

Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Mecánica

Trabajo de Diploma

Título: Influencia del vertido vibratorio en la formación estructural del hierro con grafito esferoidal.

Autora: Annety Barea Rojas.

Holguín, 2016

Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Mecánica

Trabajo de Diploma

Título: Influencia del vertido vibratorio en la formación estructural del hierro con grafito esferoidal.

Autor: Annety Barea Rojas.

Tutor: Dr.C. Efraín Eugenio Navas Medina.

Msc. Luminita Dumitrescu.

Holguín, 2016

DEDICATORIA

Dedico este Trabajo de Diploma a Fidel Castro y a la Revolución por darme la oportunidad de estudiar y lograr alcanzar mis sueños de ser una ingeniera. También a mi familia por guiar mis pasos hasta el día de hoy, en especial a mi papá por ser mi faro guía.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer por este triunfo en mi vida a:

- ❖ A mi familia en especial a mi mamá Dicsi Rojas Viguera por brindarme siempre su apoyo, a mi tía Blanca Marilín por guiarme constantemente por el camino correcto, a mi abuela Norma por su crianza tierna y dulce, a mi abuelo Antonio, a mi hermanito Kevin, a mi padrastro Rolando Alberto por apoyarme en esta etapa de mi vida tan importante, a mi novio Lisandro y a mis amistades por estar presentes cuando más los he necesitado.
- ❖ A mis tutores Efraín Navas y Luminita Dumitrescu, y al profesor Rigoberto Pastor por regalar parte de su escaso tiempo y ofrecerme la ayuda necesaria para la realización de este trabajo.
- ❖ Al claustro de profesores de Ingeniería Mecánica por prepararme y educarme para la vida personal y profesional.

A todos un millón de gracias.

RESUMEN

Para dar cumplimiento a la tarea propuesta se acudió a la ayuda de varias empresas. En la Empresa Mecánica “Héroes del 26 de julio” se realizó el trabajo investigativo el cual fue desarrollado hasta el vertido de los moldes en el taller de fundición, en tanto la preparación de las muestras y el estudio metalográfico en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Holguín. Un horno de cubilote fue utilizado para la fusión del hierro, como nodulizante se empleó la cola de Níquel de la Empresa René Ramos, por poseer mejor composición química, como inoculante el FeSi 45 y el vertido con cámara en el molde, utilizando los métodos estático y vibratorio. El objetivo general, es realizar un estudio metalográfico que permita conocer la influencia del vertido vibratorio en la formación de la cantidad de perlita y ferrita del hierro con grafito esferoidal. En el trabajo se evaluaron los procedimientos existentes que intervienen en la obtención de hierro con grafito esferoidal por el tratamiento en el molde; los antecedentes del vertido vibratorio en la obtención de fundidos de metales ferrosos y no ferrosos y se realizó un estudio metalográfico que permitió conocer la influencia del vertido vibratorio en la formación de la perlita y la ferrita y como varía el porcentaje de cada una en el hierro con grafito esferoidal.

SUMMARY

He resorted to several companies help in order to give fulfillment to the proposed task. At the Mechanical Company Heroes of the July 26 which accomplished the investigating work itself the poured went developed even from the molds at the casting shop, in the meantime the preparation of the signs and the study metalográfico in Ingeniería's Faculty of Holguín's University. A shaft furnace was used for the fusion of iron, like nodulizante the FeSi used Níquel's tail of the Company René Ramos to possess better chemical composition, like inoculante it self 45 and the poured with camera in the mold, utilizing the static and vibratory methods. The general objective, Graphic metal that you allow is to accomplish a study knowing vibratory the influence of the poured in the formation of the quantity of little pearl and ferrite of the iron with spheroidal graphite. They evaluated the existent procedures that intervene in the obtaining of iron with spheroidal graphite for the treatment in the mold at work; The vibratory background of the poured in the obtaining of dissolves of ferrous metals and no ferrous and metalográfico that you allowed accomplished a study itself knowing vibratory the influence of the poured in the formation of the little pearl and the ferrite and as each in the iron with spheroidal graphite varies the percent of.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO (In Mold) EN LA OBTENCIÓN DE HIERRO CON GRAFITO ESFEROIDAL, SU FORMACIÓN ESTRUCTURAL Y LOS ANTECEDENTES DEL MÉTODO DE VERTIDO VIBRATORIO.....	6
1.1 Procedimiento de fusión en horno de cubilote.	6
1.1.1 Materiales utilizados durante el trabajo del cubilote:	6
1.1.2 Preparación de los materiales.	7
1.1.3 Preparación del cubilote para la fusión.	7
1.1.4 Operaciones a realizar.	9
1.2 Antecedentes fundamentales en la obtención del hierro nodular.	11
1.3 Parámetros que influyen sobre la obtención del hierro con grafito esferoidal por el proceso (In Mold) y el método de vertido vibratorio.	14
Porcentaje de magnesio residual deseado.	19
Diseño del sistema de alimentación.	20
Peso de la colada.	20
Granulometría.	21
Diseño de la cámara de reacción.	21
1.4 Antecedentes del vertido vibratorio en la obtención de fundidos de metales ferrosos y no ferrosos.	23
Influencia de la composición química sobre la estructura de la fundición.	26
CAPÍTULO 2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA FORMACIÓN DE LA PERLITA Y LA FERRITA EN EL HIERRO CON GRAFITO ESFEROIDAL.....	29
2.1 Diseño de la cámara en el sistema de alimentación.	29

2.2 Utilización del vertido dinámico con el nodulizante e inoculante en la cámara de reacción.	30
2.3 Selección de la cola de níquel como nodulizante.	31
2.4 Uso de inoculantes.	32
2.5 Obtención de probetas en el molde.	33
2.6 Preparación y ensayo de las muestras.	34
2.7 Análisis metalográfico	35
Análisis de resultados.	36
CONCLUSIONES	41
RECOMENDACIONES	42
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
SIMBOLOGÍA	53
ANEXO 1	55

INTRODUCCIÓN

La fundición es un proceso de fabricación de piezas, comúnmente metálicas que consiste en fundir un material e introducirlo en una cavidad, llamada molde, donde se solidifica. Este proceso tradicionalmente es realizado en arena, por ser ésta un material refractario muy abundante en la corteza terrestre y mezclada con arcilla, adquiere cohesión y moldeabilidad sin perder la permeabilidad que posibilita evacuar los gases del molde al tiempo que se vierte el metal fundido.

La tendencia en la industria metalmecánica mundial es la de sustituir las piezas de acero e hierro fundido, por hierro con grafito esferoidal, debido a que puede superarlos en cuanto a sus propiedades de fundición, menor densidad y menor costo por tonelada, siendo evidente fundamentalmente en la industria automovilística, la naval, la construcción de maquinarias y en la industria azucarera. Dicho apogeo es gracias al desarrollo del tratamiento térmico de austemperizado, lo que ha permitido obtener fundiciones competitivas con los aceros, conocidas internacionalmente como ADI, o sea hierros dúctiles austemperados.

El taller de fundición de hierro y acero de la Empresa Mecánica “Héroes del 26 de Julio”, es una de las pocas entidades en el país que produce, aunque en poca proporción, hierro con grafito esferoidal. Este taller está ubicado en la carretera de San Germán km 3 ½, Holguín, fue fundada en julio de 1980 y redimensionada en el año 2003 y consta de dos talleres fundamentales para su producción.

El taller de producciones ferrosas cuenta con un horno de cubilote de 700 mm de diámetro interior. La capacidad calculada del mencionado taller es de 360 toneladas de hierro al año. Se producen piezas principalmente para la Industria Mecánica, el Ministerio de la Industria Azucarera, el Ministerio del Turismo (MINTUR), el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) y el Ministerio de la Industria (MINDUS), entre otras.

El arrabio para fundición, se hace compleja su adquisición en nuestro país, por lo que se han ejecutado una serie de ajustes en las condiciones de producción, donde el material base para la fusión en los hierros fundidos lo constituye la chatarra de hierro.

Las fundiciones se realizan en hornos de cubilote utilizando chatarra de hierro proveniente mayoritariamente del Ministerio de la Industria Azucarera, lo que trae como derivación que el contenido de azufre en la misma sea relativamente elevado. Es conocido que el azufre es el principal demodificador para la obtención de aleaciones de hierro con grafito esferoidal. En Cuba para la fusión de hierro, se utilizan hornos con revestimiento ácido, esto hace muy difícil el control del contenido de azufre dentro del horno.

El moldeo en los talleres de fundición de nuestro país es bastante antiguo, y es un poco escaso el uso de métodos avanzados para la obtención del molde, ya que para la industria cubana es difícil adquirir materiales especializados para la producción de hierro con grafito esferoidal de tecnología más actualizadas, lo que hace imprescindible el uso de cajas para este paso tecnológico.

No obstante nuestros investigadores han trabajado esta temática y desde principios de los años 90 se emplean métodos como el vertido en el molde para la obtención del hierro nodular, además ya en este siglo se logró a escala semindustrial el empleo de las colas de níquel como elemento nodulizante utilizando el proceso de vertido en el molde. Rigoberto Pastor Sánchez Figueredo en el 2013 logró unir todos estos beneficios científicos con buenos resultados, sin embargo, aunque los resultados son significativos no se tiene certeza de la posible influencia del empleo del vertido vibratorio sobre la formación de la estructura metálica perlita y ferrita como base metálica y que juegan un papel definitorio en las propiedades mecánicas de las piezas.

Estas particularidades industriales han provocado el surgimiento del siguiente **problema científico**: se desconoce la influencia del vertido vibratorio en la formación de la cantidad de perlita y ferrita en el hierro con grafito esferoidal.

Por ese motivo surge como **objeto de estudio**: la estructura metálica del hierro con grafito esferoidal, y como **campo de estudio**: la formación de perlita y ferrita en el hierro con grafito esferoidal obtenido por el método de vertido vibratorio.

La investigación plantea como **hipótesis** que, si se realiza el estudio de la formación de la perlita y la ferrita del hierro con grafito esferoidal, se podrá conocer la influencia que ejerce el vertido vibratorio en el cambio de la cantidad de fases de la matriz metálica.

El **objetivo del trabajo** es: realizar un estudio metalográfico que permita conocer la influencia del vertido vibratorio en la formación de la cantidad de perlita y ferrita del hierro con grafito esferoidal.

Como **tareas científicas** se plantean:

Realizar una revisión bibliográfica actualizada de los métodos a utilizar en el Trabajo de Diploma.

Evaluar los antecedentes del vertido vibratorio en la obtención de fundidos de metales ferrosos y no ferrosos.

Evaluar los procedimientos existentes que intervienen en la obtención de hierro con grafito esferoidal por el tratamiento en el molde.

Realizar un estudio metalográfico que permita conocer la influencia del vertido vibratorio en la formación de la cantidad de la perlita y la ferrita del hierro con grafito esferoidal.

Procesar la información obtenida durante la investigación.

Elaborar el informe final.

Los beneficios esperados de la investigación se expresan en el conocimiento de la influencia que ejerce el vertido vibratorio en la formación de la perlita y la ferrita en el hierro con grafito esferoidal.

Métodos de investigación utilizados:

Los métodos científicos cumplen una función fundamental en el desarrollo de la ciencia, ya que permiten obtener nuevos conocimientos sobre el fenómeno que se estudia y ejercen un papel importante en la construcción y desarrollo de la teoría científica. A continuación se exponen los métodos fundamentales utilizados en la investigación:

Método histórico-lógico: Este se aplicó para establecer un estudio sobre los antecedentes de la influencia que ejerce el vertido vibratorio en la formación de la perlita y la ferrita en el hierro con grafito esferoidal, lo que permitió establecer el marco teórico referencial, permitiendo conocer que se ha investigado sobre el tema objeto de estudio a fin de sustentar el objeto y el campo de la presente investigación.

Método de inducción-deducción: Se aplicará para la evaluación de los diferentes criterios que intervienen en la influencia que ejerce el vertido vibratorio en la formación de la perlita y la ferrita en el hierro con grafito esferoidal.

Método de la observación científica: Se utilizará para observar la influencia que ejerce el vertido vibratorio en la formación de la perlita y la ferrita en el hierro con grafito esferoidal, para analizar cómo se comportan las variables en su accionar en el objeto; ver su respuesta y efecto.

Método de análisis y síntesis: Se utiliza para identificar los factores principales y las características que influyen en el fenómeno que se estudia, así como su interrelación. Se aplicará para identificar las etapas que intervienen en el análisis de la influencia que ejerce el vertido vibratorio en la formación de la perlita y la ferrita en el hierro con grafito esferoidal.

Método computacional: Se utiliza durante la concepción y desarrollo de la aplicación informática para asistir en el cálculo de los parámetros que intervienen en el análisis de la influencia que ejerce el vertido vibratorio en la formación de la perlita y la ferrita en el hierro con grafito esferoidal.

Método experimental: Se crean las condiciones o adecuan las existentes en el análisis de la influencia que ejerce el vertido vibratorio en la formación de la perlita y la ferrita en el hierro con grafito esferoidal y para modificar las condiciones bajo las

cuales tienen lugar el fenómeno de forma planificada. Además, para verificar la hipótesis formulada.

_El informe de tesis se estructura en la siguiente forma:

_Introducción.

_Capítulo 1. CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO (In Mold) EN LA OBTENCIÓN DE HIERRO CON GRAFITO ESFEROIDAL, SU FORMACIÓN ESTRUCTURAL Y LOS ANTECEDENTES DEL MÉTODO DE VERTIDO VIBRATORIO.

En este capítulo se realiza un estudio de la producción de hierro en cubilote y del estado actual del proceso de obtención de hierro con grafito esferoidal, por el proceso (In Mold) y los antecedentes del método de vertido vibratorio.

_Capítulo 2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA FORMACIÓN DE LA PERLITA Y LA FERRITA EN EL HIERRO CON GRAFITO ESFEROIDAL.

En este capítulo se expone en detalles todos los elementos que componen el análisis para demostrar la influencia que ejerce el vertido vibratorio en la formación de la perlita y la ferrita en el hierro con grafito esferoidal.

_Conclusiones.

_Recomendaciones.

_Bibliografía.

CAPÍTULO 1. CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO (In Mold) EN LA OBTENCIÓN DE HIERRO CON GRAFITO ESFEROIDAL, SU FORMACIÓN ESTRUCTURAL Y LOS ANTECEDENTES DEL MÉTODO DE VERTIDO VIBRATORIO.

En este capítulo se examinarán todos los factores y parámetros que intervienen en el proceso de obtención del hierro con grafito esferoidal tomando como base el hierro laminar producido en Cubilote y posteriormente tratado por el método de vertido vibratorio, con el objetivo de realizar un estudio metalográfico que permita conocer la influencia de este modo de vertido por el procedimiento (In Mold) en la formación de la perlita y la ferrita del hierro para así identificar las principales variables que intervienen en el desarrollo de la tecnología para la obtención de este tipo de material.

1.1 Procedimiento de fusión en horno de cubilote.

/48, 62, 66, 71/

El taller de producciones ferrosas se caracteriza por contar con un horno de cuba alta discontinuo de 700 mm de diámetro interior con capacidad para 1000 kg. La capacidad calculada del mencionado taller es de 360 toneladas al año. El moldeo se realiza en cajas metálicas de dimensiones 1000 mm x 800 mm x 300 mm y 630 mm x 500 mm x 250 mm y se utilizan mezclas en verde. En la actualidad, la carga para la producción del hierro fundido gris presenta la siguiente composición: 70% de chatarra de hierro y 30 % de retorno. En el anexo 1 aparece la descripción del cubilote.

La obtención de hierro con grafito laminar se realiza mediante una tecnología tradicional.

1.1.1 Materiales utilizados durante el trabajo del cubilote:

a) Carga metálica:

Lingotes de hierro

Chatarra de hierro

Desechos metálicos del proceso productivo (tragaderos, sistemas de alimentación, respiradero, mazarota, etc.)

b) Ferroaleaciones

Ferro silicio (45 % ó 75 %)

Ferro manganeso (75 %)

c) Fundentes:

Piedra caliza (CaCO_3 de 98% de pureza y tamaño: 25 mm – 75 mm)

Fluoruro de calcio en piedras (Ca F_2 de tamaño: 20 mm – 50 mm)

Óxido de calcio en piedras (CaO de tamaño 25 mm – 75 mm)

Piedra caliza Gravilla de Construcción (CaCO_3 de 98 % de pureza y tamaño: 10mm – 75 mm).

d) Combustible:

Coque.

Especificaciones de calidad del coque:

Tamaño: 73 mm – 120 mm

Carbón fijo mayor del 86%

Ceniza menor del 12%

Materiales volátiles menores del 2%

Azufre menor del 0,8%

1.1.2 Preparación de los materiales.

/63, 64, 65, 67, 68/

La chatarra de hierro se clasifica de acuerdo a su calidad y composición química, se parte en pedazos con mandarrias (manualmente) o conpera de 500 kg – 800 kg.

Los desechos de la propia producción se parten con mandarria o pera. No deben contener excesiva cantidad de arena sílice ni machos.

El tamaño de la carga metálica no debe exceder de 1/3 del diámetro interior del horno, o sea, 250 mm x 250 mm x 100 mm y un peso no mayor de 35 kg.

1.1.3 Preparación del cubilote para la fusión.

a) El horno se limpia de residuos de hierro, coque y escoria; los canales de descarga y del escoriador, todo se limpia con barreta, mandarria, pala y rastrillo.

b) El fondo del horno se limpia de los restos de la fusión anterior, utilizando martillo, cincel, barreta, pala, rastrillo y la grúa. Esto se efectúa con golpes fuertes. Se separan el coque y los restos de carga metálica sobrantes para utilizarlos en la próxima fundición. Se separan los restos de escoria y arena para eliminarlos del proceso.

c) Las paredes del interior del hornose limpia de los restos de la fusión anterior, utilizando un martillo y un cincel. Esto se efectúa con golpes fuertes y cortos para proteger el revestimiento de las sacudidas y conservar la superficie de la capa cristalina del mismo.

d) Los sitios dañados de la cuba se reparan humedeciendo con agua de arcilla refractaria o mezcla refractaria de empaque preparada para ello según Revestimiento refractario del horno de cubilote” y luego se aplica una capa de derretido refractario de un espesor no mayor de 20 mm a 25 mm, las partes más profundas se tapan con mezcla enla cual se introducen ladrillos refractarios. Se repara con especial cuidado la zona de fusión, a una altura de 700 mm a 1200 mm sobre las toberas.

e) La zona de las toberas se repara con mezcla refractaria y trozos de ladrillos.

f) Piso o solera:

Se cierra la tapa inferior o compuerta, fijándola con un puntal y tornillos de fijación.

Las rendijas entre la compuerta y la solera se tapan con pedazos de ladrillo recto con marcado R-32.

Para rellenar el piso o solera se utiliza mezcla de moldeo con las siguientes propiedades: resistencia en verde mayor de 39.24 MPa, humedad de 4 % a 6 %.

La mezcla se apisona por capas de 50 mm a 60 mm dejando la superficie plana con una pendiente hacia el centro y en dirección al paso del metal al canal de descarga, de 6 grados a 10 grados.

Se limpia el ladrillo de la piqueta y el canal. Si no está en buenas condiciones se cambia y se revisten con mezcla refractaria al igual que todos los ladrillos del canal.

1.1.4 Operaciones a realizar.

/70, 71, 74, 75/

- Encendido:

Introducir por la boca de carga dos carros de leña (35 kg), se humedece con petróleo o mazut y se coloca un saco humedecido con petróleo por la puerta de trabajo y se enciende.

Se abren las toberas y se deja la puerta de trabajo con una abertura de aproximadamente 400 mm x 230 mm para aprovechar el tiro de aire natural en el encendido de la leña y adicionar aire comprimido por la piqueta.

Cuando la leña esté encendida se adiciona el primer carro de coque (120 kg), cuando éste esté bien encendido (emite una llama amarilla sin humo) se adicionan 130 kg de coque y luego otro carro de coque (120 kg) y cuando se encienda todo se cierra la puerta de trabajo con derretido refractario y ladrillos.

Cerrar las toberas después de darle un calentamiento de aproximadamente 1,5 horas a 2 horas.

Conectar el ventilador de 10 segundos a 20 segundos para eliminar algunas cenizas.

Medir la cama de coque utilizando una barra o tubo de acero en forma de Z. La cama debe tener 1200 mm por encima del nivel de las toberas después de haber baqueteado a través de las toberas para facilitar el descenso y acomodamiento del coque.

Retirar el aire comprimido de la piqueta.

- Carga del horno y fusión:

Se procede a cargar el horno con 8 cargas hasta llegar a la boca de carga alternando coque, metal y fundente. En el cesto de carga se echa primero el fundente, luego el metal y por último el coque.

Se esperan 20 minutos (min) para el calentamiento de la carga y luego cerrar las toberas y el escoriador con un tapón de arcilla.

Conectar el ventilador. El primer hierro fundido debe correr por la piquera y el canal de descarga en un tiempo de 8 min a 10 min.

Se dejan correr de 15 kg a 25 kg de hierro fundido por el canal y se cierra la piquera con un tapón de arcilla refractario con la tapera.

Limpiar el canal de restos de metal y otros elementos.

Colocar una de las cazuelas de más de 1.2 toneladas (t) de capacidad sobre el soporte del carro y trasladarla hasta la parte inferior del canal de descarga mediante rieles.

Todas las cazuelas que son utilizadas en la fundición tienen que estar secas y con temperatura superior a los 200 °C.

Cuando el metal líquido comienza a derramarse por la bigotera de escoria indica que el crisol del horno está lleno y se procede a picar o romper el tapón de arcilla con una barreta puntiaguda.

Una vez que comienza a salir la escoria por el orificio de descarga se procede a tapar el mismo con un tapón de arcilla utilizando para ello la barra de ataque o tapera.

El horno se carga cada 5 min ó 7 min. y se mantiene lleno hasta la parte inferior del umbral de la boca de carga.

Reforzar la cama de coque con una carga de sólo coque y fundente cada 8 cargas (o sea la carga 8, 16, 24, etc.).

Limpiar las toberas cada 30 min. La presión y el flujo del aire son constantes durante toda la fusión.

Las 2 últimas cargas son de metal solamente.

En la fase final de la fundición se abre la válvula de escape de la caja de aire para disminuir la presión de aire en unos 200mm a 300 mm de la columna de agua.

- Final de la fusión:

Desconectar el ventilador, abrir las toberas y extraer todo el metal líquido que queda dentro del horno.

Aflojar los tornillos de sujeción del fondo del horno.

Liberar el pestillo tirando de un cable de acero con una longitud no menor de 6 m.

Los restos del metal no fundido, combustible, fundente, escoria, etc. caen sobre una cama de arena con el fin de evitar accidentes.

Extinguir los restos antes mencionados, utilizando una cortina de agua.



Figura 1.1 Horno de cubilote del taller de fundición de hierro y acero de Holguín.

1.2 Antecedentes fundamentales en la obtención del hierro nodular.

/16, 22, 25, 32,36, 43, 54, 60, 68, 70/

Son diversos los investigadores que han abordado la obtención del hierro con grafito esferoidal por el proceso (In Mold), con la finalidad de determinar los parámetros que influyen sobre el proceso de lograr optimizar los mismos, de forma tal que se obtengan aleaciones con altas propiedades y con el menor costo posible.

En investigaciones y experimentos realizados se logra de forma práctica establecer una interrelación entre el factor solución y el contenido de magnesio residual en la pieza. Para este tipo de proceso es indispensable determinar el nivel de magnesio (Mg) residual requerido en el metal, en correlación con el magnesio presente en el

nodulizante para las condiciones particulares requeridas del metal. Se recomienda utilizar la relación cuantitativa de la aleación nodulizante a través de la ecuación (1.1)

$$Ra = \frac{Mg_{res}}{Mg} \quad (\text{Adimensional}) \quad (1.1)$$

Donde:

Ra: relación cuantitativa de la aleación (adimensional)

Mg res: Magnesio residual deseado (%).

Mg: cantidad de magnesio que reacciona en dependencia del rendimiento de la aleación nodulizante (%).

Se ha establecido que la efectividad de la nodulización es más alta, cuando el tiempo desde la adición del nodulizante hasta el comienzo de la solidificación no es prolongado, independientemente del lugar donde sea aplicado el nodulización.

Para esto, deben ser tomados en cuenta dos requerimientos fundamentales:

La pre-aleación debe disolverse con prontitud y continuar con una concentración fija y uniforme desde el inicio hasta el fin del vertido.

Los residuos de pre-aleación sin disolver no deben dejarse arrastrar hacia el interior de la pieza.

Para satisfacer estas condiciones, la pre-aleación debe ser agregada en la forma física más apropiada, es decir, en una sola pieza o en granos sueltos o con filtros inoculantes y granos compactos, según sea necesario.

Una solución satisfactoria al problema de la disolución uniforme se denominó proceso (In Mold) con cámara de reacción. Consiste en colocar la aleación en forma de gránulos en una cámara convenientemente diseñada que mantenga una velocidad de disolución constante durante el vertido, siempre y cuando la velocidad de flujo del hierro sea invariable.

La sección transversal horizontal de la cámara que contiene la aleación se debe mantener al mismo nivel, de modo que, el área superficial de la aleación expuesta al flujo del hierro siempre sea constante durante el vertido.

Para un tipo de aleación, la velocidad de disolución está determinada por el tamaño de la cámara y por otros parámetros de la colada. El tratamiento en el molde ofrece las siguientes ventajas:

Alto aprovechamiento de la pre-aleación y excelente calidad en la microestructura.

No es necesario el escoriado entre las operaciones de adición de aleación y vaciado.

Se obtienen diferentes marcas de hierro con grafito esferoidal, con solo adicionar la cantidad y calidad propia de nodulizante en cada molde, dependiendo de los requerimientos.

No se presenta el fenómeno de piroefecto o emisiones de humo no hay contaminación del metal no vertido y este puede ser regresado al horno sin ningún problema posterior.

La factibilidad de adiciones totalmente automáticas del nodulizante.

Sin embargo, mientras se presentan estas considerables ventajas, el proceso de tratamiento en el molde también se ve afectado por algunas características desfavorables que requieren una atención cuidadosa, éstas son:

Necesidad de una cámara de reacción adecuada y a veces excesivamente grande.

Tendencia a inducir algunas inclusiones en las fundiciones.

Necesidad de nuevos conceptos de control de la calidad en la producción.

Una preocupación de los productores de hierro con grafito esferoidal obtenidos por el método (In Mold), es la tendencia a la introducción de escoria e inclusiones a la pieza.

Con respecto a ese punto, en investigaciones recientes se plantea que al establecer una relación de los componentes del sistema de alimentación, en donde cada elemento es un 12 % menor que el anterior (alimentadores, escoriador, salida de la cámara, conexión con cámara, tragadero), el flujo de metal logra que en cada componente siguiente del sistema de alimentación, el cual tiene mayor altura que el anterior, queden atrapadas las suciedades en la parte superior de la sección, evitando así su paso a la parte posterior y sucesivamente va sirviendo de trampa hasta lograr una pieza limpia.

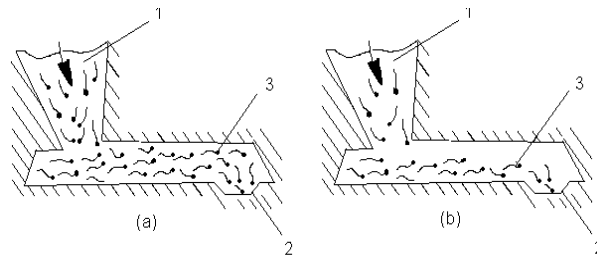


Fig. 1.2 Esquema de desplazamiento de la masa fundida en un colector de escoria lleno(a) y sin llenar (b). /71/

La distancia entre los alimentadores y la salida desde la cámara de reacción no debe ser inferior a los 150 mm, así como la altura del modificador en la cámara de reacción no debe ser inferior a los 30 mm. De ser así, se observa una disolución brusca del modificador en los primeros cinco segundos sin dar tiempo a la modificación total del nodulizante.

Se han realizado investigaciones sobre la nodulización en el molde y algunas consideraciones iniciales sobre las características que debían cumplir los nodulizantes, de modo que fuesen efectivos y seguros en su comportamiento, estas fueron:

El nodulizante tenía que ser eficiente en la nucleación del grafito y por lo tanto, limitar o eliminar la formación de carburos.

En vista del corto período de aplicación, el nodulizante tenía que ser razonablemente soluble de forma que su efecto fuera completo antes de la solidificación de la pieza. Al respecto, se consideraron importantes tanto el carácter nodulizante como la granulometría de las partículas.

La distribución del nodulizante tenía que ser uniforme para evitar que quedasen zonas de hierro sin nodulizar dentro de la pieza.

El nodulizante no debería introducir inclusiones perjudiciales en la pieza.

1.3 Parámetros que influyen sobre la obtención del hierro con grafito esferoidal por el proceso (In Mold) y el método de vertido vibratorio.

/6, 22, 25, 29, 31, 32, 42, 45, 46, 57, 58, 104/

Es necesario tener en consideración parámetros claves para conseguir un buen desempeño del proceso (In Mold) tales como son la temperatura de vertido, el tiempo de vertido, el factor de solución, la composición química del nodulizante, la granulometría, la cámara de reacción, el diseño del sistema de alimentación, la eficiencia del magnesio (Mg), el peso de la colada, el porcentaje de Mg requerido en la pieza y la cantidad de aleación nodulizante. De esta forma, se explican con detenimiento cada uno de los parámetros antes mencionados para una mejor apreciación.

✓ Temperatura de vertido.

Es de vital importancia el control de la temperatura de vertido en este proceso, ya que de esta depende en gran medida la disolución del nodulizante, limpieza de la pieza, la nodularidad y por lo tanto la eficiencia del magnesio.

En estudios realizados sobre el efecto de la temperatura de vertido en el proceso (In Mold) sobre la nodularidad, es revelado que en el rango de 1365°C a 1450 °C no existe efecto adverso alguno de gran significación (preferentemente en la región de 1425°C a 1450 °C). Con temperaturas menores a 1360 °C pueden surgir problemas como aleación no disuelta, conjuntamente con defectos de escoria, uniones frías y otros. La velocidad de formación de óxidos sólidos se incrementa conforme la temperatura disminuye.

La temperatura más importante relacionada con el proceso (In Mold), es la del metal al salir de la cámara de reacción. Durante el vertido de la cazuela al molde se pierden de 50°C a 60 °C y otros de 20°C a 30 °C durante el flujo desde el tragadero hasta los canales de entrada a la cámara de reacción. Entonces, la temperatura de entrada del metal a la cámara de reacción es aproximadamente 80 °C menor que la temperatura de vertido. Por esta razón, se requiere una temperatura de vertido mayor que en los otros procesos para producir hierro con grafito esferoidal.

Teniendo en cuenta las condiciones del taller de fundición de hierro y acero (FHA), se escoge un rango de temperatura de salida del metal del horno de 1425°C a 1450 °C, permitiendo que, sumando las pérdidas de temperatura, ésta a la salida de la

cámara de reacción sea de alrededor de 1370 °C, valor admisible de acuerdo con referencias bibliográficas.

✓ Contenido de azufre del metal base.

Es primordial controlar los niveles de azufre (S) del metal base, ya que estos intervienen en la eficiencia del magnesio (Mg), es decir en la economía del proceso, así como en la obtención de una nodularidad aceptable en las piezas. Para este proceso se recomienda un nivel de azufre (S) de 0.015% para así minimizar el uso de la aleación nodulizante.

Pudiesen utilizarse mayores valores de azufre (S), pero deberán ser empleados mayores niveles de magnesio (Mg), con una posible tendencia a formar escorias de sulfuro de magnesio, silicatos de aluminio-magnesio y con esto, defectos y un aumento del costo. El por ciento de S, elemento difícil de controlar según las características del proceso de fusión de la fundición hierro – acero, se encuentra en un 50 % por encima de lo recomendado.

Teniendo en cuenta a lo antes mencionado y asumiendo que la recomendación se refiere a las producciones a gran escala, se concluye que:

-Es necesario aplicar una tecnología de desulfuración en cazuela para la producción de hierro con grafito esferoidal a gran escala en esta empresa, debido a que el porcentaje de azufre (S) se encuentra alterado y esto provocaría un encarecimiento del proceso.

-El contenido de S no influye notablemente para la ejecución de trabajos experimentales a pequeña escala, pues se puede suplir el efecto demodificador del mismo con aumento de Mg, cuestión que en la producción a gran escala afecta la economía del proceso.

Producto de la ausencia de arrabio y la introducción de chatarra de hierro rica en azufre (S), el contenido medio de S en el metal producido en el taller de fundición de hierro y acero era de 0,067 %, aumentando este en 44,77 % con relación al contenido de azufre promedio, debido a que existe una gran afinidad entre el azufre(S) contenido en el metal base y el magnesio (Mg) contenido en el nodulizante

adicional, durante el tratamiento se desarrollan ciertas reacciones químicas, una de ellas es la expresada por (1.2).



De la estequiometría de esta reacción se puede deducir el porcentaje de magnesio (Mg) necesario para neutralizar el efecto nocivo del azufre sobre la nodulización (1.3).

$$Mg = S \cdot 0,76 \quad (\%) \quad (1.3)$$

Donde:

Mg : Magnesio necesario para neutralizar el efecto nocivo del azufre (%).

S : Concentración de azufre en la aleación base (%).

MgS: sulfuro de magnesio

✓ Velocidad de vertido.

Aunque la bibliografía plantea, que ésta se puede adecuar a las condiciones de cada planta y realizar los cálculos de los otros parámetros a partir de un valor prefijado de la velocidad de vertido, se puede afirmar categóricamente que en caso de no existir experiencia en ese sentido, se puede tomar como valor de la velocidad de vertido el resultado del cálculo recomendado por Dunks como punto de partida y luego adecuar la misma en dependencia de las condiciones propias de la planta.

Es debido tener en cuenta el tipo de vertido, la cazuela utilizada y la habilidad de los operarios durante el desarrollo del proceso (In Mold), ya que influye en el tiempo de vertido de la pieza, en el factor de solución empleado y por consiguiente en la velocidad de disolución de la aleación, etc.

Está claro que al aumentar la velocidad de vertido se reduce el tiempo de vertido. En otros casos, se recomienda partir del cálculo del tiempo de vertido y luego se determina sobre la base de éste, la velocidad de vertido. La velocidad de vertido se puede modificar, variando el diámetro del embudo y tragadero del sistema de alimentación de la colada.

✓ Tiempo de vertido.

Otro factor importante que debe considerarse durante el desarrollo del proceso (In Mold) para producir buenas piezas es el tiempo de vertido. Este es directamente controlado por el sistema de alimentación. Como se mencionó anteriormente, el tiempo de vertido afecta directamente a la velocidad de vertido e indirectamente a la velocidad de disolución de la aleación nodulizante. Para una velocidad de vertido constante, el tiempo de vertido se incrementa conforme al peso de la pieza.

- ✓ Composición química de la aleación nodulizante.

Es indispensable conocer la composición química y densidad de la aleación nodulizante utilizada en el proceso, para posteriormente determinar la cantidad de aleación nodulizante requerida y el diseño de la cámara de reacción.

La relación Si/Mg en algún momento pueden propiciar alteraciones en el tamaño de la cámara de reacción, en particular al área superficial de la misma. Si la relación Si/Mg es mayor que 11 hay una baja reactividad y se requiere de una cámara de reacción con una gran área superficial para alcanzar disolver completamente la aleación durante el tiempo de llenado del molde.

Por su parte, si la relación Si/Mg es menor de cinco, significa que existirá una reacción excesiva debido a la alta concentración de magnesio (Mg). En este último caso no se requiere de grandes áreas superficiales de las cámaras de reacción.

La relación Si/Mg siempre hay que considerarla, ya que, si en un momento determinado no llegase a disolver completamente la aleación, cuando todas las variables del proceso están bien controladas, esta podría darnos la pauta para solucionar el problema.

- ✓ Cantidad de aleación nodulizante.

La cantidad de aleación nodulizante durante el proceso (In Mold) debe ser la necesaria, ya que si es insuficiente no se obtiene una nodularidad satisfactoria en la pieza o ninguna. Por lo contrario, si es excesiva es probable que existan problemas de disolución incompleta del nodulizante, inclusiones de escoria y una reducción en la economía del proceso.

Es preciso determinar la cantidad de aleación nodulizante requerida, ya que de ella depende en gran medida la eficiencia del magnesio (Mg), la disolución, el contenido de Mg deseado en la pieza y por supuesto, la economía del proceso.

- ✓ Eficiencia del magnesio.

La ventaja más importante que presenta el proceso (In Mold) comparado con otros procesos de nodulización, es precisamente la gran eficiencia obtenida por el magnesio (Mg), siendo ésta generalmente superior al 80 %. Sin embargo, puede variar entre una pieza y otra, y en las diferentes plantas debido al procedimiento utilizado, y a muchos otros factores como son: el peso de la pieza, composición química del nodulizante, temperatura de operación, nivel de azufre del hierro base, cantidad de nodulizante agregado y de la disolución de la aleación nodulizante.

Es recomendable realizar un análisis químico y verificar o comprobar que se obtengan eficiencias satisfactorias deseadas, después de la solidificación de piezas obtenidas por este proceso.

Porcentaje de magnesio residual deseado.

/2, 60, 106/

En trabajos investigativos realizados se señala que debe quedar por lo menos un 0,04 % de magnesio (Mg) residual para conseguir que todo el grafito sea esferoidal (otros autores delimitan un intervalo entre 0,035 % y 0,05 %) y para obtener a la vez, la mejor combinación de características mecánicas.

La cantidad de magnesio residual depende de los siguientes factores, entre otros: cantidad de pre-aleación, peso de la pieza, composición química del nodulizante (%de Mg), eficiencia del magnesio, contenido de azufre, etc.

Cuando el contenido de magnesio residual en la fundición es excesivo, lo cual no es recomendable, en la micro estructura pueden aparecer racimos de hojuelas de grafito esferoidal y flotación de nódulos, así como existe una mayor contracción y por lo tanto es mayor el rechupe en las piezas. Por el contrario, cuando el contenido de magnesio en la fundición es bajo, se producirá en la microestructura grafito vermicular o mezclas de grafito en forma esferoidal y laminar.

Diseño del sistema de alimentación.

/58, 61, 70, 71/

El diseño del sistema de alimentación influye en la velocidad de disolución de la aleación, el factor solución, el diseño de la cámara de reacción, el peso total de la colada, etc.

La posición de la salida del metal de la cámara debe provocar una retención momentánea del hierro entrante sobre la cámara de reacción antes de permitir que el metal pase a los otros elementos del sistema de alimentación. También debe evitar puntos muertos en la cámara, ya que ésta es un área potencial para la erosión de la arena. Se incorporará cuanto sea posible, diseño de radios lisos. Se debe procurar sencillez al diseñar las dimensiones.

El área del escoriador puede variarse, de tal forma que se obtenga una velocidad adecuada de flujo del metal dentro del molde y con esto conseguir fundiciones limpias, libres de inclusiones de arena. Se ha sugerido que mientras se procure mantener una distancia mínima de 150 mm entre la cámara de reacción y el primer conducto de entrada a la pieza, las velocidades requeridas del metal serán entre 200 mm/s y 500 mm/s (8 pulg/s y 20 pulg/s).

Con áreas de escoriador 12 % más grandes que el área de entrega al choque (o alimentadores), se alcanzan velocidades de 700mm/s a 760 mm/s (28pulg/s a 30 pulg/s). Esto lavarás las inclusiones en su camino con posibilidad de erosionar y arrastrar arena dentro de la cavidad.

Con estos aspectos, el diseñador de modelos incluyendo el sistema de alimentación en la industria de la fundición, puede conjugar de tal manera que llegue a la construcción de un sistema que le ofrezca óptimos resultados.

Peso de la colada.

/67, 68, 69, 70, 71/

El peso total de cada colada depende principalmente del tamaño de la pieza y del diseño del sistema de alimentación. El peso de la colada interviene en otros parámetros como la velocidad, tiempo de vaciado, diseño de la cámara, cantidad de

vaciado, y cantidad de aleación nodulizante. Para el cálculo de la cantidad de aleación nodulizante, cabe mencionar que se considera únicamente el peso a partir de la cámara de reacción hasta la pieza requerida, sin incluir el peso de los otros elementos del sistema de alimentación.

Granulometría.

/1, 5, 8, 10, 11, 12, 65/

A pesar de tener la cantidad adecuada de esferoidizante, la granulometría llega a ser un factor importantísimo en el tratamiento de nodulización dentro del molde.

De acuerdo a varios trabajos de investigación de este proceso, se ha observado que cuando se emplean nodulizante con granulometría (o tamaño de malla) muy finas no se obtienen buenos resultados, debido a que no ocurre una disolución adecuada. Por lo contrario, cuando se utilizan granulometrías más grandes (0,056 mm) se encuentran resultados más convenientes. Cuando los nodulizantes están formados por una mezcla mecánica de compuestos, se requiere que exista una distribución de tamaño compatible para cada uno de los dos componentes.

Diseño de la cámara de reacción.

/29, 32, 71/

La cámara de reacción como contenedor del nodulizante y lugar donde debe ocurrir la disolución de este, ocupa un papel muy importante en el proceso, por lo que requiere que su diseño sea adecuado; además, que dependen de ella muchos otros factores como son: velocidad de vertido, factor de solución, disolución de la aleación, etc.

La velocidad de disolución en la cámara debe tener un valor tal que permita la disolución completa del nodulizante dentro de la misma para evitar la entrada de partículas a la pieza. Esto se logra con una interrelación adecuada entre el área de la cámara de reacción, la granulometría del nodulizante y la temperatura de vertido.

El factor básico para una buena nodulización en el molde es la sección horizontal de la cámara, la cual debe ser prácticamente constante en todas las alturas. Además, es

importante que los otros elementos de diseño de la cámara sean elegidos apropiadamente para satisfacer los dos requerimientos siguientes:

La cámara debe permitir un flujo regular del hierro sobre la aleación para facilitar su disolución gradual.

El diseño de la cámara debe ser tal que los residuos de aleación sin disolver arrastrados por el hierro no penetren en la cavidad de la pieza.

Para ambos requerimientos, es conveniente evitar el choque violento del hierro que fluye dentro de la cámara, contra un área localizada de aleación nodulizante. Esto provocará el desplazamiento y proyección de granos, con la consiguiente formación de inclusiones. También puede generar vórtices y algunas veces esquinas muertas donde la disolución es extremadamente lenta o totalmente incompleta.

Cuando es posible, también se procura ubicar la posición de la salida de forma tal que permita, forzar al hierro a una cierta circulación sobre la aleación antes de alcanzar la salida, esto se logra por acomodo de la dirección de la salida un tanto contrapuesta, pero aún paralela con la entrada y en otros casos en ángulos cruzados.

La forma geométrica y posición de la cámara de reacción no influye en la metodología para determinar otros parámetros que son indispensables para la construcción de la misma. Con relación a la altura de la cámara, se puede decir que la disolución de la aleación es menos uniforme a medida que la profundidad de la cámara aumenta.

La cámara cilíndrica en la parte superior del molde con entrada y salida tangencial al área de la sección del cilindro, presenta la desventaja de que durante el moldeo y para la introducción del nodulizante se hace necesario un volteo doble de los moldes, lo que hace más lento el proceso tecnológico de moldeo. Se puede encontrar solución si se practica un orificio justo encima de la cámara para la introducción del nodulizante que puede ser taponado después con un macho para evitar la oxidación del producto.

Este tipo de cámara tiene la ventaja de que arrastra y disuelve todo el nodulizante. En las pruebas realizadas no se realizó el control de la granulometría, fue utilizada la

original del NODULANT II y no presentó dificultad en su disolución. El contenido de magnesio residual logrado está por debajo del requerido a pesar de que fue realizado el cálculo de la cantidad de magnesio a introducir. De esto se deduce que se debe realizar el estudio de la granulometría del nodulizante como otro de los factores que influyen en el proceso.

La cámara cilíndrica en el semimolde superior garantiza el mejor nivel de solubilidad del nodulizante y se obtienen valores superiores de resistencia a la tracción en comparación con las otras cámaras analizadas. Sin control de la granulometría ni el volumen de la cámara, se obtuvo para este tipo de cámara con el NODULANT II un hierro con grafito esferoidal con marcado 400-12 según la norma ISO (internacional).

Los pasos a seguir para la construcción de la cámara de reacción se pueden resumir de la siguiente forma: diseño del sistema de alimentación, determinar el volumen del sistema de alimentación y determinar la masa de la pieza.

Luego se determina el tiempo de vertido de acuerdo a la masa de la colada y al sistema de vertido de la planta.

Se calcula la velocidad de vertido.

Los siguientes pasos se utilizan para determinar la profundidad o altura de la cámara de reacción. Una vez seleccionada la aleación nodulizante que se empleará, se determina la cantidad de aleación a introducir en el molde y con esto se calcula el volumen de la aleación. Se determina la profundidad de la aleación en la cámara. Finalmente se determina la altura de la cámara (H_c). La altura de la cámara se elige en dependencia del volumen de la misma.

1.4 Antecedentes del vertido vibratorio en la obtención de fundidos de metales ferrosos y no ferrosos.

/27, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85/

La idea de los tratamientos con vibro impulso del metal durante el endurecimiento de los lingotes es conocida hace mucho, pero a pesar de las grandes ventajas de calidad que propician los tratamientos vibratorios, no ha sido propagado de manera universal, aunque un prestigioso grupo de científicos ucranianos encabezados por

Alexey, Nikolaevich, Smirnov han incursionado en este campo desde la Universidad Nacional de Donetsk, con grandes resultados que han sido aplicados en la industria metalúrgica y sideromecánica de esta región.

También se destacan otras investigaciones relacionadas con la producción de lingotes de acero de laminación de alta calidad, obtenidos por tratamientos con vibraciones, la producción de lingoteras para lingotes de acero de laminación con mayor durabilidad también logradas bajo las influencias vibratorias.

Además de la aplicación de estos tratamientos a lingotes, fundidos de aluminio y sus aleaciones, aleaciones de cobres, con mucho éxito tecnológico en cuanto a la calidad física sin rechupes y la eliminación de los poros y sopladuras con un gran mejoramiento de las propiedades químicas y mecánicas.

Cuba ha sido el otro receptor de las recomendaciones del padre de la metalurgia Chernov y especialistas del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Holguín en coordinación con las Empresas Fundidoras del Ministerio de la Industria (MINDUS). Con gran éxito se han realizado investigaciones conjuntas y se ha aplicado el vertido dinámico en producciones de artículos de aleaciones de aluminios, aleaciones de cobre con menor rechupe y libres de poros y sopladuras, y en la obtención de fundidos de hierro con grafito esferoidal por el método de vertido dinámico.

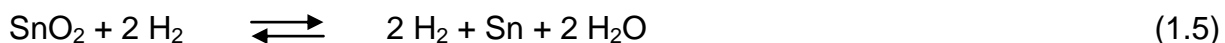
Se aplicó el tratamiento con vibraciones en el Instituto Nacional de Productos y Utensilios Domésticos (INPUD), en los bancos de coquillas en donde se unieron la estructura metálica de los bancos de coquillas del vaso inferior, vaso superior y la tapa de las cafeteras al pedestal metálico del electromotor que energiza los cilindros neumáticos para aprovechar las vibraciones que el mismo trasmite.

Regulando la frecuencia de vibración a 40 Hz con cuatro calzos de gomas en las patas de los bancos según el torque de los tornillos de anclaje, de esta manera se aplicó el vertido vibratorio, logrando aumentar el copiado de la cavidad interior del molde metálico, disminuir el espesor de las paredes de las cafeteras, aumentando la estanqueidad, disminuyendo la norma de consumo de aluminio y ahorrando los

portadores energéticos durante su explotación, por permitir un calentamiento más rápido.

Se utilizó el vertido dinámico en la disminución del rechupe en fundidos de bromo (Br) en la Planta Mecánica, disminuyendo el consumo de chatarra de bromo (Br) al ser menor el tamaño de las mazarotas.

En el taller de fundición de hierro y acero de La Empresa Mecánica de Holguín “Héroes del 26 de julio”, se establece una tecnología de vertido vibratorio que permite la disminución de los poros y sopladuras de los fundidos de cuproaleaciones, valorando la particularidad que el cobre y los metales aleantes al reaccionar con el hidrógeno (H), se forma metal libre más vapor de agua, según las siguientes reacciones:



Lo cual trae como consecuencia que no se puedan obtener fundidos libres de poros y sopladuras por métodos de fundición, debido a que los vapores de agua quedan dentro del caldo metálico, generando poros que aumentan de la periferia al centro, según.

El encarecimiento de los procesos de fundición producto de la aparición de poros y sopladuras por la presencia de vapor de agua y la variación de la densidad, se eliminaron construyendo una rampa de chapas y vigas de acero de 4000 mm X 4000 mm, con un vibrador ensamblado en el centro y 6 patas de 300 mm de altura con muelles, la cual es mostrada en la figura 1.1



Figura 1.3 Rampa dinámica vibratoria. /85/

Con el vibrador se aplican las cargas dinámicas tecnológicamente exigidas a la rampa, sobre la cual se realiza el vertido de los moldes. Durante este proceso, las partículas de menor peso específico suben a la superficie (gases de CO, CO₂, H₂, O₂, entre otros.)

Influencia de la composición química sobre la estructura de la fundición.

/33, 34, 35, 40, 44, 46/

En los hierros fundidos normales aparte del carbono (de 2% a 4,5 %) siempre existe presencia de Si (de 0,3% a 3,5 %), Mn (de 0,3% a 1,2 %), S (hasta 0,25 %), P (hasta 0,6 %), O₂ (hasta 0,01 %), N₂ (hasta 0,02 %), H₂ (hasta 0,0005 %) y otras impurezas que son incontrolables, cuyas concentraciones se encuentran generalmente entre los límites de 0,0001% a 0,1 %. Además, existen elementos aleantes como son: Cr, Ni, Cu, Si, Mn, Mo, Ti, W, Al, Nb, V y otros.

En correspondencia con el carbono todos los elementos presentes en las fundiciones se subdividen en tres grupos:

- Los que no reaccionan con el carbono (Al, Si, Ni) por lo general son grafitizantes efectivos.

- Formadores de carburos, que forman carburos complejos y o independientes. Los elementos tales como Mn, Cr, Mo, Ti, Nb, W, Zr, V, Y, B y otros al intercambiar con el carbono aumentan la cantidad de carburos pero disminuyen la cantidad de grafito.

- Los elementos estabilizadores de los carburos (O, N, H, S, Bi, Te, Sn, Pb, Sb, As y otros) no forman carburos, pero con el aumento de su concentración (bajo la condición de que no formen enlace químico) se produce el aumento del carbono en forma de carburos. Disminuyen la cantidad de grafito, cuando disminuye la concentración de estos elementos y el proceso ocurre de forma inversamente proporcional.

Para determinar aproximadamente las estructuras de la fundición en dependencia del contenido en los elementos de aleación se utilizan los diagramas estructurales uno de los cuales se reproduce en la figura 1.2.

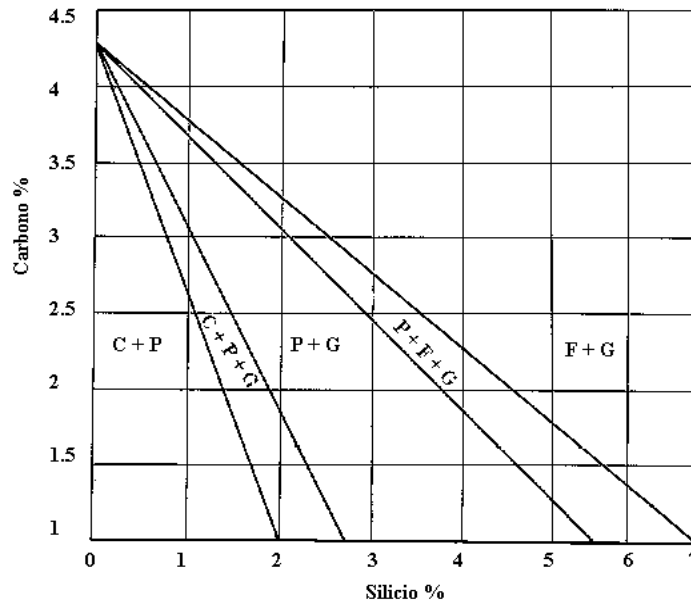


Figura 1.4 Diagrama estructural de la fundición que muestra la estructura que debe obtenerse en una pieza fundida en dependencia del contenido de silicio (Si) y carbono (C). /114/

La experiencia demuestra que en una misma pieza fundida pueden aparecer distintas estructuras en sus paredes delgadas y gruesas (en la superficie de la misma será menor el grado de grafitización que en las partes más gruesas o en el núcleo). Es decir, donde la velocidad de enfriamiento es mayor se forma más cementita y en

el lugar en el que la fundición se enfría más despacio se produce más grafito. Los factores que determinan el grado de grafitización de la fundición son el contenido de carbono, silicio y la velocidad de enfriamiento. Para determinar cómo depende la estructura de la fundición de su composición química (contenido de C y de Si) y de la velocidad de enfriamiento (espesor de las paredes de la pieza), puede utilizarse como diagrama estructural el representado en la (figura 1.3).

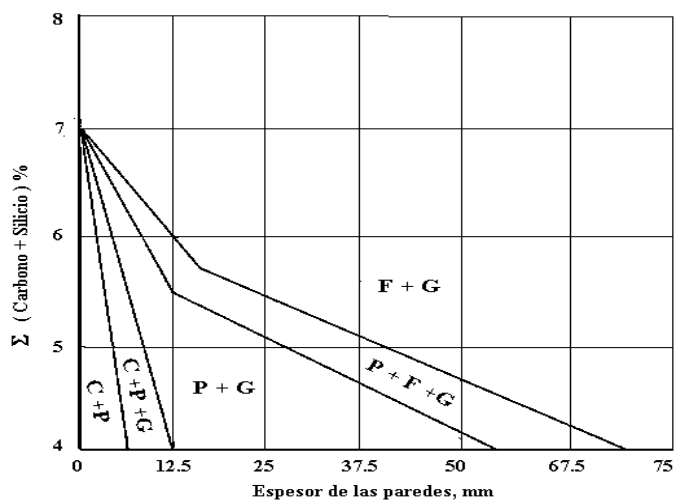


Figura 1.5 Diagrama estructural sobre la fundición que debe obtenerse en una pieza, en dependencia de los contenidos de carbono, silicio y el espesor de las paredes.

/114/

CAPÍTULO 2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA FORMACIÓN DE LA PERLITA Y LA FERRITA EN EL HIERRO CON GRAFITO ESFEROIDAL.

/71, 77, 79, 97, 102, 107/

Esta investigación se realiza bajo condiciones industriales en el horno de cubilote de 700 mm de diámetro interior del taller de fundiciones ferrosas de la Empresa Mecánica de Holguín “Héroes del 26 de Julio”.

Este tipo de fusor debido a que utiliza chatarra proveniente del Grupo AZCuba, ricas en azufre, propician un caldo metálico con alto contenido de azufre que es el principal demodificador del metal líquido nodulizado, por lo que necesita una desulfuración intermedia para poderlo utilizar en la obtención de hierro con grafito esferoidal. Para ello fue utilizada una cazuela de vertido revestida con cal, la cual al reaccionar con el azufre provoca la desulfuración intensa en forma de sulfuros de calcio.



Figura 2.1 Horno de cubilote del taller de fundición de hierro y acero de Holguín.

2.1 Diseño de la cámara en el sistema de alimentación.

/7, 10, 12, 13, 16, 71/

Como ya se mencionó, la cámara de reacción ocupa un papel muy importante en el proceso, por lo que requiere de un diseño adecuado. Además, de ella dependen muchos factores como son: velocidad de vertido, factor de solución, disolución de la aleación inoculante, etc. Cabe mencionar que el tamaño de la cámara de reacción varía con el sistema de alimentación empleado durante el trabajo.

El factor básico de una buena cámara para la inoculación en el molde es la sección horizontal, la cual debe ser prácticamente constante en todas las alturas. Es importante que otros elementos de diseño de la cámara sean elegidos apropiadamente para satisfacer los dos requerimientos siguientes: (a) la cámara debe permitir un flujo regular del hierro sobre la aleación, para facilitar su disolución gradual; y (b) el diseño de la cámara debe ser tal que los residuos de aleación sin disolver arrastrados por el hierro no penetren en la cavidad de la pieza.

Para ambos requerimientos es conveniente evitar el choque violento del hierro que fluye dentro de la cámara contra un área localizada de aleación nodulizante. Esto provocará el desplazamiento y proyección de granos, con la consiguiente formación de inclusiones. Esto también puede generar vértices y algunas veces esquinas muertas donde la disolución es extremadamente lenta o totalmente incompleta.

El diseño de la cámara garantiza que la caída del hierro a la cámara no posea una diferencia de nivel excesiva más de 20 mm. Además, fue necesario ensanchar la sección de entrada y situar la salida a un nivel más alto que el de la entrada ya que la sección de salida debe ser al menos un 10 % más pequeña que la de entrada. El efecto de estrangulamiento facilitará la disolución de la aleación nodulizante, siendo posible mediante el proceso (In Mold).

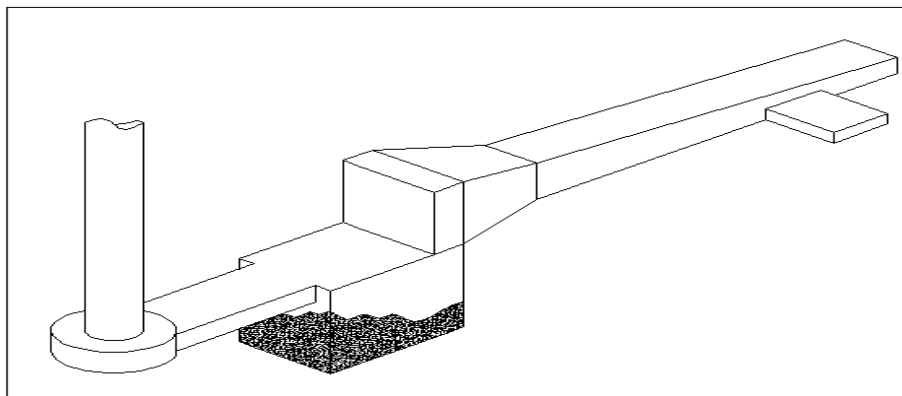


Figura 2.2 Sistema (In Mold) con cámara en forma de paralelepípedo ubicado en la parte inferior del molde. /13/

2.2 Utilización del vertido dinámico con el nodulizante e inoculante en la cámara de reacción.

/40, 41, 42, 43, 45, 46, 60, 71/

Para la utilización del vertido dinámico se utilizó la rampa vibratoria diseñada y construida por Rigoberto Pastor Sánchez Figueredo. La rampa vibratoria (figura 2.3), compuesta de chapas y vigas de acero de 630 mm x 250 mm, con un vibrador electromagnético ensamblado en el centro y cuatro resortes de 300 mm de altura, como soportes.



Figura 2.3 Rampa vibratoria /88/

2.3 Selección de la cola de níquel como nodulizante.

/10, 11, 12, 19, 20, 42/

El estudio de la tesis de maestría desarrollada por Raíza, mostró que la cola de níquel como ligadura compleja, al mismo tiempo contiene Mg, Ca y Si, siendo su costo bajo. El contenido y la acción simultánea de Mg – Ca – Si facilitan la formación del grafito esferoidal, con la disminución de la tendencia a la formación en la microestructura de una matriz metálica con carburo de hierro. El coeficiente de asimilación del magnesio alcanza del 40 % - 60 %, cuando el porcentaje de magnesio se encuentra en el rango de 4 % – 8 %.

Se conoce que el Mg es el responsable de la esferoidización del grafito y es un poderoso desulfurante y desoxidante, o sea, posee alta afinidad por el azufre y el oxígeno. Si los porcentajes de oxígeno y azufre son altos, entonces se pierde

magnesio en forma de MgO y MgS. Se recuerda que el Mg es el centro de nucleación en forma esferoidal.

Para seleccionar la cola se tuvo en cuenta que el Mg es el principal modificador y que los parámetros de mayor eficiencia se encuentran de 4 % – 8 %. Los estudios de Raíza mostraron que el mayor rendimiento de la cola a diferentes porcentajes de Mg es de la cola de la Empresa René Ramos, que cumple con esta condición al tener un 7,55 % de Mg, presenta un 19,49 % de SiO₂, 0,35% de Ca y solo un 0,2 % de S, es decir cumple con los por cientos recomendados por los principales productores.

2.4 Uso de inoculantes.

/40, 41, 48, 49/

Debido a que la inoculación del metal proveniente de la cazuela se realiza dentro del molde, es indispensable que este posea una cavidad especial en la cual se lleve a efecto dicho tratamiento. La inoculación en el molde se hace colocando finos de inoculante en la cámara de reacción y obligando a que todo el caldo pase sobre él. Las adiciones hechas en el molde están 0,1 % y 0,2 %. Los inoculantes que no están bien disueltos pueden producir defectos de inclusiones brillantes o lustrosas que pueden reducir la maquinabilidad y las propiedades de fatiga.

El inoculante utilizado contiene 45 % Si, con algo de Ca y Al. La granulometría del inoculante es importante para conseguir la disolución en el caldo, en el molde la granulometría fue de 1 mm - 3 mm, ya que si el tamaño es demasiado grande puede que no se disuelva bien y si es pequeño se puede oxidar y formar escoria.

Se colocan los moldes sobre la rampa vibratoria y luego de realizada la desulfuración en la cazuela el metal es vertido en los moldes donde se desarrolló la reacción de nodulización e inoculación con el fin de que los nódulos no retornen a grafito laminar.

Las investigaciones de Rigoberto Pastor Sánchez Figueredo y de Raíza, permitieron fijar algunos parámetros en la investigación como la frecuencia de vibración, temperatura de vertido y la masa de la aleación nodulizante; de esta forma solo resta por investigar la estructura alcanzada en el hierro nodular bajo estas condiciones: las cantidades de la perlita y la ferrita.

Tabla 2.1 Magnitudes consideradas en la investigación.

Magnitudes prefijadas	
Magnitudes	Medida
Frecuencia de vibración	70 Hz
Temperatura de vertido	1425°C a 1450°C
Masa de aleación nodulizante	170,99 g
Composición química de la cola como nodulizante	7,55%Mg; 19,49 %SiO ₂ ; 0,35%Ca; 0,2% S; 2,32% Al; 0,39%Ni....
Composición química del hierro de cubilote	Las 3 coladas aparecen en las tablas
Espesor promedio de las paredes de las piezas	15mm; 30mm; 45mm
Inoculante	FeSi 45

2.5 Obtención de probetas en el molde.

Luego del vertido y enfriamiento de los moldes se procedió a realizar las actividades de desmoldeo, acabado y la preparación de las muestras para el análisis de la microestructura. Dichas muestras presentaron una composición química de 3,15 % C – 3,48 % C; 2,16 % Si – 2,3 % Si; 0,7 % Mn – 0,65 % Mn; 0,3 % P – 0,1 % P y 0,023 % S – 0,02 % S.

Para la extracción de los moldes se utilizó un bloque en forma de Y según la norma ASTM A537 -84 para ensayos mecánicos y mecanográficos, figura 2.4

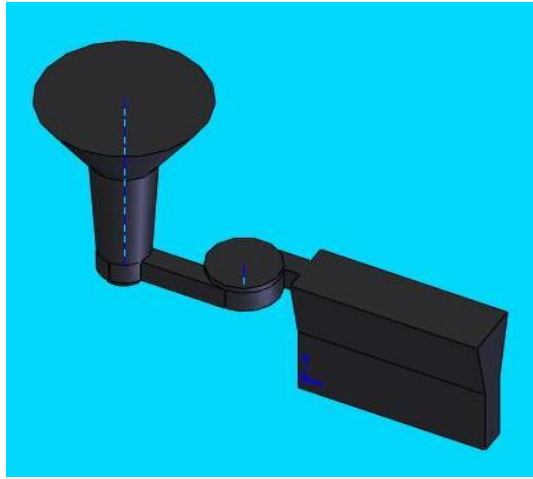


Figura 2.4 Bloque en Y. /101/

2.6 Preparación y ensayo de las muestras.

/68/

Las muestras fueron preparadas y cortadas con longitud de 15 mm X 15 mm, según la norma ASTM, las que fueron sometidas a un proceso de desbaste con refrigerante para evitar variaciones en su microestructura; luego fueron pulidas, de manera progresiva, con lijas de granos desde 150 mm hasta 800mm. Fueron atacadas químicamente con una solución de Nital al 2 % (compuesta por un 98 % de etanol y un 2 % de ácido nítrico) (figura 2.5) y observadas, antes del ataque, en el Metallurgical Microscope NJF – 120 A (figura 2.6).



Fig. 2.5 Probetas pulidas con lijas de granos desde 150 mm hasta 800 mm para su estudio metalográfico.



Figura 2.6 Microscopio metalúrgico NJF – 120 A.

Las fotos se efectuaron en un microscopio marca NOVEL a 200x de aumento con una cámara marca CANON de 8 MPi (figura 2.7), en todas las muestras se obtuvo un diámetro máximo de los nódulos de 40 micrones hasta 60 micrones en una matriz ferrítica.



Figura 2.7 Microscopio NOVEL a 200x.

2.7 Análisis metalográfico

El análisis metalográfico realizado se empleó para la observación estructural de las muestras utilizadas producto del proceso investigativo. El procedimiento se basa principalmente en la minuciosa preparación de cada probeta a observar, pues se requieren una serie de requisitos de estricto cumplimiento. Este análisis permite

obtener una visión microestructural en las muestras analizadas, el tamaño y forma de partículas predominantes en la muestra, entre otros.

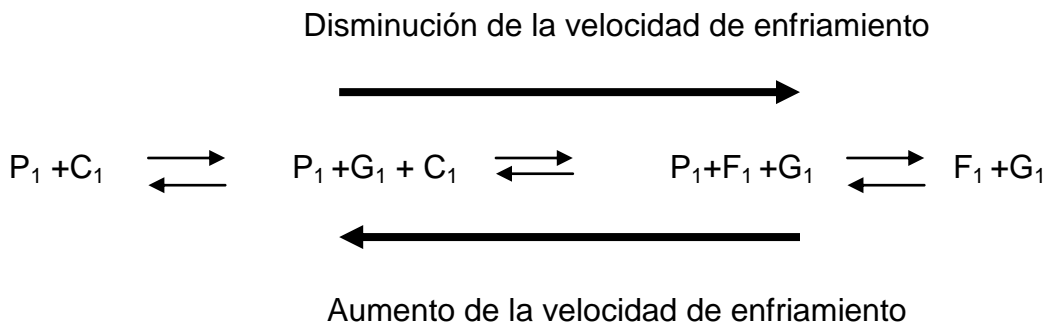
La parte experimental se desarrolló en el laboratorio de metalografía de la Universidad de Holguín, para el cual se utilizó el Metallurgical Microscope NJF – 120 A.

Análisis de resultados.

Para analizar los resultados se tomó en consideración que sobre el proceso de formación estructural de los hierros se puede influir mediante:

La modificación y la microaleación, el grado de grafitización de la fundición, la velocidad de enfriamiento, los formadores o estabilizadores de carburos y el tratamiento térmico.

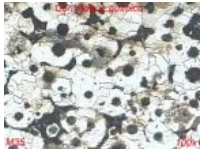


Con el aumento de elementos grafitizantes como: Ni, Si, Al y C, disminuye la velocidad de enfriamiento y solidificación variando la estructura de $P_1 + C_1$ hasta $F_1 + G_1$.



Los formadores de carburos o estabilizadores de carburos (Mn, Cr, O, Ti, Mo, W, Nb, Sn, Zr, V, B, N, C, S, Bi, Te, Pb, As, H, y otros) acrecientan la velocidad de enfriamiento y solidificación variando la estructura de $F_1 + G_1$ hasta $P_1 + C_1$.

Para el estudio se utilizaron probetas de hierro con grafito esferoidal con marcado 400 – 12 según la norma ISO y de hierro gris con marcado FG – 20 de acuerdo a la norma GOST.

Tabla 2.2 Resultados comparativos de la estructura del hierro obtenido entre los tres moldes de la primera colada. Con un espesor promedio en la pieza de 15 mm.


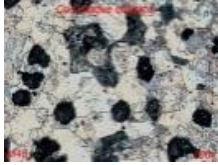

Hierro con grafito esferoidal				Hierro gris FG - 20
400 – 12				
Composición química 3,15 % C – 3,48 % C; 2,16 % Si – 2,3 % Si; 0,7 % Mn – 0,65 % Mn; 0,3 % P – 0,1 % P y 0,023 % S – 0,02 % S	Tv °C 1425 °C - 1450 °C	Vertido Vibratorio (70Hz)	Vertido Estático	
				
		ferrita + perlita % de perlita entre 2-6	ferrita + perlita % de perlita entre 2-10	Perlita % de perlita = 98

Se observa como el hierro gris con marcado FG-20 según la norma GOST obtenido en el cubilote posee una estructura perlítica con un 98 % de perlita, mientras en el hierro nodular modificado con la cola de níquel de la Empresa René Ramos que posee en su composición elementos grafitizantes (Ni, Si y Al) cuando se utiliza el vertido estático, ya aparece un cambio en la estructura metálica (ferrita + perlita con un % de perlita entre 2 – 10), esto es debido a que los elementos grafitizantes de la cola se suman a los del metal base (C y Si) disminuyendo la velocidad de enfriamiento del metal en el molde lo cual provoca el cambio de estructura (de una base perlítica, pasa a ferrita mas perlita).

Ya durante el vertido vibratorio y bajo las mismas condiciones de composición química que la utilizada en el vertido estático, aparece la misma estructura pero con una disminución de la perlita (ferrita + perlita con el % de perlita entre 2 – 6) demostrando la influencia de este método de vertido sobre la estructura metálica, dado porque la vibración durante el vertido provoca un aumento de la distancia entre moléculas y menor fuerza de unión entre átomos, lo cual retarda la solidificación, o

sea, disminuye la velocidad de enfriamiento que es lo que provoca el cambio de estructura.

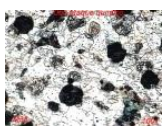
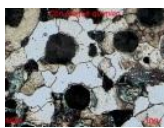

Tabla 2.3 Resultados comparativos de la estructura del hierro obtenido entre los tres moldes de la segunda colada. Con un espesor promedio en la pieza de 30 mm.

Hierro con grafito esferoidal 400 – 12			Vertido Estático	Hierro gris FG - 20
Composición química	Vertido Vibratorio(70Hz)	Vertido Estático		
3,15 % C – 3,48 % C; 2,16 % Si – 2,3 % Si; 0,7 % Mn – 0,65 % Mn; 0,3 % P – 0,1 % P y 0,023 % S – 0,02 % S	Tv °C			
	1425 °C - 1450 °C			
	ferrita + perlita % de perlita entre 2 – 4	ferrita + perlita % de perlita entre 2- 8	Perlita % de perlita = 98	

En este grupo de moldes los cambios estructurales se mantienen en la medida en que se cambia de tipo de hierro (gris a nodular) y de vertido (estático a vibratorio) solo que se mantiene la base ferrítica y se manifiesta una disminución de la base perlítica (de 2 – 10 % a 2 – 8 %) y a la justificación anterior (primera colada) se suma que el espesor de la pieza es mayor (de 15 mm pasa a 30 mm) además, se aprecia un aumento de los contenidos de carbono (C) y silicio (Si) como elementos grafitizantes en la composición química del metal base.

Todo ello provoca la disminución de la velocidad de enfriamiento de la pieza favoreciendo el cambio de estructura durante el vertido estático. Lo mismo ocurre cuando se utiliza el vertido vibratorio (de 2 – 6 % a 2 – 4 %) y es por eso que los cambios estructurales son mayores.

Tabla 2.4 Resultados comparativos de la estructura del hierro obtenido entre los tres moldes de la segunda colada. Con un espesor promedio en la pieza de 45 mm.

Hierro con grafito esferoidal 400 – 12				Hierro gris FG - 20
Composición química	Tv °C	Vertido Vibratorio(70Hz)	Vertido Estático	
3,15 % C – 3,48 % C; 2,16 % Si – 2,3 % Si; 0,7 % Mn – 0,65 % Mn; 0,3 % P – 0,1 % P y 0,023 % S – 0,02 % S	1425			
	1450			
			ferrita + perlita % de perlita ≤ 2	ferrita + perlita % de perlita entre 2–4

En esta 3ra colada los cambios estructurales se mantienen bajo las mismas condiciones, se mantiene la base ferrítica mas perlita (esta en menor porcentaje) y a la justificación anterior (de la primera y segunda colada) se suma que el espesor de la pieza es mayor (de 15 mm a 30 mm y 45 mm) además, continua el aumento de los contenidos de C y Si (1ra colada 3,15 % C; 2,16 % Si, 2da 3,32% C; 2,23 % Si y 3ra 3,48 % C; 2,3 % Si) como elementos grafitizantes en la composición química del metal base, todo ello provoca la disminución de la velocidad de enfriamiento de la pieza favoreciendo el cambio de estructura durante el vertido estático.

Lo mismo ocurre cuando se utiliza el vertido vibratorio el cual debido a su vibración retarda el enfriamiento de la pieza y por lo tanto los cambios estructurales son más significativos (pasan de: entre 2 – 10 % a 2 – 8 %; de 2 – 6 % a 2 – 4 % y de 2 – 4 % a ≤ 2 %), esto quiere decir que bajo las mismas condiciones de trabajo se aprecia como la estructura cada vez tiende mas a ferrita.

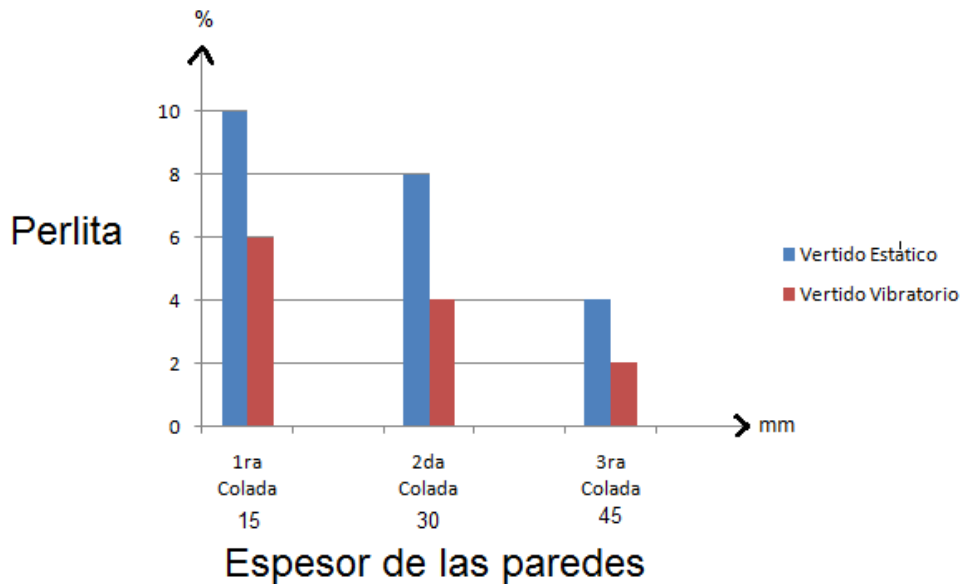


Fig. 2.8 Influencia del vertido en moldes vibratorios y el espesor de las paredes sobre la estructura metálica.

Barra azul- Porcentaje de perlita durante el vertido estático, el resto es ferrita.

Barra roja- Porcentaje de perlita durante el vertido en moldes vibratorios, el resto es ferrita.

Para la elaboración de la gráfica se utilizaron valores medios entre los rangos de grafito obtenidos en cada una de las corridas independientemente del método de vertido utilizado.

La gráfica muestra una tendencia de aumento de la base ferrítica respecto a la perlita, lo cual al ser mayoritaria en el 99% de ferrita trae como consecuencia la variación de las propiedades en la medida en que el espesor de las paredes de la pieza sobrepasa los 30 mm, por tal motivo se recomienda el uso del vertido vibratorio para piezas pequeñas y de esta forma garantizar mayor participación de la base perlítica.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos se arriba a las siguientes conclusiones:

1. A mayores valores de los elementos grafitizantes y de espesor de las paredes de las piezas, mayores serán los cambios estructurales, aumentando la cantidad de ferrita, independientemente del método de vertido utilizado: estático o vibratorio.
2. En todas las muestras con hierro nodular utilizando el vertido en moldes vibratorios se obtuvo una estructura con matriz ferrítica con un porcentaje de perlita que oscila de 1 hasta 10 %. La mayor cantidad de perlita aparece en el rango de espesor de las paredes de la pieza entre 15 mm a 30mm.
3. Los parámetros establecidos, facilitan el establecimiento de una línea de producción a escala industrial de hierro con grafito esferoidal en el proceso (In Mold), y mediante el método de vertido vibratorio en las condiciones de la Empresa Mecánica “Héroes del 26 de Julio” de Holguín, disminuyendo los costos de producción asociados a un nivel competitivo.

RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos, se arriba a las siguientes recomendaciones:

1. Generalizar esta investigación en el resto de las empresas del país, con el objetivo de acometer a escala industrial la producción de hierro con grafito esferoidal en el proceso (In Mold) y mediante el método de vertido vibratorio.
2. Continuar el estudio con otros nodulizantes y otros métodos de inoculación como: en la cazuela, realizando el vertido de los moldes por el método vibratorio y comparando los resultados de la estructura obtenida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUILAR SCHAFFER A J. 2014. Hierro Fundido. <<http://biblio3.url.edu.gt .pdf>>
2. ALEXANDOR, N. H. 1998. Control del estado del metal líquido para la obtención de hierro con grafito esferoidal. *LiteinoeProistbostba*. N. 3.
3. ARÉVALO V. M., SÁNCHEZ FIGUEREDO R. P. Y C. A. 2013. Entorno tecnológico alternativo para la producción competitiva, sostenible y sustentable de fundidos de cuproaleaciones densos. Repositorio Escuela Politécnica Nacional de Ecuador. <<http://diddigital.epn.edu/handle/123456789/1434>>
4. ARÉVALO V. M., SÁNCHEZ FIGUEREDO R. P. Y C. A. 2014. Tecnología de obtención de hierro con grafito esferoidal por el método de vertido dinámico. *Revista Ciencia y futuro*. Volumen 1. No.3 con ISSN 2306-823X. <<http://revista.ismm.edu.cu/index.php/article/viewFile/288/pdf>>
5. ARÉVALO V M. 2011. Tecnología de obtención de hierro con grafito esferoidal por el método de vertido dinámico. <<http://revista.ismm.edu.cu.pdf> >
6. BAKKERUS & VAN DER HOLST. 1995. The T-Nock Process for making ductil iron. *Modern Casting Tech*. N. 711, july.
7. BATISTA CABRERA. A; NAVAS MEDINA, E. 1990. "Cálculo de Mazarotas para Piezas de Acero". Construcción de maquinarias.
8. BATISTA CABRERA, A. 1999. "Tecnología de desulfuración en Cazuela con el fin de obtener hierro con grafito esferoidal". *Ingeniería Mecánica*. N. 3.
9. BATISTA CABRERA, A. 1994. "Propiedades de fundición de los metales y aleaciones". Monografía, Universidad de Holguín.
10. BATISTA CABRERA. A. 1999. Utilización del magnesio como desulfurante y su influencia en las propiedades del HGE obtenida por el método (In Mold). *Mundo Mecánico*. N. 2.
11. BATISTA CABRERA. A. 2000. Influencia del azufre en el rendimiento de las piezas de hierro nodular obtenida por el método (In Mold). *Mundo Mecánico* N. 6.

12. BATISTA CABRERA. A; ORDÓÑEZ, U. 2003. Selección de un nodulizante y forma y posición de una cámara de reacción para su aplicación para la obtención de hierro con grafito esferoidal por el método (In Mold). Ingeniería Mecánica. N. 3.
13. BATISTA CABRERA, A; ORDÓÑEZ, U. 2003. Determinación de la granulometría del NODULANT II y el parámetro de la cámara más adecuados para la obtención del hierro con grafito esferoidal por el método (In Mold). Ingeniería Mecánica. N. 3.
14. BATISTA CABRERA, A. 2003. Análisis y procedimientos para la obtención de hierro con grafito esferoidal por el método (In Mold) bajo las condiciones específicas de la Industria en Cuba. Tesis Doctoral, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Holguín.
15. BERCIANO ENRÍQUEZ J L. 2012. Universidad Politécnica de Madrid. Fabricación de fundición nodular. <[http://oa.upm.es/14450/1/Fundici%C3%B3n_nodular](http://oa.upm.es/14450/1/Fundici%C3%B3n_nodular.pdf)>.pdf
16. BOLETÍN TÉCNICO MI SR - 1 □ MI SR-2. 2001.
17. BIEL G E. 2014. Escuela universitaria de ingeniería técnica industrial proyecto fin de carrera, estudio sobre la microestructura y dureza de una fundición nodular sometida a distintos tratamientos térmicos. <<http://zagan.unizar.es/>>.pdf
18. BRIKI J; S. BEN SLIMA. 2012-01-01. Influence of Manganese Content on the Dissolution of the Iron Carbide Phase (Cementite) during a Graphitization Anneal of Spheroidal Graphite Cast Iron. Journal of Metallurgy. <<http://scienceresearch.com> >.
19. CALCOSOFT. 2004. Base de Datos [en línea], <<http://www.calcosoft.com>>
20. Cantidad de Mg que se agrega para el hierro nodular. <<https://es.answers.yahoo.com>>
21. CAMPOS L. RALPH J. 2005. Universidad Central Venezuela, efecto del tipo de chatarra sobre la colabilidad en aleaciones hipereutéticas Fe-C NODULARES. <<http://saber.ucv.ve>>.pdf
22. CASTLEDINE, T. J. 1998. "Experiences in the Application of the In Mold Process to the vertically Jointed DISAMATIC Moulding System". DISA Convention.
23. CASTRO G. 2009. f.i.u.b. a departamento de ingeniería. Fundiciones mecánicas. <<http://campus.fi.uba.ar>>

24. CASTILLO DEL D F. 2007, facultad de estudios superiores cuautitlán. Hierros Fundidos.<http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m6/hierro%20fundido>. pdf
25. CENKEBICH, I. 1999. "Optimización de la obtención de piezas de Hierro Nodular por el método (In Mold). Liteinoe. Proistbostba. N. 12. pp. 13-14. (en ruso).
26. CHAIKIN A. A. 1994. Refinado del HGE modificado en el molde por medio de filtros cerámicos. LiteinoeProistbosta. N. 4
27. CHERNOV D. K. 1950 Fundidores: Fundiciones Férrreas y no Férrreas.<<http://www.metalspain.com/Fundidores>>.pdf
28. CRISTERNA CRUZ H E. 2008.Influencia del Cobre en la producción de Hierro Nodular. Ingeniería Vol. 6. No 41. pdf
29. DAVIS, K. G. 1990 Dissolution of MgFeSi Alloy during In Mold Treatment.British Foundryman. N. 457.
30. DELCAM. Base de Datos [en línea] <<http://www.delcam.com>>
31. DIJON, R. H. The dissolution factors for the In Mold Process. British Foundryman. N. 8. 1999.
32. DUNKS, C.M.1976. "Mold Nodulizing and Continues Stream Treatment Techniques as Operated in Europe". Foundry Trade Journal. N. 234.
33. ENRÍQUEZ BERCIANO. J .L. 2012. Universidad Politécnica de Madrid. Fabricación de fundición nodular. <<http://oa.upm.es/nodular>>.pdf
34. ESCOBAR ALEX.2015. On the Effect of Pouring Temperature on Spheroid Graphite Cast Iron Solidification: World Wide Science. <<http://scienceresearch.com>>
35. ESQUEDA A M. 2000. El tratamiento de los hierros nodulares en el mejoramiento de los materiales en la industria automotriz.Publicación Técnica No 148. ISSN – 0188-7297. <[http://imt.mx/ Publicación técnica/pt148](http://imt.mx/Publicación_tecnica/pt148)>.pdf
36. FUNDINOX. 2014. ChileSA. Fundición Nodular.<<http://www.fundinox.cl/ASTM A536>>

37. FUNDICIÓN GRIS NODULAR. 2014.<[http://www.scribd.com/Hierro-Ductil o nodular](http://www.scribd.com/Hierro-Ductil_o_nodular)>
38. FUNDIGUEL S. A B. 2014. IDEMA. Universidad de Azterlan. Proyecto Técnico y estudio de Impacto Ambiental en la nueva planta de Fundición de hierro gris y nodular.
39. FUNDICIÓN GATTIS.R.L. 2014. Hierro Gris y Nodular. <<http://www.inti.gob.ar/>>.pdf
40. FUNDICIÓN PERLÍTICA 2014.Nodular.<<http://www.metalervice.net/fund%20gris>>.pdf
41. FUNDICIONES GRISES. 2014. <<http://www.biblioteca.udep.edu.pe>>.pdf
42. FRANCOIS, M. 2004. Base de Datos [en línea], El magnesio como desulfurante. <<http://www.cta.org.co/institucional.com>>
43. GENDEREVICH N. A. 1999 “Elección del modificador para la obtención de piezas de hierro de alta resistencia modificado en el molde”. Liteinoeroistbostba. N. 2.pág16-17.
44. GIBBS. 2004. Base de Datos [en línea], <http://www.gibbs.com>
45. GIRCHOVIB, N. G. 1982. Método de investigación para determinar la formación del hierro con grafito esferoidal y su valoración. Edit. Masgish. 45p.
46. GORSHKOB, A. A.1978. Acerca del formación del grafito esferoidal en las Burbujas Microscópicas durante la cristalización. Edit. BishaiaScuola. 123 p.
47. GORDILLO PINTO S A. 2010. Escuela Politécnica Nacional. Estudio de los tratamientos térmicos de templado y revenido en la fundición de hierro dúctilcon matriz metálica ferrítica. <<http://bibdigital.epn.edu.ec>>.pdf
48. GOYOS PÉREZ, L.; MARTÍNEZ REINA, ELIO. 1991 “Tecnología de fundición II”. Editorial ISPJAE. Ciudad de la Habana. 243 p.
49. GYNSEY. J. 2001. Co CQ (Controlled Quality Inoculation). Un proceso de alta Productividad. <[http:// www.carpenterfortuna.com.mx/n-hierro.htm](http://www.carpenterfortuna.com.mx/n-hierro.htm)>.Consult.

50. HAYES LEMER H 2014. Empresa de Producción Hierro Nodular. México. <<http://catarina.udlap.mx/capitulo1.pdf>
51. HIERRO NODULAR. 2014.ASTM 536. < <http://metalnodul.com>>.pdf.
52. HIDROSTAL. 2014. Soluciones con Tecnología. Fundición y Mecanizado de Piezas de Fundición Nodular. <<http://www.hidrostal.com>>.pdf
53. HITY D. 1998.Electr.Furnace Proc. AIME.V.27 p 52-56.
54. HUGHES. S. 1993. Foundry Trade Journal. N. 487.
55. INSTITUTO PARA EL CONOCIMIENTO EN FUNDICIÓN. 2014. Metalurgia de las Fundiciones de Hierro y Conceptos Avanzados de Caracterización. <http://www.iftabira.org/pdfs/news/Jornada%20Metalurgia_1270028729>.pdf
56. IRON CASTING with Spheroidal or Nodular Graphite Specification.2002.3rd reun. <<http://www.clickafoundry.com/specification>>.
57. KARSAY, S. 1992. Producción de Hierro Nodular, 2da Edición. Edit. Titanic Inc. Comp.
58. KOBALÉVICH, E. B. 1992. Nueva tecnología de obtención de hierro Nodular. LiteinoeProistbostba. N. 3. 1999. p. 10. (en ruso).
59. KRUTHIVENTI, S.; BASAVAKUMAR, K. G.2015.Influence of Heat Treatment on Microstructural and Mechanical Properties of Nodular Cast Iron.Journal of The Institution of Engineers (India): < <http://scienceresearch.com>>
60. LINCE FUNDICION. 2004. Base de Datos [en línea]<<http://www.lince-fundición.com>>
61. LUFFE, A. 1994. “Modificación del hierro con grafito esferoidal en el molde”. LiteinoeProistbostba. N. 12. (en ruso).
62. MADEHUMAN. “Tecnologías alternativas sostenibles y sustentables en procesos de fundición de metales ferrosos y no ferrosos”. Editorial Obras. CD-ROOM-ISBN 978-959-247-094-1.
63. MACHIKIN. B. I. 1981.Aumento de la calidad de las aleaciones ferrosas Edit.Kiev.

64. MALISHEV. A. 1991. Influencia del Silicio sobre las propiedades del HGE. LiteinoeProistbostba No 9
65. MANNION, G. 1994. "Experiences with the production of meehanite Nodular iron casting with the (In Mold) process. FoundryTradeJournal. Vol 137. pp. 139-147. Aug.
66. MANUAL TÉCNICO. 2014. VERSA-BAR.Barras Fundidas Tupy. <<http://www.tupy.com>>.pdf
67. MAYK.C .N .1998. Sistema de Alimentación para modificación en el molde. Liteinoe Proistbostba No11.
68. METALLOGRAPHY. Base de Datos [en línea], <<http://www.metallography//technoters/iron.com>>.Moscú. 203 p.
69. MOREIRA E. 2001.Metalurgia del hierro nodular.<<http://www.eduardomoreira.>.pdf>
70. MCCAULAY. J. M. 1991. "Production of nodular graphite iron Casting In the (In Mold) Process". FoundryTradeJournal.Vol. 130. pp. 327-335. Apr.
71. NAVAS. E. BATISTA. A. 1996.Métodos de Cálculo en Fundición.Folleto Editado por la Uho.
72. OLEA O M. 2010.Estudio de la densidad del nódulo en las propiedades mecánicas del hierro dúctil. Instituto Politécnico Nacional. Departamento de ingeniería en Metalurgia y Materiales. <<http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream>>.pdf
73. ORDOÑES U. 2005. Modelación por Elementos Finitos como Método para la Sustitución de Piezas de Acero por Hierro Nodular. <http://www.redalyc.org/>.pdf
74. PROENGINEER. Base de Datos [en línea], <<http://www.procast>>
75. ProCAST. Base de Datos [en línea],<<http://www.procast.com>>
76. PROYECTO TÉCNICO y estudio de impacto ambiental de la nueva planta de fundición de hierro gris y nodular de fundiguel, S.A. 2014. <<http://www.euskadi.net>>.pdf

- 77.** RIVERÓN D. 2014. Thecnology Applied to the iron nodular. <<http://www.titania.com>>. .pdf
- 78.** ROLLMAKERS B .2014. Grafito esferoidal (SG) Perlítico.<<http://www.brcil.com>>.pdf
- 79.** SÁNCHEZ FIGUEREDO R. P. Y C. A2002. Perfil Fundición de Acero-Hierro de Holguín. Convención Internacional de la Industria Metalmeccánica METANICA. . CD- ISSN 1607-6261.
- 80.** SÁNCHEZ FIGUEREDO R. P. Y C. A. 2007.El Rendimiento Tecnológico General como regulador del costo de las piezas fundidas de hierro nodular. Resumen III Conferencia Internacional de Ingeniería.
- 81.** SÁNCHEZ FIGUEREDO R. P Y C. A2007. El Rendimiento Tecnológico General como regulador del costo de las piezas fundidas de metales ferrosos y no ferrosos. Convención Internacional de la Industria Metalmeccánica. METANICA. . CD-ISSN 1607-6261.
- 82.** SÁNCHEZ FIGUEREDO R.P Y C. A2008. Entorno Tecnológico alternativo para la producción competitiva, sostenible y sustentable de fundidos de cuproaleaciones densos Jornada Científica. Facing. CEDEMA.
- 83.** SÁNCHEZ FIGUEREDO R. P. Y C. A 2009. Tecnología para la manufactura competitiva de fundidos de aleaciones de Cobre. IV Conferencia Científica. CD – ROOM ISBN- 978-959-16-1010-2.
- 84.** SÁNCHEZ FIGUEREDO R. P. Y C. A 2009. Cálculo competitivo del Costo y Precio de los fundidos de bronces y latones. IV Conferencia Científica. CD – ROOM ISBN- 978-959-16-1010-2.
- 85.** SÁNCHEZ FIGUEREDO R. P. Y C. A2011. Impacto Medioambiental con la aplicación de tecnología alternativa de mezcla de moldeo de fundidos de metales ferrosos y no ferrosos. V Conferencia Científica Internacional. UHO.
- 86.** SÁNCHEZ FIGUEREDO R. P. Y C. A2012. UPADI 2012. XXXIII. Convención Panamericana de Ingenierías. VI Conferencia Internacional de las Ingenierías Mecánicas, Eléctricas e Industrial. “Tecnología para la obtención de fundidos de

cuproaleaciones sanos de poros y sopladuras”. Editorial Obras. CD-ROOM-ISBN 978-959-247-094-1

87. SÁNCHEZ FIGUEREDO R. P. Y C. A2012. UPADI 2012. XXXIII. Convención Panamericana de Ingenierías. Congreso medioambiente y desarrollo Humano.

88. SÁNCHEZ FIGUEREDO R. P. Y C. A2013. VI Conferencia Científica Internacional de la Universidad de Holguín. Ingeniería y Desarrollo. “Disminución de nodulizante en la obtención de fundidos de hierro con grafito esferoidal por el método de vertido dinámico”. Editorial Universitaria. ISBN 978-959-16-2138-2.

89. SÁNCHEZ FIGUEREDO R. P. Y C. A2013. VI Conferencia Científica Internacional de la Universidad de Holguín. Ingeniería y Desarrollo. “Obtención de fundidos metálicos por el método de vertido dinámico”. Editorial Universitaria. ISBN 978-959-16-2138-2.

90. SÁNCHEZ FIGUEREDO R. P. Y C. A2013. VI Conferencia Científica Internacional de la Universidad de Holguín. Ingeniería y Desarrollo. “Reducción de las mazarotas en las piezas de acero por el método de vertido dinámico”. Editorial Universitaria. ISBN 978-959-16-2138-2.

91. SÁNCHEZ FIGUEREDO R. P. Y C. A2013. VI Conferencia Científica Internacional de la Universidad de Holguín. Ingeniería y Desarrollo. “Influencia en el comportamiento de la estructura metalográfica de los fundidos de metales obtenidos por el método de vertido dinámico”. Editorial Universitaria. ISBN 978-959-16-2138-2.

92. SÁNCHEZ FIGUEREDO R. P. Y C. A2013. VI Conferencia Científica Internacional de la Universidad de Holguín. Ingeniería y Desarrollo. “Recuperación y adaptación de vibrador electromagnético en rampa dinámica, para la obtención de fundidos de metales ferrosos y no ferrosos”. Editorial Universitaria. ISBN 978-959-16-2138-2.

93. SÁNCHEZ FIGUEREDO R. P. Y C. A2013. VI Conferencia Científica Internacional de la Universidad de Holguín. Ingeniería y Desarrollo. “El comportamiento de la composición química en los fundidos metálicos por el método de vertido dinámico”. Editorial Universitaria. ISBN 978-959-16-2138-2.

- 94.** SÁNCHEZ FIGUEREDO R. P. Y C. A. 2013. VI Conferencia Científica Internacional de la Universidad de Holguín. Ingeniería y Desarrollo. “Cálculo del costo y precio de los fundidos a través del Rendimiento Tecnológico General”. Editorial Universitaria. ISBN 978-959-16-2138-2.
- 95.** SÁNCHEZ FIGUEREDO R. P. Y C. A. 2013. VI Conferencia Científica Internacional de la Universidad de Holguín. Ingeniería y Desarrollo. “Obtención de fundidos de hierro con grafito esferoidal por el método de vertido dinámico”. Editorial Universitaria. ISBN 978-959-16-2138-2.
- 96.** SÁNCHEZ FIGUEREDO R. P. Y C. A. 2013. VI Conferencia Científica Internacional de Aprovechamiento de Recursos Minerales. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Electromec. “Aumento de la competitividad, sostenibilidad y sustentabilidad de los fundidos metálicos por el método de vertido vibratorio” empleados en las KTP y los implementos agrícolas. ISBN del evento es 978-959-16-2244-0
- 97.** SÁNCHEZ MURCIA S C. 2012. Universidad desolidificación de hierros nodulares.
- 98.** SÁNCHEZ FIGUEREDO R. P, GARCÍA DOMINGUEZ A. B. PÉREZ RODRÍGUEZ R. Y RODRÍGUEZ GONZÁLES I. 2015 - article is to show the influence of the vibratory discharge on the resistance of grey iron with spheroid graphite to traction applying the. 2 sept. revista.ismm.edu.cu/index. /article/ /1147/592
- 99.** SAYAGO Q O. 2007. Universidad Simón Bolívar. Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales. Características microestructurales de una aleación comercial de hierro nodular. p29. pdf
- 100.** SOLAS MARCILLO ALEXISROLANDO. 2013. Caracterización del Grafito de Hierro Fundido nodular Mediante Aplicación ultras <<http://dspace.esPOCH.edu.ec>>pdf
- 101.** SOLIDWORK. Base de Datos en Línea, <<http://www.solidwork.com>>
- 102.** SUMINDU. 2014. Especificaciones del Hierro nodular. <<http://www.sumindu.comr>>.pdf
- 103.** SUMINDU. 2015. Especificaciones del Hierro Nodular <http://www.sumindu.com>

- 104.** SPHEROIDAL GRAPHITE CAST IRON.2014. Worldwide Intellectual Property Patents. <<http://scienceresearch.com>>
- 105.** SYSWELD. Base de Datos en Línea, <<http://www.syld.com>>
- 106.** TARTERA. J. JOINING. 2004. Fabrication of Nodular Iron Casting by welding.
- 107.** TECNOLOGÍA DE HIERRO NODULAR. 2014. <<http://www.fundelima.com>> 01.pdf
- 108.** TENORIO I T. 2010.Caracterización microestructural y propiedades mecánicas de una fundición esferoidal con altos contenidos de molibdeno: VOL. 1(3), pp. 27-36 2010.
- 109.** UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA. Fundición. 2008. Nodular.<<http://estudio yensayo>>. fundición -nodular.pdf.
- 110.** UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE ARGENTINA-2014. Metalografía y Tratamientos Térmicos. <<http://www.frro.utn.edu.ar/v2>>.pdf
- 111.** UMSS 2014. Facultad de Ciencias y Tecnología. Calidad de la fundición. <<http://materia .fcyt.umss.edu.bo /tecno-II/PDF/cap-228.>>pdf
- 112.** UVA. Fundiciones.2014. <https://www5.uva.es/guia_docenteDocumento18 >.pdf
- 113.** YANG Z R; LI –SHENG D; LAN WANG.2103.Wear Behavior and Mechanism of Spheroidal Graphite Cast Iron. Journal of Iron and Steel Research, International. Base [en línea]. <http://scienceresearch.com>
- 114.** www.implog.com

SIMBOLOGÍA

Al: aluminio

As: arsénico

B: boro

Bi: bismuto

Br: bromo

C: carbono

C₁: cementita

Ca: calcio

Cr: cromo

Cu: cobre

CaO: óxido de calcio

CaCO₃: piedra caliza

Ca F₂: Fluoruro de calcio

CO: monóxido de carbono

CO₂: dióxido de carbono

F₁: ferrita

G₁: grafito

H: hidrógeno

H₂: dihidrógeno

H₂O: Agua

Mg: magnesio

Mn: manganeso

Mo: molibdeno

MgO: óxido de magnesio

MgS: sulfuro de magnesio

N: nitrógeno

Nb: niobio

Ni: níquel

O: oxígeno

O₂: dioxígeno

P₁: perlita

P: fósforo

Pb: plomo

S: azufre

Si: silicio

Sn: estaño

SnO₂: óxido de estaño

Te: telurio

Ti: titanio

V: vanadio

W: volframio

Zr: circonio

ANEXO 1

Descripción del cubilote

El cubilote es un tipo de horno vertical que consiste en una coraza cilíndrica de acero revestido con materiales refractarios y equipados con una caja de viento y toberas para la admisión del aire.

En un nivel superior tiene una boca de carga para la introducción de los materiales de fusión y el combustible. Una de las características notables del horno es que los gases que ascienden entran en contacto directo con los materiales de fusión que descenden, y tiene lugar un cambio de calor directo y eficiente de los gases calientes y los materiales de fusión.

El cubilote consta de la cuba, la parte de apoyo, la chimenea con el supresor de chispas, el dispositivo de toberas y el antecrisol. La camisa de acero del cubilote (9) está forrada por dentro con material refractario, ladrillos de chamota (8). Se utiliza chamota cuando el proceso es ácido y cuando es básico se utilizan ladrillos refractarios de cromo magnesita. La cuba es la parte fundamental del cubilote, en esta transcurren dos procesos básicos de fusión: la combustión del combustible y la fusión del hierro. En la parte superior de la cuba se halla la boca de carga (13).

La cuba desde la solera hasta la boca de carga se reviste con ladrillos refractarios en dos hileras de 200 mm - 300 mm de espesor en dependencia del diámetro del cubilote; desde la boca de carga hasta la altura de 1 m hacia abajo se reviste con bloques huecos de fundición (10), más arriba de la boca del tragante se reviste con una hilada de ladrillos de chamota.

El espesor de la camisa metálica del cubilote depende de su diámetro y constituye de 6 mm - 12 mm. Para el ensanchamiento libre del revestimiento durante la fusión del hierro, entre la camisa y el revestimiento se deja una holgura de 25 mm - 50 mm, la cual se llena con arena (14). La cuba se coloca sobre la plancha de la solera (4) y las columnas de apoyo (3). El orificio en la plancha se cierra con un fondo basculante compuesto de dos hojas (1 y 2). A través de la abertura de trabajo (5), la parte inferior de la cuba se llena con una capa de 150 mm - 350 mm de mezcla de relleno (15). La solera rellena tiene una inclinación hacia el lado de la piquera de hierro

(16). Durante la fusión, la abertura de trabajo se tapa con ladrillo refractario, se empaca con mezcla de moldeo y se cierra con la portezuela. En el antecrisol la piquera de escoria (17) está dispuesta sobre el nivel del metal en el antecrisol. La fundición sale del antecrisol por la piquera (18). El cubilote con el antecrisol va montado sobre cimientos. La parte inferior de la cuba desde la solera hasta la primera hilera de toberas se llama crisol.

Durante el trabajo del cubilote, el crisol y la parte de la cuba están llenos de coque incandescente. Esta capa de coque se llama carga de solo coque. Sobre la capa de coque incandescente se carga con el cubo (11) en porciones separadas (capas) la carga metálica: arrabio, chatarra de fundición y acero, como también el coque llamado carga de combustible (carga de trabajo). La caliza se carga después de cada carga de trabajo. La carga de coque desde las toberas es de 800 mm -1600 mm de altura y cubre las mismas. El ventilador impulsa el aire hacia la caja de vientos (7), de aquí el aire pasa a las toberas (6). Para la combustión completa del coque y para intensificar la fusión, las toberas se sitúan en varias hileras. La carga de solo coque mantiene durante la fusión el nivel de la zona de fusión a una altura determinada. La altura del crisol H_c (altura desde la solera hasta la parte inferior de las toberas) en cubilotes con antecrisol depende del diámetro del cubilote y del tipo de hierro que se obtendrá, por ejemplo, para la producción de hierro blanco $H_c = 100$ mm a 250 mm para el hierro gris $H_c = 250$ mm a 700 mm.

Cuando se desea calcular (alargar o acortar) la altura del crisol se debe tener presente la composición química, tanto de los materiales de carga como la que se desea obtener (% de C) porque a que en esta zona ocurre la carburación del hierro, y en la medida en que esta altura sea mayor, será mayor la carburación.

A continuación se citan algunos ejemplos: con una altura del crisol hasta 250 mm la carburación del hierro es aproximadamente cero, no obstante, con el aumento en 50 mm por encima de los 250 mm la carburación del hierro aumenta en aproximadamente 0,1 % – 0,2 %, quiere decir que si se desea obtener una fundición con 3.5 % de C y el % de C en la carga es de 3 % (0,5% de C de diferencia) entonces se debe aumentar la altura de 250 mm a 500 mm.

En los cubilotes sin antecrisol la altura del crisol se determina por el volumen de la fundición líquida, necesario para el llenado de los moldes en los intervalos entre los vaciados; la altura del crisol en estos cubilotes es de 400 mm -700 mm.

Se llama altura útil de la cuba del cubilote la distancia entre la hilera inferior de las toberas y el umbral de la boca de carga.

A través de la chimenea del cubilote los productos de la combustión se evacúan fuera de la cuba. La chimenea termina con el supresor de chispas (12) el cual atrapa el polvo ardiente y las chispas que se expulsan de la chimenea y protege de incendio los locales continuos.

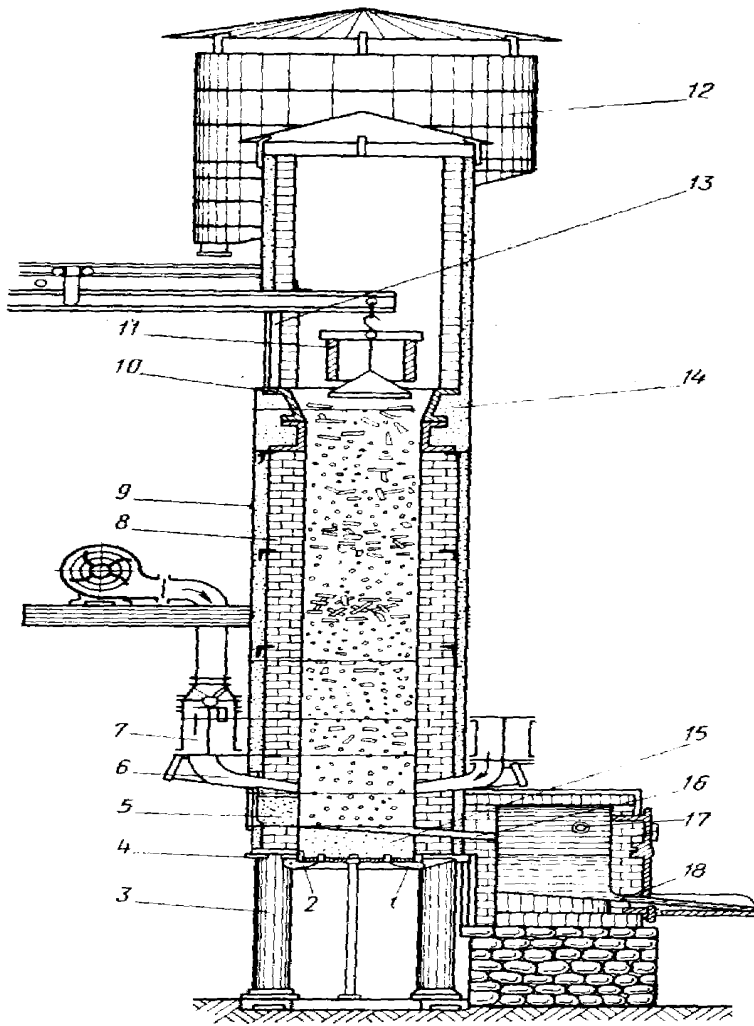
Los extintores de chispas pueden ser secos y húmedos. En los cubilotes modernos, en correspondencia con las exigencias de protección del entorno, además de los extintores de chispas se instalan depuradores de gases.

El cubilote es una unidad de fusión de acción continua. Este se carga con ayuda de un elevador inclinado y el cubo (11) con fondo abatible. A medida que el metal se funde y el nivel de la carga baja, en el cubilote se echan continuamente cargas nuevas. La fundición obtenida se vacía ininterrumpidamente a través de la piqueta, o bien después de pequeñas pausas (de 8 minutos -10 minutos).

En casos específicos, cuando se requiere obtener un hierro con bajo % de P y S se debe utilizar un revestimiento básico a base de cromo-magnesita. En estos casos se obtienen temperaturas más elevadas (1700°C), con la posibilidad de usar hasta el 100% de chatarra de acero para las fundiciones especiales al Ni o al Cr-Ni y fundiciones blancas para maleabilizar, en la carga se puede prescindir del arrabio, la limpieza del hierro es mejor que cuando se utiliza un revestimiento ácido.

Las desventajas de este proceso básico son:

1. Un mayor consumo de coque
2. Un mayor consumo de fundente
3. Una mayor pérdida de silicio (30 %), en el ácido es del 10 %
4. El contenido de carbono es demasiado alto para espesores de más de 20 mm.



Cubilote con antecrisol.