



Ministerio de Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
Facultad de Metalurgia Electromecánica
Departamento de Metalurgia Química

Trabajo de diploma

En opción al título de Ingeniero en Metalurgia y Materiales

"Diseño en la tecnología de fundición de tuberías en T para descarga de licor lixiviado en la Empresa Ernesto Che Guevara"

Lazaro Monzón Pérez

Moa, 2019

“Año 61 de la Revolución”



Ministerio de Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
Facultad de Metalurgia Electromecánica
Departamento de Metalurgia Química

Trabajo de diploma

En opción al título de Ingeniero en Metalurgia y Materiales

Tema: "Diseño en la tecnología de fundición de tuberías en T para descarga de licor lixiviado en la Empresa Ernesto Che Guevara"

Autor: Lazaro Mozón Pérez

Tutores: Ms. C. Ing. Eider Gresesqui Lobaina. Prof. Inst.

Ms. C. Ing. Airem Anisley Garbey Frometa. Prof. Asist.

Moa, 2019

“Año 61 de la Revolución”

"El verdadero viaje de descubrimiento no consiste en buscar nuevas tierras, sino en ver con nuevos ojos."

Marcel Proust

Cada decisión por minúscula que sea, puede dar lugar a grandes resultados. Piensa bien antes de decidir.

L. Monzón

El haber llegado hasta donde me encuentro hoy, ha sido el resultado de cinco años de duro esfuerzo, dedicación y sacrificio. Ha sido toda una batalla de la cual me siento ganador y todo se lo debo a los que fueron capaces de ayudarme en todo momento brindándome su apoyo incondicional y que creyeron en mí todo el tiempo, es por eso que le agradezco desde lo más profundo de mi corazón a:

Dios, por regalarme el don de la vida y dotarme de buena salud

A mi mamá Severa Pérez Viera que ha sido la persona más importante en mi formación como hombre y siempre ha creído en mí sin dudar.

A mi padre Lázaro Monzón Hernández por el apoyo y la confianza que me ha brindado a lo largo de la vida.

A mi novia Yeidi Y. Suárez Batistas por el amor y el apoyo que me ha dado y por estar siempre que la he necesitado.

A mi hermana María E. Rodríguez Pérez por la confianza que siempre me ha demostrado y por haberme regalado dos de los mejores regalos que pueda pedir, mis dos sobrinos Darién y Thayla a los cuales quiero con la vida.

A mi abuela María E. Viera por creer siempre en mí y por ser un pilar importante en mi vida.

A mis tíos, primos, suegros, en fin a toda mi familia por el apoyo y gestos que siempre han tenido conmigo.

A todos mis amigos, que siempre han estado ahí para lo que he necesitado

A mis dos tutores, en especial a Eider que sin él no hubiese sido posible la realización de este trabajo.

Agradecimientos

A todo el claustro de profesores del departamento de Metalurgia-Química que han sabido transmitirme sus conocimientos con el objetivo de que algún día pueda llegar a ser un profesional exitoso.

A todos, MUCHAS GRACIAS

Declaración

Yo: Lazaro Monzón Pérez

Autor de este trabajo de diploma, certifico su propiedad a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

Lazaro Monzón Pérez
Autor

Ms. C. Ing. Eider Gresesqui Lobaina
Tutor

Ms. C. Ing. Airem A. Garbey Frometa
Tutor

Autor: Lazaro Monzón Pérez

RESUMEN

En la presente investigación se trazó como objetivo realizar cambios en el diseño de la tecnología de fundición para la fabricación de una tubería en T de acero austenítico refractario HK-40, según el equipamiento dispuesto en la EMNi de Moa. Se propuso usar en el moldeo, resina furánica autofraguante, además de una temperatura de vaciado desde el horno a la cazuela de 1 600 °C y de vertido al molde de 1 550 °C. También se realiza la evaluación de la dureza y la microestructura de la aleación. Se otorgan dos milímetros más para cada sobremedida de maquinado obtenida y la mazarota escogida posee dimensiones avaladas para alimentar la contracción de la pieza. Se concluye que el material de la pieza posee una dureza promedio de 166,8 HV y una microestructura dendrítica, compuesta por una matriz austenítica rodeada con zonas interdendríticas de islas de carburos primarios de tipo $M_{23}C_6$. Con la existencia de ferrita en los límites de granos, en la que se observan precipitados de carburos. Se asume que el acero austenítico refractario HK-40, es adecuada para usarse con el fin previsto, puesto que se corresponde con la microestructura patrón de la aleación y el objeto en la producción no se somete a sollicitaciones de tracción ni impacto.

Palabras claves: tecnología de fundición, acero austenítico HK-40, resina furánica, mazarota, microestructura.

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to make changes in the design of the casting technology for the fabrication of a refractory austenitic steel T-tube HK-40, according to the equipment provided in the Moa EMNi. It was proposed to use in the molding, self-hardening furanic resin, in addition to a pouring temperature from the oven to the pan of 1 600 ° C and pouring into the mold of 1 550 ° C. The evaluation of the hardness and the microstructure of the alloy is also carried out. Two millimeters more were granted for each machining oversize obtained and the chosen sprue has guaranteed dimensions to feed the contraction of the piece. It is concluded that the material of the piece has an average hardness of 166.8 HV and a dendritic microstructure, composed of an austenitic matrix surrounded by interdendritic zones of primary carbide islands of type M₂₃C₆. With the existence of ferrite in the grain boundaries, in which precipitates of carbides are observed. It is assumed that the austenitic refractory steel HK-40 is suitable for use for the intended purpose, since it corresponds to the standard microstructure of the alloy and the object in the production is not subject to tensile stresses or impact.

Keywords: casting technology, austenitic steel HK-40, furanic resin, liner, microstructure.

Índice

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO	4
1.1. Introducción	4
1.2. Generalidades de los aceros inoxidables austeníticos	4
1.2.1. Características de los aceros aleados al cromo y al níquel	5
1.2.2. Efectos de los elementos de aleación en el acero HK-40	6
1.3. La fundición en moldes de arena	7
1.3.1. Solidificación en el molde	7
1.4. Proceso de solidificación en aleaciones metálicas	7
1.4.1. Cristalización en aleaciones metálicas	8
1.4.2. Frentes de solidificación	11
1.4.3. Contracción de las aleaciones durante la solidificación y el enfriamiento	12
1.5. Rechupes y porosidades	13
1.5.1. Porosidad por gases	14
1.6. Técnica de moldeo químico	16
1.6.1. Ventajas y desventajas de las resinas furánicas autofraguantes	16
1.7. Machos de fundición	17
1.8. Estructura cristalina de los aceros	18
1.9. Dureza en aleaciones de acero	19
1.10. Análisis críticos de trabajos precedentes	19
1.11. Conclusiones del Capítulo I	21
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	22
2.1. Introducción	22
2.2. Proyección de la tecnología de moldeo	22
2.2.1. Análisis previo de la pieza para determinar si puede ser lograda por fundición	23
2.3. Mezcla de moldeo y horno a emplear	23
2.4. Cálculo de la masa de la tubería	26
2.5. Ubicación de la pieza en el molde y determinación del plano divisor	27
2.6. Cálculo de los espesores mínimos de pared	27
2.7. Determinación de las sobremedidas de maquinado	28
2.8. Determinación de las sobremedidas tecnológicas	29
2.9. Determinación de los orificios fundidos	30
2.10. Determinación de las inclinaciones de la plantilla	30
2.11. Determinación de la posición del macho y sus portadas	32
2.12. Cálculo y diseño del sistema de alimentación	32

2.12.1.	Cálculo del rechupe específico	32
2.12.2.	Determinación del volumen de mazarotado	33
2.12.3.	Cálculo del número necesario de mazarotas	34
2.12.4.	Cálculo de las dimensiones de las mazarotas	34
2.12.5.	Cálculo de los parámetros de alimentación	35
2.13.	Determinación de las dimensiones de la caja de moldeo y proceso de desmoldeo y limpieza	36
2.14.	Condiciones experimentales y preparación de probetas	37
2.15.	Preparación metalográfica de las muestras	38
2.16.	Ataque químico de las muestras	38
2.17.	Análisis de la composición química del acero austenítico HK-40	39
2.18.	Evaluación de la dureza	39
2.19.	Conclusiones del capítulo 2	40
CAPÍTULO 3.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	41
3.1.	Introducción	41
3.2.	Resultados de los cálculos para la obtención de la pieza por fundición	41
3.2.1.	Cálculo de la masa de la tubería	41
3.2.2.	Determinación de los espesores mínimos para lograr la fundición	41
3.2.3.	Determinación de las sobremedidas de maquinado y tecnológicas	41
3.2.4.	Determinación de los orificios fundidos	42
3.2.5.	Determinación de las inclinaciones de la plantilla	42
3.2.6.	Determinación de las portadas del macho	42
3.2.7.	Cálculo y diseño del sistema de alimentación	43
3.2.8.	Selección de las dimensiones en las cajas de moldeo	44
3.3.	Análisis de la composición química obtenida	44
3.4.	Análisis microestructural de las muestras	44
3.5.	Análisis de la dureza de las muestras	46
3.6.	Valoración del impacto económico	46
3.7.	Valoración del impacto medio ambiental	48
3.7.1.	Identificación de los peligros que producen la resina y el catalizador de las mezclas autofraguantes	48
3.8.	Conclusiones del capítulo 3	49
CONCLUSIONES GENERALES		50
RECOMENDACIÓN		51
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		52
ANEXOS		

INTRODUCCIÓN

El municipio de Moa, se encuentra situado en un lugar estratégico geográficamente para el desarrollo económico e industrial de la isla de Cuba. Este se localiza al nordeste de la provincia de Holguín. Una de las entidades encargadas de la explotación de estos minerales es la fábrica Ernesto Che Guevara (ECG). Esta se halla localizada al norte del yacimiento de mineral de Punta Gorda, en la costa norte de la provincia entre los ríos Moa y Yagrumaje, a cuatro kilómetros de la ciudad de Moa y a dos kilómetros del pueblo de Punta Gorda.

El esquema tecnológico de esta empresa está basado en el proceso de lixiviación de carbonato amoniacal de mineral reducido, o proceso Carón. En el cual se extrae el Ni y el Co de la pulpa del mineral reducido y aireada en un sistema a contracorriente con licores de carbonato amoniacal, obteniendo un licor enriquecido de Ni y Co y una pulpa empobrecida de estos dos elementos, pero con contenido de amoniaco que se recupera posteriormente.

La planta de Recuperación de Amoniaco-Cobalto cumple la función de, como su nombre lo indica, recuperar el amoniaco contenido en el licor proveniente de la planta de lixiviación que posteriormente será reutilizado en las plantas de Lavado y Lixiviación

La cola se distribuye por precalentadores, para aumentar la temperatura alrededor de unos 50 °C antes de enviarla a las columnas de destilación (alambiques), recuperando parte del calor de los gases desprendidos de las propias columnas. A la salida de los alambiques, el producto desciende por una tubería de 300 mm de diámetro, pasa por un colector o válvula que amortigua la presión ejercida por el fluido antes de descargar en las tuberías de acero al carbono, que lo conducen por gravedad al pozo de cola.

En la salida, el líquido (cola) desciende por tuberías en T. Por el alto grado de abrasividad del mismo, están ocurriendo perforaciones que ocasionan el derrame de este, con sus respectivos daños al entorno. El material de los conductos dañados es acero AISI 1045 con 30 años de explotación. No obstante se ha empezado a sustituir por tuberías de HK-40, puesto que en teoría se considera una aleación con mejores propiedades de resistencia al desgaste. En la práctica y para las condiciones de trabajo específicas de la transportación de cola lixiviada, esta aleación no se ha estudiado.

Por esta razón, en el presente trabajo se plantea la siguiente **situación problemática**:

La cola proveniente del proceso de lixiviación en la Empresa ECG de Moa se destila en el objeto 19 de la planta de Recuperación de Amoniaco de dicha empresa. En esta planta, el líquido mencionado, una vez salido de los alambiques de destilación, desciende por tuberías en T para ser transportado hasta los pozos de cola. Estas tuberías de acero AISI 1045, producto de diversas perforaciones mostradas, están siendo sustituidas por otras de acero austenítico HK-40. Los nuevos conductos, obtenidos por el método de fundición, presentan problemas de porosidades en la brida superior. Esto puede ocasionar futuros desajustes y el derrame del líquido trasegado, con su consecutiva pérdida económica y daños al entorno laboral.

De lo anterior se infiere como **problema de la investigación**:

Defectos de fundición en bridas de tuberías en T de acero austenítico HK-40.

El **Objeto de estudio** es:

Tuberías en T de acero austenítico HK-40 utilizado para transportar licor lixiviado.

Y su **campo de acción**:

Tecnología de fundición de tuberías en T de acero austenítico HK-40.

A partir del objetivo general declarado se establece la siguiente **hipótesis**:

Teniendo en cuenta parámetros como: aleación a fundir, forma y cantidad de elementos, temperatura de vertido, tiempo de colada, contracción de la aleación y tipo de molde, se puede lograr una tecnología de fundición adecuada para la fabricación las tuberías en T de acero austenítico HK-40.

Se define como **objetivo general**:

Realizar cambios en el diseño de la tecnología de fundición para la fabricación de una tubería en T de acero austenítico refractario HK-40.

Para la investigación se establecen los siguientes **objetivos específicos**:

1. Definir las regularidades del proceso de fabricación de tecnologías de fundición en moldes de arena-arcilla.

2. Establecer el procedimiento metodológico requerido para desarrollar la tecnología de fundición de tuberías en T de acero austenítico HK-40.
3. Fundamentar la veracidad del empleo de la aleación objeto de estudio a partir de los resultados encontrados.

Para dar cumplimiento a los objetivos específicos se desarrollan las siguientes **tareas**:

1. Búsqueda bibliográfica relacionada con la aleación de acero HK-40 y el proceso de fundición en moldes desechables.
2. Evaluación de la metodología requerida para lograr la tecnología de fundición de tuberías en T de acero austenítico HK-40.
3. Preparación de muestras de acero HK-40, para determinar los elementos químicos presentes.
4. Aplicación de la técnica de microscopía óptica, para definir las regularidades del comportamiento microestructural de la aleación
5. Valoración de las particularidades encontradas en las dimensiones de la tecnología de fundición.
6. Planteamiento de los efectos económicos, sociales y ambientales.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

1.1. Introducción

Alcanzar el conocimiento general de los elementos y procesos que se estudian, por medio del análisis de los resultados alcanzados en investigaciones anteriores y que tributan a los fenómenos presentes, es de vital importancia para arribar a conclusiones acertadas, sin correr el riesgo de perder tiempo en el alcance de resultados ya asumidos por la ciencia. De esta manera se aprovechan de forma eficiente los conocimientos y recursos heredados de otros investigadores. Este capítulo tiene como **objetivo** realizar una búsqueda bibliográfica que permita establecer el estado del arte en relación con el acero HK-40 y teorías relacionadas con la tecnología de fundición.

1.2. Generalidades de los aceros inoxidable austeníticos

Los aceros inoxidable austeníticos comprenden el grupo que contienen de 8 a 32 % de Cr y Ni hasta el 68 %. Algunos grados contienen Mn hasta 18 %. Estos aceros no son endurecibles por tratamiento térmico, pero pueden serlo por trabajado en frío, aunque a elevadas temperaturas se pierde el efecto debido a la recristalización de la estructura. Dentro de los aceros inoxidable son los que poseen mayor resistencia mecánica a temperaturas mayores a 540 °C. Dentro del rango de temperatura entre 500 y 900 °C pueden ser susceptibles a la corrosión intergranular en ciertos ambientes acuosos y con una microestructura susceptible.

Estos aceros pueden agruparse en la siguiente forma:

- a) Aleaciones de la serie 300. Son esencialmente del tipo Cr-Ni y Cr-Ni-Mo a los que se adicionan otros elementos aleantes en bajas cantidades.
- b) Aleaciones 19-9 DL, 19-9 DX y 17-14 CuMo. Contienen de 9 a 14 % de Ni, 1,25 a 2,5 % de Mo y de 0,3 a 0,55 % de Ti, y algunos poseen el agregado de W, Nb y Cu.

c) Aleaciones Cr-Ni-Mn del tipo AISI 201-202, *Nitronics* 32, 33, 50, 60 y *Carpenter* 18-18 *Plus*. Contienen entre 5 a 18 % de Mn y 0,1 a 0,5 % de N. El rol del manganeso es sustituir al níquel y permitir mayor solubilidad de nitrógeno, el cual genera un gran endurecimiento por solución sólida y también resistencia a la corrosión por picado.

Los aceros inoxidable austeníticos del tipo b) y c) tienen muy alta resistencia mecánica con una altísima tenacidad, ductilidad y formabilidad. Exhiben resistencia a la corrosión considerablemente mejor que los martensíticos o los ferríticos y también poseen excelentes propiedades de resistencia mecánica y a la oxidación a temperaturas elevadas (hasta 1 200 °C según el tipo de acero). En general, se utilizan en partes de hornos, tuberías de intercambiadores de calor, tuberías de vapor, turbinas de gas, entre otras utilidades.

Los grados H de los aceros inoxidable austeníticos se especifican para condiciones donde se requieren resistencia a la termofluencia y a la ruptura por termofluencia óptimas. Poseen contenidos de C de 0,04 a 0,1 % y son solubilizados a temperaturas lo suficientemente altas como para producir buenas propiedades de termofluencia. Los grados estabilizados (como 321H, 347H y 348H) poseen adiciones de fuertes formadores de carburos. (Rosario, 2015)

1.2.1. Características de los aceros aleados al cromo y al níquel

Los aceros aleados al cromo, poseen dentro de sus características una alta resistencia al desgaste y a la corrosión a elevadas temperaturas. Este constituyente de aleación, aumenta la resistencia a la tracción, la dureza, la tenacidad y proporciona resistencia a la abrasión. Esto se debe a la propiedad que le brinda este elemento a las microestructuras de estas aleaciones, ya que, tienden a estabilizar la fase alfa y elevar la temperatura de los puntos críticos; estos elementos se denominan alfégenos. La característica de endurecimiento por trabajo en frío de muchos aceros inoxidable (al cromo-níquel), se usa en el diseño para reducir espesores y así, los costos. Otros aceros inoxidable pueden ser tratados térmicamente para hacer componentes de alta resistencia. (Rosario, 2015)

La presencia de Cromo en la aleación produce efectos tales como la formación de Ferrita y Carburos, es el principal responsable de la resistencia a la corrosión y de la formación de la película de óxido. Además no presenta aporte significativo en la resistencia a altas temperaturas y al *creep*. (Laufgang, 2003)

Por otro lado el Niquel ofrece otras propiedades al formar parte en estas aleaciones como son la formación de austenita en su microestructura. Aporta también una mejora en la resistencia general a la corrosión en líquidos no oxidantes, mejora la tenacidad y la ductilidad del material ampliando con esto su uso variado. La presencia de este elemento en estas aleaciones provoca un aumento en la resistencia eléctrica y a su vez disminuye la conductividad térmica; unido a esto se encuentra el aumento a la resistencia a ser fatigado y la capacidad de ser soldado se incrementa. Estos dos elementos en conjuntos son añadidos a los grados para mejorar las propiedades mecánicas (JINDAL, 2017).

1.2.2. Efectos de los elementos de aleación en el acero HK-40

El grado HK (26 % de Cr a 20 % de Ni): es un material totalmente austenítico con características generales y propiedades mecánicas similares al HH. Aunque es menos resistente a los gases oxidantes que los tipos HC, HE y HI contiene suficiente Cr para asegurar una buena resistencia a la corrosión en medios de gases calientes, inclusive gases conteniendo S en condiciones oxidantes o reductoras. El alto contenido de Ni hace a esta aleación una de las más resistentes al calor a temperaturas superiores a los 1 040 °C. Presenta una estructura de austenita estable en todo el rango de temperaturas de servicio. En la condición “*as-cast*” presenta una matriz austenítica conteniendo carburos relativamente grandes en forma de red o islas dispersas. Después de la exposición a la temperatura de servicio precipitan finos carburos dentro de los granos de austenita que contribuyen al aumento de la resistencia a la termofluencia. También las aleaciones HK suelen presentar un constituyente laminar presumiblemente de carburos o carbonitruros en forma de plaquetas dentro de la austenita. Puede producirse la transformación directa de la austenita a σ en el rango de temperatura entre 760 y 870 °C, particularmente en aquellos casos con bajos contenidos de C (0,20 a 0,30 %). El contenido de carbono determina el valor mínimo de la resistencia a la termofluencia y la vida promedio de rotura. Bajo las mismas condiciones de carga y temperatura, aquellas aleaciones con mayores contenidos de C presentan menores velocidades de termofluencia y mayor vida promedio a la ruptura que aquellas con menos C. También afecta a las propiedades a temperatura ambiente después de un envejecido a alta temperatura: a mayor porcentaje de C, menor ductilidad residual (UNLP).

1.3. La fundición en moldes de arena

Existen dos tipos fundamentales de moldes para la fundición de piezas, el molde permanente (de metal) y el molde desechable (de arena fundamentalmente). Este último (también llamado perdido), solo es posible aprovecharlo en una ocasión, debido a que, una vez vertido el metal fundido y después de su solidificación, debe ser destruido para extraer la pieza o moldura. El molde perdido constan varias técnicas para la fundición de piezas, pero las más fundamentales y utilizadas en la industria siderúrgica son: La técnica de moldeo en arena verde y el moldeo químico autofraguante. (Omarzabal, 2002)

1.3.1. Solidificación en el molde

Los principales fenómenos que se desarrollan en las aleaciones desde la colada hasta la temperatura ambiente son los siguientes: Cambios volumétricos: en estado líquido (durante la solidificación); en estado sólido (Macro y micro segregaciones). Aparición de macroestructuras de solidificación. Estas están caracterizadas por granos grandes orientados de acuerdo a la extracción del calor y con distintas morfologías (columnar y equiaxial). Aparición de micro porosidades. Están asociadas a la morfología de la solidificación dendrítica. Debido a lo anterior debemos considerar que los productos fundidos son materiales de ingeniería. Debido a que en el proceso de enfriamiento en el molde no hay deformación plástica en estado sólido, no es posible eliminar la microporosidad asociada a las dendritas ni la macro segregación y los macro granos formados. La estructura de los granos de solidificación dependerá de varios factores como sigue: sistema de aleación (metal puro y eutécticos), composición química (fases presentes), temperatura de colada (gradiente de enfriamiento), tipo de moldeo (extracción de calor) y del tamaño y espesor de la pieza (cantidad de calor). Desde la temperatura de colada hasta temperatura ambiente, las aleaciones experimentan tres contracciones volumétricas. En estado líquido, desde la temperatura de colada hasta el comienzo de la cristalización. En estado pastoso, desde que comienza la formación de granos hasta la temperatura en que solidifica la pieza. En estado sólido, a partir del proceso antes mencionado hasta la temperatura ambiente. (Mora, 2018)

1.4. Proceso de solidificación en aleaciones metálicas

La solidificación es un proceso físico que consiste en el cambio de estado de la materia de líquido a sólido producido por una disminución en la temperatura. Es el proceso

inverso a la fusión. 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 (Kumanin, 1976). En general, la solidificación de un metal o aleación puede dividirse en las siguientes etapas:

1. Formación de núcleos estables en el material fundido (nucleación). Para ello los embriones iniciales de sólido crecen y proporcionan núcleos (si éstos no se crearan el sólido embrionario se volvería a fundir).
2. Cristalización o crecimiento del núcleo en las tres direcciones del espacio en las dentritas para dar origen a cristales.
3. Formación del grano: Los cristales anteriores van dando origen a una estructura granular que se junta con la que proviene de otro lugar en los límites de grano.

Plantea (Flemings, 1983), 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. Plantean estos mismos autores la importancia de lograr una solidificación direccional y creciente, 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 de la aleación y del molde. Esto conduce, a la formación de estructuras y subestructuras de solidificación y en consecuencia a las propiedades que caracterizan a las molduras producidas.

1.4.1. Cristalización en aleaciones metálicas

En las aleaciones con temperaturas superiores a su punto de fusión, los átomos se agrupan al azar, de modo irregular y son portadores de elevada energía y movimiento. A medida que el líquido se enfría y se acerca al punto de solidificación, la energía de algunos átomos puede haber disminuido y con ello su movilidad dentro de la masa, de tal forma que

pueden ocupar respecto a los otros, una posición más orientada, lo que se asemeja a su disposición en el metal sólido.

Una vez alcanzada la temperatura de solidificación, estos grupos aislados de átomos pueden haber quedado ya orientados y enlazados como el cristal elemental, adquiriendo una estructura rígida de orientación los unos respecto a los otros. Los átomos vecinos, una vez perdida la energía térmica necesaria, se agregan al cristal elemental formado, creando nuevos cristales dentro de la masa líquida.

Estos cristales en crecimiento, cuando alcanzan cierto tamaño se convierten en núcleos de cristalización y a su alrededor comienza a tejerse la red cristalina, a medida que más y más átomos van perdiendo energía con el enfriamiento. Como la formación de los núcleos de cristalización puede comenzar indistintamente en cualquier parte de la masa líquida, los cristales pueden comenzar a crecer en múltiples lugares simultáneamente.

En el proceso de cristalización, mientras que el líquido circunda al cristal ya formado y creciente, este va manteniendo una forma relativamente correcta, los átomos vecinos se van enlazando en la posición adecuada y la red cristalina se incrementa manteniendo su geometría. Sin embargo, debido a que la transferencia de calor del material fundido puede ser en diferentes direcciones (por ejemplo, hacia las paredes de molde), la red cristalina puede ir creciendo en unas direcciones más que en otras por lo que los cristales van adquiriendo una forma alargada y se constituyen en los llamados ejes de cristalización (Guliáev, 1977).

Otro aspecto que impide la formación de cristales geoméricamente correctos es que en el transcurso de su crecimiento dentro de la masa líquida, estos empiezan a entrar en contacto, por consiguiente, después de la solidificación completa, la forma exterior de los cristales formados adquiere un carácter casual. Tales cristales se denominan granos y los cuerpos metálicos, compuestos de un gran número de granos (policristalinos). Los tamaños de los granos dependen de la velocidad con que se forman y crecen los núcleos.

La velocidad de enfriamiento o el grado de subenfriamiento ΔT , (figura 1.1), es la razón de solidificación e influye notoriamente sobre la forma del frente de solidificación. Es el enfriamiento del líquido por debajo de la temperatura de equilibrio de cristalización y a su vez la diferencia entre las temperaturas teórica y efectiva de cristalización.

T_s es la temperatura teórica (las energías libres del metal líquido y sólido son iguales, el material estará en equilibrio). A esta temperatura no hay ni cristalización ni fusión.

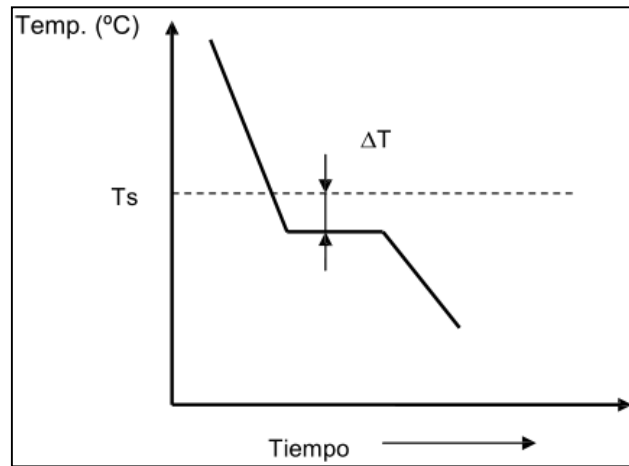


Figura 1.1. Grado de subenfriamiento. Fuente: (Rodríguez, 2008).

La velocidad de todo el proceso de cristalización está determinada cuantitativamente por dos magnitudes:

- La velocidad de formación de los centros de cristalización (n. c.).
- La velocidad de crecimiento de los cristales (v. c.).

La relación de v. c. y n. c. en dependencia del grado de subenfriamiento, puede observarse en la figura 1.2.

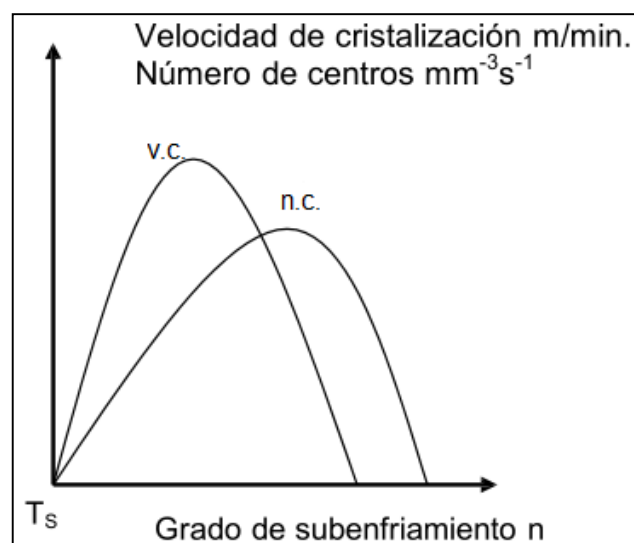


Figura 1.2. Formación de los cristales. Fuente: (Rodríguez, 2008).

(Guliáev, 1977), plantea además que n. c. y v. c. están determinados por el grado de subenfriamiento (n). Cuando el valor de v. c. es grande y el de n. c. es pequeño, se forman cristales poco numerosos; cuando los valores de v. c. son pequeños y los de n. c. son grandes (gran subenfriamiento), se forma un gran número de cristales pequeños.

1.4.2. Frentes de solidificación

Según (Rodríguez, 2008), 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. Plantea esta misma autora que la solidificación del metal comienza desde las paredes del molde hacia el interior del mismo, lo que hace que exista un frente de solidificación que avanza hacia el interior en función de la disminución de la temperatura con el tiempo (Titov, 1981; Goyos, 1985), de esta forma aseguran que la forma del frente de solidificación tiene una gran importancia práctica, pues la característica del rechupe depende del tipo de frente. Según (Goyos, 1985), las cuatro formas principales de frente son: frente plano, columnar, dendrítico y con nucleación independiente.

- Frente plano

En el frente plano se presenta en las aleaciones que solidifican a temperatura constante como los metales puros y los de composición eutéctica y en las aleaciones de pequeño intervalo de solidificación.

- Frente columnar

El frente columnar responde a las mismas condiciones del anterior, pero con condiciones de extracción del calor menos violentas.

- Frente dendrítico

El frente dendrítico se presenta en aleaciones de mediano intervalo de solidificación y se muestran picos en forma de mesetas con inicio cercano a una misma línea.

- Frente con nucleación independiente:

Se presenta en las aleaciones con amplio intervalo de solidificación. Mientras mayor sea el grado de subenfriamiento de la aleación mayor será la razón de solidificación y ambos

influyen notoriamente sobre la forma del frente. La forma del rechupe depende directamente de la forma del frente de la solidificación. Se distinguen tres tipos fundamentales de rechupe.

1. En cavidades: Se presenta cuando el frente es plano o columnar, y resulta el tipo de rechupe más sencillo de alimentar.
2. Porosidad en la línea media: Se presenta cuando el frente es dendrítico y resulta complejo para alimentar.
3. Porosidad dispersa: Se presenta cuando existe nucleación independiente y resulta el más complejo para alimentar.

1.4.3. Contracción de las aleaciones durante la solidificación y el enfriamiento

El volumen específico de las aleaciones es mayor en estado líquido que en estado sólido. Por este motivo, estos metales se contraen al solidificarse y al enfriarse. Esto provoca un déficit de volumen que se manifiesta en forma de defecto. (Veinik, 1968) y (Rodríguez, 2008), plantean que aun cuando un modelo de fundición es una réplica de la pieza, no posee exactamente sus dimensiones debido al fenómeno de expansión y de contracción que se sucede en el sólido, o en el líquido, cuando se les somete a aumentos o disminuciones de temperatura; por lo tanto, este es un fenómeno muy importante a tomarse en cuenta en la tecnología de fundición. Al descender la temperatura, el metal que ha sido vertido dentro de un molde se contrae en tres etapas diferentes. Esas etapas, en orden descendente de temperatura desde la de vaciado, son:

1. Contracción en el líquido.
2. Contracción líquido-sólido.
3. Contracción en el estado sólido.

De acuerdo con investigadores como (Korolkov, 1960) y (Titov, 1981), el volumen de la cavidad de contracción tiene un valor de 6 a 8 % del volumen de la pieza fundida. Este volumen depende de la contracción del metal líquido dentro de la pieza solidificada y la contracción durante la solidificación. El tamaño de la cavidad de contracción puede ser disminuido tomando las siguientes medidas:

1. Reducir el coeficiente de la contracción volumétrica del metal líquido.

2. Reducir la temperatura del acero cuando permanece en la cazuela de colada.
3. Reducir el tipo de cubeta de colada.
4. Incrementar la conductividad de calor del material del molde (Solidificación Direccional).
5. Reducir los espesores de la pieza fundida.
6. Reducir el rango de temperatura de la solidificación.
7. Reducir el coeficiente de contracción volumétrica durante la solidificación.
8. Incrementar el coeficiente de contracción del metal líquido.
9. Reducir la temperatura media del metal sólido hacia el final de la solidificación.
10. Tomar las medidas para igualar la temperatura en las secciones de la pieza.

Durante el descenso de la temperatura, la contracción térmica es el único factor que afecta a la magnitud de la contracción lineal en sólido, a pesar de que usualmente se asume que el valor de la contracción lineal es un tercio del valor del rechupe de solidificación. Para metales puros y aleaciones que solidifican a temperatura constante el valor de esta contracción lineal está determinado de manera aproximada por el producto del coeficiente de expansión lineal por el valor de su temperatura de solidificación. Para aleaciones que cristalizan en un rango de solidificación, la contracción lineal aparece una vez que se ha establecido el esqueleto continuo en el volumen que está solidificando y por lo tanto, en presencia de una cierta cantidad de líquido permanente. Este proceso de cavidad de contracción se puede desarrollar solo durante la solidificación (Campbell, 1993; Flemings, 1983).

1.5. Rechupes y porosidades

Por la importancia extrema del rechupe en la producción por fundición dedicaremos un espacio al análisis de su formación con el fin de comprender mejor las formas de combatirlo. El rechupe es una consecuencia de la contracción de los metales y por ende inevitable. De esta forma la lucha contra el rechupe se concentra en disminuirlo y reubicarlo en un punto donde su afectación a la calidad de la pieza sea mínima. Para entender el rechupe debemos partir del análisis de su formación. Partamos del momento en que el metal líquido ha llenado completamente el molde como se muestra en la figura 1.3. Este será el instante t_0 . Si el metal solidifica en forma de frente plano transcurrido un tiempo t_1 el frente habrá avanzado creando una especie de piel en la zona

directamente en contacto con el molde. En este momento el metal solidificado ha sufrido una disminución de volumen (contracción) durante el estado líquido que ha sido compensada por el líquido a mayor temperatura adyacente. La contracción de solidificación puede también haber sido compensada en buena medida por el metal que aún se encuentra en estado líquido y que pasa a ocupar el espacio dejado por la parte solidificada. Como el volumen del molde es constante la disminución de volumen ocasionada por el metal ya solidificado se manifiesta en la disminución del nivel del metal aún líquido. El proceso continúa con la formación de sucesivas pieles o capas hasta que los frentes se encuentran t_n . Nótese que cada nueva piel se forma a partir de un líquido con nivel inferior al precedente lo que da lugar a una conicidad hacia el interior de la pieza que se conoce por rechupe.

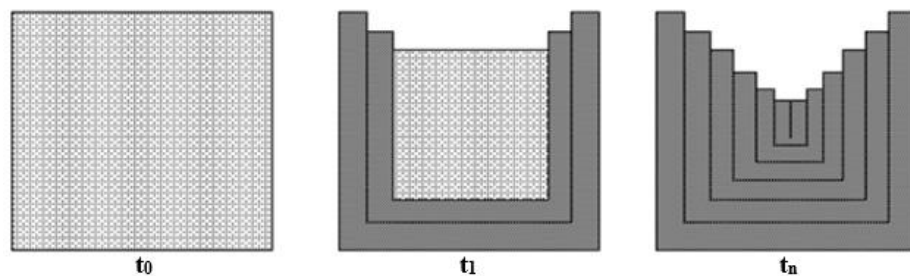


Figura 1.3. Formación de rechupes. Fuente (Rodríguez, 2008).

El comportamiento de las diferentes aleaciones ante la solidificación va a determinar el tipo de rechupe que aparecerá. El rechupe en cavidades que mostramos anteriormente es privativo de las aleaciones que solidifican con frente plano y columnar. Las aleaciones que solidifican con frente dendrítico presentan una complicación adicional al unirse los frentes. Al ser irregular el frente pueden coincidir picos con valles y no provocar ninguna afectación o, lo que es típico, dejar zonas donde el metal líquido queda atrapado y al solidificar y contraerse crea microrechupes a lo largo de la línea central de la pieza donde los frentes se encuentran. Cuando la aleación solidifica con nucleación independiente esta situación puede presentarse en cualquier parte de la pieza y los microrechupes aparecerán en toda la pieza. (Goyos, 1985)

1.5.1. Porosidad por gases

Contra lo que pueda parecer los metales fundidos disuelven una gran cantidad de gases que no constituyen problema alguno en esa condición. Los problemas reales de gases en

las piezas se originan cuando estos gases no son capaces de escapar del metal cuando este solidifica. Esto da lugar a minúsculas burbujas o porosidades en la masa del metal. El origen fundamental de los gases en el metal es su propio movimiento a lo largo de los conductos de alimentación. El propio movimiento succiona gases a través del molde permeable y lo atrapa en la masa de metal líquido. Al solidificar el metal, la solubilidad de los gases en él disminuye drásticamente con lo que el gas tiende a salir del metal a través del molde permeable. Si la permeabilidad del molde no es alta el gas que trata de escapar queda como pequeños poros en la superficie de la pieza (Goyos, 1985).

Las condiciones de la solidificación del metal son fundamentales en la evolución de los gases. Los metales que solidifican con frente plano presentan más tendencia a la presencia de porosidad por gases ya que el tránsito de líquido a sólido es rápido. Por el contrario cuando el intervalo es ancho y el frente dendrítico resulta más fácil para los gases salir.

- Rechupes abiertos

Los rechupes abiertos o externos son cavidades simétricas y profundas que suelen tener una apertura con forma de embudo hacia el exterior y a veces, continúan hacia el interior formando cavidades cerradas. Las paredes de las cavidades suelen ser ásperas y a menudo dendríticas. Son claramente apreciables a simple vista.

- Rechupes internos (cerrados)

No tienen conexión con el exterior y por tanto, están situados en el interior de la pieza fundida. Su forma es irregular, las paredes son ásperas y a menudo están cubiertas por dendritas.

- Rechupes por depresión superficial

Las depresiones superficiales son cavidades leves en la superficie de la pieza fundida que se producen en la zona de mayor acumulación de material. Las depresiones superficiales también son apreciables a simple vista. Si las medidas relacionadas con la fundición (solidificación direccional, alimentación) no consiguen llevar los rechupes a las zonas exteriores de la pieza fundida, este defecto de fundición hace que se rechace la pieza. De modo general la forma del rechupe depende directamente de la forma del frente de la solidificación, como se muestra en la figura 1.4 y se distinguen tres tipos fundamentales. (Rodríguez, 2008)



Figura 1.4. Formas de rechupes. Fuente: (Rodríguez, 2008)

En cavidades: se presenta cuando el frente es plano o columnar, y resulta el tipo de rechupe más sencillo de alimentar. Porosidad en la línea media: se presenta cuando el frente es dendrítico y resulta complejo para alimentar.

1.6. Técnica de moldeo químico

El material de moldeo es una mezcla de arena con un aglomerante químico, generalmente de resinas sintéticas (furánicas y fenólicas). Este tipo de moldeo se suele emplear para la fabricación de series cortas y piezas de gran tamaño.

Las fundiciones que utilizan en su proceso arena para la fabricación de moldes disponen de un círculo cerrado de arena que se va renovando permanentemente mediante adiciones de arena nueva y eliminación de las arenas más deterioradas. Un sistema utilizado con frecuencia es aprovechar la arena de los machos para la renovación, ya que estos se suelen fabricar con arena nueva. De esta forma se mantienen dentro de unos límites prefijados los elementos que pueden hacer variar la resistencia y dureza de la arena, tales como chamotas, finos, etc. que se encuentran presentes en el circuito.

1.6.1. Ventajas y desventajas de las resinas furánicas autofraguantes

El uso de las resinas furánicas autofraguantes en la técnica de moldeo químico tiene ventajas y desventajas que influyen en la calidad del molde fabricado para la fundición, las cuales se presentan a continuación.

Ventajas:

- Baja adición de aglutinante.
- Elevada reactividad (dependencia relativa a la temperatura).
- Buena duración en almacén.

- Buen endurecimiento total.
- Baja viscosidad.
- Altas resistencias, en caso de altos porcentajes de alcohol furfurílico.
- Buena regeneración.

Desventajas:

- Costosas en caso de altos porcentajes de urea.
- Peligro de burbujas de gas.
- Generalmente presencia de nitrógeno

1.7. Machos de fundición

La proyección de los machos comienza por la determinación de las superficies de las partes de la pieza fundida a la que tiene que dar la forma acabada, según el diseño de la pieza, además se fijan los límites previos, entre los machos principales, luego se realiza un examen detallado de las condiciones de fabricación y utilización de cada macho en que se determina la dirección del apisonamiento de los mismos, su fijación con las armazones, ventilación, composición de la mezcla, condiciones de secado, control de la calidad en que se determinan los contornos, dimensiones de las portadas de los machos (*printers* o apoyos) y los juegos alrededor del contorno de toda la portada. (Goyos, 1985)

Para la proyección de los machos deben tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones:

- El macho debe dar forma acabada a la superficie de la pieza fundida con la precisión determinada, su instalación en el molde tiene que ser fácil y asegurar la posibilidad del examen y control de las dimensiones del molde.
- La construcción del macho tiene que permitir su fácil producción y posibilidad de construcción en máquinas.
- Tiene que asegurar la salida libre de los gases que se forman durante el llenado y la extracción fácil de la mezcla de machos de la pieza durante su limpieza.
- El macho debe poseer gran flexibilidad, resistencia mecánica y térmica; también debe ser suficientemente resistente a la erosión.

Autor: Lazaro Monzón Pérez

Debe tener en cuenta que los aspectos fundamentales a la hora de producir los machos serán la resistencia de este y su ventilación para poder evacuar los gases. Para garantizar una resistencia adecuada en aquellos machos de grandes dimensiones se usan armazones, estructuras metálicas, rejillas, etc., que aumentan la rigidez del macho y evitan las deformaciones de este. La ventilación se puede mejorar usando agujas de ventilación o canales de ventilación que se practican durante su construcción, mediante cordeles que luego son extraídos antes de sacar el macho. También en machos muy grandes se utiliza para mejorar la ventilación coque o escoria en trozos de dimensiones de (10 - 40) mm.

El espesor de la capa de la mezcla de macho que limita el coque o escoria debe ser (60-80) mm para machos de hasta (500 x 500) mm, (80 - 100) mm para machos de hasta (1 000 x 100) mm y de (100 - 120) mm para machos de más de (100 x 100) mm, además debe ventilarse la pared del macho mediante de canales de ventilación (de 12 a 15) mm practicados con agujas de ventilación. Para mejorar la resistencia del macho se plantean que deben usarse armazones de alambre y la distancia admisible desde el alambre hasta la superficie del macho será de (5 - 10) mm. Para armazones fundidas las distancias se dan en la tabla 1.1.

Tabla 1.1. Distancia permisible para armazones fundidas

Dimensiones del macho (mm)	Distancia permisible (mm)
Hasta 500 x 500	20 - 30
Hasta 1 000 x 1 000	25 - 30
> 1 000 x 1 000	30 - 50

1.8. Estructura cristalina de los aceros

Un producto de acero, como una barra o una plancha, es un sólido que está formado por granos. Al microscopio son granos los que se observan como microcomponentes del acero. Estos granos pueden ser de alguna de las fases, o mezcla de fases, que están presentes en todo acero normal: ferrita, perlita, cementita; por lo que pueden tener diferente aspecto. (Arequipa, 2010).

Los granos, a su vez, están formados por agregados de cristales. Son estos cristales los que van a determinar en gran medida las propiedades del acero. Cada fase tiene diferente estructura cristalina o cristalográfica, y por tanto, cada fase posee diferentes propiedades. El acero poseerá, en general y proporcionalmente, las propiedades promedio del conjunto.

Autor: Lazaro Monzón Pérez

En este caso, como se trata de un acero aleado, aparecerán otras fases, como carburos, nitruros, etc. que otorgarán favorable o desfavorablemente propiedades diferenciadas a ese tipo de acero. (Arequipa, 2010).

1.9. Dureza en aleaciones de acero

La dureza es una condición de la superficie del material, no representa ninguna propiedad de la materia y está relacionada con las propiedades elásticas y plásticas del material. Si bien, es un término que nos da idea de solidez o firmeza, no existe una definición única acerca la dureza y se la suele definir arbitrariamente en relación al método particular que se utiliza para la determinación de su valor. De esta manera algunas definiciones son:

- 1) Resistencia a la indentación permanente bajo cargas estáticas o dinámicas (dureza por penetración)
- 2) Absorción de energía bajo cargas de impacto o dinámicas (dureza por rebote)
- 3) Resistencia a la abrasión (dureza por desgaste)
- 4) Resistencia al rayado (dureza por rayado).

Independientemente de las definiciones enumeradas, en general, se entiende por dureza la propiedad que tienen los materiales de resistir la penetración de un indentador bajo carga. En este sentido definiremos dureza como la resistencia de un material a la deformación plástica localizada. (Davis, 1964)

1.10. Análisis críticos de trabajos precedentes

Son numerosas las investigaciones realizadas por diferentes autores alrededor de este tema, todos con el objetivo de mejorar las propiedades y acabado superficial de las piezas obtenidas por fundición. La buena selección de la tecnología de fundición de una pieza es esencial para brindarle buenas propiedades a esta. También es muy importante la correcta selección del tipo de material utilizado para la construcción del molde a emplear.

Luego de una intensa y profunda revisión bibliográfica acerca del tema en cuestión, que es el proceso fundición de piezas de acero, se recogieron los siguientes resultados.

(Samón, 2010), en su investigación dirigida a la proyección de una tecnología de fundición para la producción de una cuña de la válvula *top flow* de la línea de ácido Sulfúrico de la planta de lixiviación en la empresa Pedro Sotto Alba la cual se encontraba

presentando problemas de corrosión debido al medio ácido al que estaba expuesto. En este trabajo la autora realiza una profunda investigación donde tiene en cuenta varios aspectos importantes como es la composición química del material de la pieza entre otros. También realiza una simulación empleando el Método de Elementos Finitos la cual muestra resultados muy precisos y valiosos.

El estudio realizado por (Oliveros, 2002), caracteriza desde el punto de vista físico-mecánico las arenas sílice, olivino y cromita, se determinan los parámetros y propiedades de las mezclas autofraguantes y se evalúa la factibilidad económica del uso de las mezclas autofraguantes con la utilización de las arenas cubanas.

(Renosa, 2013), realizó un estudio dedicado a la fabricación de tamboras de frenos para Ómnibus de la marca Yutong obtenidas por fundición. El método de fundición empleado incluía la utilización de moldes desechables de arena con mezcla de resina autofraguante. Estas tamboras obtuvieron buenos resultados en la puesta en práctica pese a que no se tuvo en cuenta por parte del autor, un proceso de Tratamiento Térmico posterior al proceso de acabado superficial, con el objetivo de liberar tensiones internas en las tamboras.

(Hernández, 2016), realiza una valoración de cómo lograr una mejor tecnología de fundición. Para ello primero hace una caracterización basada en el análisis de las fracturas originadas en la superficie de las tamboras. Con éste fin empleó técnicas de microscopía óptica y electrónica de barrido. Se realiza también un tratamiento térmico con el objetivo de eliminar las tensiones producidas en el proceso de solidificación de la tambora. Obtiene como resultado que las propiedades mecánicas obtenidas con el T.T. no son las esperadas, ya que, los valores de dureza sobrepasan los requisitos de la norma, lo que quiere decir que le atribuye fragilidad al material

(Durán, 2012) hace la tecnología de fabricación en moldes de arena-arcilla de un brazo de horno de la empresa ECG, además de una simulación del mismo. Llega a la conclusión de que las zonas de mayores tensiones térmica durante el enfriamiento de la pieza, están situadas en las zonas de cambio de sección, estos valores están alrededor de $1.821 \times 10^{-6} \text{ W/m}^2$. Sin embargo no tiene en cuenta el proceso de fusión para tuberías en T de la entidad antes mencionada.

(Poll, 2017) caracteriza microestructuralmente los aceros *Hadfield* y acero 35, ya que se necesitó 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 % de C (0,35 %), tiene como constituyente matriz la ferrita y como constituyente disperso la perlita. Esta aleación es inoxidable, pero difiere del acero HK-40.

(Ramos, 2017), determinó el comportamiento de la fundición blanca Clase I tipo C Ni-Hard que se elabora en la empresa “Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche” para ser empleada en las bolas utilizadas en los molinos para la Industria Cubana del Cemento. Para esto realizó el proceso de fundición en un horno de inducción con crisol de alta frecuencia y se analizaron tres muestras obtenidas del proceso de fundición. En el análisis microestructural se determinó que las morfologías presentes en las mismas eran el carburo eutéctico del tipo Cr_7C_3 y la presencia de martensita, microconstituyentes que presentan elevada dureza, así como la presencia de austenita dendrítica y austenita retenida, que le infieren a la fundición una alta resistencia al desgaste abrasivo sin estar sometidas a altas exigencias de choque

1.11. Conclusiones del Capítulo I

- Los aceros inoxidables austeníticos comprenden el grupo que contienen de 8 a 32 % Cr y Ni hasta el 68 %. Lo que les permite tener buena resistencia mecánica a temperaturas superiores a 540 °C.
- El volumen específico de las aleaciones es mayor en estado líquido que en estado sólido. Por este motivo, estos metales se contraen al solidificarse y enfriarse. Esto provoca un déficit de volumen que se manifiesta en forma de defecto.
- El rechupe es una consecuencia de la contracción de los metales y por ende inevitable. De esta forma, para disminuirlo se debe tener muy en cuenta concentrar este fenómeno en un punto donde su afectación a la calidad de la pieza sea mínima con el empleo de las mazarotas.

CAPÍTULO 2

MATERIALES Y MÉTODOS

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Introducción

En la obtención de una pieza fundida es de suma importancia el correcto diseño de la tecnología de confección del molde que dará lugar a la pieza. Por esta razón este capítulo se traza como **objetivo** determinar los materiales y métodos a utilizar durante el desarrollo de la tesis, mediante el empleo de la técnica para la obtención de piezas por el método de fundición en molde desechable. Para esto se define la secuencia de operaciones a desarrollar durante la tecnología de fundición de tuberías en T.

2.2. Proyección de la tecnología de moldeo

La proyección de la tecnología de moldeo para la fabricación de la tubería en T de acero austenítico HK-40, aplicando técnicas de fundición en moldes de arena-arcilla, comienza con el análisis detallado del plano de la pieza para determinar la posibilidad de su fabricación. Se determinan los parámetros técnicos para la elaboración de la plantilla y las demás secuencias de operaciones hasta obtener la pieza según lo recomendado por (Goyos, 1985). Para lograr este objetivo se tiene en cuenta el material a emplear, el tipo de moldeo que se debe de aplicar, el tipo de horno a utilizar, los materiales de carga, la temperatura de vertido, entre otros aspectos.

Una tecnología de producción por fundición consta de varias partes generales dentro de las que se enumeran las siguientes:

- Moldeo.
- Fusión del metal.
- Colada, enfriamiento y desmoldeo.
- Limpieza y acabado.

El moldeo se ve afectado en mayor o menor grado por las restantes etapas de fabricación, por lo que al concebir el molde se ha de tener una visión de conjunto de la producción de la pieza. Durante su desarrollo han de distinguirse dos aspectos básicos:

- Diseño del molde incluyendo los machos, su posición, armado del molde y otros.
- Diseño del sistema de alimentación.

2.2.1. Análisis previo de la pieza para determinar si puede ser lograda por fundición

Para la elección del proceso tecnológico más adecuado se tienen en cuenta diferentes aspectos como son: cantidad de piezas a obtener, dimensiones y complejidad de la pieza, tipo de aleación, propiedades mecánicas, peso de la pieza y costo de producción.

La pieza en cuestión es una tubería en T de acero austenítico HK-40, según se muestra en el anexo 1. Clasifica como una pieza poco compleja, cuya longitud más larga posee 825 mm con diámetros exterior e interior de 460 y 400 mm respectivamente. En los extremos tiene bridas con diámetro de 590 mm y 16 orificios de 23 mm de diámetro, simétricamente colocados para unir a otro tramo de tubería.

La unión superior alcanza 330 mm de altura a partir del eje central del tramo base. Posee diámetros exterior e interior de 273 y 250 mm respectivamente y una brida de 400 mm de diámetro con 12 agujeros de 23 mm cada uno, colocados para lograr sujeción con el tramo de tubería que corresponde a la caída del licor lixiviado de los alambiques de destilación de cola.

2.3. Mezcla de moldeo y horno a emplear

A partir de lo planteado por (Samón, 2010), las resinas furánicas se suministran de forma líquida. El contenido de urea puede influir sobre las propiedades de la resina (fragilidad, tiempo de endurecimiento, resistencia, contenido de agua). Las arenas aglomeradas con resinas ricas en urea se desmoronan fácilmente tras la colada y la solidificación de las piezas. Las resinas furánicas puras no suelen emplearse como aglomerantes, debido a su alto grado de fragilidad, por lo que se propone la mezcla de moldeo autofraguante para la elaboración del molde de la tubería en T de acero austenítico HK-40.

Tabla 2.1. Composición química de las arenas utilizadas para la fabricación del molde. Fuente: (EMNi de Moa, 2015)

Componentes	Arena sílice	Arna cromita	Arena refractaria
SiO ₂	90 – 97 %	-	61,50 %
CaO	> 2 %	0,30 - 0,50 %	1,74 %
MO (alcalinos y alcalinotérreos)	2,00 - 1,20 %	-	-
Fe ₂ O ₃	1,50 - 0,75 %	14 - 15 %	4,20 %
Granulometría (mm)	0,315 - 0,20	0,315 - 0,20	> 0,001
Cr ₂ O ₃	-	35 - 40 %	-
Al ₂ O ₃	-	20 - 22 %	22,10 %
MgO	-	14 - 16 %	2,27 %
TiO ₂	-	-	0,22 %

En la tabla 2.1 se muestran las composiciones de algunos de los materiales usados en las mezclas de moldeo para la elaboración del molde y en la tabla 2.2 los aditivos aglutinantes utilizados en la mezcla.

Tabla 2.2. Aditivos aglutinantes. Fuente: (EMNi de Moa, 2015)

Aditivos	Densidad kg/m ³	(g/cm ³)	Módulo %
Silicato de sodio	1 300-1 500	1,3-1,5	2-3
Melaza	1 350- 1 450	1,35-1,45	-

La arena, generalmente silíceas, constituye más del 58 % de los moldes compactos por medios físicos y alrededor del 98 % de los moldes y machos químicos. La consecución, por tanto de un buen molde o macho requiere en gran medida del empleo de una arena correcta. Además de la arena de sílice, se utilizan otras arenas para confeccionar el molde y los machos, destacándose la arena de olivino, la arena de zirconio y la arena de cromita.

Tabla 2.3. Comparación de las arenas más utilizadas en moldeo. Fuente: (Iarduya, 2002)

Arenas	Sílice	Olivino	Circonio	Cromita
Composición	SiO ₂	(Mg, Fe) ₂ SiO ₄	ZrSiO ₄	FeO·Cr ₂ O ₃
Coste	Bajo	Medio	Alto	Alto
Dilatación a 900 °C	15,50 %	0,90 %	0,40 %	0,70 %
Difusividad térmica	Baja	Baja	Elevada	Elevada
Punto de fusión °C	1 700,00	1 700,00	2 500,00	2 100,00
Densidad (kg/litro)	2,65	3,25	4,60	4,40
Densidad aparente	1,50 - 1,60	1,90 - 2,00	2,70 - 2,90	2,50 - 2,70
Mojabilidad	Posible	Posible	Difícil	No moja
pH alta temperatura	Ácido	Básico	Algo ácido	Básico

Las ventajas fundamentales de la utilización de la arena de sílice son su bajo costo, la disposición de distintos tipos de granulometrías y su compatibilidad con todos los procesos químicos de aglomeración de arenas, tal y como se muestra en la tabla 2.3 (Ilarduya, 2002).

El vertido a los moldes se realiza con cierto sobrecalentamiento de la aleación, lo que favorece la fluidez y mejora la capacidad de llenado del molde, también se debe tener en cuenta que las altas temperaturas de vertido propician una mayor oxidación del metal y una mayor absorción de gases. A tales efectos (Goyos, 1985; Titov, 1981) y (Jiménez, 2008), han establecidos rangos de temperaturas para el vaciado del metal de los hornos y la temperatura de vertido al molde, dependiendo de la composición química de la aleación y espesores de la pieza, así como, el tiempo de solidificación o permanencia de la pieza en el molde para realizar su desmoldeo.

El horno de inducción utilizado es de la marca *Magnethermic Europe* de fabricación inglesa, en el mismo se pueden fundir aleaciones de hierro y aceros, tiene una potencia de trabajo de 500 kW, una temperatura máxima de 1 700 °C, un consumo eléctrico de 860 kW/h por tonelada de metal y una capacidad en el crisol de 1 000 kg.

Para la fusión de la aleación en horno de inducción, la carga debe estar compuesta de materiales limpios de grasas y óxidos. El proceso de fusión consta de carga, derretido, ajuste de la composición, desoxidación y vaciado del metal. Para proteger el crisol de los golpes de los pedazos grandes en el fondo es recomendable colocar en primer lugar, la parte de la carga de menor tamaño; en el mejor caso viruta, después las ferro aleaciones poco oxidables y posteriormente los pedazos grandes de la carga.

El balance de materiales (carga metálica), se efectúa en base a 100 kg. Luego para convertirla a la capacidad de trabajo del horno se multiplican los valores por 10 y se conforma la carga para una tonelada de metal líquido, que es la capacidad de trabajo del horno (1 tonelada).

Los resultados del balance en kg, determinaron como materiales fundamentales, tomando en consideración las materias primas existente en el taller de fundición los siguientes:

- Palanquilla (36,76)
- Fe Cr 0,06 (40)

- Ni-Sinter (21,74)
- Fe Si 75 (0,5)
- Fe Mn 1,5 (0,6)
- Carbón Antracita (0,4)

Cuando se logra la fusión total de la carga, la potencia se disminuye de (30 – 40) % de la máxima, tratando de que no ocurra sobrecalentamiento, después del análisis del metal se efectúa la desoxidación. (EMNi de Moa, 2015)

Para el caso actual se determina una temperatura de vaciado desde el horno a la cazuela de 1 600 °C y de vertido al molde de 1 550 °C. El tiempo de enfriamiento y desmoldeo será de seis horas, para dar tiempo a que todas las partes del elemento solidifiquen.

2.4. Cálculo de la masa de la tubería

La masa de la pieza (G) se determina mediante el cálculo de su volumen multiplicado por el peso específico del material mediante la expresión 2.1.

$$G = V \cdot \rho \quad 2.1$$

El peso específico es representado por medio de la letra griega ρ y posee un valor de 7,2 kg/dm³. Mientras que el volumen en m³ se denomina como V y se calcula dividiendo el elemento en estudio en varias partes, con el empleo de la expresión 2.2.

$$V = V_{tub. 825mm} + 2V_{br. 16 orific.} + V_{tub. de 100mm} + V_{brid. de 12 orific.} \quad 2.2$$

Donde;

$V_{tub. 825mm}$; volumen de la tubería de longitud igual a 825 mm

$2V_{br. 16 orific.}$; dos veces el volumen de las bridas de 16 orificios ubicadas en la parte inferior de la tubería, ya que, estas son de igual dimensión

$V_{tub. de 100mm}$; volumen de la parte superior de la tubería que tiene una longitud de 100 mm

$V_{brid. de 12 orific.}$; volumen de la brida de 12 orificios de la parte superior de la tubería

2.5. Ubicación de la pieza en el molde y determinación del plano divisor

En el proceso de fundición se debe obtener la pieza con la mejor calidad posible, que no aparezcan cavidades de contracción, defectos o porosidades. La posición de la pieza en el molde es un factor que se debe tener en cuenta y depende de la forma y dimensiones de la pieza, además de la influencia de la gravedad.

Teniendo en cuenta estos aspectos, la tubería en T se ubica completamente en posición horizontal, dividiendo la plantilla en dos parte simétricas. De esta forma, la mayor parte de la pieza no quedará en la caja superior, puesto que la misma tiene una geometría generalmente cilíndrica y se debe garantizar la salida de la plantilla en el moldeo. Sin embargo, controlando el proceso de solidificación, se logrará una colada pareja de todas las secciones y se garantiza la salida de los gases, preferiblemente por encima de los machos.

Esta forma de colocación es cómoda para ubicar el sistema de alimentación y garantizar un total llenado, además de que se pueden colocar los machos de forma estable con la fuerza sustentadora en dirección de sus portadas.

Así, se evitan defectos en la pieza por causas de deformaciones y se facilita el montaje del molde, garantizando la obtención del producto con el mínimo de poros y cavidades. Se asegura la ubicación correcta del sistema de alimentación así como sus mazarotas y salida de los gases, además de evitar el desprendimiento de la superficie del molde al interactuar con el metal líquido.

2.6. Cálculo de los espesores mínimos de pared

Para fabricar la tubería en T de la aleación objeto de estudio, primero se debe determinar si la misma se puede obtener por fundición, según lo planteado por (Goyos, 1985) y Belay (1970). Para ello debe analizarse si sus espesores mínimos se pueden lograr por el método de fundición elegido, para lo que emplea la expresión de cálculo 2.3, recomendada para piezas vaciadas.

$$N = \frac{2(l) + b + h}{3} \quad 2.3$$

Aquí, N es la dimensión equivalente expresada en m, los parámetros l, b y h (expresados en metros), representan la longitud, el ancho y la altura respectivamente. Como se trata

de la sección de la tubería en T que menor espesor posee, se toma como longitud 0,13 m, 0,0115 m como ancho y la altura como 0,273 m.

Para el caso específico del acero refractario HK-40 tratado en la presente investigación, se puede asumir la tecnología con espesores mínimos de 1,5 a 2,0 mm si $N < 0,5$. Mientras que para $N > 8$ m se toma 30 mm.

2.7. Determinación de las sobremedidas de maquinado

La sobremedida de maquinado es adicionada a las piezas cuando se requiere lograr superficies con acabados superficiales mejores que los obtenidos por fundición. Mediante el arranque de virutas se llevan los elementos a las dimensiones establecidas en el diseño de la pieza terminada. Para obtener estas sobremedidas se tiene en cuenta las dimensiones básica y determinante, según la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Sobremedidas de maquinado. Fuente: (Goyos, 1985)

Sobremedida de maquinado para fundición de acero grado de precisión c-1												
Dimensión básica (mm)		Dimensión determinante (mm)										
		más de										
más de	A	0	30	80	180	315	500	800	1 250	2 000	3 150	5 000
		A										
		30	80	180	315	500	800	1 250	2 000	3 150	5 000	8 000
-	30	3,0	3,5	3,5	4,0	5,0	5,5	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
30	80	3,0	3,5	4,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
80	180	3,5	3,5	4,0	4,5	5,5	6,0	7,0	9,0	10,0	11,0	12,0
180	315	3,5	3,5	4,5	5,0	5,5	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0
315	500	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	10,0	11,0	12,0	13,0
500	800	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	7,0	8,0	10,0	11,0	12,0	13,0
800	1 250	4,5	5,0	5,5	6,0	7,0	8,0	9,0	11,0	12,0	13,0	14,0
1 250	2 000	5,0	5,0	5,5	6,0	7,0	8,0	10,0	12,0	13,0	13,0	14,0
2 000	3 150	5,0	5,5	6,0	7,0	8,0	9,0	11,0	13,0	14,0	14,0	16,0
3 150	5 000	6,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0	13,0	14,0	16,0	18,0
5 000	8 000	7,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	13,0	14,0	16,0	18,0	20,0

Puesto que el elemento estudiado tiene la configuración de dos cilindros unidos en T, se tienen dos dimensiones básicas y dos determinantes, según se muestra en la figura 2.1, teniendo en cuenta que para las superficies cilíndricas, la dimensión básica es la distancia entre las generatrices más alejadas y la dimensión determinante es la diagonal de la

sección longitudinal. Cuanto mayor es la altura del cilindro, esta dimensión tiende a la altura y cuanto menor es la altura tiende al diámetro.

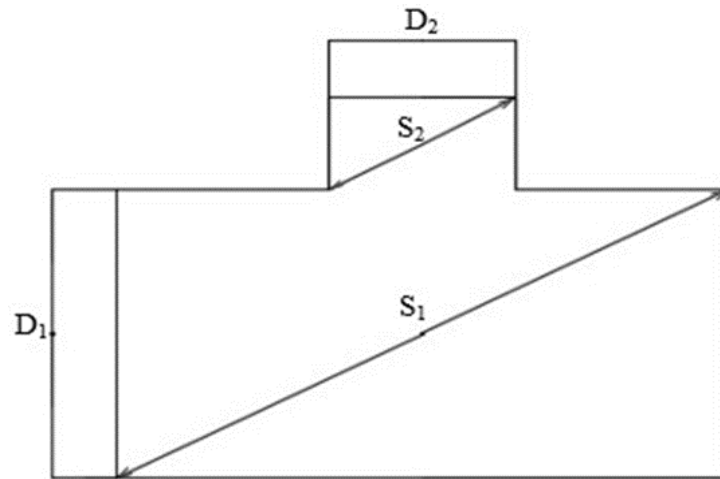


Figura 2.1. Dimensiones básicas y determinadas de la pieza

En esta figura D₁ y D₂ son las dimensiones básicas, mientras que S₁ y S₂ son las determinantes.

2.8. Determinación de las sobremedidas tecnológicas

En la producción de piezas fundidas con rebordes en metales de gran contracción, al solidificar ocurre el frenado de la misma, por lo que las dimensiones entre las superficies de los rebordes que no se maquinan se toman en la plantilla sin la disminución de la medida, o con esta considerablemente disminuida. Aquí se usan márgenes tecnológicos en la parte que no se maquina, porque no siempre es cómodo tomar algunas dimensiones durante la preparación de la plantilla.

Se conoce por contracción de la fundición (E), expresada en %, al cambio de volumen que experimenta la aleación durante su solidificación y enfriamiento, (Goyos, 1985). Se manifiestan de dos formas, las libres y las frenadas. Estas van a estar determinadas fundamentalmente por la geometría y complejidad de la pieza y puede encontrarse por medio de la expresión 2.4.

$$E = \frac{l_m - l_p}{l_p} \cdot 100 \% \quad 2.4$$

Aquí, l_m y l_p son la dimensión de la plantilla y la dimensión de la pieza fundida respectivamente, expresadas en mm.

Esta contracción será aumentada a la dimensión de la plantilla para que luego de solidificada la pieza fundida tenga las dimensiones nominales. Debe tenerse en cuenta que algunas circunstancias dificultan la selección de la magnitud de la contracción. Entre estas están el frenado de la contracción de la pieza fundida que se crea en el molde y que es difícil de calcular.

2.9. Determinación de los orificios fundidos

Para conocer si es posible obtener los agujeros de una pieza por medio de la fundición, es necesario tener en cuenta dos parámetros fundamentales, estos son su diámetro y profundidad. Para este caso en particular, se conoce que los orificios que presenta la tubería en las bridas son de un diámetro igual a 23 mm y una profundidad de 25 mm. Por lo que no será necesario obtenerlos por fundición si cumplen con la exigencia de la expresión 2.5, empleada para el caso de las piezas de acero. (Goyos, 1985)

$$d \leq 0,4 \cdot h + 10 \quad 2.5$$

En esta expresión de cálculo, d es el diámetro del agujero y h la profundidad, ambas dimensiones en mm. Cabe destacar que los requerimientos de la ecuación anterior no son de estricto cumplimiento porque aún cuando los cálculos sugieran la posibilidad de lograr los orificios por fundición, es opción del tecnólogo definir si serán obtenidos por maquinado, dependiendo de importancia y acabado final.

2.10. Determinación de las inclinaciones de la plantilla

La magnitud de las inclinaciones de moldeo se reglamenta según la norma cubana NC-2008. Tomando como inclinación la variación dimensional que se da a la superficie de los modelos, moldes o piezas fundidas; como inclinación de fundición, la inclinación que se da a las superficies del modelos y machos para facilitar su extracción después de moldeados.

Para facilitar la extracción de la plantilla, las inclinaciones se realizarán en las zonas correspondientes a las bridas, puesto que estas son superficies rectas de la pieza, perpendiculares al plano de división del molde. Serán dispuestas en la dirección de

extracción de esta, teniendo para las inclinaciones interiores un valor b de 65 mm y para las exteriores un valor b de 295 mm, según se puede observar en la figura 2.2. Por medio de la tabla 2.5, extraída de (Goyos, 1985), se obtiene el valor de la inclinación.

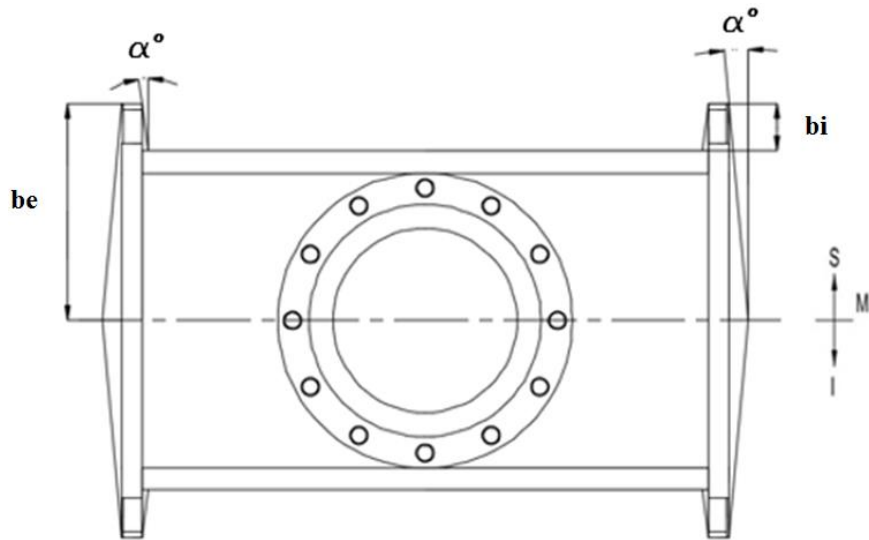


Figura 2.2 Tipo de inclinación para la tubería en T.

Tabla 2.5. Valores de inclinación

b (mm) de - a	Superficies exteriores				Superficies interiores			
	Modelo metálico		Modelo de madera		Modelo metálico		Modelo de madera	
	a (mm)	a	a (mm)	a	a (mm)	a	a (mm)	a
0-20	0,7	2 °	1,0	3 °	1,0	3 °	1,0	3 °
20-40	0,8	1 °	1,0	1 ° 40 '	1,4	2 °	1,75	2 ° 30 '
40-63	1,0	1 °	1,5	1 ° 40 '	1,6	1 ° 30 '	2,75	2 ° 30 '
63-100	1,0	45 °	2,0	1 ° 30 '	1,75	1 °	2,60	1 ° 30 '
100-160	1,5	45 °	2,5	1 ° 10 '	2,1	45 '	2,80	1 °
160-250	2,0	35 °	3,0	50 '	2,9	40 '	4,4	1 °
250-400	2,5	35 °	4,0	45 '	4,0	35 '	5,2	45 '
400-630	3,0	23 °	5,0	35 '	5,5	30 '	8,25	45 '
630-800			6,0	30 '	7,0	30 '	10,40	45 '
800-1 000			7,0	26 '			14,50	50 '
1 000-1 250			8,0	24 '				
1 250-1 600			10,0	23 '				
1 600-2 000			11,5	20 '				
2 000-2 500			13,8	19 '				
2 500			16,3	16 '				

2.11. Determinación de la posición del macho y sus portadas

Para la presente investigación, se colocará un macho en el centro de la tubería en T. Este dará forma acabada a la superficie del agujero de la pieza con la precisión determinada. Es un macho cilíndrico, sin grandes complejidades, acorde con la superficie interior del elemento en cuestión. Posee orificios de ventilación por lo que se garantiza la salida libre de los gases, su fácil construcción y su fácil extracción durante el proceso de limpieza. El macho tiene que poseer gran resistencia mecánica, flexibilidad, resistencia térmica, resistencia a la erosión, según recomendaciones de (Goyos, 1985).

Puesto que las portadas de los machos tienen que soportar la carga del peso propio del macho, la presión del metal y la presión específica sobre la portada del molde, se procede a calcular las dimensiones de la portada, según lo planteado por (Goyos, 1985) y con la ayuda del anexo 3.

2.12. Cálculo y diseño del sistema de alimentación

El cálculo del sistema de alimentación se realiza en dos etapas: cálculo del tiempo de vertido y cálculo del área de control. Cada una de las expresiones presenta coeficientes que fueron determinados tomando como referencia las recomendaciones de (Goyos, 1985) y Jiménez (1976). El tiempo de vertido (t) se obtiene a través de la expresión 2.6 como sigue.

$$t = S \cdot \sqrt{Q} \quad 2.6$$

En esta, t es el tiempo de vertido en segundos, S es un coeficiente adimensional equivalente a 1,4 y Q es el peso del metal líquido en el molde en kg.

El cálculo del área de control del sistema de alimentación se determina por medio de la expresión 2.7. En la misma, $\sum F_a$ es la sumatoria de la sección alimentadora en dm^3 , K es la velocidad específica de vertido en $\text{kg}/\text{cm}^2/\text{s}$, mientras que L es el coeficiente de fluidez que se toma en un rango de (0,8-1,0).

$$\sum F_a = \frac{Q}{t \cdot K \cdot L} \quad 2.7$$

2.12.1. Cálculo del rechupe específico

Cada aleación presenta una contracción volumétrica diferente y por tanto, disímil volumen de rechupe. Las aleaciones con mayor volumen de rechupe presentan una mayor

necesidad de alimentación, mientras las de baja contracción presentarán necesidades menores.

Para el cálculo del rechupe específico se tiene en cuenta el tipo de aleación y el porcentaje de composición. Para el caso del acero es posible evaluar el rechupe con bastante certeza mediante la expresión 2.8.

$$RE = REC + 1,03 \cdot \%Si + 0,0585 \cdot \%Mn + 0,12 \cdot \%Cr - 0,0354 \cdot \%Ni - 0,53 \cdot \%W + 1,7 \cdot \%Al + 0,013 \cdot (T - 1\,600) \quad 2.8$$

Donde:

RE es el rechupe específico; %

REC, rechupe de la aleación según su contenido de C; %

T, temperatura; °C. Se toma la temperatura de vertido, igual a 1 400 °C.

Según lo planteado por (Goyos, 1985), el valor del rechupe de la aleación según su contenido de C, se puede determinar a 1 600 °C con la ayuda de la tabla 2.6.

Tabla 2.6. Contenido de Carbono a 1 600 °C

% de C	0,0	0,1	0,2	0,4	0,8	1,0	1,2
REC	2,3	3,7	4,5	5,5	6,7	7,2	7,5

2.12.2. Determinación del volumen de mazarotado

Para considerar la presencia de mazarotas en una tecnología de fundición es de suma importancia el conocimiento del valor de los módulos. Según consideraciones de (Goyos, 1985), el módulo de una pieza o área de esta, es la relación existente entre el volumen de su forma geométrica y el área superficial que la contiene.

La mazarota debe contener el suficiente metal en estado líquido para alimentar la pieza, teniendo en cuenta la utilización del metal contenido y su propio rechupe. Su módulo debe ser un 20 % mayor que el de la pieza o área de alimentación, para que la nutra satisfactoriamente. Este incremento se toma para compensar el aumento de la superficie de la mazarota, que ocurre cuando se forma la cavidad de contracción de esta. Estas condiciones se expresan mediante las expresiones 2.9 y 2.10.

$$M_m \geq 1,2M_p \quad 2.9$$

$$V_m \geq \frac{V_P \cdot RE}{U - RE} \quad 2.10$$

En estas expresiones de cálculo, M_m y M_P son el módulo de la mazarota y de la pieza, mientras que V_m y V_P representan el volumen de la mazarota y de la pieza, respectivamente. El parámetro U contabiliza hasta qué punto el metal de la mazarota desempeña un papel activo. En este caso, se escogen mazarotas para bridas, por lo que el porcentaje de utilización del metal (U) tiene un valor de 13 %.

2.12.3. Cálculo del número necesario de mazarotas

La necesidad del cálculo del número necesario de mazarotas está dada por el hecho de que la misma es capaz de alimentar tan solo a la porción de la pieza o sistema de alimentación que la rodea. La distancia que alcanza el efecto del mazarotado en la pieza depende del material y de la geometría presente y se conoce como distancia de alimentación (DA).

En el caso de estudio actual, quien determina la cantidad de mazarotas no es la DA, sino la propia geometría de la pieza. Para el caso actual, se tiene en cuenta que la pieza posee tres bridas en los extremos. Es conocido que es en estas zonas donde mayor debe actuar el proceso de alimentación de la contracción, puesto que es donde más interviene el fenómeno del rechupe, por lo que pueden surgir defectos indeseables en la moldura. Por esta razón se decide colocar tres mazarotas para bridas, una en cada extremo de la tubería.

2.12.4. Cálculo de las dimensiones de las mazarotas

El cálculo de las dimensiones de las mazarotas, para el objeto de estudio actual, se realiza teniendo en cuenta parámetros básicos relacionados con la tubería analizada, definidos por las expresiones 2.11-2.17 y mostrados en la figura 2.3.

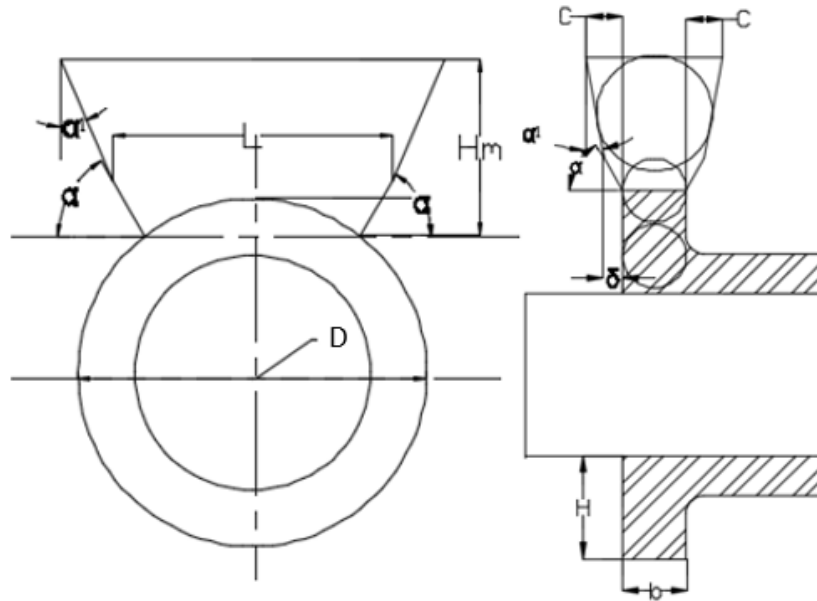


Figura 2.3. Dimensiones básicas de las mazarotas para bridas.

En la misma, D representa el diámetro de la brida, H el ancho de la brida, H_m es la altura de la mazarota, b el espesor de la brida, L es la longitud de la base de la mazarota sobre el reborde de la pieza, c y c_1 representan el aumento del espesor de la mazarota, δ es el aumento del reborde de la pieza, α el ángulo de transición y α_1 el ángulo de inclinación lateral de la mazarota.

$$\delta = 0,05 \cdot D \quad 2.11$$

$$L = 0,8 \cdot D \quad 2.12$$

$$H_m = 0,4 \cdot D \quad 2.13$$

$$\alpha = 60^\circ \quad 2.14$$

$$\alpha_1 = \frac{H_m}{10} \quad 2.15$$

$$c = 0,4 \cdot b \quad 2.16$$

$$c_1 = 0,05 \cdot b + 0,4 \cdot b \quad 2.17$$

2.12.5. Cálculo de los parámetros de alimentación

Debido a la configuración del elemento en estudio, se determinan las áreas involucradas en el sistema de alimentación con seis alimentadores, dos escoriadores y un tragadero.

Será colocado paralelo a la tubería en T, con los alimentadores entrando perpendicularmente a esta. Todo el SA será colocado en el lado contrario al tramo más corto de tubería (ver anexo 2). Los parámetros de diseño geométrico de los mismos, se calculan mediante la utilización de tablas, a partir del área de control calculada.

Según la tabla 2.7, se escoge la relación (1,0; 2,0; 2,0), puesto que esta corresponde a las aleaciones de acero. Para determinar la sección del alimentador, el valor del área de control se multiplica por Fa. Este resultado se divide entre la cantidad de seis alimentadores y con este valor se determinan las dimensiones según (Goyos, 1985).

Tabla2.7. Relación entre alimentador, escoriador y tragadero

Fa	Fe	Ft
1,0	2,0	1,5
1,0	2,0	2,0
1,0	3,0	3,0
1,0	1,1	1,2

Para determinar la sección de los escoriadores, el valor del área de control se multiplica por Fe. Este resultado se divide entre la suma de dos escoriadores que se dispondrán uno a cada lado del tragadero y con esto se determinan las dimensiones de los escoriadores.

En el caso de la sección del tragadero, el valor del área de control se multiplica por Fa. Este resultado se divide entre uno, puesto que es la cantidad de tragaderos a emplear para hacer entrar la aleación líquida al molde y con este valor se determinan las dimensiones del mismo.

2.13. Determinación de las dimensiones de la caja de moldeo y proceso de desmoldeo y limpieza

Las dimensiones de la caja de moldeo se determinan por las dimensiones de la pieza fundida, cantidad de piezas a moldear, posición, dimensiones de las mazarotas, sistema de alimentación o por las dimensiones de la portada de sus machos si están presentes en la pieza.

Las dimensiones de la caja de moldeo no deben ser excesivas porque aumenta la laboriosidad de la producción del molde y el consumo de la mezcla de moldeo. Las

distancias mínimas entre las diferentes partes de la cavidad del molde y las partes de la caja de moldeo se obtienen según (Goyos, 1985).

Cuando se alcanza la temperatura de desmoldeo, la moldura se extrae del molde mediante la utilización de una desmoldeadora *Webac*, que consiste en un sacudidor con una estación de desmoldeo por vibración con rejilla de (2 x 2) m y una carga máxima de cinco toneladas. Esta limpieza consiste en quitar de las superficies la arena quemada y adherida, eliminar las rebabas en las piezas moldeadas que se forman en el lugar de división del molde, así como, la superficie áspera en los puntos de acoplamiento de los elementos del sistema de alimentación. Luego se debe retirar el sistema de alimentación con electrodos de carbón y se logra el acabado total de la pieza con el uso de una máquina lanzadora de granalla (*sandblasting*) para mejorar el acabado superficial.

2.14. Condiciones experimentales y preparación de probetas

Para realizar los experimentos, se toman tres muestras de la aleación para el desarrollo de los mismos, con el fin de comprobar el estado de la estructura. Esta cantidad resulta significativa para comprobar los resultados, puesto que con una muestra se pueden obtener errores propios de los equipos, pero cuando se hacen tres o más ensayos, los resultados se toman como admisibles (Calero, 1976).

Con cada una de las muestras se preparan mecánicamente tres probetas, con lo que es posible validar la hipótesis planteada, aplicando ensayos de metalografía y comprobación de la dureza.

La máquina de corte empleada para la preparación de las probetas es de tipo CM 260, marca *echo RD*. La misma tiene cinco chorros de líquido refrigerante que garantizan una buena lubricación para evitar calentamiento y por consiguiente transformaciones microestructurales en las superficies de contacto. Es de suma importancia que las probetas sean limpiadas en todo su contorno, además de garantizar que tengan superficies planas con la menor cantidad de deformaciones posibles.

Antes de someter los elementos tratados a los procesos de desbaste y pulido, es necesario montar las muestras en un soporte (encapsulado) que garantice estabilidad durante los ensayos y por consiguiente un mejor manejo de estas. Con esto se consigue un mayor control de los resultados.

Esta operación se realiza por medio de una máquina de encapsular de marca *echo RD*, de tipo MP 350 A. Para esto se emplea resina fenólica negra con una temperatura de fusión de (150-170) °C durante un tiempo de 6-8 minutos, para luego enfriarse en el molde hasta los 60 °C.

2.15. Preparación metalográfica de las muestras

Para lograr un adecuado acabado superficial de las muestras, que permita observar la microestructura presente, el desbaste y pulido se realiza bajo la norma ASTM E3-11, por medio de una pulidora metalográfica *echo LAB*, de tipo PM 52 D. Se emplea un disco giratorio cubierto con papeles abrasivos de diversas granulometrías, yendo de la más gruesa a la más fina (180, 240, 600, 800 y 1 200). Encima del disco se colocan las probetas y se alterna su sentido en 90°, para eliminar la capa de material distorsionado. Se tiene en cuenta no aplicar una fuerza excesiva, para evitar introducir defectos por deformaciones, rayas, arranques de material, elementos extraños, bordes redondeados o daños térmicos.

Las muestras son pulidas hasta lograr un brillo espejo en la superficie, con lo que se deben obtener resultados confiables en la observación de la estructura interna. Con este fin, se realizan las operaciones que permiten lograr la calidad superficial deseada, usando los siguientes pasos: desbaste, pulido, desengrasado, lavado y ataque químico.

2.16. Ataque químico de las muestras

El ataque químico se realiza por medio de técnica manual por inmersión durante 15 segundos aproximadamente. Una vez atacadas, se limpian nuevamente con agua destilada, se sumergen en alcohol etílico durante unos segundos y finalmente se secan, lo que elimina las impurezas y la humedad.

El reactivo a utilizar es el Nital, con 5 mL de ácido nítrico y 95 mL de alcohol etílico, recomendado por ASM *Handbook* (1992), aceros aleados y fundición gris. Esta sustancia oscurece la perlita y da contraste entre sus colonias por lo que revela sus fronteras, además diferencia la ferrita de la martensita y aumenta la rapidez del ataque.

Para el acabado final del proceso, se utiliza un paño de fieltro grueso y se utiliza polvo de diamante como sustancia abrasiva. Una vez pulidas las probetas, se lavan con agua destilada, se secan con papel de filtro y finalmente se vuelven a lavar con etanol para evitar cualquier vestigio de grasa y pastas de pulir.

2.17. Análisis de la composición química del acero austenítico HK-40

Los aceros inoxidable austeníticos se descubrieron después de otras aleaciones y los investigadores prefirieron a esta clase de aceros por su alta pasividad y resistencia mecánica. Este tipo de aceros son austeníticos por su alto contenido de Ni; arriba de 15 % en peso, y su pasividad es dotada por su contenido mayor a 13 % en peso de Cr.

El acero HK-40 es una aleación que recibe su nombre de la AISI. La H denota su resistencia a las temperaturas; *Heat Resistant*, la K el contenido de Cr con base en el diagrama ternario Fe-C-Cr y el 40 se refiere a la cantidad de carbono presente en la aleación, 0.40 % en peso.

Tabla 2.8. Composición química estándar de la aleación HK-40. Fuente: (Ortiz *et al*, 2015)

C	Mn	Si	Cr	Ni
0,3-0,65	0,5-1,5	1,6	24-26	19-21

2.18. Evaluación de la dureza

Para la investigación actual, los ensayos de dureza se realizan en cinco puntos de la cara superficial de las probetas, con el empleo de un durómetro digital modelo HRS-ISO (*Digital Rockwell Hardness Tester*), especialmente diseñado para medir dureza superficial en aleaciones metálicas. Utiliza como penetrador un cono de diamante con un ángulo de 136° y expresa los valores en HRC. La carga aplicada es de 1 471 N en un tiempo de 15 segundos. La superficie de la probeta se prepara de la misma manera que para el análisis microestructural (desbaste y pulido), para lograr que esta quede lisa, seca, libre de grasa, polvo y en posición horizontal, evitando desplazamientos del indentador y por tanto resultados erróneos.

Cuando se conocen los valores de la dureza obtenidos en cada una de las mediciones, se calcula el promedio (Media) de estas de forma individual a través de la expresión 2.1, estando al tanto de la cantidad de huellas realizadas en el experimento.

$$Media = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n HRC_i}{n} \quad 2.18$$

Aquí, X_i es el valor de i medición; HRC representa el valor de dureza en kg·f/mm² y n el número de mediciones realizadas.

2.19. Conclusiones del capítulo 2

- Para desarrollar el proceso tecnológico de fundición en molde de resina furánica autofraguante se tienen en cuenta diferentes aspectos como la cantidad de piezas a obtener, dimensiones y complejidad de la pieza, tipo de aleación, propiedades mecánicas y peso de la pieza.
- La tubería en T se ubica completamente en posición horizontal, dividiendo la plantilla en dos partes simétricas. De esta forma, la mayor parte de la pieza no quedará en la caja superior con lo que se garantiza la salida de la plantilla en el moldeo.
- En el caso de estudio actual, quien determina la cantidad de mazarotas no es la distancia de alimentación (DA), sino la propia geometría de la pieza, puesto que la pieza posee tres bridas en los extremos y es en estas zonas donde más actúa el proceso de alimentación de la contracción.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1. Introducción

En este capítulo se tiene como **objetivo** exponer los resultados obtenidos del desarrollo de la tecnología de fundición para la obtención de la tuberías en T de acero austenítico HK-40. También da lugar a los resultados derivados de los ensayos de composición química, microestructura y dureza.

3.2. Resultados de los cálculos para la obtención de la pieza por fundición

A continuación se muestran los resultados obtenidos en el análisis de la obtención de la tubería en T por fundición.

3.2.1. Cálculo de la masa de la tubería

Para determinar el volumen de la pieza en análisis, esta se dividió en cuatro partes como sigue: volumen de la tubería de longitud igual a 825 mm, dos veces el volumen de las bridas de 16 orificios, volumen de la tubería que tiene una longitud de 100 mm y volumen de la brida de 12 orificios. De esta forma, la expresión 2.2 da un total de $40,9 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 40,9 \times 10^5 \text{ mm}^3$.

El resultado de multiplicar el volumen de la pieza de acero HK-40 por $7,2 \text{ kg/dm}^3$ (peso específico) arroja como valor, usando la ecuación 2.1, una masa igual a 295 kg.

3.2.2. Determinación de los espesores mínimos para lograr la fundición

Una vez analizada la posibilidad de obtener los espesores mínimos que tiene la tubería (11,5 mm) con la ayuda de la expresión 2.3, teniendo en cuenta un longitud de 0,13 m, un ancho de 0,0115 m y una altura de 0,273 m, se tiene una dimensión equivalente N de 0,18 m, por lo que se cumple la condición planteada en el epígrafe 2.6 y se determina que la tubería en T puede obtenerse por el método de fundición en moldes de arena.

3.2.3. Determinación de las sobremedidas de maquinado y tecnológicas

Teniendo en cuenta las dimensiones básica ($D_1 = 590 \text{ mm}$ y $D_2 = 400 \text{ mm}$) y determinante ($S_1 = 1\,013 \text{ mm}$ y $S_2 = 420 \text{ mm}$) de la tubería en cuestión, que la dimensión básica es la distancia entre las generatrices más alejadas y la dimensión determinante es la diagonal

de la sección longitudinal y con el auxilio de la tabla 2.4, se determinan que las sobremedidas de maquinado a emplear son de 8,0 mm para la brida de la sección de mayor longitud y 7,0 mm para la brida de la sección de 12 orificios.

Sin embargo, se otorgarán 2 mm para cada sobremedida de maquinado calculada, para un total de 10,0 mm para la brida de la sección de mayor longitud y 9,0 mm para la brida de la sección de 12 orificios. Con esto se tiene un mayor control en la calidad superficial de las bridas.

En la determinación de la sobremedida tecnológica se tuvo en cuenta lo exigido por la expresión 2.4 para el cálculo de la contracción de la fundición. Las longitudes de la pieza fundida y de la plantilla (l_p y l_m), expresadas en mm son 825 mm y 841 mm, respectivamente. Por tal razón, la sobremedida tecnológica o dimensión que se le da a la plantilla (l_m) para contrarrestar el cambio de volumen que experimenta la aleación durante su solidificación y enfriamiento es el 2 % de su longitud total incluyendo la dimensión aportada por la sobremedidas de maquinado, es decir 16,8 mm. Estas sobremedidas son superiores a la que se le aporta a las tuberías en T fundidas en la EMNi de Moa.

3.2.4. Determinación de los orificios fundidos

Independientemente de que los orificios que presenta la tubería en las bridas son de un diámetro igual a 23 mm y una profundidad de 25 mm, con un espesor de 28 mm, de que el resultado de la expresión 2.5 tiene como valor 21 y que su exigencia es que sean logrados por el método de fundición, se decide por la importancia de acabado de los orificios, obtenerlos por maquinado.

3.2.5. Determinación de las inclinaciones de la plantilla

Las magnitudes de las inclinaciones de moldeo se realizaron en las zonas correspondientes a las bridas y se escogieron según la tabla 2.5. Estas inclinaciones fueron situadas en la dirección de extracción de esta, siendo para las inclinaciones interiores de 1° y para las exteriores de 2°. Con estos valores queda garantizada la salida de la plantilla sin que exista riesgo de rotura del molde.

3.2.6. Determinación de las portadas del macho

Dado que el macho al cual se le determinan las dimensiones de las portadas es horizontal, por medio de la tabla del anexo 3 se toman los valores, ya que esta recoge los valores de

las dimensiones para machos con peso inferiores a 10 kN, según (Goyos, 1985), como es el caso del macho analizado. Para obtener los valores de las dimensiones de las portadas se entró el valor del diámetro (400 mm) y la longitud de trabajo del macho (825 mm) lo cual dio como resultado 100 mm.

3.2.7. Cálculo y diseño del sistema de alimentación

Mediante la solución de las ecuaciones (2.1-2.10) del capítulo 2 se determinaron los parámetros fundamentales en el diseño de la tecnología por fundición y se muestran en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Parámetros de diseños del sistema de alimentación de las bolas

Ecuaciones	Denominación	Resultado	U/M
2.1	Masa de la pieza	295,00	kg
2.2	Volumen de la pieza	40 930 000,00	mm ³
2.4	Determinación de las sobremedidas tecnológicas	2,00	%
2.8	Rechupe específico	5,88	%
2.6	Tiempo de vertido	24,04	s
2.7	Área de control	10,22	mm ²
2.10	Volumen del mazarotado	≥18 499 91,00	mm ³
-	Número necesario de mazarotas	3,00	-
-	Diámetro de la base de la mazarota	365,31	mm
-	Altura de la mazarota	297,99	mm
-	Área de sección del alimentador	10,22	mm ²
-	Área de sección del escoriador	20,44	mm ²
-	Área de sección del tragadero	20,44	mm ²

De la tabla anterior se puede apreciar que la condición establecida por Wlodaver determinadas en las formulas (2.1; 2.2; 2.4; 2.6; 2.7; 2.8; 2.10), para determinar el correcto funcionamiento de las mazarotas por el método de los módulos se cumple, es decir, el módulo de la misma es superior al 20 % de la pieza. Las mazarota tiene una altura (Hm) de 236 mm, un aumento del reborde de la pieza igual a 29,5 mm, una longitud de 472 mm, un ángulo de inclinación lateral de 29,80° y un aumento del espesor de 0,45 mm, como se muestra en el anexo 4.

Las dimensiones de los seis alimentadores, los escoriadores y el tragadero se exponen en el anexo 5.

3.2.8. Selección de las dimensiones en las cajas de moldeo

Teniendo en cuenta las dimensiones de los sistemas de alimentación y las consideraciones que se han establecido en el capítulo anterior, se seleccionó para la realización del moldeo de la tubería en T una caja de moldeo con las siguientes dimensiones: 1 300 X 900 X 400

3.3. Análisis de la composición química obtenida

El resultado de la composición química lograda se observa en la tabla 3.2, a partir de sacado el promedio de tres mediciones en cada muestra de aleación. El porcentaje de cada uno de los elementos de aleación que intervienen en la composición de la aleación se encuentran dentro del rango permisible por los estándares establecidos, por lo que se confirma que la aleación ensayada es el acero HK-40.

Tabla 3.2. Composición química del acero austenítico HK-40, en %

C	Mn	Si	Cr	Ni	Fe
0,417	0,820	0,601	24,5	17,08	Balance

El cromo aumenta la resistencia a la tracción, aumenta la dureza y la tenacidad y da resistencia a la abrasión y al desgaste. Produce resistencia a la corrosión y a la oxidación, al disolverse en la austenita aumenta también la templabilidad.

El 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.

El níquel amplía el campo de estabilidad de la austenita, además de que rebaja la temperatura a la que ocurre la transformación ferrita-austenita, de tal manera que las aleaciones hierro-níquel pueden presentar estructura austenítica a temperatura ambiente. Aumenta la resistencia a la tracción y el límite elástico del acero, además de elevar su tenacidad y su dureza. También aumenta la resistencia a la corrosión.

3.4. Análisis microestructural de las muestras

Con el fin de determinar la forma, tamaño y distribución de las diversas microestructuras presentes en la aleación objeto de estudio, se realizó el análisis microestructural a la aleación preparadas mecánicamente.

El modelo básico de la microestructura de las aleaciones es la disposición en celdillas de los granos poliédricos (cristales). La determinación del tamaño de grano de materiales

policristalinos es probablemente la única medida metalográfica más importante, porque de la influencia del tamaño de grano son sus propiedades y comportamiento. El tamaño de estos granos oscila entre varios centímetros y centésimas de milímetros aproximadamente, según el estado del metal. En su forma más simple, la estructura tiene su origen en que, en cada grano, la disposición de los átomos es esencialmente regular, pero la orientación relativa de esta disposición varía de un cristal a otro.

En la figura 3.1 se observa la microestructura correspondiente a la muestra de la aleación de acero austenítico refractario HK-40. Esta microestructura es dendrítica, compuesta por una matriz austenítica rodeada con zonas interdendríticas de islas de carburos primarios del tipo $M_{23}C_6$. También existe ferrita en los límites de granos, en la que se observa precipitación de carburos.

La precipitación en el acero HK-40 se debe a la disolución de los carburos primarios. Esta disolución ocurre al desestabilizarse el C y el Cr contenido en estos microconstituyentes. El primer elemento en difundir hacia la matriz es el C, al sobresaturarse esa región el Cr viaja de la zona interdendrítica hacia el centro de la matriz, para buscar zonas ricas en C y formar precipitados de la forma $M_{23}C_6$.

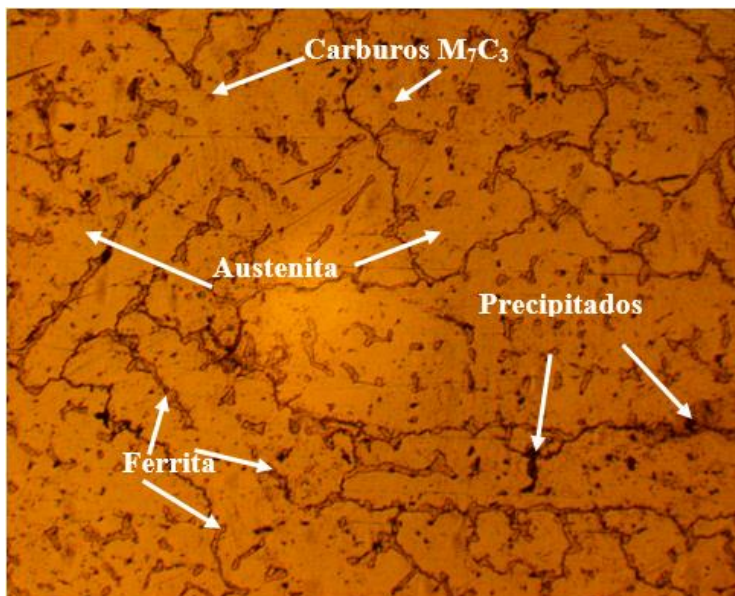


Figura 3.1. Microestructura de la aleación HK-40. x200.

La austenita es la solución sólida de carbono en hierro gamma y es capaz de disolver hasta 2,14 % de C a 1 147 °C. Está formada por cristales cúbicos centrados en las caras (FCC).

Esta fase se extiende sobre una gran sección del diagrama Fe-Fe₃C. Es blanda, dúctil, tenaz y no magnética. El contorno de los granos es rectilíneo. Es estable por encima de la temperatura crítica Ac₁ (727 °C).

La estructura de la ferrita consiste prácticamente en hierro puro, la cual, a temperatura ambiente, es una solución sólida de tipo intersticial de carbono en hierro α , con una solubilidad máxima de aproximadamente 0,02 %. Este constituyente puede contener, además de una pequeña cantidad de carbono en solución sólida, otros elementos ya sea como residuales del proceso de fabricación o añadidos intencionalmente como elementos de aleación.

3.5. Análisis de la dureza de las muestras

Se toma el resultado cuantitativo, de cinco puntos diferentes de cada una de las probetas, mostrándose en la tabla 3.3. En la que se observa una dureza promedio de 167,2 HV, dureza esta que no presenta peligro para el trabajo como conducto de trasegar colas lixiviadas, puesto que estos no presentan solicitaciones de tracción ni impacto.

Tabla 3.3. Valores de dureza para el acero HK-40 %

Número de ensayo					Promedio
1	2	3	4	5	
Valores de dureza en HV					
160,0	172,0	164,0	171,0	169,0	167,2

La representatividad y el promedio de los resultados logrados en la prueba se verifican considerando la ecuación 2.18. En función de esto, a través de Calero (1976), se comprueba la eficacia del tamaño escogido de la muestra para que los resultados sean representativos del proceso objeto de estudio.

3.6. Valoración del impacto económico

Una vez obtenidos los resultados de la tecnología de fundición, es necesario determinar el costo de producción. El mismo viene dado por el gasto de materiales fundamentales y auxiliares, energía eléctrica y salario de la fuerza de trabajo en la fabricación de esta, durante el proceso de fundición. El análisis económico de este trabajo se realiza sobre la base de la ficha de costo de la EMNi de Moa. La misma se muestra en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. Ficha d costo de la producción de la tubería en T

Conceptos de Gastos	Total	CUC
Materias Primas y materiales	9 965,28	8 759,91
Materiales	7 787,52	6 746,56
Combustibles y lubricantes	24,75	24,75
Energía eléctrica	464,83	464,83
Útiles y herramientas	1 688,18	1 523,77
Sub total (Gastos de elaboración)	3 213,62	872,82
Piezas Método de Gasto General	0,00	0,00
Otros gastos directos	584,17	201,57
Depreciación	276,23	0,00
Otros servicios productivos	182,28	92,17
Ropa y calzado (trab. Directos)	125,67	109,40
Gastos de fuerza de trabajo	788,92	47,63
Salarios	723,18	0,00
Vacaciones	65,74	0,00
Estimulación en divisas	0,00	47,63
Gastos indirectos de producción	1 267,72	419,79
Depreciación	45,59	0,00
Materiales	219,87	208,61
Combustibles y lubricantes	32,49	32,49
Energía eléctrica	33,51	33,51
Salarios	582,04	0,00
Otros gastos	354,21	145,19
Gastos generales y de administración	379,59	169,17
Materiales	17,88	16,99
Combustibles y lubricantes	12,41	12,41
Depreciación	5,92	0,00
Energía eléctrica	5,99	5,99
Salarios	186,88	0,00
Otros gastos	150,51	133,79
Gastos bancarios	193,22	34,66
Gastos bancarios	193,22	34,66
Costo de producción	13 178,90	9 632,74
Impuestos y contribuciones	295,99	0,00
Contribución a la Seguridad Social	194,73	0,00
Gastos de Seguridad Social a Corto Plazo	23,37	0,00
Impuestos por la Utilización de la Fuerza de Trabajo	77,89	0,00
Margen de utilidad S/ Base autorizada	96,41	0,00
Precio establecido por el MFP	13 571,29	0,00
% Sobre los gastos en divisa	0,00	0,00
Componente en pesos convertibles	0,00	9 632,74

El costo total de fundición es de 9 632,74 CUC equivalente a 13 178,90 CUP.

3.7. Valoración del impacto medio ambiental

El incremento de la vida útil de las tuberías contribuye en determinada medida a un mejor aprovechamiento de las posibilidades productivas de la entidad. Se infiere que con el aumento de su durabilidad, se reportan otras ventajas como la reducción del costo de explotación y de mantenimiento del área. Con la nueva selección del material debe disminuir las importaciones y derivar recursos hacia otros renglones contribuyendo así al aprovechamiento eficiente de los recursos.

El proceso de fundición es altamente generador de residuos sólidos y gaseosos, en la fundición se generan gases nocivos que van a parar en la atmósfera, afectando así el medio circundante y la vida de la flora y la fauna de las zonas aledañas. Además la arena de moldeo que se derrama, la cual posee varios componentes como aglutinantes, melaza que de cierta manera inciden en los suelos.

3.7.1. Identificación de los peligros que producen la resina y el catalizador de las mezclas autofraguantes

La resina y el catalizador acarrearán riesgos al entorno que deben ser tenidos en cuenta, debido a que son un producto nocivo para el medio ambiente. Algunos de los riesgos se exponen a continuación.

Riesgos físicos y químicos, riesgos de explosión e incendio: el producto aunque no se clasifica como inflamable, los vapores en contacto con chispas o llamas pueden provocar incendios o explosiones.

Medidas a tomar en caso de vertido accidental.

Pequeños derrames: absolver con vermiculita, papel, aserrín, etc. y pasar a contenedor cerrado.

Derrames: evitar la extensión de la fuga. Bombear, si es posible a un tanque de recogida. Absolver restos con arena, tierra, aserrín y pasar a contenedor cerrado. (Utilizar equipo protector).

Medidas de protección para el personal: utilizar equipo de protección adecuados (gafas), guantes impermeables, ropa y botas impermeables, y si es necesario, mascarilla respiratoria adecuada.

Autor: Lazaro Monzón Pérez

Método para limpieza y recogida: los sólidos recogidos deben ser tratados (como residuos peligrosos)

3.8. Conclusiones del capítulo 3

- Se determinaron los parámetros de la tecnología de fundición de la tubería en T.
- Se comprobó la dureza superficial de la aleación HK-40.
- La microestructura encontrada es de tipo dendrítica, compuesta por una matriz austenítica rodeada con zonas interdendríticas de islas de carburos primarios del tipo $M_{23}C_6$.

CONCLUSIONES GENERALES

Luego del desarrollo de la investigación se llega a las conclusiones siguientes:

1. Se realizó la tecnología de fundición para la fabricación de una tubería en T de acero austenítico refractario HK-40, para lo que propuso usar en el moldeo, resina furánica autofraguante; una división de la plantilla en dos partes simétricas, además de una temperatura de vaciado desde el horno a la cazuela de 1 600 °C y de vertido al molde de 1 550 °C.
2. Además de lo calculado, se otorgaron 2 mm para cada sobremedida de maquinado calculada, con lo que se obtuvo un total de 10,0 mm para la brida de la sección de mayor longitud y 9,0 mm para la brida de la sección de 12 orificios. Además, la mazarota escogida posee dimensiones superiores a las que se emplean actualmente en la EMNi de Moa. Con esto se mejora la alimentación de la contracción y se tiene un mayor control en la calidad superficial de las bridas.
3. Con una dureza promedio de 166,8 HV y una microestructura dendrítica, compuesta por una matriz austenítica rodeada con zonas interdendríticas de islas de carburos primarios de tipo $M_{23}C_6$. Con la existencia de ferrita en los límites de granos, en la que se observan precipitados de carburos. Se asume que el acero austenítico refractario HK-40, es adecuada para usarse con el fin previsto, puesto que se corresponde con la microestructura patrón de la aleación y el objeto en la producción no se somete a sollicitaciones de tracción ni impacto.

RECOMENDACIÓN

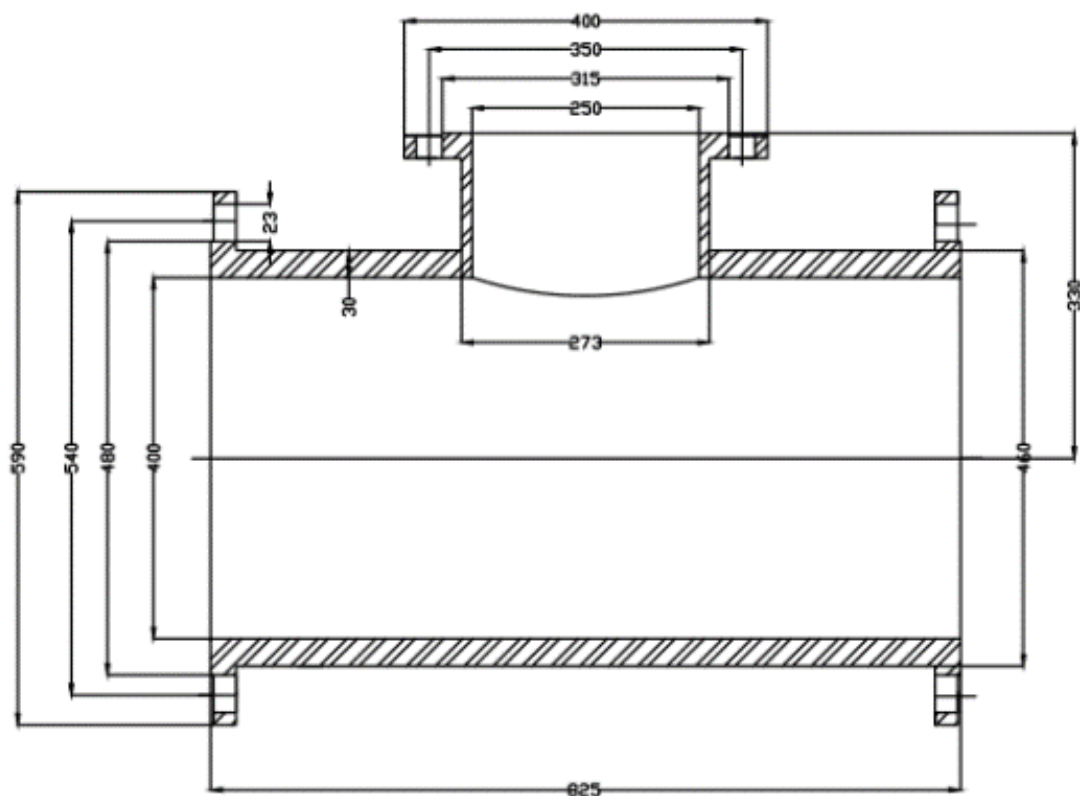
- Proponer a la EMNi de Moa, realizar una colada de la tubería en T de acero austenítico HK-40, teniendo en cuenta las dimensiones del sistema de alimentación mostradas en la presente investigación.
- Realizar una simulación del proceso de fusión de la tubería en T, para observar el comportamiento del proceso de enfriamiento y las áreas de mayor tensión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

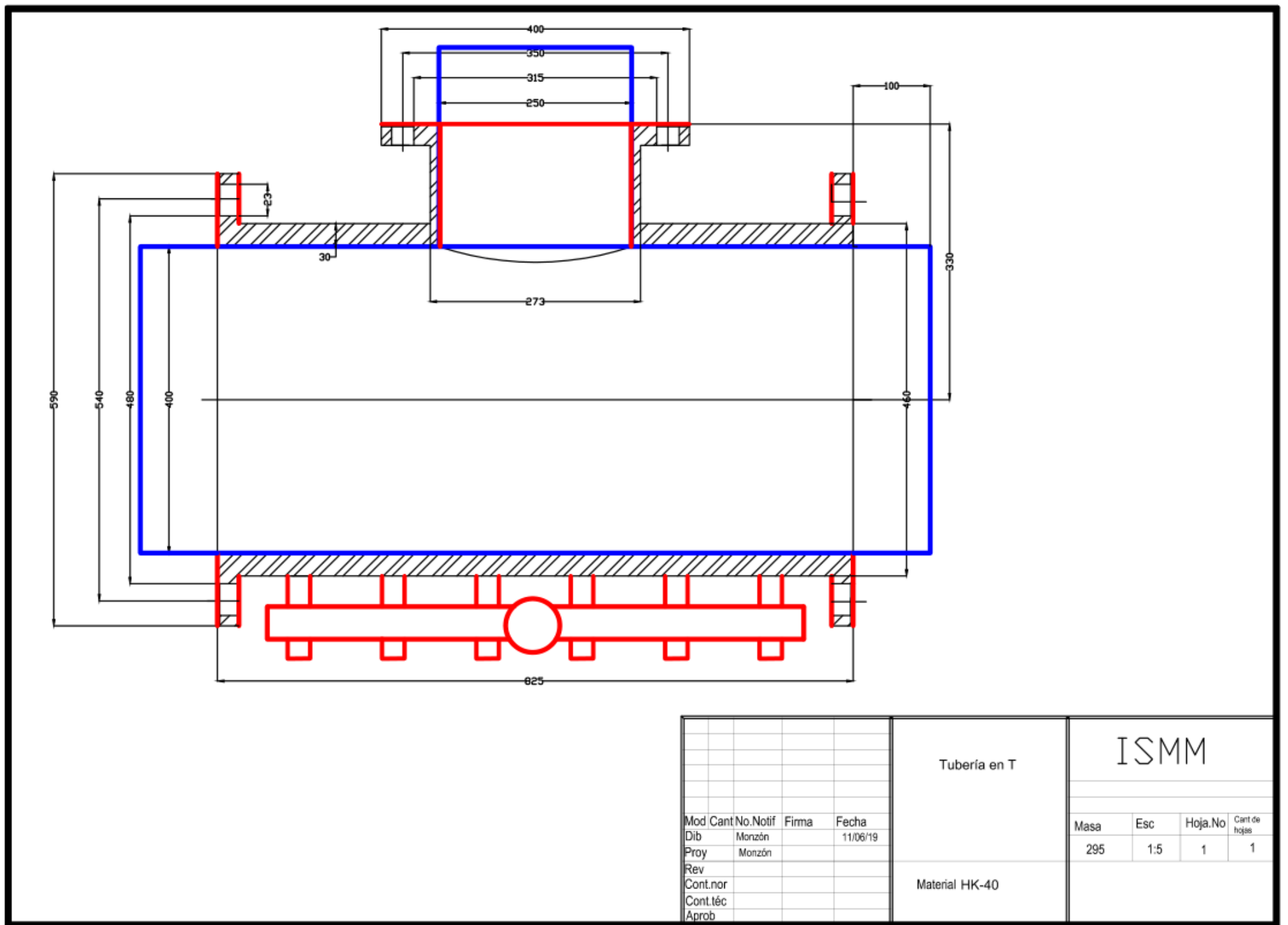
1. **Arequipa, Aceros. 2010.** El acero y su microestructura. 2010, Vol. II.
2. **ASTM A 532.** *Fundiciones Blancas de Alta Aleación Ni Hard.*
3. **Calero, A. 1976.** *Técnicas de muestreo.* La Habana : Pueblo y educación, 1976.
4. **Campbell. 1993.** *Castings.* s.l. : Butterworth-Heinemann, 1993.
5. **Davis, H. E, Troxell, G. E y Wiskocil, C. W. 1964.** *Ensaye e Inspección de los Materiales en Ingeniería.* s.l. : McGRAW-HILL, 1964.
6. **Durán, Oscar Luis. 2012.** *Tecnología de fabricación del brazo de arrastre de los hornos de reducción de acero HK-40.* Moa : s.n., 2012.
7. **EMNi de Moa, Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche. 2015.** *Manual de Operaciones del Taller de Fundición.* Moa : s.n., 2015.
8. **Flemings, M. C. 1983.** *Solidification Technology in the Foundry and Casthouse.* s.l. : The Metals Society, 1983.
9. **Goyos, Leonardo. 1985.** *Tecnología de la fundición II.* La Habana : ISPJAE, 1985.
10. **Guliáev, A P. 1977.** *Metalografía.* Moscú : Editorial Mlr, 1977.
11. **Hernández, Enedys. 2016.** *Selección de la aleación y de la tecnología de fundición de tamboras de Ómnibus de Yutong.* Moa : s.n., 2016.
12. **Ilarduya, AISA. 2002.** *Arenas para fundición.* 2002.
13. **Ingeniería-UNLP, Facultad de.** *Estructura y Propiedades de las Aleaciones.* Lima, Perú : s.n.
14. **Jiménez, Henry. 2008.** *Arenas para moldeo químico.* Mexico : s.n., 2008.
15. **JINDAL. 2017.** *Aceros Inoxidables Austeníticos al Cromo - Níquel.* India : REDEFINIENDO LOS VALORES DEL ACERO INOXIDABLE, 2017.
16. **Korolkov, A. 1960.** *Casting Properties of Metals and Alloys.* s.l. : Consultants Bureau, 1960.
17. **Kumanin, I. B. 1976.** *Cuestiones de la teoría de los procesos de fundición.* Moscú : Editorial Construcción de Maquinarias, 1976.
18. **Laufgang, Sergio. 2003.** *Aceros Inoxidables.* Lima, Perú : s.n., 2003.
19. **Mora, Leandro. 2018.** *Tecnología de fundición para la fabricación de bolas de molinos en moldes desechables.* Moa : s.n., 2018.

20. **Omarzabal, F.J. 2002.** *Arenas de moldeo en fundiciones férreas*. País Vasco : s.n., 2002.
21. **Ortiz Mariscal, A., Saucedo Muñoz, M. y López Hirata, V. 2015.** Estudio del engrosamiento de precipitación en un acero HK-40 envejecido a 800 y 900 °C. *Aplicaciones de ingeniería*. 2015.
22. **Poll, Arniel. 2017.** *Caracterización microestructural del acero hadfield y acero 35 obtenidos en la Empresa Mecánica del níquel de Moa*. Moa : s.n., 2017.
23. **Ramos, Yuliet. 2017.** *Fabricación de bolas para molinos, por fundición de hierro aleado, Ni-Hard*. Moa : s.n., 2017.
24. **Renosa, Alberto. 2013.** *TECNOLOGÍA DE FUNDICIÓN PARA FABRICACIÓN DE TAMBORA TRASERA Y DELANTERA DE LOS ÓMNIBUS YUTONG*. Moa : s.n., 2013.
25. **Rodríguez, Ariana. 2008.** *Solidificación en piezas fundidas de acero de medio*. Moa : s.n., 2008.
26. **Rosario, Samuel. 2015.** *Introducción a los aceros especiales*. Perú : s.n., 2015.
27. **Samón, Dayana. 2010.** *Propuesta de la metodología de cálculo del Proceso de Fundición de la cuña de la válvula “top flow”*. Moa : s.n., 2010.
28. **Titov. 1981.** *Foundry Practice*. Moscú : MIR, 1981.
29. **Titov y Stepanov. 1981.** *Tecnología del proceso de fundición*. Moscú : Mir, 1981.
30. **UNLP, Facultad de Ingeniería.** *Aceros y superaleaciones termorresistentes. Estructura y Propiedades de las Aleaciones*. Lima, Perú : s.n.
31. **Veinik, A. I. 1968.** *Thermodynamics for the Foundryman*. s.l. : Maclaren, 1968.

Anexo



						ISMM			
					</				

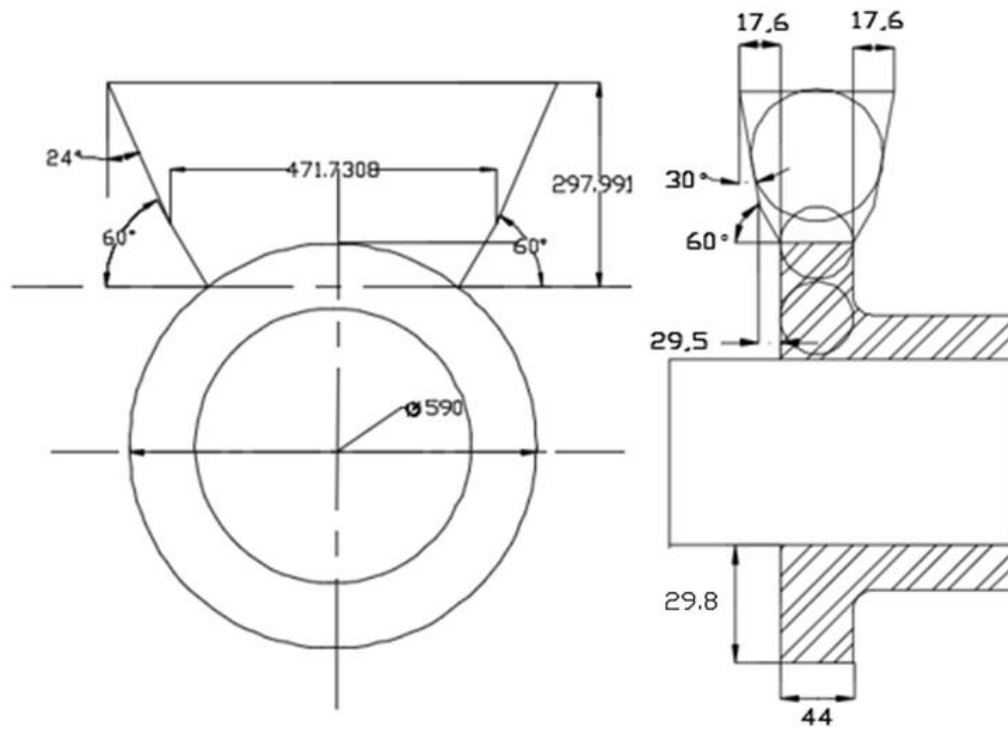


Anexo 2. Plano de la pieza fundida

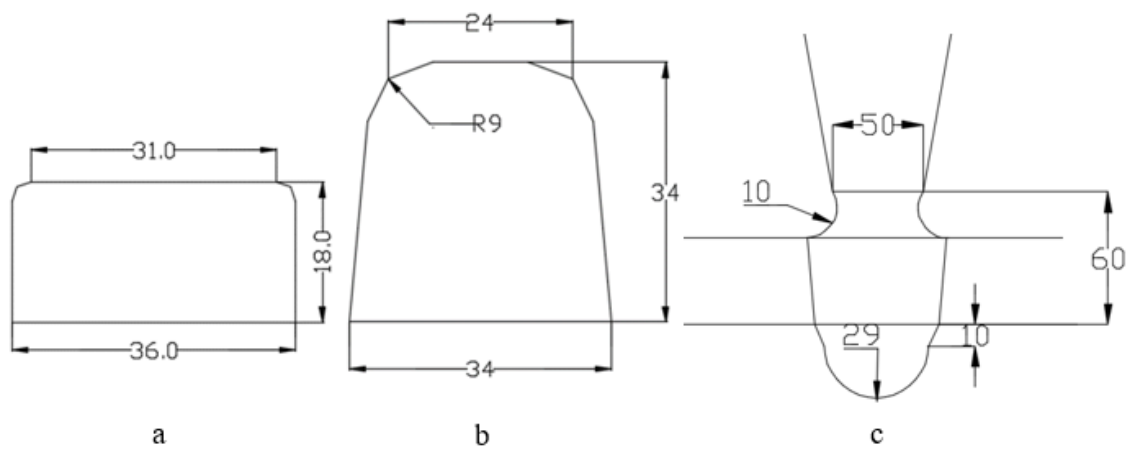
(a+b)/2 ó D (mm) De - a	Machos horizontales									
	longitud de trabajo del macho									
	de a	1 50	51 150	151 300	301 500	501 750	751 1 000	1 001 1 500	1 501 2 000	2 001 2 500
	Longitud de la portada (mm)									
0-25		15	25	40	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-
26-50		20	30	45	60	-	-	-	-	-
		15	20	30	40	-	-	-	-	-
51-100		25	35	50	70	90	110	-	-	-
		20	30	40	50	60	70	-	-	-
101-200		30	40	55	80	100	120	140	160	-
		-	35	50	60	70	80	100	110	-
201-300		-	50	60	90	110	130	150	180	200
		-	50	60	70	80	90	110	120	130
301-400		-	-	80	100	120	140	160	200	220
		-	-	70	80	90	100	120	130	140
401-500		-	-	100	120	130	150	180	230	250
		-	-	80	90	100	110	130	140	150
501-750		-	-	-	140	150	170	200	250	280
		-	-	-	100	110	120	140	150	160
751-1 000		-	-	-	-	180	200	230	280	330
		-	-	-	-	130	140	150	160	170
1 001-1 250		-	-	-	-	200	230	250	300	330
		-	-	-	-	-	150	160	170	180
1 251-1 500		-	-	-	-	-	250	280	330	350
		-	-	-	-	-	-	180	190	200
1 500-2 000		-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	200	210	220
2 001-2 500		-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	200	230	240

Nota: El mayor valor corresponde a moldes en verde y el menor valor a moldes en seco.

Anexo 3. Dimensiones de las portadas



Anexo 4. Dimensiones de la mazarota



Anexo 5. Dimensiones del tragadero (a), escoriador (b) y tragadero