



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE PUEBLA**

FACULTAD DE INGENIERÍA
COLEGIO DE MECÁNICA Y ELÉCTRICA

**RECICLAJE DE DESPERDICIO DE ALUMINIO PARA
LA FUNDICIÓN DE PROBETAS DE TENSION**

TESIS PROFESIONAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO Y ELÉCTRICO

PRESENTA:

ALEJANDRO ISUNZA BUSTOS

ASESOR:

M.C. JOSUÉ A. TAMAYO ISLAS



BUAP

Oficio No. S.AC. 1906/16

ASUNTO: ACEPTACIÓN TEMA TESIS

**C. ALEJANDRO ISUNZA BUSTOS
PASANTE DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
DE LA B.U.A.P.
PRESENTE.**

En atención a la autorización del Tema de Tesis que puso Usted a consideración de esta Facultad, se turnó la misma al:

**M. en C. GUILLERMO FLORES MARTÍNEZ
COORDINADOR DEL COLEGIO DE
INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**

Habiendo autorizado el tema denominado:

“RECICLAJE DE DESPERDICIO DE ALUMINIO PARA LA FUNDICIÓN DE PROBETAS DE TENSIÓN”

Por lo anterior hacemos de su conocimiento que se asigna como Asesor de esta tesis a: **M.C. JOSUÉ A. TAMAYO ISLAS.**

Sin otro particular de momento, me es grato quedar de usted.

ATENTAMENTE

“PENSAR BIEN PARA VIVIR MEJOR”

H. Puebla de Z., 30 de agosto de 2016

**M.I. FERNANDO DANIEL LAZCANO HERNÁNDEZ
DIRECTOR**

C.c.p.- Mesa de Exámenes Profesionales

Asesor

Archivo

M^r FDLH/M^r AJT*rba.

60
AÑOS DE
AUTONOMÍA
UNIVERSITARIA

Facultad
de Ingeniería

Bldv. Valsequillo y Av. San Claudio
s/n, edif. ING 4, Col. San Manuel,
Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7610

**ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE
IMPRESIÓN**

**M.I. FERNANDO DANIEL LAZCANO HERNÁNDEZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
DE LA B.U.A.P.
Presente.**

El que suscribe: **M.C. JOSUÉ A. TAMAYO ISLAS, Asesor del Tema de Tesis denominado:**

“RECICLAJE DE DESPERDICIO DE ALUMINIO PARA LA FUNDICIÓN DE PROBETAS DE TENSIÓN”

Presentado por el **C. ALEJANDRO ISUNZA BUSTOS**, Pasante de la Carrera de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y en atención al oficio No. 1906/16 de fecha 30 de agosto del presente año, me permito informar a usted que **después de haber revisado cuidadosamente el contenido temático, la metodología, la redacción y la ortografía** de la tesis correspondiente, no tengo inconveniente en **autorizar la impresión** de la misma.

Así mismo, solicito tenga a bien autorizar el Jurado para su Examen Profesional.

Lo que hago de su conocimiento para los efectos legales a que haya lugar.

ATENTAMENTE

H. Puebla de Z., 31 de agosto de 2016



**M.C. JOSUÉ A. TAMAYO ISLAS
ASESOR**

C.c.p.- Interesado
Archivo

rba

DEDICATORIA

A mi padre por su gran fuerza de voluntad.

A mi madre por su apoyo incondicional.

“Locura es hacer la misma cosa una y otra vez esperando resultados diferentes”

- Albert Einstein

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por su apoyo y dedicación que me han brindado para poder alcanzar los logros que tengo hasta el día de hoy. Son la base y los cimientos de mi desarrollo personal, desde mis padres hasta mis hermanos.

A mis amigos, con los que he compartido momentos increíbles así como el apoyo que me han brindado en situaciones tanto buenas como malas, desde felicidad como palabras de aliento. Todos con los que he compartido una sonrisa y un diálogo, sin excepción, son parte de mí.

A mis maestros, que nunca me negaron su conocimiento y experiencia que ahora son parte de mi formación profesional. Su tiempo y dedicación son lo que forman las generaciones venideras para un mundo en constante cambio.

ÍNDICE

CAPÍTULO I. Introducción.....	13
1.1 Planteamiento del problema.....	14
1.2 Justificación	14
1.3 Objetivos.....	15
1.3.1 Objetivo general	15
1.3.2 Objetivos específicos.....	15
1.4 Hipótesis	15
CAPÍTULO II. Marco teórico	17
2.2 Generalidades.....	18
2.2.1 Punto de fusión y enfriamiento	18
2.2.2 Nucleación y crecimiento.....	19
2.2.3 Coeficiente de dilatación.....	19
2.2.4 Contracción	20
2.2.5 Aluminio.....	20
2.3 Modelos y sus características.....	21
2.3.1 Diferencias entre un modelo y la pieza fundida.....	22
2.3.2 Materiales a usar en la fabricación de modelos.....	22
2.3.3 Tipos de modelos.	23
2.3.4 Tolerancias en los modelos.	25
2.4 Maquinado por torno	26
2.4.1 Torno	27
2.4.2 Clasificación de tornos	27
2.4.3 Partes principales de un torno	27
2.4.4 Herramientas de corte.....	28
2.4.5 Viruta.....	29
2.5 Arena.....	29
2.5.1 Arcilla y humedad	29
2.5.2 Factores a considerar en la arena.....	30
2.6 Herramientas y equipo de seguridad.....	30

2.6.1 Herramientas para moldeo	30
2.6.2 Herramientas para la fundición	33
2.6.3 Calibrador vernier	35
2.6.4 Equipo de medición termográfico	36
2.6.5 Equipo de seguridad	36
2.7 Moldeo	37
2.8 Hornos de fundición de aluminio.....	38
2.8.1 Hornos calentados a fuego directo	38
2.8.2 Hornos de crisol	39
2.8.3 Hornos de inducción.....	39
2.9 Fundición	40
2.9.1 Fusión	40
2.9.2 Vaciado.....	40
2.9.3 Solidificación	41
2.10 Defectos e imperfecciones	41
2.11 Probeta para pruebas de tensión.....	42
CAPÍTULO III. Metodología	44
3.1 Introducción de la investigación	44
3.2 Tipo de investigación.....	45
3.3 Alcance	45
3.4 Procedimiento experimental	45
3.5 Modelo de probeta	48
3.5.1 Diseño del modelo.....	48
3.5.2 Torno y herramientas a utilizar	50
3.5.3 Maquinado de modelo.....	51
3.6 Fabricación del horno	54
3.6.1 Materiales y herramientas	54
3.6.2 Ubicación	55
3.6.3 Construcción del horno	55
3.7 Herramientas para fundición soldadas	57
3.7.1 Crisol	58

3.7.2 Herramientas	58
3.8 Realización de moldes	59
3.8.1 Materiales y herramientas	59
3.8.2 Preparación de arena	60
3.8.3 Moldeo de probeta.....	61
3.9 Equipo de seguridad utilizado.....	67
3.9.1 Equipo y sus características.....	67
3.10 Preparación del horno	67
3.10.1 Equipos de gas LP	67
3.10.2 Calentamiento del horno y crisol	68
3.11 Proceso de fundición.....	68
3.11.1 Desperdicio de aluminio.....	68
3.11.2 Alimentar el crisol con material	69
3.11.3 Verificación de temperaturas	71
3.11.4 Fundición a molde.....	72
3.11.5 Enfriar y retirar pieza	75
3.12 Maquinado de pieza fundida.....	76
3.12.1 Retirar excesos de aluminio	76
3.12.2 Pasos a seguir para el maquinado de probeta fundida.....	77
3.12.3 Verificación con el vernier.....	80
CAPÍTULO IV. Resultados y discusiones del proceso de fundición.....	81
4.1 Modelo	81
4.2 Molde	81
4.3 Horno y sus altas temperaturas	82
4.4 La Fundición	83
4.5 Maquinado final	86
4.6 Imperfecciones	87
CONCLUSIONES.....	90
BIBLIOGRAFÍA	92

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Curva de enfriamiento de un metal.
- Figura 2. Gráfica de contracción de un metal.
- Figura 3. Estructura cristalina del aluminio.
- Figura 4. Tipos de modelos.
- Figura 5. Torno convencional y sus partes.
- Figura 6. Afilado de buriles.
- Figura 7. Broca y broca de centros.
- Figura 8. Caja de moldeo, superior e inferior.
- Figura 9. Calibrador vernier análogo.
- Figura 10. Equipo de seguridad.
- Figura 11. Corte transversal de los pasos de moldeo.
- Figura 12. Tipos de horno de crisol.
- Figura 13. Horno de inducción.
- Figura 14. Contracción, rechupe.
- Figura 15. Imperfecciones superficiales más comunes.
- Figura 16. Partes de una probeta para pruebas de tensión.
- Figura 17. Diagrama esfuerzo-deformación de materiales dúctiles.
- Figura 18. Tocho (segmento cilíndrico para maquinar).
- Figura 19. Dibujo de probeta para pruebas de tensión.
- Figura 20. Dibujo de modelo.
- Figura 21. Torno horizontal convencional Cormetal.
- Figura 22. Herramienta de torno.
- Figura 23. Careo y barrenado de tocho.

Figura 24. Tocho montado para maquinar.

Figura 25. Rebajamiento de diámetros.

Figura 26. Ranuras de radios.

Figura 27. Modelo finalizado.

Figura 28. Base de horno con relleno de arena.

Figura 29. Base de horno terminada.

Figura 30. Horno terminado.

Figura 31. Ladrillos que sirven de tapa para el horno.

Figura 32. Ancho y alto del horno de 50 x 31 cm aproximados.

Figura 33. Crisol con mango.

Figura 34. Cucharón para escoria.

Figura 35. Cajas de moldeo de madera (superior e inferior).

Figura 36. Arena sílica.

Figura 37. Bentonita.

Figura 38. Arena y bentonita mezcladas con agua.

Figura 39. Arena en cajón inferior.

Figura 40. Apisonando la arena.

Figura 41. Quitando el exceso de arena.

Figura 42. Introducción de modelo en molde.

Figura 43. Colocación de cajón superior y arena seca.

Figura 44. Pernos de alimentación y relleno con arena preparada.

Figura 45. Quitando exceso de arena y creando entrada cónica.

Figura 46. Separando los cajones inferior y superior.

Figura 47. Molde finalizado.

Figura 48. Tanque y soplete.

Figura 49. Viruta de aluminio.

Figura 50. Fundiendo viruta.

Figura 51. Mezclando viruta y ácido bórico.

Figura 52. Aluminio fundido.

Figura 53. Equipo termográfico Flir T440.

Figura 54. Distancia entre horno y modelo.

Figura 55. Retirando el crisol del horno.

Figura 56. Vertiendo aluminio en molde.

Figura 57. Aluminio alcanzando la superficie por la mazarota.

Figura 58. Separación de molde.

Figura 59. Destruyendo el molde.

Figura 60. Pieza sin exceso de aluminio.

Figura 61. Paso 1.

Figura 62. Paso 2.

Figura 63. Paso 3.

Figura 64. Paso 4.

Figura 65. Modelo con su respectivo dibujo.

Figura 66. Molde utilizado.

Figura 67. Temperatura de horno, punto más caliente.

Figura 68. Temperatura de horno, temperatura distribuida.

Figura 69. Comparación de modelo con pieza fundida.

Figura 70. Probeta montada en el buscador de centros.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Punto de fusión y coeficiente de dilatación en distintos metales.

Tabla 2. Maquinabilidad relativa de algunos materiales.

Tabla 3. Temperaturas de fusión y fundición.

Tabla 4. Objetivos y actividades a realizar.

Tabla 5. Dimensiones para modelo.

Tabla 6. Registro de temperatura en el momento de la fundición.

Tabla 7. Imperfecciones en seis probetas fundidas.

CAPÍTULO I. Introducción

El presente documento expone el proceso de fundición para la obtención de probetas utilizadas en ensayos de tensión universal. Este proyecto es desarrollado y establecido en el laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (FI-BUAP).

El proceso de fundición consiste en elevar a altas temperaturas un metal, hasta que alcance su punto de fusión y a través de moldes obtener un producto deseado. El proceso cuenta con el diseño de los moldes que a su vez necesitan de un modelo que requiere de un estudio previo para su fabricación. El coeficiente de dilatación de los materiales juega un papel importante en este proyecto, ya que cada material cuenta con diferente coeficiente y no se puede crear una pieza de un material cuando el molde ha sido calculado en base a otro.

La materia prima que es utilizada para el proceso de fundición viene de la viruta y desechos de piezas inservibles de aluminio, de los actuales procesos de manufactura instalados en la FI-BUAP de maquinado en torno y fresa convencional. La importancia del reúso de este material es el reciclado, dándole un uso para futuras piezas.

Se analizaron todos los factores que la fundición implica, desde el diseño en software y maquinado del modelo, la arena para los moldes, la construcción del horno, el combustible empleado, el equipo de seguridad necesario, la fusión, las características y condiciones del material, el vaciado y finalmente el maquinado final de la pieza.

Con todo lo necesario, el proceso de fundición es demostrativo con el fin de explicar que el reúso de este material sí puede tener una utilidad y no el de ser desechado.

1.1 Planteamiento del problema

Actualmente, el proceso de fundición no está establecido en la FI-BUAP y es un problema el no contar con esto, ya que muchos egresados de esta facultad, la mayoría de las veces no conocen este proceso que es una herramienta eficaz para el desarrollo profesional. El fin de implementar el proceso de fundición en la FI-BUAP es que dicho proceso metalúrgico obtenga su importancia para el desarrollo estudiantil en los colegios de dicha facultad.

El maquinado de piezas en aluminio genera desechos conocidos como viruta y en ocasiones hay piezas que son inservibles. Estos desechos de aluminio son dirigidos a la basura sin poder ser aprovechados.

En los laboratorios de la FI-BUAP existen pruebas de tensión, para las cuales se necesitan probetas. Estas son maquinadas hoy en día y con este proyecto se implementará un nuevo tipo de proceso de manufactura para las probetas.

1.2 Justificación

Implementar el proceso de fundición conlleva a reducir la cantidad de material utilizado en la fabricación de las probetas ya que, como son maquinadas, se pierde una cantidad considerable del material en la viruta y es complicado recuperar ese mismo para futuras piezas. Incluso las mismas probetas que han sido ya utilizadas en la prueba de tensión, pueden volver a pasar por el proceso de fundición para ser reutilizadas.

Los alumnos podrán conocer los parámetros necesarios en el momento de fundir y crear piezas a través de moldes, que estos a la vez cuentan con un previo estudio para que la probeta funcione adecuadamente con las medidas demandadas para las pruebas de tensión.

Otro beneficio de este proceso metalúrgico de fundición, no es solo enseñárselo a los alumnos, sino crear probetas de materiales que posteriormente serán utilizadas en la prueba de tensión. Dicha prueba es actualmente realizada en el laboratorio de Ingeniería Mecánica de la FI-BUAP, pero las probetas son previamente maquinadas. Por ello, con este proyecto es posible obtener una ilustración de los procesos que en algunas industrias manejan: la fundición.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar el proceso metalúrgico de fundición en el laboratorio de Ingeniería Mecánica de la FI-BUAP para el reciclaje de viruta y piezas inservibles con el fin de elaborar probetas para el ensayo de tensión.

1.3.2 Objetivos específicos

- Lograr que el desecho de aluminio con el que se trabaja sea satisfactoriamente elevado a su temperatura donde alcance su punto de fusión.
- Diseñar en software la probeta en temperatura ambiente y en altas temperaturas para respetar el coeficiente de dilatación y contracción.
- Maquinar una probeta con medidas del modelo calculado.
- Crear moldes en base al modelo previamente maquinado.
- Elaborar las herramientas y equipos que hagan falta para el proceso.
- Realizar el proceso de fundición y moldear con herramientas de molde.
- Maquinar la probeta fundida para obtener un mejor acabado superficial.
- Verificar que la probeta cumpla satisfactoriamente con las medidas calculadas.

1.4 Hipótesis

La fundición es el proceso donde se requieren altas temperaturas, logrando que nuestro material llegue al punto de fusión, pero este calentamiento provoca que el material se expanda, obteniendo una dilatación que nos puede afectar en la pieza deseada. Es por esto que se verificarán las piezas realizadas para saber si el modelo ha sido calculado exitosamente dependiendo del material con el que se vaya a trabajar, en este caso el aluminio, debido a que las propiedades de los metales a altas temperaturas utilizados son distintas.

El maquinado final de la fundición revelará las imperfecciones que es posible obtener en el proceso de fundición, aun cuando en el proceso se repitan los mismos parámetros de tiempos y temperaturas.

Una vez implementado es posible mostrar a través de prácticas de laboratorio a los estudiantes, explicando todos los parámetros que se utilizan en este proceso.

CAPÍTULO II. Marco teórico

2.1 Definición de fundición

Desde hace muchos milenios, el hombre siempre ha optado por el uso de herramientas que le facilite ciertas actividades, ya sea desde armamento como herramientas de uso diario. Necesitaba usar materiales que fueran más resistentes que la madera o la piedra y recurrió al metal, pero este era demasiado complicado de moldear, dando lugar a la fundición.

La fundición ha sido practicada aproximadamente desde el año 2000 a. de C. Los procesos de fundición actuales cuentan con talleres de fundición en donde se pueden fundir a nivel de producción. Sin embargo, hoy en día gracias a la gran evolución de este proceso, nos ha demostrado la importancia de la producción, el buen acabado superficial, las tolerancias dimensionales y las propiedades de los materiales, sin importar la complejidad del tamaño del producto que se realizará [1].

La fundición es un proceso metalúrgico de fabricación de piezas principalmente metálicas, como el hierro, aluminio, cobre, cinc, entre otros. El proceso consiste en realizar modelos, moldes, elevar la temperatura del metal hasta su punto de fusión, llenar las cavidades del molde en donde se solidificará la pieza, limpieza del producto obtenido y reutilizar la arena para producir más. El producto de la fundición es una pieza colada que puede variar desde una fracción de kilogramo hasta varias toneladas; también puede variar en su composición, ya que prácticamente todos los metales y aleaciones se pueden fundir [2].

Un modelo es una réplica de la pieza que obtendremos después de una fundición, con algunas diferencias, como tolerancias principalmente.

Un molde es una forma de arena, metal u otro material que contiene una cavidad en la que se vierte metal fundido para producir una pieza de forma definida en base a las características de un modelo. Normalmente estos moldes son hechos con arena refractaria comprimida en un cajón para moldes, por lo general de madera o metal, utilizando un modelo de la pieza a producir.

Al elevar la temperatura de un metal hasta su punto de fusión, obtenemos el estado líquido de la materia ideal para verterlo en los moldes [2].

La limpieza del producto puede ser tan simple como un rectificado, que es pulir la pieza, hasta un granallado, que es un proceso industrial donde el producto es disparado con pequeñas esferas de acero obteniendo un acabado más limpio. A pesar de esto, para tener un terminado mejor se requiere del maquinado para quitar el exceso de material y tener una precisión dimensional mayor.

El método de fundición más común y viable es la fundición por arena ya que esta se encuentra en abundancia en la naturaleza y es un material refractario, junto con arcilla adquiere cohesión y maleabilidad sin perder su permeabilidad.

2.2 Generalidades

Para entender mejor algunos puntos que se tomarán en cuenta en el desarrollo del proyecto, se describirán aquí los conceptos que se usarán.

2.2.1 Punto de fusión y enfriamiento

El punto de fusión es cuando un metal llega en equilibrio entre el estado sólido y líquido [3]. Cada metal cuenta con sus características individuales como su punto de fusión, algunos de estos metales se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Punto de fusión y coeficiente de dilatación en distintos metales [4].

Metal	Punto de fusión (°C)	CTE (α) $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Cinc (Zn)	419.56	31.0
Magnesio (Mg)	650	26.0
Aluminio (Al)	660.15	23.5
Plata (Ag)	961.78	19.1
Cobre (Cu)	1084.62	17.0
Níquel (Ni)	1455	13.3
Cobalto (Co)	1495	12.5
Hierro (Fe)	1538	12.1
Cromo (Cr)	1907	6.5
Tungsteno (W)	3422	4.5

La solidificación es cuando una pieza fundida se enfría desde su punto de fusión hasta la temperatura ambiente. Cuando pasan de su punto de fusión al enfriamiento en los metales, el calor latente de fusión es desprendido. La temperatura es constante en un periodo de tiempo en el enfriamiento como se muestra en la figura 1 [5].

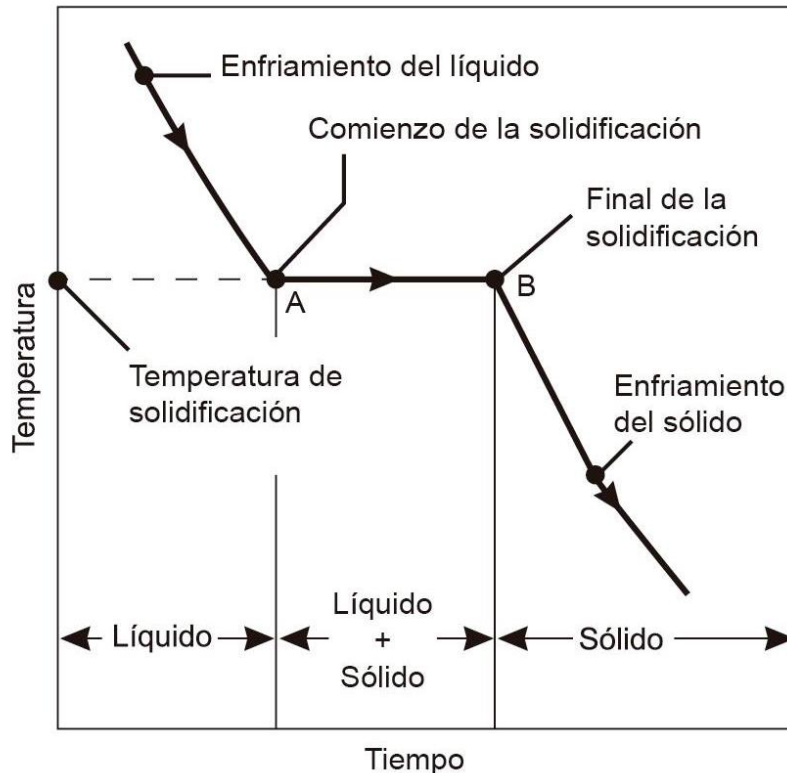


Figura 1. Curva de enfriamiento de un metal.

2.2.2 Nucleación y crecimiento

La nucleación es el proceso mediante el cual se forman los núcleos, que estos son efectos del fenómeno de crecimiento de cristalitas o cristalización. Lo que sucede en este fenómeno ocurrido durante el tiempo de solidificación, es que los átomos se van agrupando de manera que van creando celdas alineándose que sirven como marco para el crecimiento de cristales. Aunque existen dos tipos de nucleación, la homogénea y la heterogénea. La nucleación homogénea es cuando un material puro entra en enfriamiento y soporta la formación de núcleos estables, en cuanto a la nucleación heterogénea es cuando existen impurezas y generan una superficie para la formación de núcleos, aunque facilitando la nucleación y solo unos cuantos átomos son necesarios para lograr el radio crítico [6].

2.2.3 Coeficiente de dilatación

El coeficiente de dilatación es cuando un material se expande o se encoge según la temperatura en la que se esté exponiendo. En este caso se tiene una dilatación térmica al elevarlo a su temperatura de fusión, es por eso que los moldes deben ser calculados con dicho coeficiente para que cuando la pieza se solidifique y contraiga, obtenga las medidas deseables. En la tabla 1 se muestran el coeficiente de algunos metales más comunes.

2.2.4 Contracción

La densidad del material va en aumento en cierto volumen mientras se enfría como se muestra en la figura 2. La solidificación va desde el exterior de la pieza hacia el centro y una vez que se ha solidificado, el metal puede ser extraído del molde para enfriarse con el medio ambiente [5].

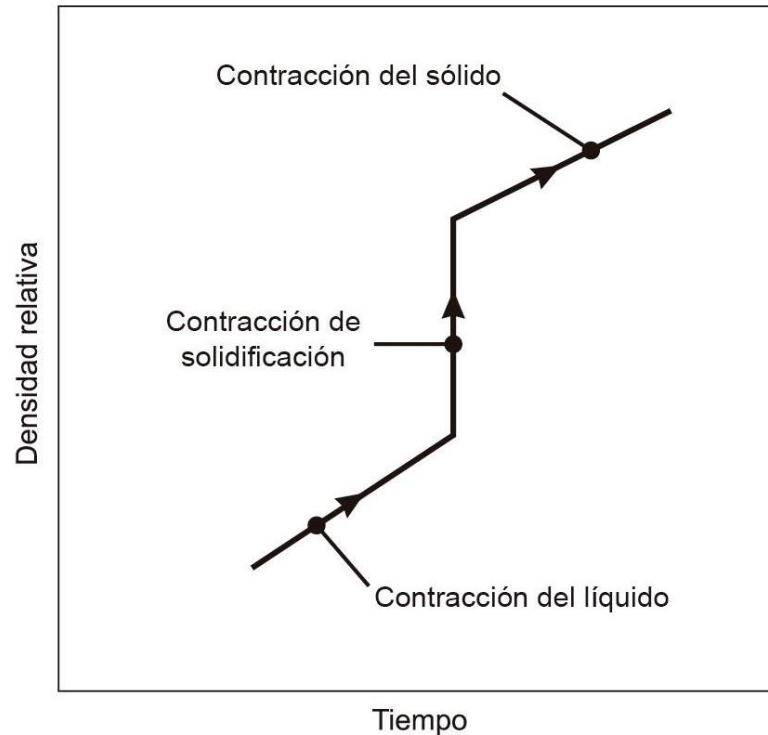


Figura 2. Gráfica de contracción de un metal.

2.2.5 Aluminio

El aluminio es uno de los metales que más se utilizan hoy en día en la industria gracias a su abundancia en la naturaleza. Es un material efectivo en muchas ramas de la industria gracias a su peso bajo y durabilidad a comparación de otros metales como el acero, su excelente conductividad eléctrica y térmica, así como su resistencia a la corrosión. Es un metal ligero y dúctil de estructura cúbica centrada en las caras como se muestra en la figura 3. Sus propiedades mecánicas son más bajas que las del acero, pero se pueden mejorar por medio de sus aleaciones y tratamientos térmicos.

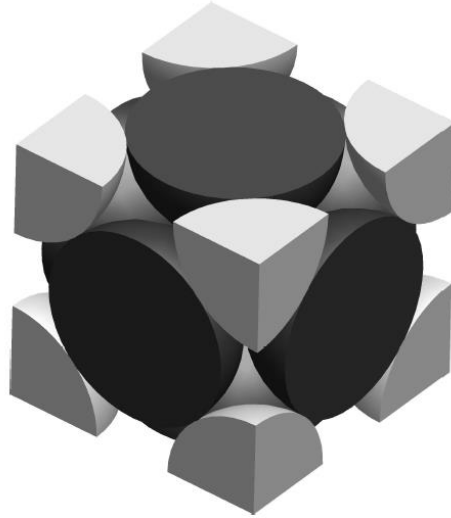


Figura 3. Estructura cristalina del aluminio [7].

La capacidad de carga de las aleaciones de aluminio se compara favorablemente con el acero. La resistencia a la fluencia del aluminio y sus aleaciones disminuye cerca de los 175 °C, por eso es utilizada para aplicaciones que deban ser sometidas a temperaturas bajas. Como sucede con otros metales con estructura cúbica centrada en las caras, no pierde su ductilidad a temperaturas que se acercan al cero absoluto (-273.15 °C) [8].

Alguna de las aplicaciones más usuales del aluminio, gracias a su gran resistencia, se encuentra en el transporte, mencionando algunos como estructuras de aviones, trenes, metros y bicicletas, así como estructuras en edificios. Aunque también se puede encontrar en utensilios de uso diario, como papel aluminio, latas, utensilios de cocina, etc. Otra de las grandes industrias que utilizan aluminio es el de la transmisión eléctrica gracias a su gran conductividad, los cables de aluminio son reforzados con acero para que puedan soportar el peso.

2.3 Modelos y sus características.

Un modelo es una réplica o un segmento de la pieza a producir con características distintas al producto final como tolerancias principalmente, que a su vez representa la fundición que se va a producir. En el proceso de fundición, cuando se vierte el metal dentro de la cavidad y este se solidifica, el resultado es el objeto fundido o fundición, a este proceso se le conoce como fabricación de modelos.

Los modelos que se fabriquen deben tener ciertas características como tener un buen acabado superficial con el fin de reducir los defectos de nuestra fundición, esto conlleva a reducir costos y tiempos en la fundición. La calidad de la fundición depende de los conceptos que el

fabricante tome en cuenta a la hora de crear el modelo así como la posición de las impresiones de los machos en el molde. Es por eso que es importante contar con los siguientes puntos [2]:

- El acabado superficial y la forma de la fundición.
- El tipo de modelo a utilizar.
- El número de piezas que se producirán.
- La posición de la impresión de macho.
- El método de extracción del modelo del molde.

2.3.1 Diferencias entre un modelo y la pieza fundida

Como se mencionó antes, un modelo es la pieza que se pretende fundir pero con ciertas características principalmente en tolerancias como las tolerancias por contracción, por maquinado y por extracción. Los modelos pueden ser fabricados de algún otro material diferente al del fundido como madera, hierro fundido, aluminio, bronce, plástico, etc. Los modelos pueden ser de una o hasta de tres piezas dependiendo del tamaño y forma de la fundición, aunque esta sea de una sola pieza.

La calidad del modelo y del producto final son afectados a la hora de fabricar el modelo, se deben tomar ciertas consideraciones a la hora de fabricarlos como son la apariencia y acabado superficial que nuestro fundido va a tener, el número de veces que se va a producir, el material del cual la fundición va a ser, el modo de extracción del modelo y el tamaño y forma que el producto obtendrá [9].

Es importante que para obtener en cuenta estos detalles se deben contar con las tolerancias con las que se va a contar, como las mencionadas anteriormente. Esto conlleva a conocer el material con el que se realizará nuestra fundición.

2.3.2 Materiales a usar en la fabricación de modelos.

Los materiales que se utilizan en la fabricación de modelos influyen mucho al proceso de fundición ya que cada material tiene sus propias ventajas y desventajas. Por eso, se deben utilizar los materiales adecuados para nuestra fundición. Entre estos materiales se cuenta desde metales hasta maderas, plásticos, yeso y cera.

2.3.2.1 Metales

Los metales son utilizados para fabricar modelos cuando se van a realizar una cantidad grande de fundiciones ya que son más resistentes al medio ambiente como la humedad y al poder abrasivo de la arena que otros materiales, así como tener un mayor acabado superficial y mayor precisión.

Sin embargo, los modelos hechos con metales requieren de maquinado, esto eleva el costo para fabricarlo, haciéndolo poco factible si la producción de fundiciones son bajas. De igual manera, algunos metales como los ferrosos pueden llegar a ser afectados por la humedad oxidándolos si no son almacenados en lugares con poca humedad. Finalmente, en caso de modelos para piezas grandes lo hace difícil de manejar por el peso mayor que estos tienen a comparación de otros materiales [9].

2.3.2.2 Madera.

La madera es el material que más es utilizado a la hora de fabricar modelos debido a su gran abundancia en la naturaleza. El hecho de ser ligero lo hace fácil de manejar y maquinar obteniendo un buen acabado superficial, en dado caso que el modelo tenga una figura compleja, puede ser unido con facilidad con pegamento y clavos. Algunas de las maderas más utilizadas para la fabricación de moldes son el pino, el nogal, el cedro y caoba.

La madera tiene su contraparte ya que puede absorber con facilidad la humedad y puede perder su forma original, la arena abrasiva lo desgasta y no pueden ser usados en cantidades grandes de producción [9].

2.3.2.3 Plásticos.

Los plásticos también son usados en la fabricación de modelos pero estos son menos utilizados. Tienen durabilidad, resistencia a la corrosión, buen acabado superficial, resiste más que la madera y son ligeros. Sin embargo, en casos que el modelo requiera de partes delgadas, necesitan de algún refuerzo metálico ya que pueden ser frágiles [9].

2.3.2.4 Yeso.

El yeso es utilizado para crear modelos debido a que posee resistencia a la compresión, no se necesitan tolerancias por contracción ya que este material se expande en su solidificación y es adecuado para los modelos complejos. Debido a su baja resistencia no pueden ser usados para volúmenes grandes de producción de fundiciones [9].

2.3.2.4 Cera.

Los modelos de cera son utilizados al igual que los anteriores pero con la característica de que se retiran mediante el calentamiento e inversión del molde, es decir, debido a que los modelos de cera se extraen mediante el calentamiento, solo pueden ser utilizados una vez [9].

2.3.3 Tipos de modelos.

Los tipos de modelos depende de la forma en la que realizaremos nuestro fundido, ya que entre más compleja sea la figura, muchos modelos no pueden ser realizados de una sola pieza por la dificultad del modelo.

En la figura 4 se muestran los tipos de modelos más utilizados. En ocasiones simples, los modelos solo requerirán de una sola pieza (A). En el caso de dos piezas, la parte superior e

inferior del modelo son acomodadas a la hora de hacer los modelos alineándolos, o con la ayuda de clavijas, las dos partes del modelo, esto con el fin de mantener su alineación en la línea de división (B). En caso de producción a gran escala pero de piezas pequeñas, se usan modelos con canales de alimentación (C). Los modelos de pizas sueltas son piezas de formas complejas que tienen ranuras internas y no pueden ser extraídas una vez que se moldea con la arena. Por lo general el molde cuenta con una o más piezas sueltas para facilitar su extracción del moldeo (D). Entre los menos usados tenemos el tablero de moldeos para modelo de volante (E) y modelos de placa de coincidencia (F) [2].

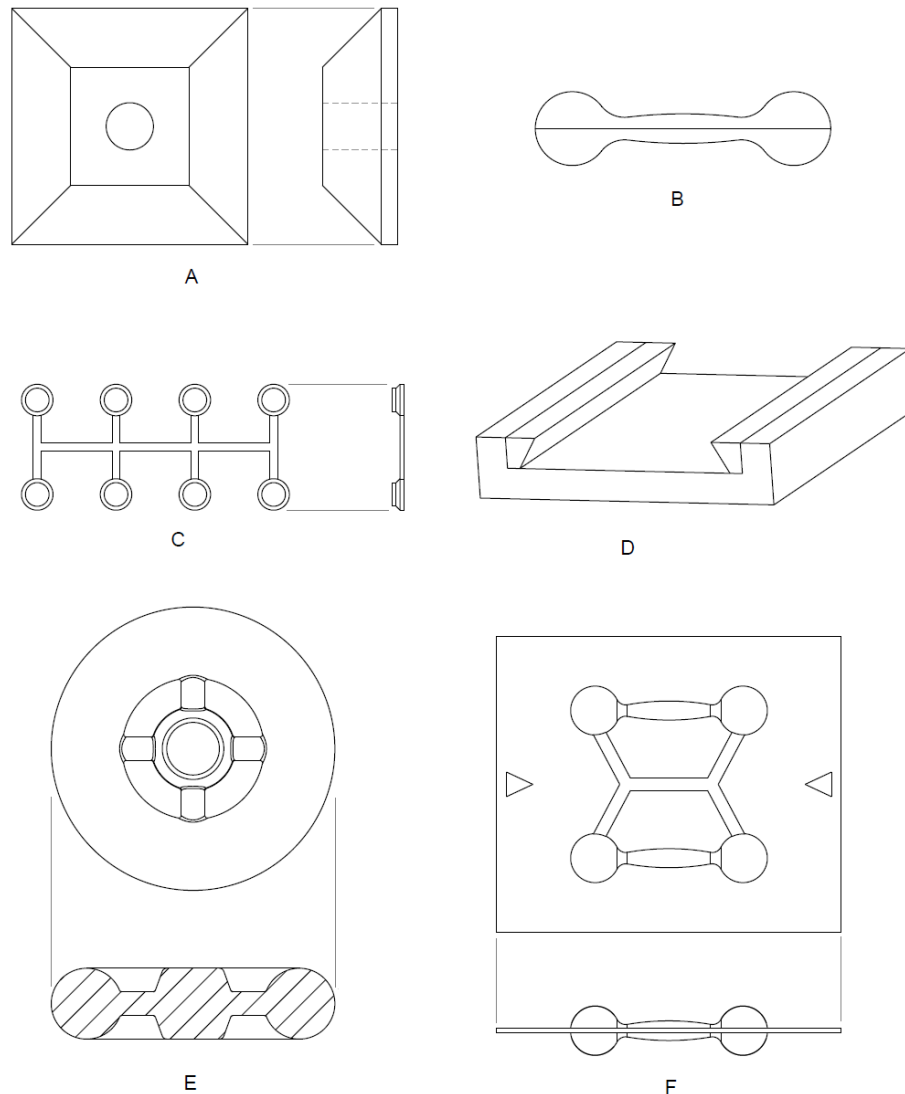


Figura 4. Tipos de modelos.

Existen en los talleres de fundición y de modelos los “modelos maestros”, que son prácticamente un modelo para hacer modelos. Sin embargo, estos modelos maestros deben ser calculados en base a las condiciones del producto final de la fundición a producir como del

material en que será nuestro modelo, es decir, las tolerancias calculadas para las fundiciones y las tolerancias del material que será nuestro modelo, ya sea de madera o algún metal en específico [9].

2.3.4 Tolerancias en los modelos.

Las tolerancias en los modelos juegan un papel importante en la fundición, ya que muchas veces al tener una pieza terminada que deseamos replicar no podemos usarla, por el simple hecho de que las piezas a fundir necesitan tolerancias para que al final obtengan sus distancias dimensionales deseadas. Las tolerancias que debemos considerar son por contracción, extracción, acabado, distorsión y golpeteo [9].

Contracción: Cuando un metal está en proceso de solidificación, se contrae, debido a la temperatura y al coeficiente de dilatación térmica. En los distintos tipos de metales este coeficiente cambia y a la hora de crear modelos, es importante contar con este dato con el material con el que se va a trabajar.

Extracción: En los modelos, al tener superficies verticales, deben tener un ligero cono para ser extraídos con facilidad del moldeado. Se deben colocar tanto en las superficies internas como externas y se expresan en grados o medidas lineales. La tolerancia aproximada en las superficies exteriores es de 10 a 25 mm por metro y en las internas de 40 a 67 mm por metro.

Acabado: Cuando se diseña una pieza y esta requiere de un acabado superficial mayor, debe ser indicada que deberá ser terminada a máquina o maquinado. Al existir esta marca, se está indicando también que deberá haber una tolerancia de acabado, que por lo general en piezas pequeñas y medianas es de +3.00mm. En cuanto a piezas más grandes la tolerancia deberá aumentar en su proporción ya que las piezas tienden a torcerse durante el enfriamiento.

Distorsión: Esta tolerancia se aplica a aquellas piezas fundidas con formas irregulares que se distorsionan en el proceso de solidificación y enfriamiento por la contracción del metal. Esto normalmente se presenta cuando la forma está desequilibrada, los espesores distintos en la pieza y en la velocidad de enfriamiento en diferentes partes.

Golpeteo: Esta tolerancia es añadida ya que el modelo se encuentra en la cavidad del molde y aún no es extraído, este se golpea ligeramente para poderlo extraer pero la cavidad aumenta un poco su tamaño. En piezas de tamaño medio, este aumento puede pasar desapercibido. Cuando ya son piezas grandes, se debe considerar una tolerancia por “sacudida”, haciendo el modelo ligeramente menor para compensar el golpeteo.

Movimiento de las paredes del molde: Cuando el metal fundido es vaciado en el molde, produce un movimiento en las paredes de éste por el calor excesivo y por la presión estática ejercida sobre la superficie, lo que altera el tamaño de la fundición. Esta tolerancia puede ser prevista en el diseño del modelo, pero en la mayoría de los casos es controlada por la

regulación de las temperaturas de coladas, de la composición del metal y de la resistencia de la arena del molde.

Como se muestra más adelante en la figura 11, las mazarotas, los bebederos y orificios de entrada pueden ser parte a la hora de fabricar el modelo. Además, el modelo ayuda a establecer la línea de división entre la parte superior e inferior del molde y ayuda a que el macho sea colocado en la correcta posición.

2.4 Maquinado por torno

La maquinabilidad de un material se define como la propiedad del material que determina la complejidad con la que se puede maquinar dentro de ciertos parámetros. Los objetivos dentro de la maquinabilidad son el de minimizar costos y maximizar la capacidad de producción que están ligados con las condiciones de operación, como son el avance, la velocidad y profundidad de corte. Por ello, para poder aprovechar y optimizar la producción de los materiales, es importante conocer sus características así como su composición química y propiedades mecánicas. En la tabla 2 se muestra la maquinabilidad relativa de algunos materiales que son más usados [9].

Tabla 2. Maquinabilidad relativa de algunos materiales.

Num.	Material	Maquinabilidad
1	Magnesio y aleaciones.	Excelente
2	Aluminio y aleaciones.	
3	Cinc y aleaciones.	
4	Cobre.	
5	Bronce de cartucho.	
6	Hoja de bronce de corte libre.	
7	Bronce de cañón.	Buena
8	Bronce para cojinete.	
9	Bronce rojo.	
10	Bronce de silicio, bronce de manganeso, bronce plomo-fósforo.	
11	Metal Muntz.	
12	Acero al azufre/acero de corte libre.	
13	Hierro maleable.	
14	Aleaciones cobre-aluminio.	
15	Acero de bajo carbono.	Regular
16	Acero al cromo, recocido.	
17	Acero de baja aleación, recocido.	
18	Acero inoxidable.	
19	Acero al níquel.	

20	Acero de alta velocidad.	Deficiente
21	Fundición gris.	
22	Hierro esferoidal con grafito.	
23	Fundición de hierro maleable.	
24	Acero troquelado en caliente.	
25	Estelita.	No maquinable
26	Fundición blanca de hierro.	
27	Carburos.	
28	Carborundo.	

2.4.1 Torno

El maquinado por torno es un proceso de manufactura de piezas mecánicas. El torno es el antecesor de las máquinas herramienta siendo la máquina más importante en los talleres y se puede encontrar en numerosos tamaños y formas.

El torno funciona básicamente haciendo girar el material contra una herramienta de corte de un solo punto. La pieza puede ser sujeta por dos soportes llamados punto o centros y por un chuck o mandril universal, que se atornilla o asegura al extremo del husillo [9].

2.4.2 Clasificación de tornos

Los tornos pueden ser clasificados en base a su tamaño, forma, capacidad, diseño y método de transmisión, hace que de una manera amplia los tornos se clasifican en torno rápido, que son los torno para el trabajo en madera, conformados de metales, torneado de metales, de pulido, para herramientas, de torreta, revolver, para propósitos especiales y torno automático, los tornos mecánicos son los tornos de transmisión de polea cónica escalonada, de engranes y torno de velocidad variable, finalmente el torno de banco [9].

2.4.3 Partes principales de un torno

En la figura 5 se muestran las partes principales de un torno convencional, a) bancada, b) cabezal fijo, c) carro porta herramientas, d) cabezal móvil o contrapunto, e) mecanismo de avance, f) husillo de roscar, g) husillo de cilindrar y h) husillo de avance [10].



Figura 5. Torno convencional y sus partes.

2.4.4 Herramientas de corte

En el torneado de piezas existen distintos tipos de herramientas de corte dependiendo de las necesidades de la complejidad del diseño de la pieza a producir. Estas herramientas, también conocidas como buriles, se montan en un porta buriles o porta herramental que este a su vez es montado en la torreta, localizado en el carro porta herramientas. En la figura 6 se muestran las formas de los diferentes buriles que son utilizadas en el torneado [9].

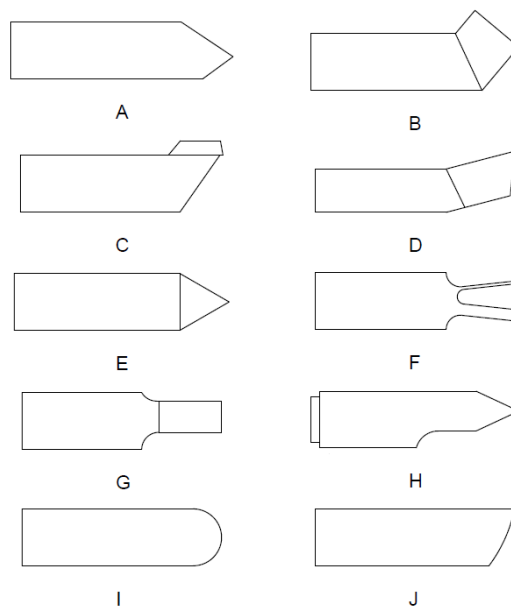


Figura 6. Afilado de buriles.

Otras herramientas de corte son las brocas, que son barras de acero que sirven para hacer barrenos en el eje axial del material a maquinarse. Para hacer estos barrenos la broca es montada en un broquero y este se monta en el contrapunto. En la figura 7 se muestran la broca y la broca de centros, esta última sirve para hacer un barreno cónico para posteriormente poder fijar el material a maquinarse en el contrapunto con ayuda de un cono giratorio.

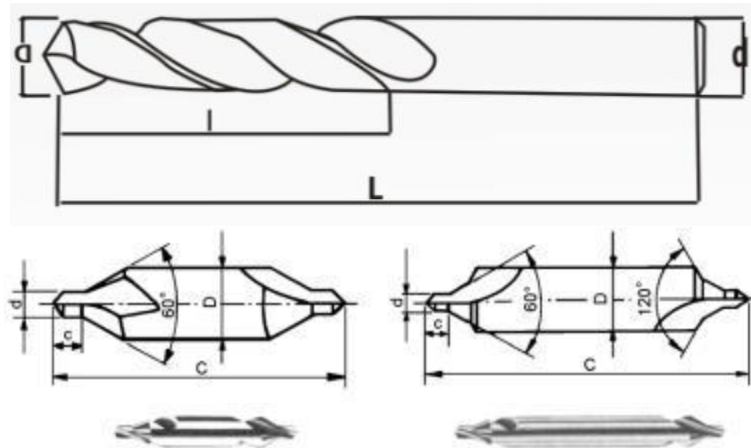


Figura 7. Broca y broca de centros.

2.4.5 Viruta

Las virutas son residuos del material maquinado como resultado del corte. Cuando el filo de la herramienta de corte es adecuado, la viruta sale en forma de tiras enrolladas en espiral por lo que la hace muy voluminosa.

2.5 Arena

Existen diversos métodos para la fundición, pero el más utilizado es el método por arena sílica (SiO_2) ya que esta se encuentra con facilidad en la naturaleza y es adecuada para el moldeo ya que resiste altas temperaturas y posteriormente puede ser usada nuevamente para futuros modelos. Gracias a su gran abundancia es de bajo costo, tiene una duración y resistencia a la expansión térmica. Incluso se puede encontrar en diferentes tamaños y formas en el grano, aunque si contiene un porcentaje considerable de polvo fino, es considerado un peligro para la salud [2].

2.5.1 Arcilla y humedad

La arena sílica sin algún otro componente no es conveniente para la fabricación de moldes, ya que carece de propiedades aglomerantes, que son materiales que por sí solos no tienen cohesión [9]. En la mezcla con la arena, las propiedades aglomerantes se adquieren con un

tipo de aglutinante como la arcilla en porcentaje entre 8% y 15%, de igual manera se requiere de humedad entre 2% y 8% dependiendo del tipo de modelo que se realice. Los tres tipos de arcillas más utilizados son la caolinita, ilita y bentonita. La más común es la bentonita, proviene de ceniza volcánica [2].

2.5.2 Factores a considerar en la arena

La arena después de ser utilizada en una fundición, puede ser reutilizada. Sin embargo, es importante tomar en cuenta que se puede mezclar con algún otro contaminante o agentes extraños distintos de la arena o bentonita y esto puede afectar a futuras fabricaciones de modelos. Por ello es recomendable trabajar en áreas limpias.

La calidad del producto final es un factor que depende en la mayoría de la finura de la arena. El tamaño del grano proporciona propiedades en la arena de moldeo, aunque depende del tamaño para brindar estas propiedades, si el grano es mayor el acabado no es tan fino pero brinda mayor permeabilidad y flujo en la fundición, si el grano es más fino el acabado es mejor pero disminuye su permeabilidad [9]. La arena, al menos la que esté en contacto con la cavidad del modelo, debe ser más fina. La mezcla de arena es sometida por mallas de distintos grados hasta obtener una arena más fina [2].

2.6 Herramientas y equipo de seguridad

Para cualquier tipo de procesos, las herramientas y equipos que se usarán son necesarios a lo largo de fabricación de piezas. En la fundición, se requieren de herramientas que faciliten la maniobra para hacer modelos y en la misma fundición, así como el equipo de seguridad necesario

2.6.1 Herramientas para moldeo

En los talleres de fundición existen muchos tipos de herramientas dependiendo de la fundición que se vaya a realizar, ya sea por su tamaño o complejidad. A pesar de las distintas herramientas que hay y tengan un uso similar, tienen sus diferencias, ya que ayudan a adaptarse a las necesidades del fabricante.

2.6.1.1 Herramientas de mano

Estos son los tipos de herramientas necesarias:

- a) Pala: es una placa de metal, por lo general hierro, con un mango que sirve para transportar arena. También hay palas de mano que son más chicas.
- b) Barra niveladora: es una barra de madera o metal recta que es utilizada para quitar el exceso de arena después del apisonado.

- c) Criba o malla: por lo general es de madera con una malla de alambre y es usada para separar agentes o contaminantes de la arena, así como colar la arena para obtener una arena más fina. Las mallas se miden en números como 6, 8, 10, 12, 20, etc. Por dar un ejemplo, la malla número 8 tiene una abertura de 1/8 de pulgada.
- d) Punta de ventilación: es una varilla delgada, por lo general con un mango de madera en un extremo y es utilizada para hacer agujeros pequeños en el molde de arena, permitiendo escapes de aire y gases que se puedan generar durante el vaciado y enfriamiento de la fundición.
- e) Paletas: son similares a las palas, pero más pequeñas y planas en la placa de metal, tienen un mango en el otro extremo y son utilizadas para terminar superficies, hacer uniones, dar forma y reparar moldes.
- f) Acicaladores: estos al igual que las paletas, sirven para dar forma y dar acabados a los moldes pero estos son usados después de extraer el modelo.
- g) Apisonadores: son utilizados para apisonar la arena manualmente en el moldeo, es decir, comprimir la arena en la caja de moldes. Son hechos de madera o acero.
- h) Apisonador neumático: en los talleres de fundición existen estos apisonadores que son accionados con aire comprimido, esto con el fin de facilitar este paso.
- i) Hisopo: son pequeñas brochas que son utilizadas para aplicar agua alrededor de la superficie del molde al momento de extraer el modelo.
- j) Perno de canal de colada: es un perno que es usado para crear los bebederos de alimentación de la fundición en los moldes.
- k) Punta de extracción: es una varilla delgada que es utilizada para extraer el modelo del molde.
- l) Tornillo de extracción y placa de golpeteo: estos son usados en modelos y moldes más grandes, son usados para extraer el modelo con los tornillos en la placa.
- m) Prensas: están hechas de acero y son usadas para sujetar y alinear las cajas de moldeo al momento de moldear.

2.6.1.2 Cajas de moldeo

Las cajas de moldeo sirven para contener la arena en la cual se encuentra la cavidad del modelo y resistir la fundición hasta su enfriamiento. Estas cajas por lo general están hechas de madera o metal y están divididas en caja inferior y caja superior mostrada en la figura 8. A la parte superior se le conoce como tapa, a la inferior como fondo. En algunos talleres de fundición donde se requieren de producciones elevadas, utilizan cajas de tres partes, a la parte intermedia se le conoce como parte central. Debido a su manejo, por lo general rudo, las cajas se van desgastando y su vida útil es limitada, sin embargo existen cajas de acero usadas en producciones altas que soportan impactos haciendo su vida útil más duradera [9].

Dependiendo del volumen tanto de las piezas por fundición como la producción, es importante establecer el tamaño de las cajas con las que se va a trabajar, esto con el fin de no tener

pérdidas en los lotes de producción o en caso contrario, no tener exceso de tamaño de las cajas por fundiciones pequeñas.

Hay distintos tipos de cajas y son:

- a) Cajas simples: conocida también como cajas cerradas, están hechas por lo general de metal o madera y son más usadas en fundiciones de tamaño pequeño o mediano. La caja superior es retirada del molde apisonado cuando la pieza se ha solidificado. Su forma por lo general es rectangular pero también puede ser circular.
- b) Caja cónica de deslizamiento: estas cajas tienen un ángulo de 4° en sus costados cónicos para poder extraer la carga. La tapa se puede levantar para extraer el modelo después del moldeo.
- c) Caja de cierre rápido: es un armazón equipado con una bisagra en una esquina y un sujetador en la esquina diagonalmente opuesta. Después del apisonado se puede abrir quitando los sujetadores y haciéndola girar alrededor de la bisagra. Esta caja es muy útil en la producción de piezas pequeñas.
- d) Caja de molde de madera: estas cajas son utilizadas para piezas relativamente grandes en poca producción. Contiene manijas para poder ser maniobrada con facilidad y sus costados tienen barras transversales para mantener junto el costado de las cajas y eviten la fuga de arena moldeada al tiempo que la parte superior es manejada.

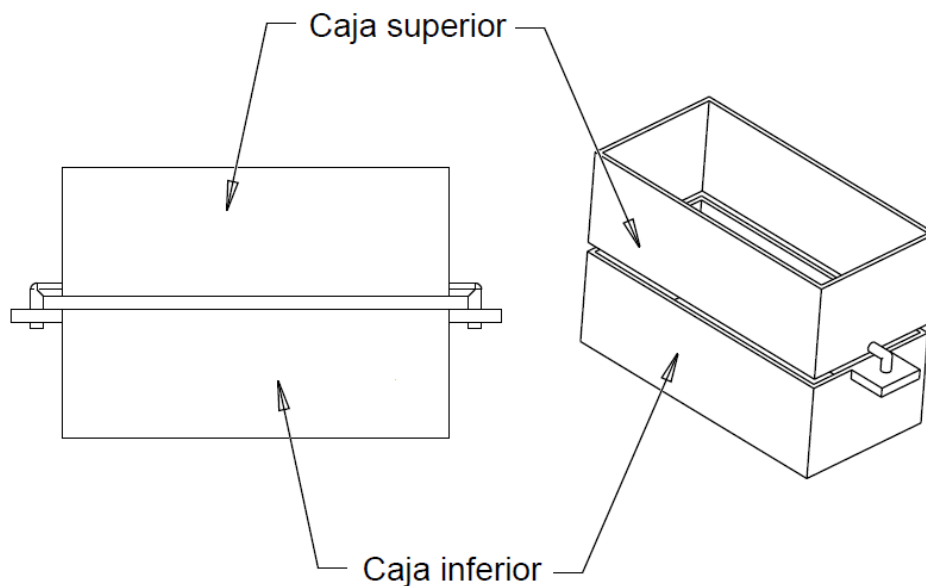


Figura 8. Cajas de moldeo, superior e inferior.

2.6.2 Herramientas para la fundición

Las herramientas para la fundición ayudan a tener un acceso seguro a la fundición y poder ser maleable en sus altas temperaturas.

2.6.2.1 Calderos

Los calderos son principalmente usados en los talleres de fundición en donde se tiene una producción grande de piezas. Son utilizados para transportar el metal fundido del horno al molde. Por lo general, el metal fundido se mantiene en grandes calderos de contención y se vierte cuando sea necesario. Los calderos de contención tienen una coraza de acero revestida de algún material refractario, por lo general arcilla.

Existen diferentes tipos de calderos que son más comunes en los talleres de fundición. El caldero de mano u oscilante es un caldero pequeño con capacidad de entre 2.5 a 20 kg y permite un mejor control de colada. Los calderos giratorios con una capacidad de 20 a 65 kg, tienen asas en ambos lados para ser maniobrados por dos operadores. Los calderos de grúa o monorraíl pueden tener una capacidad de hasta 250 a 1000 kg, están montados en un monorraíl que ayudan a facilitar el vaciado de la fundición. Los calderos obturados en el fondo tienen un agujero en el fondo el cual sirve para colar el material fundido, esto funciona elevando la varilla vertical que tapa el agujero con ayuda de una palanca [9].

2.6.2.2 Crisol

Los crisoles son similares a los calderos, son fabricados con material refractario, comúnmente cerámicos y son usados como recipientes para fundir el metal. Por lo general, la fusión se efectúa con coque aunque también se pueden usar combustibles líquidos como petróleo para hornos. La capacidad de los crisoles generalmente no superan los 4 kg por lo que es ideal para las funciones pequeñas de baja producción [9].

El crisol es manejado por asas o tenazas al salir de la fundición y el colado es realizado directamente ya que su tamaño lo hace manejable.

2.6.2.3 Fundentes

Los fundentes son materiales que se agregan a la fundición, que tienen un punto bajo de fusión, menor al del metal a fundir y sirven para acelerar el calentamiento de la carga. Su forma fundida se mezcla con cenizas, óxidos metálicos, contaminantes o algún otro tipo de impureza formando una capa llamada escoria. La escoria es más ligera que el material fundido y flota sobre él, esto a su vez funciona como protector de la fundición del ataque atmosférico. Gracias a que la escoria flota, antes de verter la fundición en los moldes se debe desnatar para evitar contaminar en el momento de verter [9].

Los fundentes pueden ser clasificados en básicos, ácidos y neutros, dependiendo del material refractario que se utilice. El fundente más utilizado es el H_3BO_3 (ácido bórico).

2.6.2.4 Cucharón para escoria

En la fundición de metales, se crea una capa llamada escoria donde por lo general se encuentra los residuos de contaminantes. Hay métodos utilizados en los talleres de fundición para retirar esta escoria, como el vaciado de esta antes de verterlo en los moldes, o el hecho de retirarlo con un cucharón dejando la fundición libre de escoria.

Por lo general, este cucharón es de acero o algún material refractario, dependiendo del metal que se vaya a fundir.

2.6.2.5 Refractarios

Los fundentes fundidos, los agentes de calentamiento y los gases entran en contacto con refractarios. Estos materiales generalmente son óxidos metálicos capaces de soportar temperaturas por encima de los 1580°C. Los refractarios deben soportar ciertos parámetros como las temperaturas altas, presiones, ataque de productos químicos así como el choque térmico y la abrasión o desgaste [9].

Los materiales refractarios tienen dos funciones principales: mantener alejado o aislado el calor de las personas que estén operando y de concentrar el calor para evitar pérdidas de temperatura para ser aprovechados en la fundición.

2.6.2.6 Combustibles

A lo largo del tiempo en la historia de la fundición ha avanzado mucho el método para calentar el material. En la actualidad los más comunes son el carbón y el coque, sin embargo, existen otros métodos como los hornos por inducción eléctrica, inyección de oxígeno, desgasificación al vacío, el gas licuado de petróleo, etcétera.

Algunos combustibles como el carbón suelen arrojar cenizas a la hora de la fundición, es importante cuidar este aspecto ya que las fundiciones pueden salir porosas gracias a este efecto.

El gas de carbón es comúnmente utilizado para fundir metales no ferrosos y sus aleaciones en crisoles. De igual manera el petróleo es utilizado de la misma manera, aunque los hornos de petróleo también son utilizados para tratamientos térmicos. La electricidad es el método de fundición más costosa, sin embargo, con este método se pueden fundir materiales ferrosos y no ferrosos, su control lo hace más fácil y preciso y son muy útiles para producir fundiciones de calidad. En la tabla 3 se muestran algunos metales y sus aleaciones, su punto de fusión y temperatura de fundición [9].

Tabla 3. Temperaturas de fusión y fundición.

Num.	Material/aleación	Punto de fusión/temperatura de fundición (°C)	
1	Hierro fundido gris	1150-1250	
2	Hierro fundido maleable	1230-1350	
3	Hierro fundido blanco	1230-1350	
4	Hierro fundido dúctil	1260-1370	
5	Hierro puro (Fe)	1539-1650	
6	Acero suave	1500-1650	
7	Acero medio carbono	1470-1580	
8	Acero alto carbono	1430-1550	
9	Acero de baja aleación	1500-1620	
10	Cobre (Cu)	1083-1170	
11	Cobre aleado con bronce	950-1130	(Varía con la composición)
12	Cobre aleado con latón	920-1150	(Varía con la composición)
13	Aluminio (Al)	659 (P. de fusión)	720-750 (Temperatura de fusión)
14	Aleaciones de aluminio	600 (P. de fusión)	650-700
15	Magnesio (Mg)	665 (P. de fusión)	720-750
16	Aleaciones de magnesio	690-750	
17	Níquel (Ni)	1450,	1500-1600
18	Cromo (Cr)	1845,	1900-2000
19	Cinc (Zn)	419,	550-580
20	Estaño (Sn)	232,	260-280
21	Plomo (Pb)	272,	320-350
22	Plata (Ag)	960,	1050-1080

2.6.3 Calibrador vernier

El calibrador vernier es un instrumento para medir diámetros exteriores, interiores y profundidades, utilizado en el ámbito industrial. Funciona con una regleta que contiene escalas en milímetros o centímetros y en pulgadas con una escuadra al extremo; la escala vernier, con otra escuadra, tiene una escala auxiliar llamada nonio que se desliza a lo largo de la regleta. Las escuadras mencionadas son para medir exteriores, aunque en la parte superior y en un extremo tiene aditamentos especiales para medir interiores y profundidades. En la figura 9 se muestra un calibrador vernier análogo siendo el más conocido, sin embargo, existen calibradores de caratula y digitales, este último puede tener una precisión de milésimas.

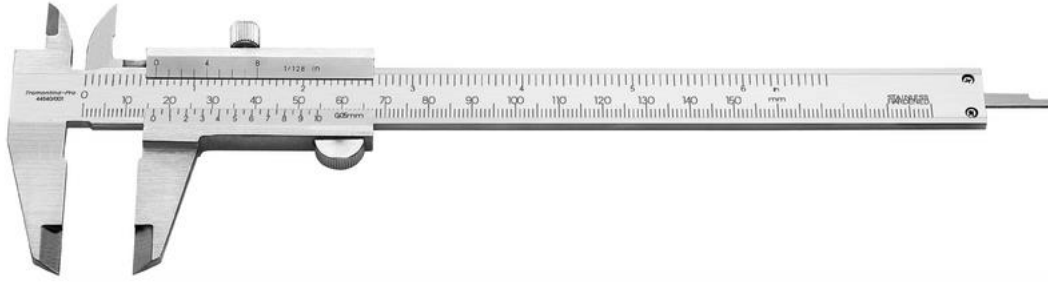


Figura 9. Calibrador vernier análogo.

2.6.4 Equipo de medición termográfico

Tener un control de la temperatura en los procesos de fundición es fundamental, ya sea para llegar a la temperatura con la que se trabajará como el estudio del material en distintas temperaturas a la que sea sometido. Existen equipos que sirven para medir estas temperaturas como son los pirómetros o cámaras termográficas que detectan la emisividad térmica de los objetos, esto gracias al lente que percibe las emisiones infrarrojas de los objetos y lo reflejan a través de una pantalla con escala de colores [11].

2.6.5 Equipo de seguridad

El equipo de seguridad es un importante elemento en los procesos de fundición, con el cual el operador se encontrará siempre protegido ante cualquier incidente. Esto no quiere decir que no se deban tomar las precauciones adecuadas cuando se esté maniobrando.

Las temperaturas altas pueden generar quemaduras de tercer grado, que es cuando la quemadura afecta todas las capas de la piel incluyendo la dermis profunda. Son lesiones de aspecto blancuzco o chamuscado. No hay dolor ya que genera la destrucción terminal nerviosa en la zona afectada. Es denominada “escara” [12].

El cuerpo debe estar protegido lo más posible, estos son algunos equipos de seguridad más usados en la fundición mostrados en la figura 10 [13]:

- 1) Visor dorado con adaptador para casco y/o Ratchet incluido: es una careta que resiste hasta los 1000 °C, refracta el 94% de la radiación infrarroja.
- 2) Respirador de media cara 3M serie 6200 completo: ayuda a proteger contra humos y gases de la fundición.
- 3) Mandil fundidor de cuero cromo de 60x90cm: peto de cuero de una sola pieza con correas de cuero. Es resistente contra chispas y salpicadura de metal fundido.
- 4) Mangas fundidor de cuero cromo de 18”: mangas de cuero cromo con elástico de 2” en el puño para introducirlas en los guantes con facilidad. Protege el brazo y antebrazo. Protege contra chispas y salpicaduras de metal fundido.

- 5) Guantes fundidor de cuero cromo de 14": fabricado en cuero con costuras de hilo Kevlar de Dupont, no se quema ni derrite. Índice y pulgar tipo "ala". Refuerzo de cuero amarillo en la zona de mayor desgaste. Su forro interno es anti flama. Protege del contacto, chispas y salpicadura de metal fundido.
- 6) Manoplas de sacrificio de cuero de cromo de 9": fabricados de cuero cromo selección media de dos piezas con costuras ocultas de hilo Kevlar de Dupont. Protege contra chispas y salpicaduras de metal fundido, deben ser usados sobre el guante.
- 7) Escarpines de cuero cromo de caña alta: fabricados en cuero cromo selección media de dos piezas, con correas de cuero remachadas con hebilla. Protege contra chispas y salpicadura de metal fundido.



Figura 10. Equipo de seguridad.

2.7 Moldeo

El moldeo es el proceso de realizar moldes. El molde es una cavidad formada por un modelo dentro de una caja de moldeo. Para obtener esta forma se requiere de arena mezclada con bentonita y humedad, normalmente a este método se le conoce como método por arena verde. El proceso de moldeo requiere de elementos y herramientas para lograrlo, como los pernos de canal, el modelo, barra niveladora, etc. El método más utilizado en los talleres de fundición para hacer moldes de baja producción y de piezas sencillas es utilizando modelos divididos [9].

Los pasos a seguir en el moldeo se muestran en la figura 11. Primero se debe tener una superficie plana y limpia donde se pueda trabajar, se coloca la primera parte del modelo dividido en su superficie plana del corte transversal (A). El cajón inferior, o fondo, es colocado para ser rellenado por arena y se apisona (B). Después con cuidado se voltea la caja

inferior y se coloca la caja superior, o tapa, encima con ayuda de las guías para que estén alineados, se agregan los pernos de canal y se rellena de arena apisonándola (C). Por último se quita el exceso de arena con la barra niveladora y se extraen los pernos, se separan las cajas y con cuidado se extraen el modelo de las dos partes, se crean los conductos que van desde la cavidad hacia la mazarota y bebedero, se cierran nuevamente las cajas con ayuda de las guías y el molde está listo para la fundición (D).

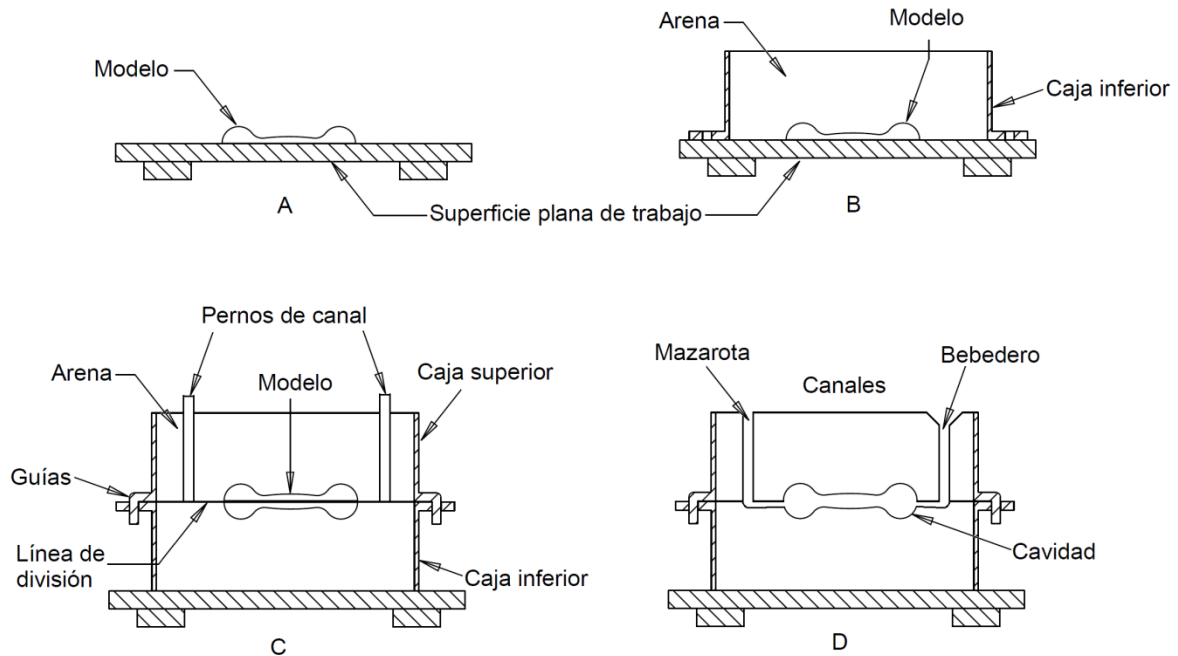


Figura 11. Corte transversal de los pasos de moldeo.

2.8 Hornos de fundición de aluminio

En la industria de la fundición existen métodos para fundir a través de distintos hornos dependiendo de la producción que se pretende obtener. Los hornos más usados en los talleres de fundición son los de hornos calentados a fuego directo, hornos de crisol y hornos de inducción. La selección del horno más apropiado para las fundiciones depende de factores como la aleación que se pretende fundir, su temperatura de fusión y de vaciado, así como la capacidad del mismo, costo de inversión, mantenimiento y operación, así como el impacto ambiental que genere. Aquí se muestran los tipos de hornos que existen en los talleres de fundición y su vaciado en los moldes [14].

2.8.1 Hornos calentados a fuego directo

Los hornos calentados a fuego directo contienen un pequeño hogar abierto donde la carga de metal se calienta a través de un quemador que se encuentra a un lado del horno. El techo del

horno ayuda a reflejar el calor de la llama hacia la carga de material. Por lo general, el combustible utilizado es el gas natural; los residuos de la combustión salen a través de una chimenea. Al fondo del horno se encuentra un orificio donde la colada del metal fundido tiene acceso de salida. Este tipo de horno es utilizado para fundiciones de metales no ferrosos como el aluminio y cobre [14].

2.8.2 Hornos de crisol

En los hornos de crisol el metal se funde sin tener contacto directo con los gases del combustible y existen tres tipos de hornos de crisol usados en los talleres de fundición mostrados en la figura 12. En el horno de crisol móvil, el crisol es colocado en un horno que usa aceite, gas o carbón pulverizado para fundir la carga, cuando se funde el crisol es retirado del horno y se vierte directamente al molde (A). El estacionario o fijo tiene un quemador y el recipiente integrados, son fijos y el metal fundido se cucharea fuera del recipiente (B). El basculante o inclinante contiene un quemador integrado y el dispositivo entero puede ser inclinado para vaciar la carga (C). El crisol está hecho de material refractario o de acero aleado de alta temperatura para contener la carga de metal fundido. Los hornos de crisol son utilizados para metales no ferrosos como bronce, latón y aleaciones de cinc y aluminio [14].

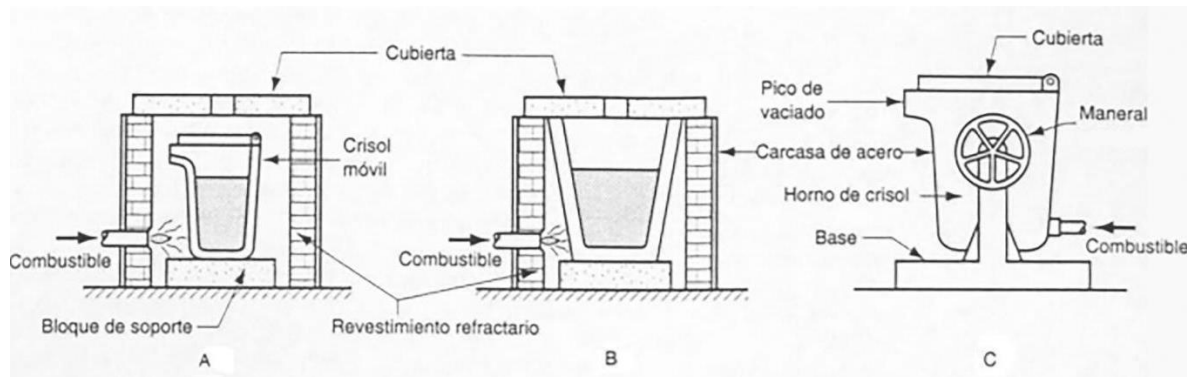


Figura 12. Tipos de horno de crisol.

2.8.3 Hornos de inducción

El horno de inducción mostrado en la figura 13, usa corriente alterna a través de una bobina generando un campo magnético en el metal, la corriente inducida genera un rápido calentamiento hasta llegar a su fusión. Gracias a que el calentamiento no está en contacto directo con el metal, es posible controlarlo. Los resultados de estos hornos son de alta calidad y pureza. Estos hornos son utilizados para cualquier tipo de metal a fundir, aunque en los talleres de fundición es más común que se funda acero, hierro y aluminio [14].

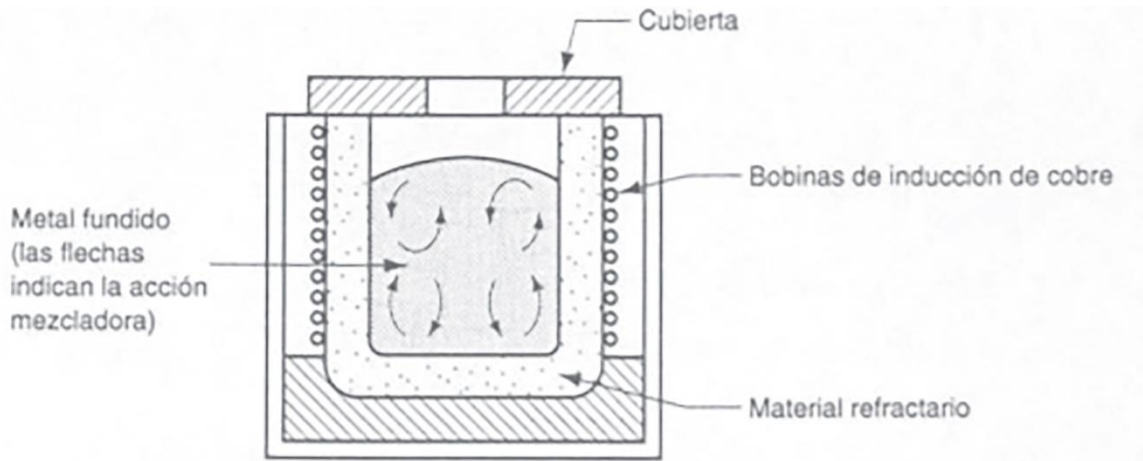


Figura 13. Horno de inducción.

2.9 Fundición

Para la creación de fundiciones, el metal fundido se vacía en moldes que ayudan a extraer el calor. El vaciado involucra el flujo de un fluido en altas temperaturas. Es importante mencionar que dependiendo de la aleación de la colada, la solidificación será distinta. Aquí se muestran las características generales de los metales

2.9.1 Fusión

El metal es calentado hasta llegar a su temperatura de fusión dependiendo del tipo de metal con el que se trabaje como se menciona en la tabla 3. En todos los procesos de fundición se requieren de los fundentes, que nos ayudan a limpiar el material haciéndolo más puro. Gracias a esto se separan las impurezas y con ayuda de las herramientas del horno o externas como cucharones se retira la escoria o se puede drenar dependiendo del horno que se utilice.

2.9.2 Vaciado

Cuando la fusión alcanza su temperatura deseada, se vierte. Un horno estacionario abre paso a través de un tapón refractario colocado en un agujero cerca del fondo del horno. Así como los hornos de volteo se vierte girándolos. Algunas técnicas de vaciado implican el bombearlos o succionarlos fuera del horno en caso de los metales con puntos de fusión bajos.

La fusión se puede verter directamente o con ayuda de un cucharón hacia el molde. Puede que existan desequilibrios entre la velocidad de fusión como el uso del material. En estos casos se emplean hornos de contención, en los cuales existe un tratamiento [15].

2.9.3 Solidificación

En el momento de vaciar la fundición en un molde, el metal entra en contacto con éste y se solidifica en forma de granos finos prácticamente equiaxiales, es decir de dimensiones casi iguales en todas las direcciones, ya que las velocidades de enfriamiento son elevadas y la pared del molde induce la nucleación heterogénea. Esto quiere decir que el enfriamiento va desde la superficie hasta el interior de la pieza. El calor latente que es liberado en la solidificación, disminuye la velocidad de solidificación y el punto después de la solidificación depende de la aleación del material [15].

En el proceso de la solidificación, los metales tienden a contraerse. Una vez que el metal es vaciado, el nivel del líquido va bajando gradualmente y si no hay una cantidad de líquido adicional queda una cavidad de contracción llamado rechupe, como se muestra en la figura 14. Este rechupe siempre se forma cuando un metal puro se solidifica [15].

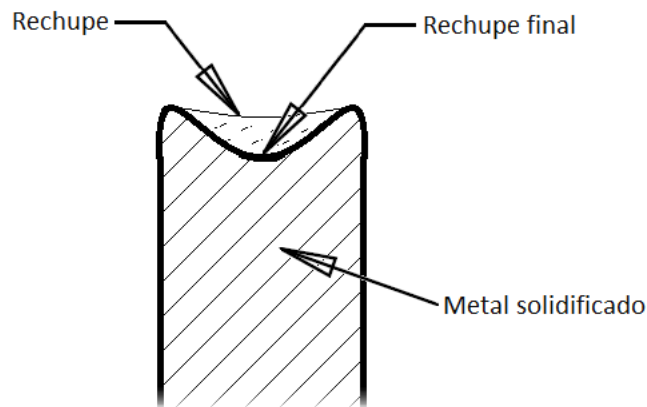


Figura 14. Contracción, rechupe.

2.10 Defectos e imperfecciones

En los procesos de manufactura existe el riesgo de que haya defectos e imperfecciones en las piezas que se produzcan. En la fundición pueden existir las imperfecciones tanto superficiales como estructurales como la porosidad. En la figura 15 se muestran las imperfecciones superficiales más comunes que se encuentran en las fundiciones. Esto ocurre por varios factores, como que la arena del molde no se haya compactado adecuadamente, que existan granos de arena sueltos en la cavidad del molde, que no se haya secado la humedad correctamente, por mencionar algunos [5].

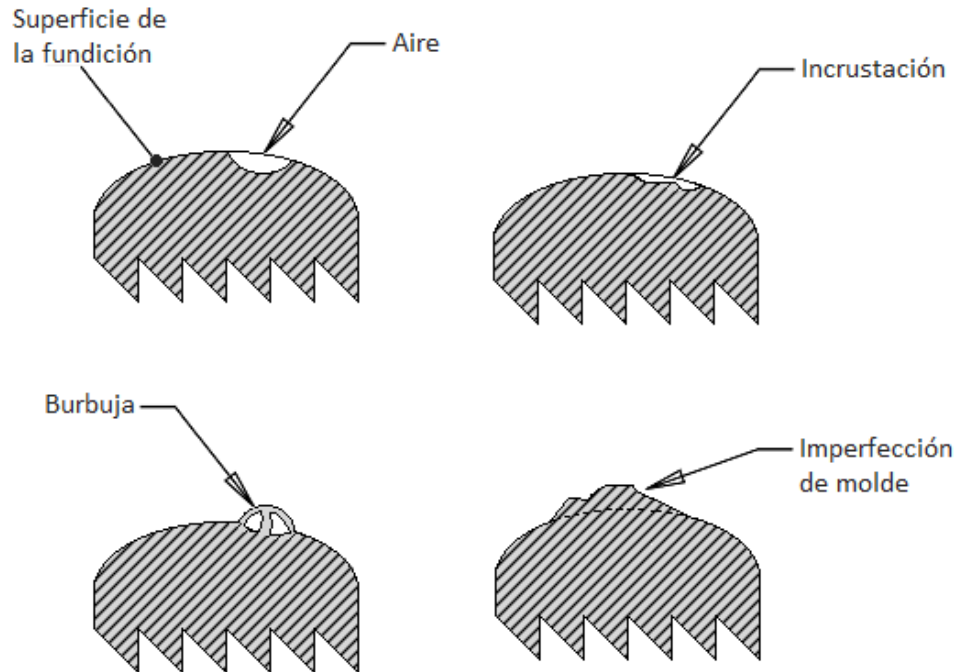


Figura 15. Imperfecciones superficiales más comunes.

La porosidad también es un efecto que se produce en la fundición y puede ser causado por la contracción y los gases que existan. Estas se crean por lo general en la contracción, ya que la solidificación no es homogénea y la solidificación se genera más rápido en las partes delgadas, por lo tanto el metal aún fundido fluye a las secciones más gruesas. Los gases atrapados como el aire, vapor y lubricación en la fundición generan también porosidad. En productos de alta calidad y que requieran de resistencia en el material, es importante cuidar este aspecto ya que la porosidad lo puede hacer deficiente [5].

2.11 Probeta para pruebas de tensión

La prueba de tensión es de las más utilizadas para verificar la resistencia y ductilidad de un metal. La ductilidad es la propiedad que presenta un material de ser estirado por una fuerza antes de sobrepasar su punto plástico. Estas pruebas se realizan en máquinas determinadas como prueba de tensión universal, que consta de dos partes, el dispositivo de deformación y el dispositivo de medición de carga. El dispositivo de deformación puede ser accionado por medio eléctrico o por presión hidráulica [9].

Para hacer dicha prueba, se realizan probetas en donde se estudia una determinada longitud con sección transversal circular o rectangular, por lo general el centro se reduce en la longitud media. En la figura 16 se muestra el diseño de una probeta de tensión y sus partes en base al diseño utilizado en las pruebas realizadas en el laboratorio de Ingeniería Mecánica. En la

figura 17 se muestra el diagrama esfuerzo-deformación que se obtiene al analizar un material dúctil según la ley de Hooke: ($E=\sigma/\epsilon$) conocido como módulo de Young.

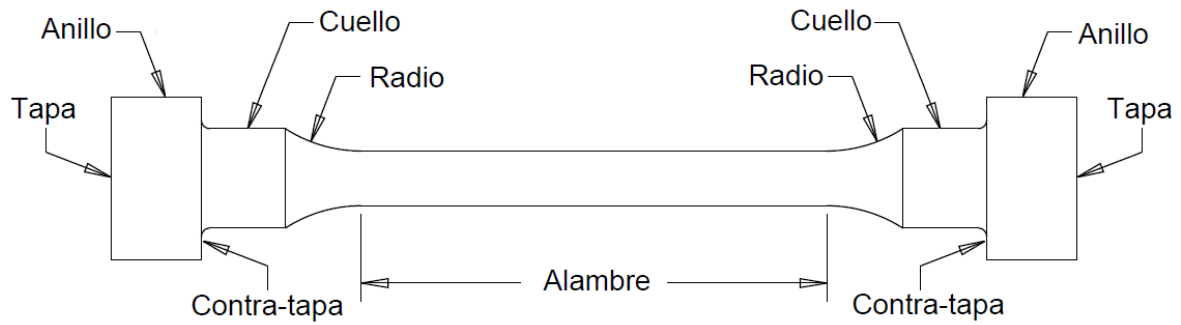


Figura 16. Partes de una probeta para pruebas de tensión.

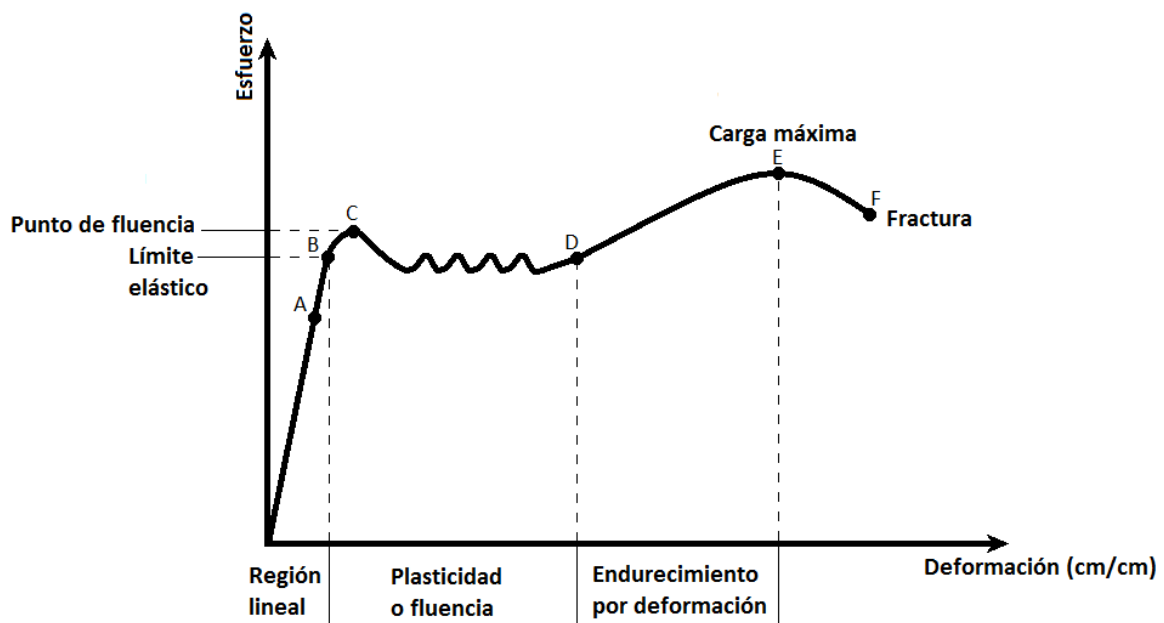


Figura 17. Diagrama esfuerzo-deformación de materiales dúctiles.

CAPÍTULO III. Metodología

3.1 Introducción de la investigación

El proceso de fundición de aluminio, como ya se ha mencionado, consiste en calentar el material hasta elevarlo a su punto de fusión y verterlo en un molde para obtener la pieza deseada. Todo esto conlleva un proceso y un método para lograrlo, contando con las herramientas y espacio necesario para realizar dicho proceso.

Gracias a que la cantidad de material que se usó para la probeta, no se requiere de cantidades grandes de herramientas y del horno. A comparación de hornos industriales en donde se llegan a fundir toneladas de metal, el horno fabricado para este proyecto fue pequeño, ya que la probeta requiere de 300 a 350 gramos aproximadamente. Se optó por alimentar el horno con gas LP (licuado de petróleo) ya que gracias a las llaves de paso puede ser controlada la llama.

Contar con las herramientas adecuadas y necesarias es fundamental para cualquier proyecto y este no fue la excepción. Es importante mencionar que las herramientas también son parte de la seguridad, ya que se trabajan con temperaturas elevadas. Gracias al equipo del laboratorio, se pudieron soldar alguna de las herramientas así como adaptar algunas ya existentes.

Tener la idea del calentamiento del proceso es de importancia a la hora de fundir, aunque se sabe que el aluminio tiene un punto de fusión de $660.15\text{ }^{\circ}\text{C}$, debemos contar con una herramienta que nos ayude a verificar este dato, es por eso que se contó con una cámara termográfica en las primeras pruebas.

Para la elaboración de los moldes es necesario y fundamental contar con un modelo, que es el patrón de la figura a fundir. Este fue maquinado en un torno horizontal convencional en base a un diseño que se ha calculado en base a la pieza final.

Una vez obtenido el modelo se puede proseguir a la fabricación de moldes que consiste en arena sílica con una mezcla de bentonita y humedad para que adquiera adherencia a la hora de crear la cavidad para el fundido.

Teniendo todo lo mencionado se prosigue a la fundición. Tomando en cuenta las altas temperaturas, es importante contar con el equipo necesario de seguridad para que el usuario no

sea expuesto a quemaduras o lesiones que la fundición pueda provocar, así como las medidas necesarias a la hora de maniobrar en la misma.

3.2 Tipo de investigación

La investigación realizada ha sido de tipo experimental, ya que se hacen pruebas para la fundición y poder seguir el procedimiento.

3.3 Alcance

La investigación es de tipo descriptiva, debido a que se detallan los pasos que se han realizado en la experimentación del proceso de fundición.

3.4 Procedimiento experimental

En la tabla 4 se muestran los objetivos y actividades para alcanzarlos:

Tabla 4. Objetivos y actividades a realizar.

Objetivo:	Actividades:
Diseño en software de probeta original y probeta de modelo con sus respectivos dibujos.	<ol style="list-style-type: none">1. En base al dibujo mecánico de la pieza original, proyectar la pieza en el software; en dado caso que no exista dicho dibujo, se tomará el ejemplar de las probetas de tensión y se sacaran medidas para el dibujo.2. Teniendo las medidas y el dibujo, se crea en el software una pieza con las medidas modificadas en base al coeficiente de dilatación del aluminio, así como la tolerancia de maquinado, acción siguiente es crear su dibujo.
Maquinado de modelo en aluminio.	Con el dibujo de modelo, se procede a

	maquinar un tocho (segmento) de aluminio en torno horizontal convencional.
Fabricación del horno.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar un presupuesto de los materiales para el horno. 2. Se necesita un espacio para la localización del horno de tal manera que las herramientas sean manipuladas libremente sin obstrucciones. 3. Construir el horno.
Fabricación de herramientas y crisol.	Las herramientas y crisol se han hecho de padecería de acero y soldadura.
Realización de moldes.	<p>Con el modelo listo, se puede proseguir con los moldes:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Preparación de la arena. 2. Relleno de cajas de molde con la arena mezclada y colocación del modelo. 3. Realizar conductos de vaciado de fundición. 4. Retirar modelo.
Verificación de equipo de seguridad.	<ol style="list-style-type: none"> 1. El equipo de seguridad consta de careta térmica, peto térmico, botas de seguridad con casquillo, cubre boca y guantes térmicos. 2. Colocarse dicho equipo antes de fundir.
Preparación de horno.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alistar los equipos necesarios para el control del gas LP 2. Pre-calentar el horno. 3. Colocar crisol.

<p>Proceso de fundición.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. El desperdicio de aluminio (viruta o pedacería inservible) debe procurar no tener algún otro contaminante o algún otro desperdicio y estar lo más limpio posible. 2. Colocar viruta de aluminio en el crisol e ir añadiendo más periódicamente ya que es muy voluminosa. 3. Verificar con la cámara termográfica que alcance su punto de fusión. 4. Esperar a que se funda una cantidad considerable para la probeta. 5. Quitar escoria e impurezas de la fundición.
<p>Fundición en molde.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verter la fundición en uno de los canales de fundición hasta que alcance la superficie por el otro canal. 2. Esperar a que enfríe a temperatura ambiente. 3. Retirar pieza fundida de la arena.
<p>Maquinado de pieza fundida.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recortar el exceso de aluminio que son los canales de fundición. 2. Limar el exceso de aluminio de los radios de la probeta lo que más sea posible. 3. Montar pieza en torno y maquinar hasta obtener medidas del diseño de la probeta original. 4. Verificar con un vernier que cuente con las medidas apropiadas.

3.5 Modelo de probeta

Los modelos pueden ser fabricados de distintos materiales, ya sea madera, metal, plástico e incluso cera. El modelo para este proyecto se elaboró de un tocho de aluminio mostrado en la figura 18, su bajo costo y maquinabilidad en comparación con el acero lo hacen más accesible para este proceso.



Figura 18. Tocho (segmento cilíndrico para maquinar).

3.5.1 Diseño del modelo

El modelo debe tener un diseño predeterminado en base al dibujo de la probeta final, debido a que el producto final, además de que no será fundido, también será maquinado con el fin de tener mayor precisión y acabado superficial en la pieza. Los diseños de dibujo tanto de la probeta final como del modelo están hechos en el software Pro-Engineer.

Pro-Engineer Wildfire 4.0 es un programa desarrollado por PTC para el diseño y ensamble de piezas mecánicas así como sus planos [16]. Gracias al programa se puede proyectar la probeta que es utilizada en las pruebas de tensión mostrada en la figura 19, así como el modelo que será para nuestra fundición, en este caso el modelo será una pre-forma ya que contará con tolerancias calculadas de contracción y de maquinado.

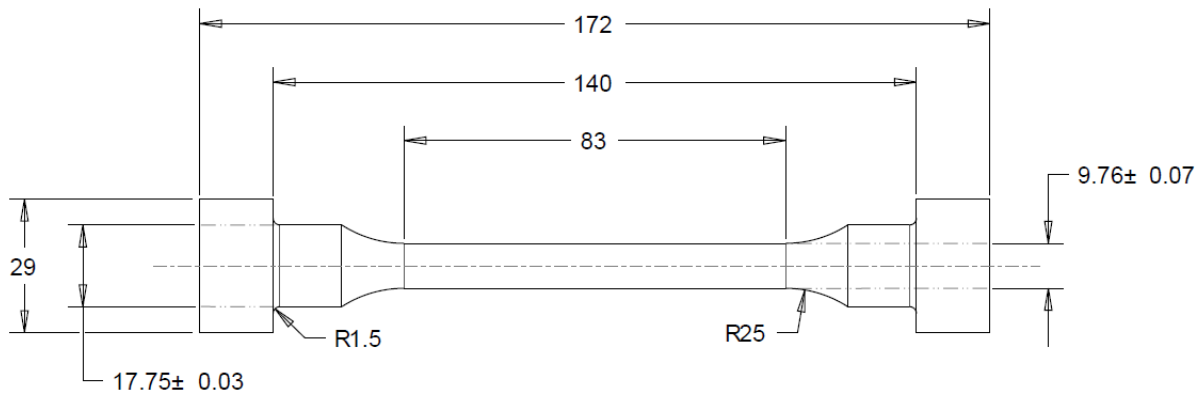


Figura 19. Dibujo de probeta para pruebas de tensión.

Las tolerancias fueron consideradas tomando como referencia el coeficiente de dilatación térmica del aluminio, este es de 24×10^{-6} . Por cada grado se multiplica este coeficiente y por cada distancia del diseño original, posteriormente el producto es sumado a la distancia inicial. Finalmente se agregan 3 mm a la distancia para el maquinado. Las dimensiones para el modelo se encuentran en la tabla 5.

Tabla 5. Dimensiones para modelo.

Distancia original (L_o)	$640^\circ\text{C} \times L_o \times \text{Coeficiente}$	Producto + L_o	Distancia con dilatación	Distancia con dilatación + Tolerancia maquinado	Distancia final (L_f)
172	$640 \times 172 \times 24 \times 10^{-6}$	$2.64 + 172$	174.64	$174.64 + 3$	177.5
29	$640 \times 29 \times 24 \times 10^{-6}$	$0.44 + 29$	29.44	$29.44 + 3$	33
17.75	$640 \times 17.75 \times 24 \times 10^{-6}$	$0.27 + 17.75$	18.02	$18.02 + 3$	21
9.76	$640 \times 9.76 \times 24 \times 10^{-6}$	$0.15 + 9.76$	9.91	$9.91 + 3$	12.9
*140	$640 \times 140 \times 24 \times 10^{-6}$	$-2.15 + 140$	137.84	$137.84 - 3$	134.8

Algunas medidas fueron redondeadas ya que los 3 mm de tolerancia de maquinado no es tan estricta. Las medidas del alambre fueron contadas inversamente para darle más material a la pieza, en cuanto a la medida del alambre de 83 mm se deja de la misma manera. Con las medidas obtenidas, se obtiene el siguiente diseño en la figura 20.

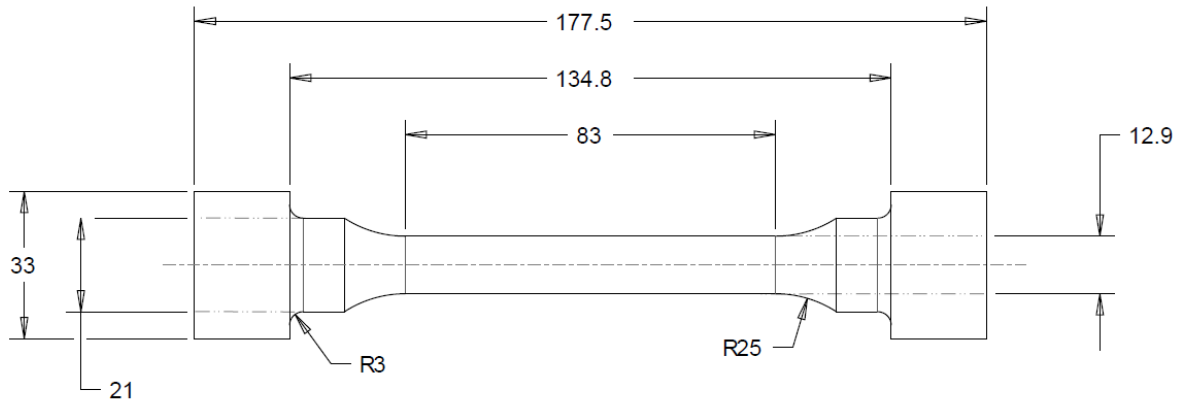


Figura 20. Dibujo de modelo.

3.5.2 Torno y herramientas a utilizar

Teniendo el dibujo del modelo listo se puede proseguir con el maquinado, el cual se realizó en un torno horizontal convencional marca Cormetal, modelo CA6250 D/2000, mostrado en la figura 21.



Figura 21. Torno horizontal convencional Cormetal.



Figura 22. Herramienta de torno.

En la figura 22 se muestra la mayoría de herramienta utilizada en el torno, estas fueron:

- Llave de chuck
- Llave para mordazas en torreta
- Juego de llaves allen
- Cono giratorio
- Broquero
- Broca cónica de 3 y 5 mm.
- Llave de 3/4"
- Porta buriles
- 3 Buriles (cuadrado, de uña o desbaste, con radio)
- Pinzas de punta
- Lainas para dar alturas
- Vernier (pie de rey)
- Solvente para lubricar

3.5.3 Maquinado de modelo

Con todo lo necesario, se prosigue a maquinar el modelo.

Se monta el tocho en el chuck del torno apretando bien con sus tres mordazas y se prosigue a carear y barrenar con la broca cónica de centros. Después se voltea y se hace la misma acción, como se muestra en la figura 23.

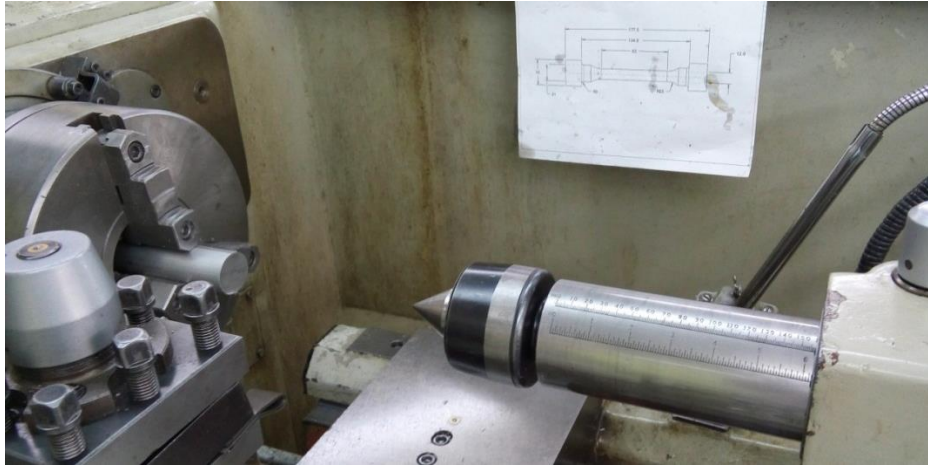


Figura 23. Careo y barrenado de tocho.

Una vez careado sus dos lados, se monta la pieza en un extremo de tal manera que tenga espacio para maquinar las medidas que se muestran en el dibujo, como se muestra en la figura 24.

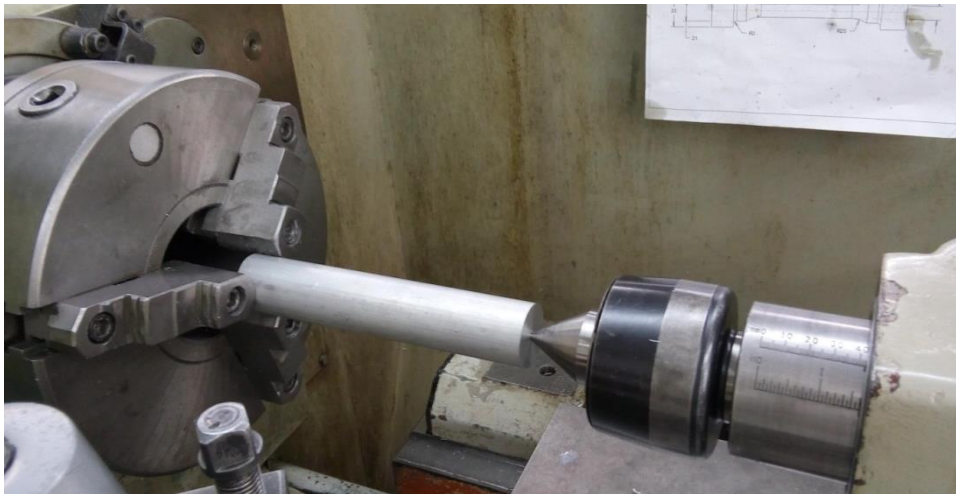


Figura 24. Tocho montado para maquinar.

Acto siguiente consta en rebajar los diámetros desde el mayor hasta el menor con los buriles cuadrado y de uña, sin contar con los radios del alambre, como se muestra en la figura 25.



Figura 25. Rebajamiento de diámetros.

Después, con el buril de radios se crea la ranura del extremo derecho, hecho esto se retira la pieza y se monta desde el otro extremo, desbastando el diámetro que falta y dando su longitud final. Con el buril de radios se crea la ranura faltante, que es ahora el del lado derecho, desbastando el diámetro del alambre, como se muestra en la figura 26.



Figura 26. Ranuras de radios.

Se retira la pieza y se verifican medidas del dibujo con un vernier. Finalmente se obtiene el modelo mostrado en la figura 27.



Figura 27. Modelo finalizado.

3.6 Fabricación del horno

La elaboración del horno se realizó con ladrillo y cemento convencional, esto se hizo ya que su bajo costo lo hace accesible. Además, es requerido para guardar calor de la llama con la que se está alimentando y envuelva el crisol.

3.6.1 Materiales y herramientas

Los materiales y herramientas utilizados son:

- 30 Ladrillos
- 4 Ladrillos planos
- 6kg de cemento
- Arena para construcción (aproximadamente 10 kg)
- Arena y piedra suelta para rellenar la base
- Paleta y cucharón de albañil
- Colador y malla para refinar la arena
- Cajón para mezcla de cemento
- Pala para construcción

3.6.2 Ubicación

Debido a que se trabaja con gas LP es importante tener un espacio abierto para evitar concentraciones de gas en dado caso que exista alguna fuga y el personal no se percate, esto es para evitar intoxicación y/o alguna explosión que esta pueda generar.

Así mismo, las temperaturas con las que se trabajan son altas y aunque se tenga el equipo de seguridad necesario, se necesita de un espacio en donde la persona que opera tenga libertad de maniobrar sin ningún tipo de obstáculo u obstrucción.

3.6.3 Construcción del horno

El horno debe tener una base como se muestra en las figuras 28 y 29, para que no tenga contacto directo con el suelo, debido a que se filtra el calor hacia la superficie y es construido sobre concreto, esto evita pérdidas de calor y que no rompa o cuarté el piso.



Figura 28 Base de horno con relleno de arena.



Figura 29. Base de horno terminada.

Se procede a construir el resto del horno de manera vertical, dejando un espacio para la alimentación del fuego como se muestra en la figura 30. Se construyó con una ligera pendiente en dos de las paredes del horno, de manera que queden los ladrillos escalonados para que el calor se concentre en la parte superior del horno y así poder aprovecharlo de una manera más eficiente.



Figura 30. Horno terminado.

Finalmente para cubrir el horno se dispuso de ladrillos mostrados en la figura 31, lo cual mejora su movilidad a la hora de meter el material y retirar el crisol.



Figura 31. Ladrillos que sirven de tapa para el horno.

Como ya se ha mencionado, el tamaño del horno es pequeño ya que la cantidad de material a fundir es medido en gramos, a diferencia de un horno grande a nivel industrial que es medido en toneladas, la probeta no requiere más de medio kilogramo. El horno tiene una medida aproximada de 50 x 50 x 31 cm, mostrado en la figura 32.



Figura 32. Ancho y alto del horno de 50 x 31 cm aproximados.

3.7 Herramientas para fundición soldadas

El crisol y las herramientas necesarias para poder fundir pueden ser fabricados desde pedacería de acero o alguna aleación, es importante retomar que el acero cuenta con un punto de fusión mayor al del aluminio que es de 1538 °C, por lo cual es posible fundir aluminio con este elemento. Así mismo, este elemento puede ser conseguido con facilidad como en herrerías y a bajo costo.

3.7.1 Crisol

El crisol se hizo de acero, ya que la cotización de un crisol cerámico para este proyecto puede ser costado alrededor de mil pesos, en cambio la pedacería es fácil de conseguir y es más económico a comparación de un cerámico.

Se soldó un pedazo de acero en forma cubica con una solera para la base, su mango y una pestaña para su soporte en el horno, mostrado en la figura 33.



Figura 33. Crisol con mango.

3.7.2 Herramientas

Para las herramientas es el mismo principio que el crisol, pero estas nos sirven para poder mover la fundición con una varilla así como quitar la escoria con un cucharón, mostrado en la figura 34.



Figura 34. Cucharón para escoria.

3.8 Realización de moldes

Con el modelo listo, para realizar el molde se utilizó el método de arena, que consiste en crear los moldes a partir del modelo con arena sílica con mezcla de bentonita y un porcentaje bajo de humedad.

3.8.1 Materiales y herramientas

Los materiales y herramientas a utilizar son:

- Arena sílica (bulto de 50 kg).
- Bentonita (bulto de 50 kg).
- Agua.
- Cajas de madera para moldeo. Figura 35
- Pala pequeña para mover la arena.
- Barra de acero cilíndrica plana de un lado para apisonar.
- Solera que sirve como barra niveladora para quitar exceso de arena de la caja.
- Cilindro o martillo de goma para introducir modelo en molde.
- Pequeña charrasca o cuchara para detalles finales de molde.
- Pernos para hacer la alimentación de la fundición en el molde.



Figura 35. Cajas de moldeo de madera (superior e inferior).

3.8.2 Preparación de arena

Primero es importante tener la mezcla de la arena verde que consiste en arena sílica mostrada en figura 36, entre 8% y 15% de bentonita, mostrada en figura 37 y entre 2% y 8% de agua.



Figura 36. Arena sílica.



Figura 37. Bentonita.

La consistencia de la mezcla debe ser homogénea mostrada en la figura 38, una vez lista la mezcla toma una forma pastosa pero maleable, de tal manera que su estructura tomé la forma deseada, en este caso nuestro modelo.



Figura 38. Arena y bentonita mezcladas con agua.

3.8.3 Moldeo de probeta

Una vez teniendo las herramientas listas se puede proseguir con los moldes. A continuación se toma la caja inferior y se coloca en una superficie plana y limpia donde se pueda trabajar. Se agrega la arena preparada dentro del cajón para ser apisonada como se muestran en las figuras 39 y 40.



Figura 39. Arena en cajón inferior.



Figura 40. Apisonando la arena.

Se sigue llenando y apisonando hasta llegar a la superficie y después con la solera, se remueve el exceso de arena como se muestra en la figura 41.



Figura 41. Quitando el exceso de arena.

Una vez lista la caja inferior, se coloca el modelo con una ligera inclinación y con el cilindro o el martillo de goma, se inserta en la arena hasta la mitad de manera cuidadosa. Después solamente se comprime la arena alrededor del modelo para quitar imperfecciones (Figura 42).



Figura 42. Introducción de modelo en molde.

Posteriormente se coloca la parte superior de la caja de moldeo y se vierte una capa de arena seca para que a la hora de apisonar la arena de la parte superior no se pegue con la parte inferior (Figura 43).



Figura 43. Colocación de cajón superior y arena seca.

Se colocan los pernos de alimentación en los extremos del modelo y se rellena con más arena preparada y se apisona hasta llegar al tope de la caja (Figura 44).



Figura 44. Pernos de alimentación y relleno con arena preparada.

Una vez apisonada la arena, se retiran los pernos y con la solera quitamos el exceso de arena para que quede plano. En seguida se crea con la charrasca o cuchara una entrada cónica en los alimentadores del molde (Figura 45).



Figura 45. Quitando exceso de arena y creando entrada cónica.

Se abren las cajas cuidadosamente y en seguida se extrae el modelo hacia arriba para evitar que se golpeará y se agrande a lo largo. Es probable que existan imperfecciones en el molde ya que la arena se puede llegar a desprender de la superficie de la cavidad a la hora de retirar el modelo, por eso el molde deberá ser más grande que más pequeño para evitar falta de material en el producto final (Figura 46).



Figura 46. Separando los cajones inferior y superior.

Finalmente, se crean conductos que den desde los canales principales hasta la cavidad del modelo para que llene en su totalidad la fundición. Con esto se finaliza el molde mostrado en la figura 47.



Figura 47. Molde finalizado.

3.9 Equipo de seguridad utilizado

En los procesos donde se manejan temperaturas altas, debe constar de equipamiento de seguridad para quien esté operando la fundición, así que aquí se mencionan los componentes utilizados en el proceso.

3.9.1 Equipo y sus características

El equipo usado consta de las siguientes partes:

- Guantes térmicos: estos guantes son usados para trabajos en caliente ya que no solo cubre la mano, si no también parte del antebrazo llegando cerca del codo.
- Peto: el peto sirve para no recibir la temperatura del horno en el área torácica así hasta las piernas.
- Botas con casquillo: estas protegen los pies de elementos que puedan caer por accidente sobre ellos.
- Careta: esta careta gracias a su transparencia tenemos buena visibilidad y a la vez protección de la emisividad del horno al estar operando.
- Cubre boca: el cubre bocas es para evitar recibir tantos gases emitidos por el horno a la hora de quemar los contaminantes que en el aluminio se encuentran.

3.10 Preparación del horno

El horno necesita una preparación, como son el control del gas y una temperatura previa a la fundición.

3.10.1 Equipos de gas LP

Para poder alimentar el horno con una llama controlable, se cuentan con un tanque de gas LP de 20 kg y un soplete. El soplete tiene una manguera de 1.80 m de largo y una boquilla a la que se conectará al tanque, cuenta con un regulador y dos boquillas para controlar la llama, mostrados en la figura 48.



Figura 48. Tanque y soplete.

3.10.2 Calentamiento del horno y crisol

Como ya se ha mencionado, se calentó el horno previamente, esto con el fin de quitar humedad del ambiente que tenga. El crisol también es calentado para que el aluminio añadido se funda con mayor facilidad; a su vez, este se cura con ácido bórico que sirve como fundente y quitar impurezas mientras se esté fundiendo

3.11 Proceso de fundición

En este apartado se explica cómo es el proceso de fundición que se realizó, así como todas las precauciones y métodos empleados.

3.11.1 Desperdicio de aluminio

En el laboratorio de Ingeniería Mecánica de FI-BUAP se maquinan piezas de aluminio, generando viruta mostrada en la figura 49, esta es almacenada para posteriormente ser tirada a la basura, es por eso que se encomendó la tarea en este proyecto de darle un uso, el cual es reusarlo para otras piezas.



Figura 49. Viruta de aluminio.

En el momento de maquinar, se requiere de un lubricante o solvente para evitar fricción y calentamiento y el corte sea considerable, sin embargo, al retirar la viruta para ser almacenada se guarda con ese solvente, es decir, el aluminio no está limpio.

3.11.2 Alimentar el crisol con material

Ahora el horno es sometido a una llama más potente que cuando se precalentó, al punto en el que la llama tenga un sonido fuerte y constante para lograr la temperatura de fusión del aluminio. Los residuos que quedan en el material son quemados en el horno mientras este se va fundiendo; la viruta es muy voluminosa y es por eso que se debe agregar paulatinamente mientras se va fundiendo como se muestra en la figura 50.



Figura 50. Fundiendo viruta.

Mientras el aluminio se va fundiendo, se va agregando más viruta y ácido bórico por las impurezas y también ayuda a que no haya porosidad a la hora de enfriar, con la ayuda del cucharón y una varilla se mueve para que tenga una mezcla más homogénea. (Figura 51)



Figura 51. Mezclando viruta y ácido bórico.

Una vez teniendo la cantidad necesaria para la probeta, se tapa el horno con ladrillos y se deja reposar el aluminio con la misma llama alta con la que se inició de 10 a 15 minutos, esto con

el fin de que la escoria suba a la superficie de la fundición creando una pequeña capa. En seguida, con el cucharon se retira esta capa de escoria hasta que el crisol tenga en su mayoría aluminio líquido. (Figura 52)



Figura 52. Aluminio fundido.

Una vez que se ha retirado la escoria, se vuelve a tapar el horno y se deja reposar por 5 minutos más.

3.11.3 Verificación de temperaturas

Para tomar lecturas de temperatura se utilizó el equipo termográfico Flir T440 mostrado en la figura 53. Estas lecturas fueron tomadas en las primeras fundiciones para verificar la temperatura en la cual el aluminio pasa de ser sólido a líquido y a cuanta temperatura se mantiene el horno.



Figura 53. Equipo termográfico Flir T440.

3.11.4 Fundición a molde

Con el aluminio fundido ahora se prosigue verterlo en el molde. Primero se debe colocar el modelo en una posición que no está alejado del horno para evitar algún incidente aproximadamente 1.50m, retiran los ladrillos que tapan al crisol y el horno, enseguida se retira el crisol del horno y se vierte el aluminio por el bebedero de alimentación del molde hasta que el aluminio alcance la superficie por la mazarota como se muestran en las figuras 54, 55, 56 y 57.



Figura 54. Distancia entre horno y modelo.



Figura 55. Retirando el crisol del horno.



Figura 56. Vertiendo aluminio en molde.



Figura 57. Aluminio alcanzando la superficie por la mazarota.

3.11.5 Enfriar y retirar pieza

El aluminio ya en el molde aún conserva temperatura alta, se debe dejar reposar y enfriar en temperatura ambiente para evitar alguna deformación y poderla maniobrar, esto es alrededor de 15 minutos desde la fundición.

Una vez ha pasado el tiempo, se puede retirar la parte superior de la caja de moldes y observar la pieza como en la figura 58.



Figura 58. Separación de molde.

Posteriormente se retira la pieza de la arena destruyendo el molde, se debe hacer esto con precaución ya que la pieza como la arena aún puede tener una temperatura alta. La arena del molde es reutilizable, es por eso que es recomendable hacer este paso en algún recipiente para que la arena no adquiera contaminantes o basura y pueda afectar futuros moldeos. (Figura 59)



Figura 59. Destruyendo el molde.

3.12 Maquinado de pieza fundida

Como se ha mencionado, al modelo se le dio tolerancias de maquinado, esto con la finalidad de que tenga mayor exactitud en sus medidas y mejor acabado superficial. En este apartado se muestran los pasos utilizados, ya que por los excesos de material, la probeta no es totalmente cilíndrica y no tiene un eje en el cual se pueda basar a la hora de ser maquinada.

3.12.1 Retirar excesos de aluminio

Ya que la pieza cuenta con excesos de material al salir del proceso de fundición, como son los conductos de alimentación, se deben retirar con una segueta y con una lima rebajarlos al límite de la circunferencia de la pieza de tal manera que queden como en la figura 60.



Figura 60. Pieza sin exceso de aluminio.

3.12.2 Pasos a seguir para el maquinado de probeta fundida

Utilizando el torno horizontal convencional y su herramienta para hacer los modelos, fueron aplicados para maquinar la pieza fundida. La pieza no cuenta con un eje apropiado para ser maquinado, es por eso que se tomaron los siguientes pasos para darle dicho eje. Es importante mencionar que el chuck del torno usado es de tres mordazas, si fuera de cuatro complicaría el proceso ya que por la irregularidad de la superficie es posible que no sea sujetado por todas las mordazas.

PASO 1: la pieza es sujeta por el chuck desde el alambre, se carea de un lado, se barrena con la broca de centros y el anillo de dicho extremo es rebajado hasta que se note el maquinado en toda la superficie, sin llegar a su medida final, como referencia son 2mm antes de la distancia final (Figura 61).

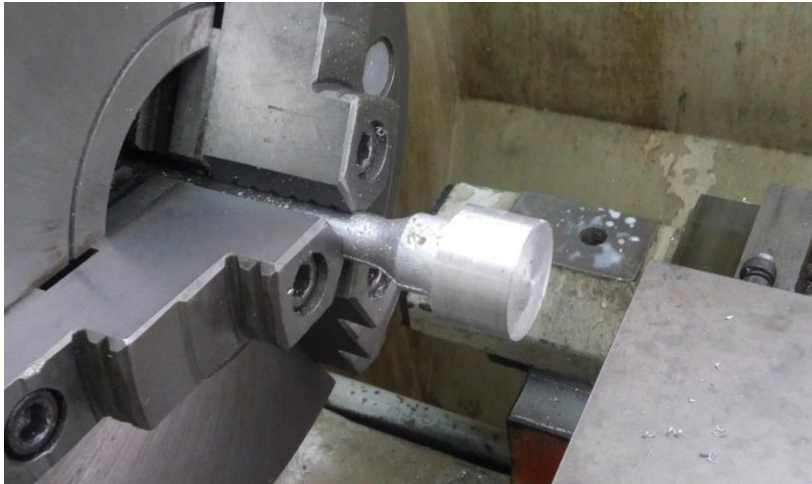


Figura 61. Paso 1.

PASO 2: se desmonta la pieza y se invierte el sentido, se sujeta nuevamente del alambre y se carea del extremo restante, se hace su barreno con la broca de centros (Figura 62).

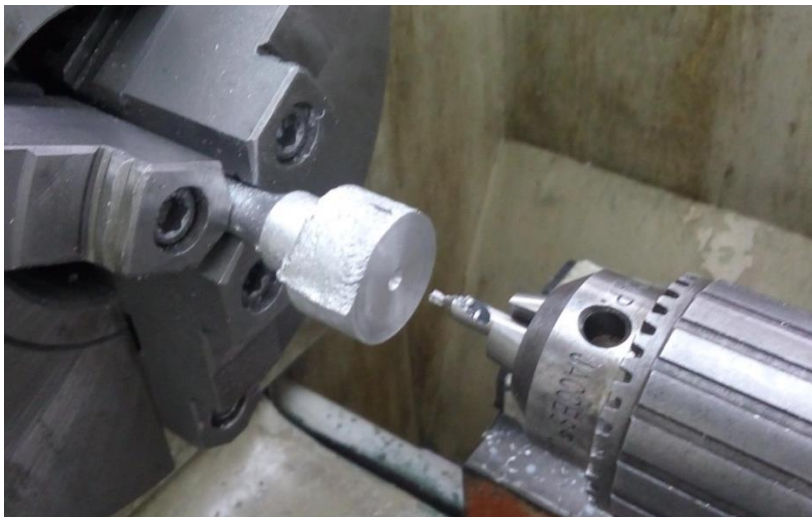


Figura 62. Paso 2.

PASO 3: la pieza es montada en el chuck del extremo del anillo que ya ha sido rebajado y se coloca con el contrapunto para poder maquinar el resto de la pieza. En cuanto al alambre solo se rebaja dejándole 1mm más del diámetro final, esto es debido a que no se deje el alambre delgado mientras se maquinar el resto de la pieza; el radio y cuello son maquinados respecto a su distancia final. (Figura 63)

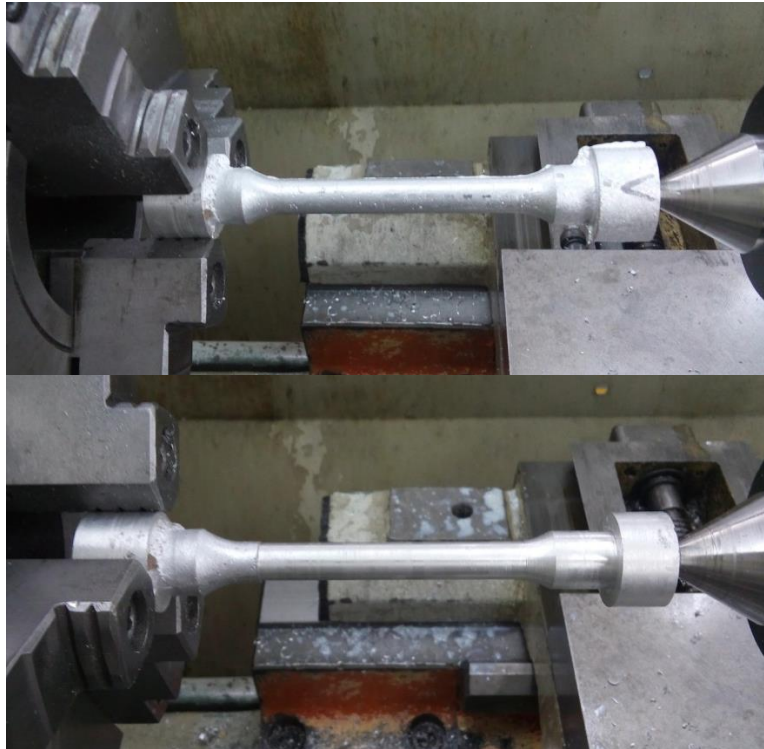


Figura 63. Paso 3.

PASO 4: se voltea la pieza, se cubre con una hoja para no dejar marcas de las mordazas y se maquina las últimas partes restantes que son el anillo rebajado, el cuello, el radio y el alambre (Figura 64).

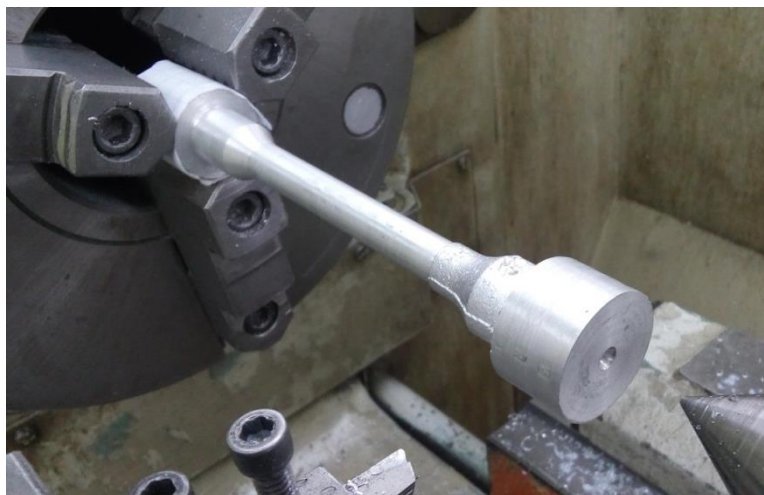


Figura 64. Paso 4.

PASO 5: finalmente, se voltea la pieza y se sujeta del extremo cubriéndola de papel y se maquina el radio y parte del alambre restante.

3.12.3 Verificación con el vernier

Finalmente, la pieza maquinada es verificada con un vernier y el dibujo del producto final observando que la probeta ha sido fabricada satisfactoriamente.

CAPÍTULO IV. Resultados y discusiones del proceso de fundición

4.1 Modelo

El modelo empleado fue hecho con aluminio, ya que a comparación de otros metales y aleaciones como el acero, es más fácil de manejar y maquinarse. Este modelo mostrado en la figura 65 presentó resultados favorables gracias a que el tamaño del molde no exigía un tamaño mayor de un modelo y el número de modelados era limitado.

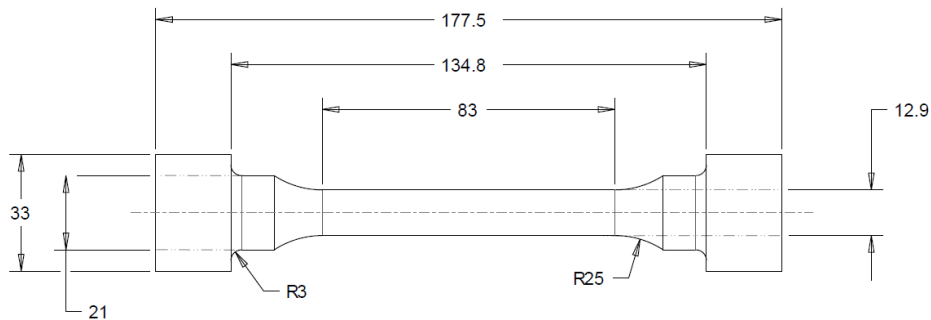


Figura 65. Modelo con su respectivo dibujo.

4.2 Molde

De igual manera que el modelo, la producción de piezas fundidas fueron relativamente pocas, los cajones de moldeo no aguantan un lote mayor ya que estos están reforzados con clavos y pegamentos, ya que el poder abrasivo de la arena los va desgastando. Al mismo tiempo, la humedad de la arena va siendo absorbida por la madera en cada proceso por lo que se hincha, haciendo que los cajones sean desechados en un número de 30 piezas consideradas aproximadamente.

En cuanto a la arena, gracias a que esta arena es especial para fundición, es sencillo de maniobrarla y modelarla, sin embargo, al momento de apisonarla debe ser constante y fuerte, ya que de no ser así, se pueden notar imperfecciones en la cavidad del modelo haciendo que la

pieza fundida tenga excesos o falta de material, como se muestra en el apartado de defectos e imperfecciones.

Una vez obtenido el molde, eran necesarios los conductos de alimentación para alimentar la probeta. Estos son hechos a mano con una charrasca o una cuchara, pero la arena aún es delicada y se puede llegar a deformar la cavidad del modelo o la arena se desprenda, es por eso que debe ser manejado con cuidado y precaución para no dañarlo como se muestra en la figura 66.

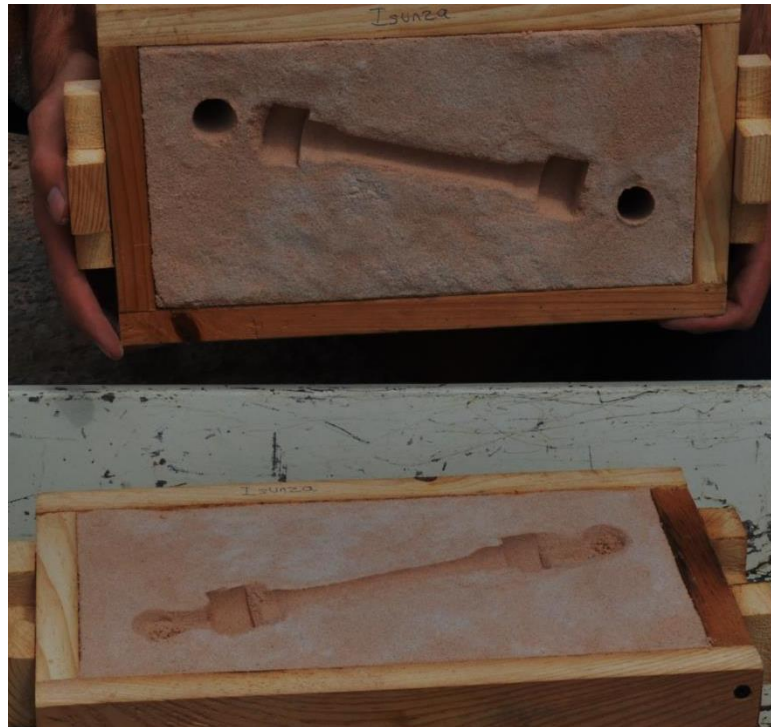


Figura 66. Molde utilizado.

4.3 Horno y sus altas temperaturas

El horno funcionó como se estaba planeado, gracias a la cantidad que fue necesario fundir, su tamaño lo hizo práctico y eficiente, a pesar de que la construcción no haya sido con material refractario, el ladrillo convencional presentó buenos resultados ya que su función era retener la llama y concentrar el calor hacia el crisol.

Para verificar la temperatura del horno al estarlo precalentando y fundiendo, se utilizó la cámara termográfica Flir T440 y se pudo observar su temperatura en su respectivo momento como se muestra en las siguientes figuras 67 y 68.

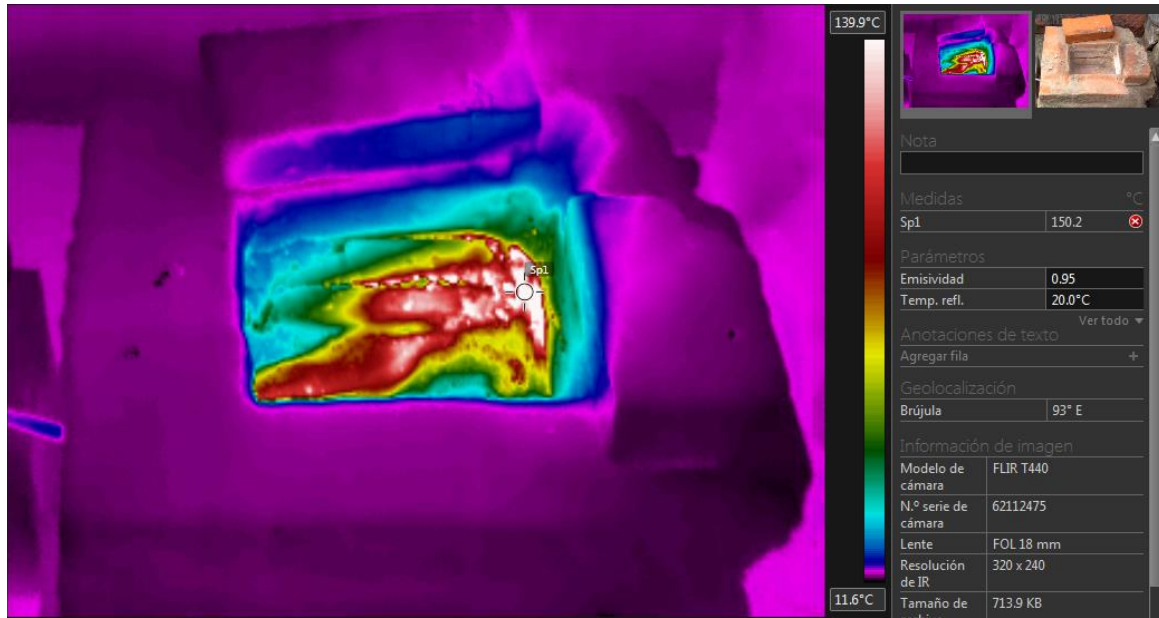


Figura 67. Temperatura de horno, punto más caliente.

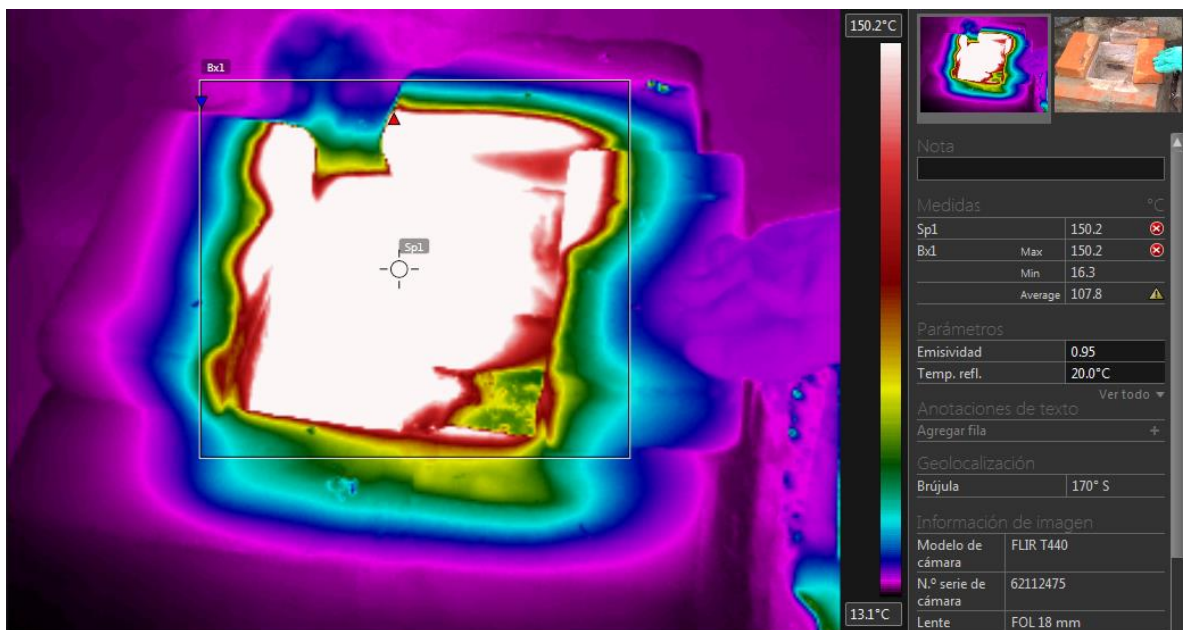


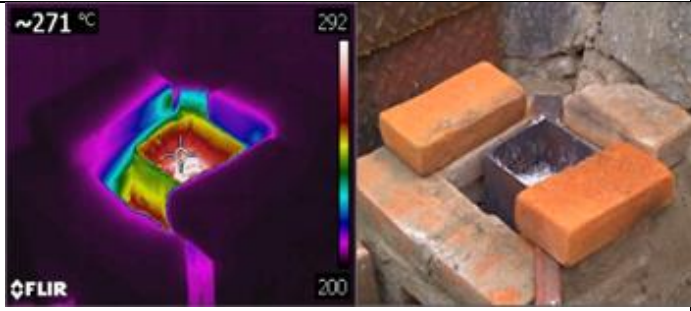
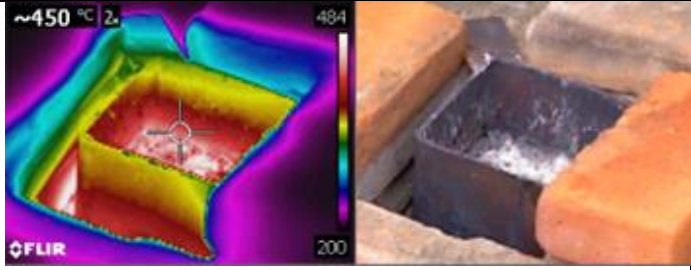
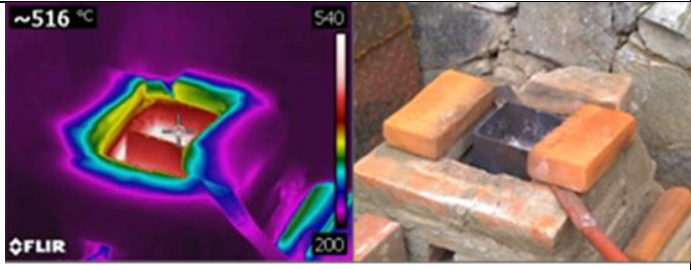
Figura 68. Temperatura de horno, temperatura distribuida.

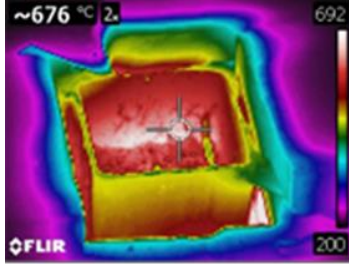

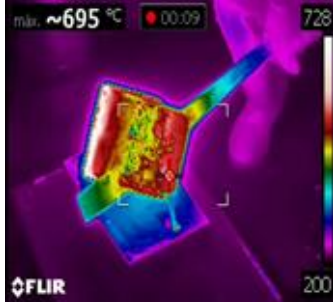
4.4 La Fundición

Una vez que el horno está en un punto elevado de temperatura y la llama es constante, la fundición no fue un problema, ya que la viruta de aluminio por su forma voluminosa, la transferencia de calor es más rápida.

Las temperaturas mientras alcanzaban el punto de fusión del aluminio fueron registradas también con el equipo Flir T440, aquí se pudo comprobar que el aluminio se funde arriba de 660 °C, siempre y cuando la llama sea constante y se mantengan las condiciones del horno lo más aisladas posibles del medio exterior. Por ello, se esperó a que la temperatura superara los 700 °C para que el enfriamiento del aluminio no fuera tan repentino con la del medio ambiente al momento de verter la fundición en el molde. Se tomaron varias fotografías en un periodo de tiempo que se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Registro de temperaturas en el momento de la fundición.

Tiempo de la fotografía (min)	Temperatura a máxima registrada °C	Temperatura dentro del crisol y aluminio °C	Fotografía
0	292	271	
11	484	450	
22	540	516	

33	692	676	 
43	728	695	

En el último registro de la tabla anterior, se tomó la temperatura del aluminio fundido cuando se está vertiendo en el molde, esto con el fin de saber cuál es dicha temperatura en este paso.

A la hora de mezclar el ácido bórico con la fundición se hizo con una varilla de fierro, esto con el fin de ayudar a la convección de la fundición de tal manera de hacerla más uniforme, sin embargo, en algunas ocasiones el aluminio se mezclaba con la escoria y arrojaba algunas imperfecciones en la pieza, estos detalles se encuentran en el apartado de imperfecciones.

Las piezas que presentaron mejores resultados sin falta de material, al momento de fundir y una vez que se retiraba la escoria lo más posible, el aluminio se dejaba reposar en el horno con una temperatura constante durante 10 minutos más, esto es para separarlo de algún otro contaminante más espeso o pesado a las orillas del crisol. Con esto el aluminio se encontraba aún más líquido y manejable.

Una vez teniendo la fundición lista, se vertió en el molde llenando la cavidad con el aluminio hasta subir por el otro canal y se dejó enfriar y reposar por 20 minutos. Gracias a la forma cuadrada del crisol, se facilita el verter por medio de una esquina que sirve como boquilla o pico. El mango largo del crisol también lo hace fácil y principalmente seguro de manejar.

Una vez que las piezas ya estaban a temperatura ambiente, o al menos a una temperatura que ya sea manejable, se retiraron de su molde teniendo la pieza fundida. (Figura 69)



Figura 69. Comparación de modelo con pieza fundida.

4.5 Maquinado final

El maquinado final fue más complejo de realizar, ya que por el exceso de aluminio e imperfecciones que tenía, no contaban con un eje simétrico perfecto, de tal manera que se buscó la manera de encontrarlo. Como se explica en el apartado de maquinado de pieza fundida, se tomó desde el alambre con un chuck de tres mordazas, ya que con el de cuatro era más probable que no se sujetara bien.

Como ya se ha mencionado, se pudieron notar algunas imperfecciones, e incluso a la hora de maquinar estas piezas, el material era más dúctil y delicado, al punto en que no se podía ejercer mucha presión ya que se podían deformar y el maquinado debía ser aún más lento a comparación de un tocho.

Finalmente, la pieza final salió satisfactoriamente con las medidas requeridas y para verificar el eje de la pieza se utilizó un dispositivo para encontrar su centro, en este la pieza se monta desde los barrenos de centro y se hace girar. Al hacerlo girar, debe notarse que no cabeceé, es decir, la simetría axial debe ser constante como se muestra en la figura 70.

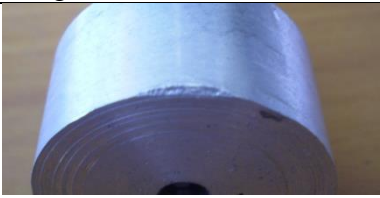




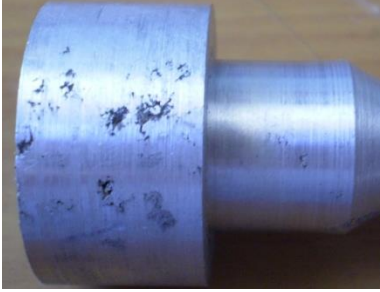


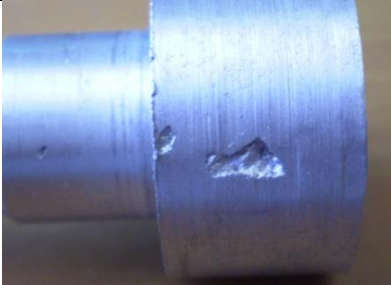
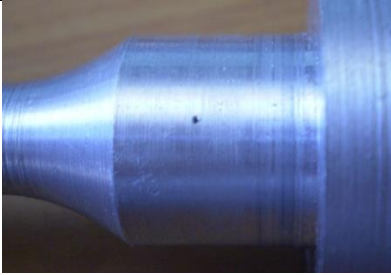
Figura 70. Probeta montada en el buscador de centros.

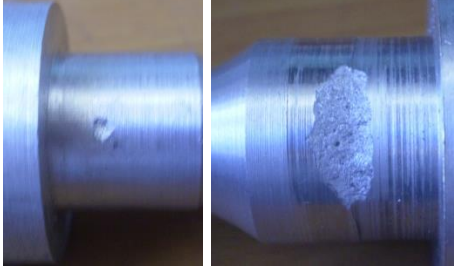


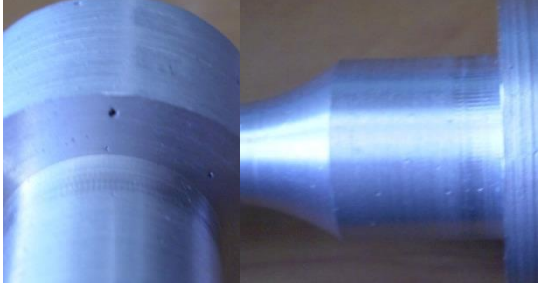
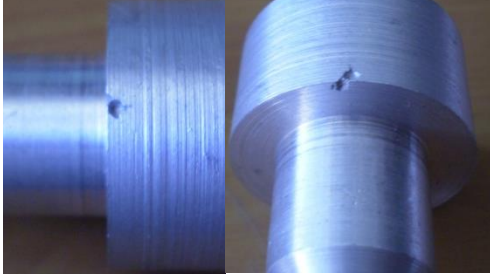
4.6 Imperfecciones

Las imperfecciones se registraron a partir de seis piezas fundidas y maquinadas, esto con el fin de mostrar que aunque el proceso se repita, pueden existir variantes que afecten futuras fundiciones. Para entender mejor la locación de las imperfecciones en la tabla 7, las partes de la probeta se encuentran en la figura 16.

Tabla 7. Imperfecciones en seis probetas fundidas.

# Probeta	Gramos	Defecto	Fotografía del defecto
1	100	Falta de material en orilla de tapa.	
2	96	Falta de material en orilla de tapa.	
		Pequeñas incrustaciones en lo largo del cuello.	

		Pequeñas incrustaciones en las tapas.	
3	99	Incrustaciones de escoria y arena en lo largo del anillo.	
		Incrustación de escoria en cuello y radio.	
		Incrustaciones y manchas de escoria en lo largo del cuello, anillo y radio.	
		Incrustación de arena en lo largo del anillo.	
4	98	Pequeña incrustación.	

5	102	Incrustación y falta de material en los cuellos.	
		Incrustación de escoria en tapa.	
6	100	Incrustación de escoria en tapa.	
		Incrustación de escoria y arena a lo largo del anillo, contra-tapa y cuello.	
		Incrustación de arena y falta de material en orilla de contra tapa.	

CONCLUSIONES

El modelo fabricado hecho de aluminio cumple con la demanda para este proyecto, gracias a su maquinabilidad y bajo costo lo hace un material bastante accesible, ya que en comparación de metales como el acero, su resistencia para la producción de moldes es la necesaria y suficiente.

La mezcla de arena con bentonita la hacen un material ideal para los moldes de bajas producciones. Ya que el moldeo conlleva un proceso, puede ser tardado cuando no se tiene la experiencia necesaria para crearlos.

La fundición en el horno lo hace ideal para la producción baja y de poco material, ya que el tamaño del horno y del crisol abastecen cantidades de más del triple de una probeta sin maquinar, esto es aproximadamente 1.5 kilogramos sin contar con la escoria.

El maquinado de la pieza fundida fue más delicado ya que el material se encontraba más dúctil, es decir que el aluminio se encuentra con propiedades más bajas que las de un tocho antes del maquinado. Esto es debido a que su composición es distinta, ya que la cristalización en la fundición se genera durante la solidificación, en cambio los tochos que son maquinados para las probetas, son extruidos y el flujo de los cristales están acomodados distintos al de una fundición.

Las imperfecciones que se presentaron en las probetas fundidas revelan que en el proceso la escoria juega un papel importante, si no es retirada en su totalidad afecta al producto final, como en su acabado superficial, faltas de material e incrustaciones de escoria.

Ya que este fue un proyecto de demostración del proceso de fundición, sería conveniente realizar pruebas de tensión con dichas probetas y realizar el diagrama esfuerzo-deformación.

Cuando existe un proyecto inicial, cabe la posibilidad de ampliarlo a diferentes ramas y puntos. Dicho esto, la continuación del proyecto para futuros interesados es el de crear coladas y aleaciones de los diferentes metales, con puntos de fusión que no sobrepase los 1000 °C si se planea seguir utilizando el crisol de acero. De lo contrario, al usar un crisol refractario de fundición, soportan temperaturas mayores que el punto de fusión del acero, siendo de 1538 °C, haciendo diferentes aleaciones con los metales que se pretenda estudiar.

El mejorar este proceso también es un tema a seguir, como podría ser el de toma de tiempos y cantidades variantes entre procesos de la fundición como son el precalentado, el añadimiento de material y el del fundente utilizado, así como el de tomar distintas fuentes de materia prima, como podría ser el de latas de aluminio.

Otra recomendación es la de aplicar tratamientos térmicos a las probetas que han sido fundidas y maquinadas, observando el comportamiento de estas a la hora de hacer pruebas de tensión, verificando si el diagrama es similar al maquinado de una probeta de tocho de aluminio.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. C. Black, V. Chiles, A.J. Lissaman, S.J. Martin, Principios de ingeniería de Manufactura, Primera edición en español, Compañía editorial continental, S.A. de C.V. México D.F. (1999)
- [2] B. H. Amstead, Procesos de Manufactura, Mexico: Grupo patria cultural S.A. de C.V. (2000)
- [3] Melting point. Dictionary of Metals. ASM International. Online version available at: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpDM00000A/dictionary-of-metals/dictionary-of-metals> (2012)
- [4] Marcel Dekker AG, Modeling for casting and solidification processing, New York (2002)
- [5] Serope Kalpakjian, Steven R. Schmid, Manufacturing Engineering and Technology, Fifth edition, Pearson Educaciton, Inc. Prearson Prentice Hall. United States of America. (2006)
- [6] James Newell, Ciencia de Materiales Aplicaciones en Ingeniería, primera edición, Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. (2011)
- [7] José Antonio Pero-Sanz Elorz, Ciencia e ingeniería de materiales, cuarta edición, CIE INVERSIONES EDITORIALES – DOSSAT 2000 (2000)
- [8] Carl A. Keyser, Ciencia de materiales para ingeniería, primera edición, Editorial Limusa-Wiley, S.A. (1972)
- [9] H.S. Bawa, Procesos de manufactura, Primera edición en español, McGraw-Hill/Interamericana editores, S.A. de C.V. (2007)
- [10] http://tecnologiadetalleriuteb.blogspot.mx/2008/08/tecnologa-de-taller_01.html (2016)
- [11] <http://www.flir.com.mx/instruments/display/?id=56784> (2016)
- [12] http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_524.pdf (2016)
- [13] <http://www.metalinsumos.com/descarga/seguridad.pdf> (2016)
- [14] <https://gtrevino.files.wordpress.com/2012/02/moldesydados1.pdf> (2016)
- [15] John A. Schey, Procesos de manufactura, tercera edición, McGraw-Hill/Interamericana editores, S.A. de C.V. 2002
- [16] <http://www.ptc.com/cad/pro-engineer> (2016)