



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

Trabajo de Diploma
En opción al título de Ingeniero Mecánico

*Construcción de un crisol de grafito
para la fusión de ferroaleaciones a
escala de laboratorio*

Irán Peña Hechavarría

*Moá; 2017
“Año 59 de la Revolución”*



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

Trabajo de Diploma
En opción al título de Ingeniero Mecánico

*Construcción de un crisol de grafito
para la fusión de ferroaleaciones a
escala de laboratorio*

Autor: Irán Peña Hechavarría

Tutores: Ms. C. Dayanis Alcántara Borges

Ms. C. Orleidy Loyola Breffe

Moá; 2017
“Año 59 de la Revolución”



Declaración de autoridad

Yo: Irán Peña Hechavarría

Autor de este trabajo de diploma, certifico su propiedad intelectual 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.

Irán Peña Hechavarría

Ms. C. Dayanis Alcántara Borges

Ms. C. Orleidy Loyola Breffe



Dedicatoria

A mi Dios.

A mis familiares.

A mi padre Irán Peña Pelegrín.

A mi madre Joaquina Hechavarría Torres.

A mis hermanas Yadira e Indira.

A todos mis compañeros y amigos.



Agradecimientos

A Dios por darme la sabiduría durante los estudios y porque siempre ha estado conmigo impartíendome fe y fuerza.

A todos mis profesores por los conocimientos transmitidos durante el desempeño de mi carrera.

A mis tutores por confiar en mí en la realización de este trabajo, la Ms. C. Dayanis Alcántara Borges y el Ms. C. Orleidy Loyola Breffe.

Al Dr. C. Tomás Fernández Columbié y Ms. C. Rafael Castillo Díaz por su cooperación y orientación.

A mis colegas, en especial al compañero Esterlin Lamorú Batista por su importantísima labor para hacer posible la realización de este trabajo.

A mis compañeros de estudio por todo el apoyo durante la carrera.

A mis amigos.

A mis familiares, en especial a mi padre Irán, mi madre Joaquina y mis hermanas Yadira e Indira, por su ayuda y apoyo incondicional.

A los que de una forma u otra contribuyeron a la realización de este trabajo.

A todos,

Muchas Gracias



RESUMEN

El trabajo se realizó fundamentalmente con el objetivo de construir un crisol. El material seleccionado fue grafito debido a la capacidad que tiene de soportar elevadas temperaturas. Las dimensiones del crisol fueron establecidas a partir de las particularidades geométricas de un semiproducto disponible. Para lograr el objetivo propuesto el semiproducto fue sometido a un proceso de mecanizado, primeramente se realizó un corte manual de la pieza y luego fue concluido en un torno paralelo de procedencia búlgara modelo C11MB. La metodología de cálculo estuvo basada en el régimen de corte para el torneado, los gastos de tiempo de trabajo y el volumen. El crisol fue diseñado con forma geométrica cónica, con base cilíndrica, altura total 273 mm con una profundidad en la cavidad interior de 221 mm, grosor en el borde superior de 40 mm, volumen 0,00405 m³. El costo total de producción en el que se incurrió fue estimado en 19,87 CUP. Se valoró que la explotación del equipo tiene un impacto positivo sobre el medio ambiental pues la tecnología que se implementará a través del mismo contribuirá a la reducción de la contaminación.

ABSTRACT

The work was done mainly with the aim of building a crucible. The selected material was graphite because of its ability to withstand high temperatures. The dimensions of the crucible were established based on the geometrical particularities of an available semiproduct. In order to achieve the proposed objective the semi-finished product was subjected to a machining process, firstly a manual cutting of the part and then it was finished in a parallel lathe of model Bulgarian C11MB. The calculation methodology was based on the cutting regime for turning, working time and volume. The crucible was designed with conical geometric shape, with cylindrical base, total height 273 mm with a depth in the inner cavity of 221 mm, thickness in the upper edge of 40 mm, volume 0.00405 m³. The total cost of production in which it was incurred was estimated at 19.87 CUP. It was valued that the exploitation of the equipment has a positive impact on the environmental environment since the technology that will be implemented through it will contribute to the reduction of the contamination.



INDICE	Pág.
INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.1. Introducción	7
1.2. Precedente histórico del uso del crisol.....	7
1.3. Generalidades sobre los crisoles	9
1.3.1. Tipos de materiales empleados para la construcción de crisoles.....	10
1.3.2. Usos más comunes de los crisoles	11
1.4. Crisol de grafito.....	12
1.4.1. Curado de los crisoles de grafito	13
1.5. Generalidades sobre las ferroaleaciones obtenidas en crisoles de grafito.....	14
1.6. Grafito	14
1.6.1. Clasificación	15
Grafito natural.....	15
Grafito sintético	16
1.6.2. Propiedades	17
1.6.3. Usos y aplicaciones.....	18
1.7. Mecanizado de piezas	19
1.7.1. Mecanizado manual	20
1.7.2. Mecanizado con máquina-herramienta	20
1.8. Análisis de la bibliografía consultada.....	21
1.9. Elementos más importantes en la construcción de crisoles por medio del mecanizado	22
1.10. Conclusiones del Capítulo 1	22
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	24
2.1. Introducción	24
2.2. Caracterización del material para la construcción del crisol	24
2.2.1. Características del semiproducto a mecanizar	25



2.3. Tecnología de fabricación del crisol.....	26
2.4. Caracterización del Torno C11MB.....	26
2.5. Caracterización de las herramientas	27
2.6. Metodología de cálculo para la tecnología de fabricación del crisol	28
2.7. Regímenes de corte para el torneado	28
2.8. Operaciones en el Torno C11MB	29
2.8.1. Operación de cilindrado.....	29
2.8.2. Operación de refrentado.....	30
2.8.3. Operación de taladrado	31
2.8.4. Operación de mandrilado	33
2.9. Grado de inclinación del carro del torno	33
2.10. Cálculo de los gastos de tiempo de trabajo	33
2.11. Cálculo del volumen del crisol	35
2.12. Método de curado del crisol.....	35
2.13. Características del proceso de obtención de la ferroaleación	36
2.14. Conclusiones del Capítulo 2	38
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	39
3.1. Introducción	40
3.2. Análisis del material.....	40
3.3. Análisis del dimensionamiento.....	41
3.4. Análisis de la tecnología de fabricación.....	41
3.5. Análisis de la etapa de mecanizado manual.....	41
3.6. Análisis de las operaciones en el torno	42
3.6.1. Análisis de la construcción del cilindro	42
3.6.2. Análisis del torneado de la base del crisol.....	45
3.6.3. Análisis de la operación de refrentado	46
3.6.4. Análisis de la operación de taladrado.....	47
3.6.5. Análisis de la operación de cilindrado interior o mandrilado.....	48
3.6.6. Análisis de la realización del cono interior del crisol.....	49



3.7. Valoración del acabado	50
3.8. Análisis de los resultados del cálculo de los gastos de tiempo.....	51
3.9. Análisis del volumen del crisol	52
3.10. Valoración económica	52
3.11. Valoración del impacto medioambiental	53
3.12. Conclusiones del Capítulo 3	54
CONCLUSIONES GENERALES.....	56
RECOMENDACIONES.....	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
CONTIENE ANEXOS	

Introducción

INTRODUCCIÓN

El uso de los metales ha sido de gran utilidad para la vida del ser humano. Desde la antigüedad el hombre reconoció sus valiosas cualidades y aprendió a forjar sus primeras herramientas de trabajo (usadas principalmente en la actividad de la agricultura), creó sus propias armas para defenderse, elaboró productos ornamentales y de joyería y luego empezó a fabricar artículos con un grado mayor de complejidad. Aunque en un principio los productos obtenidos eran rústicos surgieron posteriormente artesanos muy diestros en el manejo de la fundición y forja de los algunos metales.

El aprovechamiento de las cualidades de los metales ha ido progresando con el paso de los años y su manejo a nivel industrial es a gran escala en la actualidad, la fundición se ha situado como uno de los procesos más prácticos para la elaboración de piezas a partir de cualquier metal. Los metales fundidos son vertidos en moldes para tomar la forma impresa en estos y luego se dejan enfriar.

La manera más usual y ventajosa que se usa hoy para fundir metales es a través del empleo de los hornos, estos ocupan un lugar especial entre las instalaciones y equipos industriales. En ellos se lleva a cabo un proceso tecnológico (físico - químico) con el objetivo de obtener, refinar y tratar térmicamente los metales. Prácticamente todos los metales ferrosos se obtienen con la utilización de los hornos metalúrgicos, los cuales tienen construcciones muy variadas (Chang, 2012).

Los primeros hornos especiales surgieron hace miles de años, los cuales no eran más que pequeños crisoles para la fundición de menas ricas de metales con bajo punto de fusión como el cobre, el estaño y el plomo (Chang, 1991). También entre los materiales que el hombre trabajó desde la antigüedad se encuentran el bronce y el aluminio.

En la actualidad los crisoles de grafito tienen una gran aceptación. En estos hornos se funde el metal, sin entrar en contacto directo con los gases de combustión y por esta razón se llaman algunas veces hornos calentados indirectamente.

El grafito es un importante recurso mineral no metálico usado alrededor del mundo; es un carbono puro que soporta altas temperaturas, buen conductor del calor y la electricidad.

Un crisol de grafito es un contenedor ideal para fundiciones ferrosas, su fabricación y utilización permite obtener acabados de excelente calidad, son muy duraderos y se consigue una alta eficacia en el funcionamiento de los mismos. Su implementación a nivel industrial guarda estrecha relación con el resultado de disímiles procesos productivo.

En los crisoles se obtiene la energía térmica necesaria para la transformación correspondiente de las materias primas. Contar con uno servirá para realizar experimentos investigativos que permitan valorar los resultados que se obtienen al mezclar diferentes materias primas expuestas a altas temperaturas. También será útil para el estudio de temas afines, promoviendo la creatividad y dando oportunidad a la innovación, lo cual es de gran importancia para el desarrollo científico y tecnológico en nuestro país, y que además puede reportar beneficios como la reducción de importaciones y el aprovechamiento de nuestros propios recursos naturales.

Teniendo en cuenta lo antes expuesto se plantea lo siguiente como **situación problémica:**

El desarrollo de la humanidad ha estado basado en la capacidad que han mostrado los investigadores para la creación de nuevos materiales o productos que tengan un uso determinado. En nuestro país se ha llamado al aprovechamiento de las materias primas nacionales para la fabricación de productos, de manera tal que se reduzcan las importaciones. En el país existen algunos recursos minerales que pueden ser aprovechados para la obtención de ferroaleaciones que se usan en la conformación de electrodos consumibles. Por ello, ha surgido la necesidad por parte de algunos investigadores del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez" (ISMMM), de realizar mezclas de diferentes materias primas y desechos de producciones industriales y fundirlas, para evaluar la posibilidad de usar los productos obtenidos en la fabricación de electrodos

Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Mecánico Irán Peña Hechavarría

para soldadura. Por tanto en el ISMMM no se cuenta con un equipo (crisol) de laboratorio, o escala de banco que soporte la fusión de estos materiales a altas temperaturas.

Se plantea como **problema de investigación:** Necesidad de construir un crisol de grafito para la fusión de ferroaleaciones a escala de laboratorio en el ISMMM.

Objeto de estudio: crisol de grafito.

Por lo que se plantea como **hipótesis:** si se establece la tecnología adecuada para el maquinado de una pieza de grafito, entonces se podrá fabricar un crisol de este material para la fusión de ferroaleaciones.

Campo de acción: proceso de manufactura del crisol.

Por tanto se define como **objetivo general:** realizar la construcción de un crisol de grafito a partir de los procesos de maquinado con arranque de virutas.

Para dar cumplimiento al objetivo general se plantean los siguientes **objetivos específicos:**

- Caracterizar los procedimientos tecnológicos que se emplean en la fabricación de crisoles para la obtención de ferroaleaciones en correspondencia con la designación de diferentes materiales empleados.
- Establecer el procedimiento tecnológico que se tiene en cuenta a través de los procesos de maquinado para la fabricación de crisoles con el empleo de grafito.
- Fundamentar los resultados obtenidos del proceso de maquinado empleado en la construcción de un crisol de grafito para la obtención de ferroaleaciones.

Para lograr el cumplimiento del objetivo propuesto, se plantean las siguientes **tareas del trabajo:**

- Búsqueda y revisión bibliográfica relacionada con el objeto de estudio.



- Establecimiento del procedimiento metodológico que permita la relación de las operaciones fundamentales por las cuales debe transitar el semiproducto para la construcción del crisol.
- Fundamentación y análisis de los resultados obtenidos del proceso de maquinado empleado en la fabricación del crisol de grafito.
- Planteamiento de los efectos económicos, sociales y ambientales relacionados con los procesos de maquinado por arranque de virutas y la producción de ferroaleaciones.

Capítulo 1

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

En el capítulo se resumen aspectos teóricos esenciales relacionados con el funcionamiento o empleo de los crisoles expresándose algunas de las características más generales a nivel global; se consideran aspectos relacionados con las ferroaleaciones que se pueden obtener con el uso de los mismos y se plantea elementos fundamentales para su construcción por medio del maquinado.

Una de las maneras de lograr la fabricación de los crisoles es a través del mecanizado de la materia prima usada, procedimiento empleado en el mundo para los fines más diversos; es muy ventajoso y práctico, y permite obtener productos de elevada calidad superficial.

Para lograr el fin propuesto se ha realizado la búsqueda y recopilación de información concerniente que provea un procedimiento metodológico ingenieril exacto para resolver el problema en cuestión de la manera más adecuada.

En este capítulo se establece como **objetivo**: realizar el análisis de la bibliografía existente, que permita establecer los fundamentos teóricos de la temática abordada y definir sus particularidades.

1.2. Precedente histórico del uso del crisol

El crisol es uno de los artefactos más antiguos producidos por el hombre y fue "inventado" poco antes de la Edad de Bronce (9000 a.C.) cuando el hombre empezó a trabajar los metales para confección de utensilios domésticos, herramientas y armas (Corona Cadinhos, 2017).

Los primeros crisoles eran contruidos de arcilla y fibras vegetales hasta que fue insertado en su composición el carbono que proporciona al crisol mayor resistencia térmica. Un gran avance tecnológico del crisol sucedió cuando se inició el uso de carburo de silicio en su composición, lo que le proporciona una mayor resistencia mecánica (Corona Cadinhos, 2017).

Se sabe que la fabricación de latón era conocida por los romanos hacia 30 a. C., Plinio y Dioscórides describen la obtención de *aurichalcum* (latón) por el procedimiento de calentar en un *crisol* una mezcla de *cadmia* (calamina) con cobre; el latón obtenido posteriormente era fundido o forjado para fabricar objetos (Wikipedia, 2017). El orfebre y el alquimista purifican el oro hace ya varios siglos mediante el uso del crisol (Corona Cadinhos, 2017). El procedimiento al crisol es el más antiguo de todos los métodos existentes en la fabricación de acero en forma líquida, derretida, es decir, del llamado acero fundido; según los datos existentes, este procedimiento surgió en Asia, en la época de la Edad Media temprana; el acero al crisol se destaca por unas propiedades mecánicas exclusivamente buenas, en cuanto a la forja y a la laminación, tanto longitudinal como transversal (Navas, 2015). Otro de los usos más primitivos del crisol fue la elaboración y obtención del platino para hacer metales acrisolados; más recientemente, los metales tales como el níquel y el circonio se han empleado en el crisol (Wikipedia, 2017).

En un principio los crisoles eran producidos manualmente. Actualmente los crisoles son producidos en prensas giratorias de gran presión y utilizan tecnología de punta en su elaboración (Corona Cadinhos, 2017). También dependiendo del tamaño y el material utilizado, pueden hacerse mediante el colado, el moldeo por inyección o la deposición química en fase de vapor (Goodfellow, 2017). Otro método sencillo de fabricación es el mecanizado.

El diseño de los crisoles ha cambiado y evolucionado como las técnicas de la metalurgia han desarrollado. El hecho de que el diseño y uso de crisoles ha cambiado a través del tiempo los hace históricamente interesante y muy útil para los arqueólogos. Los primeros crisoles eran de forma irregular, a menudo inconsistente en el grosor, y por lo general no muy refractario. Los crisoles modernos se fabrican en un conjunto casi ilimitado de especificaciones, y se someten a temperaturas y presiones nunca antes soñado (Prucommercialre, 2017)

1.3. Generalidades sobre los crisoles

La palabra *crisol* designa a ciertos cuencos refractarios que son vasos de laboratorio usados para fundir materias a altas temperaturas, y a las cavidades que reciben el metal fundido en los hornos de fundición de metales. Fue tomada del catalán antiguo *cresol*, forma hoy un tanto desusada excepto como tecnicismo y que actualmente es *gresol*, y cuyo significado básico, entre otros, es el de un tipo de cuenco o recipiente de barro o refractario con muchas acepciones específicas, pero que siempre incluyen la funcionalidad de contener alguna materia ardiente (Helena, 2017).

La definición de crisol en el Diccionario Castellano es recipiente hecho de material refractario, que se emplea para fundir alguna materia a temperatura muy elevada. Otro significado de crisol en el diccionario también es cavidad que en la parte inferior de los hornos sirve para recibir el metal fundido.

Los crisoles son de gran utilidad para el desarrollo tecnológico, su fabricación resulta de un valor incalculable debido a los beneficios económicos y sociales que pueden aportar. La característica que hace a un crisol útil es la capacidad de soportar temperaturas más altas que cualquier material que se coloca dentro, esto permite que el material dentro del crisol se pueda fundir y manipular conservando el recipiente (Prucommercialre, 2017). La importancia también está asociada a los procesos de manufactura en la elaboración y obtención de diversas piezas coladas. Tienen una elevada utilización en la industria química y metalúrgica en numerosas operaciones como la fusión de aleaciones.

La naturaleza de los crisoles depende del material o aleación a fundir y de la temperatura que se desea alcanzar. El volumen está en correspondencia con la cantidad de material que se necesita recoger en una sola colada (Sabelotodo, 2017). Están disponibles en tamaños, espesor y formas geométricas muy variadas, establecidas por quienes los diseñan o construyen; mayormente son cilíndricos y cónicos.

Algunas características generales de los crisoles son:

- Elevadas temperaturas de funcionamiento.
- Física y químicamente estables a altas temperaturas.
- Resistentes al fuego, permiten ser calentados a fuego directo.
- Buena conductividad térmica.
- Muy buenas propiedades de choque térmico.
- Flexibles y resistentes a la expansión térmica.
- Alta resistencia mecánica.
- Durabilidad y usabilidad.
- Acristalamiento.
- Muy buena resistencia química, a la oxidación, corrosión.
- Superficies uniformes que previenen la erosión por fundido.
- Elaborados con materiales de alta pureza. Material inerte. Materiales de alta calidad para aplicaciones de alta tecnología.

1.3.1. Tipos de materiales empleados para la construcción de crisoles

Una superficie inerte, o superficie no reactiva, no sólo es útil, sino esencial para un crisol. Si la superficie es reactiva, el contenido dentro del crisol se puede comenzar a mezclar con el material del propio crisol a las altas temperaturas (Prucommercialre, 2017). El punto de fusión de los materiales a utilizar debe ser mayor que el punto de fusión de los metales a fundir, deben ser refractarios y buenos conductores del calor (López, 2013).

Los crisoles se clasifican de manera muy amplia, son contruidos de disímiles materiales (refractarios o no), según el objeto al que se destinen: crisoles de fundición, de plata, de platino, de Hess, de cemento, de chamotte, de Passau o de Ips, ingleses, de plombagina, brascados, de magnesia, de cristal de roca fundido, de Rose, de Gooch, de Neubauer (Marketizer, 2009).

Según los requerimientos pueden ser hechos de grafito, carburo de silicio, acero, hierro, arcilla, níquel, circonio, plomo, titanio, alúmina, barro refractario, porcelana, vidrio, sílice, oro, teflón, cobre, nimonic, zafiro, espinela, mullita, ferrotungsteno, molibdeno y otros materiales.

La composición química (característica más significativa) varía según la que trabaje cada fabricante y depende de la aplicación que tendrá ya que cada composición reacciona de manera diferente a la temperatura, la presión y al material que será tratado (Prucommercialre, 2017)

1.3.2. Usos más comunes de los crisoles

Los crisoles son herramientas comunes en entornos de investigación en campos como la ciencia de los materiales, ciencias de la Tierra, y la ingeniería. (Prucommercialre, 2017). Se utilizan en aplicaciones donde la resistencia al calor y a la corrosión es esencial, típicamente, en análisis químicos y térmicos y en la producción de productos químicos, metales y vidrios (Goodfellow, 2010). Se puede observar su uso en las artes, ya sea para el trabajo con metales o pigmentos (Prucommercialre, 2017). También lo podemos encontrar como depósito cóncavo en el interior de algunos hornos que recoge el material fundido.

Uso en laboratorios

Ensayos, pruebas y análisis; similar a las cápsulas, los crisoles son ideales para ser utilizados a nivel de laboratorio para realizar experimentos que requieran temperaturas hasta por encima de 1000°C.

Generalmente tienen forma de copa; las tapas son típicamente holgadas para permitir el escape de gases durante el calentamiento de la muestra contenida (LQ, 2017).

Se utilizan para colocar en su interior compuestos químicos que se calientan a temperaturas muy altas (ILb, 2014). Están especialmente diseñados para calentar, fundir, quemar, y calcinar sustancias (llegando incluso a los 1500°C). Con la ayuda de estos utensilios se hace la determinación de nitrógeno (Huanca, 2017). En los laboratorios donde se realizan análisis químicos, los crisoles se emplean en las determinaciones gravimétricas cuantitativas (análisis midiendo la masa de la sustancia). Hay un cierto tipo, denominado crisol *gooch* que poseen pequeñas perforaciones en su parte inferior (o fondo), estos sirven para ser empleados en la filtración (ILa, 2012). Para análisis térmico hay crisoles especiales de alta tolerancia que se

utilizan en análisis DTA (Análisis Térmico Diferencial), DSC (Calorimetría Diferencial de Barrido) y TGA (Análisis Termo Gravimétrico) (Goodfellow, 2017). El uso también incluye cristalizar sustancias. Sirven como medio de purificación (por ejemplo de metales como el oro). Permiten la mezcla y fusión de materiales (como metal y vidrio). Como fuentes de evaporación para metales y revestimientos finos con película, para medir el sedimento en aceite (Goodfellow, 2017).

Uso en hornos

Los crisoles también suelen colocarse de forma habitual en el interior de los hornos; algunos hornos (generalmente los de inducción o eléctricos) tienen embebidos los crisoles y cuando el metal se ha fundido se vierte en un molde (Wikipedia, 2017). Una de las ventajas de fundir los metales en hornos de crisol es que se obtiene una aleación más limpia, los tiempos de mantenimiento son más rápidos y el control de energía es más preciso (Vega, V. 2015).

La utilización depende del tipo de horno, el método de calorifugado, el tipo de metal cargado, la temperatura y la modificación del metal (SPIP, 2017).

1.4. Crisol de grafito

Unos de los materiales más idóneos para la construcción de crisoles es el grafito, puesto que resultan ser muy duraderos y se obtiene una alta eficacia en el funcionamiento de ellos. Son resistentes a temperaturas por encima de los 1600 °C.

Se fabrican por moldeo y cocción a temperatura elevada de una pasta compuesta de grafito, arcilla y alquitrán principalmente (el crisol dura más cuanto más grafito contiene). También se fabrican crisoles tallados directamente en bloques de grafito artificial (Marketizer, 2009).

El grafito, por ser un material con excelentes propiedades antiadherentes, los acabados de los crisoles son lisos facilitando así la reducción de mermas por incrustaciones de material fundido (Brunssen, 2017). Estos crisoles son frágiles y difíciles de manipular, pero tienen una larga vida útil si se utilizan apropiadamente (Sabelotodo, 2017).

Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Mecánico Irán Peña Hechavarría

No contaminan el material fundido con metales "extraños" como puede suceder con otros crisoles como los de acero (Sabelotodo, 2017). Para evitar el peligro de una carburación se emplean crisoles de grafito provistos de un revestimiento interior adecuado (Marketizer, 2009).

Los crisoles de grafito son utilizados para la fundición del cobre, la plata y el oro (que requieren una temperatura de al menos 1100°C) y en coladas de otros materiales preciosos, son excelentes para oficios de joyería. También en la industria del acero, el latón y el bronce. Resultan apropiados para la fundición de aluminio, bronce, plomo, hierro y en el manejo del platino. Son útiles para medir la concentración de oxígeno, hidrógeno o nitrógeno en metales como acero y silicona. Muy adecuados para ser usados en la obtención de ferroaleaciones complejas (Rodríguez, *et al.*, 1995; González, 2013; Perdomo *et al.*, 2015 y otros investigadores).

Existen crisoles que cumplen su función en los procesos de sinterización de metales y aleaciones de metales semipreciosos caracterizados por estar constituidos íntegramente de material grafito (Viñas *et al.*, 2015).

Los crisoles de grafito son universales, se caracterizan por tener múltiples aplicaciones, alta refractariedad, toleran las temperaturas de fundición de metales resistentes y otros materiales, son ideales para fundiciones ferrosas y no ferrosas, especialmente adecuados para tratamiento de aleaciones, tienen muy baja reactividad, buenos para tratamientos con fundentes en fusiones intensivas, son utilizados en hornos de inducción o eléctricos, mantienen una larga vida de servicio.

1.4.1. Curado de los crisoles de grafito

Para el buen desempeño y óptimo aprovechamiento de los crisoles de grafito es conveniente tener en cuenta una recomendación inicial de suprema importancia. Un crisol *nuevo* (sin haberse usado) es aconsejable recubrirlo en su interior antes de fundir metal en él *por primera vez*; a este procedimiento preparatorio se le denomina: ``*curado*``; esto permite que dure mucho más tiempo en uso sin fracturarse o resquebrajarse por la explotación, alargando su vida útil.

1.5. Generalidades sobre las ferroaleaciones obtenidas en crisoles de grafito

Las ferroaleaciones se preparan generalmente en hornos eléctricos o en crisoles usando procedimientos como la aluminotermia (D.O.F., 2007) y la carbotermia.

No se utilizan normalmente para laminar o forjar o para otras transformaciones, por lo menos industrialmente, aunque algunas se prestan a la deformación plástica. Se utilizan en siderurgia esencialmente para aportar al acero o a la fundición proporciones determinadas de elementos de aleación, generalmente para conferirles propiedades determinadas en el caso en que la adición de elementos puros se juzgue impracticable o poco económica. Algunas se utilizan también como desoxidantes, desulfurantes, desnitrurantes o para el calzado de los aceros; otras encuentran aplicaciones en soldadura o para la deposición de metal (D.O.F., 2007).

Perdomo (2004), afirma que como resultado del proceso de obtención de ferroaleaciones se genera una escoria con propiedades que permite la futura aplicación en el desarrollo de materiales abrasivos y refractarios.

El número de ferroaleaciones posibles que se puede obtener con el empleo de crisoles (principalmente hechos de grafito) es muy elevado; entre las variedades más comunes están: el ferromanganeso, el ferrosilicio, el ferro-sílico-manganeso, el ferrocromo, el ferro-sílico-cromo, el ferróníquel, el ferromolibdeno, el ferrovolframio (ferrotungsteno), el ferro-sílico-tungsteno, el ferrotitanio, el ferro-sílico-titanio, el ferrovanadio, el ferroniobio, el ferro-sílico-magnesio, el ferrosílico-calcio (D.O.F., 2007).

1.6. Grafito

El grafito es una de las formas alotrópicas en las que se puede presentar el carbono junto al diamante, los fullerenos, los nanotubos y el grafeno. Fue nombrado por Abraham Gottlob Werner en el año 1789 y el término grafito deriva del griego γραφειν (graphein) que significa *escribir*. También se denomina plumbagina y plomo negro (QuimiNet, 2013).

Las formaciones de grafito hay que referirlas, en gran parte, a depósitos carbonosos sedimentarios transformados por el metamorfismo; en otros casos revelan origen inorgánico, puesto que se explican por ser el carbono (C) procedente de carburos o de combinaciones carbonílicas ascendentes (QuimiNet, 2013).

Es la modificación hexagonal del carbono y su forma más estable, según los estudios de su estructura, pertenece a la clase dipiramidal dihexagonal (ICTCV, 2017).

1.6.1. Clasificación

El grafito se extrae de yacimientos naturales y también se produce artificialmente, de modo que se pueden dividir en dos grandes grupos de acuerdo con su origen: natural o sintético.

Grafito natural

El grafito natural es el producto de la recristalización metamórfica de la materia orgánica contenida en las rocas. Cuando este proceso se produce sobre capas de carbón, o sobre rocas que contienen hidrocarburos líquidos, es decir, petróleo, se generan yacimientos que también pueden tener origen volcánico o hidrotermal. El grafito natural es relativamente abundante en la naturaleza, constituido mayoritariamente por carbono en un 80% – 90% y presenta impurezas inorgánicas de distinta naturaleza (sílice, alúmina, óxido férrico, etc...), que se eliminan mediante procesos de flotación en disolventes. De todos modos, si se requiere un mayor grado de pureza, deben utilizarse tratamientos químicos. Sus propiedades y composición vienen determinados por su localización geológica (lo encontramos principalmente en la China, la India, Brasil, Corea y Canadá) y su proceso natural de formación (BG, 2017).

Se presenta en tres formas: grafito cristalino en escamas (flake en inglés), grafito cristalino de veta (término reservado a un grafito especial de Sri Lanka) y grafito amorfo (denominación algo errónea si se considera que tiene cierto grado de orden estructural, con cristales de pequeño tamaño). Otras clasificaciones se limitan a considerar solo dos tipos de formas de

Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Mecánico Irán Peña Hechavarría

grafito: microcristalino (integrado por escamas y cristales de tamaño relativamente pequeño) y macrocristalino (integrado por escamas y cristales de mayor tamaño). El grafito cristalino en escamas, el utilizado principalmente en la preparación de grafeno, está constituido por partículas discretas en forma de placas planas con bordes angulosos, redondeados o irregulares. Se encuentra en rocas metamórficas como el mármol gneiss, el cuarzo o la mica. Su contenido en carbono es del 70% al 96%. El grafito cristalino de veta, como su nombre indica, cristaliza en forma de vetas que se acumulan en grandes bolsas, se cree que su origen se debe al depósito de carbono en fase líquida o gaseosa. Su contenido en carbono es del 80% – 99%. El grafito amorfo se forma a partir de sedimentos ricos en hulla y posee cierta estructura cristalina, en la que los cristales son muy pequeños y no están bien definidos. Su contenido en carbono es menor del 85% (BG, 2017).

Grafito sintético

El grafito sintético fue preparado por primera vez a principios del siglo XX. Para obtenerlo, un precursor orgánico (derivado del carbón o del petróleo) se trata a temperaturas en orden de los 1.000 °C, en atmósfera inerte (proceso conocido como carbonización), generando el coque que posteriormente se grafitiza a temperaturas superiores a los 2.500 °C (BG, 2017).

Los grafitos comerciales tradicionales son poligranulares, palabra que incluye a todos los grafitos sintéticos compuestos de granos que pueden distinguirse claramente en un microscopio, siendo el de tipo Acheson y los *isótopos* los más habituales. El primero de estos grafitos debe su nombre a E.G. Acheson, quien descubrió que calentando el carburo de silicio a alta temperatura, mayor de 2.500 °C, se descomponía y daba lugar a un grafito sintético prácticamente puro. El grafito isótropo se utiliza en la fabricación del grafito moldeado; para su obtención se calienta una mezcla de coque y un aglomerante (brea de alquitrán de hulla o de petróleo, habitualmente) a baja temperatura (~ 150 °C) para que funda el aglomerante y se mezclen; esta

mezcla se prensa, se carboniza y se grafitiza. Finalmente, puede tener lugar un proceso de mecanizado (BG, 2017).

El grafito pirolítico también es un grafito sintético que se obtiene mediante el depósito de carbono a partir de un hidrocarburo gaseoso (metano, acetileno, etileno) a temperaturas superiores a 1.800 °C (proceso que se conoce como CVD, Chemical Vapour Deposition) o por tratamiento térmico de grafitización de un material de carbono pirolítico previamente preparado. Este tipo de grafitos presentan un alto grado de orientación cristalográfica. Si el grafito pirolítico se trata, a su vez, a temperaturas superiores a 2.500 °C y bajo presión da lugar a un grafito pirolítico con una estructura cristalina aún más orientada que recibe el nombre de grafito pirolítico altamente orientado llamado HOPG, Highly Oriented Pyrolytic Graphité (BG, 2017).

1.6.2. Propiedades

El grafito *natural* es un mineral considerado de carbono casi puro; suave, de color gris a negro y brillo metaloide, es estable, inodoro, no tóxico, algo graso al tacto.

Según Hurlbut es clase 1.CB.05a (Nickel- Strunz). Tiene una densidad de 2,26 g por cm cúbico, no obstante, la mayoría de los materiales grafiticos presentan valores de densidad menor, debido a la presencia de imperfecciones estructurales, tales como porosidad, vacantes atómicas y dislocaciones (BG, 2017).

En el grafito los átomos de carbono presentan hibridación sp^2 ; están fuertemente unidos en el plano mediante enlaces covalentes, configurando capas (planos basales), estas capas están apiladas paralelamente y unidas entre sí por fuerzas de Van der Waals, más débiles, para ser más precisos, la distancia entre planos basales es de 0,335 nm (BG, 2017). Su estructura cristalina más común es la hexagonal hábito tabular, alineándose las láminas alternadas en una disposición *abab* estable (Merino, 2010); forma agregados compactos, escamosos, terrosos y esféricos (Asturnatura, 2017).

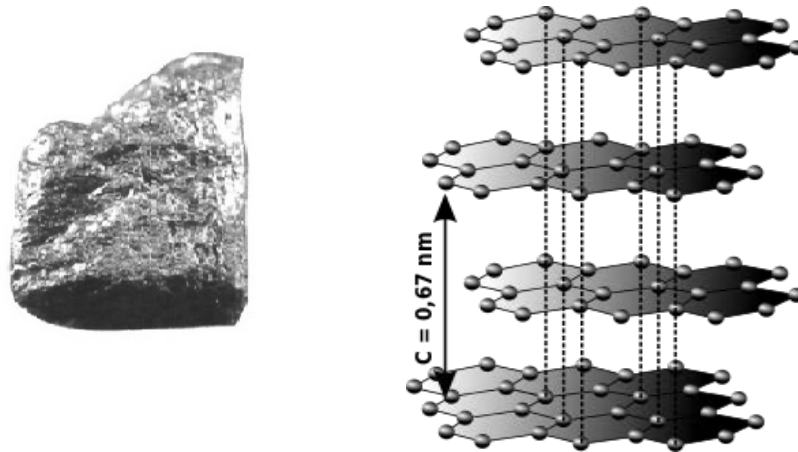


Figura 1.1. Esquema de la estructura cristallográfica hexagonal que presenta el grafito.

El grafito puede ser considerado un buen conductor del calor en la dirección paralela a los planos basales, mientras que en la dirección perpendicular su conductividad cae de manera importante y se comporta como un aislante térmico. La expansión térmica depende también de la fortaleza del enlace atómico, por lo que en la dirección de los planos basales es baja, inferior a la de la mayor parte de los materiales, mientras que en la dirección perpendicular, donde los enlaces son más débiles, la expansión térmica supera a la anterior en un orden de magnitud. Las propiedades eléctricas también varían considerablemente, siendo un buen conductor eléctrico en la dirección paralela a los planos y un aislante en la perpendicular (BG, 2017). El grafito es uno de los materiales más inertes, siendo resistente a la mayoría de los ácidos, bases y agentes corrosivos. La principal excepción a su excelente resistencia química son los elementos del grupo 16 del sistema periódico (oxígeno, azufre, selenio y telurio), con los que reacciona a temperaturas superiores a 400 °C (BG, 2017).

1.6.3. Usos y aplicaciones

Una de las aplicaciones más comunes del grafito es la fabricación de la mina de los lápices. Pero también encuentra aplicaciones en sectores como energía móvil (en baterías), industria del automóvil, tribología – lubricantes, polímeros conductores, metalurgia e industria química. Ha formado parte de

manera directa de nuestra vida cotidiana e indirectamente a través de sectores como el energético, la construcción, la salud, etc (BG, 2017).

Todo esto nos permite ver la gran utilidad histórica del grafito para muy distintas aplicaciones de tipo convencional y de alta tecnología: Lápices, Lubricantes, Ladrillos, *Crisoles*, Pistones, Juntas, Arandelas, Rodamientos, Electrodo, Carbones de motor, Discos de grafito, Grafeno, Tintura de grafito, etc (EcuRed, 2017).

1.7. Mecanizado de piezas

Según la enciclopedia libre Wikipedia (2017), el mecanizado (o maquinado) es un proceso de fabricación que comprende un conjunto de operaciones de conformación de piezas mediante la eliminación de material, ya sea por arranque de viruta o por abrasión. Se realiza a partir de productos semielaborados como lingotes, tochos u otras piezas previamente conformadas por otros procesos como moldeo o forja. Los productos obtenidos pueden ser finales o semielaborados que requieran operaciones posteriores.

Este proceso se realiza sobre la base de las especificaciones requeridas por un diseño preconcebido.

Aspecto importante a considerar es la maquinabilidad del producto, que describe la facilidad con que un material puede ser maquinado, y está relacionada con las propiedades mecánicas de los mismos. Además de esto, esa maquinabilidad está igualmente relacionada con la composición química del material, su microestructura, resistencia y los parámetros de corte utilizados como: avance, velocidad de corte, profundidad de corte (Oxley, 1989 y Trent, 2000).

Según Asencio (2012), entre las abundantes ventajas de los procesos de mecanizado por arranque de viruta cabe destacar la precisión dimensional, así como la complicada geometría que se puede conseguir. Además, las piezas mecanizadas obtienen un acabado superficial muy superior al

conseguido mediante otros métodos de fabricación como la fundición, el forjado y el estampado.

El mecanizado se puede efectuar manualmente o por medio de una máquina-herramienta.

1.7.1. Mecanizado manual

Según la Wikipedia (2017), es el realizado por una persona con herramientas exclusivamente manuales: sierra, lima, cincel, buril (electroerosión). En estos casos el operario maquina la pieza utilizando alguna de estas herramientas, empleando para ello su destreza y fuerza.

1.7.2. Mecanizado con máquina-herramienta

El mecanizado se hace mediante una máquina herramienta, manual, semiautomática o automática, pero el esfuerzo de mecanizado es realizado por un equipo mecánico, con los motores y mecanismos necesarios. Las máquinas herramientas de mecanizado clásicas son: Taladro, Limadora, Cepilladora, Brochadora, Fresadora y Torno (Wikipedia, 2017).

El torno es una máquina herramienta en la cual la pieza que se ha de mecanizar tiene un movimiento de rotación alrededor del eje. Así pues, en el torno la pieza verifica el movimiento de corte, en tanto que la herramienta produce el avance. El tipo de torno más corriente es el llamado torno paralelo en sus diversas variedades (ERV, 2017).

Una herramienta de corte típica para usar en un torno consta principalmente de un cuerpo, mango o vástago, y de una cabeza donde se encuentra el elemento cortante. Es requisito indispensable que la herramienta de corte presente alta dureza, incluso a temperaturas elevadas, alta resistencia al desgaste y gran ductilidad (Gutiérrez, 2016).

Según Cuenca (2014), el proceso de mecanizado resulta complejo y su desarrollo estuvo y sigue estando condicionado por tres factores fundamentales: la herramienta de corte, la máquina herramienta y el material a mecanizar.

1.8. Análisis de la bibliografía consultada.

En el desarrollo de la investigación la revisión bibliográfica estuvo dirigida a la búsqueda de información relacionada con la temática tratada, fundamentalmente para encontrar toda la documentación que fuera útil para alcanzar los objetivos propuestos. Se analizaron trabajos realizados relacionados considerando aspectos comparativos.

López Rodríguez (2013), en su trabajo de graduación presentado a la junta directiva de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala con el título "Estructuras de solidificación del aluminio fundido artesanalmente" fabricó lingoteras para fundición de aluminio por medio del mecanizado a partir de piezas de grafito y de acero de medio y bajo carbono. Las lingoteras de grafito fueron diseñadas cilíndricas por fuera y cónicas por dentro con dimensiones de: diámetro 150 milímetros, altura 130 milímetros, cono interno de diámetro menor 51 milímetros, diámetro mayor 61 milímetros y una altura de 76 milímetros. La lingotera que se construyó a partir de un trozo de acero al carbono tubo las siguientes dimensiones: 135 milímetros de largo, 135 milímetros de ancho, 120 milímetros de alto y un cono interno con diámetro menor 51 milímetros, diámetro mayor 61 milímetros y una altura de 76 milímetros. La otra de las lingoteras fue hecha de un pedazo de tubo de hierro negro con costura cedula 80. Este tubo se cortó y refrentó para que pudiese ser colocado sobre una plancha metálica de 8 mm de espesor.

Dentro del territorio nacional se encontró el trabajo realizado por García Caballero *et al*, profesor de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, titulado "Tecnología para la elaboración de crisoles de hierro gris resistentes a las altas temperaturas para la fusión de aleaciones de aluminio" desarrolla una tecnología para la obtención de un crisol de hierro fundidos por medio de la fundición, su construcción incluyó un canal para el sangrado.

Durante la búsqueda de trabajos precedentes se encontró que muy pocos tratan temas relacionados con la construcción de crisoles por medio del mecanizado.

1.9. Elementos más importantes en la construcción de crisoles por medio del mecanizado

Para la construcción de crisoles por medio del *mecanizado* es necesario tener en cuenta dos elementos fundamentales: las especificaciones del *diseño* y el proceso de *manufactura*.

El diseño permite determinar previamente las dimensiones que tendrá: forma geométrica, altura, grosor de la pared, volumen y cualquier otra particularidad.

El proceso de manufactura considera la maquinabilidad de la materia prima destinada y la tecnología de fabricación, que a su vez, depende de la máquina - herramienta a utilizar y la cuchilla de corte.

1.10. Conclusiones del Capítulo 1

- ✓ La búsqueda bibliográfica aporta información valiosa sobre los aspectos más generales de los crisoles, pero no se obtuvo información alguna sobre la construcción de crisoles de grafito en el ISMMM.
- ✓ El grafito constituye un material idóneo para la fabricación de un crisol para la fusión de ferroaleaciones a nivel de laboratorio.
- ✓ Para la obtención final de un producto comúnmente se emplean los procesos de manufacturas como el maquinado, con el cual se puede garantizar la geometría final de un crisol a partir de un semiproducto, mediante la eliminación del material sobrante.

Capítulo 2

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Introducción

Dadas las circunstancias económicas por las que ha atravesado nuestro país se ha trazado como política del Estado el aprovechamiento al máximo de nuestros recursos naturales y así reducir importaciones.

Según González (2013), todas las ferroaleaciones empleadas en Cuba, tanto para la industria metalúrgica como para la fabricación de consumibles de soldadura son de importación, a pesar de que el país dispone de algunos minerales factibles de utilizar en su fabricación. Por tanto, trabajar en tecnologías que permitan producir algunas ferroaleaciones constituye un aspecto de vital importancia.

Un crisol de grafito permite el tratamiento de las ferroaleaciones por su capacidad de resistir temperaturas de trabajo muy elevadas. Debido a esto nos propusimos la construcción uno de estos equipos con el objetivo de utilizarlo en el estudio y evaluación de nuevas tecnología que permitan aprovechar los desechos de determinados procesos industriales para la obtención de electrodos para soldadura.

El mecanizado constituye un método viable para la construcción del crisol, pues estos procesos se caracterizan por la obtención de la geometría final del producto mediante la eliminación del material sobrante de una preforma de partida (Asencio, 2012).

En este capítulo se plantea como **objetivo**: describir los métodos, procedimientos y condiciones específicas en las que se desarrollará la tecnología de fabricación de un crisol de grafito por medio del maquinado.

2.2. Caracterización del material para la construcción del crisol

El grafito es una de las formas alotrópicas en la que se encuentra el carbono como elemento nativo. Como propiedad estándar tiene un peso específico de 2,25 g/cm³ (1.30 onzas/in³); una dureza de 2 en la escala de Mohs y un coeficiente de dilatación lineal de $1/0,79 \cdot 10^{-5}$ Kelvin (López, 2013); es compresible y maleable, resiste el ataque químico, el choque térmico, la

contracción y la oxidación, tiene bajo coeficiente de fricción, tenacidad flexible (CGMDGDM, 2014).

Es un material extremadamente refractario. La tabla 2.1 muestra su comportamiento en relación con diversas temperaturas.

Tabla 2.1. Propiedades del grafito en relación con determinadas temperaturas (CGMDGDM, 2014).

Propiedades	Temperaturas
Fusión	- 3,550°C bajo una presión de 8624000 Pa - 3,726°C a las 100,000 atmósferas de presión
Sublimación	Entre 3,300° y 3,550°C a una presión de 101234 Pa
Oxidación térmica	En presencia de oxígeno comienza a 300°C
Combustión	A 620° y 670°C es combustible en presencia de oxígeno

2.2.1. Características del semiproducto a mecanizar

Para la construcción del crisol el semiproducto que será maquinado es una pieza de grafito con las siguientes dimensiones: 460 mm de largo, partiendo de los extremos con 195 mm de diámetro tiene forma cónica hasta el centro de 260 mm de diámetro, peso total de la pieza 33,7 kg (ver figura 2.1).



Figura 2.1. Semiproducto a mecanizar.

2.3. Tecnología de fabricación del crisol

Para la obtención del crisol la materia prima utilizada transitará por dos etapas fundamentales de mecanizado: mecanizado manual y mecanizado en máquina herramienta (torno). Cabe destacar que el grafito es un material frágil y dócil por lo que es de fácil manufacturación.

2.4. Caracterización del Torno C11MB

Las características de los tornos son muy ventajosas pues permiten desarrollar disímiles tecnologías de fabricación, lo que hace posible también la construcción del crisol. La máquina herramienta empleada será un Torno Universal paralelo Mashtroy Troyan modelo C11MB, con N° de serie 9265, de fabricación búlgara, año 1976 (figura 2.2). Las características técnicas del mismo son las siguientes:

Trifásico 380 VAC / 50 Hz, 10 HP

Diámetro husillo: 70 mm.

Altura del centro sobre bancada: 225 mm.

Distancia entre punto hasta 2000 mm.

Potencia del motor: $N_m = 10 \text{ kW}$

Rendimiento del torno: $\eta = 0,75$.

Tensión 400 V.

Máxima fuerza de corte axial admisible por el mecanismo de avance, $P_x = 600 \text{ kgf/mm}^2$.

Frecuencia de rotación del husillo (rev/min): 19; 27; 40; 54; 75; 110; 150; 217; 300; 425; 600; 850; 1200; 1680; 2400.

Avances longitudinales (mm/rev): 0,17; 0,16; 0,14; 0,13; 0,12; 0,11; 0,10; 0,9; 0,35; 0,31; 0,28; 0,25; 0,23; 0,21; 0,20; 0,19; 0,70; 0,62; 0,56; 0,51; 0,46; 0,43; 0,40; 0,37; 1,39; 1,24; 1,12; 1,01; 0,93; 0,86; 0,80; 0,74.

Avances transversales (mm/rev): 0,09; 0,08; 0,07; 0,06; 0,06; 0,05; 0,05; 0,05; 0,17; 0,16; 0,14; 0,13; 0,12; 0,11; 0,10; 0,09; 0,35; 0,31; 0,28; 0,25; 0,23; 0,21; 0,20; 0,19; 0,70; 0,62; 0,56; 0,51; 0,46; 0,43; 0,40; 0,37.



Figura 2.2. Torno Universal Modelo C11MB.

2.5. Caracterización de las herramientas

Las herramientas de corte empleadas en la fabricación de piezas se eligen en dependencia de la operación tecnológica del mecanizado, las cuales deben garantizar el buen acabado del material que se elabora (Cutíño, 2012).

Las herramientas seleccionadas para las operaciones del torneado son las siguientes:

- Cuchilla de cilindrar y tronzar de 90° 32X20BK15 para las operaciones de cilindrado exterior.
- Cuchilla de refrentar bicarburo de 45° derecha T14K8 soviética, para la operación de refrentado.
- Cuchilla de cilindrado interior o mandrilado de 60° DIN 4974 2525 R20 de plaquita y aleación de metal para las operaciones de mandrilado.
- Para taladrado horizontal una broca de acero de diámetro 50 mm y largo 400 mm con 200 mm en la parte de trabajo.

En la figuras 2.3 y 2.4 se muestran las herramientas para las operaciones a realizar en el torno:



Figura 2.3. Cuchillas para el proceso de torneado.



Figura 2.4. Broca para la operación de taladrado.

Además de las herramientas anteriores se empleará un martillo; una lima triangular; una hoja de sierra eléctrica para tronzar de forma manual; como instrumentos de medición se dispone de una regla, un pié de rey japonés marca Mitutoyo y una cinta métrica.

2.6. Metodología de cálculo para la tecnología de fabricación del crisol

Para la realización de la tecnología de fabricación se ha considerado la metodología de cálculo compilada por Fernández *et al.* (2007), que permite determinar los parámetros de trabajo de la máquinas herramienta y realizar los diferentes cálculos de maquinado por los cuales transitará el crisol durante su construcción.

Fue consultada la metodología de cálculo de Casillas (1987) para algunas operaciones. La metodología utilizada comprende además el cálculo de los gastos de tiempo de trabajo. Se incluye el cálculo del volumen del crisol diseñado, según el método utilizado por Suntaxi & Torres (2014).

2.7. Regímenes de corte para el torneado

Los parámetros fundamentales de los regímenes de corte son: avance de la herramienta, números de revoluciones del husillo, velocidad de corte, profundidad de corte.

Se entiende por avance al movimiento de la herramienta respecto a la pieza o de esta última respecto a la herramienta en un periodo de tiempo determinado. El avance se designa generalmente por la letra "s" y se mide

en milímetros por una revolución del eje del cabezal o porta-herramienta, y en algunos casos en milímetros por minuto (Fernández *et al*, 2007). Se obtiene a través del pasaporte de la máquina.

La frecuencia de rotación del husillo n , se entiende como el número de vueltas que realiza el husillo de la máquina para ejecutar el proceso de maquinado (Fernández *et al*, 2007). Se mide rev/min y se obtiene del pasaporte de la máquina.

La velocidad de corte V_c , es la distancia que recorre en el tiempo el filo de corte de la herramienta al pasar en dirección del movimiento principal (movimiento de corte) respecto a la superficie que se trabaja (Fernández *et al.*, 2007), se mide en m/min.

Se denomina profundidad de corte a la profundidad de la capa arrancada de la superficie de la pieza en una pasada de la herramienta, se designa con la letra " f " y se mide mm (Fernández *et al.*, 2007).

2.8. Operaciones en el Torno C11MB

El objetivo fundamental en los procesos de manufactura por eliminación de material sobrante es obtener piezas de configuración geométrica requerida y acabado deseado, con este fin la tecnología de fabricación del crisol incluye cuatro operaciones de torneado: cilindrado, refrentado, taladrado y mandrilado.

Los parámetros a calcular por operaciones son: velocidad de corte, profundidad de corte y tiempo de maquinado.

2.8.1. Operación de cilindrado

La operación de cilindrado no es más que la conformación de un cilindro. Según la ecuación 2.1 se puede determinar la velocidad de corte.

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}; m/min \quad (2.1)$$

donde:

π : Constante

D : Diámetro de la pieza; mm

n : Número de revolución; rev/min

1000: Factor de conversión de metro a milímetro

La profundidad de corte se determina a través de la ecuación 2.2.

$$t = \frac{D - d}{2}; mm \quad (2.2)$$

donde:

D : Diámetro del semiproducto; mm

d : Diámetro de la pieza; mm

El tiempo de maquinado, conocido por tiempo básico o tiempo total de maquinado, es el tiempo invertido en la ejecución de una operación. Se determina a través de la ecuación 2.3.

$$Tm = \frac{L}{n \cdot s} \cdot i; min \quad (2.3)$$

donde:

L : Longitud del recorrido de trabajo de la herramienta; mm

n : Frecuencia de rotación; rev/min

s : Avance; mm/rev

i : Número de pasadas; adimensional

2.8.2. Operación de refrentado

En el proceso de mecanizado es preciso realizar la operación tecnológica de refrentado, la cual se realizará con el objetivo de limpiar la superficie del material y emparejar el corte.

La velocidad de corte (V_c) del refrentado se determina usando la ecuación 2.1.

La profundidad de corte se determina a través de la ecuación 2.4.

$$t = \frac{L - l}{2}; mm \quad (2.4)$$

donde:

L : Longitud del semiproducto; mm

l : Longitud del producto; mm

El tiempo de maquinado para el refrentado pasante se determina por medio de la ecuación 2.3, la longitud a maquinar en función de la ecuación 2.5:

$$L = \frac{D}{2} + y + \Delta \quad (2.5)$$

donde:

D : Longitud de la pieza a elaborar; mm

y : Longitud de entrada de la cuchilla; mm

Δ : Coeficiente, que se encuentra entre 1 y 3

La longitud de entrada de la cuchilla " y " se determina a través de la ecuación 2.6.

$$y = t \cot \varphi \quad (2.6)$$

Datos:

$$\cot 45^\circ = 1$$

2.8.3. Operación de taladrado

El taladrado es uno de los más antiguos y utilizados métodos de elaboración de orificios, donde se realiza la operación de elaboración de agujeros con una herramienta llamada broca, la broca helicoidal apareció a principio del siglo XIX en 1860 (Fernández *et al.*, 2007).

El proceso de taladrado en el torno se realiza de forma horizontal, la pieza se coloca en el plato autocentrante y la herramienta en el cabezal móvil, o en el carro portaherramientas (Batista, 2012).

Según la ecuación 2.7 se puede determinar la velocidad de corte del taladrado.

$$V_c = \frac{\pi \cdot D_b \cdot n}{1000}; mm \quad (2.7)$$

donde:

π : Constante

Db : Diámetro de la broca; mm

n : Número de revolución; rev/min

1000: Factor de conversión de metro a milímetro

La profundidad de corte para el taladrado en torno se determina a través de la ecuación 2.8.

$$t = \frac{Db}{2}; mm \quad (2.8)$$

donde:

Db : Diámetro de la broca; mm

La ecuación 2.3 establece el procedimiento de cálculo del tiempo de maquinado de esta operación, pero la longitud se determina por medio de la ecuación 2.9.

$$L = l + l_1 + l_2 \quad (2.9)$$

donde:

l : Profundidad del corte; mm

l_1 : Longitud de penetración de la herramienta; mm

l_2 : Magnitud de recorrido de la herramienta (de 0,5 a 3); mm

La longitud de penetración de la herramienta l_1 , se determina por medio de la ecuación 2.10.

$$l_1 = 0,3 * D; mm \quad (2.10)$$

donde:

D : Diámetro de la broca; mm

2.8.4. Operación de mandrilado

De forma análoga al cilindrado exterior, el mandrilado se realiza en la parte interior de la pieza, es un cilindrado interior para eliminar el material sobrante (Batista, 2012).

Para el mandrilado se ubica la cuchilla en el carro portaherramientas del torno, luego de un previo taladrado se realiza la operación de desbaste y acabado con la herramienta de corte (Batista, 2012).

Para determinar la velocidad de corte (V_c) del mandrilado se usa la ecuación 2.1. La profundidad de corte (t) se determina usando la ecuación 2.2. El tiempo de maquinado (T_m) se calcula por medio de la ecuación 2.3.

2.9. Grado de inclinación del carro del torno

Es necesario calcular la inclinación en grados que debe darse al carro del torno para la realización del cono interior del crisol.

Según Casillas (1987), página 309, primeramente debe calcularse la ecuación siguiente:

$$X = \frac{D-d}{2L} \quad (2.11)$$

donde:

D : Diámetro mayor del cono; mm

d : Diámetro menor del cono; mm

L : Longitud del cono; mm

Luego del cálculo se debe buscar el valor resultante de X en la tabla de tangentes (Casillas, página 81) la cual indica el ángulo.

2.10. Cálculo de los gastos de tiempo de trabajo

En el tiempo total entran todas las categorías de gastos de tiempo de trabajo; es el tiempo por unidad de producción de las normas técnicamente fundamentadas del tiempo necesario para ejecutar la operación tecnológica dada al aplicar los métodos modernos de maquinado. Se determina a través de la ecuación 2.12.

$$T_{pu} = T_b + T_a + T_{pt} + T_{org} + T_{dnp}; \text{ min} \quad (2.12)$$

donde:

T_{pu} : Tiempo por unidad de producción y la suma de todos los tiempos de las diferentes categorías.

T_b : Tiempo básico o principal de máquina; min.

T_a : Tiempo auxiliar; min.

T_{pt} : Tiempo de procesos tecnológicos; min.

T_{org} : Tiempo organizativo; min

T_{dnp} : Tiempo de descanso y necesidades personales; min.

El tiempo que se gasta en cambiar las dimensiones, la forma y rugosidad de la pieza de forma manual o en la máquina, se denomina T_b ó T_m . Para ello se puede utilizar también la ecuación 2.3.

El tiempo que se gasta en la colocación de piezas, arranque y parada de la máquina, conexión y desconexión del avance, medición de la pieza T_a , se determina a través de la ecuación 2.13.

$$T_a = (0,18 \dots 0,25)T_b; \text{ min} \quad (2.13)$$

El tiempo que se gasta para el cuidado del puesto de trabajo y otros gastos como buscar herramientas y limpieza de la máquina se llama T_{pt} , se determina a través de la ecuación 2.14.

$$T_{pt} = (0,04 \dots 0,8)T_b; \text{ min} \quad (2.14)$$

El tiempo en el cual se realiza un trabajo productivo dirigido al concepto de una tarea (operación) T_{org} , se determina a través de la ecuación 2.15.

$$T_{org} = T_b + T_a; \text{ min} \quad (2.15)$$

El tiempo para una jornada de trabajo es $T_{dnp} = (0,17 \dots 0,25)$

2.11. Cálculo del volumen del crisol

El cálculo del volumen permite conocer cuántos metros cúbicos puede contener el crisol; según Suntaxi & Torres 2014 se puede determinar por medio de la siguiente expresión matemática:

$$V_{\text{crisol}} = \frac{\pi * h (R^2 + r^2 + R * r)}{3}; m^3 \quad (2.16)$$

donde:

π : Constante.

h : Altura del crisol; m

R : Radio de la circunferencia mayor (o de la boca del crisol); m

r : Radio de la circunferencia menor (o del fondo del crisol); m

La figura 2.5 muestra un esquema con las variables a tener en cuenta para el cálculo del volumen del cono interior del crisol.

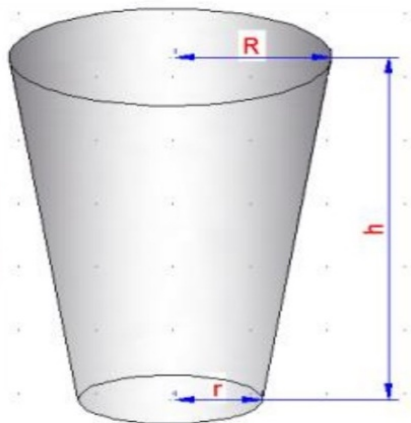


Figura 2.5. Variables para el cálculo del volumen del crisol.

2.12. Método de curado del crisol

Construido el crisol es muy apropiado que sea curado antes de ser usado por primera vez para así garantizar una vida más prolongada.

Según Salazar (2017) es recomendable usar como materiales pedacería de vidrio de botella y aceite automotriz (preferentemente usado), en proporciones de un litro de aceite por cada medio kilogramo de vidrio. El método es el siguiente:

- Se machaca la botella de vidrio, se ponen los materiales en el interior del crisol.
- Se calienta el crisol al rojo vivo. Es importante comenzar a calentar el crisol de manera lenta para que la humedad que contenga este tenga tiempo de evaporarse, de lo contrario si se calienta muy rápido se puede fracturar.
- Se debe procurar que la mezcla fundida alcance cuando menos una tercera parte del crisol.
- Con cuidado inclinar el crisol con el objetivo de que la mezcla fundida se impregne en toda la pared del crisol. Una vez que el interior del crisol se ha cubierto, se debe de verter fuera el exceso de la mezcla.
- Finalmente se pone el crisol sobre una cama de arena seca y se deja enfriar a temperatura ambiente.

El procedimiento anterior sellará la paredes del crisol y extenderá la vida útil del mismo (Moser, 2010).

2.13. Características del proceso de obtención de la ferroaleación

El crisol que se pretende construir debe tener características especiales para soportar condiciones determinadas en el proceso de fusión aluminotérmica (auto-sostenida). En tal proceso se quiere obtener una ferroaleación base Mn-Si-V, en la que se desprende una gran cantidad de calor. Consiste en una mezcla de polvo de aluminio y de diferentes óxidos (MnO ; MnO_2 ; Fe_2O_3 ; V_2O_5 ; Cr_2O_3 entre otros) metálicos que al inflamarse, producen un incremento de la temperatura, un metal y una escoria con alto contenido de alúmina (La Rosa, 2014).

En la tabla 2.2 se muestran algunas de las reacciones que ocurren en el proceso. Es importante destacar que la temperatura que se alcanzará en el interior del crisol estará cercana a los 3000 °C, es elevada la cantidad de calor que se generará, esto satisface el proceso metalúrgico de fusión y de ocurrencia de todas las reacciones.

Tabla 2.2. Reacciones típicas de algunos procesos aluminotérmicos (Rodríguez, *et al.*, 1995 y González, 2013).

Reacciones			ΔH (kJ/mol)	Temperatura alcanzada (°C)
$3\text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{Al}$	\rightarrow	$9\text{Fe} + 4\text{Al}_2\text{O}_3$	3010	3088
$3\text{FeO} + 2\text{Al}$	\rightarrow	$3\text{Fe} + \text{Al}_2\text{O}_3$	783	2500
$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{Al}$	\rightarrow	$2\text{Fe} + \text{Al}_2\text{O}_3$	759	2960
$\text{Cr}_2\text{O}_3 + 2\text{Al}$	\rightarrow	$2\text{Cr} + \text{Al}_2\text{O}_3$	2287	2977
$3\text{MnO} + 2\text{Al}$	\rightarrow	$3\text{Mn} + \text{Al}_2\text{O}_3$	1686	2427
$3\text{MnO}_2 + 4\text{Al}$	\rightarrow	$3\text{Mn} + 2\text{Al}_2\text{O}_3$	4356	4993
$3\text{V}_2\text{O}_5 + 10\text{Al}$	\rightarrow	$6\text{V} + 5\text{Al}_2\text{O}_3$	-	-
$3\text{SiO}_2 + 4\text{Al}$	\rightarrow	$3\text{Si} + 2\text{Al}_2\text{O}_3$	-	-

Para la obtención de la ferroaleación los materiales que se usarán se trituran y se tamizan según la granulometría deseada para luego ser homogenizados. La mezcla que se obtiene se pone a secar en una estufa de 180 - 200°C por un tiempo aproximado de 1,5 horas para eliminar la humedad y facilitar la temperatura adecuada para el inicio de la reacción. Secada la mezcla, se coloca una pequeña porción de ella en el crisol de grafito y se inicia la reacción, el resto de la carga se adiciona en pequeñas fracciones debido a que el proceso es muy violento. La iniciación del proceso se realiza con un electrodo también de grafito, conectado a una fuente de corriente directa de 500A y 80VDC. Después de verificada la reacción se deja enfriar la mezcla fundida en el crisol hasta que solidifique. Por último se extraen los productos de la reacción del crisol y se separa la escoria de la ferroaleación por inspección visual atendiendo a la apreciable diferencia en la densidad entre ambas (González, 2013).

2.14. Conclusiones del Capítulo 2

- ✓ Se caracterizó el material destinado para la construcción del crisol, el que cuenta con todos los requerimientos necesarios para el proceso de manufactura y para su posterior explotación.
- ✓ Se estableció la metodología de cálculo para las diferentes operaciones que se realizarán como parte de la tecnología de maquinado del crisol, así como los tiempos del proceso tecnológico empleado en cada operación.
- ✓ Se establecen los procedimientos en relación con el uso del crisol después de su construcción y las características del proceso de obtención de la ferroaleación.

Capítulo 3

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1. Introducción

El mecanizado o conformado por arranque de material se realiza partiendo de semielaborados por moldeo, por forja o laminación, a los que se da forma definitiva, quitando el material sobrante de acuerdo con el plano de la pieza que se desea obtener (Cuenca, 2014).

La manufactura, en su sentido más amplio, es el proceso de convertir la materia prima en productos. Incluye el diseño del producto, la selección de la materia prima y la secuencia de procesos a través de los cuales será manufacturado el artículo (Cuenca, 2014).

El capítulo refiere y explica todo el proceso realizado para la construcción del crisol. Para ello se aplicó la tecnología de fabricación por maquinado expuesta en el capítulo anterior.

El **objetivo** del capítulo es: realizar la valoración de los resultados obtenidos durante el desarrollo de la tecnología de fabricación del crisol y explicar los fundamentos científicos que dan solución al problema planteado.

3.2. Análisis del material

Para la elección correcta del material utilizado se tuvieron en cuenta dos aspectos fundamentales. El primero de ellos fue el producto que se deseaba fabricar y con qué objetivo, el segundo, si el material cumplía con los requisitos necesarios para la construcción y posterior explotación. Se justifica la elección del grafito por su magnífica cualidad como material refractario. El grafito posee además buena maquinabilidad, es decir, presenta poca resistencia al corte y se obtiene una buena calidad superficial al trabajarlo, su maquinabilidad está dada por sus propiedades físico - mecánicas.

3.3. Análisis del dimensionamiento

El objetivo esencial era la construcción de un crisol de grafito a escala de laboratorio; las dimensiones del mismo fueron prefijadas a partir del semiproducto disponible con las características descritas en el Capítulo 2.

El crisol fue diseñado con forma geométrica cónica, con base cilíndrica; altura total 273 mm, profundidad en la cavidad interior de 221 mm con un diámetro mayor de 170 mm y un diámetro menor de 135 mm, 40 mm de grosor en el borde superior. Tal dimensionamiento es suficiente para poder obtener ferroaleaciones a escala de laboratorio.

Para una correcta elaboración de dicho equipo las dimensiones deben estar en correspondencia con el plano de fabricación (ver Anexo 1).

3.4. Análisis de la tecnología de fabricación

La configuración geométrica del semiproducto era ideal para la construcción de un crisol de laboratorio con forma cónica por medio del maquinado. El cuerpo del crisol se fabricó de una sección del semiproducto.

El proceso se inició de forma manual y seguidamente se continuó en un torno. En el Anexo 2 aparece la Carta Tecnológica con la metodología de maquinado que se implementó.

3.5. Análisis de la etapa de mecanizado manual

Primeramente fue necesario dividir la pieza de grafito en dos secciones. La sección que serviría como base para la obtención del crisol se cortó a un largo de 278 mm, por lo que la otra sección sobrante midió 182 mm (ver figura 3.1)



Figura 3.1. Corte de la pieza de grafito.

El trabajo se llevó a cabo en el taller de Transporte del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez"; en el mismo solo se disponía de una hoja de sierra eléctrica como herramienta para realizar la operación y de forma manual. El tiempo de maquinado o tiempo que se gastó en cortar la pieza con esa herramienta fue de 4 horas.

3.6. Análisis de las operaciones en el torno

Después del mecanizado manual se utilizó un Torno Universal tipo C11MB para continuar con el proceso de construcción del crisol.

Lo primero que se realizó fue una correcta selección de un plato donde se pudiera colocar el semiproducto para la realización de las operaciones previstas. Se seleccionó e instaló en el torno un plato universal de cuatro garras independientes con 460 mm de diámetro.

Las operaciones de torneado realizadas fueron: cilindrado, refrentado, taladrado y mandrilado. Se calcularon por operaciones los parámetros mencionados en el Capítulo 2, es decir: velocidad de corte, profundidad de corte y tiempo de maquinado. Los resultados de los cálculos fueron tabulados para una mejor visualización. A continuación se describen los detalles del proceso.

3.6.1. Análisis de la construcción del cilindro

La sección destinada para la construcción del crisol presentaba un agujero lateral de 30 mm de diámetro y 60 mm de profundidad (ver figura 3.2), por

este motivo fue necesario la elaboración de un cilindro para rellenarlo; para esto se aprovechó la otra sección sobrante de grafito (la de 182 mm).



Figura 3.2. Agujero lateral en el semiproducto.

La pieza se colocó en el torno entre plato y punto (figura 3.3). La herramienta de corte que se utilizó fue una cuchilla de cilindrar y tronzar de 90°. Luego se procedió a realizar un cilindrado de superficie de 195 mm de diámetro a un diámetro de 30 mm con una longitud de 60 mm (figura 3.4).



Figura 3.3. Colocación de la pieza entre plato y punto

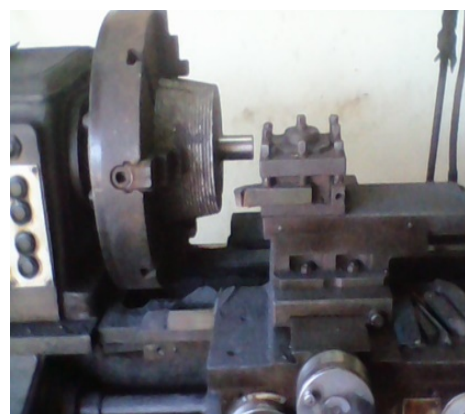


Figura 3.4. Construcción del cilindro.

La operación se realizó a una frecuencia de rotación del husillo de 75 rev/min y avance 0,23 mm/rev, estos parámetros fueron tomados del pasaporte de la máquina.

La tabla 3.1 muestra los resultados obtenidos durante el cálculo de los otros parámetros de la operación, es decir, la velocidad de corte que fue

determinada según la ecuación 2.1, la profundidad de corte determinada por la ecuación 2.2 y el tiempo de maquinado determinado según la ecuación 2.3. También se muestra el número de pasadas realizadas durante la operación.

Tabla 3.1. Resultados de los cálculos de la operación de cilindrado.

Parámetros	Valor
Velocidad de corte; m/min	45,92
Profundidad; mm	82,50
Número de pasadas	3,00
Tiempo de maquinado; min	10,43

Luego de creado el cilindro se introdujo en el agujero de la pieza de grafito de 278 mm, a presión, aplicándole golpes suaves (figura 3.5), posteriormente con una lima triangular (figura 3.6) se realizó las ranuras exteriores para lograr la estética o uniformidad superficial del crisol (figura 3.7).



Figura 3.5. Cilindro colocado dentro del agujero.



Figura 3.6. Lima triangular utilizada



Figura 3.7. Apariencia externa del cilindro.

3.6.2. Análisis del torneado de la base del crisol

El crisol fue diseñado con base cilíndrica, factible para subsiguientes operaciones en el torno.

La sección de la pieza de grafito de 278 mm se colocó en el torno entre plato y punto para realizarle un cilindrado de superficie de 195 mm de diámetro a un diámetro de 181 mm y una longitud de 48 mm. La operación se realizó a una frecuencia de rotación del husillo y avance de 75 rev/min y 0,23 mm/rev respectivamente. La herramienta de corte utilizada fue una cuchilla de cilindrar de 90°. La figura 3.8 muestra el proceso de construcción de la base cilíndrica del crisol.



Figura 3.8. Torneado de la base cilíndrica del crisol.

Los resultados de los cálculos realizados para determinar el valor de los parámetros de esta operación se relacionan en la tabla 3.2, es decir,

velocidad de corte (según ecuación 2.1), profundidad (según ecuación 2.2), tiempo de maquinado (según ecuación 2.3) y número de pasadas.

Tabla 3.2. Resultados de los cálculos de la operación de cilindrado de la base del crisol.

Parámetros	Valor
Velocidad de corte; m/min	45,92
Profundidad; mm	7,00
Número de pasadas	2,00
Tiempo de maquinado; min	5,57

3.6.3. Análisis de la operación de refrentado

Se invirtió la colocación de la pieza de grafito fijándola al plato del torno por la base cilíndrica, asegurándola bien para evitar una posible caída durante el trabajo con la misma. La pieza se ubicó entre plato y punto cerciorándose que rotara céntricamente (figura 3.9).

Para acometer la tarea se instaló en el torno una cuchilla de refrentar de 45° T14K8, luego se procedió a la ejecución del refrentado de la pieza para emparejar el corte manual hecho con la hoja de sierra eléctrica y para limpiar lo que sería el borde superior del crisol.



Figura 3.9. Colocación de la pieza durante la operación de refrentado.

La frecuencia de rotación del husillo seleccionada del pasaporte de la máquina fue 75 rev/min y el avance longitudinal 0,25 mm/rev (también

Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Mecánico Irán Peña Hechavarría

seleccionado del pasaporte de la máquina). Los resultados obtenidos en los cálculos de los parámetros de esta operación se muestran en la tabla 3.3. La velocidad de corte fue calculada en función de la ecuación 2.1. Para determinar la profundidad de corte del refrentado se aplicó la ecuación 2.4. El tiempo de maquinado se determinó según la ecuación 2.3.

Tabla 3.3. Resultados de los cálculos de la operación de refrentado

Parámetros	Valor
Velocidad de corte; m/min	5,89
Profundidad; mm	2,50
Número de pasadas	1,00
Tiempo de maquinado; min	7,60

3.6.4. Análisis de la operación de taladrado

Luego de la sujeción de la pieza de grafito al aire en el plato universal se procedió a realizarle un agujero en el centro (para comenzar a construir la cavidad del crisol) taladrando a una profundidad de 200 mm con una broca de acero de 50 mm diámetro. La figura 3.10 muestra momentos de esta operación.



Figura 3.10. Operación de taladrado.

El número de revoluciones de la operación fue 75 rev/min y el avance 0,23 mm/rev, ambos parámetros también fueron seleccionados del pasaporte de la máquina. Para determinar la velocidad de corte del taladrado se aplicó la ecuación 2.7. Para el cálculo de la profundidad de corte se empleó la

Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Mecánico Irán Peña Hechavarría

ecuación 2.8. El tiempo de maquinado se determinó por medio de la ecuación 2.3. La tabla 3.4 muestra los valores que se obtuvieron durante los cálculos que se realizaron para esta operación.

Tabla 3.4. Resultados de los cálculos de la operación de taladrado.

Parámetros	Valor
Velocidad de corte; m/min	11,78
Profundidad; mm	25,00
Tiempo de maquinado; min	12,49

3.6.5. Análisis de la operación de cilindrado interior o mandrilado

Para continuar construyendo la cavidad del crisol fue necesario cambiar la herramienta de corte para ampliar el diámetro y la profundidad del agujero hecho con la broca, para ello se instaló en el torno una cuchilla de cilindrado interior o mandrilado.

Se prosiguió con la operación de cilindrado interior desde un diámetro de 50 mm a un diámetro de 135 mm y se devastó en el fondo del crisol 21 mm para profundizar la cavidad y así lograr la medida requerida según el diseño, es decir una profundidad total del crisol de 221 mm. La figura 3.11 muestra momentos de la operación.



Figura 3.11. Operación de mandrilado.

El número revoluciones y el avance seleccionado del pasaporte de la máquina para esta operación fue de 110 rev/min y 0,23 mm/rev respectivamente. Los parámetros de la operación que se calcularon se *Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Mecánico* Irán Peña Hechavarría

muestran en la tabla 3.5 incluyendo el número de pasadas. La velocidad de corte se determinó en función de la ecuación 2.1, según la ecuación 2.2 se determinó la profundidad y el tiempo de maquinado se calculó de acuerdo a la ecuación 2.3.

Tabla 3.5. Resultados de los cálculos de la operación de cilindrado interior.

Parámetros	Valor
Velocidad de corte; m/min	46,63
Profundidad; mm	42,50
Número de pasadas	4,00
Tiempo de maquinado; min	34,94

3.6.6. Análisis de la realización del cono interior del crisol

Según el resultado del cálculo de la ecuación 2.11 el grado de inclinación del carro del torno que debe darse para la realización del cono interior del crisol es de $4^{\circ} 33'$. El mismo se llevó a cabo a 300 rev/min y avance de 0,25 mm/rev, parámetros que también fueron seleccionados del pasaporte de la máquina. Se concluyó con una medida de 40 mm de grosor en el borde superior del crisol de acuerdo a las especificaciones del diseño. En la figura 3.12 se muestran momentos de la operación.

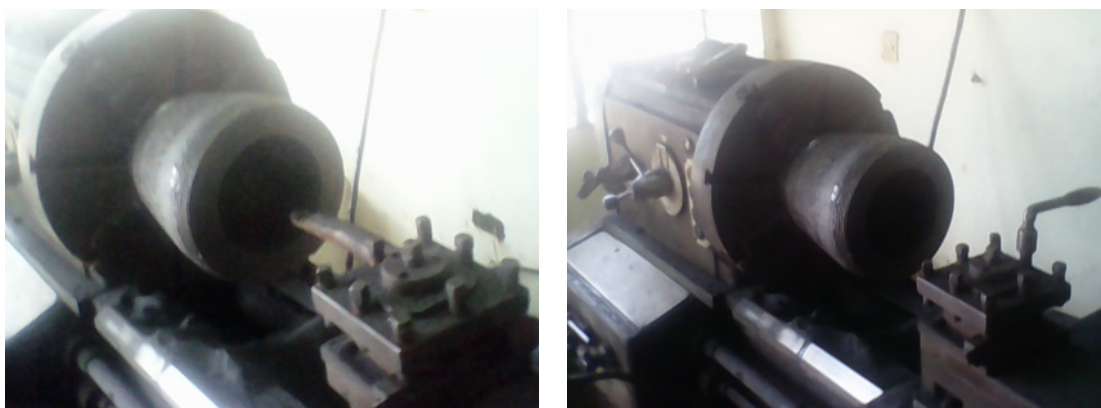


Figura 3.12. Realización del cono interior del crisol.

Según la ecuación 2.1 se determinó la velocidad de corte. La profundidad de corte se calculó por medio de la ecuación 2.2. Para determinar el tiempo de *Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Mecánico* Irán Peña Hechavarría

maquinado se usó la ecuación 2.3. Los resultados obtenidos en estos cálculos se relacionan a continuación en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Resultados de los cálculos del torneado del cono.

Parámetros	Valor
Velocidad de corte; m/min	160,14
Profundidad; mm	17,50
Número de pasadas	1,00
Tiempo de maquinado; min	2,95

Una vez culminado todo el proceso se midió el equipo utilizando los instrumentos de medición.

3.7. Valoración del acabado

Las características finales de un producto varían en función del diseño, del procedimiento adoptado para su elaboración y del material usado para su constitución.

El crisol fue construido con todas las medidas previstas durante su diseño y la calidad superficial se puede catalogar de buena tanto en su parte interior como en su parte exterior (ver figura 3.13).



Figura 3.13. Crisol terminado.

3.8. Análisis de los resultados del cálculo de los gastos de tiempo

Es necesario conocer cuánto tiempo se invierte en la producción de una unidad (T_{pu}) ya que este valor es de gran importancia para determinar el costo de producción, por este motivo se realizó el análisis de los tiempos empleados en el proceso de elaboración.

En el cálculo de los gastos de tiempo tecnológico se tuvo en cuenta: tiempos de maquinado (T_b), tiempo auxiliar (T_a), tiempo del proceso tecnológico (T_{pt}), tiempo organizativo (T_{org}) y el tiempo de descanso por necesidades personales (T_{dnp}). Los valores de estos tiempos se determinaron por operaciones.

Aplicando la ecuación 2.12 se obtienen los resultados que se muestran en la tabla 3.7.

Tabla 3.7. Resultados de los cálculos de gasto de tiempo.

Tiempo por operaciones	T_b ;min	T_a ;min	T_{pt} ;min	T_{org} ;min	T_{dnp} ;min	T_{pu} ;min
Cilindrado I	10,43	1,88	0,42	12,31	0,17	25,21
Cilindrado II	5,57	1,00	0,22	6,57	0,17	13,53
Refrentado	7,60	1,37	0,30	8,97	0,17	18,41
Taladrado	12,49	2,25	0,50	14,74	0,17	30,15
Mandrilado I	34,94	6,29	1,40	41,23	0,17	84,03
Mandrilado II	2,95	0,53	0,12	3,48	0,17	7,25
					T.Total	178.58

El tiempo total de las operaciones realizadas en el torno para la construcción del crisol fue de 178.58 min, es decir 3 horas con 38 minutos.

Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Mecánico Irán Peña Hechavarría

Al sumar el tiempo empleado en el corte manual y el tiempo de torneado se obtiene un tiempo total de 7 horas con 38 minutos.

3.9. Análisis del volumen del crisol

Para conocer la capacidad del crisol en metros cúbicos se procedió al cálculo del volumen. Los resultados obtenidos al aplicar la ecuación 2.16 se muestran a continuación en la tabla 3.8:

Tabla 3.8. Resultados del cálculo del volumen del crisol.

Diámetro mayor; m	Diámetro menor; m	Altura; m	Volumen del Crisol; m³
0,17	0,135	0,221	0,00405

Al realizar el análisis del volumen del crisol se observa que la capacidad del mismo es equivalente a 4,05 litros, esta característica es ideal pues lo califica para ser utilizado a escala de laboratorio en la obtención de las ferroaleaciones.

3.10. Valoración económica

Al abordar la valoración técnico-económica fue necesario considerar los costos en los que se incurrió durante el proceso de fabricación. Los costos de elaboración del producto fueron estimados por concepto de material utilizado, fuerza de trabajo y gasto energético.

Para la adquisición del material utilizado para la construcción del crisol el ISMMM no incurrió en costo alguno por concepto de compraventa, la materia prima empleada fue donada a la institución. Se necesitó un Mecánico de Taller A como operario por lo que se incurrió en costo de salario atendiendo al tiempo que duró el proceso. Como máquina se utilizó un torno C11MB, el mismo incurrió en gasto energético atendiendo al importe de la cantidad de kW que consumió por horas de trabajo. En la tabla 3.9 se muestran los valores asociados al costo de fuerza de trabajo y en la tabla 3.10 los valores asociados al gasto de energía eléctrica.

Tabla 3.9. Costo de fuerza de trabajo.

Operario	Salario;\$	Tarifa por horas; \$	Tiempo de trabajo; h	Costo; \$
Mecánico de Taller A	435,00	2,28	7,38	16,83

Tabla 3.10. Gasto energético.

Denominación de la Máquina	Potencia de la máquina; kW	Tiempo de trabajo; h	Energía consumida; kW/h	Tarifa; \$	Importe; \$
Torno C11MB	10	3,38	33,8	0,09	3,042

Al evaluar los costos en los que se incurrió en todo el proceso de fabricación ejecutado en 7 horas con 38 minutos, atendiendo al gasto en salario del operario de 16, 83 CUP y consumo energético de la máquina de 3,042 CUP se estima que el costo de fabricación del crisol suma un total de 19,87 CUP.

Se infiere que fue mucho más económico construir el crisol que comprarlo dentro del país o importarlo del exterior, empresas extranjeras dedicadas a la venta de tales equipos ofertan sus productos a precios superiores a los costos de producción en los que se incurrieron.

3.11. Valoración del impacto medioambiental

Es siempre de vital importancia considerar el impacto que la práctica de determinadas tecnologías provocan sobre el medio ambiente y la salud del hombre. El desarrollo tecnológico vertiginoso implica siempre el incremento de los riesgos de contaminación medioambiental.

Durante el proceso de maquinado se produce gran cantidad de polvo de grafito, pero esto no resulta de mucha relevancia, aunque si es importante que el operario guarde sus ojos y pulmones con los medios de protección necesarios. El polvo de grafito generado no constituye un desecho

contaminante, puede ser reservado para ser reutilizado como desoxidante en la obtención de las ferroaleaciones y para revestir el crisol por dentro en la medida que se valla desgastando con el uso.

El desarrollo intensivo de la producción de la industria del níquel en Moa genera elementos contaminantes que son desechados al medio ambiente afectándolo de manera negativa. La materia prima utilizada para la obtención de las ferroaleaciones son: además de las materias primas minerales (pirolusita) desechos de la empresa "Comandante Pedro Soto Alba" (catalizador de pentóxido de vanadio), lo que constituye un elemento contaminante que es vertido al medio ambiente provocando la contaminación, fundamentalmente de las aguas subterráneas; además en las industrias metalmecánicas del país (incluyendo el Combinado Mecánico del Níquel) se generan virutas de aluminio, las que también se vierten al medio ambiente, constituyendo un agente contaminante del mismo.

Es importante resaltar que el impacto más significativo de la construcción del crisol se puede apreciar durante su explotación, debido a que su utilización prevé el aprovechamientos de esos materiales que son desperdiciado al medio en el desarrollo de nuevas tecnologías para la obtención de electrodos para soldadura (y además pueden ser usados en la fabricación de acero), por lo que evidentemente se logra una disminución de la contaminación ambiental.

3.12. Conclusiones del Capítulo 3

- ✓ Quedó establecida la tecnología de maquinado para la construcción del crisol de grafito donde se precisaron los regímenes de elaboración durante cada una de las operaciones.
- ✓ En el proceso de fabricación del crisol para un tiempo total de 7 horas con 38 minutos de proceso tecnológico, los costos en los cuales se incurre por concepto de mano de obra y energía eléctrica es 19,87 CUP.
- ✓ La construcción del crisol de grafito tiene un impacto positivo sobre el medio ambiente debido a que con su utilización algunos elementos



contaminantes pueden ser aprovechados para la obtención de ferroaleaciones.

Conclusiones

Generales

Recomendaciones

Referencias

Bibliográficas

CONCLUSIONES GENERALES

- ✓ El proceso de maquinado por arranque de virutas constituye un procedimiento tecnológico adecuado para la fabricación de crisoles de grafito, material de buena maquinabilidad e idóneo para la construcción de crisoles para fundición de ferroaleaciones debido a su excelente cualidad refractaria.
- ✓ A través del proceso de mecanizado mediante la eliminación de material sobrante del semiproducto se construyó el crisol de grafito obteniéndose la geometría final deseada: cónico con base cilíndrica, altura total 273 mm, con una profundidad en el cono interior de 221 mm con un diámetro mayor de 170 mm y diámetro menor de 135 mm, 40 mm de grosor en el borde superior, volumen 0,00405 m³.
- ✓ El costo total para la construcción del crisol por concepto de salario y energía eléctrica es de 19,87 CUP.
- ✓ La explotación del crisol contribuye a la disminución de la contaminación ambiental al utilizarse para la obtención de las ferroaleaciones materias primas contaminantes que son desechadas al medio ambiente.

RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar el curado del crisol para una vida más eficiente y duradera.
- ✓ Manipular el crisol de manera cuidadosa para evitar daños físicos debido a la fragilidad del material con que está constituido.
- ✓ Realizar el proceso de obtención de las ferroaleaciones según se describió.
- ✓ Utilizar guantes y todos los medios de protección personal que se consideren necesarios durante el trabajo con el crisol atendiendo a sus elevadas temperaturas de funcionamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Asencio Montero, D. 2012: *Tecnología de fabricación de un molino de anillo y rodillo para la trituración de bentonita*. Tomás Heraldo Fernández Columbié (Tutor). TRABAJO DE DIPLOMA. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. 53 p.
2. Asturnatura. 2017: *Cristalografía*, en línea. Consulta: 05 abril 2017. Disponible en:
<https://www.asturnatura.com/mineral/grafito/96.html>.
3. Baterías de Grafeno (BG). 2017: *Grafito: Propiedades y Aplicaciones*, en línea. Consulta: 12 mayo 2017. Disponible en:
<http://bateriasdegrafenopara.com/grafito-propiedades-aplicaciones/>.
4. Batista Caboverde, Y. 2012: *Tecnología de fabricación de una fresa angular para el mecanizado de los brazos de barrido de los hornos de reducción*. Tomás Heraldo Fernández Columbié y Rodney Enrique Correa Suárez (Tutores). TRABAJO DE DIPLOMA. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. 51 p.
5. Brunssen. 2017: *Crisoles y vasos para fundición hechos de grafito*, en línea. Consulta: 31 marzo 2017. Disponible en:
<http://www.comercioindustrial.net/productos.php?id=crisoles&mt=grafito>
[o](#).
6. Casillas, A. L. 1987: *Máquinas Cálculos de taller*. Copyright by Ediciones Máquinas. España. 322 p.
7. Coordinación General De Minería Dirección General De Desarrollo Minero (CGMDGDM). 2014: *Perfil de Mercado del grafito*. México. 45p.
8. Corona Cadinhos. 2017: *La historia del Crisol*, en línea. Consulta: 09 abril 2017. Disponible en:
<http://www.coronacadinhos.com.br/esp/index.html>.
9. Cuenca Figueredo, H. 2014: *Tecnología de fabricación de un molino desfibrador de caña para la granja porcina de la ESUNI*. Tomás Heraldo Fernández Columbié y Gelaisy Moreno Vega (Tutores). TRABAJO DE DIPLOMA. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. 50 p.
10. Cutiño Blanco, Y. 2012: *Recuperación del torno 16 D 20 del taller de máquinas herramientas del ISMMM*. Tomás Heraldo Fernández Columbié y Rafael Antonio Castillo Díaz (Tutores). TRABAJO DE DIPLOMA. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. 46 p.
11. Chang Cardona, A. R. 1991: *Hornos metalúrgicos*. ISPJAE, La Habana.

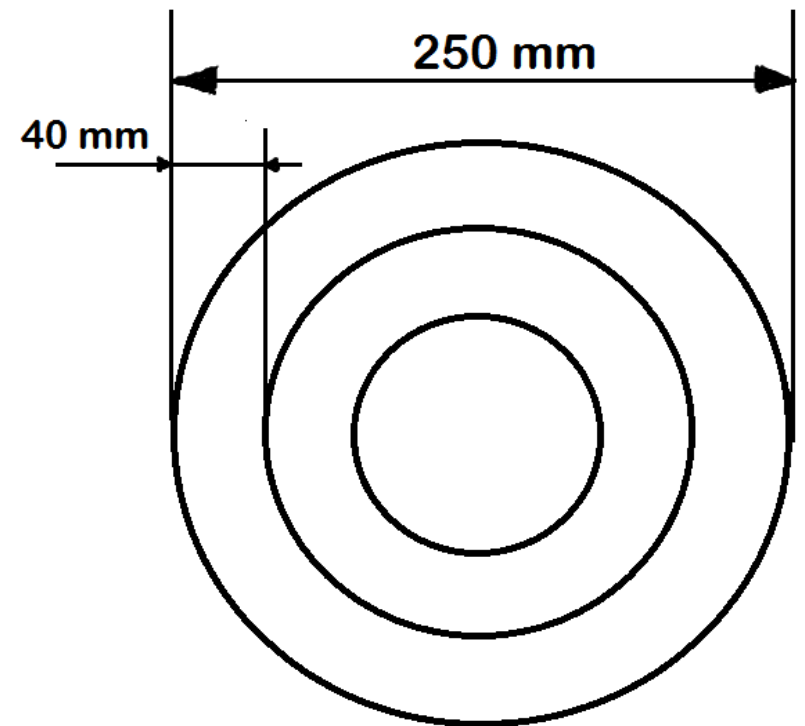
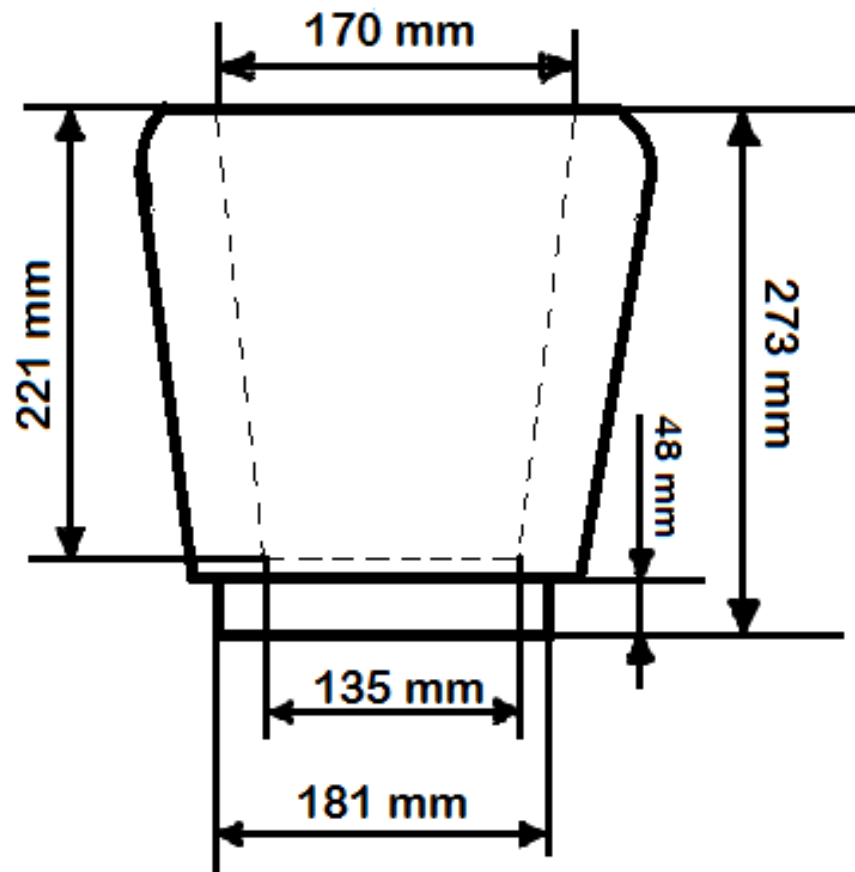
12. Chang Cardona, A. R.; Yuzhaninov, I. A. 2012: *Cálculo de los principales procesos en los hornos metalúrgicos*. Félix Varela, La Habana.
13. De Terreros y Pando; P. E.: *Diccionario Castellano*. Vol 1. Madrid MDCCLXXXVL Viuda de Ibarra. España.
14. D.O.F. 2007: *Ferroaleaciones*, en línea. Consulta: 10 abril 2017. Disponible en: http://www.aduanas-mexico.com.mx/cgi-bin/ctarnet/notas_ex/not_7202.html.
15. El Rincón del Vago (ERV). 2017: *El torno*, en línea. Consulta: 11 mayo 2017. Disponible en: <http://html.rincondelvago.com/el-torno.html>.
16. EcuRed Conocimiento con todos y para todos. 2017: *Grafito*, en línea. Consulta: 12 mayo 2017. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Grafito>.
17. Fernández Columbié, T.; Alcántara Borges, D.; Rodríguez González, I. 2007: *Procesos de maquinado con arranque de virutas*. Trabajo de Investigación. Facultad Metalurgia Electro-Mecánica. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. 62 p.
18. García Caballero, R.; Suárez Lisca, L. H.; Alonso Martínez, A.; Bernal Aguilar, Y.; López Escobar, M. de la Rosa, Simón.: *Tecnología para la elaboración de crisoles de hierro gris resistentes a las altas temperaturas para la fusión de aleaciones de aluminio*. Informe de Investigación, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. 9 p.
19. González González, L. E. 2013: *Obtención de FeMn medio carbono mediante procesamiento aluminotérmico*. Lorenzo Perdomo González y Esther Miriam Hayle Cabrera (Tutores). TRABAJO DE DIPLOMA. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. 46 p.
20. Goodfellow División de Cerámica y Vidrio. 2017: *Crisoles*, en línea. Consulta: 15 junio 2017. Disponible en: <http://www.goodfellow-ceramics.com/sp/productos/productos-terminados/crisoles/>.
21. Gutierrez Cruz, J. L. 2016: *Tipos de cortadores o cuchillas para tornos*, en línea. Consulta: 11 mayo 2017. Disponible en: <https://prezi.com/azwxxfh8a12q/tipos-de-cortadores-o-cuchillas-para-tornos/>.
22. Helena, *Etimología de CRISOL*, en línea. Consulta: 16 marzo 2017. Disponible en: etimologias.dechile.net/?crisol.
23. Huanca, A. 2017: *Instrumentos de laboratorio de química*, en línea. Consulta: 15 junio 2017. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos72/instrumentos-laboratorio-quimica/instrumentos-laboratorio-quimica2.shtml>.
24. Hurlbut, C. 1997: *Dana's Manual Of Mineralogy*. 8th edition.

25. Ingeniería Control y Temperatura S.A. de CV. (ICTCV). 2017: *Barra de grafito*, en línea. Consulta: 23 febrero 2017. Disponible en: http://icytsa.com.mx/1738625_VENTA-DE-PIEZAS-DE--GRAFITO.html.
26. Instrumentos de laboratorio (ILa). 2012: *Crisol*, en línea. Consulta: 15 junio 2017. Disponible en: <http://www.instrumentosdelaboratorio.net/2012/08/crisol.html>.
27. Instrumentos de laboratorio (ILb). 2014: *Crisol de laboratorio*, en línea. Consulta: 08 marzo 2017. Disponible en: <http://instrumentosdelaboratorio.org/crisol-de-laboratorio>.
28. La Rosa Rivero, F. 2014: *Obtención de aleaciones de vanadio, a partir del procesamiento aluminotérmico, de residuales catalíticos*. TRABAJO DE DIPLOMA. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. 39 p.
29. Laboratorio de química (LQ). 2017: *Crisoles en el laboratorio químico*, en línea. Consulta: 03 abril 2017. Disponible en: <http://laboratorio-quimico.blogspot.com/search/label/crisoles>.
30. López Rodríguez, S. A. 2013: *Estructuras de solidificación del aluminio fundido artesanalmente*. Roberto Alejandro Aguilar Rivas (Tutor). TRABAJO DE DIPLOMA. Universidad de San Carlos de Guatemala, 125p.
31. Marketizer.com. 2009: *Productos de platino: Los crisoles*, en línea. Consulta: 03 abril 2017. Disponible en: <http://www.marketizer.com/articulos/productos-del-platino-los-crisoles-35206.htm>.
32. Merino del Amo, N. 2010: *Fabricación y caracterización de materiales compuestos de matriz metálica reforzados con nanofibras de carbono*. María Isabel barrena Pérez y José María Gómez de Salazar (Tutores). Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. 263 p.
33. Moser, J. J. 2010: *Crisol de grafito*, en línea. Consulta: 30 enero 2017. Disponible en: <http://moserjuanjo.blogspot.com/2010/04/crisol-de-grafito.html>.
34. Navas Medina, E.; Pino Tarragó, J. C.; Batista Cabrera, A.; Beltrán Reyna, R.; Terán Herrera, H.; Arteaga López, O.; Mena Mena, E. 2015: *Fusión en la metalurgia*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Ecuador.
35. Oxley, P. 1989: *Mechanics of machining—an analytical approach to assessing machinability*. Ellis Horwood Limited, London.
36. Perdomo González, L.; Quintana Puchol, R.; Gómez Pérez, C. R.; Cruz Crespo, A.; Ruano Reyes, E.; García Manresa, O.; Delgado Gómez, A. 2004: *Desarrollo de materiales abrasivos y refractarios a partir de los productos obtenidos por procesamiento aluminotérmico*. Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Mecánico Irán Peña Hechavarría


- de minerales cubanos y residuales industriales. En: Segunda Etapa del XV Forum de Ciencia y Técnica. Trabajo de Investigación. Villa Clara. Cuba. 9p.
37. Perdomo González, L.; Quintana Puchol, R.; Gómez Pérez, C. R.; Cruz Crespo, A. 2015: *Obtención simultánea de ferromanganeso y materiales abrasivos por reducción aluminotérmica usando pirolusita sin tostación previa y residuos sólidos industriales*. Minería y Geología / v.31 n.2 / abril-junio / p. 95-112 ISSN 1993 8012.
38. Prucommercialre.com. 2017: *¿Qué es un crisol de cerámica?*, en línea. Consulta: 03 abril 2017. Disponible en: <http://www.prucommercialre.com/que-es-un-crisol-de-ceramica/>.
39. QuimiNet. 2013: *Los usos y aplicaciones más comunes del grafito*, en línea. Consulta: 12 mayo 2017. Disponible en: <https://www.quiminet.com/articulos/los-usos-y-aplicaciones-mas-comunes-del-grafito-3445082.htm>.
40. Rodríguez, E., et. al. 1995: *Estudio de la obtención de níquel metálico por aluminotermia*. Informe de Investigación Terminada, Centro de Investigaciones de Soldadura, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, pp. 1 – 3.
41. Salazar Peralta, E. 2017: *Cómo curar los crisoles de grafito*, en línea. Consulta: 04 enero 2017. Disponible en: http://www.raulybarra.com/notijoya/biblioteca_archivos_1.1/notijoya_1.1/archivosnotijoya4/4crisol_preparacion.htm.
42. Sabelotodo.org. Ser Cultos para ser libres. 2017: *Horno casero para fundir metales*, en línea. Consulta: 30 enero 2017. Disponible en <http://www.sabelotodo.org/hagalousted/hornofundicion.html>.
43. SP Industrias Parisol S.A. (SPIP). 2017: *Crisoles*, en línea. Consulta: 16 marzo 2017. Disponible en: <http://www.parisol.com.ar/crisoles/>.
44. Suntaxi Loachamin, E. E.; Torres Riasco, C. D. 2014: *Diseño y construcción de un horno crisol para fundición de aluminio con una capacidad de 15 KG/H a una temperatura de 800°C utilizando GLP*. Milton Jami (Tutor). TRABAJO DE DIPLOMA. Universidad Politécnica Salesiana. 118 p.
45. Trent, E. Wright, P. 2000: *Metal Cutting*. Butterworth-Heinemann, 225 Wildwood Avenue, Woburn.
46. Vega, V. 2015: *Hornos de fundición*, en línea. Consulta: 15 junio 2017. Disponible en: <https://es.slideshare.net/MNG7/hornos-de-fundicion>.
47. Viñas Rueda, J.; Morán García, M.; García Camús, J. M. *Crisol de grafito para el sinterizado de metales y aleaciones de metales semipreciosos sin necesidad del uso de atmósfera inerte*, España U201500275, Internacional de Patentes, 18 de Noviembre 2015.

48. Wikipedia. 2017: *Crisol*, en línea. Consulta: 15 junio 2017. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Crisol>.
49. Wikipedia. 2017: *Fundición (metalurgia)*, en línea. Consulta: 16 marzo 2017. Disponible en:
https://es.wikipedia.org/wiki/Fundici%C3%B3n_%28metalurgia%29.
50. Wikipedia. 2017: *Mecanizado*, en línea. Consulta: 05 abril 2017. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Mecanizado>.
51. Wikipedia. 2017: *Zinc*, en línea. Consulta: 16 marzo 2017. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Zinc>.

Anexos



					Crisol	ISMM			
						Etapas de elaboración			
Mod.	Cant.	No. Notif	Firma	Fecha		Masa	Esc	Hoja No.	Cant. De hojas
Dib					Grafito	33,7 kg	1:1	1	1
Proy									
Revisado									
Cont. Nor									
Cont. tec.									
Aprobado									

 Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa			CARTA DE RUTA PARA MAQUINADO										
No. Plano:		Denominación: Crisol		Material: Grafito		Hoja: 1		No. Hojas: 1					
Orden de trabajo: ---				Semiproducto: Ø 260; L = 460				Masa: 33,7 kg					
Fecha: 26/06/17		Operación Tecnológica			Herramientas:		n		s				
G. Homogéneo ---		Tronzar semiproducto: Ø25 x L=278 mm			Hoja de sierra eléctrica		---		---				
Cat. Sal.: VII													
TPC: 0,25													
T. Efectivo: 4 h													
G. Homogéneo C11 MB		Instalar en plato universal de 4 mordazas pieza de 182 mm. Centrar y fijar, entre plato y punto. Cilindrar de D- 195 mm a D-30 mm a una longitud de 60 mm.			Cuchilla de cilindrar y tronzar de 90° 32X20BK15		75		0,23				
Cat. Sal.: VII													
TPC: 0,4													
T. Efectivo: 10,43													
G. Homogéneo ---		Rellenar agujero de diámetro 30 mm y longitud 60 mm en la pieza de 278 mm con el cilindro construido.			Martillo		---		---				
Cat. Sal.: VII													
TPC: 0,15													
T. Efectivo: 2,0													
G. Homogéneo ---		Realizar ranuras exteriores en el cilindro introducido en el agujero.			Lima triangular		---		---				
Cat. Sal.: VII													
TPC: 0,15													
T. Efectivo: 2,0													
G. Homogéneo C11 MB		Montar, centrar y fijar en plato universal de 4 muelas pieza de 278 mm de longitud entre plato y punto. Cilindrar desde D- 195 mm a D-181 mm a una longitud de 48mm.			Cuchilla de cilindrar de 90° 32X20BK15		75		0,23				
Cat. Sal.: VII													
TPC: 0,4													
T. Efectivo: 5,57													
Elaboró:		Firma:		Fecha:		Aprobó:		Firma:		Fecha:		Tecnología No:	
Observaciones: Las dimensiones a las que se hace referencia en esta tecnología se medirán con instrumentos de precisión no menor que 0.02 mm. Las cintas métricas y las reglas utilizadas deben estar calibradas por un órgano competente.													



Instituto Superior
Minero Metalúrgico de Moa

CARTA DE RUTA PARA MAQUINADO

No. Plano:	Denominación: Crisol	Material: Grafito	Hoja: 1	No. Hojas: 1	
Orden de trabajo: ---		Semiproducto: Ø 260; L = 460		Masa: 33,7 kg	
Fecha: 26/06/17	Operación Tecnológica		Herramientas:	N	S
G. Homogéneo C11 MB	Invertir pieza. Montar, centrar y fijar en plato universal de 4 muelas. Refrentar cara a dar longitud 273 mm.		Cuchilla de refrentar de 45° T14K8	75	0,25
Cat. Sal.: VII					
TPC: 0,4					
T. Efectivo: 7,6					
G. Homogéneo C11 MB	Taladrar agujero Ø50 mm y 200 mm de longitud.		Broca de acero HSSØ50	75	0,23
Cat. Sal: VII					
TPC. 0,6					
T. Efectivo: 12,49					
G. Homogéneo C11 MB	Mandrilar a Ø135 y longitud 21 mm.		Cuchilla de mandrilar de φ60° DIN 4974 2525 R20	110	0,23
Cat. Sal.: VII					
TPC: 0,3					
T. Efectivo: 34,94					
G. Homogéneo C11 MB	Inclinar carro del torno 4° 33'. Elaborar cono interior a Ø170/Ø135 x 221 mm, garantizando borde de 4 mm.		Cuchilla de mandrilar de 60° DIN 4974 2525 R20	300	0,25
Cat. Sal.: VII					
TPC: 0,4					
T. Efectivo: 2,95					
G. Homogéneo ---	Desmontar pieza del plato universal. Verificar medidas conforme al plano de diseño.		Pié de rey Mitutoyo. Regla. Cinta métrica.	---	---
Cat. Sal.: ---					
TPC: ---					
T. Efectivo: ---					
Elaboró:	Firma:	Fecha:	Aprobó:	Firma:	Fecha:
					Tecnología No:

Observaciones: Las dimensiones a las que se hace referencia en esta tecnología se medirán con instrumentos de precisión no menor que 0.02 mm. Las cintas métricas y las reglas utilizadas deben estar calibradas por un órgano competente.

