

Instituto Superior Minero Metalúrgico
"Dr. Antonio Núñez Jiménez"
Facultad de Metalurgia y Electromecánica
Departamento de Metalurgia - Química

TRABAJO DE DIPLOMA

*CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL DEL
ACERO HADFIELD Y ACERO 35 OBTENIDOS EN LA
EMPRESA MECÁNICA DEL NÍQUEL DE MOA.*

*EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO EN METALURGIA Y
MATERIALES*

Autor: Arniel Poll Pozo

Tutores: MSc. Yunior Correa Cala

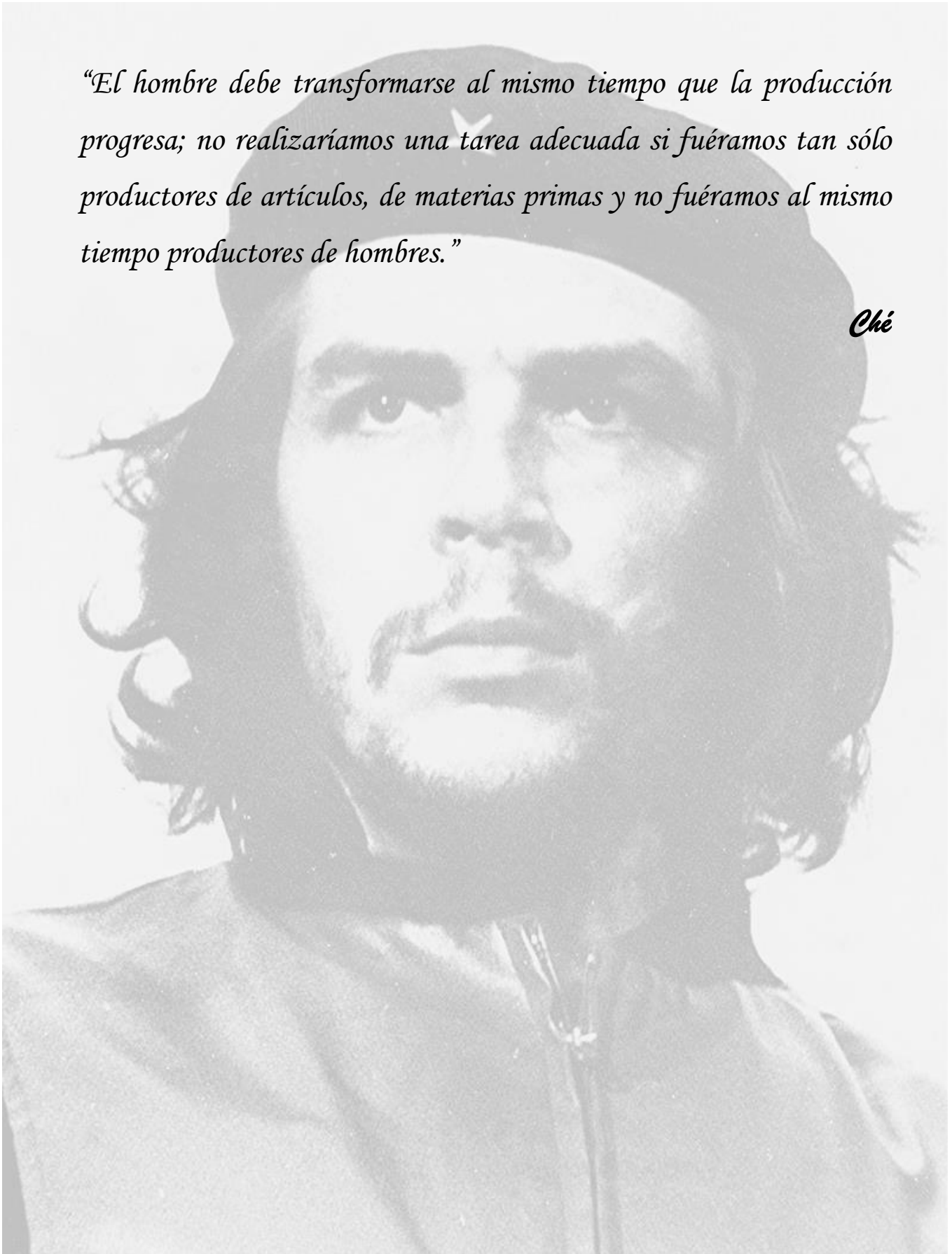
Ing. Ernesto Mena Pérez

Moa, 2017

PENSAMIENTO

“El hombre debe transformarse al mismo tiempo que la producción progresa; no realizaríamos una tarea adecuada si fuéramos tan sólo productores de artículos, de materias primas y no fuéramos al mismo tiempo productores de hombres.”

Ché



DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo: Arniel Poll Pozo autor de este trabajo de Diploma y los tutores Ms.C Yunior Correa Cala, Ing. Ernesto Mena Pérez declaramos la propiedad intelectual de este servicio del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa y la Empresa Mecánica del Níquel de Moa para que disponga de su uso cuando estime conveniente.

Tutor M.Sc. Yunior Correa Cala.

Tutor. Ing. Ernesto Mena Pérez.

Diplomante: Arniel Poll Pozo.

Agradecimientos

Agradezco a todas aquellas personas que hicieron posible la realización de este trabajo de Diploma, en especial a mis padres Arlenis Pozo González y Carlos Humberto Poll Sánchez, a mi novia y toda mi familia por su gran dedicación, apoyo y mucho esfuerzo para que yo llegara hasta este momento.

A todos los profesores que a lo largo de estos cinco años me enseñaron lo necesario para lograr el objetivo marcado, A mis compañeros de estudios que en los momentos más difíciles de mi carrera he recibido su apoyo y comprensión para que terminara todas las asignaturas con buenos resultados a tiempo y forma.

A mis tutores, MSc Yunior Correa Cala y Ing. Ernesto Mena Pérez, Esp. Yoel Ochoa Mc Intosh por su contribución y preocupación en la realización de este trabajo.

Agradezco también a nuestra REVOLUCIÓN que nos ha brindado la posibilidad de estudiar y tener la oportunidad de formarnos como profesionales.

Gracias por todo desde lo más profundo de mi corazón.

Dedicatoria

Dedico este trabajo:

A mis padres Carlos Humberto Poll Sánchez, Arlenis Pozo González, mi hermana y mi novia por su gran amor y comprensión, por haber confiado en mí y por estar siempre conmigo en los momentos buenos y malos de mi vida.

A toda mi familia en general por su preocupación y contribución moral, afecto y cariño.

Dedico esta tesis a DIOS que todo lo puede y permite que todo lo puedas, y a todos aquellos que no creyeron en mí, a aquellos que esperaban mi fracaso en cada paso que daba hacia la culminación de mis estudios, a aquellos que nunca esperaban que lograra terminar la carrera, a todos aquellos que apostaban a que me rendiría a medio camino, a todos los que supusieron que no lo lograría, a todos ellos les dedico esta tesis.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como propósito caracterizar microestructuralmente los aceros Hadfield y acero 35, ya que se necesita modificar sus propiedades y las características de estos dos aceros desde la fundición. Para esto se utilizó la técnica de microscopía óptica conectada a un ordenador donde se observó la porosidad presente en ambas aleaciones. Se obtuvo una estructura, martensita-austenítica para el acero Hadfield y para el acero 35, la microestructura observada se corresponde con un acero hipoeutectoide, que por tratarse de un acero con un contenido menor de 0,8 % C (0,35 %), tiene como constituyente matriz la ferrita y como constituyente disperso la perlita. La composición química se determinó mediante un espectrómetro de masa cuántica. El valor del carbón equivalente es de 0,37. El costo económico para el acero Hadfield es 7 288,59 CUP y 3 690,55 CUC y para el acero 35 es 6 914,17 CUP y 2 843.12 CUC.

Palabras clave: microestructura, composición química, acero

ABSTRACT

The present work has like purpose to characterize microstructural steels Hadfield and steel 35, since it is needed to modify his properties and the characteristics of these two steels from founding. Ad hoc you utilized to a computer the connected technique of optic microscopy where the present porosity in both alloys was observed. You obtained a structure, martensita austenitic for steel Hadfield and hipoeutectoide repays 35, the observed microestructura itself with a steel for steel, than for to receive treatment of a steel with 0.8 %'s minor contents C (0.35 %), has like constituent womb the ferrite and like dispersed constituent member the little pearl. The chemical composition was determined by means of a spectrometer of quantum mass. The value of the equivalent coal comes from 0.37. The economic cost for steel Hadfield is 7 288.59 CUP and 3 690.55 CUC and for steel 35 he is 6 914.17 CUP and 2 843,12 CUC.

Key words: Microestructura, chemical composition, steel

ÍNDICE	pág
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO	4
1.1. Fundamento teórico sobre la fundición de metales	4
1.2. Desarrollo histórico sobre la obtención de piezas fundidas	6
1.3. Solidificación de las piezas fundidas.....	8
1.4. Influencia de los materiales de moldeo.....	10
1.5. Características de las aleaciones de acero en estudio	11
1.6. Secuencia del proceso de fundición en la EMNI.....	13
1.7. Microestructura en materiales.....	14
1.8 Influencia de los elementos en el acero.....	16
1.9 Trabajos precedentes	17
Conclusiones del capítulo I.....	20
CAPITULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	21
2.1. Métodos empleados en la investigación	21
2.2. Tecnología de moldeo	22
2.2.1. Vida de banco:	22
2.2.2. Tiempo de desmolde:.....	22
2.2.3. Propiedades físicas y químicas del catalizador.....	23
2.3. Secuencia de operación para la confección de las probetas en estudio.	24
2.4. Características técnicas de las instalaciones utilizadas.....	24
2.5. Pasos para efectuar la fundición de las aleaciones	25
2.6 Análisis de la composición química de las aleaciones (probetas)	26
2.7 Examen microestructural	27
2.7.1. Corte	29

2.7.2. Pulido	29
2.7.3. Ataque químico	30
2.7.4. Análisis microestructural	31
2.7.5. Análisis de la porosidad	31
2.8. Cálculo del carbono equivalente	32
2.8.1. Carbono equivalente en función del carbono, el silicio y el fósforo	33
2.8.2. Contenido de carbono y silicio en el acero fundido	33
2.8.4. Composición en las interfaces	34
Conclusiones del Capítulo 2	36
3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	37
3.1. Composición química de las muestras obtenidas	37
3.2. Parámetros de las mezclas de moldeo autofraguante	37
3.2.1. Obtención de las probetas por fundición.	38
3.3. Análisis microestructural	38
3.4. Análisis de la porosidad para los acero en estudio	41
3.4.1. Análisis de la porosidad para el acero Hadfield	41
3.4.2. Análisis de la porosidad para el acero 35.....	43
3.5. Cálculo del carbono equivalente	45
3.5.1. Determinación del carbono equivalente en función del carbono, el silicio y el fósforo	45
3.5.2. Determinación de carbono y silicio en el acero fundido	46
3.6. Análisis económico	48
Conclusiones del capítulo 3.	48
CONCLUSIONES GENERALES.....	49
RECOMENDACIONES:	50

BIBLIOGRAFIA.....	51
ANEXO 1.....	I
ANEXO 2.....	II
ANEXO 3.....	III

INTRODUCCIÓN

Los procesos de fabricación de piezas fundidas con aplicaciones tecnológicas críticas deben garantizar la eliminación de todo tipo de inclusiones no deseadas en el material metálico. Estas discontinuidades influyen negativamente en las propiedades físicas y mecánicas del material, afectando consecuentemente a la funcionalidad de la pieza. La presencia de estas irregularidades en una determinada zona sometida a esfuerzos mecánicos puede actuar de punto de partida para la formación de otros defectos como son los agrietamientos, los cuales generan roturas de piezas en servicios o el origen de fallos a fatiga.

Otro ejemplo lo constituyen aquellos sistemas hidráulicos integrados por estas piezas los cuales presentan un riesgo importante de fuga. Como consecuencia de este hecho, las industrias son cada día más exigentes en relación a los criterios de aceptación de piezas fundidas y demandan controles exhaustivos en los procesos de fabricación. A pesar de todo ello las normativas y controles de calidad aplicados sobre los materiales utilizados se consideran siempre que esto se encuentra exentos de defectos y consecuentemente apenas consideran sus efectos.

De este modo, la caracterización y análisis de los defectos en la estructura cristalina de los metales supone una tarea importante de cara a obtener mejoras significativas en la calidad de los procesos de fabricación y garantizar la correcta funcionalidad de la pieza obtenida.

Este es uno de los retos que tiene la Empresa Mecánica del Níquel (EMNI), en la UEB de Fundición, uno de los más notables en el país por la gran variedad de piezas que se fabrican en el mismo, no solo para la industria del Níquel, sino para con terceros clientes en todo el país, por lo que, en el presente trabajo de diploma se describe la tecnología de fundición y determinación de la microestructura para la obtención de piezas fundida con la utilización de acero al manganeso y acero 35, obtenido en hornos de inducción y utilizando como método de moldeo, el método de fraguado en frío a base de mezcla arena - resina, llamada mezcla autofraguante.

Estas aleaciones de acero por sus características de resistencia al desgaste y resistencia a la tracción son utilizadas en la construcción civil, en la construcción mecánica como partes de automóviles, como ejes de motores, muelas para trituradores, cabezas de martillo, martinets y otros, éstos equipos han presentado problemas como agrietamientos y roturas por lo que es interés para la Empresa Mecánica del Níquel caracterizar microestructuralmente éstos acero con el fin poder modificar sus propiedades.

Problema :

Necesidad de caracterizar los aceros, el Hadfield y el acero 35 obtenidos en la empresa “Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche” con el fin de modificar sus propiedades y características desde la fundición de las piezas.

Teniendo como **Objeto de estudio** de la investigación: Aceros Hadfield y Acero 35 obtenidos en la Empresa Mecánica del Níquel.

Delimitándose como **Campo de acción:** Características y propiedades en la obtención de piezas de acero.

Para dar solución a la problemática referida se plantea como **Objetivo general:**

Caracterizar microestructuralmente, el acero Hadfield y el acero 35 obtenidos en la empresa “Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche”, con el fin de modificar sus propiedades y características en la fundición

Para dar cumplimiento al objetivo general, se traza la siguiente **hipótesis:**

Si se caracterizan los aceros, del tipo Hadfield y el acero 35, obtenidos en la Empresa Mecánica del Níquel, entonces se podrán determinar algunas de las propiedades y características de estos aceros desde el proceso de fundición para garantizar una buena calidad en las piezas obtenidas.

Objetivos específicos:

1. Establecer las características fundamentales para la obtención de las aleaciones del tipo Hadfield y del acero 35 mediante el proceso de fundición.

2. Determinar la composición química, microestructura, porosidad y carbono equivalente del acero Hadfield y del acero 35 obtenidos en la Empresa Mecánica del Níquel.
3. Determinar el Costo económico de las aleaciones de acero Hadfield y acero 35 obtenidos en la Empresa Mecánica del Níquel

Tareas:

1. Establecimiento del estado del arte y sistematización de los conocimientos y teorías relacionadas con el objeto de estudio.
2. Planificación y obtención de las probetas.
3. Análisis de los resultados y obtención del comportamiento microestructural del acero Hadfield y acero 35.
4. Valoración de los efectos económicos.

CAPITULO 1. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

Cuando se hace un estudio es de vital importancia conocer hasta dónde ha llegado la humanidad en la temática analizada, ello permitirá aprovechar de manera eficiente los conocimientos heredados generación tras generación, evitando así arribar a conclusiones erróneas según nuestros puntos de vista y cuestiones analizadas por otros autores.

Debido a su importancia, (Kondic, 1969) plantea que es muy frecuente tomar los procesos de fundición como un barómetro que mide el estado económico de una sociedad, basándose en que los metales son la clave del desarrollo de nuestra era industrial y que los procesos de fundición, es la etapa inicial y básica para producir los bienes materiales a ser usados en las demás industrias, es decir, es un bien de capital.

1.1. Fundamento teórico sobre la fundición de metales

La fundición es uno de los procesos más antiguos para dar forma a los metales, fundamentalmente radica en fundir y colar metal líquido en un molde de la forma y tamaño deseado para que allí solidifique. Al penetrar el metal líquido en el molde comienza el proceso de transferencia de calor que provoca a la larga la solidificación del metal.

Para los aceros en comparación con la fundición de hierros, poseen menor fluidez y exige una temperatura más alta para su vertido en los moldes, lo que provoca que se experimente una mayor contracción (2 %) y mayores defectos en las piezas fundidas, por lo que, la obtención de piezas de acero sin defectos depende decisivamente de la construcción correcta de la pieza a moldear, es decir, de que no surjan acumulaciones locales del metal y existan pasos suaves de una sección a otra, de un correcto cálculo de los sistema de alimentación que permita el llenado de metal en el molde de una forma suave y sin turbulencia para evitar acumulaciones y absorciones de gases en el mismo, determinando las propiedades específicas en los materiales de moldeo deben garantizar, una buena solidificación del metal y la composición química que se quiera obtener.

Pudiéndose resumir las siguientes propiedades tecnológicas más importantes

para efectuar la fundición como, la fluidez, la contracción (volumétrica y lineal), la disposición de la aleación, la segregación a la creación de grietas calientes, la absorción de gases y creación de porosidades de gas (Malishev 1975).

Definiéndose algunos de los términos a continuación:

Fluidez

Es la propiedad de los metales y aleaciones en estado fundido de llenar la cavidad del molde y reproducir con exactitud los contornos de la cavidad del molde. Una buena fluidez de la aleación asegura la obtención de piezas compactas de elevada calidad, la disminución de sopladuras de gas y cavidades de contracción del llenado incompleto.

La capacidad del metal o la aleación de llenar la cavidad del molde depende de sus propiedades físicas: la viscosidad y la tensión superficial. Además, ejerce influencia sobre la fluidez el contenido de impurezas en el metal o la aleación, la disposición a la oxidación y la extracción del calor del molde de fundición.

Contracción

Propiedad de los metales y aleaciones de reducir su volumen durante la solidificación y enfriamiento. Se acostumbra diferenciar las contracciones lineal y volumétrica las cuales no se expresan en valores absolutos, sino en relativos.

Donde la contracción lineal comienza con cierta anterioridad, después de crearse un esqueleto bastante resistente de cristales que tienen contacto mutuo, capaz de resistir la presión de la aleación líquida, por consiguiente, la temperatura del inicio de la contracción lineal será la temperatura que se halla entre el líquido y el sólido.

La contracción volumétrica o de fundición se llama a la diferencia entre las dimensiones lineales del modelo y la pieza, esta contracción se diferencia de la contracción lineal por el hecho de que la primera depende no sólo de las propiedades y el estado del metal y la aleación, sino también de la estructura de la pieza, la estructura del molde y algunos otros factores (Malishev, 1975; Biedermann, 1965; Salcines, 1985).

Porosidades de contracción.

Es la acumulación de pequeñas oquedades (poros) de forma irregular, los cuales se formaron en la pieza como resultado de la contracción volumétrica al no haber afluencia de metal líquido (Malishev, 1975; Biedermann, 1965; Salcines, 1985).

Porosidad:

La porosidad es un fenómeno que ocurre en los materiales, especialmente en las fundiciones, a medida que cambian de estado de líquido a sólido durante el proceso de fabricación. Se muestra en forma de imperfecciones superficiales o internas que tanto afectan al acabado superficial como presentan una ruta de fuga para gases.

Segregación

Es la heterogeneidad de la composición química de la aleación en diferentes partes de la pieza fundida, surge en el proceso de solidificación de la pieza, como resultado de la distinta solubilidad de los diversos componentes de la aleación en sus fases sólida y líquida. La segregación provoca la heterogeneidad de las propiedades mecánicas en las distintas partes de la pieza, pudiendo provocar la ruptura de las piezas durante su explotación (Malishev, 1975).

1.2. Desarrollo histórico sobre la obtención de piezas fundidas

En los inicios de la sociedad el hombre trabajaba los metales por medio de golpes con algún objeto hasta darle la forma deseada, pero poco a poco fue aprendiendo el arte de fundirlo y obtener piezas con una forma deseada, vaciándolo en diferentes tipos de moldes de diferentes tipos de arcillas, pero las piezas obtenidas presentaban un mal acabado y poca resistencias mecánica debido a su escaso e incompleto conocimiento en este arte.

Con el paso del tiempo las técnicas de moldeo se han desarrollado hasta la actualidad donde el hombre diseña variados métodos de moldeo atendiendo al volumen y complejidad de las variadas piezas que forman parte en todas las instalaciones industriales.

En nuestro país están implementados en los talleres de fundición principalmente dos tipos de moldeo, que son el moldeo convencional o moldeo en verde y el moldeo seco, cada uno con diferentes variedades. De

estos talleres que operan en Cuba la empresa mecánica del níquel “Cmdte Gustavo Machín Hoeb de Besch” tiene implementado en su unidad empresarial de base UEB de fundición las tecnología de moldeo convencional y la tecnología de moldeo seco con la variedad del fraguado frío con resina furánica y catalizador, siendo éste, uno de los métodos más modernos y difundido en todo el mundo para la obtención de piezas de elevadas responsabilidades.

Estos métodos utilizado en la producción de piezas de geometría irregular, lo cual hace de este proceso uno de los más versátiles en lo que a manufactura se refiere, las posibilidades y ventajas del mismo se ven cuando:

Se puede usar para crear piezas de geometría compleja, incluyendo formas externas e internas.

- Algunos procesos de fundición pueden producir piezas de forma neta que no requieren operaciones subsecuentes para llenar los requisitos geométricos y dimensionales de la pieza.
- Se puede usar la fundición para producir piezas muy grandes. Se han fabricado piezas fundidas que pesan más de 100 toneladas (coronas dentales, joyería, estatuas, bloques y cabezas para motores automotrices, bases para máquinas, ruedas para ferrocarril, tubos, carcasas para bombas, etc.).
- El proceso de fundición puede realizarse en cualquier metal o aleación que pueda calentarse y pasar al estado líquido. En este caso el proceso está limitado a materiales con temperaturas de fusión menores a los 1750 °C, por lo que los metales refractarios no son procesados mediante estas técnicas.
- La factibilidad de aproximarse a la geometría y dimensiones finales vuelve a los procesos de fundición una opción muy económica en el caso de que el diseño conlleve a una geometría irregular.

También existen desventajas asociadas con la fundición y sus diferentes métodos, que incluyen la porosidad y las propiedades mecánicas inherentes al proceso de solidificación y enfriamiento.

Las limitaciones de algunos procesos

- Se pueden obtener piezas con propiedades mecánicas no homogéneas
- Piezas con porosidad
- Baja precisión dimensional
- Acabado deficiente de la superficie
- Los riesgos que los trabajadores corren durante el procesamiento
- Problemas ambientales.

Se pueden fundir todas las variedades de metales ferrosos y no ferrosos polímeros y cerámicos.

1.3. Solidificación de las piezas fundidas

Al penetrar el metal en el molde comienza el proceso de transferencia de calor que provoca a la larga la solidificación del metal. Este proceso de transferencia se efectúa a régimen no estacionario, es decir, que el gradiente de temperatura y las propiedades termo físicas del metal cambian continuamente a lo largo del tiempo.

La solidificación del metal comienza de las paredes del molde hacia el interior del mismo, lo que hace que exista un frente de solidificación que avanza hacia el interior del molde en función de la disminución de la temperatura con el tiempo, (Wlodaver 1966; Titov, 1981; Goyos y Martinez, 1985), aseguran además que la forma del frente de solidificación tiene una gran importancia práctica, pues la característica del rechupe depende del tipo de frente. Se presentan cuatro formas principales de frente plano, columna, dendrítico, con nucleación independiente.

En la solidificación de piezas o de lingotes, las leyes de escala son distintas para cada uno de los diferentes problemas encontrados. Si consideramos al líquido como un todo, la convección puede variar de acuerdo a la tercera potencia de la dimensión lineal de la pieza que se fabrica; igualmente, la solidificación puede variar según una ley cuadrática, variando de manera simultánea los esfuerzos térmicos creados por los cambios volumétricos de forma lineal con la dimensión (Titov y Stepanov, 1981).

Al tomar en cuenta los efectos de la convección, se puede decir que principalmente el proceso de solidificación de una pieza está referido a las

etapas de fusión de la aleación, seguido de la transferencia de calor de la aleación líquida dentro de las cucharas para ser vaciada en los moldes, y la remoción del calor que dé como resultado la transformación líquido-sólido. Durante la solidificación, el líquido se mueve a través de los cristales dendríticos para alimentar la contracción volumétrica producida por la cristalización. Este hecho, conduce a efectos de desaparición de cristales dendríticos durante el movimiento del flujo de metal líquido, y a la segregación mediante concentración de átomos de soluto en algunas regiones de la pieza.

En aquellas regiones donde el flujo ha creado trayectorias, la continua contracción crea un descenso en la presión del líquido residual que puede llegar a ser negativa, lo que genera succión de la superficie de la pieza. Esto continuará hasta que toda la pieza haya solidificado, a menos que los esfuerzos hayan crecido hasta valores suficientemente altos para crear una repentina disipación de gas o de vapor, lo que generará una cavidad. Al paralizarse el hundimiento de la superficie, se inician otros eventos que conducen a la creación de defectos internos (Kumar; Chadwick, 1972; Vashukov, 1978).

Para el tecnólogo de fundición es muy importante conocer cómo progresa la solidificación y cuál es su secuencia dentro de la pieza, porque esa información le ayuda a diseñar adecuadamente tanto las mazarotas como el sistema de entradas al molde, lo que le permite obtener productos sanos y libres de rechupes (Flemings, 1983).

Plantean (Kurz y Fisher, 1986 y Flemings, 1983), que el tecnólogo debe conocer que la distribución térmica en una pieza varía en función de la distancia desde un sumidero de calor como lo son los enfriadores y las paredes del molde; así como también, a partir de fuentes de generación de calor como suplementos, materiales exotérmicos y mazarotas. Al mismo tiempo, debe saber cómo lograr una solidificación direccional y/o progresiva, para la eliminación de cavidades y rechupes en las zonas críticas de una pieza, consideran además que la transferencia de calor tiene una íntima relación con la geometría de la pieza y con las propiedades tanto del metal o de la aleación y del molde.

El rechupe (Guliaev, 1978 y Pero-Sanz, 1996) es consecuencia de la contracción del metal líquido en el molde durante las etapas en que el metal está en estado líquido y durante la solidificación. Cuando se habla de alimentar el rechupe, o lo que es lo mismo, de suministrar a la pieza una cantidad extra de metal para compensar la contracción o rellenar la cavidad del rechupe, en realidad lo que se está haciendo es compensar la contracción. El procedimiento usual, para garantizar que no aparezca la cavidad del rechupe en la pieza, se debe a que la mazarota aporte la cantidad de metal líquido suficiente para compensar la contracción en estado sólido para llenar la cavidad del rechupe. Para que tenga lugar la alimentación de la contracción deben cumplirse dos condiciones:

- Que exista la suficiente cantidad de metal líquido (se garantiza con un adecuado diseño de la mazarota).
- Que el metal líquido alimente las cavidades de rechupe (se garantiza con una selección adecuada de la posición de la mazarota).

Además de las condiciones de diseño y posición de las mazarotas, existen características propias del metal que dificultan o favorecen la alimentación de la contracción.

(Guliaév, 1976): Plantea que la velocidad de todo el proceso de enfriamiento está determinada cuantitativamente por dos magnitudes:

1. La velocidad de formación de los centros de cristalización.
2. La velocidad de crecimiento de los cristales.

1.4. Influencia de los materiales de moldeo

Debido a que la selección de los materiales empleados para la construcción de moldes tienen una gran importancia en la obtención de piezas fundidas, si no se utilizan materiales adecuados y de buena calidad, las piezas fundidas que se obtengan presentarán deficiencias, tales como, aspecto rugoso o huecos, rajaduras, rechupes, etc. Defectos provocados por una mezcla imperfecta en la confección de moldes, a continuación se citan las propiedades que deben reunir los materiales a emplear para el moldeo.

Tienen que ser plásticos: es decir deben permitir una preparación cómoda del molde, de ella depende que el material reproduzca de manera exacta la forma de la plantilla de la pieza fluyendo y aglomerándose alrededor del mismo.

Han de ser consistentes y resistentes, sin ser impermeables: es decir deben soportar los efectos de la colada sin que se produzcan desmoronamientos o roturas del molde a causa de la presión del metal líquido.

Deben ser porosos: es decir poseer una permeabilidad suficiente para dejar escapar los gases que se desarrollan durante la colada.

Deben ser refractarios: para soportar las altas temperaturas de la fundición, sin romperse, agrietarse o fundirse, además no deben vitrificarse, es decir no debe cubrirse la pieza fundida con una masa fundida.

Deben ser malos conductores del calor: a fin de que el enfriamiento de la colada se efectúe en forma paulatina (Salcines, 1985).

1.5. Características de las aleaciones de acero en estudio

Aceros Hadfield

Los aceros austeníticos al Manganeso, también llamados Aceros Hadfield por su creador Sir Robert Hadfield, se caracterizan por su alta tenacidad y ductilidad, además de poseer una alta capacidad de endurecimiento por trabajo y una moderada resistencia al desgaste. Estos aceros son ampliamente utilizados con pequeñas modificaciones en su tratamiento térmico y composición química basada en componentes como Carbono, Manganeso, Cromo, Níquel y Molibdeno. Entre sus principales usos están la minería, canteras, industria de ferrocarril, movimientos de tierra, perforación etc Los Aceros al manganeso son materiales de baja resistencia y alta ductilidad como se puede determinar por medio de un ensayo antes de su puesta en servicio. Su microestructura es principalmente una fase austenítica metaestable, posterior a su tratamiento térmico.

Sus principales propiedades mecánicas son:

- Fluencia entre 280/470 MPa.
- Dureza Brinell del orden de 180 a 220 HB.

- La elongación a rotura típica varía entre el 20 y el 40% para secciones transversales de piezas.
- Su alta ductilidad permite lograr una tenacidad al impacto sobre los 136 J a temperatura ambiente y una tenacidad a la fractura del orden de 120 MPa/m², por lo que es muy adecuado para trabajar en condiciones de fuerte impacto.
- La característica más importante de estos aceros es su capacidad de endurecimiento por trabajo, desde una dureza inicial de aprox. 200 HB hasta los 500/550 HB, de tal forma que en la mayoría de los casos las piezas deben sustituirse cuando mejor estructura presentan para resistir la abrasión y el desgaste. Cuantos mayores sean los impactos que se producen en el trabajo, mayor será la velocidad de transformación de Austenita a Martensita y por lo tanto, mayor será su endurecimiento.

Aceros 35

La composición química de los aceros al carbono es compleja, además del hierro y el carbono que generalmente no supera el 1%, hay en la aleación otros elementos necesarios para su producción, tales como silicio y manganeso, y hay otros que se consideran impurezas por la dificultad de excluirlos totalmente –azufre, fósforo, oxígeno, hidrógeno. El aumento del contenido de carbono en el acero eleva su resistencia a la tracción, incrementa el índice de fragilidad en frío y hace que disminuya la tenacidad y la ductilidad.

La microestructura del acero 0,35%C, está determinada por las condiciones de temperatura y (%) de carbono que presente la aleación eutectoide perlíticas que pueden llegar a ocupar todo el campo de la microestructura, en aceros con sólo un 0,4 % de carbono.

Aplicaciones

Una parte importante del acero producido se dirige a la construcción civil. Dentro de este rubro pueden determinarse dos utilizaciones principales: hormigón armado y construcción en acero. Además de la construcción civil existen diversas aplicaciones del acero en la construcción mecánica tales

como máquinas, partes móviles de automóviles o camiones (ejes, pasantes) Otro uso importante son los cascos de los buques, los tubos de las bicicletas, los clavos, los alfileres, las cerraduras de las puertas y muchos objetos más que utilizamos diariamente

1.6. Secuencia del proceso de fundición en la EMNI

La fundación de las probetas en estudio se realiza en la Empresa “Cmdte Gustavo Machín Hoeb de Besch”.

La posibilidad de fundir un metal o una aleación depende de su composición (fijada por el intervalo de solidificación), temperatura de fusión y tensión superficial del metal fundido. Todos estos factores determinan su fluidez. Se utilizan tres tipos de fundición (Gutiérrez, 2007):

- En lingoteras: Se usa la fundición de primera fusión a la que se añaden los elementos de aleación necesarios que posteriormente se depositan en lingoteras de colada por gravedad o a presión.
- Colada continua: En este tipo se eliminan las bolsas de aire y las secreciones, tanto longitudinales como transversales. Mediante este sistema se obtienen barras, perfiles, etc.
- Fundición en moldes: Se extraen las piezas completas.



Figura .1 Fundición de metales.

Una vez confeccionada la tecnología de fundición y plasmada en la carta tecnológica (documento que rige las exigencias y secuencia de operación en todas las etapas del proceso), el proceso de fabricación se desarrolla de forma simultánea por el método en moldeo autofraguante, mediante resina furánica y catalizador utilizado en la UEB fundición de la empresa mecánica del níquel “Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche” consta de las etapas siguientes:

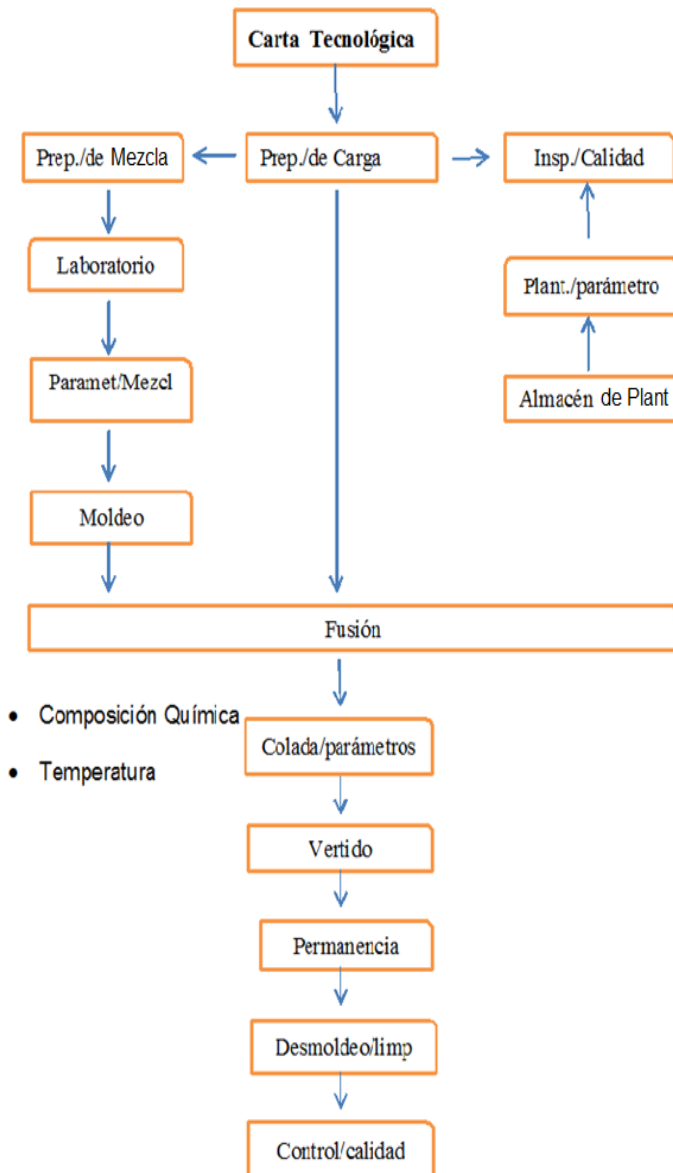


Figura 2. Flujo tecnológico para la obtención de piezas.

1.7. Microestructura en materiales

La microestructura de un material refleja las propiedades del material. Se caracteriza por el número de fases, su proporción y su distribución dentro del sistema. Depende del número de componentes, de la concentración de cada uno de ellos, de los defectos, de la historia del material, etc. La microestructura de los metales determina significativamente propiedades como la fortaleza y la resistencia a la corrosión.

Cuando se habla de microestructura se refiere a los detalles o hechos estructurales de un sólido, cuyas dimensiones están entre la distancia interatómica y el tamaño propio de una muestra o probeta. Es muy importante conocer la microestructura del material, ya que al conocerla, podremos saber las características que tendrá el material y así definir en que podemos usarlo, ya sea a nivel industrial, comercial o investigativo.

La estructura cristalina de las sustancias se caracteriza por una distribución ordenada de los átomos en el espacio formando redes cristalinas.

Los aceros también presentan microestructura, estas son diferentes para cada uno de ellos en dependencia de su composición química, tratamiento etc. Los aceros más utilizados son los aceros al carbono, los cuales tienen una serie de microconstituyentes como: ferrita, cementita, perlita, sorbita, martensita, vainita, y rara vez austenita, aunque nunca como único constituyente. También pueden estar presentes constituyentes no metálicos como óxidos, silicatos, sulfuros y aluminatos.

Dentro de las estructuras se encuentra una muy común, (la estructura dendrítica).

La estructura dendrítica es típica del metal fundido. Si las condiciones son favorables y el enfriamiento es lento pueden crecer dendritas de enorme dimensiones. Chernov encontró en el rechupe de un lingote de acero de 100 toneladas una dendrita de 39 cm de longitud.

La dendrita consta de un tronco o eje principal del que parten las ramas o ejes secundarios. Cuando más rápido es el enfriamiento durante la cristalización, tanto menores serán las dimensiones (altura) de la dendrita y menores también las distancias entre los ejes secundarios.

La ferrita es uno de los constituyentes en la estructura cristalina del acero al carbono, la cual es una solución sólida de carbono en hierro alfa, su solubilidad a la temperatura ambiente es del orden de 0,008 % de carbono, por esto se considera como hierro puro, la máxima solubilidad de carbono en el hierro alfa es de 0,02 % a 723 °C.

La ferrita es la fase más blanda y dúctil de los aceros, cristaliza en la red cúbica centrada en el cuerpo, tiene una dureza de 90 Brinell y una resistencia

a la tracción de 28 kg/mm^2 , llegando hasta un alargamiento del 40 %, se observa al microscopio como granos poligonales claros.

En los aceros, la ferrita puede aparecer como cristales mezclados con los de perlita (en los aceros de menos de 0,6 % de Carbono); formando una red o malla que limita los granos de perlita, (en los aceros de 0,6 a 0,85 % de carbono) en forma de agujas o bandas circulares orientados en la dirección de los planos cristalográficos de la austenita como en los aceros en bruto de colada o en aceros que han sido sobrecalentados. Este tipo de estructura se denomina Widmanstätten.

1.8 Influencia de los elementos en el acero

Cada elemento de la aleación confiere al acero una propiedad específica definida entre ellas se encuentran:

Carbono: Ejerce una gran influencia sobre las propiedades físicas y mecánicas del acero. Eleva su resistencia, dureza y templabilidad. El aumento del carbono en la fundición eleva de forma creciente la resistencia al desgaste.

Silicio: Este elemento aparece en todos los aceros, al igual que el manganeso, se añade intencionalmente durante el proceso de fabricación. Es un desoxidante más enérgico que el manganeso y se emplea como elemento desoxidante complementario del manganeso con objeto de evitar que aparezcan en el acero poros y defectos internos. Las adiciones de silicio se hacen durante la fabricación, suelen ser relativamente pequeñas y variables (0,2- 0,35% de Si).

Manganeso: Se añade como elemento de adición para neutralizar la perniciosa influencia del azufre y del oxígeno, que siempre suelen contener los aceros cuando se encuentran en estado líquido en los hornos durante los procesos de fabricación. Actúa además como desoxidante y evita, que en la solidificación del acero se desprendan gases que den lugar a porosidades perjudiciales en el material. Al aumentar de 0,6 a 1,6% aproximadamente el porcentaje de manganeso en los aceros, se aumenta ligeramente su resistencia, se mejora su templabilidad, siendo interesante destacar que el manganeso es un elemento de aleación relativamente barato.

Cromo: Aumenta la resistencia a la corrosión y al disolverse en la austenita, aumenta también la templabilidad. En los aceros con un alto contenido en carbono, aumenta la resistencia a la abrasión y al desgaste.

Níquel: La presencia del Níquel aumenta en forma considerable la resistencia a la tracción y el límite elástico del acero, además de elevar su tenacidad y su dureza.

Azufre: Forma con el hierro combinaciones químicas, sulfuros de hierro, que hacen que el acero calentado al rojo sea quebradizo. Este elemento es perjudicial en el proceso de tratamiento térmico, el mismo se disuelve en el hierro, en el proceso de fundición con las elevadas temperaturas puede provocar una alteración en la formación de fase.

Es una impureza perjudicial puesto que favorece la formación de grietas durante la solidificación formando capas intermedias de Sulfuro de Hierro entre los cristales de aleación; favorece también la formación de la Cementita.

El fósforo: Se encuentra siempre disuelto en los granos de ferrita a los que comunica gran fragilidad. Es un elemento perjudicial porque reduce considerablemente la tenacidad y origina fragilidad en frío. También eleva la dureza y la fragilidad de la fundición y además le comunica a éste un bajo punto de fusión.

1.9 Trabajos precedentes

Flemings (1983), plantea que para conocer la tecnología de fundición es muy importante saber cómo progresa la solidificación y cuál es su secuencia dentro de la pieza, porque esa información le ayuda a diseñar adecuadamente tanto las mazarotas como el sistema de entradas al molde, lo que le permite obtener productos sanos y libres de porosidades.

Zuidema (1987), realizó un estudio para determinar el endurecimiento por trabajo y la resistencia al desgaste de aceros Hadfield con carbono de 1.0 a 1.75% y aluminio de 0,0 a 4,0%. Se encontró que el aluminio reduce la actividad del carbono en la austenita, aumentando la solubilidad metaestable del carbono en el acero Hadfield. Las adiciones de aluminio inhibieron el maclado mecánico y expandieron el intervalo de

temperatura en el cual ocurre el envejecimiento dinámico por deformación (EDD) y ocurrió endurecimiento rápido por deformación

Karaman, Canadinc (2003), publicaron un artículo sobre el papel del nitrógeno sobre la curva tensión deformación de monocristales de acero Hadfield bajo cargas de compresión. Se examinaron dos concentraciones de nitrógeno (0.05 y 1.06% en peso) y en ambos casos se encontraron grandes aumentos de defectos críticos que afectan los coeficientes de endurecimiento del acero Hadfield y lo comparan con el acero Hadfield sin nitrógeno.

Loizaga A. *et al* (2007), realizaron un análisis sobre los principales tipos de porosidades de gas encontradas en la fundición gráfica de hierro, aluminio y acero. Se establecen las posibles causas de estos defectos y se estudian los procesos físicos y químicos que tienen lugar en el seno del metal fundido.

Hernández J. *et al.* (2008), describen un equipo de fusión al vacío fabricado para la determinación de la cantidad de gas ocluido en piezas obtenidas mediante procesos de fundición. Donde han obtenido correlaciones de ajuste que permiten el cálculo, con un buen grado de precisión, de la cantidad de gas ocluido en piezas fundidas en función de los incrementos de presión detectados por el equipo de vacío.

Echeverría (2009) caracteriza la microestructura del material del cilindro del enfriador de mineral reducido y realiza un análisis tenso – deformaciones, demostrando que existen cambios en la estructura del material, en el tamaño de los granos así como una nueva disposición en la red cristalina. Realiza ensayos de dureza y microdureza al material, demostrando que existe un incremento de dureza en el tramo de la entrada del enfriador en relación al de la salida, los cuales están dados por las altas temperaturas (por encima de 727°C) a la entrada del enfriador.

Sergio F. *et al* (2011) Utilizan el criterio de Niyama para determinar un parámetro térmico local de uso muy frecuente en software de modelización de la solidificación de aleaciones y que frecuentemente es utilizado para predecir defectos de porosidad en fundiciones de acero. Muestran que el criterio de Niyama también se puede usar para

determinar macro y micro porosidad que podría ser aplicado a otras aleaciones diferentes a los aceros, como por ejemplo a las aleaciones de aluminio A356 y las de aluminio magnesio.

Paumier Y. (2013), determinó el comportamiento microestructural del material del cilindro rotatorio del enfriador de mineral de la empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” analizando la microestructura del acero AISI 1340, el agrietamiento y el desgaste progresivo en el interior del mismo. Para ello se empleó como metodología el método de elementos finitos mediante el software ANSYS 12.1, así como también el desarrollo de las técnicas de análisis químico, microscopía óptica, ensayos de dureza (HRB) y microdureza (HVN), a través de los cuales se demostró que existen cambios en su estructura.

Guzmán O. *et al.* (2013), brindaron una guía con los conceptos teóricos básicos sobre la preparación de muestras metalográficas, así como los diferentes tipos de microestructuras de los materiales, obtenidas en diversos procesos de fabricación, tratamientos térmicos y otros; para distinguir las propiedades mecánicas de los metales y aleaciones, ayudando con esto en la selección e inspección de materiales y a llevar un buen control de calidad, para un mejor diseño ingenieril.

Silot (2014), obtiene la aleación Ac-70XL en una nueva tecnología de fundición basada en el moldeo autofraguante con el fin de fabricar bolas para la molienda del clinker, la misma le aplica ensayos de dureza a diferentes regiones de las bolas y determina la ovalidad. En la fundición de las bolas no se realiza análisis microestructural lo cual imposibilita conocer la microestructura que presentan dichas bolas.

Andino (2016), realiza un estudio del rendimiento de las mazarotas en la fundición de bolas de acero para molinos, describen los métodos, procedimientos y condiciones que fundamentan la predicción del cálculo de las dimensiones de las mazarotas y el sistema de alimentación, con la aplicación de las técnicas propuestas, es posible evaluar el comportamiento del rendimiento de la aleación para diferentes alturas de la mazarota. Se concluye que ocurre un incremento del rendimiento de la fundición de bolas

con la disminución de la altura de la mazarota, manteniendo invariable la tecnología de fundición y la composición química.

Conclusiones del capítulo I

1. La bibliografía consultada reporta importantes contribuciones al desarrollo de técnicas de fundición para los aceros que garanticen obtener piezas fundidas de calidad.

2. En los trabajos consultados existe poco referencia sobre el acero 35 fabricadas por fundición. Los elementos teóricos analizados permiten asegurar que es posible la fabricación con calidad, por el método de fundición, de las aleaciones de acero Hadfield y 35 para la obtención de las probetas a estudiar en la (EMNI) Empresa Mecánica del Níquel.

CAPITULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente capítulo se describen los materiales, métodos y técnicas utilizados en la investigación. Estas están basadas en la descripción de la tecnología de fundición para obtener las probetas de los aceros en estudio, la determinación de la composición química, la preparación de las probetas para el estudio de la microestructura y de la porosidad, finalmente se describe la metodología para determinar el carbono equivalente.

2.1. Métodos empleados en la investigación

Toda investigación implica la utilización de métodos que viabilicen el cumplimiento del proceso investigativo, además, es la forma de abordar la realidad, de estudiar los fenómenos de la naturaleza, la sociedad y el pensamiento, con el propósito de descubrir la esencia de los mismos y sus relaciones.

En el desarrollo de la investigación se aplican los siguientes **métodos**:

Método de análisis y síntesis: El análisis es el proceso por el cual se examina un objeto en sus partes dirigido a lo individual, mientras que la síntesis es la unión de lo que se adquiere en el análisis, es decir, nos aporta el todo, lo general.

En la investigación el método se emplea para analizar los procesos de fundición de metales, especialmente el método de moldeo con resinas sintéticas autofraguante.

Método histórico-lógico: El método histórico-lógico permite indagar en los referentes teóricos que identifican las relaciones entre el proceso cognoscitivo lógico y el desarrollo histórico de los procesos en su conjunto y del conocimiento en particular.

El mismo es aplicable para estudiar los aceros desde sus inicios, así como el surgimiento de los procesos de fundición.

Método inductivo y deductivo: Es un proceso que permite la búsqueda de información, toma como referencia la relación de los aspectos generales a los particulares y viceversa (Taylor y Bogdan, 1984).

Permite abordar los referentes teóricos que se utilizan para sustentar la indagación científica, así como las investigaciones precedentes aplicadas a los aceros y a los procesos de fundición.

2.2. Tecnología de moldeo

Determinado los parámetros fundamentales a tener en cuenta en la proyección de la tecnología de fundición, se procede a la confección del molde. Esta área de la fundición, ha permitido al hombre lograr moldear piezas de elevada responsabilidad, tamaños variados y diseños complicados, utilizando arena refractaria (sílice) y aglutinantes orgánicos (resinas) con endurecimiento químico.

Las resinas furánicas son obtenidas a partir de resinas Fenol-Formaldehído o urea formaldehído modificadas con alcohol furfúrico (Salcines, 1985).

La mezcla que se forma con los tres componentes (Arena, Resina y catalizador) endurece pasado el tiempo a temperatura ambiente lográndose altos valores de resistencia en el molde (1- 10 kgf/cm²). Esta viene determinada por el tipo de aglomerante y catalizador utilizado.

Los catalizadores tienen la importante función de acelerar las velocidades de polimerización. Dependiendo del tipo de catalizador, se alcanza un endurecimiento de los moldes más o menos rápido. Los parámetros que definen la velocidad de endurecimiento en la preparación del molde son la vida de banco y el tiempo de desmolde.

2.2.1. Vida de banco:

Todos los procesos de endurecimiento tienen un tiempo de iniciación, el cual proporciona el tiempo para poder atacar y acondicionar los moldes (colocación de armaduras, enfriadores, etc.) hasta que la arena va endureciendo, pierde el estado plástico y es imposible seguir trabajando con ella. Al tiempo que permite poder trabajar con estas mezclas de arena, aglomerante y catalizador, se le denomina vida de banco. Una vez pasado este tiempo se dice que la arena está pasada y con ellas se obtienen moldes de poca resistencia que acarrearán problemas de arrastres y penetración.

2.2.2. Tiempo de desmolde:

Espacio de tiempo en la mezcla preparada para endurecerse y permitir la extracción del modelo en el molde.

Materiales de moldeo utilizados:

Arena Sílice, de procedencia nacional (Casilda,) con la siguiente composición química.

Tabla 2.1 Composición química de la arena sílice %

CaO	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O)
0,142	0,10	92,31	0,750	0,214	1,59	0,027	0,0084

Tabla 2.2. Características de la resina furánica.

CARACTERISTICAS	Furánica Cat. ácido
% Resina a utilizar	0.8- 2.5 %
Tipo de catalizador	A. Sulfónicos y A. Fosfóricos
% de catalizador sobre peso de resina	30-60
Facilidad de atacado	Muy buena
Vida de Banco (minutos)	3 -5
Tiempo de desmodelado (minutos)	8- 10
Facilidad en el desmodelado	Muy buena
Productividad	Regular?
% Nitrógeno	0-10
Resistencia con arena nueva (kgf/cm ²)	>2
Desarenado	Muy bueno
Recuperación	Muy bueno
Resistencia con arena recuperada	Muy bueno

2.2.3. Propiedades físicas y químicas del catalizador

El catalizador utilizado de igual procedencia que la resina suministrada por el mismo proveedor presenta las siguientes características:

- Estado líquido
- Aspecto líquido viscoso, amarillento.
- Punto de ebullición; 200 °C
- Su punto de inflamación; 108 °C
- Es insoluble en agua.

El conjunto de estos tres materiales, propiciaron la realización de la mezcla a utilizar en la presente investigación, (arena-resina y catalizador) con la utilización de un turbo Mezclador automático a las proporciones siguientes:

Arena Nueva, 100 %

Resina: cantidad 2 % en peso de la cantidad de arena.

Catalizador: cantidad 30 % en peso de la cantidad de resina.

Una muestra de la mezcla es recogida y analizada en el laboratorio ubicado dentro de la misma instalación para comprobar los parámetros alcanzados.

2.3. Secuencia de operación para la confección de las probetas en estudio.

Se tomó una plantilla de macho en el almacén de plantillas, conjuntamente un tarugo y se colocaron al alcance del turbo mezclador.

- Se aplicó una capa de separante de modelo (pintura base aluminio) al tarugo que tomamos como modelo de las probetas a obtener.
- Se colocó los sistemas de alimentación en la caja del molde.
- Se conecta la alimentación eléctrica central de la instalación del turbo mezclador y se verifican sus controles de emergencia.
- Se arranca el equipo y en la medida que la mezcla cae al molde se apisona, compactando bien la misma alrededor del tarugo (plantilla).
- Completado el mismo se perfecciona el molde con una cuchara, para eliminar la mezcla sobrante.
- Realizadas estas operaciones con el tiempo necesario para efectuar el desmoldeo para separar el molde del modelo (plantilla).
- Finalmente se inspecciona la calidad del molde, y se reparan los defectos de desprendimiento de ser necesario, y luego es trasladado al área de fusión para ser ensamblado y obtener las probetas.(anexo 3)

Tabla 2.3. Distribución de las probetas.

Mezcla	Probetas	
	Hadfield	Acero 35
Arena nueva	P – 1	P - 5
Arena de retorno	P – 2	P – 6
Arena 50 x 50	P – 3	P - 7
Mescla de cara con cromita (MC-2)	P – 4	P - 8

2.4. Características técnicas de las instalaciones utilizadas

Para la confección del molde y obtención de las probetas utilizamos las siguientes instalaciones.

Turbo mezclador.

1. Tipo de maquina; TWVS10/1000/2500
2. Rendimiento; 11.4 t/h
3. Radio de la paleta mezcladora; 3500 mm
4. Motor de propulsión mezclador previo; 2.2 kW.
5. Motor de propulsión turbo mezclador; 18.5 kW.
6. Bomba dosificadora de resina; AZD 037/b2/10rf
7. Motor de propulsión bomba de resina; 0.37 kW.
8. Bomba dosificadora de endurecedor; ASD 0.37/10rf
9. Motor de propulsión bomba de endurecedor; 0.37 Kw.
10. Potencia conectada total; 21 kW.
11. Tensión de servicio; 400 V
12. Conexión neumática; 6 bar.

Horno de inducción

1. Potencia de trabajo; 500 kW
2. Temperatura; hasta 1700 °C
3. Consumo; 860 kW/h por tonelada de metal
4. Capacidad; 1000 kg

Al terminar las coladas se determina la composición química de las probetas.

2.5. Pasos para efectuar la fundición de las aleaciones

- 1- Se Introduce la carga metálica con el horno apagado como se establece en el procedimiento 08-1-011 fusión de acero al manganeso; 08-1-010 fusión de acero bajo carbono (anexo 1 y 2).
Chatarra de acero al carbono.
Retorno.
Níquel Sínter.
- 2- Se realiza la fusión de la carga metálica con la máxima potencia del horno.
- 3- Durante la fusión parcial de la carga, cuando en el fondo del crisol aparece el metal líquido, se cubre con una mezcla o material formador de escoria (polvo de magnesita), en la cantidad de (2 a 3) % de la masa de los materiales de carga.
- 4- Se mueve la carga a medida que la misma va pasando al estado líquido.

- 5- Después de la fusión total de la carga metálica se baja la potencia hasta un (20 a 40) % de la máxima.
- 6- Se elimina la escoria y se extrae una muestra para el análisis previo de la aleación.
- 7- Se añade nuevos formadores de escoria en la cantidad de (1,5 a 2,0) % de la masa de los materiales de carga con la misma.
- 8- Con los resultados del laboratorio se ajusta la aleación, en caso de ser necesario, para lograr la Composición Química del Acero al manganeso y acero 35.
- 9- Se añade los desoxidantes (5 a 10) minutos antes del vaciado del metal a la cazuela.
- 10- Se eleva la potencia del horno para calentar el metal hasta lograr la temperatura de vaciado indicada en la carta tecnológica del proceso de fundición.
- 11- Se elimina el resto de la escoria y se efectúa el vaciado del metal en la cazuela de vertido.

La carga fue fusionada con la utilización del horno de inducción modelo Magnethermic de fabricación inglesa, que permite fundir aleaciones de hierro y aceros.

2.6 Análisis de la composición química de las aleaciones (probetas)

El análisis químico del material se realizó empleando un espectrómetro de masa cuántico, ESPECTROLAB 230 con electrodo de carbón bajo arco sumergido en atmósfera de argón, ubicado en el laboratorio del taller de Fundición de la Empresa Mecánica del Níquel “Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche”, de Moa. El ensayo consiste en suministrar una intensidad de corriente a los electrones que conforman un átomo, estos se excitan y pasan de un nivel de energía inferior a otro superior emitiendo está en forma de luz y calor.

La luz de la cámara de chispeo es transmitida por una fibra óptica hasta la ranura de entrada, la hendidura deja pasar la luz hasta la rejilla que transforma la misma en sus longitudes de onda, donde se determinan los componentes.

El chispeo se realiza en varios lugares de la muestra con una atmósfera de argón para eliminar el oxígeno. De la serie de mediciones se hace un promedio obteniendo así el porcentaje de cada elemento que conforma la aleación.

En las siguientes tablas se muestran la composición química de ambas aleaciones en correspondencia con las normas.

Tabla 2.4 Composición química del acero Hadfield según norma (ASTM A128)

Elementos	Min	Máx
C	1,202	1,238
Si	0,660	0,680
Mn	12,766	13,154
Cr	0,049	0,051
Ni	0,108	0,112
P	0,138	0,142
S	0,015	0,016

Tabla 2.5 Composición química del acero 35 (SAE 1035)

Elementos	Min	Máx
C	0,347	0,357
Si	0,122	0,126
Mn	0,516	0,532
Cr	0,119	0,123
Ni	0,125	0,129
P	0,017	0,025
S	0,022	0,023

2.7 Examen microestructural

La metalografía microscópica estudia las características estructurales y de constitución de los productos metalúrgicos con la ayuda del microscopio metalográfico, para relacionarlos con sus propiedades físicas y mecánicas. La preparación defectuosa de las probetas puede arrancar las inclusiones importantes, destruir los bordes de grano, originando una estructura

superficial distorsionada que no guarda ninguna relación con la superficie representativa y características de la aleación.

Para esto se cuenta con una muestra patrón, que brindara la información que nos guiara para caracterizar la muestra obtenida.

Acero Hadfield

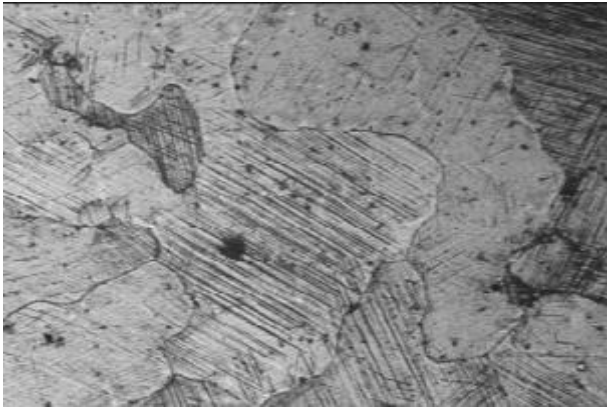


Figura 3 Muestra patrón del acero Hadfield.

En la figura se muestran los diferentes microconstituyentes como la austenita, la martensita y la austenita dendrítica.

Acero 35

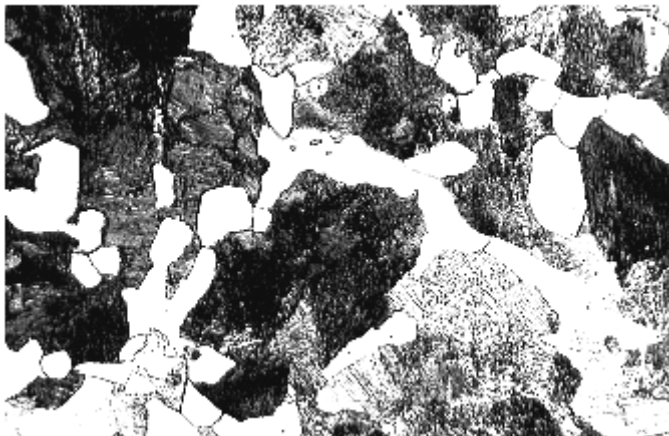


Figura 4 Muestra patrón del acero 35

La figura 33 corresponde a un acero hipoeutectoide de 0,35 %C. Como se puede observar, la estructura de éste acero es de ferrita y de perlita; siendo el constituyente matriz la ferrita y el constituyente disperso la perlita.

Las operaciones para la realización de los ensayos se resumen en el siguiente orden, según la norma NC 10 - 56:86 y ASTM E3 - 95.

1. Toma y corte de la muestra.
2. Desbaste y pulido.
3. Ataque químico de la probeta.
4. Observación microscópica
5. Obtención de micrografías.

2.7.1. Corte

A partir de las probetas fundidas, se cortan las muestras para la realización de los análisis propuestos aplicando refrigeración intensa durante estas operaciones para evitar que el calentamiento originado modifique la microestructura. Las muestras se cortaron en una máquina de corte, marca echoLAB tipo CM 260, ubicada en el laboratorio de Ciencia de los Materiales de la Empresa Mecánica del Níquel “Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche”, de con la características siguientes, peso total de 365 kg, potencia eléctrica de 220 V, frecuencia de 60 Hz. Para realizar el corte se utilizó un disco de carbono de 1 mm.



Figura 5. Máquina de corte echoLAB 260.

2.7.2. Pulido

El pulido se realizó con los papeles abrasivos variando la granulometría de los mismos, desde la más gruesa a la más fina al ser aplicados a la pieza de trabajo. Se emplearon lijas del tipo; No 180; 400; 600; 800 y 1200 (ASTM E 3 – 95), la lija se montó sobre una placa de vidrio, donde se cambió el sentido del lijado a 90° al pasar de un pliegue a otro para eliminar la capa de material distorsionado y deslizado dejado por el anterior. Esto permite obtener una superficie lisa y pulida, libre de impurezas o ralladuras.

Para el acabado final se utilizó un paño de fieltro grueso, usando como sustancia abrasiva, una suspensión de diamante de 2,5 μm . Una vez pulida las probetas se lavaron con agua destilada, secándose con papel de filtro, se volvieron a lavar con tetracloruro de carbono (Cl_4C) para evitar cualquier vestigio de grasa y pastas de pulir.

Las muestras se pulieron en una pulidora metalográfica marca echoLAB, ubicada en el laboratorio de Ciencia de los Materiales de la Empresa Mecánica del Níquel “Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche”; con las siguientes características.

Tabla 2.6. Características de la pulidora metalográfica

Corriente de alimentación	2,5 A
Voltaje	220 V
Número de revoluciones	1000 rpm
Potencia del motor	60Hz

A continuación se muestra una foto de la pulidora



Figura 6. Máquina pulidora metalográfica echoLAB.

2.7.3. Ataque químico

El ataque químico se realiza con el empleo de las técnicas de ataque manual por inmersión durante 5 segundos, este fue realizado en el laboratorio de Ciencia de los Materiales de la Empresa Mecánica del Níquel “Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche”. La composición del reactivo y las condiciones en las que se aplica el ataque se muestran en la tabla 2.6.

Tabla 2.7. Composición del ácido nítrico

Reactivo	Composición química	Forma y tiempo	Observación
Ácido nítrico (Nital 2 %)	Acido nítrico 4 cm ³ Alcohol etílico 95 cm ³	Inmersión de 5 s para acero 35. Inmersión de 10 s para acero Hadfield.	Estructura general

Después de atacadas las muestras se lavan con agua destilada, se sumergen en alcohol etílico durante unos segundos y finalmente se secan en un secador neumático, lo que elimina impurezas y humedad.

2.7.4. Análisis microestructural

El análisis microestructural consiste en la observación de las muestras de la aleación fundida en estado bruto de colada. Para llevar a cabo este análisis se emplea un microscopio óptico echoLAB modelo IM 500BD, como se observa en la figura 2.3, ubicado en el laboratorio de Ciencias de los Materiales, el mismo está dotado de una computadora donde se refleja la imagen a obtener. Para colocar las probetas en el microscopio se montaron en un dispositivo con plastilina, el cual permitió la adecuada nivelación de las mismas.



Figura 7. Microscopio óptico echoLAB modelo IM 500BD

2.7.5. Análisis de la porosidad

La porosidad o fracción de huecos es una medida de espacios vacíos en un material, metal o aleación es una fracción del volumen de huecos sobre el volumen total, entre 0-1, o como un porcentaje entre 0-100 %. El término se utiliza en varios campos, incluyendo farmacia, cerámica, metalurgia, materiales, fabricación, ciencias de la tierra, mecánica de suelos e ingeniería.

El análisis de la porosidad fue realizado en Microscopio óptico echoLAB modelo IM 500BD utilizado también para la determinación de la microestructura mencionada en el epígrafe anterior.

2.8. Cálculo del carbono equivalente

En las fundiciones, al aumentar el carbono equivalente, aumenta la cantidad de grafito, se reduce la cantidad de perlita y su grado de dispersión, se acrecientan las inclusiones de grafito, lo que reduce la resistencia de la fundición. La influencia combinada del carbono y el silicio normalmente se evalúa mediante la expresión siguiente según Fernández-Pariente y Belzunce-Varela (2006).

$$[C_{eq}] = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + 11 + Mo}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (2.1)$$

Donde:

$\%C_{eq}$ – carbono equivalente; %

$\%Cr$ – cromo; %

$\%Mn$ – manganeso; %

$\%Mo$ – molideno; %

$\%Ni$ – níquel; %

$\%Cu$ – cobre; %

En la práctica es más difícil regular la cantidad de carbono que la de silicio, por eso, se elige un contenido tal de carbono que garantice relativamente buenas propiedades de colada, esto es, fluidez y poca contracción. El contenido de manganeso varía en función de la matriz deseada, típicamente, puede ser tan baja como 0,1 % para aceros ferríticos y tan alta como 1,2 % para aceros perlíticos, ya que el manganeso es un fuerte promotor de la perlita.

La relación adecuada entre el manganeso y azufre para una estructura libre de sulfuro de azufre y máxima cantidad de ferrita es:

$$\%Mn = 1,7 \cdot (\%S) + 0,15 \quad (2.2)$$

2.8.1. Carbono equivalente en función del carbono, el silicio y el fósforo

El carbono equivalente en función del carbono, el silicio y el fósforo y se calcula por la ecuación siguiente:

$$\%C_{eq} = \%C + \frac{(\%Si + \%P)}{3} \quad (2.3)$$

El cálculo del carbono equivalente permite evaluar el efecto de la composición de los elementos en los aceros. Permite estimar si un determinado acero será hipo o hipereutectoide durante la solidificación.

2.8.2. Contenido de carbono y silicio en el acero fundido

A efectos de determinar el contenido de C y Si del acero se utilizan las curvas de enfriamiento ya que los aceros fundidos son considerados aleaciones ternarias de acero, carbono y silicio. El contenido de C y Si puede calcularse mediante las ecuaciones siguientes:

$$Si \left[\% = \frac{2085,4 - C_{ET}}{22,7} \right] \quad (2.4)$$

2.8.3. Control del índice de saturación

Según el diagrama Fe - Fe₃C generalmente, una aleación de acero con un $C_{eq} = 0,8$ solidifica de manera eutectoide. Las aleaciones de acero hipereutectoides tienen un valor de $C_{qe} > 0,8$ mientras que en los hipoeutectoides es menor a 0,8. El índice de saturación se determina como:

$$IS = \frac{\%C}{4,3 - \frac{(\%Si + \%P)}{3}} \quad (2.5)$$

Donde IS , es el índice de saturación, en %.

De acuerdo con estos métodos de control, si se conoce el valor de algunos de estos índices, se puede determinar con bastante aproximación el posible comportamiento de los aceros fundidos en piezas de diferentes espesores. El carbono eutectoide se determina como:

$$C_{eutect} = 0,8 - \frac{\%Si}{9} \quad (2.6)$$

Los contenidos en carbono de las aleaciones eutectoide del diagrama estable varían con el contenido en silicio de los aceros fundidos y son inferiores a los que corresponden al diagrama metaestable.

2.8.4. Composición en las interfaces

Para la determinación de las composiciones de equilibrio de las distintas fases en las zonas de interface se tiene en cuenta la influencia del silicio a partir del diagrama de equilibrio ternario Fe - C - Si. Esto se logra con el uso de este diagrama en dos dimensiones, pero cuyas líneas de líquidos, sólidos y temperatura de equilibrio eutéctica están definidas por funciones que dependen de los contenidos de silicio (Si) y de carbono (C). La composición en las interfaces se determina por las ecuaciones siguientes:

$$T_{AS} = 1528 - 177,9(C + 0,18 \cdot Si) \quad (2.7)$$

Donde; T_{AS} es la temperatura de sólidos de la austenita, en °C.

El significado de las temperaturas T_{AG} ; T_{AS} ; puede observarse en la figura 2.1 que se corresponde con un sector del diagrama de equilibrio Fe - C - Si para un determinado porcentaje de Si.

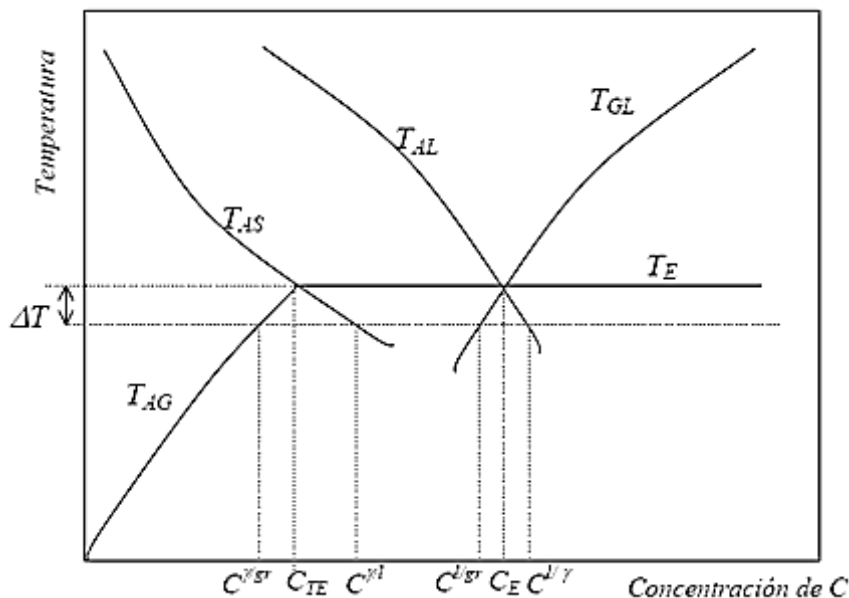


Figura 8. Región eutéctica del diagrama Fe-C-Si para un determinado porcentaje de Si.

Por intersección entre T_{AS} y T_E se obtiene el punto de máxima solubilidad de carbono en la austenita a temperatura eutéctica.

$$C_{TE} = 2,1 - 0,216 \cdot Si \quad (2.8)$$

De las ecuaciones anteriores se pueden despejar los porcentajes de carbono en la zona de la interface correspondientes a cada fase y cada temperatura. En todos los cálculos las concentraciones de equilibrio de carbono en las interfaces se obtienen mediante las ecuaciones establecidas por Heine (1986), Boeri (1989) y Murcia Sánchez, S. C. (2012). A continuación se muestran.

$$C^{l/\gamma} = \frac{1}{97,3} (1569 - T - 24,32 \cdot Si) \quad (2.9)$$

$$C^{\gamma/l} = \frac{1}{177,9} (1528,4 - T - 32 \cdot Si) \quad (2.10)$$

Donde T es la temperatura; °C;

$C^{l/\gamma}$ es la concentración de carbono del líquido en contacto con la austenita

$C^{\gamma/l}$ es la concentración de carbono de la austenita en contacto con el líquido

Para la definición de la línea T_{AG} , que determina la variación de la solubilidad del carbono en la austenita en estado sólido, se ubica el punto de coordenadas 800 °C y 0,6 % C, el cual se considera como el punto eutectoide y se lo une con el punto C_{TE} , obteniéndose de acuerdo con Boeri (1989) como:

$$C^{\gamma/F} = \frac{(T - 1154,6 - 6,5 \cdot Si)(1,5 - 0,216 \cdot Si)}{(354,6 + 6,5 \cdot Si)} + 2,1 - 0,216 \cdot Si \quad (2.11)$$

Donde $C^{\gamma/F}$ es la concentración de carbono de la austenita en contacto con la ferrita.

Conclusiones del Capítulo 2

1. Se describen cada una de las técnicas y procedimientos prácticos y experimentales, que darán arribo a los resultados necesarios en la solución del problema.
2. El equipamiento y tecnologías a utilizar cuentan con una minuciosa y detallada información de las mismas, brindando confiabilidad y precisión en cada uno de sus resultados.

CAPITULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En el presente capítulo se exponen los principales resultados obtenidos luego de la aplicación de métodos y técnicas descritos anteriormente, estos resultados son: composición química de las probetas en estudio; Parámetros de las mezclas de moldeo; microestructura; porosidad; carbono equivalente y finalmente una valoración económica.

3.1. Composición química de las muestras obtenidas

El análisis químico realizado arrojó los siguientes resultados.

Tabla 3.1. Composición química promedio de la aleación acero Hadfield (%).

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu
1,210	0,670	13,099	0,014	0,016	0,050	0,110	0,110	0,041	0,260

El carbono (C) en el primer análisis químico estaba fuera de la norma, con valor de 1,191 %, por tanto se adicionó un porcentaje del mismo para llevarlo a las exigencias requeridas donde alcanza una composición final de 1,210 %. Los demás elementos se comportan de acuerdo a la norma exigida mostrada en el capítulo 2.

En la siguiente tabla se muestra la composición química del acero 35.

Tabla 3.2. Composición química promedio del acero 35 (%).

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu
0,336	0,124	0,524	0,017	0,022	0,121	0,018	0,018	0,018	0,219

Según la tabla anterior la composición química en el acero 35 se encuentra dentro de la norma exigida para este tipo de aleación.

3.2. Parámetros de las mezclas de moldeo autofraguante

Los parámetros de las mezclas utilizadas así como las proporciones para la confección de moldes, se muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Parámetros de las mezclas de moldeo autofraguante.

Vida de banco	Tiempo de desmoldeo	Resina	Catalizador	Resistencia (kg/cm ²)		
				1 h	3 h	24 h
300 s	480 s	650 rpm	800 rpm	2,6	3,2	3,8
		2 %	38 %			

Como se muestra en la tabla la vida de banco es de 300 segundos, lo que significa que el tiempo para endurecer la mezcla de arena es en ese periodo de tiempo. El tiempo de desmoldeo es de 480 segundos, lo que se considera bueno según los parámetros de la norma. Para determinar la resistencia del molde se aplica un ensayo de tracción en el tiempo indicado en la tabla, arrojando los valores de 2,6; 3,2 y 3,8 kg/cm².

La máquina de moldeo trabaja con un variador de velocidad el cual según las revoluciones de la bomba es proporcional al flujo de resina y catalizador que llega al turbo mezclador. Con 650 y 800 rpm de resina y catalizador se logra que la mezcla tenga la dureza que se necesita para el moldeo autofraguante comprobado siempre por el laboratorio.

3.2.1. Obtención de las probetas por fundición.

Con los pasos descritos en el epígrafe 2.5 se obtienen las siguientes probetas.

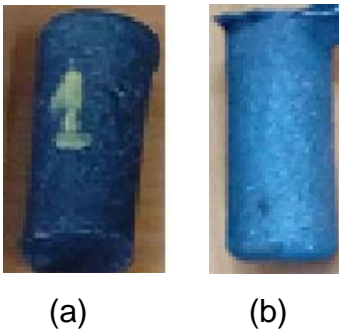


Figura 9. Probetas obtenidas. a (acero 35); b (acero Hadfield).

En la figura 3.1 se muestra una foto de cada tipo de aleación obtenida por fundición en la empresa “Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche”.

3.3. Análisis microestructural

El análisis microestructural de ambas aleaciones realizadas con la ayuda del microscopio óptico echoLAB modelo IM 500BD se muestra a continuación en la figura 8.

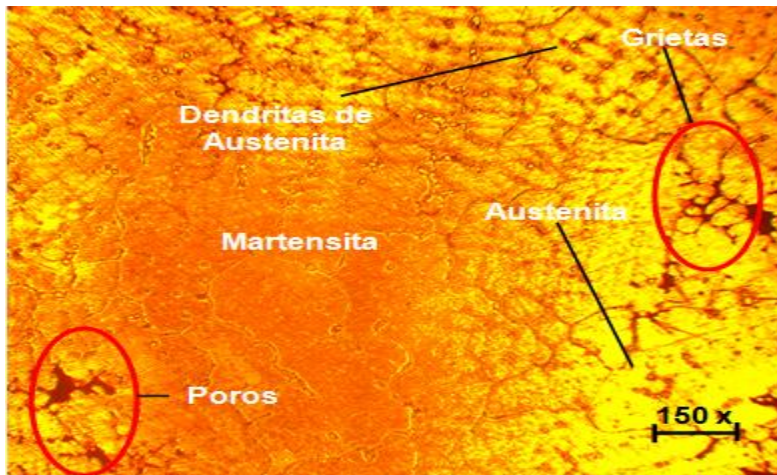


Figura 10. Microestructura del Acero Hadfield

En la figura se muestra la semejanza que existe entre la muestra patrón y la microestructura obtenida de la probeta en estudio lo que corrobora la autenticidad de los resultados obtenidos del acero Hadfield, donde el mismo está compuesto por diferentes microconstituyentes como la austenita, la martensita y la austenita dendrítica. El tamaño de grano austenítico es grande y cuando los tamaños de grano austenítico son grandes y las velocidades de enfriamiento relativamente rápidas (al aire), se acentúa la formación del tipo de estructura de láminas de martensita.

Se observa además la presencia de defectos (círculos rojos) consistentes en poros y grietas intercrystalinas. Las rupturas intercrystalinas provocadas por fisuras, microfisuras, grietas o fracturas, son el resultado de la sensibilidad térmica del acero Hadfield, sin embargo, estas rupturas necesitan de una fuerza para su inicio la cual se las proporciona la temperatura generada durante el proceso de solidificación, además de un medio por el cual se puedan propagar y este medio son los huecos o microhuecos intercrystalinos como constituyentes originales del material, también hay que notar, que el tamaño, espesor y longitud de las rupturas son inversamente proporcionales a la velocidad de enfriamiento del material después de ser fundido.

La microestructura del acero 35 se muestra en la siguiente figura.

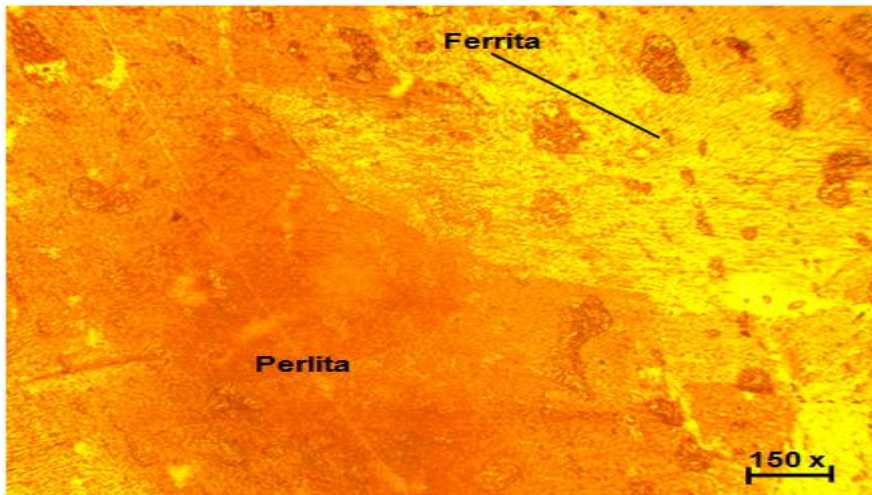


Figura 11. Microestructura del Acero 35

En la figura se muestra la semejanza que existe entre la muestra patrón y la microestructura obtenida de la probeta en estudio lo que corrobora la autenticidad de los resultados obtenidos del acero 35. La microestructura observada se corresponde con un acero hipoeutectoide, que por tratarse de un acero con un contenido menor de 0,8 % C (0,35 %), tiene como constituyente matriz la ferrita y como constituyente disperso la perlita, donde se puede apreciar que ambos microconstituyentes están delimitados por las líneas que definen los bordes de los granos.

La figura muestra un acero fundido; enfriado desde el estado austenítico con una velocidad tal que los constituyentes que aparecen son los que corresponden al diagrama Fe-C. Por tratarse de este tipo de acero, la austenita inicia su transformación a la temperatura de 727 °C y esa transformación, regida por la formación de gérmenes de cementita, da origen a un agregado complejo que crece por nucleación cooperativa de la ferrita y de la cementita, dando láminas alternas de ferrita y de cementita en bordes de grano, que es lo que constituye exactamente ese tipo de agregado complejo que recibe el nombre de perlita. La separación entre láminas varía según sea la temperatura a la que se haya realizado la transformación isotérmica de la austenita.

3.4. Análisis de la porosidad para los acero en estudio .

La porosidad en una aleación son defectos que acurren por una serie de parámetros

1. Temperatura
2. Calidad de la arena
3. Calidad de la materia prima
4. Proceso de fundición
5. Elaboración de los moldes
6. Permeabilidad de los moldes

3.4.1. Análisis de la porosidad para el acero Hadfield

A continuación se muestra el estudio de la porosidad para cada una de las probetas obtenidas de los dos aceros en estudio. Las imágenes mostradas corresponden al centro y periferia de las probetas.

Probeta 1

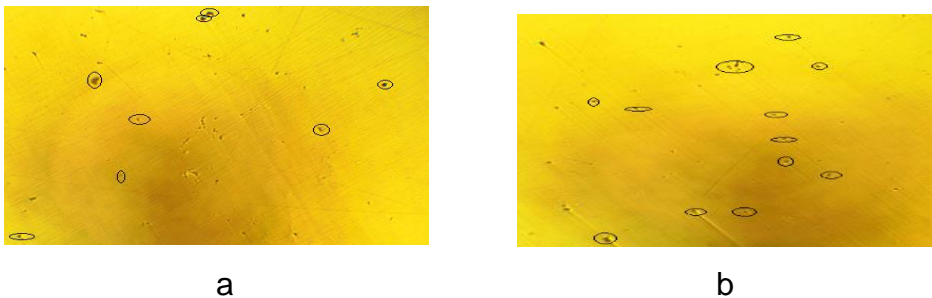


Figura 12. Probeta 1; a (centro); b (periferia).

En la figura 10 se ilustra la porosidad de la probeta, 1 moldeada con arena nueva, en la misma se observa una menor cantidad de poros ya que las condiciones de la arena son muy buenas por tratarse de arena nueva, o sea prácticamente sin contaminación alguna. A pesar de esto en la periferia se observa una mayor cantidad de poros que en el centro.

Probeta 2

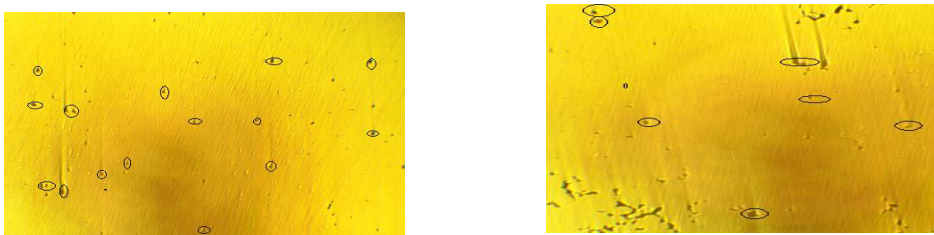


Figura 13. Probeta 2. a (centro); b (periferia).

En la figura 11 se ilustra la porosidad de la probeta 2, la cual es obtenida con arena de retorno, donde se muestra una mayor cantidad de poros que van disminuyendo en la periferia ya que esta arena tiene mayor permeabilidad y un mayor desgaste del grano lo que no permite que el aire salga con facilidad, además se muestran bordes de contracción en el centro de la probeta debido a la alta temperatura de fusión de la misma y un enfriamiento rápido al aire.

Probeta 3

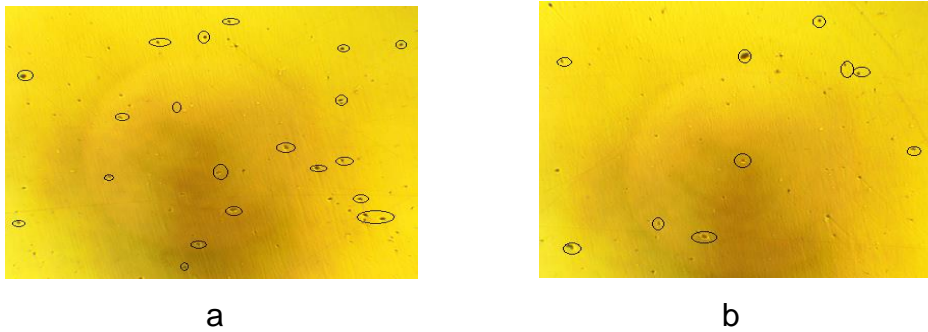


Figura 14. Probeta 3 a (centro); b (periferia).

En la figura 12 se observa la porosidad de la probeta 3, moldeada con arena de retorno y arena nueva (50x50), creando un equilibrio entre la cantidades de poros debido a una homogenización de las arenas, resina y catalizador.

Probeta 4

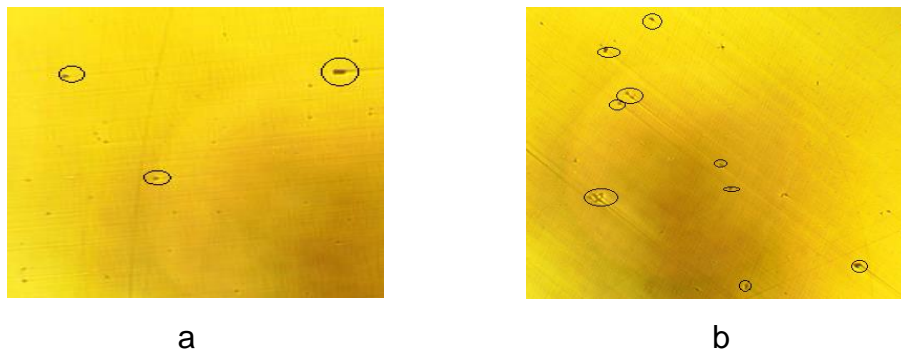


Figura 15. Probeta 1 a (centro); b (periferia).

En la figura 13 se muestra la porosidad de la probeta 4, la cual es moldeada con una mezcla MC-2, correspondiéndose con la instrucción de elaboración de una muestra de moldeo (08-1-018), donde se muestra que dado al elevado poder de refractariedad, permeabilidad y salidas de los gases la probeta no muestra poros significativos.

De lo anterior expuesto se llega a la conclusión que para los aceros Hadfield por su características de trabajo que fundamentalmente es para la obtención de piezas de elevada resistencia al impacto es recomendable utilizar el moldeo del tipo MC-2, por no existir poros significativos en las probetas, lo que no permite agrietamiento y rotura de la misma.

3.4.2. Análisis de la porosidad para el acero 35

La determinación de la porosidad para la probeta 5 es con arena nueva.

Probeta 5



Figura 16. Probeta 5 a (centro); b (periferia).

En la figura 14 se muestra la porosidad de la probeta 5, moldeada con arena nueva, donde se observa una menor cantidad debido a que las condiciones de la arena son muy buenas por tratarse de arena nueva, o sea prácticamente sin contaminación alguna.

Probeta 6

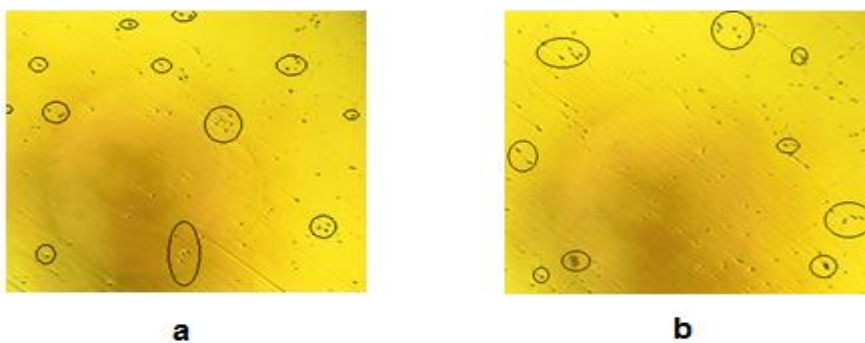


Figura 17. Probeta 6 a (centro); b (periferia).

En la figura 15 se ilustra la porosidad de la probeta 6, moldeada con arena de retorno, donde se muestra una mayor cantidad de poros que van disminuyendo desde la periferia hacia el centro, dado que la arena de retorno tiene bajo poder de refractariedad, mayor cantidad de granos finos y mayor porcentaje de resina y catalizador dado que ya se utilizó anteriormente. Todas

estas características traen consigo menor permeabilidad del molde, lo que no permite la salida de los gases, además este tipo de moldeo tiene peligro de presentar burbujas de gas.

Probeta 7



Figura 18. Probeta 7. a (centro); b (periferia).

En la figura 16 se muestra la porosidad de la probeta 7, la cual es moldeada con arena de retorno y arena nueva (50x50), creando un equilibrio entre la cantidades de poros, dado por una homogenización de las arenas, resina y catalizador.

Probeta 8



Figura 19. Probeta 8. a (centro); b (periferia).

En la figura 17 se ilustra la porosidad de la probeta 8, moldeada con una mezcla MC-2, correspondiéndose con la instrucción de elaboración de una muestra de moldeo (08-1-018), donde se muestra que dado al elevado poder de refractariedad, permeabilidad y salidas de los gases la probeta no muestra poros significativos.

De lo anterior expuesto se llega a la conclusión que las características de la arena, temperatura, elaboración de los moldes y la permeabilidad de los moldes provoca poros en las piezas fundidas por lo que se recomienda la

utilización de la mezcla de cara 2 pero ya que la misma encárese el costo de producción es recomendable 50 % de arena nueva y 50 % de retorno con una buena calidad en la elaboración del molde y un control eficaz de la temperatura de vertido.

3.5. Cálculo del carbono equivalente

El cálculo del carbón equivalente se realizó solo para el acero 35 ya que para el Hadfield se utiliza otro diagrama debido al contenido de martensita presente en el mismo.

El carbono equivalente de este tipo de fundición, según los elementos que se consideran en la ecuación 2.1, es de 0,47 %, que la caracteriza como una aleación hipoeutéctica, donde su solidificación comienza con la formación de dendritas de austenita primaria transformada en perlita y ledeburita transformada, lo que ha sido reportado por Fernández y Belzunce (2006).

Se determinó según la ecuación 2.2, la relación óptima entre el manganeso y azufre, se consideró el porcentaje de azufre, donde se obtuvo un porcentaje de manganeso igual a 0,19 %. Para una estructura libre de sulfuro de azufre y máxima cantidad de ferrita, para obtener una estructura perlítica, se puede agregar manganeso durante el ciclo regular para retener carbono combinado por toda la matriz o se puede variar la velocidad de enfriamiento a partir de la temperatura de 760 °C.

3.5.1. Determinación del carbono equivalente en función del carbono, el silicio y el fósforo

El contenido de carbono equivalente en función del carbono, el silicio y el fósforo se calcula por la ecuación 2.3, donde para 0,35 % de carbono; 0,12 % de silicio y un 0,017 % de fósforo, el resultado del carbono equivalente es de 0,38 %.

De acuerdo al resultado obtenido se plantea que en relación a los tres elementos analizados, el acero 35 mantiene la condición de una aleación hipoeutéctica ya que se encuentra en un rango menor de 0,8 %, lo que se corresponde con la microestructura obtenida para este acero.

3.5.2. Determinación de carbono y silicio en el acero fundido

El contenido de carbono y silicio en el acero fundido, se determina a partir de un carbono equivalente total de 0,47 %, por lo que la cantidad de silicio calculado por la ecuación 2.4 es de 0,91 %.

Se determina el índice de saturación del carbono por la ecuación 2.5, donde se obtuvo que el mismo en el acero 35, es 0,08. El efecto del índice de saturación de carbono, incide en la contracción volumétrica, en función del módulo de enfriamiento, de esta manera las dendritas de austenita crecen sólo parcialmente por la difusión del carbono y principalmente por el sobre enfriamiento y la sobresaturación del líquido.

Las propiedades mecánicas del material se relacionan directamente con la microestructura final del mismo que se obtiene después de la última transformación de fase, cuando la pieza alcanza la temperatura ambiente. Por las ecuaciones 2.6 se determina el carbono eutectoide del acero 35, el resultado obtenido es $C_{eutectoid} = 0,8 \%$. Este resultado se muestra en la figura 18, el cual es un diagrama establecido para la determinación del carbono eutectoide.

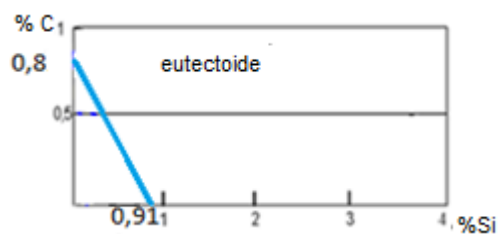


Figura 20. Carbono eutectoide.

Para el análisis de la composición en las interfaces, se calcula por la ecuación 2.7, la temperatura de sólidos de la austenita T_{AS} es de 1464,25 °C, El valor de T_{AS} y T_E para establecer el punto de máxima solubilidad de carbono en la austenita a temperatura eutéctica según la ecuación 2.8 es de 2,07 %.

Para la determinación de los porcentajes de carbono se consideró una temperatura de fusión de 1569 °C. Según la ecuación 2.9, la concentración de carbono del líquido en contacto con la austenita $C^{l/\gamma}$ es de 1,19 % y la concentración de carbono de la austenita en contacto con el líquido $C^{\gamma/l}$

(ecuación 2.10) es 0,42 %. Por la ecuación 2.11 se determinó la concentración de carbono en contacto con la ferrita $C^{Y/F}$ para un punto de coordenadas de 800 °C y 0,6 % C, el cual se considera como el punto eutectoide y se lo une con el punto C_{TE} siendo de 2,14 %.

Luego de realizados los cálculos de las diferentes concentraciones de carbono, se puede asegurar que la fundición de la aleación acero 35 presenta una solidificación hipoeutectoide.

Con el diagrama mostrado en la figura 2.1, el esquema de la región hipoeutectoide del diagrama un Fe-C-Si para un determinado porcentaje de Si, las curvas se hacen continuar por debajo de la temperatura eutéctica, de manera que si la temperatura desciende por debajo de dicha temperatura y todavía sigue la solidificación, se tienen en cuenta esas prolongaciones para calcular las concentraciones de carbono de las distintas fases en las interfaces.

Es importante destacar que en los cálculos se considera que en las interfaces se cumplen las condiciones de equilibrio determinadas por el diagrama ternario, es decir, que las curvas definidas determinan la composición que deben tener las fases en la zona de contacto entre ellas para una determinada temperatura.

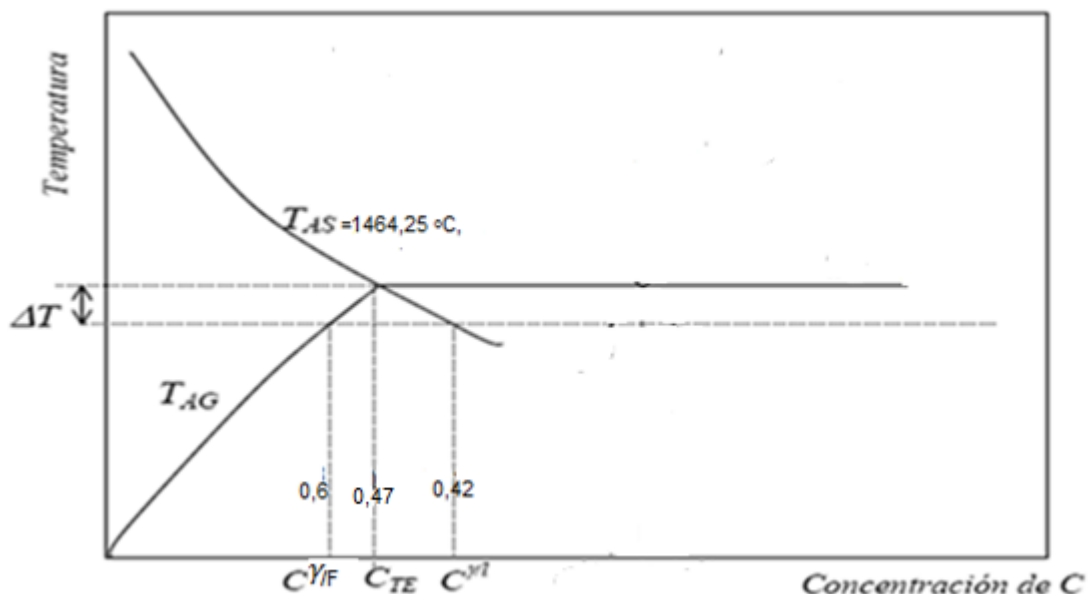


Figura 21. Región eutética del diagrama Fe-C-Si para un determinado porcentaje de Si.

3.6. Análisis económico

Los costos se definen como aquellos recursos que aplicamos en la fabricación de los bienes o servicios que la empresa ofrece, por el contrario los gastos serían aquellos recursos, aplicados en el período contable, en los que se incurrió para conseguir los ingresos de un determinado período o que fueron necesarios para que la empresa pudiera existir durante el mismo. Los costos asociados al proceso de fundición para una tonelada de pieza útil de estas aleaciones teniendo en cuenta lo anteriormente dicho es:

Acero Hadfield

Costo de producción es de **7 288,59 CUP** y **3 690,55 CUC**.

- Materia prima y materiales 3 564,12 CUP y 2 688,78 CUC.
- Gastos indirectos 1 221,45 CUP y 383,04 CUC
- Fuerza de trabajo 698,60 CUP

Para el acero 35

Costo de producción es de **6 914,17 CUP** y **2 843,12 CUC**.

- Materia prima y materiales 2 509,68 CUP y 1 912,90 CUC.
- Gastos indirectos 1 268,91 CUP y 304,65 CUC
- Fuerza de trabajo 723,184CUP

Conclusiones del capítulo 3.

1. Fueron medidos los parámetros de moldeo y determinado sus características según las normas establecidas para las arenas, donde la vida de banco resulto en 300 s, dando así un tiempo de desmoldeo de 480 s, con resina y catalizador de 2 y 38 % respectivamente para una resistencia de 2,6; 3,2 y 3,8 en 1; 3 y 24 horas.
2. Con este estudio, se tendrá una visión clara para observar las estructuras de los aceros en una probeta, tomando en cuenta que, para que una probeta se pueda observar bien en el microscopio, debe estar bien pulida.
3. Al utilizar el microscopio óptico, se podrá observar de una mejor forma todas las estructuras que se presentan e identificarlas.

CONCLUSIONES GENERALES

La microestructura obtenida del acero Hadfield está compuesta por: austenita, martensita y austenita dendrítica.

La microestructura obtenida del acero 35 está compuesta por: ferrita y como constituyente disperso perlita.

Para disminuir la porosidad de ambos aceros se recomienda utilizar el moldeo consistente en: mezcla de arena MC-2, el cual no presenta poros significativos.

El valor del cálculo del carbón equivalente para el acero 35 es: 0,47 %.

El costo económico de producción para una tonelada de acero Hadfield es de 7 288,59 CUP y 3 690,55 CUC.

El costo económico de producción para una tonelada de acero 35 es de 6 914,17 CUP y 2 843.12 CUC.

RECOMENDACIONES:

Recomendar a la Empresa Mecánica del Níquel:

1. Realizar análisis de microdureza a las probetas de los aceros en estudio.
2. Realizar el análisis de difracción de rayos x a las probetas de los aceros en estudio.
3. Realizar ensayos no destructivos para determinar la continuidad metalúrgica de las probetas.

BIBLIOGRAFIA

1. ASTM A 128 Standard Specification for Steel Castings, Austenitic Manganese, 1993.
2. Aitor Loizaga Aitor, Jon Sertucha Jon, Suárez Ramón. (2007). Investigación Metalúrgica AZTERLAN Durango, Bizkaia.
3. Andino Utria O. (2016). Tesis de Diploma, rendimiento de las mazas en la fundición de bolas de acero para molinos.
4. Apraiz, J. O. S. É. (1986). Aceros especiales y otras aleaciones. *Editorial Dossat, España,*.
5. Balart, R., García-Sanoguera, D., Fenollar, O., Boronat, T., & Sánchez-Nácher, L. (2011). Aplicación para la docencia en ingeniería: Cálculo de costes de mecanizado. MECACOST 1.0. In *IX Jornades de xarxes d'investigació en docència universitària: Disseny de bones pràctiques docents en el context actual* (p. 88). Universitat d'Alacant.
6. Canadinc, D., Karaman, Ibrahim.(2003) "The Role of Nitrogen on the Deformation Response of Hadfield Steel Single Crystals", Metallurgical and Materials Transactions, Vol. 34A.
7. Fernández-Pariente, I., & Belzunce-Varela, F. J. (2006). Influence of different heat treatments on the microstructure of a high chromium white cast iron. *Revista De Metalurgia*, 42(4), 279-286.
8. Flemings M. C. (1983). Solidification Technology in the Foundry and Casthouse, The Metals Society.
9. Flemings, M. C. (1983). Supercooling and structure of levitation melted Fe-Ni alloys. Metallurgical and Materials Transactions A, 14(5), 1147-1157.
10. Goyos Pérez L, Martines Reinoso H. (1985). Tecnología de Fundición II Editorial ISPAJAE. Ciudad de la Habana.
11. Gueijman Sergio F, Schvezov Carlos E., Ares Alicia E . (2011). Programa de Materiales, Modelización y Metrología. Argentina.

12. Guliaev, B. B. (1976). Teoría de los Procesos de fundición. Editorial Construcción de Maquinaria. Leningrado.
13. Guzmán Ornelas. Fernando .C. (2011). Tesis de Diploma, análisis de los aceros por microscopía óptica.
14. Heine, M. (1986). Optimization of stabilization and carbonization treatment of PAN fibres and structural characterization of the resulting carbon fibres. *Carbon*, 24(4), 387-395.
15. Hernández Ortega J.J, Zamora R, F. Faura F, J. López J. (2008). revista de metalurgia, 45 Universidad Politécnica de Cartagena. España.
16. Kondic, V. (1969). Metallurgical Principles of Founding, Edward Arnold.
17. Kumanin, I. B. (1976). Cuestiones de la teoría de los procesos de fundición. Editorial Construcción de Maquinarias. Moscú.
18. Lesoult, G., Albert, V., Appolaire, B., Combeau, H., Daloz, D., Joly, A., & Jarry, P. (2001). Equi-axed growth and related segregations in cast metallic alloys. *Science and Technology of Advanced Materials*, 2(1), 285-291.
19. Salcines M, C. (1985). "Tecnología de Fundición", (Tomo I, 1ra y 2da parte). Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de la Habana.
20. Silot Y. (2014). Tesis de Diploma, Obtiene la aleación Ac-70XL en una nueva tecnología de fundición.
21. Taylor, S. J., & Bogdan, R. (1984). Introduction to qualitative research methods.
22. Titov N.D, Stepanov. Y. A . (1978) ". Tecnología de la producción por fundición". Editorial Construcción de Maquinarias. Moscú.
23. Titov N.D. (1981). "Tecnología del proceso de fundición". Editorial MIR. Moscú.
24. Zuidema, B. K. (1987) "The effect of aluminum on the work hardening and wear resistance of Hadfield manganese steel", Metallurgical and Materials Transactions A, Vol. 18, No. 9, September.

25. HONEYCOMBE, R. W. 1981. Key to Steels. Microstructure and properties Spottiswoode Ballantyne Ltd.
26. Paumier Y. (2013). Tesis de Maestría, Comportamiento microestructural del material del enfriador de mineral de la Empresa "Cdte. Ernesto Che Guevara".
27. Echeverría, W. J. 2009. Caracterización microestructural del material del cilindro rotatorio del enfriador de mineral de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.
28. Malishev, A., Nikolaiev, G., & Shuvalov, Y. (1975). *Tecnología de los materiales*. Mir.
29. Fernández-Pariente, I., & Belzunce-Varela, F. J. (2006). Influencia de diversos tratamientos térmicos en la microestructura de una fundición blanca con alto contenido en cromo. *Revista de Metalurgia*, 42(4), 279-286.
30. Murcia Sánchez, S. C. (2012). *Solidificación de hierros nodulares* (Master's thesis, Universidad EAFIT).
31. Fernández-Pariente, I., & Belzunce-Varela, F. J. (2006). Influencia de diversos tratamientos térmicos en la microestructura de una fundición de acero y fundiciones blancas con alto contenido en cromo. *Revista de Metalurgia*, 42(4), 279-286.
32. Kurz, W., & Fisher, D. J. Fundamentals of solidification, 1986. *Trans Tech Publications, Switzerland*.
33. HONEYCOMBE, R. W. 1981. Key to Steels. Microstructure and properties Spottiswoode Ballantyne Ltd.
34. Instrucción 08-1-027, II. (2008). Moldeo Autofraguante.
35. ASTM. Un 247-67 (1998). El Método Experimental Estándar para Evaluar Al Microstructure de Grafito en la Fundición de hierros y aceros.

ANEXO 1



UEB FUNDICIÓN

Código: 08-I-010

Fusión Acero al Carbono

<u>No</u>	<u>Nombres y apellidos</u>	<u>Cargo</u>	<u>Firma</u>
1	Yordanis Sánchez Leyva	Jefe de Producción	
2	José López Felicó	Esp. Principal Tecnología	
3	Ernay Gómez Rodríguez	Jefe Turno A	
4	Vicente Téllez Vera	Jefe Turno B	
5	Omar Torres Calzadilla	Jefe Brigada Plantillería	
6	Enrique Coba Pérez	Jefe Brigada Carga	
7	Henry Fuentes Pupo	Jefe Brigada Servicio	
8	Atilano Olivero Guilarte	Espec. Negocios	
9	Idelsi de la Cruz Pérez	Espec. Pcpal SGC EMNi	

Observaciones: No procede

Elaborado por:	Nombre y Apellidos Cecilia Barallobre Durán	Cargo Espec. B en Gestión de la Calidad	Firma
Revisado por:	Zoilo Suárez Pérez	Director Técnico	
Aprobado por:	Rafael Pedrera Fonseca	Director UEB Fundición	
Fecha elaboración: 08/04/2016	Fecha de emisión: 18/04/2016	Vigente a partir de: 08/04/2016	

ANEXO 2



UEB FUNDICIÓN

Código: 08-I-011

Fusión Acero Manganeso

<u>No</u>	<u>Nombres y apellidos</u>	<u>Cargo</u>
1	Yordanis Sánchez Leyva	Jefe de Producción
2	José López Felicó	Esp. Principal Tecnología
3	Ernay Gómez Rodríguez	Jefe Turno A
4	Vicente Téllez Vera	Jefe Turno B
5	Omar Torres Calzadilla	Jefe Brigada Plantillería
6	Enrique Coba Pérez	Jefe Brigada Carga
7	Henry Fuentes Pupo	Jefe Brigada Servicio
8	Atilano Olivero Guilarte	Espec. Negocios
9	Idelsi de la Cruz Pérez	Espec. Pcpal SGC EMNi

Firma

Handwritten signatures corresponding to the staff listed in the table above, including names like Yordanis, José López, Ernay, Vicente, Omar, Enrique, Henry, Atilano, and Idelsi.

Observaciones: No procede

Elaborado por:	Nombre y Apellidos Cecilia Barallobre Durán	Cargo Espec. B en Gestión de la Calidad	Firma
Revisado por:	Zoilo Suárez Pérez	Director Técnico	
Aprobado por:	Rafael Pedrera Fonseca	Director UEB Fundición	
Fecha elaboración:	08/04/2016	Fecha de emisión:	18/04/2016
		Vigente a partir de:	18/04/2016

ANEXO 3



Figura 1 Horno de inducción



Molde de arena autofraguante



Espectrómetro de masa



Probetas