijada, la superficie desgastada y montarla nuevamente con nuevos pistones y aros fabricados para dichas dimensiones.

Este método sería el más factible a aplicar, ya que es un método ventajoso y hace más rápida las reparaciones. De acuerdo a lo obtenido en la metalografía se puede apreciar que esta camisa no cuenta con ningún tipo de tratamiento térmico, ya que no hay ninguna variación de la estructura del material, lo que hace que el maquinado de la camisa sea más fácil. Para aplicar este método se establece una sobremedida de acuerdo con los pistones a sobremedida y se establece una tecnología de maquinado para dicha medida. Un inconveniente sería la obtención de los pistones y aros a sobremedida, ya que el fabricante no los comercializa, o sea, que no los produce. Al no precisar de estos pistones a sobremedida, una solución sería fabricar estos pistones desarrollando un estudio similar a este, para desarrollar una tecnología de fabricación y lograr fabricarlos sin tener que depender del fabricante.

Otra vía para lograr la reparación del motor es fabricar las camisas por algún método convencional o transferir alguna tecnología existente en el país. En nuestro país se han venido desarrollando tecnologías de fundición de camisas de motores de combustión interna y existen experiencias en la fabricación de estas específicamente en el taller de fundición “Román Roca” de Santa Clara, el cual produce camisas para motores YUNZ con una composición química similar a la del motor YUCHAI como muestra la tabla 2.2. Esta empresa cuenta con la tecnología adecuada para la producción de las camisas la cual

CAPÍTULO II

precisa de un SPECTROCAST para la realización de los análisis químicos, dos hornos de inducción de media frecuencia, para la fusión del metal, empleado en la producción de los cilindros. Se montaron en la propia empresa ocho máquinas centrifugas horizontales de cabezal con un diseño que partió de la modificación de una de fabricación española, en la cual el eje de rotación del molde coincide con el de la pieza. Para la elaboración mecánica cuenta con un torno CNC que junto a los demás equipos instalados en la empresa, permiten la obtención de cilindros con la calidad que requiere este producto. Por lo tanto la mejor vía para la fabricación de las camisas del motor YUCHAI sería transferir esta tecnología a la Empresa Militar Industrial de Sancti Spíritus o fabricarlas en el taller “Román Roca” de la empresa Enrique Villegas de Santa Clara.

CAPÍTULO III

CAPÍTULO III. PROCESO DE FABRICACIÓN DE LAS CAMISAS

3.1. Consideraciones en el proceso de fabricación de las camisas

La fabricación de las camisas para los motores de combustión interna es un proceso que abarca más de una tarea importante dentro de su ejecución; ella se divide en:

- ✓ El proceso de obtención del metal en el horno de inducción.
- ✓ El proceso de la fundición centrifugada.

Para establecer el proceso y una tecnología de fabricación de las camisas es necesario tener en cuenta un grupo de consideraciones, parámetros tecnológicos, requisitos y especificaciones técnicas en las distintas etapas y operaciones del proceso general entre las que se encuentran:

- Proceso de centrifugación
 - ✓ Posición del eje de rotación
 - ✓ Velocidad de giro.
 - ✓ Temperatura del molde y dosificación del metal líquido.
 - ✓ El proceso de obtención del metal.
 - ✓ Composición química.
 - ✓ Inspección y aseguramiento del horno de inducción.
- Proceso de fabricación.
 - ✓ Operación del horno de inducción
 - ✓ Verificación del proceso de fusión.
 - ✓ Vertido.
 - ✓ Centrifugación.
 - ✓ Obtención del semiproducto de la camisa.
 - ✓ Preparación de la máquina para el próximo vertido.
 - ✓ Fin de la centrifugación.

CAPÍTULO III

3.1.1. Proceso de centrifugación

El proceso de centrifugación es un proceso que presenta una serie de características que lo definen, pero sobre todo presenta una serie de ventajas y desventajas las cuales veremos a continuación.

Ventajas del proceso de fundición centrifugada

- 1- Al fundir cilindros huecos no se requieren machos para formar el orificio, ya que la masa fundida bajo la acción de las fuerzas centrifugas se distribuye junto a las paredes del molde.
- 2- Un gasto mínimo de metal para los bebederos.
- 3- La solidificación del metal bajo la acción de las fuerzas centrifugas contribuye a obtener piezas compactas, sin rechupes de concentración y poros de gas.
- 4- Ampliación del surtido de piezas a obtener por fundición (permite obtener piezas de gran longitud).
- 5- Aumenta la resistencia y la plasticidad entre un 20 y un 60 %.
- 6- Eliminación de la porosidad.
- 7- Posibilidad de obtener piezas sanas de pobre fluidez y elevada contracción.

Desventajas del proceso de fundición centrifugada

- 1- Durante el llenado del molde, bajo la acción de las fuerzas centrifugas, se intensifica la segregación de los componentes de la aleación, por eso no todas las aleaciones es racional fundirlas por este método.
- 2- La acumulación de suciedades en la superficie interior de segregados e inclusiones no metálicas y, como consecuencia, un elevado sobre espesor para el maquinado de las superficies interiores.
- 3- Inexactitud del diámetro de la superficie libre de las piezas.

3.1.2. Posición del eje de rotación

El eje de rotación puede tener distintas posiciones: horizontal, vertical e inclinado.

CAPÍTULO III

La posición del eje de rotación es un criterio que está bien definido para distintas posiciones en diferentes casos, pero no son reglas inflexibles o sea en ocasiones se utiliza una u otra posición. Algunas de las especificidades se muestran a continuación:

- 1- Se obtiene una pieza con una superficie interior correcta, solamente con el eje de rotación horizontal. Con el eje vertical la superficie interior tiende a tener forma parabólica.
- 2- La aplicación a las paredes de la coquilla de una capa de aislante térmico es factible solo durante el eje de rotación horizontal o con una pequeña inclinación.
- 3- Durante la fusión de piezas de tipo anillo con eje de rotación vertical el chorro de metal generalmente sobre el fondo de la coquilla y solamente después se lanza hacia la periferia. En este, el metal baña la coquilla provocando un calentamiento local y rápido desgaste. Con la fusión de las piezas en máquinas con ejes de rotación horizontal el metal cae directamente sobre la pared de la coquilla al comienzo del vaciado.
- 4- La rotación alrededor de un eje vertical es más ventajosa cuando:
 - Se quiere obtener una pieza sin orificio central.
 - Cuando se funden piezas tipo piñones pequeños en moldes de arena, individuales o en racimos.

Todas estas ideas sobre la elección de la posición del eje de rotación demuestran que la fundición por centrifugado con eje horizontal (o con cierta pequeña inclinación) es asequible para un amplio número de piezas. La fundición con eje vertical está más limitada. Por lo tanto en este caso, que no es más que la obtención de una camisa por fundición centrifugada, es más factible utilizar la fundición por centrifugado con eje horizontal por las razones antes expuestas (Titov, 1985).

3.1.3. Determinación de la velocidad de giro

Para el cálculo de la velocidad de giro se utiliza la fórmula de L. S. Konstantinov (Titov, 1985).

$$n \approx \frac{5520}{\sqrt{\gamma x r}}$$

Ecuación 3.1

CAPÍTULO III

Donde:

5520- Es una constante para todo tipo de aleación.

γ - Peso específico de la aleación en g/cm³.

r- Radio de la superficie interior de la pieza en cm.

La velocidad de giro también se puede calcular usando la fórmula de D. C Ekey (Titov, 1985).

$$n = \frac{1675}{\sqrt{R}} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde:

d- Diámetro interior.

1675 – factor.

n- rpm.

R- Radio en pulgadas.

Fórmula de TITOV.

Para una correlación determinada del radio exterior r_1 y el interior r_2 de la pieza ($r_1/r_2 = 1.15$) se emplea la fórmula:

$$n = \frac{K_0}{\sqrt{r_1}} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Donde:

K_0 – (Anexo 3)

$r_1 = 1.15 * r_2$

3.1.4. Temperatura del molde, metal y dosificación del metal líquido

Los moldes en la fundición centrifugada al igual que en los otros métodos existentes, requieren un recubrimiento que los proteja de las altas temperaturas, usándose además este

CAPÍTULO III

recubrimiento para obtener el perfil interior de la piezas, la deposición del recubrimiento se realiza manualmente o por medio de una pistola de aire.

En este proceso hay que tener en cuenta también tres aspectos:

- Temperatura del molde.
- Temperatura del metal.
- Dosificación del metal líquido.

Temperatura del molde.

La temperatura del molde depende de la forma de la pieza, del tipo y de la cantidad de metal que se funde. En general, a mayor espesor de la pared de la pieza, la temperatura del molde debe ser menor. Por lo que para las camisas de hierro fundido se recomienda calentar el molde de 400 a 500 °C.

Temperatura del metal

Para el hierro fundido se recomienda de 1350 a 1370 °C.

Dosificación del metal líquido

La esencia de la colada centrifuga se basa en el hecho que el metal está sometido a la acción de cambios rápidos de temperatura y cargas dinámicas considerables, debido al movimiento de rotación.

Los moldes pueden ser metálicos o de materiales cerámicos, recubiertos con una envoltura metálica. Los metales empleados más comúnmente son el hierro fundido gris, el hierro de baja aleación y el acero al carbono o aleado.

La superficie interior de la pieza es una superficie libre, por lo cual es necesario que el metal se dosifique de manera precisa, pues de este dependen las dimensiones y peso de la pieza.

La dosificación puede realizarse por volumen, por peso o mediante una placa de fondo, calibrada de tal manera, que retiene solo cantidad precisa de metal necesario. Este es el método de dosificación más empleado debido a su sencillez (Titov, 1985).

CAPÍTULO III

En el caso de la obtención de la camisa es un proceso bastante simple si se tienen en cuenta los demás procesos donde hay que preparar cajas de moldeo, mezclas de moldeos tanto para relleno, como para machos y muchas otras operaciones que hacen bastante engorrosa la tarea.

En nuestro caso la labor se simplifica a:

- Preparación en el horno de inducción la aleación a utilizar.
- Traslado del metal previo a una dosificación del mismo con el objetivo de ahorrar material.
- Vertido y centrifugado para la obtención del semiproducto de la camisa.
- Medición de temperatura.
- Inspección del semiproducto para la camisa.
- Extraer el semiproducto de la coquilla y colocarlo dentro del recipiente destinado para ello.

3.1.5. El proceso de obtención del metal

En la calidad del metal a utilizar juega un papel muy importante la inspección y aseguramiento de las buenas condiciones que tenga el horno donde se realiza la fundición y la correcta composición química.

3.1.6. Composición química

Se realizó la composición química de la camisa del motor YUCHAI obteniéndose como resultado los siguientes:

Tabla 3.1. Composición química de la camisa del motor YUCHAI

Elemento	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Cr	Mo
%	3.30	2.33	1.320	0.049	0.042	0.398	<0.001	0.367	0.071
Elemento	Ni	V	Ti	Nb	Co	W	Pb	Mg	Fe
%	0.120	0.030	0.034	<0.001	0.009	<0.001	<0.001	<0.001	91.92

3.1.7. Inspección y aseguramiento del horno de inducción

Fusión en hornos de inducción con crisol.

Los hornos de inducción se emplean para la fusión de hierro colado con carga fría, como también para el calentamiento de la fundición.

CAPÍTULO III

El funcionamiento de los hornos de inducción está basado en el principio de que el campo electromagnético alternativo induce corrientes en torbellino en el metal. En este caso, en el metal la energía eléctrica se convierte en calor, cuya cantidad depende de la resistencia eléctrica de los materiales. Si en el horno se carga chatarra metálica, virutas y otros pequeños desechos de metal, las corrientes en torbellinos, a consecuencia de las grandes corrientes transitorias, se crean entre las distintas partículas del metal cargado. Por consiguiente mientras más pequeños son los trozos que se cargan, tanto mayor será la frecuencia de la corriente que alimenta al inductor, para la rápida fusión de la carga. Cuanto mayor es la frecuencia de la corriente en el horno, siendo iguales las condiciones restantes, tanto más fácil es comenzar la fusión con carga fría. La alimentación de los hornos de inducción se efectúa con corrientes de frecuencia industrial de 50 Hz y corrientes de frecuencia elevada 50-107 Hz. Las ventajas principales de los hornos de inducción es el pequeño quemado de los elementos (< 5 % de C; < 5 % de Si; < 10 % de Mn), el quemado total del metal no excede un 2-3 %, la posibilidad de utilizar virutas sin briquetear.

En la producción de piezas se utilizan hornos de inducción sin núcleo y con núcleo. Los más empleados son los hornos de inducción si núcleo. Para calentar la fundición y el acero se utilizan hornos de inducción con canales de núcleo (Titov, 1985).

3.1.8. Preparación del horno de inducción con crisol para la fusión

El revestimiento de los hornos es de un relleno y por lo común ácido. Los materiales iniciales para el retacado del revestimiento son: un 48 % (en volumen) de cuarzo (con una magnitud del grano de 15-5 mm y con un contenido no menor de un 95 % de SiO₂ y un contenido mínimo de Al₂O₃ y Fe₂O₃), 50 % de cuarzo molido (con dimensión del grano no mayor de 1.55 mm) y 1.8 % de ácido bórico. El cuarzo se seca a 250-150 °C y se tamiza. El cuarzo molido y el ácido bórico deben estar secos. El ácido bórico se tamiza a través de una criba con malla de 5 mm. La mezcla para el relleno debe ser utilizada sin demora, puesto que el ácido bórico absorbe la humedad (la duración del almacenamiento de la mezcla no debe ser mayor de 15 horas).

Antes de retacar el revestimiento del crisol se debe inspeccionar y probar el mecanismo de inclinación del horno, revisar la sujeción del inductor, como también controlar el inductor

CAPÍTULO III

bajo una determinada presión de agua con el fin de detectar los posibles defectos (escapes, atascamientos, etc).

Es necesario antes de la fusión revisar el fondo del crisol, el revestimiento entre las espiras del inductor y todos los lugares entre los travesaños de madera y el amianto, los lugares dañados del revestimiento entre las espiras con pasta (su composición: tres partes de cemento aluminoso, una parte de arena seca, una parte de arcilla molida). Se debe forrar la parte interior del inductor con una hoja de amianto de 3-5 mm de espesor. Luego se debe recubrir el fondo del crisol con hoja de amianto con un espesor total de 6-10 mm y en el fondo del crisol echar polvo de cuarzo grano fino tamizado con una malla de 2 mm. Bajo los crisoles se rellena en capas de 50-70 mm. Antes de retacar la capa siguiente de mezcla, la capa de mezcla anterior se debe mullir a una profundidad de 5 mm para obtener una buena unión de las distintas capas.

En la solera compactada se debe colocar una plantilla de chapa de hierro y luego en la holgura entre la plantilla y la bobina aislada de inductor se realiza el relleno del revestimiento en capas de 30-40 mm. Después del relleno, el revestimiento debe ser secado. Durante el secado en el inductor se impulsa agua y cada 30 min este se revisa, en caso de detectarse la exudación del inductor este se debe secar con aire comprimido. Durante el secado y la fusión, la temperatura del agua usada debe ser siempre inferior a 35 °C.

El crisol se seca con corriente sin permitir su derretimiento. El secado del crisol en un horno de inducción de 1 T dura 4 horas.

Para asegurar el gasto mínimo de energía eléctrica y reducir la duración de la fusión, las paredes del crisol deben tener el mínimo espesor posible. En el proceso de trabajo del horno es necesario revisar el revestimiento opuesto, que el mismo se halla en condiciones desfavorables. La superficie interior del revestimiento del crisol tiene la misma temperatura del metal líquido, y la superficie exterior tiene contacto con el inductor que se enfría con agua. En la mayoría de los casos para el revestimiento de hornos de inducción de hasta 30 t de capacidad se utiliza el revestimiento retacado. La desventaja de este revestimiento es el gran volumen de trabajo para su elaboración. Para el revestimiento de hornos de inducción de gran capacidad se emplean ladrillos refractarios.

CAPÍTULO III

A parte del revestimiento ácido se usa el neutro, preparado con materiales aluminosos y silimaníticos. Por ejemplo, el revestimiento de los hornos de inducción puede realizarse con una masa monolítica seca de alta alúmina compuesta de 35-40 % de electrocorodum, 60-65 % de diste-silimanita y 1-1.5 % de ácido bórico, el modelo de revestimiento se realiza mediante un patrón metálico con forma de crisol el cual se funde cuando el revestimiento se somete al proceso de sinterización. Son conocidos dos procesos diferentes para la sinterización del revestimiento: con carga fría y con carga líquida; en la de carga fría en el horno se carga discos metálicos masivos. La temperatura del horno se eleva se eleva hasta 800-900 °C en el transcurso de 6-8 horas. Cuando en el crisol aparece metal líquido se eleva la potencia lentamente. En cuanto el crisol se llena de metal líquido es necesario alcanzar la temperatura de sinterización, igual a la temperatura de trabajo del horno, lo más rápidamente posible. La duración del mantenimiento del crisol con el metal a esta temperatura es de 1 hora, después de lo cual el horno está listo para su explotación.

En la sinterización del revestimiento del horno con la carga líquida, la temperatura de trabajo en el crisol, es posible obtenerla con ayuda de quemadores de gas colocados en la parte superior del horno. La duración del calentamiento a 800-900 °C es de 6-8 horas. Después de este calentamiento hasta las temperaturas requeridas, en el crisol se vierte el metal líquido con una temperatura de aproximadamente 1350 °C.

El metal se mantiene en el crisol durante 20-30 minutos sin conectar el transformador, después de lo cual el horno se conecta con una pequeña potencia hasta alcanzar la temperatura de trabajo, con un incremento constante de la potencia. El intervalo de temperatura de los 1350 °C hasta la de trabajo debe alcanzarse lo más rápidamente posible. El mantenimiento de la temperatura de trabajo es de 1 hora (Titov, 1985).

Carga del horno

El crisol se debe cargar con cuidado, sin golpes y lo más compactamente posible. Las dimensiones de los trozos de carga deben asegurar una buena compacidad del material sin holguras entre ellos y las paredes del crisol. Con esto se logra la rápida fusión del metal y el mínimo gasto de energía eléctrica. La zona de temperatura máxima durante la fusión se halla en la parte inferior del crisol por lo que las ferroaleaciones de alta temperatura de fusión se deben cargar por el fondo. Los trozos grandes y de alta temperatura de fusión de

CAPÍTULO III

la carga se introducen verticalmente, paralelamente y más próximos a las paredes del crisol, los componentes fusibles de la carga, en el centro del crisol. En los hornos de pequeña capacidad el material se carga a mano, en los de gran capacidad con un cubo (Titov, 1985).

3.1.9. Proceso de fusión

Al iniciarse la fusión unos 5-10 minutos el horno fusiona hasta terminar todos los saltos de corriente que se producen en el generador en potencia reducida, luego la potencia se eleva hasta el máximo. La fusión se realiza con el crisol cerrado. Cuando la carga se funde parcialmente, los trozos fríos se asientan con una barreta, desconectando previamente el horno, luego en el horno se echa la carga pequeña restante previamente calentada. Generalmente la chatarra de acero se adiciona al baño líquido, las ferroaleaciones, en el baño bien caliente hasta 1430-1450 °C.

Para la carburación de la fundición se introducen grandes pedazos de electrodos 1-2 % sobre la solera y pequeños en la superficie especular del metal líquido después de evacuar la escoria. La escoria se retira estando la corriente desconectada y el operario debe tener puestos guantes de goma y gafas protectoras y bajo los pies debe tener una alfombra de goma (Titov, 1985).

3.2. Proceso de fabricación

La primera acción que se toma en el proceso de obtención de las camisas es la inspección de entrada de las ferroaleaciones y materiales auxiliares. Esta labor tiene como objetivo controlar la materia prima que entra en el taller, para garantizar una calidad acorde con las normas vigentes. La calidad de la materia prima que entra al taller es responsabilidad del gerente comercial, del controlador de la calidad del área, del jefe del taller y del gerente general como máximo responsable de la producción.

El jefe de almacén recibe la materia prima y verifica la masa y volumen de cada envío.

Cuando la materia prima no cumpla con la cantidad contratada, se informará de ello al gerente comercial y se colocará el lote en un área específica hasta tanto se determine el proceder que corresponda.

CAPÍTULO III

La recepción de la materia prima aceptada por el jefe de almacén será informada al controlador de la calidad, acompañada del certificado de concordancia en cada caso.

El controlador de la calidad debe hacer un muestreo de la materia prima que entró al almacén y llevarla al laboratorio de acuerdo a lo establecido en los planes de muestreo. El laboratorio analizará la cantidad de materia prima e informa al tecnólogo si la materia prima se acepta o no, si se acepta se le informa al almacén y al gerente general, si no se le informa al tecnólogo.

El tecnólogo recibe o no la materia prima, si la recibe establece los requisitos para su uso y se lo informa al jefe de almacén y a la producción.

Como segunda operación tenemos: la inspección de la chatarra, con la que se quiere determinar si la chatarra está libre de contaminación.

El controlador de la calidad del área de las camisas debe inspeccionar los siguientes aspectos de la chatarra que entra:

Tipo: Si es bloc, camisas, bancada u otros.

Cantidad: Estimar el peso por tipo.

Calidad: Analizar si está contaminada con grasa, tierra, hiervas, metales, etc. Además tomará una muestra de cada tipo con un tamaño que le permita ser analizada en el SPECTROCAST.

La inspección de las ferroaleaciones es otro de los pasos primarios, y en este caso tiene como objetivo hacer una inspección de las ferroaleaciones que entran en el taller, identificarlas y ver si están contaminadas, estimar cantidad y hacer un muestreo para el laboratorio.

El controlador de la calidad del área debe hacer un muestreo de todas las ferroaleaciones que se utilicen en el proceso, buscar su identificación, ver si está contaminada, estimar la cantidad que existe y llevar las muestras al laboratorio para comprobar su contenido en %.

Muestreo de la materia prima. El objetivo del presente procedimiento es establecer los pasos a seguir para el muestreo de la materia prima (chatarra, bentonita, barro refractario, ferroaleaciones, cuarcito en polvo y grafito).

CAPÍTULO III

Muestreo de la chatarra. La chatarra debe estar libre de grasa, de costras de arena, y otros metales que no sean el hierro. Por cada tipo de chatarra el verificador tomará una muestra que permita ser analizada en el laboratorio de fundición. Identificará cada muestra cada muestra correctamente para conocer su procedencia y su posterior registro.

Muestreo de ferroaleaciones: Las ferroaleaciones aparecen en fragmentos entre 30 y 100 mm aproximadamente, se toma por cada tonelada de ferroaleación que entra al taller un fragmento, tomándose no menos de tres muestras para hacer el análisis, para muestras menores de 3 toneladas la toma de muestra se hará de diferentes zonas de la pila en el caso correspondiente. Si viniera en tanque, se tomará no menos de 3 fragmentos por tanque y se llevará al laboratorio debidamente identificada, en el laboratorio se tomarán muestras de igual peso de cada fragmento y se triturarán hasta reducirlo a polvo, el cual se mezclará hasta homogeneizarse y de ahí se tomará la muestra para el ensayo correspondiente.

Muestreo de Bentonita, Barro Refractario y Grafito: Se almacena en sacos en forma de polvo, se tomará una muestra de cada saco que represente el 5% del lote, tomados al azar. Esta muestra debe ser de 50 cm³ y se mezclarán hasta homogeneizar, de aquí se tomará la muestra para los ensayos.

Muestreo de cuarcita: Se almacena en Big Bag, se tomarán muestras de 20 g en diferentes partes de la bolsa hasta un total de 100 g, esto se realiza para cada Big Bag que entre, se identifica y se lleva al laboratorio para la realización de los ensayos correspondientes.

Preparación de la chatarra y su clasificación. Su objetivo radica en preparar la chatarra para su posterior uso en la fundición, así como su clasificación por lotes.

Antes de comenzar a trabajar se debe chequear el estado técnico de los equipos (grúa viajera y el guinche). Trasladar la chatarra con la grúa viajera desde el área de almacenamiento hacia el local de la pera. Encender el guinche y levantar la pera hasta una altura de 1 m, colocarle el freno para evitar su movimiento. Colocar la chatarra debajo de la pera con cuidado de no meter el cuerpo debajo de la misma. Cerrar la puerta del local, y el personal debe trasladarse hacia el local del guinche. Izar la pera hasta su caída y frenar el guinche para que el personal pueda trabajar debajo del mismo. El personal se traslada hacia el local de la pera, abre las puertas y comienza a echar la chatarra partida dentro de los cajones.

CAPÍTULO III

El tamaño de la chatarra debe ser de acuerdo a su destino, si es para el horno cubilote no puede ser mayor de 200 mm y si es para el horno de inducción no mayor de 250 mm.

La chatarra se clasificará de acuerdo al tipo de pieza partida en el rompedero (bloc, tubería, etc.) echando en un cajón de un solo tipo. Trasladar los cajones de chatarra hacia el área de almacenamiento. El jefe de brigada junto al verificador debe velar por el cumplimiento de esta instrucción.

Traslado de la chatarra hacia el horno

1. Comprobar que la grúa del área de rompedero y fusión funciona correctamente.
2. Mediante el uso de la grúa y los medio de izaje y usando medios de protección (guantes y cascos) izar el cajón de chatarra hasta la altura de 1.8 m y trasladar desde el área de almacenamiento hasta el área del horno de cubilote y arrear el cajón sobre el carro de traslado despojándolo de los medios de izaje. Conducir el carro hacia el área del horno de inducción por encima de la plancha de acero, colocadas para facilitar la operación.
3. Mediante los medios de izaje y la grúa se eleva el cajón una altura tal que permita su traslado hasta la plataforma del horno. Arrear al cajón cerca el horno pero que no interfiera en la basculación.
4. Se baja el cajón vacío y se traslada usando los mismos medios para el área de almacenamiento de la chatarra.

3.2.1. Operación del horno de inducción

Verificación del equipamiento

1. Comprobar la dureza del agua de la cisterna para el enfriamiento del horno, ejecutando los análisis establecidos según el anexo “A”. se establece como parámetro optimo el valor no mayor de 37 P.P.M.
2. Comprobar que el nivel de agua dentro de la cisterna esté por encima del límite inferior.
3. Poner en funcionamiento el sistema de enfriamiento del horno para verificar que:
 - La bomba funciona correctamente y el manómetro indica 4 kg/cm^2 y el flujómetro indica $9 \text{ m}^3/\text{h}$.

CAPÍTULO III

- El ventilador de la torre de enfriamiento funciona correctamente.
 - Verificar que el sistema de emergencia para el enfriamiento del horno funcione perfectamente.
4. La bomba de gasolina debe arrancar bien y funcionar sin problema. Comprobando que el manómetro indica 3 kg/cm^2 y el flujómetro $8 \text{ m}^3/\text{h}$ y tener dispuesta en el área una reserva de gasolina de 10 L.
 5. Comprobar el sistema de basculación manual.
 6. Revisar el foso de avería y comprobar que esté equipado con un molde equivalente en capacidad para recibir un volumen de metal igual al volumen de metal líquido existente en el horno, así como la ausencia total de agua en el mismo.

3.2.2. Verificación del proceso de fusión

Requisitos de la chatarra

1. No puede estar contaminada con impurezas o cuerpos extraños. El tamaño no mayor de 25 cm, el peso no mayor de 25 kg.

Requisitos de las ferroaleaciones

- Tiene que estar libre de impurezas.
- El tamaño oscilará entre 10 y 15 mm.

Orden de carga del horno: (esta será ejecutada por el fundidor de acuerdo a los cálculos y orientaciones dispuestas por el tecnólogo).

La chatarra se añadirá al horno después de tener el mismo metal derretido, esta tiene que cumplir los requisitos establecido, dicha chatarra será precalentada sobre la tapa del horno para eliminar toda la humedad y evitar explosiones que puedan provocar accidentes de trabajo por quemaduras.

La chatarra se dosificará desde la boca del horno para evitar que se rompa el revestimiento y evitar la salpicadura del metal.

Los medios de protección del horno son: cascos, espejuelos, guantes, mangas, petos y polainas.

En la plataforma del horno no puede haber personal ajeno a esta tarea y área.

CAPÍTULO III

Estos requisitos de protección e higiene serán de estricto cumplimiento a partir de la existencia de metal líquido en el horno. El hornero debe verificar el funcionamiento de los instrumentos de protección del horno por fuga a tierra. El jefe de brigada debe verificar la temperatura de vertido del metal según las instrucciones del tecnólogo (1500 °C). El fundidor debe proceder a escoriar el mismo. El fundidor agregará las ferroaleaciones y los demás elementos aleantes en el orden y cantidad establecida por el tecnólogo y verificará la temperatura para iniciar el vertido.

3.2.3. Vertido

El jefe de brigada de fusión tiene la responsabilidad de verificar que todas las cucharas que se utilizan en la fundición estén en buen estado y revestidas, con el revestimiento fraguado y como mínimo tiene que haber un juego de repuesto.

El jefe de brigada de fusión debe cerciorarse que el sistema basculante de las cucharas que reciban el metal del horno funcione correctamente.

El hornero debe verter una cantidad de metal en la cuchara recibidora para hacer un enjuague en dicha cazuela y la trole con vista a precalentarla, posteriormente se devuelve este metal al horno y se da comienzo al proceso de vertido. El fundidor depositará una cantidad de metal en la cazuela recibidora de acuerdo a la solicitud del jefe de brigada.

La parte fundamental del proceso es el vertido y centrifugado para la obtención del semiproducto de la camisa. Las acciones principales en esta labor son:

Vertido en área de máquinas centrifugadoras.

Inocular ferrosilicio de 75 % con granulometría de 0.6 a 6 mm, para el mejoramiento de la estructura metalográfica del metal en la cuchara intermedia, después de vertido el metal desde el horno de acuerdo a las instrucciones del tecnólogo.

El controlador de la calidad del área debe verificar y registrar la temperatura del metal en la cuchara trole para empezar el vertido en la primera máquina, la misma debe encontrarse entre 1350 a 1370 °C y en la última máquina que se vierta a no menor de 1320 °C.

El orden de vertido en las maquina se hará de acuerdo al flujo establecido por el jefe de brigada.

CAPÍTULO III

La cantidad de metal depositado en el recipiente dosificador debe ser igual al volumen que garantice los parámetros del semiproducto de la camisa.

El vertedor debe bascular el metal del recipiente dosificador a la canal de vertido de la máquina empleando un tiempo no mayor de 1.5 a 2.5 kg/s.

3.2.4. Centrifugación

El operario debe cerciorarse que la máquina funcione correctamente, así como el buen estado de la coquilla, el botador y la tapa.

Sacar el botador de la máquina y pintarlo por inmersión con pintura según el anexo “A”, calentarlo en el secador de la cuchara por encima de 100 °C y colocarlo de nuevo en la máquina.

Pintar la tapa con pintura según el anexo “A” y colocarla en la máquina.

Poner en marcha la máquina y cuando alcance el máximo de velocidad, introducir el dosificador de polvo en forma de canal hasta el fondo de la coquilla, con la cantidad de polvo adecuada y derramarlo de forma uniforme por toda la coquilla.

El operario debe revisar que el canal de vertido esté en buen estado y debe pintarla con pintura.

Cálculo de la velocidad de giro de la máquina

En el epígrafe 3.1.3, se expusieron tres ecuaciones (3.1, 3.2 y 3.3) de diferentes autores.

Sustituyendo en la ecuación 3.1 se tiene que:

$$n \approx \frac{5520}{\sqrt{7.2 \text{ g/cm}^3 \times 5.4}} \quad n \approx 886 \text{ rpm}$$

Sustituyendo en la ecuación 3.2 se tiene que:

$$n = \frac{1675}{\sqrt{2.13 \text{ pulg}}} \quad n = 1148 \text{ rpm}$$

CAPÍTULO III

Sustituyendo en la ecuación 3.3 se tiene que:

$$n = \frac{2150}{\sqrt{2.45 \text{ pulg}}} \quad n = 1374 \text{ rpm}$$

Como se puede observar los resultados son diferentes y van desde 886 rpm hasta 1374 rpm. Teniendo en cuenta que en la tecnología aplicada industrialmente en el taller Román Roca se utilizó satisfactoriamente una velocidad de 1020 rpm, cuyo valor se encuentra dentro de este rango, se recomienda utilizar esta velocidad en condiciones de producción y ajustar según los resultados, considerando que la camisa del motor YUCHAI tiene las mismas dimensiones y similar material que las camisas del motor YUNZ producidas en este taller.

3.2.5. Obtención del semiproducto de la camisa

El operario colocado al lado izquierdo de su máquina debe escoriar la cuchara cuando se vierta el metal del recipiente dosificador a la canal de vertido.

Terminado el vertido, operar la palanca de extracción de la canal hasta que la misma suba a posición de limpieza.

Limpieza de la canal de vertido.

Al transcurrir un espacio de tiempo de 3 a 4 min debe apagar la máquina y aplicar el freno para lograr el frenado total de la máquina.

Manipular la palanca del botador para sacar el semiproducto de la coquilla.

Autocontrol de las dimensiones principales por parte del operario por medio de calibres.

Extraer la tapa y colocarla dentro del recipiente que contiene la pintura y dejarla enfriar durante 1 min.

Extraer el semiproducto de la coquilla y colocarlo dentro del recipiente destinado para esto con cuidado de no tirarlo para evitar deformaciones y rajaduras.

CAPÍTULO III

3.2.6. Preparación de la máquina para el próximo vertido

Limpiar la coquilla con el raspador para extraer el polvo y restos de metal del vertido anterior y colocar la tapa.

Las operaciones de preparación de la máquina se repiten hasta fundirse todos los productos sustituyéndose el botador y la tapa por un juego nuevo para dejar enfriar estos.

3.2.7. Fin de la centrifugación

Después de terminada la fundición, el operario tiene que limpiar el área alrededor de su máquina y dejarla preparada para la próxima jornada.

Mientras se está ejecutando el centrifugado se debe llevar un control estricto de la temperatura de la coquilla.

Accionando el gatillo para que se presente en el panel de control todos los íconos y verificar que el pirómetro está calibrado por el especialista de fundición de acuerdo a las orientaciones del manual de operaciones y en dependencia del material a analizar el verificador comprobará que el equipo está listo para efectuar la medición.

Para medir la temperatura en el hierro, en el panel de control debe aparecer que esa temperatura será medida en °C y la emisividad de 64 y que la temperatura a registrar será la máxima lectura durante la medición.

Se enfocará el objetivo a medir mediante una mira, a la distancia de acuerdo al punto a medir, de acuerdo a la indicación del manual de operaciones.

Se acciona el gatillo hasta el primer paso y cuando aparezca la lectura en el panel de control terminar de accionar el gatillo al segundo paso para que quede registrado en la memoria y se libera el gatillo.

Transcurrido 5 seg. Se acciona el botón mode para leer la máxima lectura registrada durante la operación.

La lectura debe ser registrada.

CAPÍTULO III

Por último se debe realizar la inspección del semiproducto de la camisa. En este caso se garantiza que el semiproducto sea evaluado antes de llegar al área de corte y rebabeo.

Verificar las dimensiones del semiproducto (largo, diámetro y descentramiento).

Observar visualmente la existencia o no, de penetración de polvo en la superficie exterior del semiproducto, así como la ocurrencia de goteo en la superficie interior.

Clasificar los semiproductos inspeccionados en tres grupos (buenas, recuperables y malas).

Informar al área de rebabeo los resultados de la verificación para su posterior rebabeo y corte.

Parámetros de las camisas del motor YUNZ

Tipo: YUNZ.

Diámetro interior: 108 mm.

Largo: 300 mm.

Penetración del polvo: < 3.5 mm.

Descentrado: hasta 3 mm.

Estos parámetros se pueden usar para las camisas del motor YUCHAI ya que son los mismos.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

1. Según la documentación técnica que ofrece el manual del fabricante las camisas constructivamente son de hierro fundido, del tipo húmedas, con una longitud total de 300 mm y diámetro interior de 108 mm con una desviación superior de +0,035 mm y se admite un desgaste límite permisible en explotación de 0.18 mm que corresponde a un diámetro máximo permisible de 108,180 mm .
2. Con la caracterización de laboratorio se determinó que es una fundición gris de grafito laminar tipo nido, con un tamaño de la inclusión de grafito de 30 – 60 μm , la cantidad de la inclusión de grafito de 5 – 8 %, la matriz que presenta es ferrítica – perlítica mayoritariamente perlítica, una composición química de: C 3.30%, Si 2.33%, Mn 1.32%, P 0.049%, S 0.042%, Cu 0.398% Cr 0.397%, y Ni 0.12% y no presenta ningún tipo de tratamiento térmico, ni mecánico.
3. El método más factible a aplicar para la recuperación de las camisas es el método de dimensiones de reparación (elaboración por maquinado a una medida superior prefijada con un pistón sobremedida) ya que esta camisa no cuenta con ningún tipo de tratamiento térmico, ni mecánico lo que facilita la maquinabilidad de la pieza.
4. El método de fabricación a aplicar es el de fundición centrifugada ya que garantiza la mayor calidad en el producto y además existe en empresas del país este equipamiento y experiencias en la producción de camisas de motores, como es el caso del taller Román Roca de la empresa Enrique Villegas. La velocidad de rotación calculada para la centrifugación de la aleación líquida y obtención del semiproducto fundido es de 1148 rpm, siendo este parámetro el más importante a garantizar para lograr la calidad necesaria en el proceso.

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

1. Acometer el estudio y desarrollo de la tecnología de fabricación de los pistones para su obtención y elaboración a dimensiones que permita aplicar la tecnología de recuperación propuesta para las camisas sin depender del fabricante.
2. Tener en cuenta las consideraciones, parámetros tecnológicos, requisitos y especificaciones técnicas en las distintas etapas y operaciones del proceso de fabricación de las camisas para elaborar una tecnología de fundición o una futura transferencia tecnológica a la empresa con el fin de obtener las camisas por este método.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Anderson, J. C.; Leaver, K.D.; Alexander, J.M (1998) *Ciencia de los materiales*. Cuarta edición, London.
2. Colectivo de Autores. (1989). Tecnología de recuperación de los cilindros del motor KAMAZ. Documentación técnica para la reparación del motor KAMAZ. URSS.
3. Ariaz Paz, M. (1966) *Manual de automóviles*. Primera Parte, Ed. Pueblo y Educación, La Habana.
4. Askeland, D. (1991) *La Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Grupo Editorial Iberoamérica, México.
5. Avner, S. H. (1990) *Introducción a la metalurgia física*. Segunda Edición, México. Ed. MacGraw Hill.
6. AZOM.COM. (2002) *Article Grey Iron*. [En Línea]. Disponible en: <http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=783>.
7. Barinov, A. (1988) *Metalurgia y Metalografía*. Ed. MIR, Moscú.
8. Buchholtz, H., Kioster, W. (1960) *Stahl u. Eisen*. s.687. 50.
9. Callister, W. (2003) *Material Science, an Introduction*. Sexta edición, Ed. New Cork John wiley Sons cop.
10. Cardona, A. (2002) *Caracterización de la fundición gris en la industria Fundishell*. Revista Colombiana de física. [En Línea]. Disponible en: http://calima.univalle.edu.co/scf/vol34_1/articulos/3401157.pdf.
11. Castro, G. (2009) *FUNDICIONES. F.I.U.B.A.* [En Línea]. Disponible en: http://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Fundiciones.pdf.
12. Cuppola Handbook (1999) *AFS*. Sexta edición.
13. Díaz Del Castillo Rodríguez, F. (2007) *LECTURAS DE INGENIERÍA 3. Hierros Fundidos*. [En Línea]. Facultad de Estudios Superiores CUAUTITLÁN Izcalli. Disponible en: http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m6/_hierro%20fundido.pdf.

14. Ghaderi, A. R. N.; Ahmadabadi M.; And H. M. Ghasemi (2003) *Effect of graphite morphologies on the tribological behavior of austempered cast iron*. Volumen 225. Issues 1 – 6. 14th International Conference on Wear of Materials.
15. Guliaev, A. B. (1966) *Metalografía*. Tomo I. Ed. MIR, Moscú.
16. Herrera Artilles, A. (2005) *Reparación de Motores y elementos de transmisión*. Universidad Popular de Nicaragua (UPONIC). Managua.
17. Janowak, J.F. Gundlach, R. B. (1987) *Fundiciones Grises Aleadas*.
18. Key To Steel (2002) *Technical Article. Gray Iron. Chemical composition*.
19. Kopp, H. Mitt Forsh-Anst, Ghh-Konzem (1985), H.7, s, 195.
20. Koshnov, N. (1982) *Reparación de Automóviles*. Tomo II, La Habana.
21. Krause, D. E. (1969) *Grey Iron-A Unique Engineering Material. Grey, Ductile and Malleable Iron Castings-Current Capabilities*. ASTM, Special Technical Publications (STP) 455, Philadelphia
22. León Cruz (1993) *Recuperación de piezas por deformación plástica. Manual de recuperación de piezas*. Ed. Científico –Técnica, La Habana.
23. Levitski, I. (1982) *Tecnología de reparación de máquinas y equipos*. Ed. Kolos, Moscú.
24. Merkulov, E. P. (1981) *Restauración de las camisas de los cilindros de los vehículos por el método de deformación térmica*. *Automobilnij transport*, No 4.
25. Pages, E. (2000) [En Línea]. Disponible en: <http://www.advance.com.ar/usuarios/eupages>.
26. Petrov, H. A. (1988) *Reparación de las máquinas agrícolas*. Ed. MIR, Moscú.
27. Pino, L. (2005^a) *Hierros aleados resistentes al desgaste* [En Línea]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos15/hierros-aleados/hierrosaleados.shtml>.
28. Pino, L. (2005^b) *Método gráfico para el control de la calidad de piezas y hierro fundido, basado en el concepto del Carbono equivalente*.
29. Shackelford, J. F. 1996. *Introduction to Materials Science for Engineers*.
30. Google. (2016) "camisas húmedas" [En Línea]. Disponible en: <http://www.domingobruno.com.ar>. (Sustituir por Sociedad anónima 2014)
31. Wikipedia. (2016) "camisas del motor" [En Línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Cilindro_motor. (Sustituir por Sociedad anónima 2015)

32. Manual de explotación del motor YUCHAI. China, Sociedad Anónima (no referenciar)
33. Terán Ochoa, F. (2008) *Investigación y desarrollo de material para la fabricación de camisas*. Tesis Grado, Escuela Superior Politécnica de Litoral, Guayaquil-Ecuador.
34. Titov, N. D. (1985) *Tecnología del proceso de fundición*. Ed. MIR, Moscú.
35. Van De Velde, C. (2000) *Carbide Formation in Cast Iron*. [En Línea]. Disponible en: <http://members.lycos.nl/cvdy/carbidespart1.htm>.

ANEXOS

Anexo 1

DUREZA DEL AGUA: Método volumétrico.

Se toman 50 mL de la muestra (el agua que se analiza) y se llevan a un elenmeyer, se le añaden 4 mL de buffer PH = 10 y una cantidad pequeña de indicador negro de erio cromo T, y se valora con una solución de EDTA de concentración de 0.02 M. El cambio de color que se observa es de color vino azul, se anota el volumen y se procede a realizar los cálculos.

CÁLCULOS

Utilizando la fórmula:

$$D = V \times 20$$

D: Dureza el agua en PPM (partes por millón) de carbonato de calcio

V: Volumen gastado en la valoración.

20: Factor.

Anexo 2

Polvo para el aislamiento entre la coquilla y el semiproducto de la camisa.

Cuarcita en polvo 80 %

Grafito en escama 20 %

Cada unidad del semiproducto lleva lo indicado por el tecnólogo

Tipo de semiproducto	Cantidad de polvo
YUNZ	150

Para las camisas del motor YUCHAI se usa la misma cantidad de polvo.

Anexo 3

Valores de K_0

Aleación	Densidad (g/cm³)	Posición del eje de rotación	K_0	Pieza
Fundición	7.2	Horizontal / Vertical	1800-2500/ 2470-3000	Tubos, bujes / tubos.
Acero	7.85	Horizontal	2150-2730	Piezas huecas.
Bronce	8.4	Vertical	3400	Aros, bujes.
aluminio	3.10 – 3.65	Horizontal	2600-3500	Tubos, bujes.