

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA CENTRÍFUGA PARA  
FUNDICIÓN CON FINES DIDÁCTICOS**

PRESENTADO POR:

**DANIEL ISAAC ANCHETA GARZA  
OSEAS JONATAN MOLINA RIVAS**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO MECÁNICO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, JUNIO DE 2023

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR :**

**M.Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

**SECRETARIA GENERAL :**

**Ing. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**DECANO :**

**Dr. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA**

**SECRETARIO :**

**Ing. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DIRECTOR INTERINO :**

**Ing. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Título :

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA CENTRÍFUGA PARA  
FUNDICIÓN CON FINES DIDÁCTICOS**

Presentado por :

**DANIEL ISAAC ANCHETA GARZA  
OSEAS JONATAN MOLINA RIVAS**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

Dr. y M.Sc. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ

San Salvador, junio de 2023

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

Dr. y M.Sc. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza, también porque su fidelidad y amor han estado conmigo siempre, “todo se lo debo a él”.

A toda mi familia, principalmente a mis Padres que han sido mi apoyo en todo momento, que ayudaron a forjar a la persona que soy ahora y me enseñaron a afrontar las dificultades sin perder la cordura y sobre todo a amar a Dios y a las personas.

A mi tía, Mirna Garza Quiñonez que me apoyó en una etapa crucial de mi vida.

*Daniel Isaac*

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, José Luis Molina y Celia Rivas por el esfuerzo que cada uno de ellos han hecho en el transcurso de este camino, por el incondicional apoyo, por el sacrificio que, con todo su amor, hicieron desde el inicio hasta el final de esta etapa, por los principios que desde niño me inculcaron y el ejemplo que aún me siguen transmitiendo.

Dedico, también este logro a todos mis hermanos, quienes forman una importante parte de mi vida, porque también ellos se esforzaron para la consecución de este logro.

*Oseas Jonatan*

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por haberme dado la vida, guiado y acompañado durante el proceso de formación académica y haberme otorgado el entendimiento y la razón, ya que sin él no hubiese logrado este triunfo.

A mis padres, Haydee Consuelo Garza de Ancheta y Cayetano Ancheta Escalante, por todo su apoyo incondicional, quienes con amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mi hermana, Elvia Raquel Ancheta Garza, a quien quiero por ser fuente de inspiración y motivación para salir adelante, por darme su apoyo incondicional y estar siempre conmigo en las buenas y en las malas.

A mis tíos, por darme siempre su apoyo moral y económico. Especialmente a mi tía Mirna Garza Quiñones que me ayudo cuando más lo necesité.

A todos los docentes que me acompañaron en todo mi proceso de formación académica, gracias por compartir su conocimiento y ayudarme en mi crecimiento como profesional.

A nuestro asesor, Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz, quien, durante todo este proceso, con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

*Daniel Isaac*

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por la misericordia que hasta hoy ha tenido conmigo.

A mis padres por apoyarme incondicionalmente, a pesar de las muchas adversidades que se presentaron en el camino, no dejé de sentir su motivación y confianza en ningún momento.

A mi hermano, Oseas Ezequiel Molina, porque fue mi apoyo en gran parte de este proceso, por estar pendiente y estar dispuesto en ayudarme en muchas circunstancias en que lo necesité.

A mis hermanos por su confianza, tolerancia y apoyo, sus esfuerzos en mi favor fueron notables en el transcurso de este camino.

A los docentes de la carrera que me transmitieron de su conocimiento con gran profesionalismo y seriedad.

Al Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz por haberme brindado su instrucción y asesoría de una manera muy profesional y por, no solo ser un gran docente, sino también un gran amigo.

*Oseas Jonatan*



# PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA CENTRÍFUGA PARA FUNDICIÓN CON FINES DIDÁCTICOS

Estudiantes: Brs. Daniel Isaac Ancheta Garza<sup>1</sup>, y Oseas Jonatan Molina Rivas<sup>2</sup>

Docente asesor: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz<sup>3</sup>

Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura,  
Universidad de El Salvador

## RESUMEN

Se ha realizado una propuesta de diseño mecánico de una centrífuga cuya finalidad es la fundición o colado de elementos mecánicos pequeños y delgados. Así, se ha considerado tanto aspectos prácticos, como también de conceptos teóricos de procesos de fabricación, lo cual se logró mediante la recopilación bibliográfica y descriptiva tanto de las diversas máquinas de fabricación centrífuga de piezas, así como también de los resortes en lo que respecta su clasificación y funcionamiento, dando como resultado la correcta selección de las variables utilizadas para la propuesta de diseño, y aplicando todo lo referente a teorías de fallas y selección de los diversos materiales para cada uno de sus componentes, lo cual permite asegurar su correcto funcionamiento cuando se construya dicha centrífuga. Posterior, se presenta la descripción de la construcción de cada uno de sus elementos de forma detallada con el fin de ser una guía de construcción asertiva y su correcto ensamble. Seguido de esto, se incluye el análisis de costos y una comparación de rentabilidad de la centrífuga propuesta en función de una máquina totalmente nueva. Como punto final se incluyen los diversos planos de conjunto, sub conjunto y detalle.

**Palabras claves:** Resorte espiral; Fuerza centrífuga; Fundición; y Colada.

---

1 disaac.an@gmail.com

2 oseasjonatan@gmail.com

3 jonathan.berrios@ues.edu.sv

# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	1
1. MARCO TEÓRICO .....	3
1.1. Antecedentes.....	3
1.1.1. Inicios y evolución de los procesos de fundición a la cera perdida .....	3
1.2. Proceso de fundición .....	7
1.3. Tipos de fundición.....	8
1.3.1. Procesos de fundición realizados en molde no permanente .....	8
1.3.2. Procesos de fundición en moldes permanentes .....	17
1.4. Fundición centrífuga .....	24
1.4.1. Fundición centrífuga real.....	24
1.4.2. Fundición semicentrífuga .....	25
1.4.3. Fundición centrífugada .....	26
1.4.4. Ventajas tecnológicas de la fundición centrífuga.....	27
1.5. Crisol .....	29
1.6. Metales no ferrosos .....	30
1.6.1. El aluminio y sus aleaciones .....	31
1.6.2. El cobre y sus aleaciones .....	35
1.7. Generalidades de la fundición a la cera perdida .....	38
1.8. Características del yeso para moldes .....	42
2. DISEÑO DE LA CENTRÍFUGA .....	44
2.1. Esquema y parámetros de diseño de la centrífuga .....	44
2.2. Dimensionamiento de los componentes y cálculo de las variables de diseño .....	45
2.2.1. Determinación del eje .....	46
2.2.2. Selección de cojinetes .....	57
2.2.3. Diseño del resorte espiral .....	69
2.3. Análisis inercial. Torque durante el giro de la centrífuga.....	73
2.3.1. Cálculo de las inercias I .....	74
2.3.2. Cálculo del torque .....	78

	Pág.
3. PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA CENTRÍFUGA.....	79
3.1. Metodología a seguir para la fabricación de las piezas .....	80
3.2. Fabricación del eje de la centrífuga .....	80
3.3. Fabricación del brazo.....	81
3.4. Fabricación del carrito del crisol.....	84
3.5. Fabricación del tope del carrito del crisol .....	85
3.6. Fabricación de la lámina contenedora de muflas .....	86
3.7. Fabricación del contrapeso .....	87
3.8. Fabricación del perno para apoyo de lámina-brazo .....	87
3.9. Fabricación del pasador eje-brazo .....	88
3.10. Fabricación del ancla del resorte .....	89
3.11. Fabricación de pasador de bloqueo de movimiento .....	91
3.12. Fabricación del resorte espiral .....	92
3.13. Fabricación de la tapa de la carcasa.....	94
3.14. Fabricación de la carcasa .....	96
3.15. Fabricación del barril protector.....	98
3.16. Herramientas para cada proceso .....	100
3.17. Procedimiento de montaje .....	100
3.18. Presupuesto de materiales de diseño .....	101
 CONCLUSIONES .....	 104
 REFERENCIAS .....	 106
 ANEXOS.....	 108
Anexo 1. Planos de la centrífuga.....	108
Anexo 2. Cotizaciones.....	128

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Propiedades y costos de aleaciones más utilizadas [7].....	31
Tabla 1.2. Efectos de los mecanismos de endurecimiento en el aluminio [7].....	32
Tabla 1.3. Resumen de las características físicas del aluminio [7].....	33
Tabla 1.4. Características generales del cobre [8].....	36
Tabla 1.5. Clases de ceras [9].....	39
Tabla 2.1. Cojinete seleccionado de acuerdo a los resultados de los cálculos [14].....	60
Tabla 2.2. Masa de los componentes de acuerdo a su material.....	62
Tabla 2.3. Factores de carga radial equivalente para cojinetes de bola [12].....	64
Tabla 2.4. Rodamientos radiales de clase de tolerancia normal [15].....	66
Tabla 2.5. Ajustes recomendados para ejes para diferentes aplicaciones industriales [15].....	67
Tabla 2.6. Rodamientos radiales de clase de tolerancia normal [15].....	68
Tabla 3.1. Costos de los materiales a utilizar en la fabricación.....	101
Tabla 3.2. Costos de los procesos de fabricación.....	102
Tabla 3.3. Costo total de la centrífuga.....	103

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1.1. Pez fosilizado [1].....	4
Fig. 1.2. Vaso ceremonial de bronce, 13 cm, dinastía Shang, China, 1700 a. de C [1].....	5
Fig. 1.3. Estatua del gran elector von Brandenburg, Andrea Schluter, 1703, palacio de Charlottenburg [1].....	6
Fig. 1.4. Diagrama de los procesos de fundición de metales [2].....	8
Fig. 1.5. Esquema de un molde de arena mostrando diferentes características [2].....	10
Fig. 1.6. Esquema de molde en cáscara [2].....	11
Fig. 1.7. Esquema del proceso de fundición de modelo evaporable [2].....	15
Fig. 1.8. Esquema del proceso de fundición a la cera perdida [2].....	16
Fig. 1.9. Fundición por revestimiento de un rotor fundido integralmente para una turbina de gas [2].....	17
Fig. 1.10. Esquema del proceso de fundición al vacío [2].....	18
Fig. 1.11. Esquema del proceso de fundición a presión en matriz de cámara caliente [2].....	20
Fig. 1.12. Esquema del proceso de fundición a presión en matriz de cámara fría [2].....	21
Fig. 1.13. Esquema del proceso de fundición centrífuga: a) Vaciado del metal en el molde; y b) Giro del molde impulsado por el rodillo impulsor [2].....	21
Fig. 1.14. Disposición de la centrífuga real [5].....	25
Fig. 1.15. Fundición semicentrífuga [4].....	26
Fig. 1.16. Disposición de los componentes en el centrifugado: a) Fundición centrifugada; y b) la fundición [4].....	27
Fig. 1.17. Representación de fundición semicentrífuga y centrifugada: a) Esquema del proceso de fundición semicentrífuga; y b) Esquema de fundición por centrifugado [4].....	27
Fig. 1.18. Clasificación de los metales no ferrosos [7].....	30

	Pág.
Fig. 2.1. Esquema de la propuesta de centrífuga a diseñar.....	45
Fig. 2.2. Diagrama de reacciones en el eje debido a la fuerza impulsora.....	47
Fig. 2.3. Diagrama de cortante de las reacciones en el eje.....	49
Fig. 2.4. Diagrama de momentos a lo largo del eje.....	52
Fig. 2.5. Ubicación de los puntos críticos del eje.....	52
Fig. 2.6. Cojinete instalado en la posición B.....	58
Fig. 2.7. Cojinetes instalados en las posiciones B y C.....	61
Fig. 2.8. Ajuste de eje/rodamiento seleccionado [15].....	68
Fig. 2.9. Ajuste rodamiento/alojamiento [15].....	69
Fig. 2.10. Ilustración del resorte espiral que se emplea en la centrífuga.....	70
Fig. 2.11. Ilustración del resorte sujeto al ancla y a su vez instalado en el eje.....	72
Fig. 2.12. Ilustración del resorte alojado en la carcasa.....	73
Fig. 3.1. Ensamble final de la centrífuga.....	79
Fig. 3.2 Eje de la centrífuga.....	80
Fig. 3.3. Brazo o palanca.....	82
Fig. 3.4. Carrito del crisol.....	84
Fig. 3.5. Tope del carrito del crisol.....	85
Fig. 3.6. Lámina contenedora de muflas.....	86
Fig. 3.7. Contrapeso.....	87
Fig. 3.8. Perno para apoyo de lámina contenedora de muflas.....	88
Fig. 3.9. Pasador eje-brazo.....	89
Fig. 3.10. Ancla del resorte.....	90
Fig. 3.11. Pasador de bloqueo de movimiento.....	92
Fig. 3.12. Resorte espiral.....	93
Fig. 3.13. Herramienta artesanal para conformar el resorte.....	93
Fig. 3.14. Conformado de las primeras espiras haciendo uso de la herramienta.....	94
Fig. 3.15. Tapa de la carcasa.....	94
Fig. 3.16. Carcasa.....	96
Fig. 3.17. Barril protector.....	99

## LISTA SE SÍMBOLOS Y SIGLAS

- A: Punto del eje donde se aplicará la fuerza impulsora
- abrazo Ancho del brazo en el análisis inercial
- acrisol Ancho del crisol en el análisis inercial
- aplaca Ancho de la placa del extremo del brazo en el análisis inercial
- B: Ubicación del primer cojinete
- b<sub>1</sub>: Ubicación de cambio de sección debido al cojinete B
- b<sub>2</sub>: Ubicación de cambio de sección debido al cojinete B
- b<sub>res</sub>: Ancho del resorte
- B<sub>rod</sub>: Ancho de cojinetes o rodamientos
- C: Ubicación del segundo cojinete
- C<sub>0</sub>: Carga estática en cojinetes
- c<sub>1</sub>: Ubicación de cambio de sección debido al cojinete C
- C<sub>brazo</sub> Longitud del brazo en el análisis inercial
- C<sub>contra</sub> Longitud de los contrapesos en el análisis inercial
- C<sub>crisol</sub> Longitud del crisol en el análisis inercial
- C<sub>din</sub>: Carga dinámica en cojinetes
- C<sub>eje</sub>: Longitud del eje en el análisis inercial
- C<sub>placa</sub> Longitud de la placa del extremo del brazo en el análisis inercial
- d<sub>ancla</sub>: Diámetro del eje donde se sujeta el resorte
- d<sub>contra</sub> Diámetro de los contrapesos en el análisis inercial
- D<sub>eje</sub>: Diámetro del eje
- D<sub>int-car</sub>: Diámetro interno de la carcasa
- dist<sub>A-B</sub>: Distancia desde el punto A al punto B
- dist<sub>A-b1</sub>: Distancia desde el punto A hasta el punto b<sub>1</sub>
- dist<sub>A-C</sub>: Distancia desde el punto A al punto C
- dist<sub>B-b2</sub>: Distancia desde el punto B hasta el punto b<sub>2</sub>
- dist<sub>B-C</sub>: Distancia desde el punto B al punto C
- dist<sub>B-c1</sub>: Distancia desde el punto B hasta el punto c<sub>1</sub>
- d<sub>rod</sub>: Diámetro interior de rodamiento
- D<sub>rod</sub>: Diámetro exterior de rodamiento

- E: Módulo de elasticidad de acero SAE 1095
- $F_A$ : Carga axial resultante en el cojinetes
- $F_{axial}$ : Fuerza en dirección axial del eje
- FCC: Estructura cúbica centrada en las caras
- $F_{cortanteB}$  Fuerza cortante en el punto B
- $F_{cortanteC}$ : Fuerza cortante en el punto C
- $F_e$ : Carga equivalente debido a cargas sobre cojinetes
- $F_{imp}$ : Fuerza impulsora, o fuerza promedio en el brazo de una persona
- $F_R$ : Fuerza radial resultante en el cojinete
- g: Aceleración de la gravedad
- H7/J7: Tolerancias recomendadas para diámetro interno de alojamiento de rodamientos
- $h_{brazo}$  Altura el brazo en el análisis inercial
- $h_{crisol}$  Altura del crisol en el análisis inercial
- $h_{placa}$  Altura de la placa del extremo del brazo en el análisis inercial
- $I_{brazo}$ : Inercia del brazo
- $I_{contra}$ : Inercia de contrapesos
- $I_{crisol}$ : Inercia del crisol
- $I_{eje}$ : Inercia del eje
- $I_{placa}$ : Inercia de la placa
- ISO: Organización internacional del normalización (International Organization for Standardization)
- j6/k6: Tolerancias recomendados para ejes ensamblados con rodamientos
- K: Factor de vida en cojinetes
- $K_a$ : Factor de corrección superficial y microestructura
- $K_b$ : Factor de corrección de tamaño
- $K_c$ : Factor de corrección de carga
- $K_d$ : Factor de corrección de temperatura
- $K_e$ : Factor de corrección de efectos diversos
- $Ke_a$ : Salto radial del anillo exterior de un rodamiento montado
- $K_f$ : Factor de concentración de esfuerzos
- $Ki_a$ : Salto radial del anillo interior de un rodamiento
- L: Longitud activa del resorte



$L_{10}$ : Vida de diseño del cojinete en horas  
 $L_d$ : Vida útil de diseño de cojinetes  
 $m$ : Masa  
 $M$ : Momento en los puntos de ubicación de los cojinetes y en los cambios de sección para el montaje de los mismos  
 $M_B$ : Momento en el punto B  
 $M_{b1}$ : Momento en el punto  $b_1$   
 $M_{b2}$ : Momento en el punto  $b_2$   
 $M_c$ : Momento en el punto C  
 $M_{c1}$ : Momento en el punto  $c_1$   
 $n$ : Velocidad de giro  
 $r$ : Distancia desde el eje hasta el extremo del brazo de la centrífuga  
 $R_a$ : Fuerza aplicada en el punto A  
 $R_b$ : Reacción en el punto B  
 $R_c$ : Reacción en el punto C  
SAE: Norma estándar para la fabricación y distribución de aceros. (Society of Automotive Engineers)  
 $S_b$ : Esfuerzo a la flexión del acero SAE 1095  
 $S_n$ : Límite de resistencia a la fatiga del acero SAE 1020  
 $S_n'$ : Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria  
 $S_u$ : Esfuerzo a carga máxima del SAE 1020  
 $T$ : Torque producido en el eje por la fuerza impulsora  
 $T_{iner}$ : Torque debido a las fuerzas inerciales  
 $t_{res}$ : Espesor del resorte  
 $U$ : Número de espiras del resorte  
 $V$ : Factor de rotación de cojinetes radiales  
 $VB$ : Variación de la anchura del anillo interior de un rodamiento  
 $VC$ : Variación de la anchura del anillo exterior de un rodamiento  
 $V_{dmp}$ : Variación media del diámetro interior de un rodamiento  
 $V_{dp}$ : Variación del diámetro interior de un rodamiento en un solo plano radial  
 $VD_p$ : Variación del diámetro exterior de un rodamiento de un solo plano radial  
 $X$ : Factor radial para todo cojinete  
 $Y$ : Factor de empuje en cojinetes

$\Delta B_s$ : Desviación de la anchura de un solo anillo interior de un rodamiento  
 $\Delta C_s$ : Desviación de la anchura de un solo anillo exterior de un rodamiento  
 $\Delta d_{mp}$ : Desviación media del diámetro interior de un rodamiento en un solo plano  
 $\Delta D_{mp}$ : Desviación medial del diámetro exterior de un rodamiento en un solo plano  
 $\Delta t$ : Delta de tiempo  
 $\Delta \omega$ : Velocidad angular  
 $\rho_{ace}$ : Densidad del acero SAE 1020  
 $\eta$ : Factor de seguridad  
 $\sigma$ : Esfuerzo debido a los momentos, cargas y reacciones que se generan en los diferentes puntos  
 $\sigma_a$ : Esfuerzo alternantes flexionante máximo  
 $\sigma_B$ : Esfuerzo en el punto B  
 $\sigma_{b1}$ : Esfuerzo en el punto  $b_1$   
 $\sigma_{b2}$ : Esfuerzo en el punto  $b_2$   
 $\sigma_{c1}$ : Esfuerzo en el punto  $c_1$   
 $\sigma_{ea}$ : Esfuerzo equivalente alternantes por flexión  
 $\sigma_{em}$ : Esfuerzo equivalente medio  
 $\sigma_m$ : Esfuerzo flexionante medio  
 $\tau$ : Esfuerzo por torsión  
 $\tau_a$ : Esfuerzo alternantes por torsión  
 $\tau_m$ : Esfuerzo por torsión medio

## INTRODUCCIÓN

Uno de los logros más trascendentales en el desarrollo de la humanidad fue el haber descubierto la fusión de metales; ya que, al tener el metal fundido era mucho más fácil de moldear, y así dar origen a una variedad de instrumentos, utensilios y mecanismos que acompañaron el paso de una etapa del salvajismo a la barbarie, y de ésta a la civilización.

Con el transcurrir del tiempo se fueron diversificando las formas y aplicaciones de la fundición generando varios procesos que han existido desde los tiempos prehistóricos. Con el paso de los años han surgido métodos para moldeo y fundiciones, que constantemente se han ido desarrollando y continúan evolucionando. Siendo el ingenio de la humanidad la única limitante.

Las fundiciones varían desde unos gramos hasta varias toneladas, también difieren en su composición, ya que prácticamente todos los metales y sus aleaciones se pueden fundir; sin embargo, pocos años atrás la investigación ha producido diversas aplicaciones y adaptaciones que hasta entonces no se habían tomado en consideración dentro de los alcances de esta gran industria de la fundición.

Las grandes producciones, la calidad del acabado superficial, las pequeñas tolerancias en las dimensiones y la mejoría en las propiedades de los metales, permiten fundir piezas con geometrías complejas de cualquier tamaño y prácticamente cualquier tipo de metal, esto a pesar de que los moldes pueden ser de metal, yeso, cerámica u otro material, así como un refrigerante que ayude a la rápida solidificación de la pieza.

Mientras toda la industria de la fundición continúa evolucionando, se han ido creando dos principales tendencias que a su vez forman una parte muy importante dentro de este círculo. Así, la primera tendencia está orientada a mecanizar y automatizar el proceso de la fundición que conducen a significativos cambios en el uso de los equipos y un gran ahorro de tiempo y mano de obra. Mientras que la segunda tendencia está concentrada en la demanda de fundiciones que va en aumento solicitando que los trabajos sean cada vez de mayor calidad, con tolerancias dimensionales mucho más ajustadas, lo que precisa que los conocimientos técnicos sean más sofisticados y por lo tanto más costosos.

Con respecto al presente trabajo, se comienza con una pequeña introducción y un concepto generalizado de la fundición, luego se continua con los procesos de fundición, esto para tener una idea más clara y concreta sobre lo que es la fundición, los procesos, su clasificación, así como ventajas y desventajas que se presentan en cada uno de ellos.

El proceso de fundición es el proceso de fabricación en el que el material fundido, como el metal, se vierte en la cavidad de fundición o el molde de la forma deseada y se deja endurecer o solidificar dentro del molde. Después de la solidificación, la fundición se extrae expulsando o rompiendo el molde.

Teniendo el concepto de fundición más claro, el proceso de interés es el de fundición centrífuga. Por lo tanto, posteriormente se describe a detalle dicho proceso, desde sus inicios y su clasificación.

En la máquina centrífuga que se diseña, el molde no gira sobre su propio eje, sino que está instalado en un extremo de un brazo equilibrado, cuya rotación desarrolla la presión necesaria para forzar el metal dentro del molde.

## **1. MARCO TEÓRICO**

Para poder hablar de cualquier tipo de proceso que existe para fundir, se necesita saber ¿Qué es una fusión? y ¿qué es una fundición?; es por ello que se define a la fusión simplemente como, el cambio de un metal de su estado sólido a líquido, utilizando cualquier medio que eleve su temperatura (induciendo calor, un horno, quemando un combustible, etc.), y se entiende por fundición o colada, al vaciado (por gravedad, centrifugado, etc.) de un metal fundido dentro de un molde previamente fabricado con las características de la pieza a manufacturar, seguido de un tiempo razonable para que solidifique el metal y por último la extracción de la pieza.

### **1.1. ANTECEDENTES**

El objetivo de este apartado es realizar una síntesis histórica de la evolución del proceso de fundición desde sus orígenes hasta la época actual. No se trata de realizar una descripción detallada de los descubrimientos, sino de permitir una comprensión general acerca de cómo el proceso ha permanecido vigente a lo largo del tiempo, ha tenido grandes adelantos en determinados instantes de la historia, pero en otros ha ido a paso lento. Así, ésta es una de las técnicas de fabricación más antiguas de la humanidad.

#### **1.1.1. INICIOS Y EVOLUCIÓN DE LOS PROCESOS DE FUNDICIÓN A LA CERA PERDIDA**

Los fósiles de animales y plantas prehistóricas constituyen un primer ejemplo en la naturaleza de la utilización de un modelo perdido. Encontrados generalmente en formaciones calizas, el cuerpo del animal prehistórico aprisionado en la roca se disolvió y mediante un proceso de millones de años, se rellenó los espacios vacíos. Es importante mencionar que solamente se suelen fosilizar las partes duras del organismo como dientes, huesos y caparazones, y las partes blandas se desintegran. Una vez eliminadas

las partes blandas, los minerales presentes en el sedimento que cubre al animal, ocupan estos huecos y permiten la fosilización; en la Fig. 1.1 se presenta una muestra de ello [1].

Así, es extremadamente difícil determinar cuándo el hombre primitivo interpretó el proceso natural y desarrolló el procedimiento del moldeo a la cera perdida.

Durante miles de años se utilizó la cera para modelos y efigies. Pero se trataba simplemente de modelado y no de fundido. Es viable suponer que los orígenes de la fundición a la cera perdida se remontan a los principios de la edad del Bronce, ya que las piezas más antiguas fabricadas por este proceso datan aproximadamente del año 4000 a. de C., provenientes del Asia Menor [1].



Fig. 1.1. Pez fosilizado [1].

Con la ayuda de modelos de cera se fundieron en bronce recipientes, útiles, piezas de adorno, estatuillas, entre otros de gran riqueza ornamental [1].

El método de vaciado a la cera perdida –como metalurgia artística- ya era conocida por los sumerios que habitaban en el valle del Indo, alrededor del año 2000 a. de C [1].

Se cree que este procedimiento se llevó en Egipto y en China alrededor del 2500 a. de C. Los artesanos de la dinastía Shang (1766 a 1122 a. de C.) crearon cajas de bronce decoradas con una filigrana tan delicada que compite con cualquier fundición de precisión moderna. En la Fig. 1.2 se presenta un recipiente ceremonial chino para vino, fundido en bronce hacia 1100 a. de C. En éste se presenta un hombre que ha buscado su protección en las fauces de un jaguar [1].

En cuanto a la evolución desde el renacimiento a la actualidad: Ghiberti, quien hace escuela de bronceista en Florencia entre los años 1403 y 1452, realiza las dos puertas del Baptisterio (Puertas del Paraíso). Así, se debe recordar que, en el año 1329, fue Andrea Pisano quien hizo la primera puerta del Baptisterio. Contemporáneamente, se

realizaron las primeras estatuas monumentales en bronce mediante la técnica de cera perdida de la Edad Moderna. Posteriormente Donatello aprende la técnica de Ghiberti con quien trabajó de aprendiz entre los años 1403 a 1406 [1].



Fig. 1.2. Vaso ceremonial de bronce, 13 cm de altura, dinastía Shang, China, 1700 a. de C [1].

Verrocchio y Pollaiuolo deben su pericia en el trabajo del bronce a Donatello, perdiéndose esta tradición hasta 1540, cuando Benvenuto Cellini tiene que empezar de nuevo [1].

En 1538, Vannoccio Biringuccio, director de la fundición papal, contemporáneo de Leonardo da Vinci, describe con gran detalle las prácticas de fundición en su *Pirotecnica*: -Existen, así mismo, moldes para grandes estatuas, las cuales, si uno desea fabricarlas en bronce, se hacen primero en cera de acuerdo a la práctica ordinaria [1].

Ésta práctica ordinaria consistía en la creación del modelo original en cera, el cual se pulía y embellecía según el artista; cada modelo era una obra de arte. Después se cubría con una lechada de yeso, construyendo capas sucesivas hasta que una cáscara resistente envolvía a la cera. Alternativamente la imagen era sumergida en un recipiente con yeso recién preparado, el cual se endurecía en corto tiempo. Después de fundir la cera y vaciar el metal dentro del hueco, se crea un duplicado perfecto del modelo original.

En la Fig. 1.3 se presenta un ejemplo de las obras más sobresalientes vaciadas por este proceso.



Fig. 1.3. Estatua ecuestre del gran elector von Brandenburg, Andrea Schlueter, 1703, palacio de Charlottenburg [1].

Hasta hace pocos decenios se utilizó el procedimiento para la producción de piezas a baja escala, no a nivel industrial. No obstante, la producción industrial en serie requirió de un mayor control en las dimensiones y forma de las piezas. Por la necesidad creada a raíz de la segunda guerra mundial para la fabricación a gran escala de armas y aeronaves, la técnica se desarrolló inicialmente en Estados Unidos, utilizando las mismas aleaciones y revestimientos ya usados por los dentistas. Así, al proceso a la cera perdida se exigen piezas en las cuales se evite el mecanizado, la soldadura o el ensamble, a la vez que permitan conseguir un excelente acabado superficial y un estricto control dimensional. Vale mencionar los álabes de turbina para turbopropulsores en aleación de



cobalto altamente refractarios; hoy en día se vacían en superaleaciones con control de la solidificación para producir macro cristales. Al finalizar la segunda guerra mundial, el procedimiento penetra masivamente en Europa [1].

## 1.2. PROCESO DE FUNDICIÓN

Proceso de producción de piezas comúnmente metálicas, Aunque también de plástico, por vaciado del metal fundido dentro de un molde y que luego se enfría y solidifica [2].

El proceso de fundición consta de pasos básicos, los cuales son:

- ✓ Se vacía metal fundido en un molde con la forma de la parte a manufacturar (por gravedad, centrifugado, etc.);
- ✓ Se deja solidificar; y
- ✓ Se retira del molde la parte metálica vaciada [2].

Los factores importantes a considerar en las operaciones de fundición son:

- ✓ El flujo del metal fundido dentro de la cavidad del molde,
- ✓ La solidificación y el enfriamiento del metal dentro del molde, y
- ✓ La influencia del tipo de material del molde [2].

Una vez que se vacía el metal fundido en un molde, se solidifica y enfría a la temperatura ambiente; durante estas etapas ocurre una serie de eventos que influyen en gran medida en el tamaño, forma, uniformidad y composición química de los granos formados a lo largo de la fundición, que a su vez influyen en sus propiedades generales. Los factores importantes que afectan estos eventos son el tipo de metal, las propiedades térmicas del metal y del molde, la relación geométrica entre el volumen y el área superficial de la fundición y la forma del molde. Los procesos de fundición de metales son muy variados y cada uno de ellos es capaz de proporcionar diferentes tipos de propiedades a la pieza fundida, dependiendo de los requerimientos que de ellos se espere. A continuación, en la Fig. 1.4 se presentan los diferentes y más importantes tipos de procesos de fundición de metales utilizados con mayor regularidad [2].

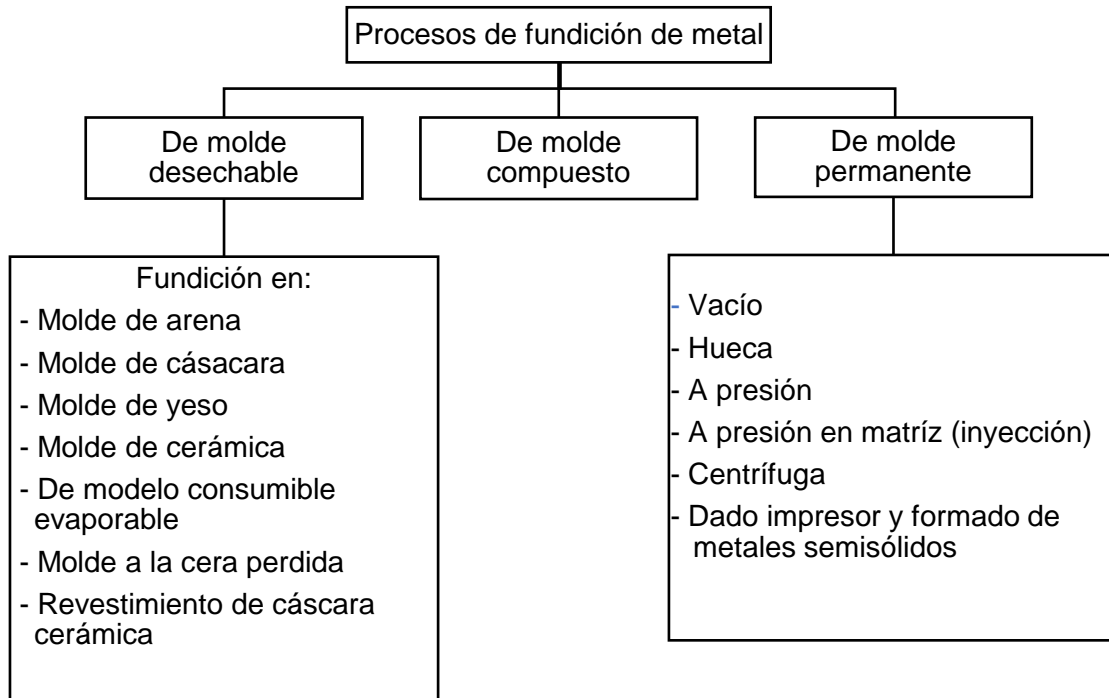


Fig. 1.4. Diagrama de los procesos de fundición de metales [2].

### 1.3. TIPOS DE FUNDICIÓN

De acuerdo a la clasificación general de los procesos de fundición mostrados en la Fig. 1.4, se mencionarán las características generales de cada uno de ellos, basados en el tipo de molde con el que se realiza la fundición [2].

#### 1.3.1. PROCESOS DE FUNDICIÓN REALIZADOS EN MOLDE NO PERMANENTE

En este apartado se detallará cada uno de los procesos de fundición en moldes no permanentes, se presentan sus características más importantes y se da una idea acerca del procedimiento para su ejecución, pero antes se listan nuevamente para tener mayor claridad de cuales son:

- ✓ Fundición en arena,
- ✓ Fundición en cáscara,

- ✓ Fundición en molde de yeso,
- ✓ Fundición en molde de cerámica,
- ✓ Fundición a la cera perdida, y
- ✓ Fundición por revestimiento de cáscara cerámica [2].

Así, de los procesos de fundición realizados en molde no permanente o molde desechable, se tienen los siguientes:

➤ Fundición en arena.-

El proceso de fundición de metales ha sido llevado a cabo por milenios en moldes de arena; y sigue siendo el método más utilizado que ha prevalecido para la fundición. Sus principales aplicaciones se centran en piezas de grandes dimensiones como, por ejemplo, bases para máquinas, propulsores, componentes para las industrias agrícola y de ferrocarriles, entre otros.

La fundición en arena es muy fácil de obtener siempre y cuando se conozca a detalle el proceso, sus alcances y sus limitaciones. Tal como se presenta en la Fig. 1.5, básicamente consiste en colocar un modelo (el cual deberá tener la forma deseada de la pieza a obtener) dentro de una caja o contenedor de dos partes en las cuales se coloca el modelo y posteriormente se cubre de arena sílica, que después de un proceso de apisonado, se obtiene la forma o impresión, se realiza un sistema de alimentación para introducir el metal fundido, se retira la pieza (modelo) para llenar la cavidad del molde con metal, se deja enfriar hasta que solidifique y enfríe, por último se retira la pieza metálica del molde de arena [2].

Los procesos posteriores para limpiar las piezas y darle el acabado, resultan más costosos que los que se emplean en otros métodos de fundición. Así, al ser fundido en arena, los residuos de la misma provocan el pronto desgaste de las herramientas de corte.

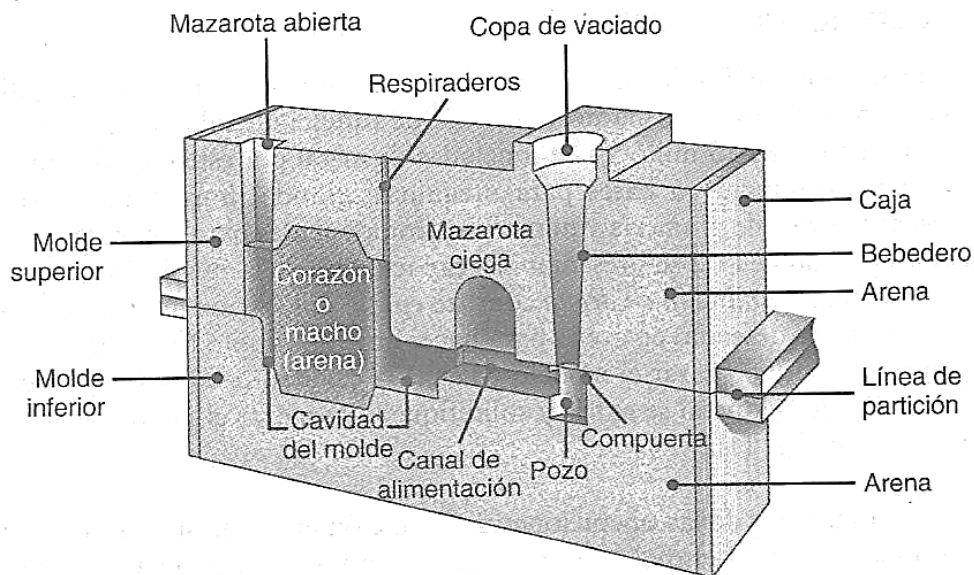


Fig. 1.5. Esquema de un molde de arena mostrando diferentes características [2].

Los moldes de arena verde son más baratos que los de arena seca, aunque varían demasiado en sus dimensiones y el acabado no es el mejor [2].

➤ Fundición en cáscara.-

En la década de 1940 se desarrolló por primera vez el proceso de *moldeo en cáscara*, debido a la variedad de fundiciones que se pueden producir, se caracteriza por sus buenos acabados superficiales y precisión dimensional, además de su bajo costo; gracias a estas características se aplica en pequeñas piezas mecánicas que demandan alta precisión, por ejemplo: las bielas, cabezas de cilindros, cajas de engranajes entre otros.

Para fabricar un modelo, tal como el que se presenta en la Fig. 1.6 con metal ferroso o aluminio, se llevan a cabo los pasos siguientes:

Se calienta a una temperatura entre 175 y 370 °C, se recubre con un agente de separación (silicona) y por último se sujeta a una caja o cámara. Ésta contiene una mezcla de arena fina y un aglutinante de resina termo fija (fenol-formaldehído) entre 2.5 y 4%, que recubre las partículas de arena. Luego la caja se voltea o se proyecta la mezcla de arena sobre el modelo para cubrirlo.

Teniendo los pasos anteriores, se debe poner al horno para alcanzar el curado de la resina. Una vez que se endurece la cáscara, se retira del molde por medio de pernos, para lograr conseguir dos mitades y obtener el molde [2].

Es posible determinar el espesor de la cáscara con precisión, una forma es controlando el tiempo que el modelo se encuentra en contacto con el molde.

De esta manera, será posible obtener la rigidez y resistencia requeridas para soportar el peso del líquido fundido. Los espesores de las cáscaras por lo general están entre 5 y 10 mm, por ende, sus características térmicas se diferencian a las de los moldes más gruesos.

El aire y los gases atrapados causarían graves problemas en el moldeo en cáscara en las fundiciones ferrosas, a menos que los moldes se ventilen apropiadamente; esto se debe, a que la arena en cáscara tiene menos permeabilidad que la utilizada en moldeo en arena verde. La alta calidad de las fundiciones obtenidas puede reducir costos significativos en limpieza, maquinado y acabado superficial en general. Este proceso se puede lograr con menos mano de obra y se puede automatizar muy fácilmente [2].

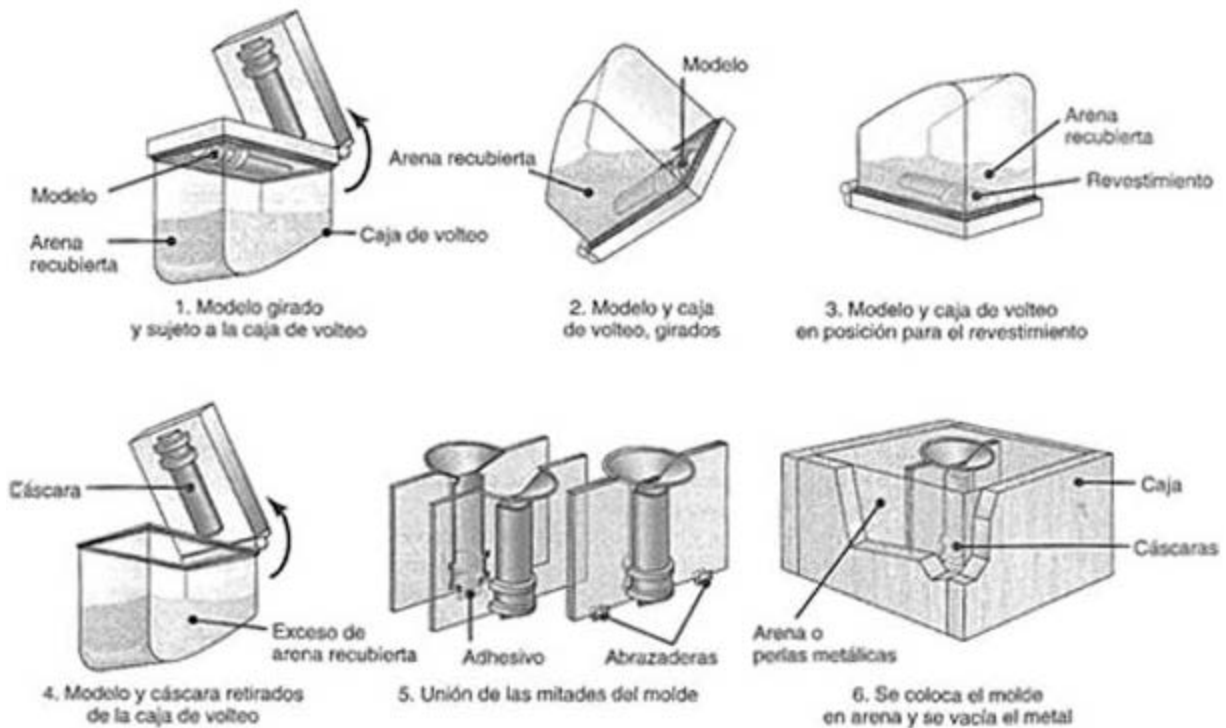


Fig. 1.6. Esquema de molde en cáscara [2].

➤ Fundición en molde de yeso.-

Este proceso junto con el de fundición de revestimiento y molde de cerámica, se consideran como fundiciones de precisión, debido a la exactitud dimensional y los acabados superficiales, a tal grado que se pueden obtener cerraduras, engranes, válvulas, accesorios. Por lo general, estas fundiciones se encuentran por debajo de los 10 kg y por lo regular rondan un intervalo de 125 a 250 g y aun así se pueden producir piezas tan ligeras como de 1 g.

Como lo dice el nombre del proceso, se fabrica un molde de yeso o sulfato de calcio, mezclándolo con un poco de talco y harina de sílice a fin de mejorar la resistencia y controlar el tiempo necesario para que endurezca el yeso, todos los componentes se mezclan con agua, y el lodo que resulta se vierte en el modelo [2].

Una vez que endurece el yeso (15 min), se retira del modelo, y el molde se seca aparte para eliminar por completo la humedad. Las mitades del molde son ensambladas para así formar la cavidad correspondiente y se precalienta a 120 °C para poder vaciar el metal fundido dentro de ella.

Existe un problema con este tipo de moldes ya que no poseen una buena permeabilidad, los gases que se presentan al solidificar la pieza, no tienen manera de escapar; en consecuencia, el metal se suministra al vacío o a presión.

Para ello se han ideado dos maneras de resolver el problema, uno de ellos es incrementando sustancialmente la permeabilidad por medio de un proceso llamado *antioch*, aquí los moldes son deshidratados en un horno presurizado durante unas 12 horas para posteriormente ser rehidratados en aire por unas 14 horas. El otro método es usando yeso espumado que contiene burbujas de aire atrapadas.

Los materiales con los que están hechos los modelos para moldeo con yeso en general son aleaciones de aluminio o zinc, de plásticos termo fijos y de bronce; en este caso, los modelos de madera no se utilizan para producir un gran número de moldes ya que el contacto de la mezcla de yeso con agua perjudicará las dimensiones del modelo. La temperatura máxima que puede soportar el molde es de unos 1200 °C, estos moldes se usan para fundir aluminio, magnesio, zinc y algunas aleaciones a base de cobre. El yeso posee baja conductividad térmica lo que le favorece a las fundiciones el enfriamiento lento y obtener estructuras de granos uniformes [2].

➤ Fundición en molde de cerámica.-

El proceso de molde de cerámica es similar al proceso que se lleva a cabo con yeso con la excepción que se ocupan materiales de tipo refractario para soportar las altas temperaturas. Éste proceso es muy útil para producir herramientas de corte para operaciones de maquinado, matrices para trabajar metales y moldes para componentes de plástico, el proceso asegura trabajos hasta de 700 kg [2].

El lodo es una mezcla de varios materiales cerámicos entre los cuales se encuentra zirconio de grano fino ( $ZrSiO_4$ ), óxido de aluminio, etilo hidrolizado, alcohol, todo se agrega a los aglutinantes y se vierte sobre el modelo que se encuentra en una caja de moldeo.

En este caso el modelo puede ser de madera o metal, el proceso se lleva a cabo después del endurecimiento de los moldes, se ponen a secar, se queman para eliminar cualquier materia volátil y se hornean; son sujetados con firmeza y se utilizan como moldes totalmente de cerámica.

Aquí mismo se puede usar arcilla refractaria para reforzar las paredes del molde de cerámica, puesto que posee una buena tolerancia a las altas temperaturas antes de ensamblar el molde e iniciar con el vaciado.

Los materiales refractarios que se utilizan para moldeo debido a su resistencia a las altas temperaturas les permite fundir metales ferrosos y otras aleaciones de alta temperatura como aceros inoxidable, aceros de grado herramienta y aunque el proceso es costoso, su acabados y buena precisión en las fundiciones han logrado una amplia gama de tamaños y formas [2].

➤ Fundición en modelo consumible o evaporable.-

Las piezas que se funden mediante esta técnica son únicas, se necesitan un molde y un modelo para cada fundición, mientras que los modelos de los procesos anteriores son reutilizables.

Sus aplicaciones van desde bases para máquinas hasta la mayor parte de componentes de motores como cigüeñales, monobloques, cabezas de cilindros, múltiples, componentes para frenos, entre otras cosas; además el proceso recibe el nombre comercial de molde lleno; esto quiere decir, que la cavidad se encuentra ocupada

por un modelo de poliestireno que al contacto con el metal fundido se evapora y el metal ocupa ese lugar [2].

La forma en la que se trabaja con el poliestireno, es colocando unas perlas de este material dentro de la cavidad de una matriz que previamente ha sido calentada, una vez que estas alcanzan una temperatura suficiente para alterar la geometría de las perlas, estas se expanden y adquieren la forma de la cavidad, se aumenta la temperatura para fundir las perlas y unir las, al enfriar la cavidad se saca el modelo de poliestireno que se va a fundir. Con este método se pueden producir modelos más complejos uniendo varias secciones del mismo modelo base.

En la Fig. 1.7 se presenta un bosquejo del proceso que se sigue en este método de fundición.

Una vez que se tiene el modelo, se recubre con un lodo refractario, se seca y se coloca en una caja de moldeo. Se llena con arena fina suelta para soportar el molde, se aprisiona de manera periódica con el modelo dentro ocupando una cavidad, después se vacía el metal y el poliestireno es degradado por la acción del calor y todos los gases que ocurren en esa degradación se ventilan hacia la arena circundante.

El llenado del molde depende de la degradación del poliestireno, ya que la velocidad del flujo del metal fundido se afecta al contacto entre ambos, y se controla añadiendo cavidades huecas que puedan compensar algo de tiempo al pasar el metal fundido por estos lugares y evitando que el metal se enfríe más rápido que si se vaciara en una cavidad vacía. Este proceso tiene muchas ventajas sobre otros métodos de fundición:

El proceso es simple, no hay sistemas de mazarota, machos o corazones ni mucho menos líneas de partición. Hay mucha flexibilidad para el diseño. Las cajas que se utilizan para el moldeo son económicas. El costo del poliestireno es muy bajo, y su manejo es fácil para procesarlo y producir formas complejas, tamaños diversos y detalles superficiales finos. La fundición sale con un acabado impecable casi limpio.

El proceso en sí es económico tratándose de una gran producción y se puede automatizar; la única limitante es el costo de la matriz que se usa para expandir las perlas de poliestireno para fabricar el modelo y la necesidad de dos juegos de herramienta [2].



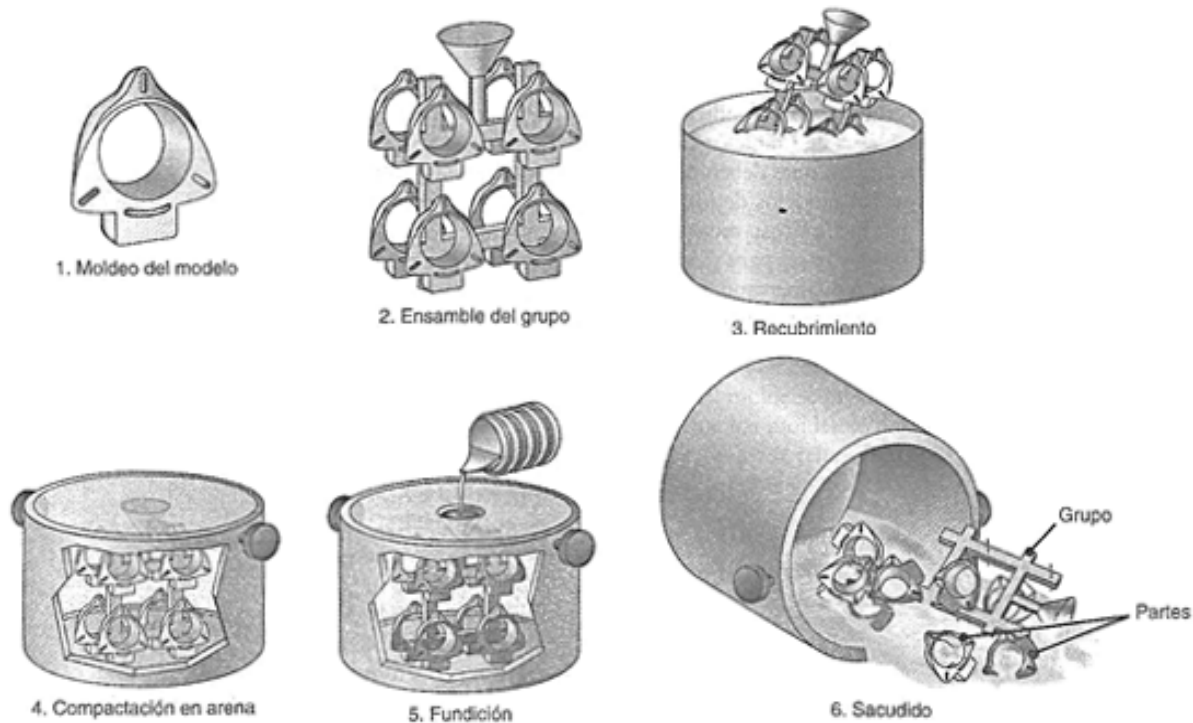


Fig. 1.7. Esquema del proceso de fundición de modelo evaporable [2].

➤ Fundición a la cera perdida.-

La mayor parte de los componentes que se producen mediante este proceso son equipo para oficina y componentes mecánicos. El proceso ha tenido éxito en fundiciones con dimensiones hasta de 1.5 m de diámetro y un peso de 1,140 kg.

La técnica es similar a la de moldeo por espuma perdida, el modelo se fabrica con cera o con un plástico como el poliestireno, mediante técnicas de prototipos rápidos. El modelo es sumergido en un material refractario compuesto de arena sílice, aglutinantes, agua, silicatos de etilo y ácidos; se repite el proceso varias veces hasta alcanzar mayor espesor que brinde una mejor resistencia, así en la Fig. 1.8 se presenta este proceso mediante pasos consecutivos. De aquí el termino de revestimiento, el modelo es rodeado por el material refractario [2].

El proceso de vaciado comienza desde que se vierte el metal directamente al molde con cera, primero se coloca de manera invertida por unas 12 horas a una temperatura de entre 90 y 175 °C para extraer por completo la cera, inmediatamente después se eleva la temperatura hasta los 650 °C durante ~4 horas para quemar residuos de cera y eliminar el agua que se encuentre aun en el interior del molde. Una vez que ha solidificado el

metal, se procede a romper el molde y se retira la fundición, para aumentar la producción se pueden unir varios modelos para formar un solo molde al que se le llama árbol.

La mano de obra y los materiales con los que se fabrica el molde hacen que el proceso a la cera perdida sea costoso, aunque es compensado al ser utilizado para fundir aleaciones con alto punto de fusión, además de entregar acabados superficiales muy limpios y tolerancias dimensionales muy cerradas, por eso es que son casi nulas las operaciones de acabado que se necesitan, que de otra manera aumentarían el costo significativo de la fundición [2].

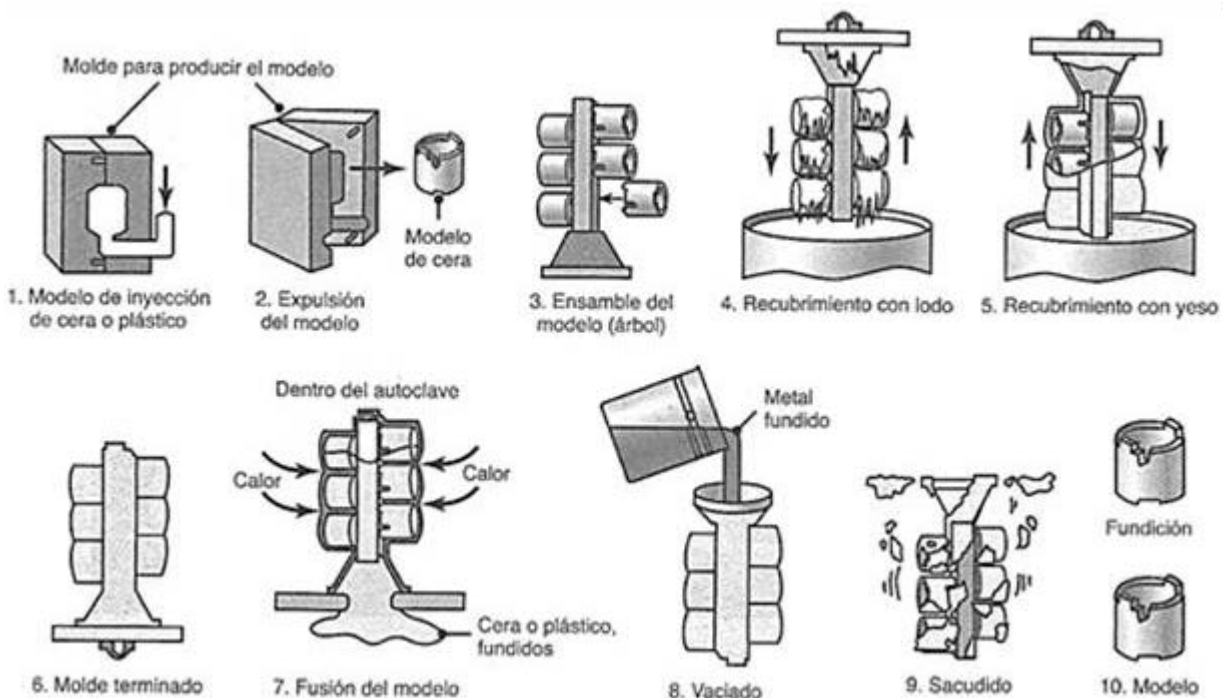


Fig. 1.8. Esquema del proceso de fundición a la cera perdida [2].

➤ Fundición por revestimiento de cáscara cerámica.-

Es sólo una variación del proceso de revestimiento de cerámica, utiliza el mismo modelo ya sea de cerámica o plástico, sólo que a éste se les somete a dos revestimientos más.

Se sumerge en un gel de silicato de etilo y luego en una cama fluida de sílice de grano fino, o harina de zirconio. Después el modelo se sumerge en sílice de grano más grueso para que se integren recubrimientos adicionales y desarrollar un espesor

apropiado, esto con el fin de soportar los impactos térmicos del vaciado. El resto del proceso es similar a la fundición por revestimiento [2].

Esta variación del proceso suele ser económica y se utiliza ampliamente en la fundición de precisión de aceros y aleaciones de alta temperatura.

En la Fig. 1.9 se presenta el resultado de llevar a cabo este proceso de fundición [2].



Fig. 1.9. Fundición por revestimiento de un rotor fundido integralmente para una turbina de gas [2].

### 1.3.2. PROCESOS DE FUNDICIÓN EN MOLDES PERMANENTES

También conocidas como fundiciones de molde duro, se manufacturan los moldes en dos partes con materiales resistentes a la erosión y fatiga térmica, entre los más utilizados se encuentra el acero, hierro fundido, grafito, latón y aleaciones metálicas refractarias.

El material del molde de colada permanente se decide considerando la temperatura de colada, el tamaño de la colada y la frecuencia del ciclo de la colada, determinan el calor total que debe soportar el dado. La fundición gris de grano fino es el material de matriz más utilizado. Entre algunos de estos procesos de molde permanente se tienen [2]:

#### ➤ Fundición de vacío.-

Este es un proceso alternativo para tres procesos en general, el proceso de fundición por revestimiento, de molde en cáscara y de arena verde, se emplea más bien para formas complejas con espesores de pared muy delgados y obtener propiedades

uniformes. Los componentes que se producen con este método, son súper-aleaciones para turbinas de gas, por la misma razón que se manejó anteriormente, lo delgado de las paredes alrededor de 0.5 mm.

Se emplea una mezcla de arena fina y uretano que posteriormente se moldeará sobre la superficie de la matriz y por medio de vapor se cura el material. Después en un horno de inducción se sumerge parcialmente el molde dentro del metal fundido (gráficamente se presenta en la Fig. 1.10); el metal puede estar fundido mediante dos procesos en aire (CLA) o al vacío (CLV).

El vacío mantiene la presión del aire por lo menos dos tercios debajo de la presión atmosférica, introduciendo así el metal fundido dentro de las cavidades del molde a través de una compuerta en el fondo del molde.

En general la temperatura del metal se encuentra a unos 50 °C por encima de la temperatura de la línea de fusión de la aleación, lo que permite que el proceso se pueda automatizar y así reducir los costos de producción acercándose mucho a los de la fundición en arena verde [2].

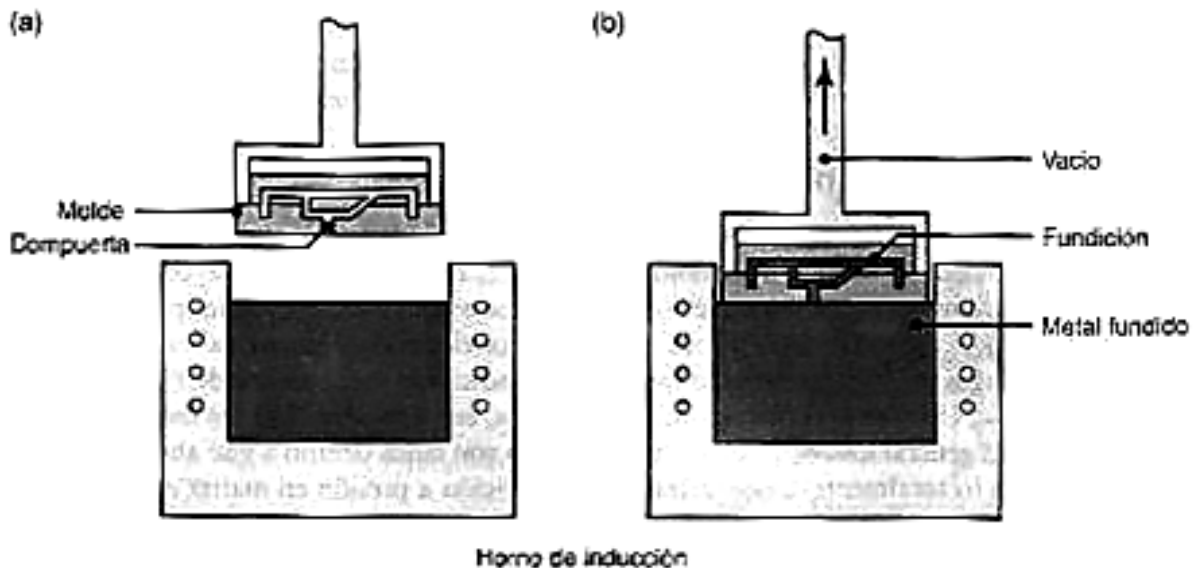


Fig. 1.10. Esquema del proceso de fundición al vacío [2].

#### ➤ Fundición hueca.-

Es un sistema de producción de piezas metálicas huecas sin corazones fijos. Consiste en vaciar metal fundido en un molde que se voltea cuando se empieza a

solidificar el metal. El metal que no se ha solidificado sale del molde para ser utilizado en otra pieza y el metal solidificado forma las paredes de la pieza, el metal que se ocupa generalmente es acero.

Usando este principio, se pueden realizar fundiciones huecas de paredes delgadas mediante la fundición de molde permanente, es adecuado para pequeñas producciones y su uso es prácticamente para objetos ornamentales y decorativos; así como juguetes que contengan metales con un bajo punto de fusión. Se trabaja de una manera fácil, se vierte metal fundido dentro del molde de metal y una vez que se obtiene el espesor deseado de capa superficial solidificado, simplemente se gira el molde para retirar el metal restante, al final, se abren las dos mitades del molde y se retira la fundición [2].

➤ Fundición a presión.-

Este tipo de fundición también se llama fundición de baja presión o de vaciado a presión, el metal fundido se obliga a subir por la acción de la presión de gas, dentro de un molde ya sea de grafito o metálico. La presión se mantiene hasta que el metal solidifica por completo dentro del molde. Otra manera de subir el metal es mediante un vacío; al generarlo, se retiran gases de la fundición y se obtiene menor porosidad, lo que se traduce en una fundición más limpia y de mayor calidad, se suelen utilizar para producir ruedas de ferrocarril, aunque también se pueden fabricar con moldes de arena [2].

➤ Fundición a presión en matriz (inyección).-

El proceso se utiliza para la fabricación de cajas y monobloques para motores, algunos componentes electrodomésticos, algunas herramientas manuales y juguetes. Los costos de las matrices son algo elevados, aunque se puede costear, ya que la mano de obra se reduce al ser un proceso semi o totalmente automatizado. La fundición a presión en matriz es económica para grandes lotes de producción.

El proceso introduce el metal fundido dentro de la cavidad (se fuerza) de la matriz a presiones que van desde 0.7 a 700 MPa. Existen dos tipos de máquinas que realizan este proceso, la de cámara caliente y de cámara fría.

El proceso de cámara caliente, necesita de un pistón el cual arrastra una porción de metal dentro de una cavidad a través de un cuello, forzándolo a pasar por una boquilla hasta llenar el molde; el pistón, la boquilla y la cavidad se encuentran dentro de un horno. Así, el esquema de este proceso se presenta en la Fig. 1.11.

Las presiones que se manejan llegan hasta los 35 MPa rondando un promedio de 15 MPa. Mientras se mantiene la presión el metal se encuentra dentro del molde y se espera a su solidificación antes de dejar caer la presión; para ello, se ayuda con el tiempo de solidificación haciendo circular agua o aceite alrededor del molde. Los ciclos de inyección varían de acuerdo al tamaño del componente [2].

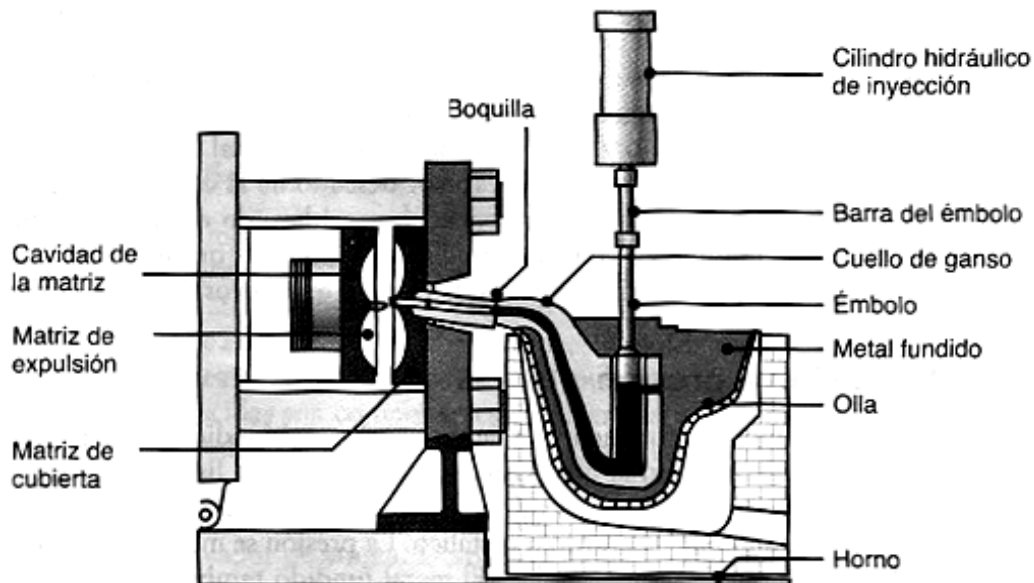


Fig. 1.11. Esquema del proceso de fundición a presión en matriz de cámara caliente [2].

En el proceso de cámara fría, sólo se vierte el metal fundido dentro del pistón y se fuerza dentro de la cavidad de la matriz, se manejan presiones que van desde 20 hasta 70 MPa. Por lo general, las aleaciones de alto punto de fusión son fundidas mediante este método. En la Fig. 1.12 se detalla cada uno de los componentes de la matriz de cámara fría [2].

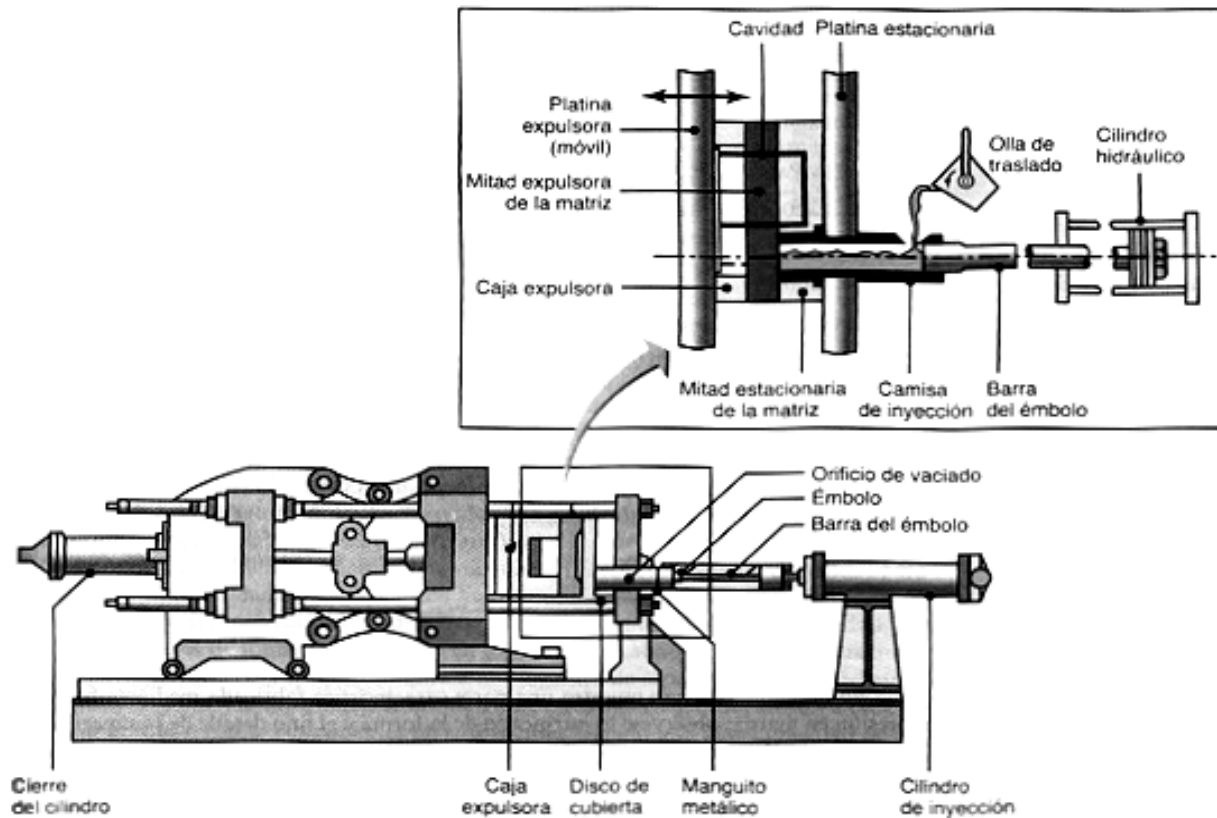


Fig. 1.12. Esquema del proceso de fundición a presión en matriz de cámara fría [2].

➤ Colada centrífuga.-

Como su nombre lo indica, este proceso utiliza las fuerzas de inercia (causadas por un movimiento de rotación) para distribuir el metal fundido en las cavidades del molde. Tiene una disposición tal como se presenta en la Fig. 1.13 haciendo uso de una flecha de transmisión, la cual, impulsa a los rodillos que al mismo tiempo impulsan al molde [2].

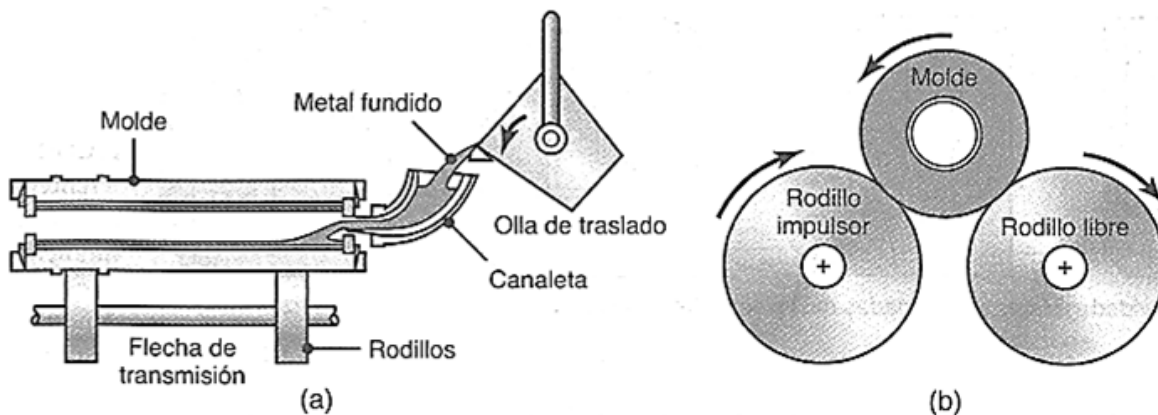


Fig. 1.13. Esquema del proceso de fundición centrífuga: a) Vaciado del metal en el molde; y b) Giro del molde impulsado por el rodillo impulsor [2].

El proceso tiene antecedentes de haber iniciado a principios de 1800. Así, existen tres tipos de fundición centrífuga [2]:

- ✓ Real,
- ✓ Semicentrífuga, y
- ✓ Centrifugado.

A continuación, se presentan algunas ventajas de los procesos de fundición centrífuga [2]:

- ✓ Las piezas se obtienen con acabados superficiales excelentes,
- ✓ Tolerancia estrecha,
- ✓ Se puede variar el espesor del casco controlando el volumen de material,
- ✓ Solidificación más rápida, y
- ✓ Al usar molde metálico se genera una estructura de grano más fino.

A continuación, se presentan algunas desventajas de los procesos de fundición centrífuga [2]:

- ✓ Se limita a formas geométricas más simples (simétricas respecto a un eje),
  - ✓ Es un proceso ruidoso,
  - ✓ Solo se funde de manera centrífuga vertical,
  - ✓ Se limita únicamente a fundir metales de bajo punto de fusión.
- Fundición por dado impresor y formado de metales semisólidos.-

Son dos procesos de fundición que en conjunto forman una combinación de fundición y forjado. El proceso también es llamado forjado de metal líquido y se desarrolló hace unas décadas comprendiendo la solidificación de metal fundido a alta presión.

La maquinaria incluye una matriz, un punzón y un perno expulsor. Se mantiene una presión aplicada en el punzón que mantiene atrapado a los gases en solución, y el contacto a alta presión entre la interfaz matriz-metal acelera la transferencia de calor produciendo una microestructura fina con buenas propiedades mecánicas.

La aplicación de presión supera las dificultades que pueden surgir al alimentar la fundición con un largo intervalo de solidificación y asegurando el correcto llenado de la pieza.



Se pueden fundir partes muy complejas, cercanas a la pieza final, con detalles finos en la superficie, tanto con aleaciones ferrosas como no ferrosas.

El proceso de formado de metal semisólido, también llamado estado pastoso se desarrolló hace algunos años después del proceso de dado impresor, por el año de 1970.

El proceso lleva una mezcla de metal líquido y componentes sólidos, una vez que entran a la matriz, se agitan para ser triturados y quedar como granos sólidos finos. La aleación presenta un comportamiento tixotrópico (de ahí que se le llame al proceso tixotrópico), significa que su viscosidad disminuye cuando se agita [2].

Se realiza entre las temperaturas de cambio de estado sólido a líquido del metal o aleación. Idealmente el metal presenta entre un 30 y 65% de sólido. Para que un metal pueda ser utilizado, debe presentar una baja viscosidad y para alcanzar esa baja viscosidad el metal necesita una estructura primaria globular rodeada por estado líquido. El intervalo de temperaturas posible depende del metal.

Así, cuando se mantiene en reposo y por encima de la temperatura de estado sólido, la aleación presenta una consistencia similar a la mantequilla, aunque si se comienza a agitar, la consistencia cambia a la del aceite para motor, el manejo de metales pastosos ha llevado a desarrollos en extrusión, forjado y laminado.

Estos procesos son utilizados para fabricar partes con aleaciones y compósitos con matriz metálica fundidos o forjados con diseños especiales [2].

Las ventajas del formado de metales semisólidos sobre la fundición de presión en matrices son:

- ✓ Se desarrollan estructuras homogéneas, con uniformidad en sus propiedades y alta resistencia,
- ✓ Se pueden fabricar partes delgadas y gruesas,
- ✓ Se pueden utilizar aleaciones fundidas y forjadas, y
- ✓ Se puede dar tratamiento térmico posterior a las piezas.

La única desventaja es que los metales y el costo en general son más elevados que los de la fundición a presión en matriz [2].

## **1.4. FUNDICIÓN CENTRÍFUGA**

La colada centrífuga es el proceso de girar el molde mientras el metal se solidifica, utilizando así la fuerza centrífuga para forzar el metal fundido a llenar las cavidades del molde.

Se obtienen mayores detalles sobre la superficie de la pieza y se obtienen mejores propiedades mecánicas como la dureza y la resistencia a la tracción.

La colada centrífuga utiliza la fuerza causada por la rotación del molde para distribuir el metal fundido en las cavidades del mismo. Las cavidades del molde de cualquier forma se colocan a una cierta distancia del eje de rotación. El metal fundido se vacía por el centro y se obliga a pasar al molde debido a la fuerza centrífuga, las propiedades de la fundición varían en función de la distancia del eje de rotación [3].

En la fundición centrífuga horizontal, el molde se diseña con cavidades parciales localizadas lejos del eje de rotación de manera que la fuerza centrífuga distribuya la colada del metal entre esas cavidades.

La fundición centrífuga se refiere a varios métodos de fundición caracterizados por utilizar un molde que gira a alta velocidad para que la fuerza centrífuga distribuya el metal fundido en las regiones exteriores de la cavidad del dado. El grupo incluye [4]:

- ✓ Fundición centrífuga real,
- ✓ Fundición semicentrífuga, y
- ✓ Fundición centrifugada o centrifugado [4].

### **1.4.1. FUNDICIÓN CENTRÍFUGA REAL**

En la fundición centrífuga real, el metal fundido se vacía en un molde que está girando para producir una parte tubular. Ejemplos de partes fabricadas por este proceso incluyen tubos, caños, manguitos y anillos. Este método se presenta en la Fig. 1.14. El metal fundido se vacía en el extremo de un molde rotatorio horizontal.

La rotación del molde empieza en algunos casos después del vaciado. La alta velocidad genera fuerzas centrífugas que impulsan al metal a adoptar la forma de la

cavidad del molde. Por lo tanto, la forma exterior de la fundición puede ser redonda, octagonal, hexagonal o cualquier otra [5].

Sin embargo, la forma interior de la fundición es perfectamente redonda (al menos teóricamente), debido a la simetría radial de las fuerzas en juego [6].

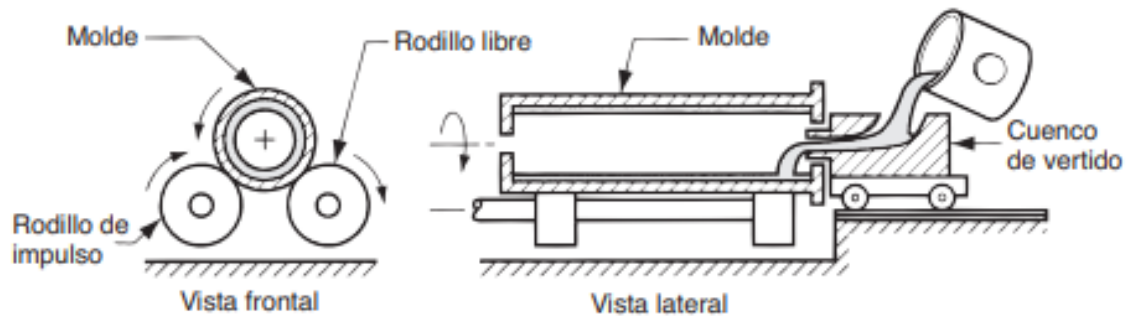


Fig. 1.14. Disposición de la centrífuga real [5].

La orientación del eje de rotación del molde puede ser horizontal o vertical, Aunque esta última es la más común. Para que el proceso trabaje satisfactoriamente se calcula la velocidad de rotación del molde en la fundición centrífuga horizontal. Las fundiciones fabricadas por fundición centrífuga real se caracterizan por su alta densidad, especialmente en las regiones externas de la pieza, donde la fuerza es mayor. La contracción por solidificación en el exterior del tubo fundido no es de consideración, debido a que la fuerza centrífuga relocaliza continuamente el metal fundido hacia la pared del molde durante la solidificación. Cualquier impureza en la fundición se tiende a ubicar en la pared interna y se puede eliminar mediante maquinado [4].

#### 1.4.2. FUNDICIÓN SEMICENTRÍFUGA

En este método se usa la fuerza centrífuga para producir fundiciones sólidas en lugar de partes tubulares, y piezas con simetría rotatoria, como las ruedas con rayos como se presenta en las Figs. 1.15 – 1.17. Por lo regular el centro en este tipo de sistemas de fundición es maquinado posteriormente, excluyendo así la porción de más baja calidad. Los volantes y las poleas son ejemplos de fundiciones que pueden fabricar por

este proceso. Se usan frecuentemente moldes consumibles o desechables en la fundición semicentrífuga, como se sugiere en el proceso [4].

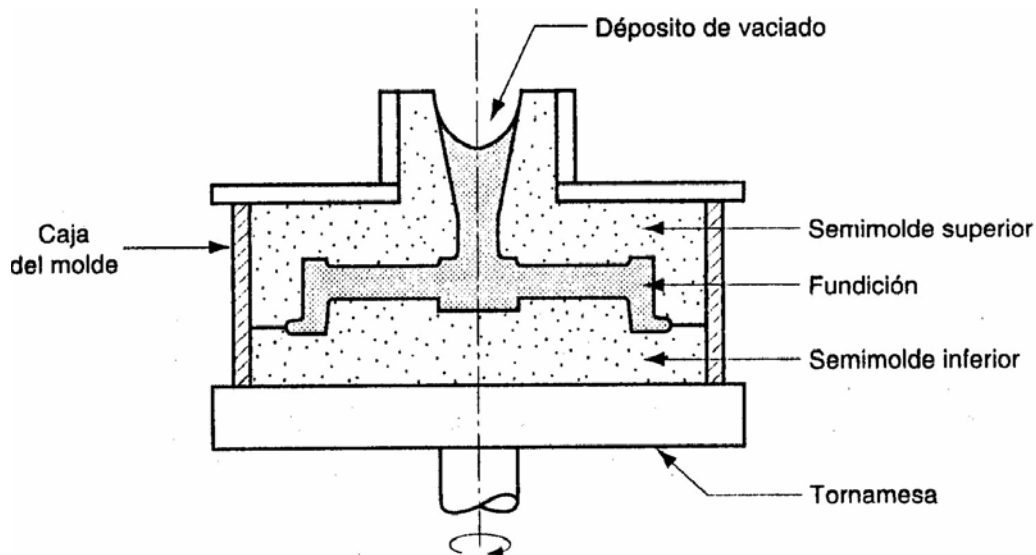


Fig. 1.15. Fundición semicentrífuga [4].

### 1.4.3. FUNDICIÓN CENTRIFUGADA

Es un sistema donde por medio de un tallo se hace llegar metal fundido a racimos de cavidades colocadas simétricamente en la periferia, tal como se presenta en la Fig. 1.16, de manera que la fuerza centrífuga distribuye la colada del metal entre estas cavidades. El proceso se usa para partes pequeñas, la simetría radial de la parte no es un requerimiento como en los otros dos métodos de fundición centrífuga. También se tiene una representación de este proceso en la Fig. 1.17 [4].

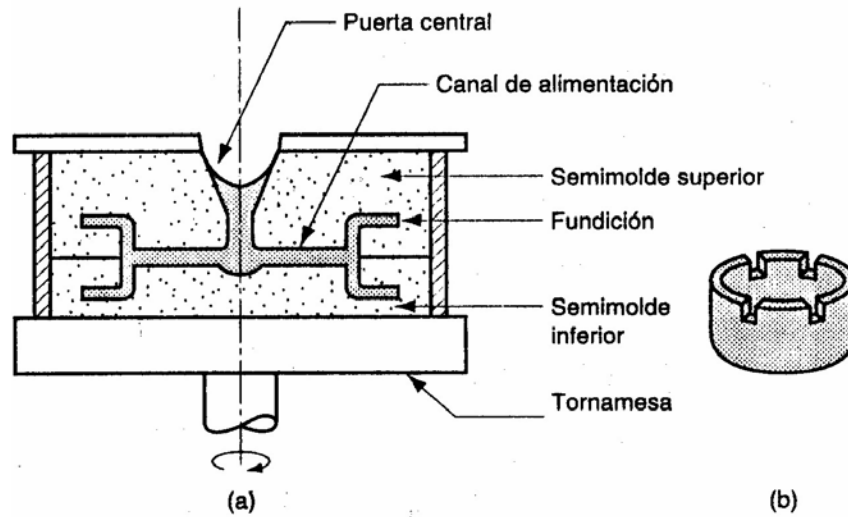


Fig. 1.16. Disposición de los componentes en el centrifugado: a) Fundición centrifugada; y b) la fundición [4].

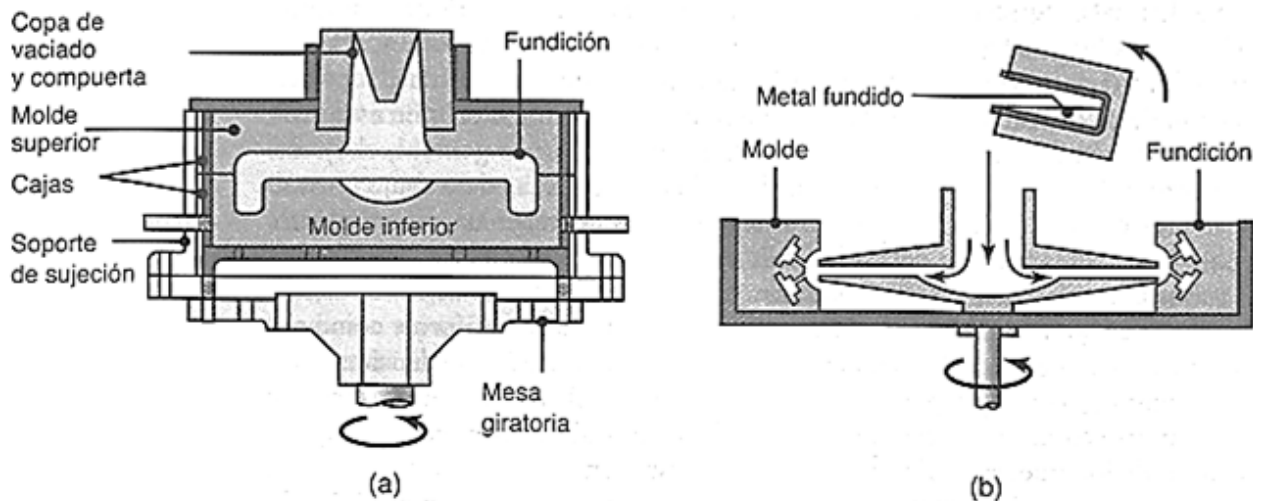


Fig. 1.17. Representación de fundición semicentrífuga y centrífuga: a) Esquema del proceso de fundición semicentrífuga; y b) Esquema de fundición por centrifugado [4].

#### 1.4.4. VENTAJAS TECNOLÓGICAS DE LA FUNDICIÓN CENTRÍFUGA

El proceso de fundición centrífuga ofrece muchas bondades debido a su naturaleza (fuerza centrífuga mayor a la fuerza de gravedad), ya que al comparar con otros procesos de fundición se encuentran beneficios muy sobresalientes, por lo cual en muchas ocasiones es recomendado para los diferentes sectores de la industria. Así, entre las ventajas de este proceso se tienen:

➤ Mejoramiento de las propiedades mecánicas.-

La formación de grano a altas presiones por la aceleración centrípeta con la solidificación direccional son dos características que son únicas en el proceso de centrifugación, el producto exhibe una estructura granular más fina y compacta además de la alta densidad, sin absolutamente ninguna porosidad.

A causa de la uniformidad del tamaño de grano, las propiedades mecánicas tales como el esfuerzo a la tracción, el esfuerzo a la fluencia, elongación, reducción del área, y otras propiedades deseables son mejoradas hasta un 30% sobre los métodos convencionales de fundición tanto estática como por gravedad [4].

➤ Vida más larga de los productos centrifugados.-

Las partes fabricadas en el proceso de centrifugación con tamaño de grano fino y estructura más densa, provee a los metales condiciones de trabajo más confiable y una vida en servicio más prolongada, además se pueden soportar mayores esfuerzos e impactos sin fractura.

Debido a la alta confiabilidad y vida de los componentes producidos usando este proceso, el costo total sobre la vida del producto final es mucho más bajo a causa de su vida más extensa, bajas situaciones de falla además de menos mantenimiento [4].

➤ Reducción de rechazos.-

Mientras el metal es vaciado, las fuerzas centrífugas distribuyen el metal contra las paredes del molde con grandes fuerzas, de ese modo desplaza los óxidos e impurezas más ligeras causándoles que se coloquen en la superficie interior del cilindro que está siendo fundido. Así, los óxidos e impurezas son fácilmente removidos en el proceso de maquinado [4].

➤ Flexibilidad en la producción.-

El proceso de centrifugación permite una producción económica con diversidad de intervalos tanto en volúmenes como en formas y cantidades. Esto convierte a este método en uno ampliamente usado para crear distintas formas, con propiedades mecánicas elevadas y costos de producción relativamente bajos [4].

## 1.5. CRISOL

El crisol es el recipiente utilizado para albergar metales a ser fundidos en un horno y es utilizado para soportar las altas temperaturas encontradas en la fundición metálica. El material del crisol debe tener una alta temperatura de fusión, mucho mayor que la del metal a fundir, resistente al ataque químico del metal y, además, debe tener una excelente resistencia en caliente [7].

Los tipos de crisol que ofrece la industria vienen en tamaños muy variados, generalmente son numerados acorde a la cantidad de aluminio que puedan contener y si se multiplica el valor por 3 se obtiene la cantidad de bronce que puede contener; aunque, cabe aclarar, que cada fabricante posee su propia denominación y no necesariamente se sigue esta norma. Como ejemplo del sistema de denominación, un crisol # 6 puede contener 6 lb de aluminio o 18 lb de bronce [7].

Para el aluminio y sus aleaciones se utilizan crisoles de arcilla grafitada, carburo de silicio y de hierro fundido. Mientras que el crisol de arcilla grafitada y carburo de silicio se usa, preferentemente, para la fusión, la conservación de calor y la colada, los crisoles de hierro fundido solo se usan para la conservación del calor y la colada. Según la aplicación se les exigen las siguientes condiciones: resistencia frente a la acción del aluminio líquido y los medios de tratamiento del fundido, buena conductividad, resistencia térmica y mecánica y a la vez resistencia a los cambios de temperatura [7].

Los crisoles de arcilla grafitada, están formados por una mezcla de grafito y arcilla aglutinante. Estos tienen una capacidad entre 50 y 300 kg de aluminio. Utilizándose últimamente crisoles con una capacidad de 500 a 800 kg. Estos crisoles se pueden usar para la fusión, la conservación del calor y la colada. Su comportamiento con respecto al aluminio fundido es neutro [7].

La duración de los crisoles de grafito depende del tipo de horno y, por lo tanto, del tipo de calentamiento, de la aleación que se funde y de su temperatura de fusión, a la vez del tratamiento al que se someta el caldo. Por término medio se puede calcular en unas 60 a 80 fusiones y para los de conservación del calor una vida de 2 a 2 ½ meses [7].

Con respecto al crisol de arcilla grafitada el de carburo de silicio presenta la ventaja de que la conductividad calorífica y el rendimiento de fusión permanecen constantes. Por

eso no tiene límite su duración respecto a la conductividad. Tiene, además, una mayor resistencia a los cambios de temperatura. Los crisoles de carburo de silicio cuando se les trata con cuidado, tienen una duración mayor que los de arcilla grafitada; también son más caros que aquellos. El comportamiento de los crisoles de carburo de silicio frente al aluminio líquido es neutro [7].

## 1.6. METALES NO FERROSOS

Los metales no ferrosos son aquellos en cuya composición no se encuentra el hierro. Los más importantes son siete: cobre, zinc, plomo, estaño, aluminio, níquel y magnesio. Existen otros elementos que con frecuencia se fusionan con ellos para preparar aleaciones de importancia comercial. También se tienen alrededor de 15 metales menos importantes que tienen usos específicos en la industria. Los metales no ferrosos se clasifican en tres grupos:

- ✓ Pesados: son aquellos cuya densidad es igual o mayor que  $5 \text{ kg/dm}^3$ .
- ✓ Ligeros: su densidad está comprendida entre 2 y  $5 \text{ kg/dm}^3$ .
- ✓ Ultraligeros: su densidad es menor que  $2 \text{ kg/dm}^3$ .

Esta clasificación es de acuerdo a su densidad y se presenta esquematizada en la Fig. 1.18 [7].

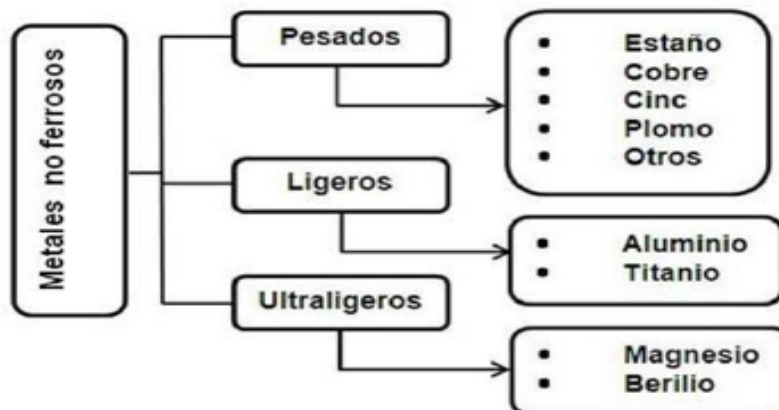


Fig. 1.18. Clasificación de los metales no ferrosos [7].



### 1.6.1. EL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES

Como metal se extrae del mineral conocido con el nombre de bauxita, primero se transforma en alúmina mediante el proceso Bayer y a continuación en aluminio mediante electrólisis [7].

Un factor de diseño es el costo del metal, el cual varía de manera considerable. Así, en la Tabla 1.1 se presenta para algunos metales los precios aproximados, en el país. Sin embargo, se debe recordar que el precio del metal es solamente una pequeña parte del costo de un componente mecánico. Además, en el costo se incluyen la fabricación, comercialización, distribución y terminado [7].

Tabla 1.1. Propiedades y costos de aleaciones más utilizadas [7].

Metal	Densidad		Resistencia a la tracción, ksi	Resistividad, $\Omega$ /pulg	Costo por libra, \$
	gr/cm <sup>3</sup>	lb/pulg <sup>3</sup>			
Aluminio	2.70	0.097	83	$8.6 \times 10^3$	0.60
Berilio	1.85	0.067	55	$8.2 \times 10^3$	300.00
Cobre	8.93	0.322	150	$4.7 \times 10^3$	1.10
Plomo	11.36	0.410	10	$0.2 \times 10^3$	0.35
Magnesio	1.74	0.063	55	$8.7 \times 10^3$	1.40
Níquel	8.90	0.321	180	$5.6 \times 10^3$	4.10
Titanio	4.51	0.163	160	$9.8 \times 10^3$	5.50
Tungsteno	19.25	0.695	150	$2.2 \times 10^3$	10.00
Zinc	7.13	0.257	75	$2.9 \times 10^3$	0.55

El aluminio posee una combinación de propiedades que lo hacen muy útil en las aplicaciones industriales de la ingeniería mecánica, tales como su baja densidad de 2.7 kg/m<sup>3</sup> y su alta resistencia a la corrosión. Mediante la aleación adecuada se puede aumentar considerablemente su resistencia mecánica (hasta los 690 MPa). Es buen conductor de la electricidad, se maquina con facilidad y es relativamente barato. Por todo ello, el aluminio es el metal que más se utiliza después del acero [7].

También, el aluminio responde satisfactoriamente a algunos mecanismos de endurecimiento. En la Tabla 1.2 se presenta las propiedades mecánicas del aluminio reconocido comercialmente como puro y de las aleaciones endurecidas mediante diversas técnicas. Unas aleaciones de aluminio pueden ser 30 veces más resistentes que el aluminio puro [7].

Tabla 1.2. Efectos de los mecanismos de endurecimiento en el aluminio [7].

Metal	Resistencia a la tracción, ksi	Esfuerzo de cedencia, ksi	Elongación, %	$\frac{\text{Límite elástico aleación de Al}}{\text{Límite elástico Al puro}} = \text{u. a.}$
Aluminio puro	6.5	2.5	60	-
Aluminio puro comercial	13.0	5.0	45	2.0
Aleación de aluminio endurecida por solución sólida	16.0	6.0	35	2.4
Aluminio trabajado en frío	24.0	22.0	15	8.8
Aleación de aluminio endurecida por dispersión	42.0	22.0	35	8.8
Aleación de aluminio endurecida por envejecimiento	83.0	73.0	11	29.2

A continuación, se detallan algunas de las características más relevantes del aluminio, iniciando con sus características físicas y luego se describen sus características mecánicas y los procesos de fundición que se le aplican.

➤ Características físicas y químicas del aluminio.-

Las propiedades físicas más importantes del aluminio son alta conductividad eléctrica y térmica, comportamiento no magnético y excelente resistencia a la corrosión. Este elemento reacciona con el oxígeno, incluso a temperatura ambiente, para poder producir una capa extremadamente delgada de óxido de aluminio que protege el metal interno de muchos entornos corrosivos [7].

En la Tabla 1.3 se presenta un resumen de las propiedades físicas más características del aluminio puro. Algunas de estas propiedades varían según el contenido de impurezas.

Tabla 1.3. Resumen de las características físicas del aluminio [7].

Propiedades	Valores
Color	Blanco plata
Estructura cristalográfica	Cúbica centrada en las caras
Parámetro reticular a 25 °C, nm	0.40414
Densidad a 20 °C, gr/cm <sup>3</sup>	2.699
Cambio volumétrico durante la solidificación, %	6.7
Temperatura de fusión, °C	660.2
Temperatura de ebullición, °C	2,075 °C – 2,480
Calor específico a 20 °C, J	930
Coefficiente lineal de expansión térmico (x10 <sup>6</sup> ), °C	23 (20 – 100)
Conductividad térmica a 0 °C, W/m·K	209.3
Conductividad térmica a 100 °C, W/m·K	207
Resistividad eléctrica a 20 °C, μΩ·cm	2.69

Según el efecto que tienen los elementos aleantes sobre la resistencia a la corrosión del aluminio, éstos se pueden clasificar en:

- ✓ Elementos que la mejoran: cromo, magnesio y manganeso.
- ✓ Elementos que la disminuyen: cobre, hierro, níquel, estaño, plomo y cobalto.
- ✓ Elementos que tienen poca influencia: silicio, titanio, zinc, antimonio, cadmio y circonio [7].

➤ Características mecánicas del aluminio.-

Entre las características mecánicas del aluminio se tienen las siguientes:

- ✓ Fácil de maquinar;
- ✓ Muy maleable y dúctil, permite la producción de láminas muy delgadas y filamentos;
- ✓ Metal blando (escala de Mohs: 2 a 3);
- ✓ Forma aleaciones con otros metales para mejorar las propiedades mecánicas;
- ✓ Permite la fabricación de piezas por fundición, forja, extrusión y soldable [7]; y

➤ Fundición de aluminio.

Las aleaciones de aluminio son en general las más manejables. El punto de fusión del aluminio puro es 600 °C, por consiguiente, las temperaturas de vaciado para las aleaciones de aluminio son bajas comparadas con las de las fundiciones de hierro y acero. Las propiedades que hacen atractivas a estas aleaciones para la fundición son: su peso ligero, su amplio intervalo de propiedades de resistencia que se pueden obtener a través de tratamientos térmicos y su facilidad de maquinado [7].

Sin embargo, el aluminio no exhibe, un marcado endurecimiento, por lo que puede ocurrir falla por fatiga incluso a esfuerzos bajos. Debido a la baja temperatura de fusión, no trabaja bien a temperaturas elevadas. Finalmente, las aleaciones de aluminio tienen baja dureza, lo que conlleva a una baja resistencia al desgaste [7].

Las piezas moldeadas de aleación de aluminio son económicas en muchas aplicaciones. Se utilizan tanto en las industrias automovilísticas, construcción de máquinas, aparatos y estructuras, como también utensilios de cocina, cubiertas para equipos electrónicos, y en otras áreas [7].

La mayoría de los metales reaccionan con los gases oxígeno, nitrógeno e hidrógeno, los tres de importancia principal en las operaciones de fusión ya que estos causan problemas de porosidad [7].

Para la mayoría de los metales, la transformación desde el estado líquido al estado sólido se acompaña de una disminución en el volumen. En aleaciones de aluminio, la contracción volumétrica de solidificación comprende un intervalo de 3.5 al 8.5% [7].

Otro problema que presentan las aleaciones de aluminio es la fisuración en caliente la cual se origina durante la solidificación, cuando se produce la mayor cantidad de contracción y cuando la fundición es menos resistente a los esfuerzos impuestos por las limitaciones geométricas del molde. Este tipo de agrietamiento, es siempre inter granular y es una característica en cierta medida de todas las aleaciones de fundición [7].

Los problemas de fisuración en caliente se pueden minimizar mediante la selección apropiada del proceso de fundición, el diseño apropiado de moldes, control de la solidificación y el refinamiento de grano [7].

El diseño de moldes inadecuado es una causa frecuente de fisuración en caliente. Es importante evitar cambios bruscos de sección y ángulos o esquinas redondeadas a un radio inadecuado o fileteado [7].

Los moldes utilizados para fundir estas aleaciones de aluminio, son generalmente arena seca y otros materiales, tales como yeso y perfiles metálicos. La elaboración, la planificación y el control de la solidificación a través del molde diseñado son necesarios para lograr la estructura y solidez requeridas para suministrar piezas de fundición dentro de la especificación [7].

## 1.6.2. EL COBRE Y SUS ALEACIONES

El cobre puro tiene un color rojizo o rosa distintivo, pero su propiedad de ingeniería más notable es su resistividad eléctrica baja, uno de los elementos con la más baja. Debido a esta propiedad, y a su abundancia relativa en la naturaleza, el cobre puro comercial se usa mucho como conductor eléctrico (aquí se debe decir que la conductividad del cobre disminuye de manera significativa si se agregan elementos de aleación). El Cu también es un conductor térmico excelente. El cobre es uno de los metales nobles (el oro y la plata también lo son), por lo que es resistente a la corrosión. Todas esas propiedades se combinan para que el cobre sea uno de los metales más importantes [8].

En contraparte, la resistencia y dureza del cobre son relativamente bajas, en especial si se toma en consideración el peso. En consecuencia, para mejorar la resistencia (así como por otras razones), es frecuente que el cobre se alee [8]. Así, las características relevantes del elemento cobre se presenta en la Tabla 1.4.

El bronce es una aleación de cobre y estaño (es común el 90% de Cu y 10% de Sn), el cual aún en la actualidad se usa a pesar de su antigüedad. Se han desarrollado aleaciones de bronce adicionales, con base en otros elementos distintos del estaño; entre éstos se hallan bronce al aluminio, bronce al silicio y bronce al berilio [8]. Esta última aleación es la que posee la mayor resistencia (con sólo el 2% de berilio), se puede tratar térmicamente para obtener resistencias a la tracción de 1,035 MPa (150 ksi). Las aleaciones de Be-Cu se usan para fabricar resortes [8].

El latón es otra aleación de cobre que resulta familiar, compuesta de cobre y zinc (es común que contenga 65% de cobre y 35% de zinc).

Las aleaciones de cobre, presentan una mayor resistencia y por ello no se pueden utilizar en aplicaciones eléctricas, no obstante, su resistencia a la corrosión es casi tan buena como la del cobre puro y son de fácil manejo. Las dos aleaciones más importantes son una aleación con cinc (latón) y una aleación con estaño (bronce). A menudo, tanto el cinc como el estaño se funden en una misma aleación, haciendo difícil una diferenciación precisa entre el latón y el bronce, ambos se emplean en grandes cantidades; también se

usa el cobre en aleaciones con oro, plata y níquel, y es un componente importante en aleaciones como el monel, el bronce de cañón y la plata alemana o alpaca [7].

Tabla 1.4. Características generales del cobre [8].

Símbolo	Cu
Número atómico	29
Gravedad específica	8.96 (adimensional)
Estructura cristalina	FCC
Temperatura de fusión	1083 °C
Módulo de elasticidad	110 GPa
Mineral del que se extrae	Varios, por ejemplo, calcopirita (CuFeS <sub>2</sub> ),
Elementos de aleación	Estaño (bronce), zinc (latón), aluminio, silicio, níquel y berilio
Resistencia a la tracción	235 MPa
Aplicaciones comunes	Conductores y componentes eléctricos, municiones (latón), vasijas, cacerolas, joyería, plomería, aplicaciones marinas, intercambiadores de calor, resortes (Be-Cu)

Para tener buena conductividad térmica o eléctrica se debe usar cobre comercialmente puro; si se requiere mayor resistencia mecánica combinada con alta conductividad, se utilizan aleaciones que contienen zirconio u otros elementos. La aleación de cobre más barata es el latón con alto contenido de zinc y por lo común es el que se utiliza salvo cuando se requiere alta resistencia a la corrosión sometida a esfuerzo o a las propiedades mecánicas especiales de otras aleaciones. Cuando se desean buenas propiedades para trabajo en frío, tal como en operaciones de estirado profundo, o formado, se utiliza cuando se debe realizar mucho maquinado, en particular en el trabajo con máquinas automáticas para fabricar tornillos [7].

Los bronce al estaño se utilizan para obtener una alta resistencia con buena ductilidad. Las aleaciones de cobre con aluminio silicio o níquel son buenas por su resistencia a la corrosión [7].

Las principales características del cobre se describen a continuación:

➤ Los cobres débilmente aleados.-

Son aquellos que poseen bajo contenido de elementos de adición (menos del 1%) y se utilizan cuando alguna de las propiedades de los cobres propiamente dicha es insuficiente. Como por ejemplo cuando se requiere mejor:

- ✓ Resistencia mecánica a temperaturas relativamente elevadas,
- ✓ Resistencia a la corrosión,

- ✓ Soldabilidad,
- ✓ Resistencia al reblandecimiento, y
- ✓ Maquinabilidad.

Las composiciones de cobres débilmente aleados son [7]:

- ✓ Cobre desoxidado con fósforo o con arsénico,
- ✓ Cobre tenaz con plata.
- ✓ Cobre exento de oxígeno con plata,
- ✓ Cobre con azufre, y
- ✓ Cobre con telurio
- Fundición del cobre.-

Su proceso de obtención consiste en extraer el metal de un mineral calentando para quemar el azufre y otras impurezas y crear un óxido en el proceso. Este mineral oxidado es reducido usando coque o carbón, removiendo el óxido y dejando el metal. La fundición del cobre ha sido una parte de la civilización humana por diez milenios, haciéndolo uno de los primeros metales recolectados y usados para varios propósitos, moviendo a la humanidad más allá de la época neolítica [7].

- Etapas del proceso de fundición del cobre.-

La fundición se lleva a cabo siguiendo una serie de pasos que inicia desde la recolección del mineral hasta la obtención del metal.

- Recepción y muestreo:

En esta primera fase el objetivo que tiene es que como normalmente se trabaja con concentrados de diferentes procedencias, es necesario hacer un muestreo de ellos y clasificarlos de acuerdo con la concentración de cobre, hierro, azufre, sílice y porcentaje de humedad que tengan. Este proceso consiste en que el concentrado adquirido se deberá almacenar, donde se obtienen muestras que son sometidas a análisis de laboratorio para determinar los contenidos de cobre, hierro, azufre, sílice y la humedad, información que es fundamental para iniciar el proceso de fusión. El contenido máximo de humedad es de 8%, ya que, con valores superiores, el concentrado se comporta como barro difícil de manipular y exige más energía para la fusión. De acuerdo con los resultados de los contenidos de cobre, el metal se clasifica y almacena [7].

- Proceso de Fusión:

En esta segunda parte el objetivo es lograr el cambio de estado que permite que el concentrado pase de estado sólido a líquido para que el cobre se separe de los otros elementos que componen el concentrado. Esto ocurre durante la fusión en donde el concentrado de cobre es sometido a altas temperaturas (1,200 °C) para lograr el cambio de estado de sólido a líquido. Al pasar al estado líquido, los elementos que componen los minerales presentes en el concentrado se separan según su peso, quedando los más livianos en la parte superior del fundido, mientras que el cobre, que es más pesado se concentra en la parte baja. De esta forma es posible separar ambas partes vaciándolas por vías distintas [7].

## **1.7. GENERALIDADES DE LA FUNDICIÓN A LA CERA PERDIDA**

Para la construcción del modelo en cera se debe cumplir algunos requisitos para poder trabajar en éste. En primer lugar, la cera debe ser segura para manejarla como un sólido, no debe dar lugar a humos nocivos al ser fundida o quemada cuando se evacua del molde, debe tener bajo contenido de cenizas. Al trabajar con soluciones cerámicas o suspensiones que contienen partículas de refractarios, deber ser resistente a solventes orgánicos o álcali que pueden estar presente en las mezclas cerámicas. Además, la mezcla de las ceras, deben presentar una alta soldabilidad [9].

El acabado superficial del modelo de cera debe ser bueno para que se logre una fiel reproducción en el molde de cerámica. Cuando se usa una mezcla de ceras para modelos, los materiales deben ser compatibles, es decir, se deben disolver entre sí a tal punto en el que no ocurrirá la separación de los componentes cuando la mezcla se mantenga dentro de un determinado límite de temperatura [9].

Cuando se habla de ceras, se entiende todos aquellos materiales de tipo céreo que se presentan en la naturaleza, además de los materiales sintéticos de tipo ceroso, las cuales poseen características de repeler el agua, ser moldeables, entre otras.

Si se basan en las propiedades químicas de las ceras además se pueden diferenciar las grasas, por su dureza, fragilidad y baja untuosidad.



Los constituyentes principales de las ceras son ácidos, alcoholes, ésteres e hidrocarburos saturados, todos estos de alto peso molecular [9].

Los diferentes tipos de ceras que existen son las ceras animales, ceras minerales, ceras vegetales y ceras sintéticas, en la Tabla 1.5 se detallan las tres primeras.

Tabla 1.5. Clases de ceras [9].

Cera		Lugar de origen	Aspecto original	Intervalo de fusión, °C	Densidad, gr/cm <sup>3</sup>
Ceras animales	De abeja	Todo el mundo	De amarillo claro a pardo verdoso obscuro	62 - 70	0.975
	Esperma de ballena	India	Blanca, cristalina	41 - 49	0.96
Ceras minerales	Ceresina	--	Amarilla, blanca	64 - 77	0.88
	De lignito	Alemania, California	Parda oscura, negra pardusca	76 - 92	0.99
	Ozoquerita	Principalmente: Galitzia (Ucrania), Isla Cheleken (Turkmenistán), además: Utah, Australia, Egipto, Serbia.	Amarilla, parda oscura, ámbar oscuro	58 - 100	0.95
Ceras vegetales	De candelilla	México y suroeste de Texas	Parda oscura y verdosa	65 - 69	0.969
	De carnauba	Noroeste de Brasil	Amarilla azufre a negra	83 - 91	0.999
	Uricuri	Brasil	Parda oscura, negra	79 - 84	1.06
	De palma	Andes colombianos	Blanca	---	---
	De caña	Cuba, Puerto Rico, Luisiana	Parda oscura	76 - 79	0.997

Con referencia a la Tabla anterior se hace una breve descripción de cada una de los tipos de ceras.

➤ Ceras animales.-

La representante más importante de las ceras animales es la cera de abejas. La cera varía de color y calidad según el tipo de abeja, su alimentación y el proceso de recuperación de la cera. El color es generalmente amarillo oscuro y posee el olor a miel. La cera de abejas representa elasticidad y maleabilidad, es soluble en éter, acetona, bencina, cloroformo y sulfuro de carbono [9].

➤ Ceras minerales.-

Las ceras minerales son las que se obtienen como un derivado de hidrocarburos o algún otro mineral, se mencionan algunas de las ceras más importantes de este tipo:

- Cera de lignito.

Esta es una cera bituminosa que se presenta en los lignitos, de los cuales se extrae fácilmente. La cera es compleja desde el punto de vista químico, pero su constitución es similar a las demás ceras naturales [9].

- Ozoquerita.

Esta es una cera de hidrocarburos, se extrae de vetas de ceríferos que por lo general se hallan cerca de la superficie de la tierra. Tiene estrecho parecido a la parafina tanto en la apariencia como en la composición. La ozoquerita refinada recibe el nombre de Ceresina [9].

- Parafina.

La parafina se deriva de las fracciones del petróleo de alto punto de ebullición. Principalmente se compone de unas mezclas complejas de hidrocarburos de la serie del metano, junto con una cantidad menor de fases amorfas o micro cristalinas [9]. Es insoluble en agua, aunque si es soluble en éter, benceno, y algunos esteres. La parafina no se afecta por los reactivos químicos más comunes, pero se quema fácilmente. La parafina se expande considerablemente cuando se derrite [9].

➤ Ceras vegetales.-

Como su nombre lo indica las ceras vegetales provienen de plantas o árboles, y se caracterizan por tener puntos de fusión más elevados que las ceras minerales, entre las principales se tienen [9]:

- Cera carnauba. La principal representante de las ceras vegetales es la cera carnauba, que segrega en forma de polvo de las hojas de una palmera en abanico. Su alto punto de fusión, dureza, su capacidad de dar lustre de gran calidad, hace de la carnauba una cera sobresaliente. En el comercio se dispone de numerosos grados de calidad y se usan con frecuencia en mezclas con otras ceras para subir el punto de fusión.
- Cera de uricuri. La cera uricuri es similar a la carnauba, pero más barata, esta se obtiene de una pequeña palma plumosa. Los usos de la cera de uricuri son

análogos a los de la carnauba y frecuentemente se la emplea como sustituto de ésta. Sin embargo, su uso se restringe por su color oscuro.

- Colofonia. También conocida como pez de castilla, es una resina natural de color ámbar obtenida de las coníferas por exudación de los árboles en crecimiento o extracción de los tocones. Los usos actuales son la adición de colofonia modificada al caucho de los neumáticos para conferirles mayor plasticidad, el chicle es fundamentalmente colofonia.
- Cera de palma. Esta es otra cera que se presenta cubriendo el tronco de una palmera, su temperatura de fusión está entre 82 y 86 °C.
- Cera de candelilla. De las ceras obtenidas de los tallos, hojas o frutos de plantas pequeñas, esta es importante. La cera candelilla es dura y frágil, está constituida en un 50% por hidrocarburos con cantidades más pequeñas de ésteres y ácidos libres.
- Cera de caña de azúcar. Esta cera se presenta como una capa blanca y fina que recubre el tallo de la caña de azúcar, los usos de ésta son similares a la carnauba.

➤ Ceras sintéticas.-

La aparición de ceras sintéticas a mediados del siglo XX, se vio como un adelanto de gran importancia, ya que tienen propiedades físicas similares a las ceras naturales.

Las ceras sintéticas más comúnmente conocidas son:

- ✓ Ácidos de alto peso molecular:
  - Ácidos esteáricos,
  - Ácidos palmíticos, y
  - Ácidos mirísticos [9]; y
- ✓ Alcoholes de alto peso molecular [9]:
  - Alcohol cetílico,
  - Alcohol esteárico,
  - Ceras de lignito des resinificada,
  - Polietileno céreo de peso molecular bajo,
  - Polímeros de óxido de etileno,
  - Hidróxidos terfenílicos,

- Hidrocarburos clorados (parafina clorada), y
- Amidas de los ácidos grasos superiores (esteraminas).

## 1.8. CARACTERÍSTICAS DEL YESO PARA MOLDES

Los moldes de yeso se usan para colar metales no férricos tales como: oro, plata, aluminio, magnesio, cobre y sus aleaciones, particularmente bronce y latón. El yeso se puede emplear como material de revestimiento en el método a la cera perdida o para moldear cajas completas en dos mitades. El material de moldeo es una lechada o papilla de yeso calcinado con adiciones de talco para evitar que se agriete el molde, productos como el óxido de magnesio para acelerar el fraguado u otros para retardarlo [10].

Para obtener el molde, se vierte en una caja la lechada sobre la placa modelo, generalmente metálica y fabricada cuidadosamente. Después de unos minutos a la temperatura ambiente, la mezcla comienza a fraguar y adquiere la consistencia suficiente para que se pueda retirar el modelo. El molde se introduce en una estufa para eliminar el agua [10].

Las ventajas del moldeo en yeso consisten en que se obtienen superficies muy bien acabadas, con perfecta reproducción de los detalles del molde, elevada precisión en las medidas (entre 0.8 y 1%), que en muchos casos elimina el mecanizado y se consiguen piezas por lo general exentas de porosidad superficial y esfuerzos internos. El principal inconveniente es la oxidación de los metales férricos, por lo que estos no se pueden utilizar [10].

El yeso es un mineral que proviene de distintas partes del mundo. El proceso de elaboración empieza cuando el sulfato de calcio hidratado es calcinado para que pierda humedad y después es molido, de esta manera se convierte en sulfato de calcio semihidratado [9].

Al ser calcinado da lugar a otros productos que se presentan a continuación:

- Yeso beta: Es el yeso blanco o mejor conocido como “blanca-nieves” es el menos costoso, pero es el de más escasa resistencia, se usa para enfrascados, montados y base de modelos [9].

- Yeso alfa 1: También llamado yeso piedra, posee una mayor dureza y más exactitud dimensional, esto lo hace más deseable para la confección de ciertas restauraciones. Se utiliza para realizar modelos de piezas de trabajo, modelos de estudio y de diagnóstico dental [9].
- Yeso alfa 2: También llamado *velmix5* o *dencita*, se utiliza para trabajos que exijan una máxima precisión y resistencia. Se utilizan para los modelos de trabajo para prótesis dentales [9].

Las diferencias principales entre los diversos tipos de yesos están en el tamaño, forma y porosidad de los cristales de sulfato de calcio semihidratado. Estas diferencias influyen en la cantidad de agua necesaria para la mezcla. El yeso blanco necesita de 48 a 55 ml de agua por cada 100 g de polvo; el yeso piedra requiere alrededor de 30 ml de agua por cada 100 g de polvo y el yeso *velmix* o *dencita* entre 22 y 24 ml por cada 100 g de polvo [9].

La resistencia se mejora al hacer posible una menor proporción agua/polvo (A/P). La importancia de medir y pesar los elementos para las mezclas con yeso es importante, pues de nada servirá utilizar un yeso muy resistente, que, sin las medidas adecuadas, se tiene variantes en el trabajo a realizar [9].

## **2. DISEÑO DE LA CENTRÍFUGA**

Primeramente, se considera la importancia de que la máquina centrífuga esté bien balanceada para evitar desgastes innecesarios en los cojinetes durante su servicio. Así, si la máquina está balanceada correctamente disminuirá la posibilidad de derrame del metal fundido fuera del molde. Por lo que se iniciará con la determinación de la fuerza que dará inicio al movimiento de la máquina, esta fuerza debe ser lo más adecuada posible para evitar sobreesfuerzo físico en la persona que opera la misma, pero que asegure el torque necesario para lograr el giro que permita que el metal líquido se vierta completamente en el molde.

Posteriormente se procede a determinar las reacciones, momentos y esfuerzos que se producirán en los sitios de los cojinetes a lo largo del eje, así se hará uso de la teoría de un método adecuado, con el cual es posible determinar las dimensiones del eje de la centrífuga.

Determinadas las dimensiones del eje, se estará en condiciones de calcular los cojinetes. Para ello también se necesita considerar las reacciones en los sitios donde estarán alojados los mismos, previamente calculadas en el análisis del eje. Así, se procederá a calcular la carga equivalente en el cojinete para determinar la carga dinámica e identificar con ella el valor de la carga estática obtenida de tablas, para la posterior selección de cada cojinete con sus respectivas tolerancias.

Finalmente, se procederá a determinar las dimensiones del resorte espiral, las cuales, cuando la relación entre la longitud, el espesor, el área del resorte y el área de la carcasa cumplen ciertos requisitos, es posible calcular las fuerzas y las desviaciones con una precisión razonable, a través de las fórmulas para los resortes espirales de potencia [16].

### **2.1. ESQUEMA Y PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA CENTRÍFUGA**

En la Fig. 2.1 se presenta la centrífuga en la cual se puede observar la mayor parte de los componentes que la conforman, excepto los componentes que están cubiertos por la carcasa.

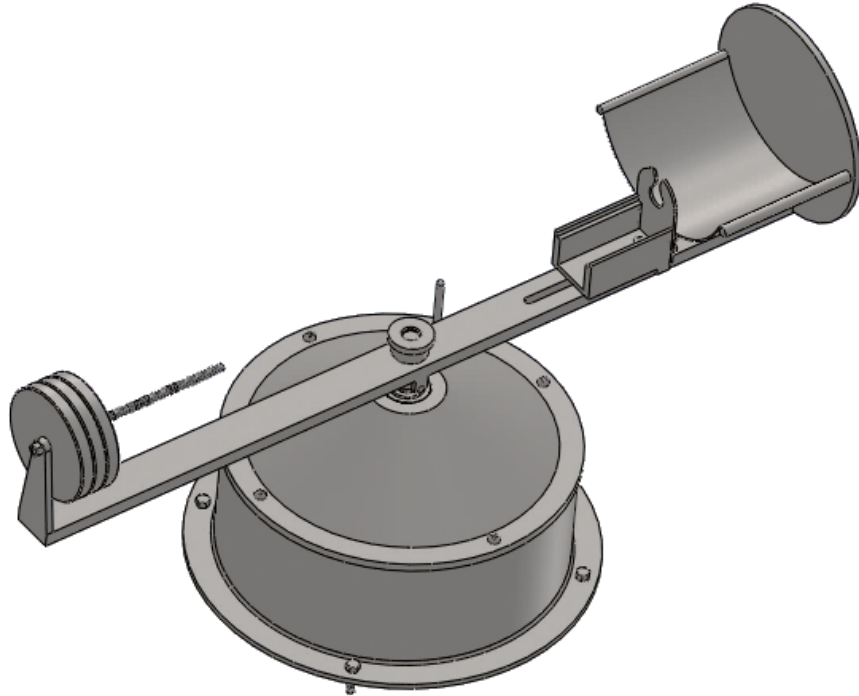


Fig. 2.1. Esquema de la propuesta de centrífuga a diseñar.

## 2.2. DIMENSIONAMIENTO DE LOS COMPONENTES Y CÁLCULO DE LAS VARIABLES DE DISEÑO

La fuerza promedio del brazo de una persona con una longitud desde el codo hasta la mano de 0.35 m, es de 73.11 N, esta fuerza ha sido determinada considerando que el esfuerzo realizado por la persona no le produzca algún tipo de lesión músculo-esquelética, el criterio usado para la determinación de esta fuerza se ha fundamentado en la protección de la integridad física del operador de la máquina, la investigación indica que la fuerza máxima a la que una persona se puede someter es de 146.23 N, y por lo tanto se opta por utilizar el valor medio para la centrífuga a diseñar [11].

El propósito de diseñar la centrífuga y determinar el torque en base al valor medio de esta fuerza es que en el instante de operar la centrífuga, cualquier persona sea capaz de accionar con facilidad y sin mayor esfuerzo.

Con el valor de la fuerza ya determinado, se procedió a realizar el cálculo del torque máximo producido en el eje de la máquina, el cual se presenta en la Fig. 2.2, en

el cual está instalado el brazo de la centrífuga para lograr el giro necesario en sentido horario, mediante la Ec. 2.1.

$$T = F_{imp} * r \quad (2.1)$$

donde: T es el torque máximo producido por la fuerza impulsora en N·m,

$F_{imp}$  es la fuerza impulsora o fuerza aplicada en el extremo del brazo la cual es igual a 73.11 N, y

r es la distancia desde el eje hasta el extremo del brazo de la centrífuga en m.

Dado que se tienen los valores de la fuerza aplicada en el extremo del brazo y la distancia desde el extremo del brazo hasta la posición del eje de la centrífuga. Además, la longitud del brazo de la centrífuga es de 0.6 m, por lo tanto, la distancia desde el extremo del brazo al centro (posición del eje) es de 0.3 m. Sustituyendo en la Ec. 2.1, se obtiene:

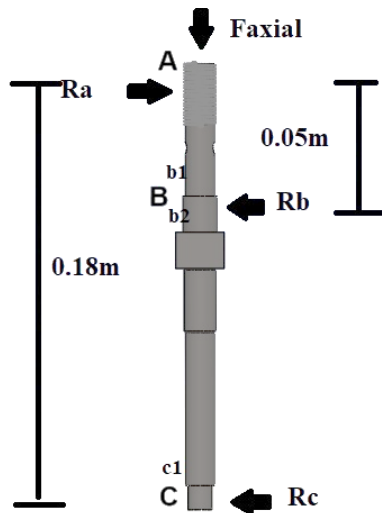
$$T = 73.11 \text{ N} * 0.30 \text{ m}$$

$$T = 21.93 \text{ N}\cdot\text{m}.$$

### 2.2.1. DETERMINACIÓN DEL EJE

Haciendo análisis de momentos en los puntos donde se ubican los cojinetes a lo largo del eje, se puede encontrar las reacciones correspondientes a dichos puntos, para ello se usa el esquema que se presenta en la Fig. 2.2.





A es el punto del eje donde se aplicará la fuerza impulsora,  
 B es la ubicación del primer cojinete,  
 C es la ubicación del segundo cojinete,  
 $b_1$ ,  $b_2$ ,  $c_1$  son los cambios de sección debidos al montaje de los cojinetes,  
 $R_a$  es la fuerza aplicada en el punto A,  
 $R_b$  es la reacción en el punto B,  
 $R_c$  es la reacción en el punto C, y  
 $F_{axial}$  es la fuerza a lo largo del eje.

Fig. 2.2. Diagrama de reacciones en el eje debido a la fuerza impulsora.

Realizando sumatoria de momentos en el punto B ( $M_B$ ) el cual se presenta en la Fig. 2.2, con el fin de obtener la reacción en el punto C, se obtiene la Ec. 2.2:

$$\oplus \sum M_B = 0$$

$$-F_{imp}(dist_{A-B}) - R_C(dist_{B-C}) = 0 \quad (2.2)$$

donde:  $M_B$  es el momento en el punto B;

$F_{imp}$  es la fuerza impulsora, o fuerza promedio en el brazo de una persona;

$dist_{A-B}$  es la distancia desde el punto A al punto B;

$dist_{B-C}$  es la distancia desde el punto B al punto C; y

$R_C$  es la reacción en el punto C.

Sustituyen los valores numéricos correspondientes en cada componente de la Ec. 2.2, se obtiene:

$$-73.11(0.05) - R_C(0.13) = 0$$

$$R_C = \frac{-73.11(0.05)}{0.13}$$

$$R_C = -28.12 \text{ N}$$

Realizando sumatoria de momentos en el punto C, tal como se presenta en la Fig. 2.2, se obtiene la reacción en el punto B, descrito por la Ec. 2.3, así:

$$\oplus \sum M_C = 0$$

$$-F_{imp}(dist_{A-C}) + R_B(dist_{B-C}) = 0 \quad (2.3)$$

donde:  $M_C$  es el momento en el punto C,

$Dist_{A-C}$  es la distancia desde el punto A al punto C, y

$R_B$  es la reacción en el punto B.

Ahora sustituyendo los valores numéricos correspondientes de los componentes de la Ec. 2.3, queda:

$$-73.11(0.18) + R_B(0.13) = 0$$

$$R_B = \frac{73.11(0.18)}{0.13}$$

$$R_B = 101.23 \text{ N}$$

Con las reacciones encontradas se puede calcular las fuerzas cortantes y proceder a construir el respectivo diagrama:

Fuerza cortante en A: es la fuerza impulsora.

$$F_{imp} = 73.11 \text{ N.}$$

Fuerza cortante en B: es la fuerza cortante en el punto A menos la reacción en el punto B, tal como se presenta en la Ec. 2.4, así:

$$F_{cortante B} = F_{imp} - R_B \quad (2.4)$$

Sustituyendo en la Ec. 2.3, se obtiene:

$$F_{cortante B} = 73.11 - 101.23$$

$$F_{cortante B} = -28.12 \text{ N}$$

Fuerza cortante en C: es la fuerza cortante en el punto B menos la reacción en el punto C, tal como se presenta en la Ec. 2.5, así:

$$F_{cortante\ C} = F_{cortante\ B} - R_c \quad (2.5)$$

Sustituyendo en la Ec. 2.5, se obtiene:

$$F_{cortante\ C} = -28.12 - (-28.12)$$

$$F_{cortante\ C} = 0.0\ N.$$

Calculadas las fuerzas cortantes, estas fuerzas se presentan en el diagrama de la Fig. 2.3.

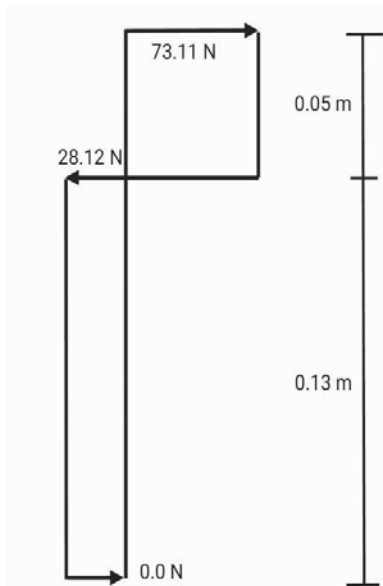


Fig. 2.3. Diagrama de cortante de las reacciones en el eje.

Se procede a calcular los momentos en las posiciones de los cojinetes y en los cambios de sección del eje para poder realizar diagramas de momento.

El momento en el cambio de sección ubicado en el punto  $b_1$ , se calcula tal como se presenta en la Ec. 2.6, así:

$$M_{b_1} = (F_{imp})(dist_{A-b_1}) \quad (2.6)$$

donde:  $M_{b1}$  es el momento en el punto  $b_1$ , y

$dist_{A-b1}$  es la distancia desde el punto A hasta el punto  $b_1$ .

Sustituyendo en la Ec. 2.6, se obtiene:

$$M_{b1} = (73.11)(0.05 - 0.0055)$$

$$M_{b1} = 3.25 \text{ N} \cdot \text{m}$$

El momento generado en el punto B, el cual es la ubicación del primer cojinete, se calcula tal como se presenta en la Ec. 2.7, así:

$$M_B = (F_{imp})(dist_{A-B}) \quad (2.7)$$

donde:  $M_B$  es el momento en el punto B.

Sustituyendo en la Ec. 2.7, se obtiene:

$$M_B = 73.11 (0.05)$$

$$M_B = 3.66 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

El momento generado en el cambio de sección ubicado en el punto  $b_2$  se calcula tal como se presenta en la Ec. 2.8, así:

$$M_{b2} = M_B - (F_{imp} - R_B)(dist_{B-b2}) \quad (2.8)$$

donde:  $M_{b2}$  es el momento en el punto  $b_2$ , y

$dist_{B-b2}$  es la distancia desde el punto B hasta el punto  $b_2$ .

Sustituyendo en la Ec. 2.8, se obtiene:

$$M_{b2} = 3.66 - (28.12 * 0.0055)$$

$$M_{b2} = 3.50 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

El momento generado en el cambio de sección ubicado en el punto  $c_1$  se calcula tal como se presenta en la Ec. 2.9.

$$M_{c1} = M_B - (F_{imp} - R_B)(dist_{B-c1}) \quad (2.9)$$

donde:  $M_{c1}$  es el momento en el punto  $c_1$ , y

$dist_{B-c1}$  es la distancia desde el punto B hasta el punto  $c_1$ .

Sustituyendo en la Ec. 2.9, se obtiene:

$$M_{c1} = 3.66 - [28.12 * (0.18 - 0.05 - 0.0055)]$$

$$M_{c1} = 0.16 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

El momento en el punto C, el cual es la ubicación del segundo cojinete se calcula tal como se presenta en la Ec. 2.10.

$$M_C = M_B - (F_{imp} - R_B)(dist_{B-C}) \quad (2.10)$$

donde:  $M_C$  es el momento en el punto C.

Sustituyendo en la Ec. 2.10, se obtiene:

$$M_C = 3.66 - [28.12 * (0.18 - 0.05)]$$

$$M_C = 0.0 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

En la Fig. 2.4 se presenta el diagrama de momentos distribuidos a lo largo del eje, resultado de los cálculos previamente realizados.

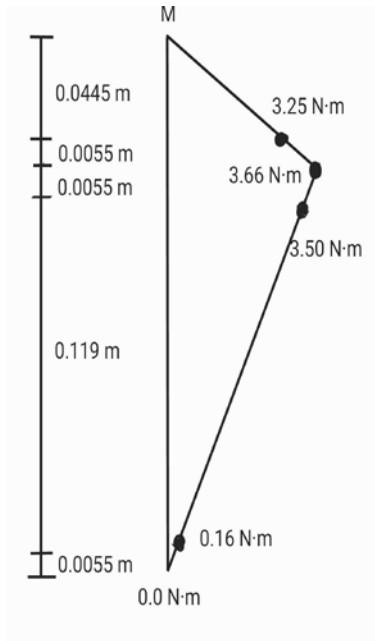


Fig. 2.4. Diagrama de momentos a lo largo del eje.

Ya que se han determinado los momentos en las posiciones de los cojinetes y en los cambios de sección a lo largo del eje, ahora se procede a determinar los esfuerzos en los puntos críticos del eje, la ubicación de estos puntos críticos se presenta en la Fig. 2.5, estos esfuerzos se calculan en los sitios de los cojinetes y en los cambios de sección a lo largo del eje.

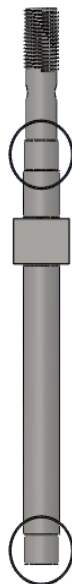


Fig. 2.5. Ubicación de los puntos críticos del eje.

Los esfuerzos flexionantes se calculan mediante la Ec. 2.11, así [12].

$$\sigma = \frac{K_f 32 M}{\pi d_{eje}^3} \quad (2.11)$$

donde:  $K_f$  es un factor de concentración de esfuerzos. Para filete es igual a 1.7 y si no tiene concentradores de esfuerzos es igual a 1.0;

$d_{eje}$  es el diámetro del eje;

$M$  es el momento en los puntos de ubicación de los cojinetes y en los cambios de sección para el montaje de los mismos; y

$\sigma$  es el esfuerzo debido a los momentos, cargas y reacciones que se generan en los diferentes puntos.

Conociendo los valores de los momentos a lo largo del eje, se procede a colocar estos valores de momentos en la Ec. 2.11 para obtener, como resultado, ecuaciones de los esfuerzos en función del diámetro del eje.

$$\sigma_{b1} = \frac{K_f 32 M_{b1}}{\pi d_{eje}^3} = \frac{(1.7)(32)(3.25)}{\pi d_{eje}^3} = \frac{56.28}{d_{eje}^3} Pa$$

$$\sigma_B = \frac{K_f 32 M_B}{\pi d_{eje}^3} = \frac{(1.0)(32)(3.66)}{\pi d_{eje}^3} = \frac{37.28}{d_{eje}^3} Pa$$

$$\sigma_{b2} = \frac{K_f 32 M_{b2}}{\pi d_{eje}^3} = \frac{(1.7)(32)(3.50)}{\pi d_{eje}^3} = \frac{60.61}{d_{eje}^3} Pa$$

$$\sigma_{c1} = \frac{K_f 32 M_{c1}}{\pi d_{eje}^3} = \frac{(1.7)(32)(0.16)}{\pi d_{eje}^3} = \frac{2.77}{d_{eje}^3} Pa$$

donde:  $\sigma_{b1}$  es el esfuerzo en el punto b1;

$\sigma_B$  es el esfuerzo en el punto B;

$\sigma_{b2}$  es el esfuerzo en el punto b2; y

$\sigma_{c1}$  es el esfuerzo en el punto c1.

Ahora que se han determinado los esfuerzos producidos por las cargas y las reacciones, se calculará el esfuerzo producido por el torque debido a la fuerza impulsora.

Posteriormente el esfuerzo por torsión ( $\tau$ ) se calcula mediante la Ec. 2.12, así [12].

$$\tau = \frac{K_f 16 T}{\pi d_{eje}^3} \quad (2.12)$$

donde:  $\tau$  esfuerzo por torsión,

$K_f$  es el factor de concentración de esfuerzo, 1.5 para torsión,

T es el torque producido por la fuerza impulsora, y

$d_{eje}$  es el diámetro del eje.

Sustituyendo en la Ec. 2.12, se obtiene:

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{K_f 16 T}{\pi d_{eje}^3} \\ \tau &= \frac{(1.5)(16)(21.93)}{\pi d_{eje}^3} \\ \tau &= \frac{167.53}{d_{eje}^3} \text{ Pa} \end{aligned}$$

Luego, se procede a realizar análisis de diseño por esfuerzos variables, tomando en consideración los esfuerzos alternantes y medios. Se consideran aspectos de fatiga debido a ciclos de trabajo, factores de corrección y concentradores de esfuerzo [12].

Ahora se escogen los esfuerzos máximos de los calculados en el apartado anterior (esfuerzos alternantes y medios), con el objetivo de determinar los esfuerzos equivalentes, tanto alternantes como medios.

El esfuerzo equivalente alternantes se calcula por medio de la Ec. 2.13, la cual se expresa:

$$\sigma_{ea} = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2} \quad (2.13)$$

donde:  $\sigma_{ea}$  es el esfuerzo equivalente alternante por flexión,

$\sigma_a$  es el esfuerzo alternante flexionante máximo, y

$\tau_a$  es el esfuerzo alternante por torsión.



Sustituyendo en la Ec. 2.13, se obtiene:

$$\sigma_{ea} = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2}; \tau_a = 0$$

$$\sigma_{ea} = \sigma_{b2} = \frac{60.61}{d_{eje}^3} Pa$$

El esfuerzo equivalente medio se calcula por medio de la Ec. 2.14:

$$\sigma_{em} = \sqrt{\sigma_m^2 + 3\tau_m^2} \quad (2.14)$$

donde:  $\sigma_{em}$  es el esfuerzo equivalente medio,

$\sigma_m$  es el esfuerzo flexionante medio, y

$\tau_m$  es el esfuerzo por torsión medio.

Sustituyendo en la Ec. 2.14, se obtiene:

$$\sigma_{em} = \sqrt{\sigma_m^2 + 3\tau_m^2}; \sigma_m = 0$$

$$\sigma_{em} = \sqrt{3} \tau_m = (\sqrt{3}) \left( \frac{167.53}{d_{eje}^3} Pa \right)$$

$$\sigma_{em} = \frac{290.17}{d_{eje}^3} Pa.$$

Posteriormente, se realiza un análisis con los factores de corrección con la finalidad de poder determinar el límite de resistencia a la fatiga del material al usar. [12].

Se asume que el metal para eje, siguiendo el método sugerido para la determinación del diámetro: acero SAE 1020 HR. Con un esfuerzo a carga máxima  $S_u = 380$  MPa. Así, la resistencia a la fatiga se calcula mediante la Ec. 2.15.

$$S_n = K_a K_b K_c K_d K_e K_f S'_n \quad (2.15)$$

donde:  $S_n$  es el límite de resistencia a la fatiga,

$K_a$  es el factor superficial y microestructura,

$K_b$  es el factor de tamaño.

$K_c$  es el factor de carga,

$K_d$  es el factor de temperatura,

$K_e$  es el factor de efectos diversos,

$K_f$  es el factor de concentradores de esfuerzo, y

$S'_n$  es el límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria.

Calculando cada uno de los factores se obtiene:

$$K_a = 1.58S_u^{-0.085}$$

$$K_a = 1.58(380)^{-0.085}$$

$$K_a = 0.95362.$$

$$K_b = \left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.107}$$

$$K_b = 1.2427d^{-0.107}$$

$$K_c = 1$$

$$K_d = 1$$

$$K_e = 1$$

$$K_f = 1$$

El límite de resistencia a la fatiga preliminar se calcula de la siguiente manera.

$$S'_n = 0.5 S_u = 0.5(380) = 190 \text{ MPa}$$

Posteriormente, sustituyendo los valores numéricos ya determinados que corresponden a cada miembro de la Ec. 2.15, queda:

$$S_n = (0.95362)(1.2427d^{-0.107})q(1)(1)(1)(1)(190)$$

$$S_n = 225.1621d_{eje}^{-0.107} \text{ MPa}$$

Luego se puede proceder con la aplicación de la teoría de Goodman, con lo cual es posible determinar el diámetro del eje, presentado mediante la Ec. 2.16.

$$\frac{\sigma_{ea}}{S_n} + \frac{\sigma_{em}}{S_u} = \frac{1}{n} \quad (2.16)$$

donde:  $\sigma_{ea}$  es el esfuerzo equivalente alternantes por flexión,

$\sigma_{em}$  es el esfuerzo equivalente medio,

$S_n$  es el límite de resistencia a la fatiga,

$S_u$  es el esfuerzo a carga máxima, y

$\eta$  es un factor de seguridad y para transmisiones moderadas es igual a 1.4 [12].

Sustituyendo en la Ec. 2.16, se obtiene:

$$\frac{\frac{60.61}{d_{eje}^3}}{225.1621 \times 10^6 d_{eje}^{-0.107}} + \frac{\frac{290.17}{d_{eje}^3}}{380 \times 10^6} = \frac{1}{1.5}$$

$$\frac{2.6918 \times 10^{-7} (1.5)}{d_{eje}^{2.893}} + \frac{7.6360 \times 10^{-7} (1.5)}{d_{eje}^3} = 1$$

$$d_{eje} = 0.011 \text{ m.}$$

$$d_{eje} = 11 \text{ mm.}$$

Finalmente determinando el diámetro estándar inmediatamente superior se selecciona, para poder realizarle trabajos de maquinado:

$$d_{eje} = 13 \text{ mm.}$$

## 2.2.2. SELECCIÓN DE COJINETES

Se tienen dos cojinetes: Cojinete en la posición B y cojinete en la posición C. Las ubicaciones de los puntos B y C se presentan en la Fig. 2.2.

Análisis previo a proceder a los cálculos. De acuerdo a la disposición de los elementos, se determina lo siguiente:

➤ **Cojinete en el punto B.**

Este cojinete soportará las cargas radiales producidas por el giro del brazo de la centrífuga, fuerzas inerciales, y sobre todo soportará la fuerza inicial proveída por el giro del operador en el instante de accionar la máquina. La ilustración de la posición del cojinete en el eje se presenta en la Fig. 2.6.

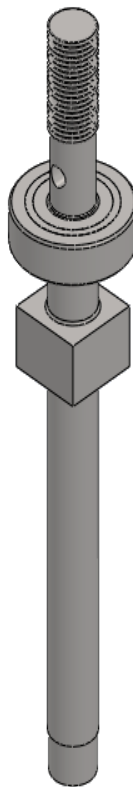


Fig. 2.6. Cojinete instalado en la posición B.

Recordando el valor ya calculado de la reacción en el punto B.

$$R_B = 101.23 \text{ N}$$

Siguiendo la secuencia de pasos que sugiere el método de selección de cojinetes, se procede [12].

**Paso 1:** Carga equivalente. Por medio de la Ec. 2.17 se puede calcular la carga equivalente, el cual es un valor necesario para el siguiente paso.

$$F_e = VF_R \quad (2.17)$$

donde:  $F_e$  es la carga equivalente;

$V$  es el factor de rotación, el cual es igual a 1.0 para pista interna giratoria; y

$F_R = R_B$  son fuerzas radiales resultantes en el cojinete.

Sustituyendo en la Ec. 2.17, se obtiene:

$$F_e = (1)(101.23 N)$$

$$F_e = 101.23 N$$

**Paso 2:** Carga dinámica. Con el cálculo de la carga dinámica se puede proceder con la selección del cojinete. Así, mediante la Ec. 2.18 se puede determinar el valor de ésta carga.

$$C_{din} = F_e \left( \frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{k}}; L_d = 60L_{10}n \quad (2.18)$$

donde:  $C_{din}$  es la carga dinámica en el cojinete,

$K$  es el factor de vida en el cojinete y para cojinete de bolas es igual a 3.0,

$L_d$  es la vida útil de diseño,

$L_{10}$  es la vida de diseño del cojinete en horas, y

$n$  es la velocidad de giro.

Sustituyendo en la Ec. 2.18, se obtiene:

$$C_{din} = 101.23 \left( \frac{(30,000)(600)(60)}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C_{din} = 1038.61 N = 233.49 lb_f.$$


Para calcular la vida útil de diseño se deben considerar los aspectos concernientes a las horas de vida del diseño del cojinete.

Para máquinas industriales en general se toma entre 20,000 a 30,000 h de vida de diseño. Se selecciona el valor  $L_{10} = 30,000$  h. Se toma éste valor debido a que se busca la condición más crítica para el diseño [13].

La velocidad de giro de la centrífuga justo después de ser accionada será de 600 rpm.

**Paso 3:** Selección del cojinete sobre la base de datos de cojinetes que se presenta en la Tabla 2.1 [14].

Tabla 2.1. Cojinete seleccionado de acuerdo a los resultados de los cálculos [14].

A. Series 6200													
Número de rodamiento	Dimensiones nominales del rodamiento								Diámetro de escalón preferido		Peso del rodamiento	Capacidad básica de carga estática $C_0$	Capacidad básica de carga dinámica $C_{din}$
			$D_{rod}$		$B_{rod}$		$R_{rod}$	Eje	Caja				
	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	pulg	pulg	pulg	lb			
6200	10	0.394	30	1.181	9	0.354	0.02	0.50	0.98	0.07	520	885	
6201	12	0.472	32	1.260	10	0.394	0.024	0.58	1.06	0.08	675	1180	
6202	15	0.591	35	1.378	11	0.433	0.024	0.703	1.181	0.10	790	1320	
6203	17	0.669	40	1.575	12	0.472	0.024	0.787	1.380	0.14	1010	1660	

Se selecciona para el cojinete en la posición B: COJINETE 6201.

Características:

$$d_{rod} = 12 \text{ mm.}$$

$$D_{rod} = 32 \text{ mm.}$$

$$B_{rod} = 10 \text{ mm.}$$

Peso = 0.08 lb<sub>f</sub>.

Carga dinámica:  $C_{din} = 1180$  lb.

Carga estática:  $C_0 = 675$  lb.

➤ **Cojinete en el punto C.**

Se usa el mismo método que se usó en la selección del cojinete en la posición B para la selección del cojinete en la posición C, los cojinetes instalados en su ubicación se presentan en la Fig. 2.7. Las cargas axiales se toman en consideración en este análisis, para ello se determina el peso de cada uno de los componentes de la centrífuga, ya que es el peso de los componentes los que generan la carga axial en la máquina.

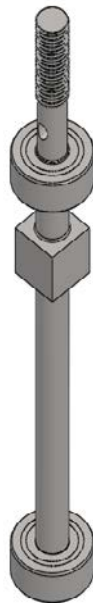


Fig. 2.7. Cojinetes instalados en las posiciones B y C.

Cojinete de bolas para cargas axiales y radiales.

Siguiendo el método ya usado en la selección del cojinete B, pero en este caso se consideran cargas axiales [12].

**Paso 1:** Determinar la carga equivalente para cada cojinete. Por medio de la Ec. 2.19, se puede determinar la carga equivalente que involucra, tanto a la carga radial como a la carga axial.

$$F_e = V \cdot X \cdot F_R + Y \cdot F_A \quad (2.19)$$

donde:  $F_e$  es la carga equivalente en el cojinete,

$V$  es el factor de rotación para pista interna igual a 1.0,

$X$  es el factor radial para todo cojinete y se asume de manera general que es igual a 0.56.

$F_R$  es la carga radial resultante en el cojinete ( $F_R = 28.12 \text{ N} = R_C$ ).

$Y$  es el factor de empuje,  $Y = 1.5$  (valor asumido, puede cambiar si hay iteraciones, en la Tabla 2.3 se aprecian sus parámetros)

$F_A$  es la carga axial resultante en el cojinete.

Para determinar la carga axial resultante  $F_A$  se debe calcular los pesos de cada uno de los elementos de la máquina. En la Tabla 2.2 se listan los diferentes componentes con sus respectivos materiales y masa.

Es importante mencionar el volumen del material fundido que se considera en este análisis, el material es bronce, y se considera un impulsor de bomba centrífuga como el elemento de mayor dimensión de que se podrá fabricar en la centrífuga.

El impulsor tendrá las siguientes dimensiones: diámetro de 102 mm, ancho de 30 mm, volumen de 0.056 m<sup>3</sup>.

Tabla 2.2. Masa de los componentes de acuerdo a su material.

Elemento	Material	Masa, g
Crisol	Cuarzo	209.79
Brazo	Acero SAE 1020	2133.83
Eje	Acero SAE 1020	204.41
Carrito del crisol	Acero SAE 1020	224.23
Total contrapesos	Acero SAE 1020	1107.95
Lámina contenedora de mufla	Acero SAE 1020	147.07
Tuerca de sujeción	Acero SAE 1020	57.59
Fundición	Bronce	498
Ancla del resorte	Acero SAE 1020	363.34
Resorte	Acero SAE 1020	295.61
Tornillo de contrapeso	Acero SAE 1020	27.24
Total =		5269.06



Con la sumatoria de la masa que aportan cada uno de los componentes de centrífuga, se procede a calcular el peso con la Ec. 2.20.

$$F_A = m * g \quad (2.20)$$

donde:  $F_A$  es la carga axial resultante en el cojinete,  
 $m$  es la masa total de todos los componentes, y  
 $g$  es la aceleración de la gravedad ( $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ).

Sustituyendo en la Ec. 2.20, se obtiene:

$$F_A = 5269.06 \text{ gr} * \frac{1 \text{ kg}}{1,000 \text{ g}} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_A = 51.69 \text{ N}.$$

Habiendo determinado el valor numérico de los miembros de la Ec. 2.19, se procede al cálculo de la carga equivalente, lo cual queda:

$$F_e = (1)(0.56)(28.12 \text{ N}) + (1.5)(51.69 \text{ N})$$

$$F_e = 93.28 \text{ N}$$

**Paso 2:** Determinar la carga dinámica en el cojinete e identificar el valor de la carga estática  $C_0$  en tablas. Así, mediante la Ec. 2.18 utilizada para determinar la carga dinámica en el cojinete B.

Así, para calcular la vida útil de diseño se deben considerar los aspectos concernientes a las horas de vida del diseño del cojinete.

La vida de diseño del cojinete en horas es de 2,0000 a 30,000 h, para máquinas industriales en general. Se selecciona el valor  $L_{10} = 30,000 \text{ h}$ . Se toma éste valor debido a que se busca la condición más crítica para el diseño [13].

La velocidad de giro de la centrífuga justo después de ser accionada será de 600 rpm.

$$C_{din} = 93.28 \left( \frac{(30,000)(600)(60)}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C_{din} = 957.04 \text{ N} = 215.15 \text{ lb}_f$$

Se selecciona para el cojinete en la posición C: COJINETE 6201.

Características:

$$d_{\text{rod}} = 12 \text{ mm.}$$

$$D_{\text{rod}} = 32 \text{ mm.}$$

$$B_{\text{rod}} = 10 \text{ mm.}$$

$$\text{Peso} = 0.08 \text{ lbr.}$$

$$\text{Carga dinámica: } C_{\text{din}} = 1180 \text{ lb.}$$

$$\text{Carga estática: } C_0 = 675 \text{ lb}$$

El factor de empuje Y, depende de la relación  $F_A/C_0$  y de la relación  $F_A/VF_R$ , para lo cual se usa la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Factores de carga radial equivalente para cojinetes de bola [12].

$F_A/C_0$	e	$F_A/VF_R \leq e$		$F_A/VF_R > e$	
		X	Y	X	Y
0.014	0.19	1.00	0	0.56	2.30
0.021	0.21	1.00	0	0.56	2.15
0.028	0.22	1.00	0	0.56	1.99
0.042	0.24	1.00	0	0.56	1.85
0.056	0.26	1.00	0	0.56	1.71
0.070	0.27	1.00	0	0.56	1.63
0.084	0.28	1.00	0	0.56	1.55
0.110	0.30	1.00	0	0.56	1.45
0.17	0.34	1.00	0	0.56	1.31
0.28	0.38	1.00	0	0.56	1.15
0.42	0.42	1.00	0	0.56	1.04
0.56	0.44	1.00	0	0.56	1.00

De la tabla anterior se tiene que  $F_A/C_0 = 0.076$  y que  $F_A/VF_R = 1.84$  y, por tanto, el nuevo valor para Y es 1.60.

Sustituyendo nuevamente en la Ec.2.19.

$$Fe = (1)(0.56)(28.12 \text{ N}) + (1.6)(51.69 \text{ N})$$

$$Fe = 98.5 \text{ N}$$

Se calcula nuevamente el valor de  $C_{\text{din}}$ .

$$C_{din} = 98.5 \left( \frac{(30,000)(600)(60)}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C_{din} = 1010.60 \text{ N} = 227.20 \text{ lbf}$$

La selección del cojinete sigue siendo: COJINETE 6201.

Características:

$$d_{rod} = 12 \text{ mm.}$$

$$D_{rod} = 32 \text{ mm.}$$

$$B_{rod} = 10 \text{ mm.}$$

$$\text{Peso} = 0.08 \text{ lbf.}$$

$$\text{Carga dinámica: } C_{din} = 1180 \text{ lb.}$$

$$\text{Carga estática: } C_0 = 675 \text{ lb}$$

### ➤ Tolerancias para el eje y cojinetes

Dado que el cojinete seleccionado es el SKF 6201, cuyas especificaciones son ya conocidas, se procede a determinar las tolerancias que deben existir entre el eje y el cojinete y entre la carcasa y el cojinete.

Se debe aclarar que la selección realizada se aplicará a ambos cojinetes por igual, dado que ambos estarán instalados al mismo eje y que son del mismo tipo.

La base que se toma procede de la clase de tolerancias normales de la Norma ISO 492, la cual fija las tolerancias de las dimensiones principales de un rodamiento.

Primero se determina la tolerancia del anillo interior de los cojinetes, para ello se hace uso de la Tabla 2.4 para anillo interior de rodamientos radiales de clase de tolerancia normal [15].

De la Tabla 2.3 se extrae lo siguiente:

Para anillo interior del cojinete se tiene una tolerancia de 0 a -8  $\mu\text{m}$ , esta es la tolerancia estándar para los cojinetes con diámetro de anillo interior en el intervalo de 10 a 18 mm.

Ahora utilizando la Tabla 2.5 que detalla las aplicaciones industriales en las que se puede usar un eje, se procede a la selección del ajuste del eje respecto al anillo interior del cojinete [15].

El ajuste recomendado fue el de  $j6/k6$ . Para lo cual se seleccionó el  $j6$ . Ahora, de la Fig. 2.8 en la cual se pueden observar de manera esquematizada las tolerancias que corresponden al ajuste seleccionado [15].

Luego se procede a determinar la tolerancia en el anillo exterior. Para ello se hace uso de la Tabla 2.6 que contiene las tolerancias para anillo exterior de rodamientos radiales de clase de tolerancia normal [15].

Tabla 2.4. Rodamientos radiales de clase de tolerancia normal para anillo interior [15].

d, mm	$\Delta d_{mp}$		Vdp <sup>1</sup>			Vdmp	Kia	$\Delta B_s$			VBs.
			Series de diámetros.					Todos	Normal	Modif. <sup>1</sup>	
			9	0 y 1	2, 3 y 4						
Sup	Inf	Máx			Máx	Máx	Sup	Inf		Máx	
0,6<d≤2,5	0	-8	10	8	6	6	10	0	-40	-	12
2,5<d≤10	0	-8	10	8	6	6	10	0	-120	-250	15
10<d≤18	0	-8	10	8	6	6	10	0	-120	-250	20
18<d≤30	0	-10	13	10	8	8	13	0	-120	-250	20
30<d≤50	0	-12	15	12	9	9	15	0	-120	-250	20
50<d≤80	0	-15	19	19	11	11	20	0	-150	-250	25
80<d≤120	0	-20	25	25	15	15	25	0	-200	-380	25
120<d≤180	0	-25	31	31	19	19	30	0	-250	-500	30
180<d≤250	0	-30	38	38	23	23	40	0	-300	-500	30
250<d≤315	0	-35	44	44	26	26	50	0	-350	-500	35
315<d≤400	0	-40	50	50	30	30	60	0	-400	-630	40
400<d≤500	0	-45	56	56	38	34	65	0	-450	-	50
500<d≤630	0	-50	63	63	38	38	70	0	-500	-	60
630<d≤800	0	-75	-	-	-	-	80	0	-750	-	70
800<d≤1,000	0	-100	-	-	-	-	90	0	-1,000	-	80

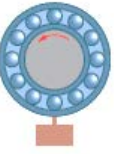

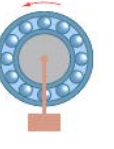

Tolerancias para anillo interior.  
Tolerancias en  $\mu\text{m}$ .  
1: Se refiere a los anillos de los rodamientos aislados para montaje por par o por conjunto.

De la Tabla 2.6 se extrae lo siguiente: Para anillo exterior del cojinete se tiene una tolerancia de 0 a  $-11 \mu\text{m}$ , la cual es la estándar para los cojinetes con diámetro de anillo exterior en el intervalo de 30 a 50 mm.

Para el alojamiento (carcasa) del cojinete exterior, teniendo en consideración la aplicación que tendrá, la cual será para cargas en las cuales el anillo interior está apretado, en base en la Tabla 2.5 para anillo exterior de rodamientos radiales de clase de tolerancia normal, la cual fue también utilizada en la selección del ajuste eje/rodamiento [15].

La Tabla 2.5 recomienda los ajustes H7/J7. De los cuales se selecciona el J7, porque provee un ajuste más apretado, tal como se presenta en la Fig. 2.9.

Tabla 2.5. Ajustes recomendados para ejes para diferentes aplicaciones industriales [15].

Análisis de rotación	Eje			Alojamiento			Ejemplos
	Principio de fijación	Aplicaciones	Ajustes sugerido	Ejemplos	Aplicaciones	Ajuste sugerido	
La carga gira respecto al anillo interior.  	Anillo interior apretado sobre el eje.	Cargas normales $P < C/5$	j6/k6	Motores eléctricos, cabezales de máquina herramienta, bombas, ventiladores, reductores de velocidad	Caso general	H7/J7	Motores eléctricos de potencia media, poleas, cabezales de máquina herramienta, transmisiones.
		Cargas elevadas. $P > C/5$	m6/p6	Motores de tracción, grandes reductores, compresores	Anillo libre su asiento	G7/H7	Desplazamiento axial exigido (dilatación o reglaje)
					Rodamientos de rodillos cilíndricos y cónicos	M7/P7	
La carga gira respecto al anillo exterior.  	Anillo exterior apretado en el alojamiento	Caso general.	g6/h6	Poleas locas, rodillos tensores, ruedas	Cargas normales $P < C/5$	M7/N7	Poleas locas, rodillos tensores, ruedas
		Anillo libre sobre su asiento	f6/g6	Desplazamiento axial exigido (dilatación o reglaje)	Cargas muy fuertes, cargas fuertes con choques $P > C/5$	N7/P7	Material ferroviario, grandes rodamientos de rodillos
Otros casos	Cargas puramente axiales.		h6/j6	Rodamientos y rodamientos axiales	Cargas puramente axiales.	G7/H7	Rodamientos y rodamientos axiales
	Manguitos de apriete.		h9	Transmisiones, material agrícola.			

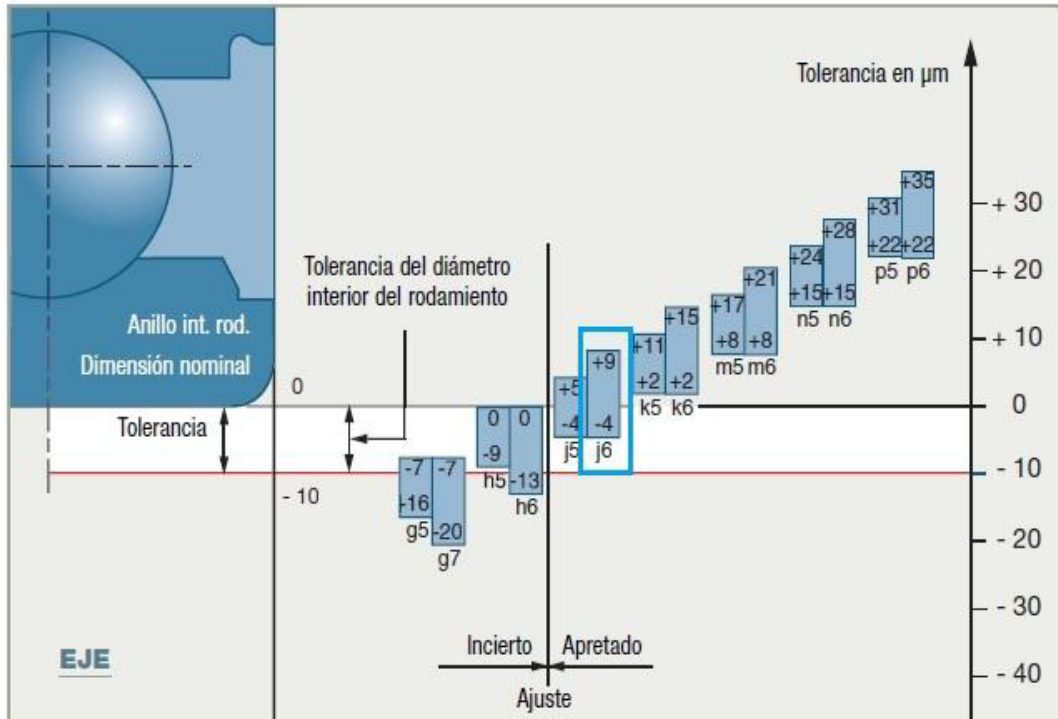


Fig. 2.8. Ajuste de eje/rodamiento seleccionado [15].

Tabla 2.6. Rodamientos radiales de clase de tolerancia normal para anillo exterior [15].

D, mm.	$\Delta D_{mp}$		$V D_p^1$				$V d_{mp}^1$	Kea.	$\Delta C_s$		$V C_s$	
			Rodamientos abiertos		Rodamientos protegidos				$\Delta C_{1s^2}$		$V C_{1s^2}$	
			Series de diámetros						Máx	Máx	Máx	Máx
			9	0 y 1	2, 3 y 4	2, 3 y 4						
	Sup	Inf	Máx				Máx	Máx	Sup	Inf	Máx	
$2,6 \leq D \leq 6$	0	-8	10	8	6	10	6	15	Idéntico a $\Delta B_s$ y $V B_s$ del anillo interior del mismo rodamiento			
$6 < D \leq 18$	0	-8	10	8	6	10	6	15				
$18 < D \leq 30$	0	-9	12	9	7	12	7	15				
$30 < D \leq 50$	0	-11	14	11	8	16	8	20				
$50 < D \leq 80$	0	-13	16	13	10	20	10	25				
$80 < D \leq 120$	0	-15	19	19	11	26	11	35				
$120 < D \leq 150$	0	-18	23	23	14	30	14	40				
$150 < D \leq 180$	0	-25	31	31	19	38	19	45				
$180 < D \leq 250$	0	-30	38	38	23	-	23	50				
$250 < D \leq 315$	0	-35	44	44	26	-	26	60				
$315 < D \leq 400$	0	-40	50	50	30	-	30	70				
$400 < D \leq 500$	0	-45	56	56	34	-	34	80				
$500 < D \leq 630$	0	-50	63	63	38	-	38	100				
$630 < D \leq 800$	0	-75	94	94	55	-	55	120				
$800 < D \leq 1,000$	0	-100	125	125	75	-	75	140				

Tolerancias para anillo exterior.  
Tolerancias en  $\mu m$ .

Nota: las tolerancias sobre el diámetro exterior, D1, del collarín sobre el anillo exterior vienen dadas en la Norma ISO 492.

1 Se entiende antes del montaje y tras la extracción del segmento de retención interior o del segmento de retención exterior.

2 No se aplica más que a los rodamientos rígidos de bolas.

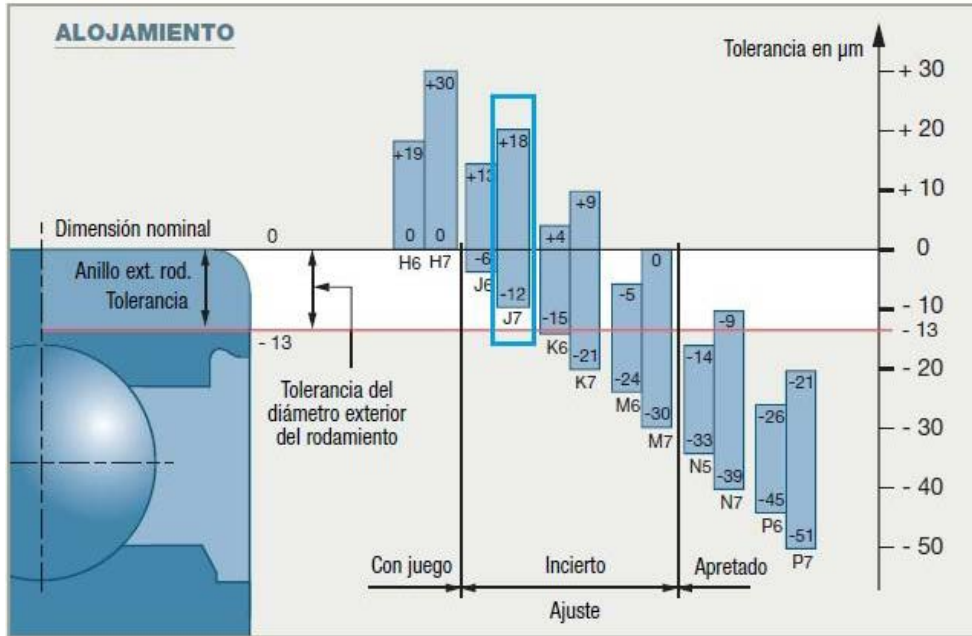


Fig. 2.9. Ajuste rodamiento/alojamiento [15].

### 2.2.3. DISEÑO DEL RESORTE ESPIRAL

Los resortes de torsión en espiral, generalmente se construyen de metal de sección rectangular, se enrollan planos, generalmente con un espacio creciente entre las bobinas, tal como se presenta en la Fig. 2.10. El par entregado por revolución es lineal durante los primeros  $360^\circ$ . A mayores rotaciones angulares, las bobinas se comienzan a cerrar en el eje y el par por vuelta aumenta rápidamente. Por esta razón, los resortes de este tipo se suelen utilizar en aplicaciones que requieren menos de  $360^\circ$  de rotación. Este tipo de resortes están generalmente enrollados de forma cerrada, reducen el diámetro de la bobina y aumenta su longitud del cuerpo a medida que se deforman.



Fig. 2.10. Ilustración del resorte espiral que se emplea en la centrífuga.

El diseño del resorte es muy importante porque será la fuente de energía que impulsará el giro de esta máquina.

Un resorte de torsión es aquel cuyos extremos giran en desviación angular, ofreciendo resistencia al par aplicado externamente. La espira en sí está sujeta a esfuerzos de flexión y no a esfuerzos de torsión, como se podría esperar por el nombre.

Así, se desarrollará el diseño de acuerdo a los pasos siguientes [16]:

**Paso 1:** Determinación del espesor  $t$  tal como se presenta en la Ec. 2.21, en base al diámetro del ancla de la cual se sostiene el resorte para hacer girar el eje. El ancla a la cual se sujeta el resorte se presenta en la Fig. 2.11 [16].

$$d_{ancla} = 15t_{res} \quad (2.21)$$

donde:  $d_{ancla}$  es el diámetro del eje donde se sujeta el resorte,  $d_{ancla} = 30$  mm, y  $t_{res}$  es el espesor del resorte.

Se despeja la ecuación para poder obtener el espesor a partir del diámetro del eje donde se sujeta el resorte, lo cual queda:



$$t_{res} = \frac{d_{ancla}}{15} = \frac{30}{15}$$

$$t_{res} = 2 \text{ mm}$$

**Paso 2:** Haciendo uso de la Ec. 2.22, se determina el ancho  $b$  del resorte a partir del torque y del esfuerzo de flexión del material, el cual se asume tomando un acero típico para resortes, acero SAE 1095 [16].

Composición del acero SAE 1095: 0.9-1.03 % C, 0.3-0.5 % Mn, 0.04 % P, 0.05 % S [17].

$$S_b = \frac{6,000 T}{b \cdot t_{res}^2} \quad (2.22)$$

donde:  $t_{res}$  es el espesor;

$b_{res}$  es el ancho del resorte;

$S_b$  es el esfuerzo a la flexión.  $S_b = 1500 \text{ MPa}$  para acero 1095 de espesor superior a 1.5 mm; y

$T$  es el torque producido por la fuerza impulsora, valor antes determinado,  $T = 21.93 \text{ mm}$ .

Se despeja la ecuación para obtener el ancho a partir del torque, del esfuerzo a la flexión y del espesor.

$$b_{res} = \frac{6,000T}{S_b \cdot t_{res}^2}$$

$$b_{res} = \frac{(6,000)(21.93 \text{ N} \cdot \text{m})}{(1,500 \text{ MPa})(2 \text{ mm})^2} = 21.93 \text{ mm}$$

$$b_{res} = 21.93 \text{ mm}$$

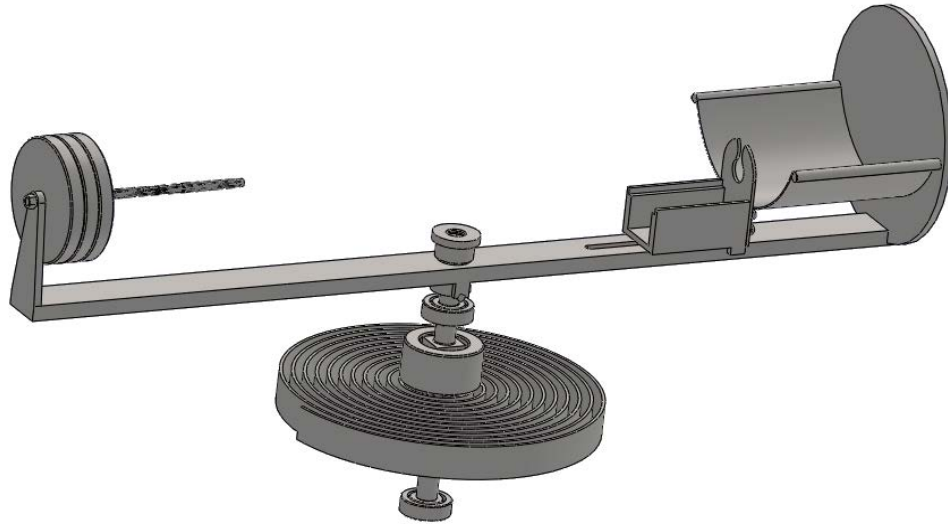


Fig. 2.11. Ilustración del resorte sujeto al ancla y a su vez instalado en el eje.

**Paso 3:** Se procede ahora a determinar la longitud activa del resorte. Se usa la Ec. 2.23 [16]. Para lograr obtener la longitud activa se debe contar ya con el número de espiras; este número de espiras se asume a partir de la observación realizada en la investigación, el número observado ha sido de 12 espiras para máquinas industriales similares.

$$L = \frac{\pi EU t_{res}}{S_b} \quad (2.23)$$

donde: L es la longitud activa del resorte,

U es el número de espiras del resorte. U = 12,

E es el módulo de elasticidad del acero 1095. E = 197200 MPa,

t<sub>res</sub> es el espesor del resorte. t<sub>res</sub> = 2 mm, y

S<sub>b</sub> es el esfuerzo de flexión del acero 1095. S<sub>b</sub> = 1550 MPa.

Ahora se puede proceder al cálculo de la longitud activa, la cual queda.

$$L = \frac{(\pi)(197200 \text{ MPa})(12)(2\text{mm})}{1550 \text{ MPa}}$$

$$L = 9593 \text{ mm}$$

**Paso 4:** Como último componente relevante para el diseño del resorte queda el diámetro interior que debe tener la carcasa para alojar al resorte. En la Fig. 2.12 se presenta el resorte alojado en la carcasa. Por medio de la Ec. 2.24 es posible el cálculo del diámetro [16].

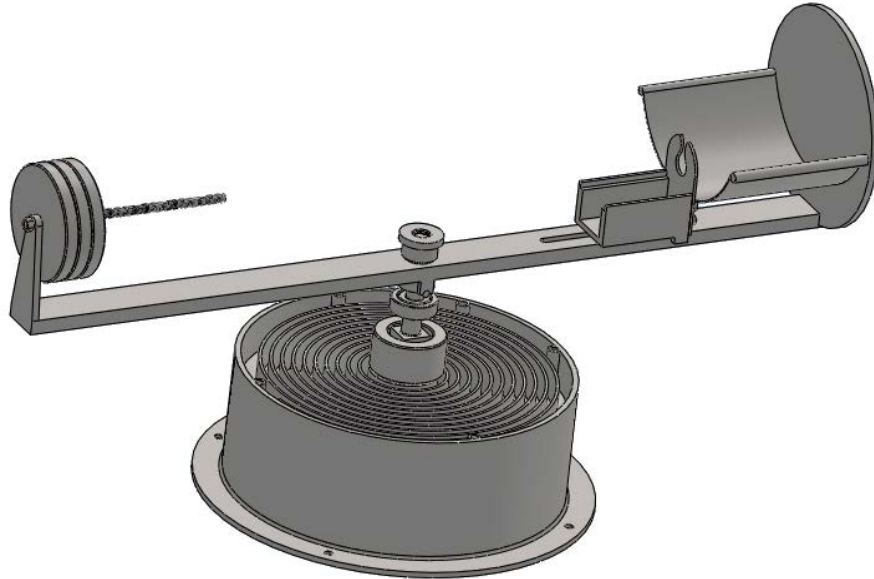


Fig. 2.12. Ilustración del resorte alojado en la carcasa.

$$D_{int-car} = \sqrt{2.55tL + d_{ancla}^2} \quad (2.24)$$

donde:  $D_{int-car}$  es el diámetro interno de la carcasa.

Sustituyendo en la Ec. 2.24, se obtiene dicho diámetro interno de la carcasa, así:

$$D_{int-car} = \sqrt{(2.55 * 2 \text{ mm} * 9593 \text{ mm}) + (30 \text{ mm})^2}$$

$$D_{int-car} = 223 \text{ mm}$$

### 2.3. ANÁLISIS INERCIAL. TORQUE DURANTE EL GIRO DE LA CENTRÍFUGA

El torque se obtiene considerando la inercia del sistema, se calcula la inercia de cada uno de los componentes y luego se suman para obtener así la inercia de la máquina.

Se consideró a cada componente con una geometría sencilla, es decir no se consideraron las cavidades internas ni las curvas pequeñas que dan forma al contorno de los elementos. Por ejemplo, al contrapeso se le consideró como un cilindro sólido sin considerar las cavidades o el maquinado practicado.

Se hace uso del método recomendado en el libro de diseño de elementos de máquinas, y además se usan dimensiones en el sistema inglés para mayor facilidad de los cálculos [12].

### 2.3.1. CÁLCULO DE LAS INERCIAS I

Todo dispositivo tiene un torque mayor en su arranque, esto es debido a que debe vencer la inercia estática que gobierna en los elementos del dispositivo. Pero, una vez que la máquina ha alcanzado su velocidad nominal, la necesidad de usar el torque inicial deja de existir y queda la máquina trabajando a velocidad ayudado por la inercia de movimiento que los elementos han alcanzado. Así, este análisis se propone para determinar el torque que la máquina requiere para su operación.

La inercia de cada componente se calcula de manera individual, para luego sumarmas por medio de la Ec. 2.25 y así tener un consolidado para la determinación del torque que la máquina debe alcanzar, así: [12]

$$I = I_{eje} + I_{contra} + I_{brazo} + I_{placa} + I_{crisol} \quad (2.25)$$

Se procede a calcular las inercias individuales de los principales componentes de la centrífuga.

#### ➤ Eje

Considerado como cilindro sólido. Este cálculo es posible por medio de la Ec. 2.26 [12].

$$I_{eje} = \frac{d_{eje}^4 \pi c_{eje} \rho_{ace}}{32 g} \quad (2.26)$$

donde:  $I_{eje}$  es la inercia del eje;

$c_{eje}$  es la longitud del eje,  $b_{iner} = 7.09$  pulg;

$\rho_{ace}$  es la densidad del metal (acero),  $\rho = 0.29$  lb/pulg;

$d_{eje}$  es el diámetro del eje,  $d_{eje} = 0.5$  pulg; y

$g$  es la aceleración de la gravedad,  $g = 386.4$  pulg/s<sup>2</sup>.

Sustituyendo cada valor en la Ec. 2.26, se obtiene:

$$I_{eje} = \frac{(0.5 \text{ pulg})^4 (\pi) (7.09 \text{ pulg}) (0.29 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^3})}{(32) (386.4 \frac{\text{pulg}}{\text{s}^2})}$$
$$I_{eje} = 0.000033 \text{ pulg} \cdot \text{lb} \cdot \text{s}^2 .$$

➤ **Contrapeso:**

Considerado un cilindro sólido, se utiliza la Ec. 2.27. Además, se utilizarán aproximadamente 3 contrapesos para la máxima carga.

$$I_{contra} = \frac{\pi \cdot d_{contra}^4 \cdot c_{contra} \cdot \rho_{ace}}{32 g} \quad (2.27)$$

donde:  $I_{contra}$  es la inercia del contrapeso,

$c_{contra}$  es la longitud del contrapeso igual a 0.4 pulg,

$\rho_{ace}$  es la densidad del metal (acero) igual a 0.29 lb/pulg,

$d_{contra}$  es el diámetro del contrapeso igual a 3.2 pulg, y

$g$  es la aceleración de la gravedad igual a 386.4 pulg/s<sup>2</sup>.

Sustituyendo cada valor en la Ec 2.27, se obtiene:

$$I_{contra} = 3 * \frac{\pi (3.2 \text{ pulg})^4 (0.4 \text{ pulg}) (0.29 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^3})}{(32) (386.4 \frac{\text{pulg}}{\text{s}^2})}$$
$$I_{contra} = 0.0093 \text{ pulg} \cdot \text{lb} \cdot \text{s}^2 .$$

➤ Brazo:

Considerado un prisma rectangular, por ello es necesario usar la Ec. 2.28. [12].

$$I_{brazo} = \frac{a_{brazo} \cdot h_{brazo} \cdot c_{brazo} \cdot \rho_{ace} \cdot (a_{brazo}^2 + c_{brazo}^2)}{12 g} \quad (2.28)$$

donde:  $I_{brazo}$  es la inercia del brazo,

$a_{brazo}$  es el ancho del brazo igual a 1.2 pulg,

$h_{brazo}$  es la altura del brazo igual a 0.4 pulg,

$c_{brazo}$  es la longitud del brazo igual a 24 pulg,

$\rho_{ace}$  es la densidad del metal (acero) igual a 0.29 lb/pulg, y

$g$  es la aceleración de la gravedad igual a 386.4 pulg/s<sup>2</sup>.

Sustituyendo cada valor en la Ec 2.28, se obtiene:

$$I_{brazo} = \frac{(1.2 \text{ pulg})(0.4 \text{ pulg})(24 \text{ pulg}) \left(0.29 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^3}\right) \left((1.2 \text{ pulg})^2 + (24 \text{ pulg})^2\right)}{(12) \left(386.4 \frac{\text{pulg}}{\text{s}^2}\right)}$$
$$I_{brazo} = 0.42 \text{ pulg} \cdot \text{lb} \cdot \text{s}^2.$$

➤ Placa de soporte del molde:

Considerado un prisma rectangular. Por medio de la Ec. 2.29. [12].

$$I_{placa} = \frac{a_{placa} \cdot h_{placa} \cdot c_{placa} \cdot \rho_{ace} \cdot (a_{placa}^2 + c_{placa}^2)}{12 g} \quad (2.29)$$

donde:  $I_{placa}$  es la inercia de la placa,

$a_{placa}$  es el ancho de la placa igual a 5.9 pulg;

$h_{placa}$  es la altura de la placa igual a 5.9 pulg;

$c_{placa}$  es la longitud de la placa igual a 0.2 pulg;

$\rho_{ace}$  es la densidad del metal (acero) igual a 0.29 lb/pulg, y

$g$  es la aceleración de la gravedad igual a 386.4 pulg/s<sup>2</sup>.

Sustituyendo cada valor en la Ec 2.29, se obtiene:

$$I_{placa} = \frac{(5.9 \text{ pulg})(5.9 \text{ pulg})(0.2 \text{ pulg}) \left(0.29 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^3}\right) ((5.9 \text{ pulg})^2 + (0.2 \text{ pulg})^2)}{(12) (386.4 \frac{\text{pulg}}{\text{s}^2})}$$

$$I_{placa} = 0.015 \text{ pulg} \cdot \text{lb} \cdot \text{s}^2.$$

➤ Crisol:

Considerado un prisma rectangular. Por medio de la Ec. 2.30.

$$I_{crisol} = \frac{a_{crisol} \cdot h_{crisol} \cdot c_{crisol} \cdot \rho_{ace} \cdot (a_{crisol}^2 + c_{crisol}^2)}{12 g} \quad (2.30)$$

donde:  $I_{criso}$  es la inercia del crisol,

$a_{crisol}$  es el ancho del crisol igual a 2.0 pulg,

$h_{crisol}$  es la altura del crisol igual a 2.0 pulg,

$c_{crisol}$  es la longitud del crisol igual a 2.5 pulg,

$\rho_{ace}$  es la densidad del metal (cuarzo) igual a 0.084 lb/pulg, y

$g$  es la aceleración de la gravedad igual a 386.4 pulg/s<sup>2</sup>.

Sustituyendo cada valor en la Ec 2.30, se obtiene:

$$I_{crisol} = \frac{(2.0)(2.0)(2.5)(0.084)((2.0)^2 + (2.5)^2)}{(12) (386.4)}$$

$$I_{crisol} = 0.0018 \text{ pulg} \cdot \text{lb} \cdot \text{s}^2.$$

Ahora que se tienen calculadas las inercias de los componentes más importantes de la centrífuga, se procede a sumar cada inercia para obtener una sola inercia.

Sustituyendo en la Ec. 2.25.

$$I = I_{eje} + I_{contra} + I_{brazo} + I_{placa} + I_{crisol}$$

$$I = 0.00003 + 0.0093 + 0.42 + 0.015 + 0.0018$$

$$I = 0.4461 \text{ pulg} \cdot \text{lb} \cdot \text{s}^2.$$

### 2.3.2. CÁLCULO DEL TORQUE

Usando el principio básico de la mecánica para un cuerpo giratorio, tal como se presenta en la Ec. 2.31. [12].

$$T_{iner} = I \alpha = I \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (2.31)$$

donde:  $T_{iner}$  es el torque debido a las fuerzas inerciales,

$\Delta\omega$  es la velocidad angular, y

$\Delta t$  es el tiempo para alcanzar los 600 rpm.

La velocidad angular de la centrífuga será igual a 600 rpm (62.832 rad/s), y el tiempo necesario  $\Delta t$  para llegar de 0 a 600 rpm, es igual a 0.5 s.

Sustituyendo en la Ec. 2.30, queda:

$$T_{iner} = (0.4461) \left( \frac{62.832}{0.5} \right)$$

$$T_{iner} = 56.06 \text{ lb} \cdot \text{pulg}$$

$$T_{iner} = 6.33 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

Se puede concluir en base a este resultado que mientras la centrífuga está en pleno giro, no corre riesgo de falla, ya que el torque generado no excede al torque máximo para el cual está diseñada la centrífuga.



### 3. PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA CENTRÍFUGA

El proceso constructivo de la centrífuga consiste en la fabricación de cada una de las piezas que constituyen a la centrífuga, se describen los procesos que se deben ejecutar en cada pieza. Dentro de estos procesos se pueden describir algunos, tales como: torneado, fresado, taladrado, soldadura, entre otros. En esta sección se describen las secuencias y descripción de cada procedimiento practicado, hasta llegar a la forma final de cada pieza; es decir, se presenta el conjunto de pasos, fases o etapas necesarias para la materialización de la máquina.

El alcance del proceso constructivo está delimitado a partir de la adquisición de las materias primas, es decir, los metales necesarios para la fabricación de las piezas, de las cuales está compuesta la centrífuga, y se procede asumiendo que se dispone de un taller con las máquinas herramienta necesarias para la ejecución de los procedimientos que se describen.

El montaje ya terminado de la centrífuga es el que se presenta en la Fig. 3.1. Este es el resultado, luego de finalizada la fabricación de cada pieza. Es importante aclarar que se tienen algunas piezas que no se fabricarán, debido a que estas piezas están estandarizadas, tales como el crisol, los pernos, tornillos, tuercas y cojinetes.

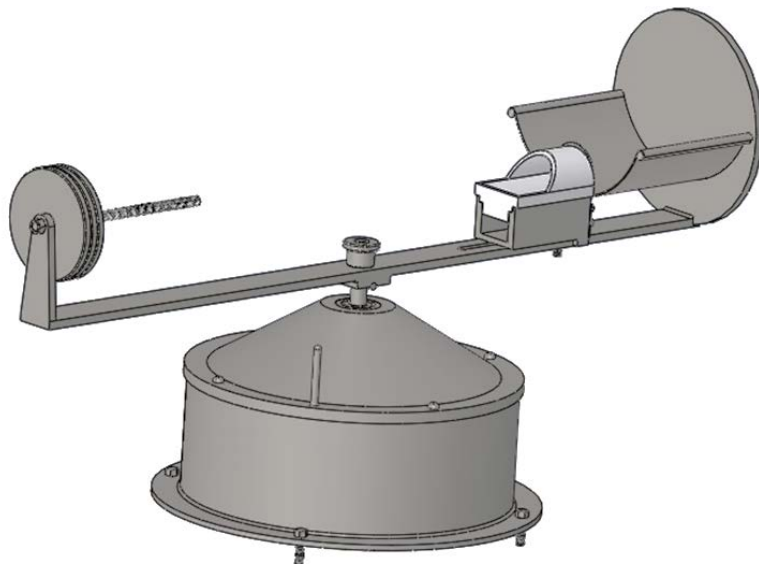


Fig. 3.1. Ensamble final de la centrífuga.

### 3.1. METODOLOGÍA A SEGUIR PARA LA FABRICACIÓN DE LAS PIEZAS

La descripción de los pasos del proceso constructivo se hará enumerando cada paso de los procesos de fabricación, detallando el nombre de las piezas y su función.

Los procesos de fabricación se llevarán a cabo en un taller en donde se tiene acceso a todas las máquinas herramienta que se necesitarán en cada uno de los procesos que se realizarán dentro del proceso constructivo.

### 3.2. FABRICACIÓN DEL EJE DE LA CENTRÍFUGA

El eje de la centrífuga (ver Fig. 3.2) es el que se encarga de transmitir el torque desde que se acciona el brazo superior hasta provocar la deflexión en el resorte. Una vez que se suelta el brazo, el eje gira junto al brazo debido a la liberación de energía provocada por el resorte.

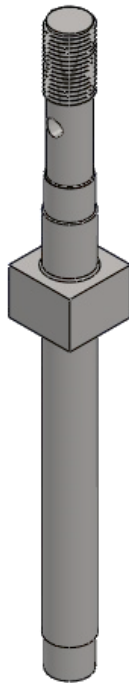


Fig. 3.2. Eje de la centrífuga.

La fabricación inicia disponiendo de una barra de 22.23 mm ( $\frac{7}{8}$  pulg) de acero SAE 1020. Ya que la longitud total del eje es de 185 mm, se corta de 190 mm con el objetivo de aplicar después un refrentado y acabado en ambas caras, el corte sería con una tronzadora con disco abrasivo de corte para metal.

Se procede ahora al cilindrado y roscado de la barra en torno, exceptuando la parte del cuadrado. Desde el extremo superior del eje hasta la cara superior de la sección cuadrada, la longitud es de 70 mm, y desde el extremo inferior del eje hasta la cara inferior de la sección cuadrada, la longitud es de 100 mm. El diámetro final del cilindrado será de 13 mm, el cual es el diámetro final del eje.

Se procede al proceso de ranurado y cilindrado de las superficies que estarán en contacto con los cojinetes, el diámetro final será de 12 mm para ambos cojinetes, luego se procede al pulido con las lijas, con lo cual se logra aplicar los ajustes recomendados.

Luego se debe cilindrar la sección en donde posteriormente se maquinará la rosca, el diámetro final de esta sección será de 11 mm. La rosca se hará con un buril de roscado, haciendo uso siempre del torno, con un paso de 1.25 mm y con un diámetro de 11 mm y una longitud de 25 mm.

Se procede al proceso de planear para obtener la sección cuadrada de 20 mm por lado en su sección transversal y de 15 mm de altura en las secciones adyacentes.

Para el orificio, se coloca el eje en posición horizontal, asegurándolo con una mordaza en su sección cuadrada y con la ayuda de un taladro se usa una broca de 6 mm para lograr el orificio para el pasador de aseguramiento entre el eje y el brazo.

### **3.3. FABRICACIÓN DEL BRAZO**

Ésta pieza es la encargada de actuar como brazo de palanca, a la cual se le aplica la fuerza para lograr el torque requerido, este torque es transmitido por medio del eje hasta el resorte, provocando deflexión para el giro de la pieza misma. Así, en la Fig. 3.3 se presenta un esquema del brazo.



Fig. 3.3. Brazo o palanca.

La fabricación inicia considerando que se dispone de una pletina de sección rectangular con medidas de 6 x 50 mm, se debe cortar con las dimensiones establecidas en el plano.

Primero se marca la longitud a cortar, la cual será de 590 mm, con la ayuda de una tronzadora, luego usando una pulidora se debe hacer un corte a lo largo de los 588 mm para obtener un ancho del brazo de 30 mm.

Se procede a taladrar el orificio del centro, donde se aloja el eje. Este proceso se realizará con una broca de 12 mm de diámetro, taladrina para enfriamiento y lubricación. Luego se procede a hacer el bisel ubicado en la parte superior del orificio para el eje, con la ayuda de una broca de 20 mm de diámetro.

El siguiente proceso es taladrar dos orificios con diámetro de 6 mm en los extremos donde estará la ranura que se usa para sujetar el carrito del crisol al brazo por medio de un perno, la distancia de separación desde el centro de estos dos orificios es de 100 mm y el primer orificio se ubica a 100 mm desde el extremo más cercano del brazo, este proceso se inicia marcando con un centro-punto los centros de los agujeros; luego se procede al ranurado con fresa de disco, con una dimensión de 6 mm de espesor, iniciando desde uno de los agujeros y terminando en el otro agujero.

Placas de los extremos del brazo: Se procede con la fabricación de las placas ubicadas en los extremos del brazo. Se inicia cortando 3 porciones de pletina (50 mm de

ancho por 6 mm de espesor), todas de igual tamaño cada una de 151 mm de largo, con el uso de la tronzadora.

Ahora se hace el biselado de las tres porciones con la ayuda de la pulidora para proceder luego a unir las por medio de soldadura por arco eléctrico con electrodo E6013.

Se sujeta la placa obtenida del paso anterior de 6 mm de espesor y de 151 x 151 mm a la mesa de trabajo con la ayuda de sargentos, luego marcando con compás el diámetro del círculo, el cual es de 151 mm para la placa que sostiene al molde, para después cortar con la ayuda de una sierra caladora. Luego se procede a taladrar los agujeros donde se alojan los tornillos que sostienen la lámina contenedora del molde, primero se marca con el compás el radio de ubicación de los centros de los agujeros, el cual es de 67.5 mm desde el centro de la placa, y con la ayuda de un centro-punto se marca el centro de los agujeros. Los diámetros de los dos agujeros son de 5 mm cada uno.

Ahora se procede a fabricar la placa que se usa para sostener el perno de los contrapesos. Primero se debe marcar con la ayuda de una escuadra y un compás las dimensiones requeridas. Luego se sujeta la placa con los sargentos a la mesa de trabajo para realizar el corte con la caladora, luego se debe marcar con el centro-punto el centro del orificio donde se introduce el perno de los contrapesos, para luego taladrar el agujero con una broca de 6 mm.

Una vez terminadas las placas, se procede a hacer los biseles respectivos a cada una de las placas y también al brazo, haciendo uso de pulidora, para así, soldar ambas placas a los extremos del brazo por medio de soldadura eléctrica con electrodo E6013.

Complemento del brazo para el pasador: De la misma pletina con la que se fabricó el brazo, se marca con la ayuda de una escuadra y se corta una porción cuadrada de 30 x 30 mm con la ayuda de la tronzadora. Una vez cortada, se marca con el centro-punto y se taladra el orificio con una broca de diámetro de 12 mm ubicado en el centro de la porción cuadrada.

Se procede a eliminar rebabas de todas las piezas con las limas y las lijas adecuadas. Luego se unen las piezas por medio de soldadura por arco eléctrico con electrodo E6013, se finaliza haciendo los correspondientes biseles con pulidora a las piezas a unir, y posteriormente aplicar la soldadura.

### 3.4. FABRICACIÓN DEL CARRITO DEL CRISOL

En la Fig. 3.4 se presenta ésta pieza. El carrito del crisol tiene la función de alojar al crisol, está diseñado de tal manera que se pueda mover de posición de acuerdo con el tamaño de la mufla con la se vaya a trabajar.

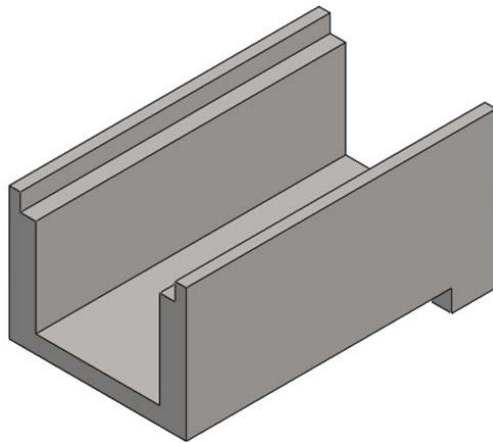


Fig. 3.4. Carrito del crisol.

La fabricación inicia utilizando una caladora, se cortan dos piezas de pletina (6 mm de espesor) con medidas 70 x 35 mm. Luego se corta una tercera pieza de 28 x 70 mm. A las dos primeras piezas se les realiza un segundo corte a lo largo de 60 x 5 mm a partir de cualquier esquina, siempre usando la caladora.

Posteriormente se procede con un proceso de planeado en un lateral de una de las dos primeras piezas a lo largo, con medidas de 3.5 mm de profundidad y 4 mm de ancho. Luego se hace lo mismo con la segunda pieza.

Se hace un segundo proceso de planeado en las mismas dos piezas. Este planeado se debe hacer en el lateral opuesto al que se trabajó anteriormente, en el extremo más ancho (de 35 mm), en la parte inferior. Con una profundidad de 1.5 mm y un ancho de 5 mm, el planeado será a lo largo. Después se hace lo mismo con la segunda pieza.

Se procede a hacer dos orificios a cada una de las dos piezas, los cuales se ubican en la cara del espesor de los 6 mm, en el extremo de 35 mm. El primer orificio se ubica a 15 mm desde el extremo inferior y el segundo se ubica a 25 mm, con una broca de diámetro de 2.5 mm, hasta una profundidad de 10 mm. Luego, con la ayuda de un

machuelo de 3.5 mm de diámetro y 0.6 mm de paso, se hace rosca a cada uno de los orificios realizado.

A la tercera pieza se le debe hacer un orificio traspasado de 6 mm de diámetro, a 10 mm desde cualquiera de los extremos de su longitud (70 mm) y justo a la mitad de su anchura (28 mm). El siguiente paso es soldar las piezas mediante arco eléctrico.

### 3.5. FABRICACIÓN DEL TOPE DEL CARRITO DEL CRISOL

La función de este carrito del crisol es evitar que el crisol se deslice o desplace de su lugar. Así, en la Fig. 3.5 se presenta su forma y se puede notar que el orificio mayor sirve para alojar la boquilla del crisol.

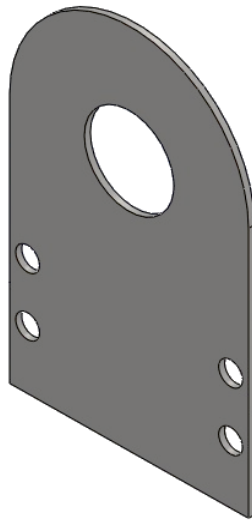


Fig. 3.5. Tope del carrito del crisol.

Para iniciar la fabricación se hace un corte de 40 x 63 mm de una lámina de espesor 1 mm, con una tijera para lámina. Este corte se hace marcando la silueta de la figura en la lámina, usando marcador, escuadra y compás, para posteriormente cortar. La parte curva superior con radio de 20 mm también se corta con la tijera, y su centro se ubica a 43 mm desde la parte inferior y en la mitad a lo ancho.

Luego se deben hacer 4 orificios pasados con una broca de 4 mm de diámetro, los primeros dos orificios se ubican a 10 mm desde el extremo inferior y los segundos a 20 mm. Así, se hace un orificio pasado de 15 mm de diámetro, ubicado a 43 mm desde el extremo inferior y en la mitad de la parte ancha.

### 3.6. FABRICACIÓN DE LA LÁMINA CONTENEDORA DE MUFLAS

La lámina contenedora de muflas está diseñada de forma cilíndrica dado que las muflas tienen forma cilíndrica, en la Fig. 3.6 se presenta la forma de la pieza, puede ser removida de su lugar en el momento que se desee, ya que no tiene ningún elemento de sujeción.

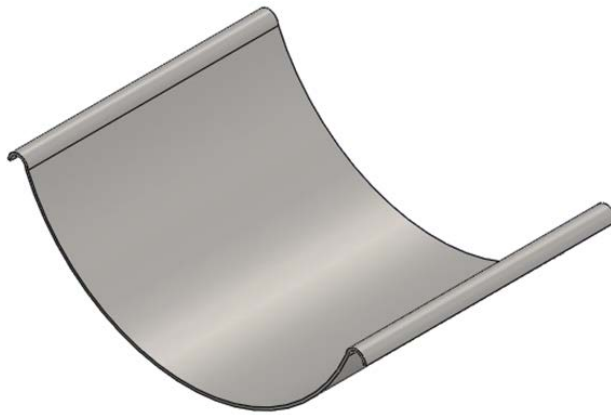


Fig. 3.6. Lámina contenedora de muflas.

En la fabricación se debe hacer un corte a una lámina de 1 mm de espesor con medidas de 162 x 100 mm. Con un trozo de madera de 145 mm de largo, 120 mm de altura y 100 mm de ancho. Dibujando el perfil de la parte frontal (curva) de la lámina contenedora en el trozo de madera, también con la ayuda de un compás se traza las curvas de radio de 69 mm y las dos de radio de 3 mm en un solo trazo, y con la ayuda de la sierra caladora se corta el contorno del trazo.

Luego se coloca la lámina cortada sobre el trozo de madera, se presiona sobre la madera de modo que la lámina adopte la forma de curva de ésta, y con la ayuda de un martillo de goma se golpea la lámina hasta que asiente bien sobre la curva de la madera.



### 3.7. FABRICACIÓN DEL CONTRAPESO

Tal como su nombre lo indica, su función es equilibrar el peso en el brazo, dependiendo de la cantidad de metal fundido en el crisol, se debe agregar o retirar contrapesos. En la Fig. 3.7 se presenta que en su centro tiene un orificio, el cual sirve para introducir el contrapeso en un tornillo para su sujeción por medio de tuerca.

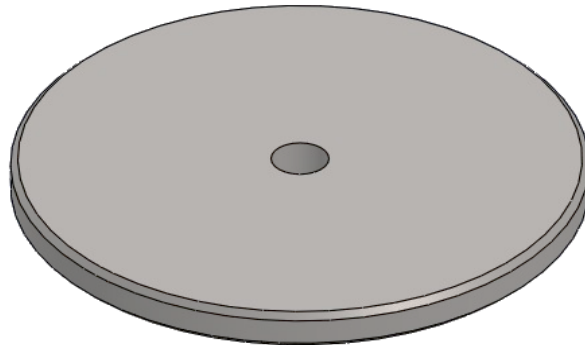


Fig. 3.7. Contrapeso.

La fabricación inicia marcando sobre una pletina de 6 mm de espesor dos círculos concéntricos, uno de 80 mm de diámetro y el otro de 8 mm de diámetro. Se corta el círculo más grande con caladora. Luego, el segundo se taladra con una broca de 8 mm de diámetro. El bisel de  $1 \times 45^\circ$  se hará por medio de un torno con un buril para biselado.

### 3.8. FABRICACIÓN DEL PERNO PARA APOYO DE LÁMINA-BRAZO

Éste elemento (se utilizan dos piezas en la centrífuga) tiene como finalidad sostener a la lámina contenedora de muflas, se introduce su tramo roscado en los orificios practicados en la placa circular del extremo del brazo, para luego ser sujetado con tuercas.



Fig. 3.8. Perno para apoyo de lámina contenedora de mufas.

Para iniciar la fabricación se corta una varilla de 6 mm de diámetro con medidas de 114 mm de longitud, luego se procede a cilindrar el tramo de 11 mm de largo con una penetración de 1 mm hasta llegar a un diámetro de 5 mm. Luego con ayuda de una terraja se corta la rosca M5-0.8, con una longitud de 5 mm.

### **3.9. FABRICACIÓN DEL PASADOR EJE-BRAZO**

El pasador eje-brazo (ver Fig. 3.9) tiene como función anclar el brazo al eje para combinar su movimiento. No tiene rosca ni está introducido a presión, su sujeción se logra con el apriete de una tuerca de sombrerete descrita más adelante.



Fig. 3.9. Pasador eje-brazo.

En la fabricación se corta un tramo de varilla de 6 mm de diámetro, con medidas de 30 mm de longitud. Luego se eliminan las rebabas.

### **3.10. FABRICACIÓN DEL ANCLA DEL RESORTE**

El ancla del resorte está diseñada para transmitir el torque desde el eje al resorte, lo hace por medio de bolas metálicas colocadas en las dos cavidades internas tal como se presentan en la Fig. 3.10. Cuando el giro del eje es provocado por una fuerza externa (la del operador de la máquina) el ancla es girada junto al eje, y debido a que existe un perno de sujeción entre el ancla y el resorte, se produce entonces la deflexión en el resorte.

El ancla solo gira cuando el operador de la centrífuga gira al brazo en sentido horario, pero no gira cuando el brazo se deja girar luego por la liberación de energía del resorte, el cual vuelve a su posición no deformada.

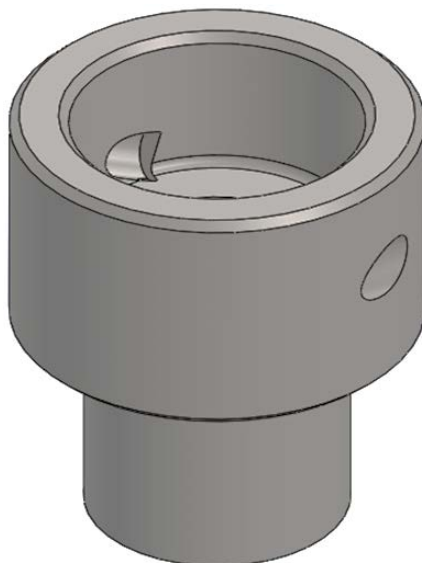


Fig. 3.10. Ancla del resorte.

Para el proceso de fabricación, el primer paso es cortar con caladora, un rectángulo de la placa de 6 mm de espesor, con medidas de 94 mm x 27 mm. Se sigue con el corte con la caladora, un rectángulo de la placa de 6 mm de espesor, con medidas de 47 mm x 34 mm.

Luego se corta con tijera para lámina, un rectángulo con medidas de 135 mm x 15 mm de la lámina de 1 mm de espesor. Haciendo uso de nuevo de la tijera, se corta un anillo de la lámina de 1 mm de espesor, con medidas de 44 mm de diámetro externo y 35 mm de diámetro interno.

Con la ayuda de una dobladora se da la forma cilíndrica al rectángulo de 94 x 27 mm, estando el cilindro formado, con la ayuda de un cilindro de madera de 29 mm de diámetro, y posterior se suelda en sus extremos con soldadura por arco eléctrico, se logra de esta manera un cilindro de 30 mm de diámetro interno y de 42 mm de diámetro externo.

Con la dobladora se da la forma cilíndrica al rectángulo de 47 x 34 mm, estando el cilindro formado, con la ayuda de un cilindro de madera de 14 mm de diámetro, y posterior se suelda en sus extremos con soldadura por arco eléctrico, se logra de esta manera un cilindro de 15 mm de diámetro interno y de 27 mm de diámetro externo.

Con la ayuda de una dobladora se da la forma cilíndrica al rectángulo de 135 x 15 mm, estando el cilindro formado, con la ayuda del cilindro metálico de 42 mm de diámetro externo, y posteriormente se suelda en sus extremos con soldadura por arco eléctrico, se

logra de esta manera un cilindro de 43 mm de diámetro interno y de 44 mm de diámetro externo.

Se procede a soldar anillo cortado anteriormente con el cilindro de 44 mm de diámetro externo, colocando el cilindro rodeando al anillo. El siguiente paso es soldar con soldadura por arco eléctrico los dos cilindros de espesor de 6 mm. Se coloca el cilindro de 27 mm de diámetro externo concéntrico, a 10 mm desde la cara inferior del cilindro de 30 mm de diámetro interno.

Se hacen los agujeros de 6 mm de diámetro con taladro industrial, usando una broca del diámetro indicado. La perforación inicia a 12 mm desde la cara superior del cilindro mayor, con un ángulo de inclinación vertical de 14° y finalizando a 15 mm de la cara superior del cilindro mayor. La profundidad que tendrán los orificios será 12 mm. Luego se realizan los trazos correspondientes para encontrar y marcar la posición exacta de los centros de los orificios.

Se taladra un orificio de 4 mm de diámetro en el cilindro inferior, ubicado a 11 mm desde la cara inferior del cilindro inferior, el orificio solo traspasa una pared del cilindro. Con un juego de machuelos cónico, semicónico y recto, se hace una rosca con medida M5-0.8.

### **3.11. FABRICACIÓN DE PASADOR DE BLOQUEO DE MOVIMIENTO**

El pasador (ver Fig. 3.11) se usa para mantener al brazo en la posición a la que se lleve luego de que el operador gira el brazo, con lo cual se logra deformar el resorte y tener en ese momento la condición necesaria para dejar girar el brazo. El pasador se coloca de tal forma que impida el movimiento del brazo mientras se vierte el metal fundido en el crisol, cuando el metal fundido se ha vertido completamente, se retira el pasador y el brazo empieza su giro.



Fig. 3.11. Pasador de bloqueo de movimiento.

Su proceso de fabricación consiste en cortar un tramo de varilla de 6 mm de diámetro, con medidas de 133 mm de longitud. Con el objetivo de eliminar riesgos de heridas en los dedos del operador, se procede con un redondeo en uno de sus extremos con ayuda de pulidora. Luego se eliminan las rebabas en el otro extremo.

### **3.12. FABRICACIÓN DEL RESORTE ESPIRAL**

Este componente se usa para almacenar energía gracias a la deformación que sufre, provocado por el giro del brazo, que a su vez es provocado por la fuerza del operador. Cuando se libera la energía y vuelve a su posición natural, impulsa al ancla, que a su vez impulsa al eje, logrando así el giro deseado. En la Fig. 3.12 se presenta el resorte espiral.



Fig. 3.12. Resorte espiral.

En la fabricación se debe anticipar, que se hará uso de una herramienta artesanal, que se presenta en Fig. 3.13, adecuada para la conformación del resorte [18].



Fig. 3.13. Herramienta artesanal para conformar el resorte [17].

Se inicia considerando que se dispone de una pletina de acero SAE 1095 de 2 mm de espesor, 22 mm de ancho y 9.6 m de largo.

Se procede a calentar (recocer) uno de los extremos de la tira metálica con ayuda de un soplete para soldadura oxiacetilénica hasta 800 °C, la medición de temperatura se logró utilizando un medidor de temperatura láser, para dar inicio al conformado de la primera vuelta, que se presenta en la Fig. 3.14, y así sucesivamente se procederá hasta llegar hasta el otro extremo; es decir, hasta que se tengan las doce espiras.



Fig. 3.14. Conformado de las primeras espiras haciendo uso de la herramienta [17].

Una vez completadas las 12 espiras se lleva a un horno para calentar el resorte hasta  $900^{\circ}\text{C}$ , para someterlo a un proceso de temple en agua, para lograr una alta resistencia y límite de elasticidad elevado. Se procede al proceso de revenido, calentado el resorte hasta  $400^{\circ}\text{C}$ , y luego se enfría en aire.

### 3.13. FABRICACIÓN DE LA TAPA DE LA CARCASA

La tapa de la carcasa (ver Fig. 3.15) tiene como finalidad proteger al mecanismo del polvo del ambiente y del resguardo en general. Además, sirve como soporte para el cojinete superior.

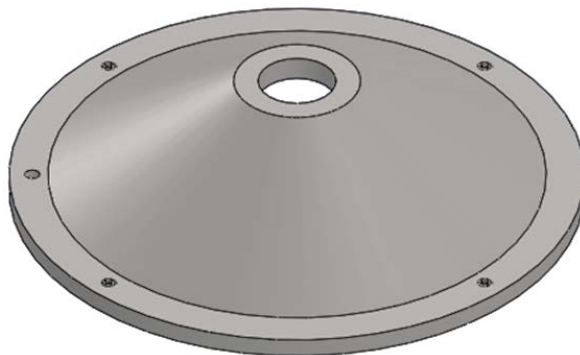


Fig. 3.15. Tapa de la carcasa.

La construcción inicia con la realización de un cono truncado por medio de proceso de calderería, se sacan las generatrices del cono, se trazan los respectivos radios de las circunferencias y se procede a cortar la pieza con la sierra caladora. Luego se corta una



pieza de madera con las dimensiones internas del cono, para asentar la pieza cortada sobre ella y posteriormente calentar, si es necesario, con soplete de autógena, y después soldar con soldadura por arco eléctrico los extremos del cono formado.

Se corta un anillo de la lámina de espesor de 4 mm, con dimensiones de 51 mm de diámetro externo y 41 de diámetro interno, el corte del diámetro externo se hará con pulidora y el corte del diámetro interno se hará taladrando con una broca de 40 mm de diámetro, para después se usa una lima para lograr el diámetro de 41 mm.

Se corta luego, una pieza rectangular de la lámina de 4 mm de espesor, con medidas de 10 mm de ancho y 126 mm de largo, y después se corta un trozo de madera de 32 mm de diámetro y 10 mm de altura.

Se coloca la pieza en la dobladora de lámina, introduciendo la pieza en su parte más angosta, para darle la forma circular deseada, luego con la abrazadera de metal, se coloca la lámina sobre la superficie circular de la madera, estando en esa posición se procede a soldar los dos extremos, que ahora están unidos, con soldadura por arco eléctrico, logrando así obtener un cilindro de 40 mm de diámetro externo, 32 mm de interno y altura de 10 mm de altura.

El anillo se une al cono por medio de soldadura por arco eléctrico, colocando el anillo con su cara superior coincidente con el extremo superior del cono. Luego se une ahora el cilindro de 40 mm de diámetro externo con el anillo de 41 mm de diámetro interno. Se coloca el cilindro en la cavidad interna del anillo con su extremo superior coincidente al extremo superior del anillo, la unión se hace por medio de soldadura por arco eléctrico.

Se corta un anillo de la lámina de espesor de 4 mm, con dimensiones de 232 mm de diámetro externo y 210 de diámetro interno, el corte del diámetro externo e interno se hará con pulidora. Luego se taladran 4 agujeros con una broca de 4 mm de diámetro traspasados, ubicados a 109 mm del centro y separados entre sí 90°. Se procede después a hacer roscado con machuelo cónico, semicónico y recto para lograr rosca M5-0.8. También se taladra un agujero de 6 mm de diámetro traspasado, ubicado a 109 mm del centro (agujero necesario para el pasador).

Se debe hacer un cilindro de 8 mm de altura, de 232 mm de diámetro interno con un espesor de 2 mm. Se corta un rectángulo de 728 mm (perímetro) de largo x 8 mm de

ancho. Luego se da la forma cilíndrica en la dobladora para lograr el cilindro buscado y se une con soldadura por arco eléctrico.

Como último paso, se une el anillo de 210 mm de diámetro interno al extremo inferior del cono, se coloca el anillo rodeando al cono, con la cara inferior del anillo coincidente con la base del cono, y se suelda con soldadura eléctrica. También, se une el cilindro de 232 mm de diámetro interno con el anillo de 231 mm de diámetro externo (recientemente unido al cono). Se coloca el cilindro rodeando al anillo y haciendo coincidir su cara superior con la cara superior del anillo para posteriormente soldar la unión.

### 3.14. FABRICACIÓN DE LA CARCASA

La carcasa es el alojamiento principal del mecanismo del resorte, en ésta se alojan los cojinetes, el eje, el resorte y el ancla del resorte.

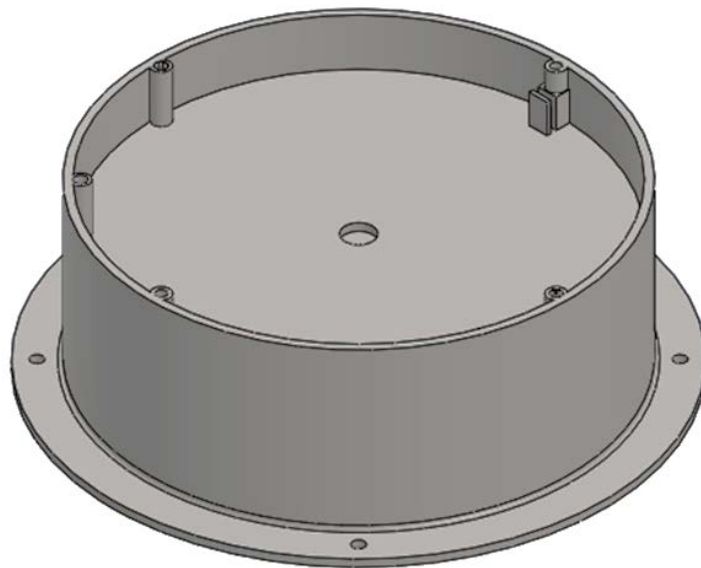


Fig. 3.16. Carcasa.

La fabricación inicia con el corte de una lámina de 4 mm de espesor con una pulidora, con medidas de 726 x 86 mm. Luego se corta con la sierra caladora, un trozo de madera cilíndrico de 223 mm de diámetro y 90 mm de altura.

Se coloca la pieza en la dobladora de lámina, introduciendo la pieza en su parte más angosta, para darle la forma circular deseada, luego con la abrazadera de metal, se coloca la lámina sobre la superficie circular de la madera, estando en esa posición se procede a soldar los dos extremos, que ahora están unidos, con soldadura por arco eléctrico, logrando así obtener un cilindro de 231 mm de diámetro externo y altura de 86 mm de altura.

Se procede ahora a cortar la lámina de 4 mm de espesor, con la caladora, de forma circular con medidas de 271 mm de diámetro. Luego se taladra un orificio en el centro del disco cortado, con una broca de 40 mm, iniciando el orificio con brocas de menor calibre. Se taladran 4 agujeros de 4 mm de diámetro, ubicados a 125 mm del centro del disco, separados entre sí 90°.

Se corta luego, una pieza rectangular de la lámina de 4 mm de espesor, con medidas de 10 mm de ancho y 126 mm de largo, y después se corta un trozo de madera de 32 mm de diámetro y 10 mm de altura.

Se coloca la pieza en la dobladora de lámina, introduciendo la pieza en su parte más angosta, para darle la forma circular deseada, luego con la abrazadera de metal, se coloca la lámina sobre la superficie circular de la madera, estando en esa posición se procede a soldar los dos extremos, que ahora están unidos, con soldadura por arco eléctrico, logrando así obtener un cilindro de 40 mm de diámetro externo, 32 mm de interno y altura de 10 mm de altura.

Se une ahora el cilindro de 40 mm de diámetro con el disco de 271 mm de diámetro. Se coloca el cilindro en el agujero hecho al disco con su extremo inferior coincidente al extremo inferior del disco, la unión se hace por medio de soldadura por arco eléctrico.

Ahora se corta con una pulidora, un disco de 222 mm de diámetro, a la lámina de 4 mm de espesor. Luego se taladra un agujero en el centro con una broca de 15 mm de diámetro.

El siguiente paso es cortar dos piezas de 6 mm de espesor, con ayuda de pulidora, con medidas de 10 x 16 mm. Una vez cortadas estas piezas, se unen por medio de soldadura por arco eléctrico, para unir las se colocan una junto a la otra en la cara que mide 10 x 16 mm, obteniendo así, una pieza final de 10 x 16 x 12 mm.

Se procede a ranurar con una fresa tipo woodruff para ranurar, una ranura de 3 mm de ancho y 5 mm de profundidad, ésta ranura se hace a 2 mm desde el lado de 10 mm de la cara que mide 10 x 12 mm de la pieza soldada anteriormente. Luego se continúa siguiendo la misma ranura, pero con una profundidad de 3 mm, en ambos lados de la pieza, en las caras que miden 12 x 16 mm, la ranura se hace hasta llegar al extremo de la pieza.

También se hace un agujero (agujero necesario para el pasador de bloqueo de movimiento) con una broca de 6 mm de diámetro ubicado a 135° del DETALLE B (plano 16/16) en sentido anti horario, con su centro a 220 mm del centro del disco.

El siguiente paso es soldar el disco cortado de 222 mm de diámetro al cilindro de 223 de diámetro interno. La cara inferior del disco estará ubicada a 56 mm desde el extremo inferior del cilindro, para colocar el disco en esa posición se usa unas piezas de madera que sirven de apoyo mientras se ejecuta la soldadura.

Se suelda la pieza ranurada del DETALLE B, sobre la cara superior del disco y sobre la cara interna del cilindro, a 135° del orificio del pasador, en sentido horario.

Luego se cortan 3 piezas de 26 mm de longitud de varilla lisa de  $\frac{3}{8}$  pulg de diámetro y 1 pieza de 10 mm de longitud de misma varilla. Se sueldan luego estas varillas en las posiciones indicadas en el plano 16/16 (Detalle 13). Una vez soldadas en su posición, se taladran con una broca de 4 mm de diámetro, hasta una profundidad de 20 mm. Se procede después a hacer roscado con machuelo cónico, semicónico y recto para lograr rosca M5-0.8.

Para finalizar se procede a soldar el disco inferior de 271 mm al cilindro de 231 mm de diámetro exterior, la soldadura se hace colocando ambas piezas en posición concéntrica.

### **3.15. FABRICACIÓN DEL BARRIL PROTECTOR**

El barril protector tiene la función de evitar que el operador se vea expuesto a posibles golpes por el giro de la centrífuga, también para evitar que, si en algún dado

caso material fundido es lanzado fuera del crisol por el giro, éste sea detenido antes de provocar daños a la integridad física del operador.

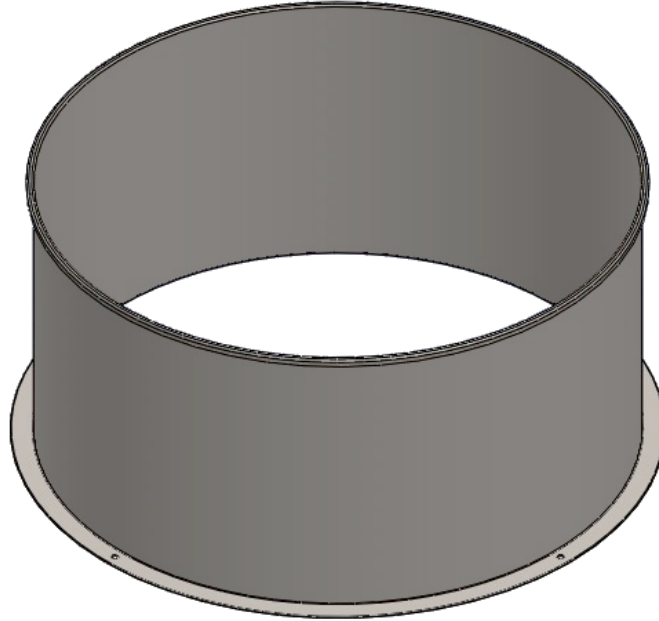


Fig. 3.17. Barril protector.

Para la fabricación, primero se marca la lámina de 1 mm de espesor a una longitud 2513 mm y a una altura 404 mm, para el luego cortar con la pulidora, para obtener la parte del cilindro. Luego para el anillo inferior se marcan dos círculos sobre la lámina de 1 mm, uno con diámetro 804 mm y el otro con diámetro 810 mm para posteriormente cortar con la pulidora. Para la parte superior doblada se hacen varios cortes a lo largo de la primera pieza cortada de modo que facilite hacer el doblado. Se coloca una varilla de 3/8 de pulgada en uno de los extremos del lado de menor longitud de la pieza de 2513 x 404 y a mediación de los cortes para moldear la lámina sobre esta con la ayuda de unas tenazas y un martillo. A continuación, se da forma al cilindro, uniendo los dos extremos de la longitud 2513 mm y soldando los cortes hechos anteriormente. Teniendo el cilindro y el anillo listos, se procede a soldar perpendicularmente la parte inferior no doblada del cilindro con la parte interna del anillo, luego se perforan en el anillo soldado al cilindro, cuatro orificios de 8 mm de diámetro, separados 90° entre sí, y así obtener la pieza deseada.

### **3.16. HERRAMIENTAS PARA CADA PROCESO**

Las herramientas que se usarán en este proceso son: un buril para refrentar y cilindrar, buril de acero rápido, fresa de plaquita redonda, un calibrador Vernier y micrómetro para verificar las medidas, un marcador, un buril para roscar, taladrina, lija para metal 400, 600. También se usa una broca con diámetro de 12 mm, una broca con diámetro de 6 mm, una fresa de disco con un espesor de 6 mm, taladrina, un centro-punto, un marcador, pulidora, un disco abrasivo de corte de metal, sargentos, compás, caladora, limas, escuadra, electrodo E6013, cepillo de alambre, picadora de escoria, dobladora de lámina.

### **3.17. PROCEDIMIENTO DE MONTAJE**

Paso 1. Ensamble ancla con resorte.

Paso 2. Ensamble de cojinete C en la carcasa.

Paso 3. Ensamble del ancla junto al resorte en la carcasa.

Paso 4. Ensamble de cojinete B en el eje con ayuda de una prensa hidráulica y posterior montaje de la tapa de carcasa al anillo exterior del cojinete B.

Paso 5. Ensamble del eje unido al cojinete B y a la tapa, en la carcasa, quedando el eje ensamblado en el cojinete C.

Paso 6. Armar el brazo con todos componentes, los cuales son, los contrapesos, el carrito del crisol, la lámina contenedora del molde.

Paso 7. Ensamble del brazo en el eje.

Paso 8. Montaje del pasador de bloqueo.

Paso 9. Fijación de la centrífuga en el suelo.

Paso 10. Colocación del barril protector.

### 3.18. PRESUPUESTO DE MATERIALES DE DISEÑO

Los costos para la fabricación de la centrífuga se presentan en este apartado. Se presentan los precios de las materias primas, tales como, láminas de metal, pletinas, barra; también se presenta el precio de los cojinetes (Tabla 3.1). Los costos de los elementos pequeños, tales como, pernos, tuercas, tornillos no se contemplan.

Este apartado se realiza por medio de cotizaciones realizadas a diferentes proveedores de materiales y de elementos mecánicos dentro del país.

Debido a que en los establecimientos donde proveyeron las cotizaciones solo venden piezas estandarizadas y con dimensiones ya establecidas, se ha tenido que considerar los precios de los materiales tal como en el establecimiento los tenían disponibles, esto implica que se han cotizado láminas de dimensiones grandes en comparación a lo que se necesita para la fabricación, por ello el precio parece elevado.

Tabla 3.1. Costos de los materiales e insumos a utilizar en la fabricación.

Material	Unidad	C/U, \$	Costo, \$
Pletina de acero SAE 1020 de 6 mm de espesor	1	193.23	193.23
Pletina de acero SAE 1020 de 4 mm de espesor	1	106.95	106.95
Barra de acero SAE 1020 de 1 ¼ de diámetro	1	60.00	60.00
Varilla de acero SAE 1020 de 6 mm de diámetro	1	40.00	40.00
Lámina de acero SAE 1020 de 1 mm de espesor	3	22.30	66.90
Lámina de acero SAE 1095 de 2 mm de espesor	1	610.00	610.00
Cojinete 6201 marca KOYO	2	3.75	7.50
<b>Insumos</b>			
Recarga de tanque de acetileno	1	31.00	31.00
Recarga de tanque oxígeno	1	11.23	11.23
Costo total =			1126.81

A continuación, en la Tabla 3.2 se presenta los costos de los procesos de fabricación que se ejecutan en la construcción de la centrífuga. Se debe aclarar que estos costos se obtuvieron de establecimientos que no poseen una manera formal de proveer la cotización del precio por el trabajo que realizan, por ello no se presenta una cotización que respalde estos precios. Aunque, los precios mostrados fueron obtenidos de manera verbal de parte de los establecimientos consultados. Además, en estos costos ya van implícitos los costos de mano de obra, costos de depreciación de maquinaria, equipo y herramientas, energía eléctrica, alquiler, insumos, etc.

Tabla 3.2. Costos de los procesos de fabricación y montaje.

Tipo de proceso o mecanizado	Costo por proceso, \$	Cantidad de procesos	Costo total por proceso, \$
Soldadura de acero	14.00	18	252.00
Cilindrado	7.00	7	49.00
Ranurado	4.00	3	12.00
Taladrado	4.00	42	168.00
Corte o Esmerilado	4.00	35	140.00
Fresado general	10.00	12	120.00
Roscado	4.00	15	60.00
Costo total =			801.00

Cotizaciones realizadas vía telefónica o presencial a los establecimientos que no proveen de una cotización formal, a pesar de no tener una cotización formal, sí se menciona el nombre del establecimiento para corroborar o consultar los datos presentados.

- ✓ Cotización de las láminas de 1.0 mm y de 2.0 mm de espesor.  
Establecimiento: PROACES, procesadora de acero de El Salvador.
- ✓ Cotización de Barra de acero SAE 1020 de 1 ¼ de diámetro y Varilla de acero SAE 1020 de 6 mm de diámetro.  
Establecimiento: ACEROS S.A.
- ✓ Cotización de los cojinetes 6201 marca KOYO:  
Establecimiento: REPSA soluciones en rodamientos.
- ✓ Cotización de los costos de fabricación.  
Establecimientos: TORNO Y SERVICIO ASOCIADOS, MI TORNO.

A continuación, en la Tabla 3.3 se enlistan todos los costos para la construcción de la centrífuga, en ella se incorporan los costos de los materiales, los procesos de fabricación y los costos por montaje e insumos de tal manera de tener el costo total de la centrífuga.



Tabla 3.3. Costo total de la centrífuga.

Material	Costo, \$
Pletina de acero SAE 1020 de 6 mm de espesor	193.23
Pletina de acero SAE 1020 de 4 mm de espesor	106.95
Barra de acero SAE 1020 de 1 ¼ de diámetro	60.00
Varilla de acero SAE 1020 de 6 mm de diámetro	40.00
Lámina de acero SAE 1020 de 1 mm de espesor	66.90
Lámina de acero SAE 1095 de 2 mm de espesor	610.00
Cojinete 6201 marca KOYO (2 unidades)	7.50
<b>Insumos</b>	
Recarga de tanque de acetileno	31.00
Recarga de tanque oxígeno	11.23
<b>Proceso de fabricación</b>	
Soldadura de acero	252.00
Cilindrado	49.00
Ranurado	12.00
Taladrado	168.00
Corte o Esmerilado	140.00
Fresado general	120.00
Roscado	60.00
Costo total =	1927.81

## CONCLUSIONES

Finalizado este trabajo, los resultados obtenidos permiten formular las siguientes conclusiones:

- ✓ La recopilación de mucha información, mediante investigación, por medio de fuentes electrónicas y visitas a lugares donde contaban dispositivos similares, fue fundamental para comprender el funcionamiento y parámetro de diseños de los diferentes elementos que componen la centrífuga de fundición. Esta información en combinación con conocimientos de ingeniería mecánica, permitió que se llegara a diseñar la centrífuga mecánicamente según la necesidad planteada para el proceso de enseñanza y fabricación de piezas para el departamento de Materiales y Procesos de Fabricación de Ingeniería Mecánica.
- ✓ La capacidad de la centrífuga se estableció a partir de la cantidad de fundición que se puede centrifugar en ella, la cantidad es 498 g de bronce, considerando esta una cantidad adecuada para fabricar piezas, tales como, impulsores de bombas centrífugas, con lo cual se logra una práctica de laboratorio en donde se fabriquen piezas de considerable tamaño.
- ✓ La centrífuga se dimensionó acorde a la cantidad de fundición que puede centrifugar, a la fuerza del brazo de una persona promedio, con lo cual se asegura que cualquier persona pueda operar la centrífuga y a la velocidad de giro, se seleccionó un eje principal de 13 mm de diámetro nominal, con sus respectivos cojinetes en los puntos de acople. El diseño del resorte también se basa en los criterios antes mencionados. Realizados los cálculos de diseño, se procedió describir los procedimientos necesarios para la fabricación de los componentes de la centrífuga.
- ✓ El costo total para la fabricación de la centrífuga de fundición de uso didáctico es de \$ 1927.81 tomando en consideración materiales y mano de obra. La rentabilidad del equipo no es medible económicamente ya que ha sido diseñado para uso didáctico sin fines de lucro, más bien se encuentra relacionado con el beneficio académico que se espera lograr al ser implementado dentro de los equipos disponibles en el laboratorio de fundición para las prácticas de laboratorio.

- ✓ Con la investigación hecha, se estima que se puede fabricar una centrífuga haciendo uso de otros materiales, por ejemplo, para el resorte, se puede usar acero SAE 1045, después de hacerle tratamiento térmico de revenido para alcanzar propiedades mecánicas parecidas a las del acero SAE 1095. De esta manera se logra una ventaja importante, la cual es, la adquisición del acero dentro de nuestro país, con lo cual se reducen costos y tiempo.
- ✓ Dado que los costos de los materiales se cotizaron con dimensiones normalizadas de acuerdo a la industria, es decir, las piezas cotizadas exceden en dimensión a las que realmente se necesitan en la fabricación de las piezas de la centrífuga, se determina que pueden fabricarse aproximadamente 5 máquinas centrífugas más usando los materiales sobrantes, logrando esta manera un rendimiento mucho mayor en los costos finales de la centrífuga. Debe aclararse que deberá hacerse algunas cotizaciones extras para algunos materiales de los cuales no hay demasiado excedente, pero la variación en los costos sería muy baja.

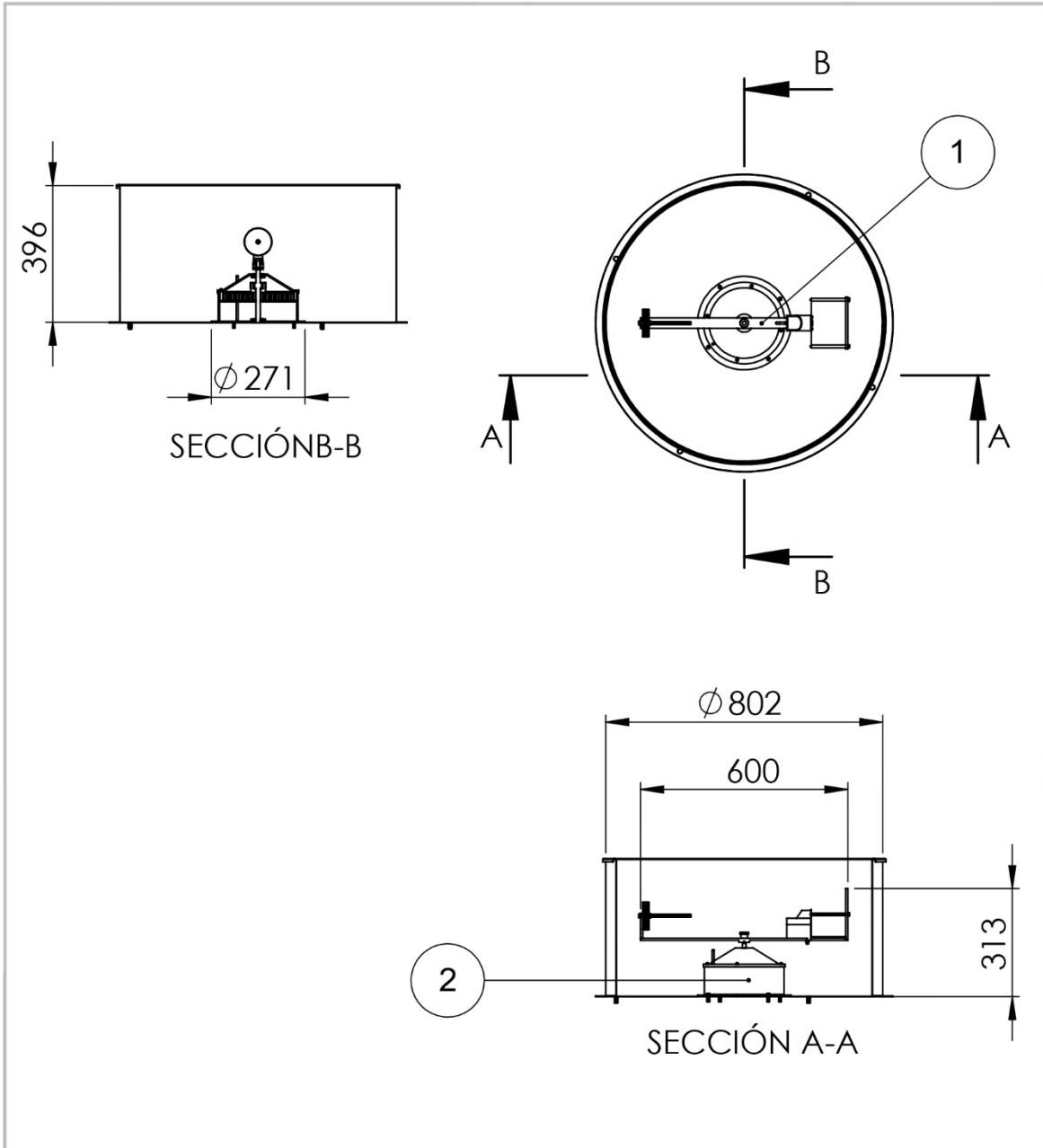
## REFERENCIAS

- [1] Echavarría, A. (2016). Breve historia del proceso de fundición a la cera perdida. Antioquía: Corporación de Ingenieros Metalúrgicos y de Materiales de la Universidad de Antioquia.
- [2] Domínguez, J. L. & Escamilla, O. P. (2016). Diseño de un prototipo de colada centrífuga horizontal para producir tubos de aluminio. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/379090620/Tesis-Colada-Centrif>
- [3] Serope Kalpakjian, S. R. (s.f.). En Manufactura, Ingeniería y tecnología (4ta. ed., págs. 287-288).
- [4] Villacis, J. F. (2009). Elaboración de barras de aleaciones especiales por centrifugación bajo norma ASTM. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10361/1/D-42274.pdf>
- [5] Carlos Armando Aranga Angamarca, I. V. (s.f.). Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/11917/1/Construcci%C3%B3n%20y%20puesta%20en%20marcha%20de%20centrifugadora%20vertical%20de%20metales.pdf>
- [6] Edwin David Quezada, C. O. (10 de abril de 2013). Obtenido de <http://dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/2457/1/85T00239.pdf>
- [7] Flores García, E. Y., & Orellana Núñez, R. E. (2014). Diseño y construcción de un horno de crisol para aleaciones no ferrosas. Obtenido de SpainDocuments: <https://fddocuments.es/download/disen-y-construccion-de-un-horno-de-crisol-para-aleaciones-no-ferrosas>
- [8] Groover, M. P. (2007). Fundamentos de la manufactura moderna. MacGraw-Hill.
- [9] Pila Quisaguano, C. X. (2010). Estudio de las reacciones en la intercara cera cerámico y su influencia en los acabados en las piezas en bronce obtenidas por el método a la cera perdida y, obtención de la imagen de la mascota de la ingeniería Mecánica en bronce por el mismo método. Obtenido de Bibdigital: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2120/1/CD-2907.pdf>
- [10] Solórzano Saltos, P. K. (2013). Estudio de la obtención de piezas fundidas en aluminio mediante cera perdida y su incidencia en la calidad. Obtenido de Repositorio Digital UTA: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/5992>

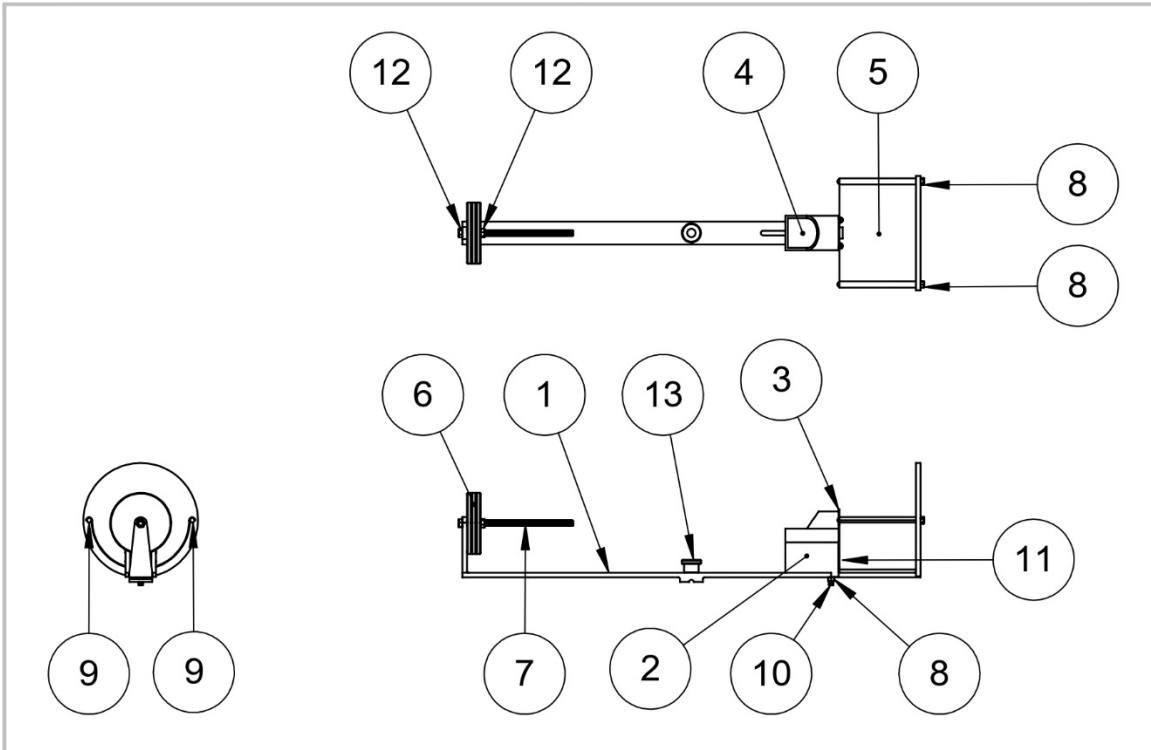
- [11] Diego-Mas, José Antonio. Análisis biomecánico estático coplanar, Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia, 2015. Obtenido de <https://ergonautas.upv.es/metodos/biomecanica/biomecanica-ayuda.php>.
- [12] Shigley - Budynas & Nisbett - 8ed Diseño en ingeniería mecánica.
- [13] Robert L. Mott P. E. University of Dayton. Cuarta Edición. Diseño de elementos de máquinas.
- [14] NSK Corporation, Ann Arbor, MI
- [15] Catálogo general de industria SNR. Fijación y juego de rodamientos. Obtenido de <https://www.ntn-snr.com>.
- [16] Harold Carlson, Consulting Engineer, Lakewood New Jersey. Spring designer's handbook. Obtenido de <https://automaterials.files.wordpress.com>.
- [17] Sydney H. Avner, segunda edición, Introducción a la metalurgia física.
- [18] Tom Oldsmith. How to make spring.  
<http://www.oleklejbzon.com/gallery100.html?Click.x=147&Click.y=55>.

## **ANEXOS**

### **ANEXO 1. PLANOS DE LA CENTRÍFUGA**



2	Carcasa alojamiento del resorte	1		Subconjunto 2
1	Palanca o brazo	1		Subconjunto 1
N°	DESCRIPCIÓN	CANT.	MATERIAL	ESPECIFICACIÓN
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una centrífuga para fundición con fines didácticos	Escala: 1:20
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz		Estudiantes: Ancheta Garza, Daniel Isaac Molina Rivas, Oseas Jonatan		Unidades: Milímetros
N° de plano: 1/19	Fecha: 08/04/23	Conjunto: Centrífuga para fundición		



13	Tuerca de sombrerete de brazo - eje	1	Acero SAE 1020	Detalle 7
12	Tuerca de sujeción de contrapesos	2		M6-1.0 ISO 4.8
11	Tomillo de sujeción placa - carrito	4		M3.5-0.6x10 ISO 4.8
10	Perno para sujeción carrito - brazo	1		M5-0.8x20 ISO 4.8
9	Perno de apoyo de lámina - brazo	2	Acero SAE 1020	Detalle 6
8	Tuerca hexagonal de sujeción	3		M5-0.8 ISO 4.8
7	Tomillo de contrapeso	1		M6-1.0x150 ISO 4.8
6	Contrapeso	4	Acero SAE 1020	Detalle 5
5	Lámina contenedora de mufla	1	Acero SAE 1020	Detalle 4
4	Crisol	1	Cuarzo	Crisol de la centrifuga
3	Placa del carrito	1	Acero SAE 1020	Detalle 3
2	Carrito del crisol	1	Acero SAE 1020	Detalle 2
1	Brazo	1	Acero SAE 1020	Detalle 1
N°	DESCRIPCIÓN	CANT.	MATERIAL	ESPECIFICACIÓN

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN:  
Propuesta de diseño de una  
centrifuga para fundición con  
fines didácticos

Escala:  
1:10

DOCENTE ASESOR:  
Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortíz

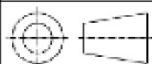
Estudiantes:  
Ancheta Garza, Daniel Isaac  
Molina Rivas, Oseas Jonatan

Unidades:  
Milímetros

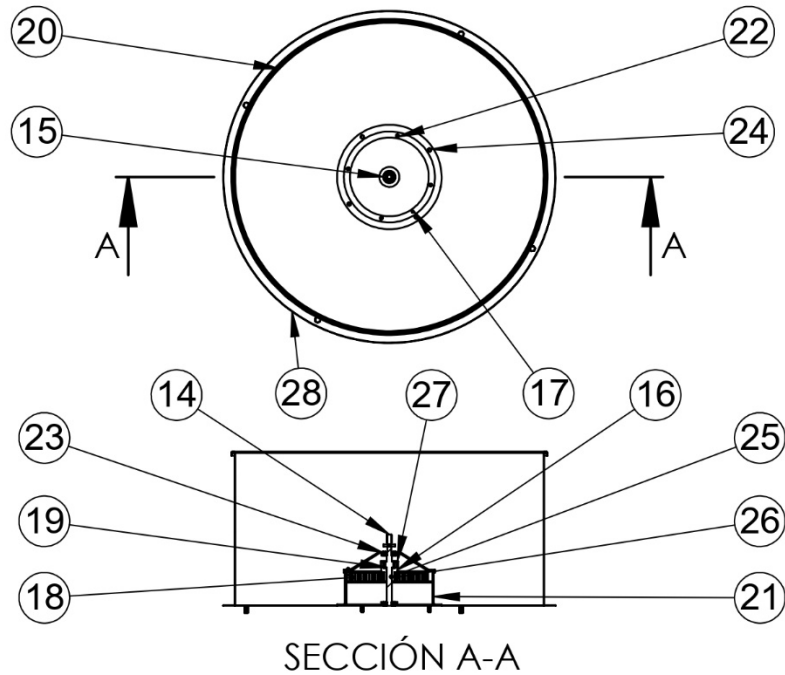
N° de plano:  
2/19

Fecha:  
08/04/23

Subconjunto 1: Palanca o brazo

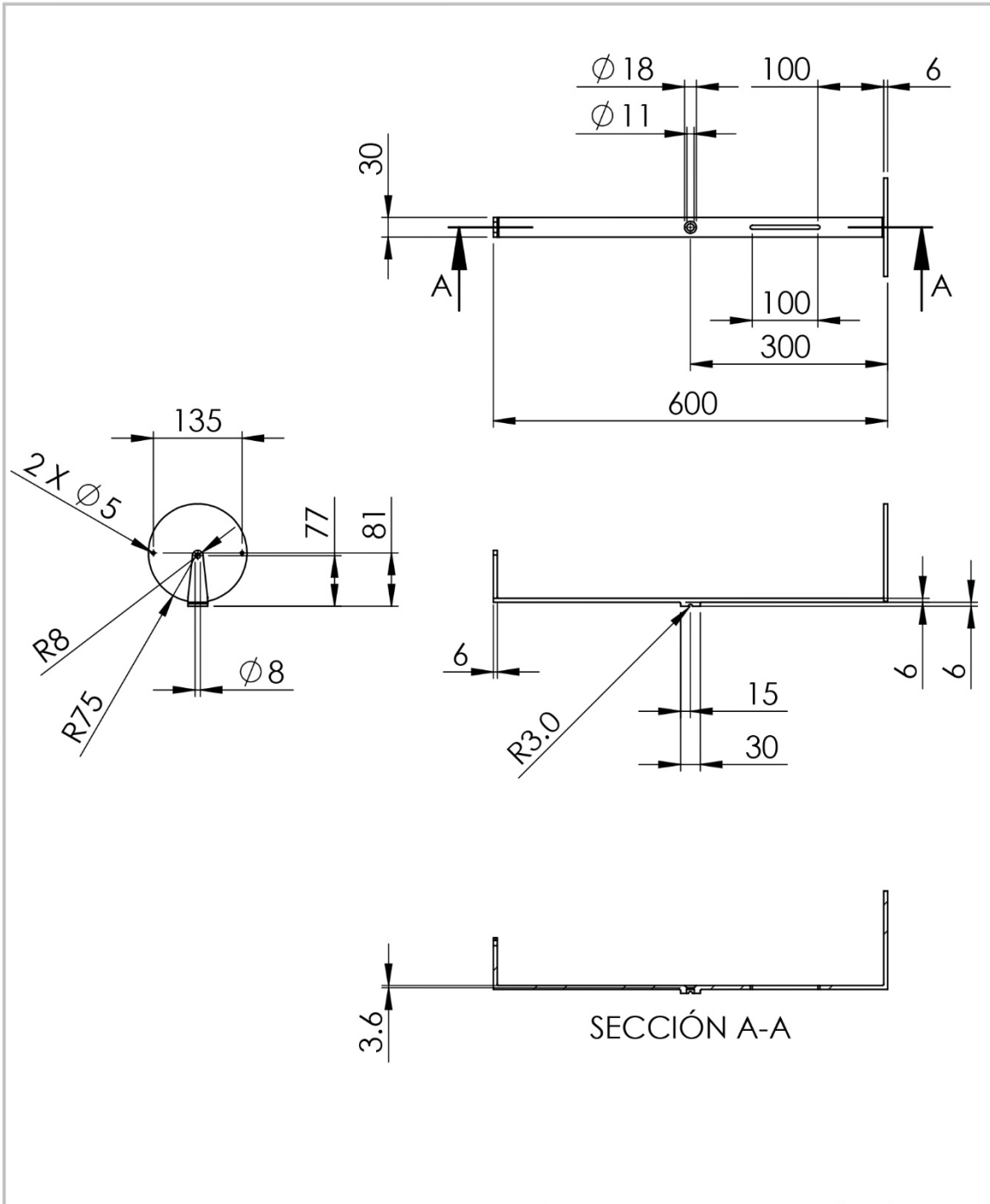




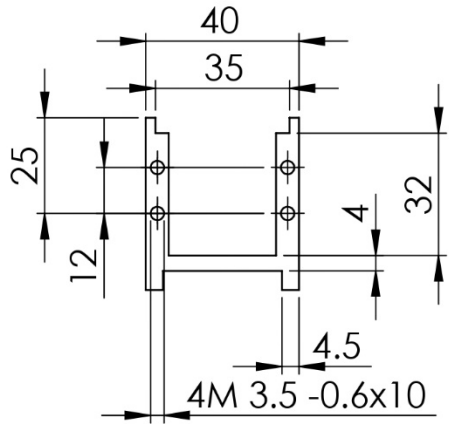
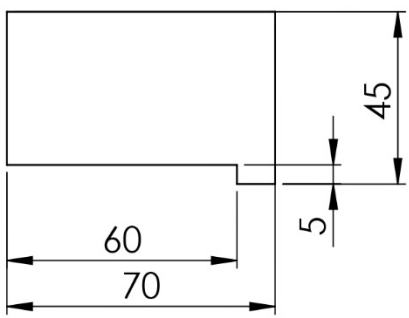
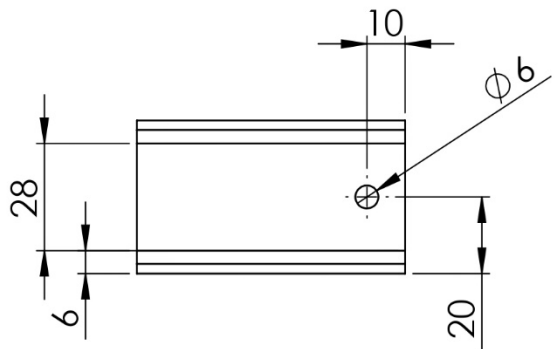


28	Barril protector	1	Acero SAE 1020	Detalle 16
27	Cubierta de resguardo del ancla	1	Acero SAE 1020	Detalle 15
26	Tuerca de sujeción ancla-resorte	1		M5-0.8 ISO 4.8
25	Perno de sujeción ancla-resorte	1		M5-0.8x15 ISO 5.8 ALLEN
24	Perno de sujeción carcasa	4		M5-0.8x20 ISO 5.8
23	Cojinete	2		SKF 6201
22	Tornillos de sujeción tapa-carcasa	4		M5-0.8x20 ISO 4.8
21	Carcasa	1	Acero SAE 1020	Detalle 14
20	Tapa de la carcasa	1	Acero SAE 1020	Detalle 13
19	Balero del ancla - eje	2	Acero SAE 1045	Diámetro de 5 mm
18	Resorte	1	Acero SAE 1095	Detalle 12
17	Pasador de bloqueo de movimiento	1	Acero SAE 1020	Detalle 11
16	Ancla de resorte - eje	1	Acero SAE 1020	Detalle 10
15	Pasador de eje - brazo	1	Acero SAE 1020	Detalle 9
14	Eje	1	Acero SAE 1020	Detalle 8
N°	DESCRIPCIÓN	CANT.	MATERIAL	ESPECIFICACIÓN

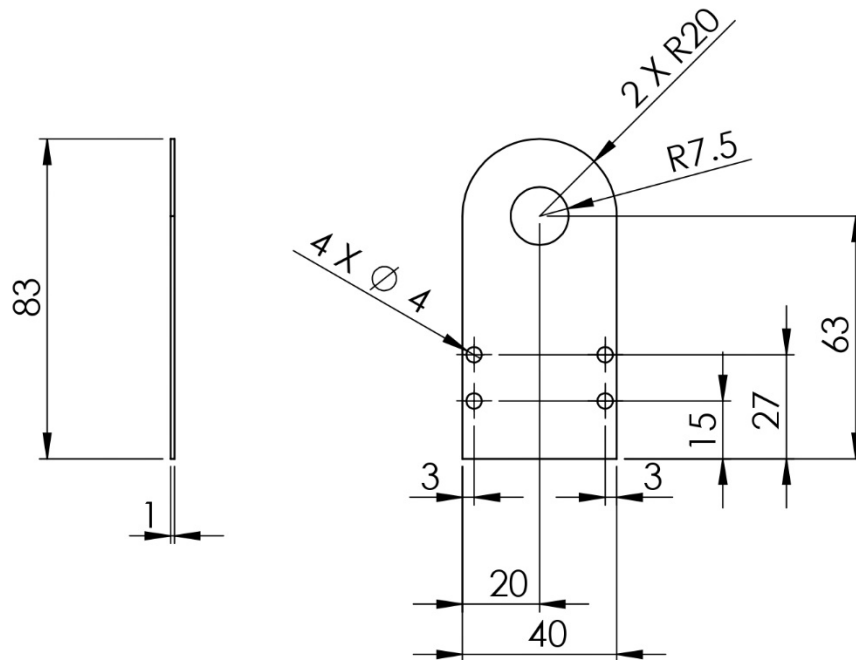
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una centrífuga para fundición con fines didácticos		Escala: 1:20
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortíz		Estudiantes: Ancheta Garza, Daniel Isaac Molina Rivas, Oseas Jonatan		Unidades: Milímetros
N° de plano: 3/19	Fecha: 08/04/23	Subconjunto 2: Carcasa alojamiento del resorte		



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una centrífuga para fundición con fines didácticos	Escala: 1:10
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortíz		Estudiantes: Ancheta Garza, Daniel Isaac Molina Rivas, Oseas Jonatan	Unidades: Milímetros
N° de plano: 4/19	Fecha: 08/04/23	Detalle 1: Brazo	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una centrífuga para fundición con fines didácticos	Escala: 1:2
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz		Estudiantes: Ancheta Garza, Daniel Isaac Molina Rivas, Oseas Jonatan	Unidades: Milímetros
Nº de plano: 5/19	Fecha: 08/04/23	Detalle 2: Carrito del crisol	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN:  
 Propuesta de diseño de una  
 centrífuga para fundición con  
 fines didácticos

Escala:  
 1:2

DOCENTE ASESOR:  
 Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortíz

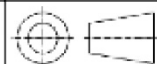
Estudiantes:  
 Ancheta Garza, Daniel Isaac  
 Molina Rivas, Oseas Jonatan

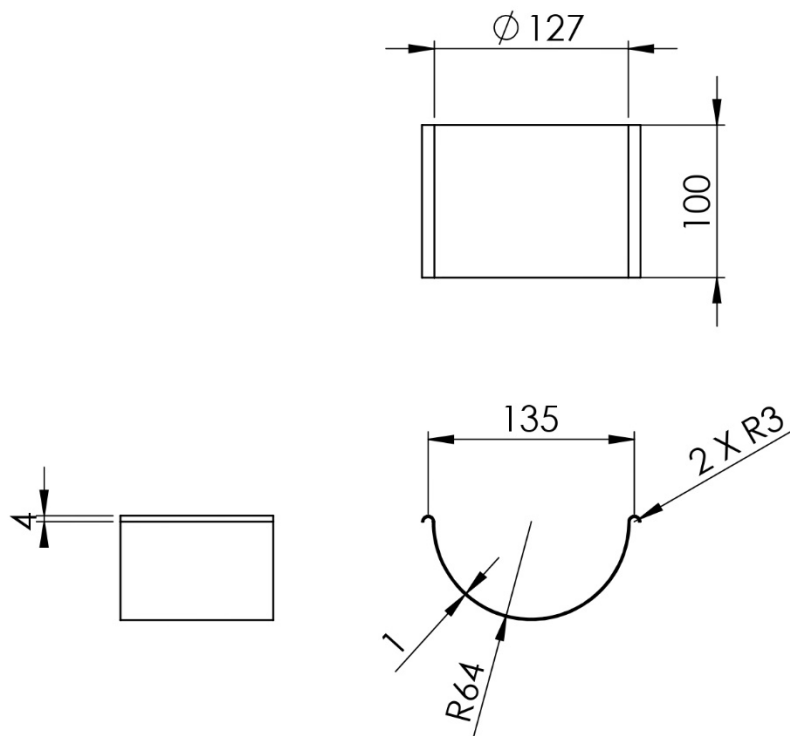
Unidades:  
 Milímetros

N° de plano:  
 6/19

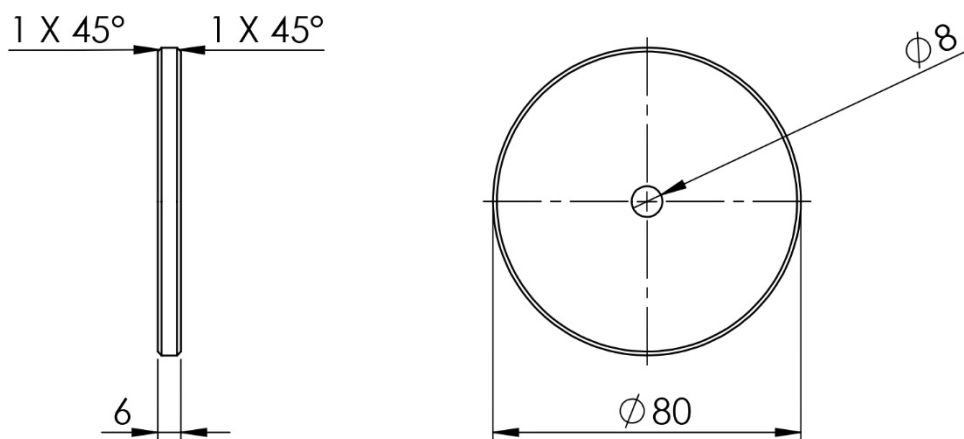
Fecha:  
 08/04/23

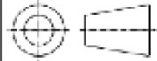
Detalle 3: Placa del carrito

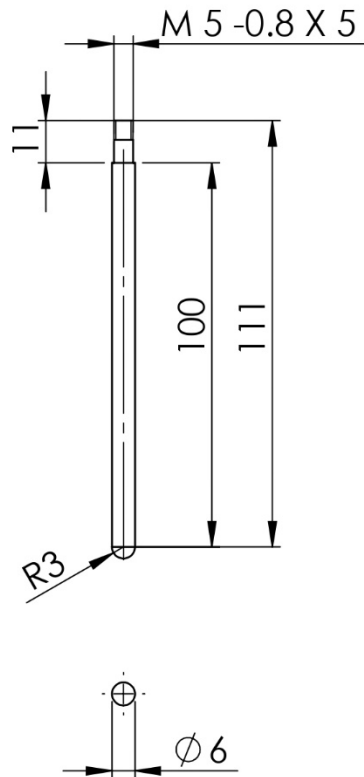




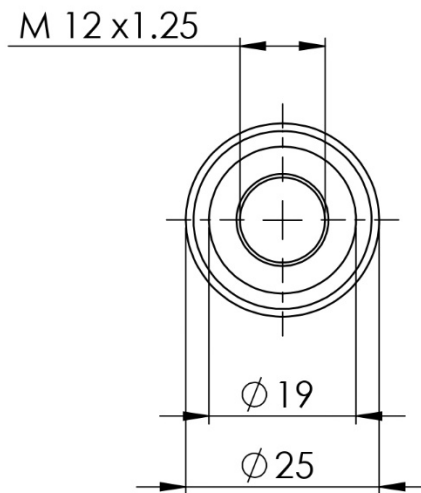
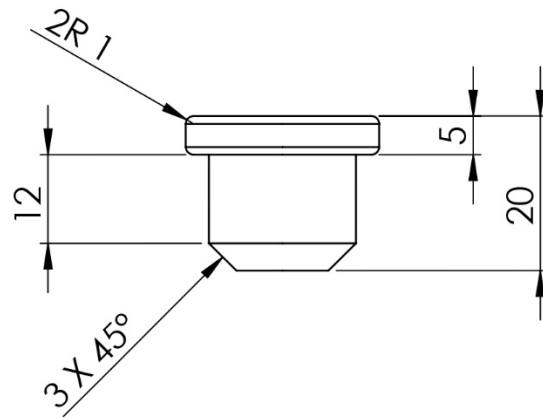
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una centrífuga para fundición con fines didácticos	Escala: 1:5
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortíz		Estudiantes: Ancheta Garza, Daniel Isaac Molina Rivas, Oseas Jonatan	Unidades: Milímetros
N° de plano: 7/19	Fecha: 08/04/23	Detalle 4: Lámina contenedora de mufla	

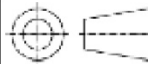


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una centrífuga para fundición con fines didácticos	Escala: 1:2
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortíz		Estudiantes: Ancheta Garza, Daniel Isaac Molina Rivas, Oseas Jonatan	Unidades: Milímetros
N° de plano: 8/19	Fecha: 08/04/23	Detalle 5: Contrapeso	

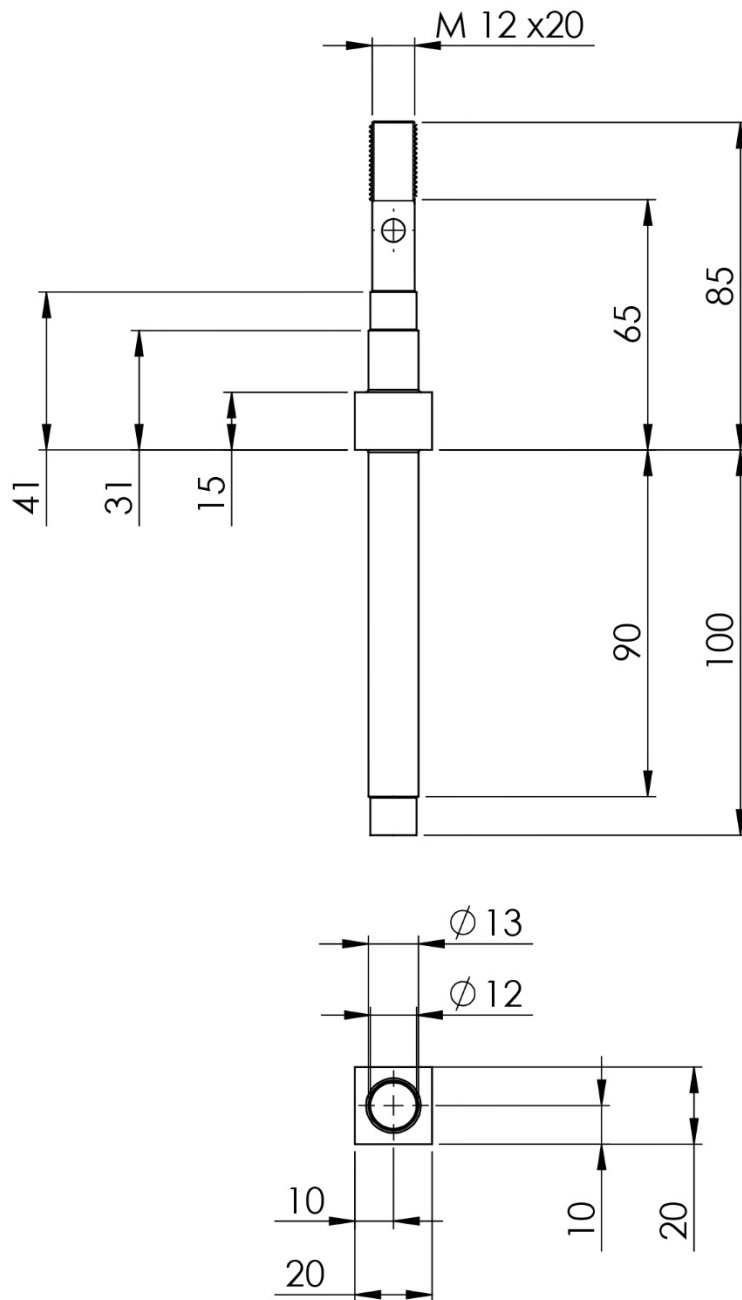


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una centrífuga para fundición con fines didácticos	Escala: 1:2
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortíz		Estudiantes: Ancheta Garza, Daniel Isaac Molina Rivas, Oseas Jonatan	Unidades: Milímetros
N° de plano: 9/19	Fecha: 08/04/23	Detalle 6: Perno de apoyo de lámina-brazo	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una centrífuga para fundición con fines didácticos	Escala: 1:1
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortíz		Estudiantes: Ancheta Garza, Daniel Isaac Molina Rivas, Oseas jonatan	Unidades: Milímetros
N° de plano: 10/19	Fecha: 08/04/23	Detalle 7: Tuerca de sombrero de brazo-eje	





UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN:  
 Propuesta de diseño de una  
 centrífuga para fundición con  
 fines didácticos

Escala:  
 1:2

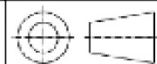
DOCENTE ASESOR:  
 Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortíz

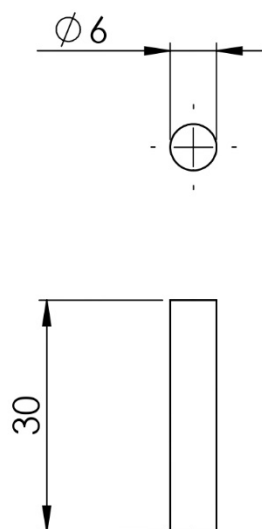
Estudiantes:  
 Ancheta Garza, Daniel Isaac  
 Molina Rivas, Oseas Jonatan

Unidades:  
 Milímetros

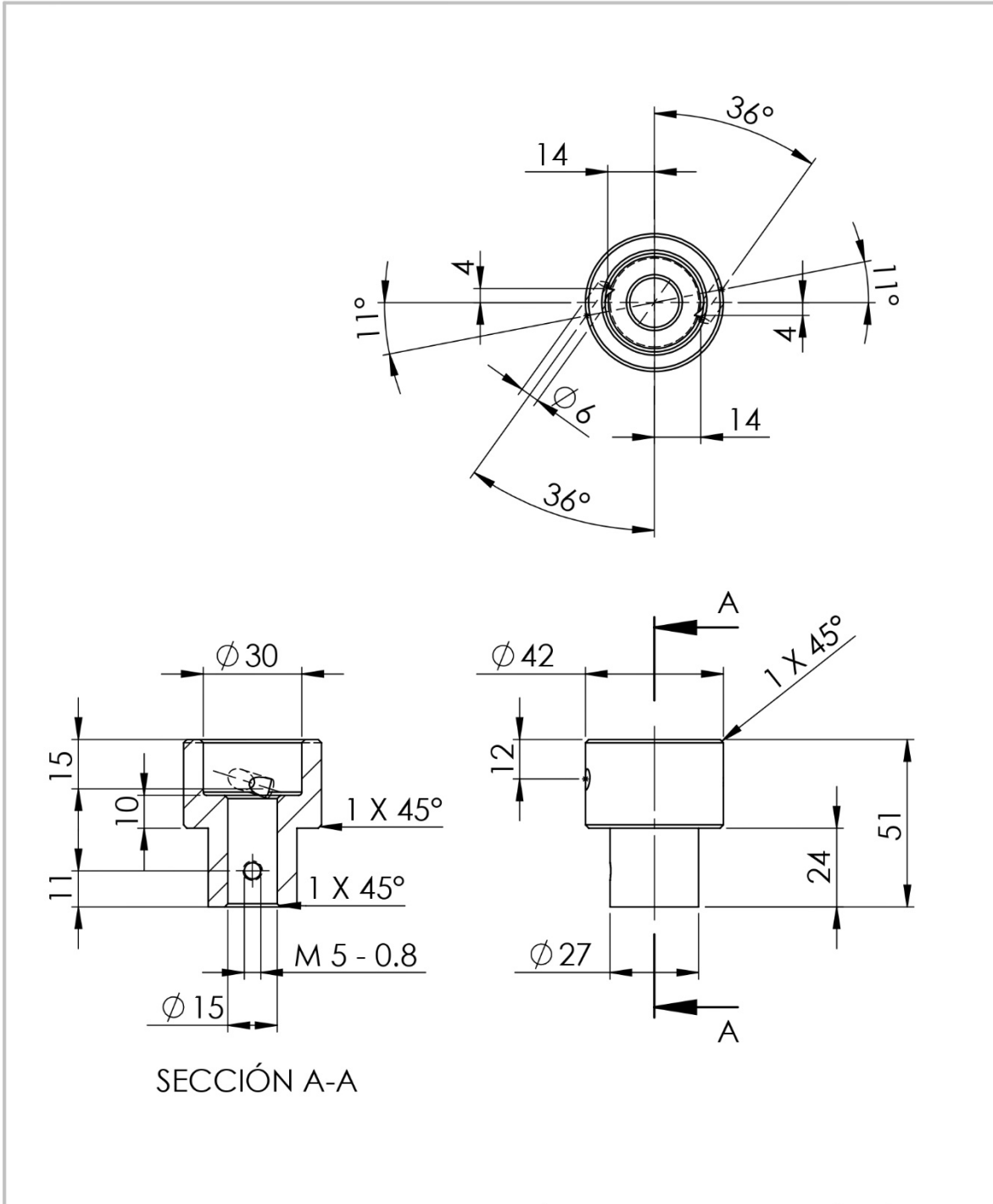
N° de plano: 11/19  
 Fecha: 08/04/23

Detalle 8: Eje



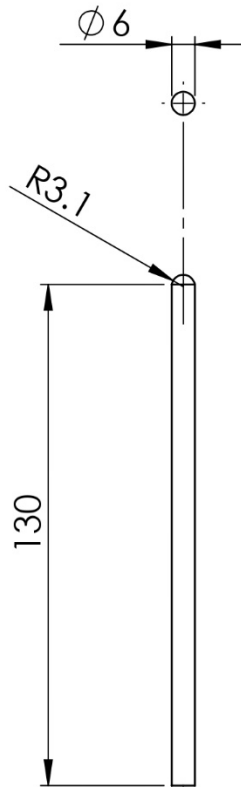


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una centrífuga para fundición con fines didácticos	Escala: 1:1
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortíz		Estudiantes: Ancheta Garza, Daniel Isaac Molina Rivas, Oseas Jonatan	Unidades: Milímetros
N° de plano: 12/19	Fecha: 08/04/23	Detalle 9: Pasador eje - brazo	

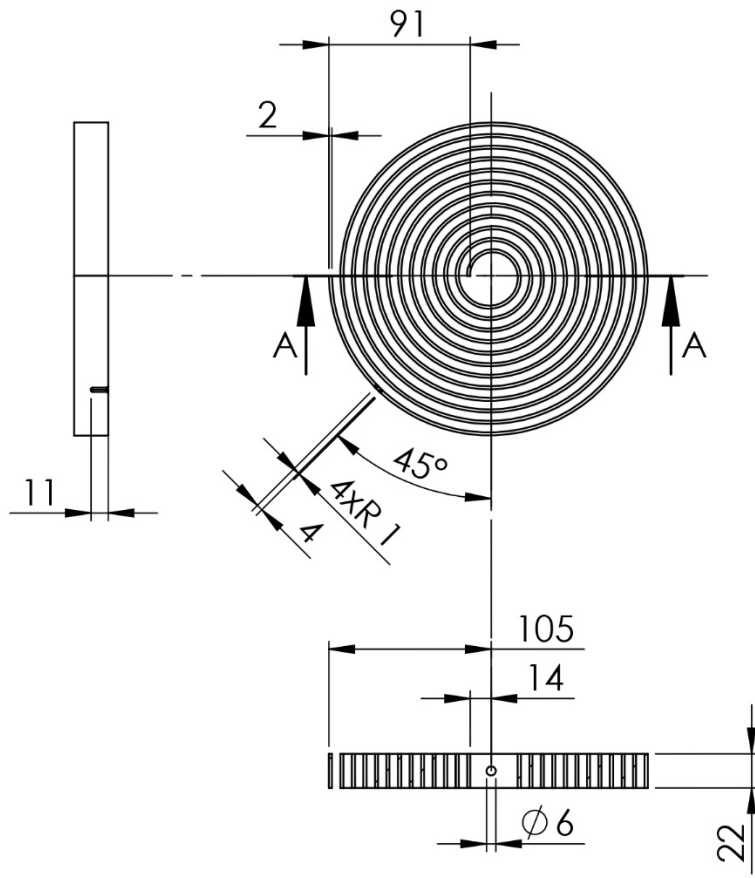


SECCIÓN A-A

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una centrífuga para fundición con fines didácticos	Escala: 1:2
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz		Estudiantes: Ancheta Garza, Daniel Isaac Molina Rivas, Oseas Jonatan	Unidades: Milímetros
N° de plano: 13/19	Fecha: 08/04/23	Detalle 10: Ancla de resorte - eje	

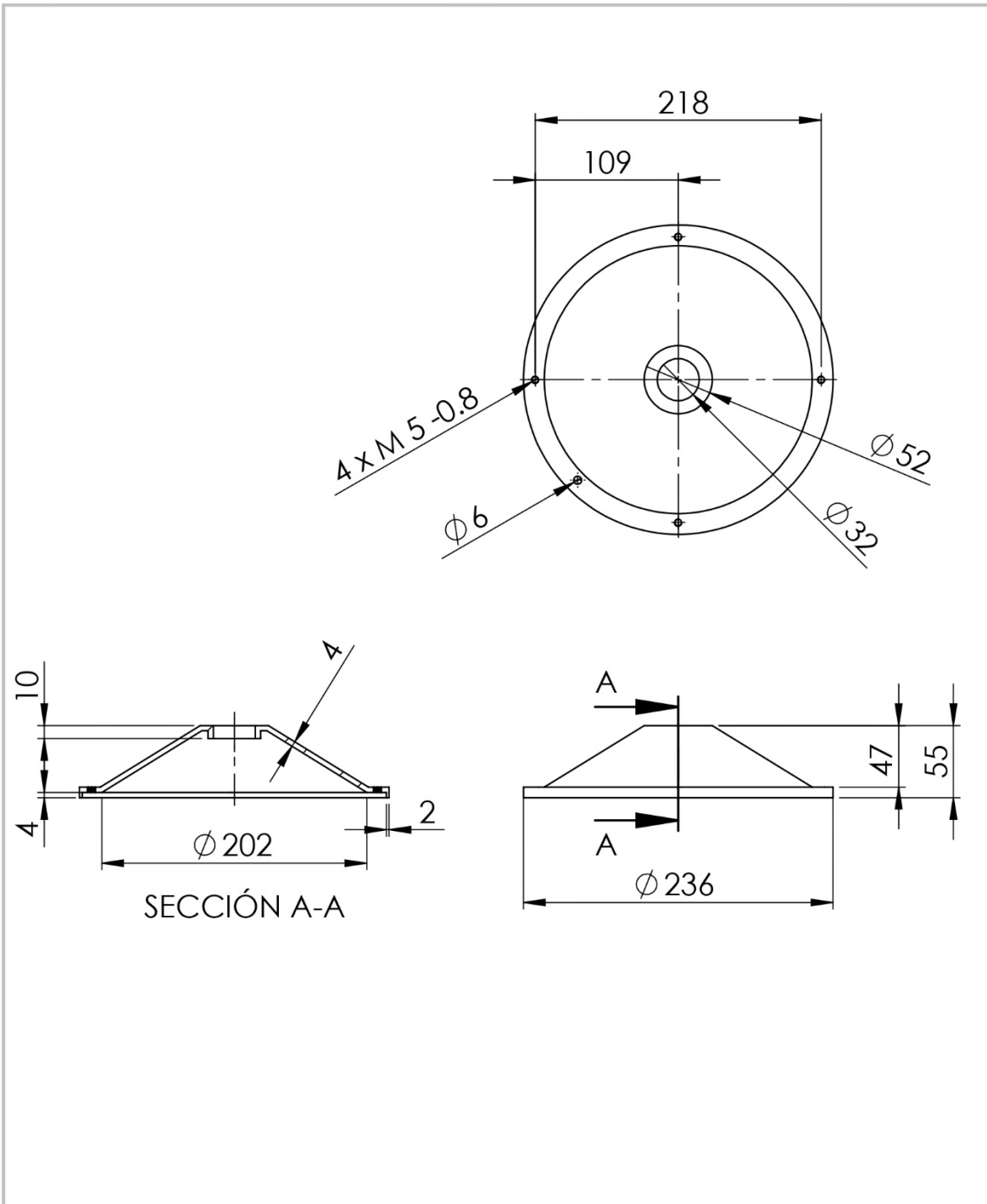


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una centrífuga para fundición con fines didácticos	Escala: 1:2
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortíz		Estudiantes: Ancheta Garza, Daniel Isaac Molina Rivas, Oseas Jonatan	Unidades: Milímetros
N° de plano: 14/19	Fecha: 08/04/23	Detalle 11: Pasador de bloqueo de movimiento	

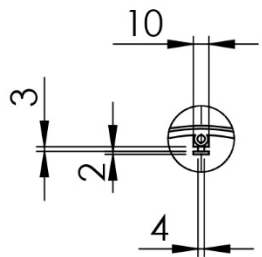


SECCIÓN A-A

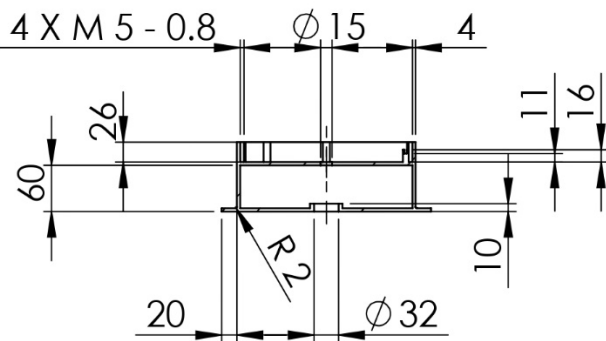
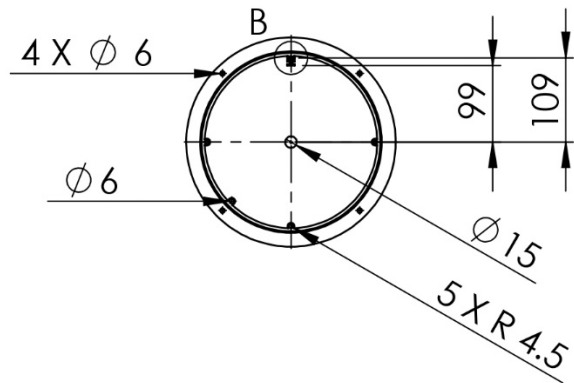
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una centrífuga para fundición con fines didácticos	Escala: 1:5
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz		Estudiantes: Ancheta Garza, Daniel Isaac Molina Rivas, Oseas Jonatan	Unidades: Milímetros
N° de plano: 15/19	Fecha: 08/04/23	Detalle 12: Resorte	



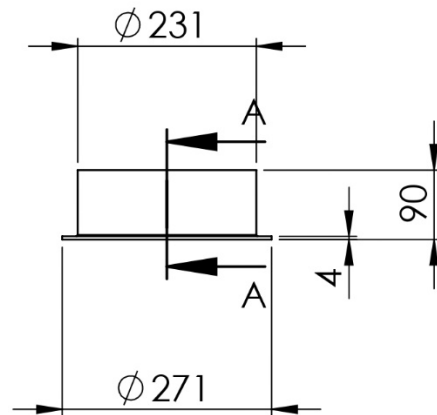
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una centrífuga para fundición con fines didácticos	Escala: 1:5
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortíz		Estudiantes: Ancheta Garza, Daniel Isaac Molina Rivas, Oseas Jonatan	Unidades: Milímetros
N° de plano: 16/19	Fecha: 08/04/23	Detalle 13: Tapa de la carcasa	



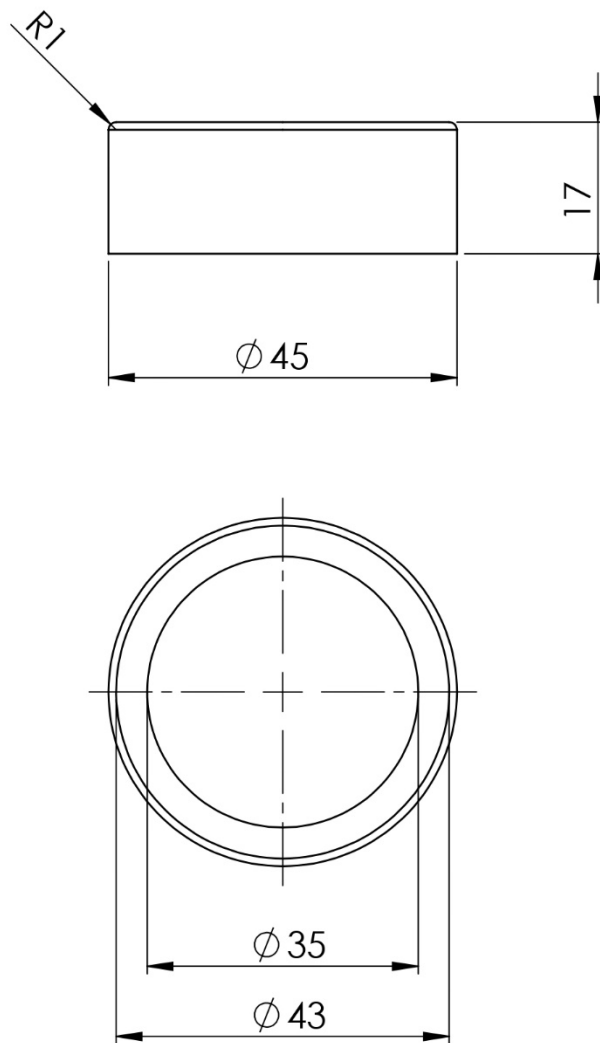
DETALLE B  
ESCALA 1 : 5

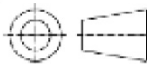


SECCIÓN A-A

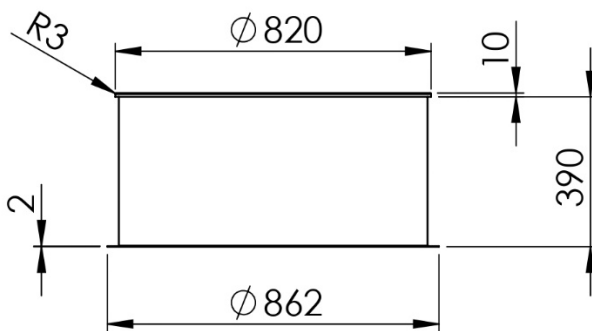
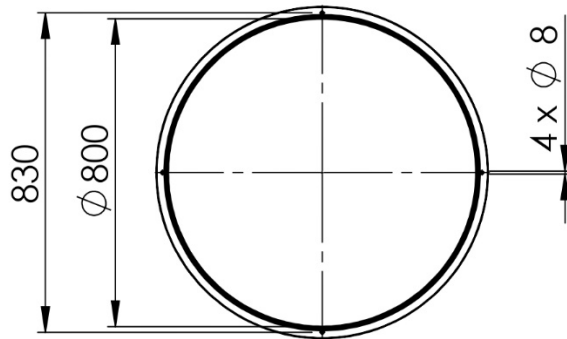


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una centrífuga para fundición con fines didácticos	Escala: 1:10
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortíz		Estudiantes: Ancheta Garza, Daniel Isaac Molina Rivas, Oseas Jonatan	Unidades: Milímetros
Nº de plano: 17/19	Fecha: 08/04/23	Detalle 14: Carcasa	



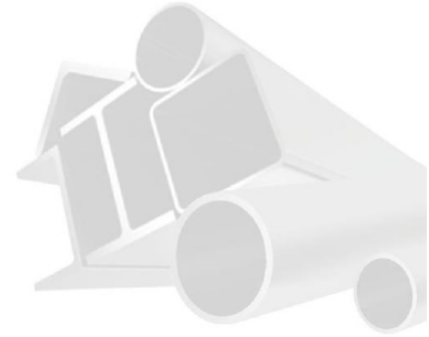
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una centrífuga para fundición con fines didácticos	Escala: 1:10
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortíz		Estudiantes: Ancheta Garza, Daniel Isaac Molina Rivas, Oseas Jonatan	Unidades: Milímetros
N° de plano: 18/19	Fecha: 08/04/23	Detalle 15: Cubierta de resguardo del ancla	





UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una centrífuga para fundición con fines didácticos.	Escala: 1:20
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz		Estudiantes: Oseas Jonatan Molina Rivas Daniel Isaac Ancheta Garza.	Unidades: Milímetros
N° de plano: 19/19	Fecha: 08/04/23	Detalle 16: Barril protector	

**ANEXO 2. COTIZACIONES**



## OFERTA MATERIAL

PARA: JONATAN MOLINA

FECHA: 10/4/2023

TEL: 7467 8837

ATT: Hanna Jimenez

No. 3442

PBX: 23435000

CEL: 74691340

Item	Cant.	Descripción	Entrega	Vr. Unit	Vr. Total
1	1	LAMINA DE HIERRO NEGRO LISA DE 1/8" - 4X8'	Inmediata	\$ 106.95	\$ 106.95
2	1	LAMINA DE HIERRO NEGRO LISA DE 1/4" - 4X8'		\$ 193.23	\$ 193.23
				<b>Subtotal</b>	\$ 300.18
				<b>I.V.A.</b>	\$ 39.02
				<b>Total</b>	\$ 339.20

Forma de Pago. Contado.

Moneda Dólar Americano

Validez de la Oferta 2 días

Precios sujetos a cambio sin previo aviso

Basado en una orden total

**DESCARGA DEL MATERIAL POR CUENTA DEL CLIENTE**

FAVOR EMITIR CHEQUE A NOMBRE DE GRUPO MULTIACEROS SA DE CV

Hanna Maria Jimenez Morales

Tel. 23435000 - Cel. 74691340

E-mail. Hanna.jimenez@grupomultiaceros.net

Autopista al Aeropuerto Internacional Comalapa, Km. 32 1/2, Olocuilta, El Salvador

• PBX. 503 23435000 • www.multiaceros.net • E-mail: info@multiaceros.net • multiaceros\_@msn.com



D Isaac <disaac.an@gmail.com>

---

**Re: Product Enquiry for C1095 / SK5 Blue Temper Shim by Daniel Ancheta**

---

**E Steel Sdn Bhd** <sales@esteelsuppliers.com>  
Para: Daniel Ancheta <disaac.an@gmail.com>

9 de mayo de 2023, 0:58

Dear Daniel ,

Thank you very much for your inquiry.  
We are pleased to submit our quotation as below :

**C1095 / SK5 BLUE TEMPER SHIM - 2**

x **152mm** x 10meters @ USD 610/pc

**152mm is the standard width of the coil , length can be cut according to your requirement**

Terms & Conditions

Price is valid for complete order unless otherwise stated.

Terms of Payment : ADVANCE

**Delivery Term : 2 - 3 Working Days ( Ex-Work )**

Material Readiness : Ex Stock - Subject to stock remaining unsold

Invoicing : On a theoretical weight density of 7.9 kgs/dm<sup>3</sup>

Currency : All rates are quoted in USD

Validity : 7 days

You may click on the link below to view our latest materials and services.

<http://www.esteelsuppliers.com/new/>

Best Regards  
MR BEN

**\* SPECIAL PROMOTION on SS304 Round Bar below DIA 101.6mm \***

Terms and Conditions

1. Price is valid for complete order unless otherwise stated.
2. Delivery time quoted is subject to a capacity at the time of order placement.
3. Invoice value will be fixed at actual scaled weight for the ones quoted for full length / random length

\_\_\_\_\_ **Minimum Order RM 20 / billing** \_\_\_\_\_

**E Steel Sdn. Bhd. (891338-A)**

Trusted Asia Pacific Alloy Steel, Stainless Steel, Nickel Alloy & Titanium Alloy Supply Chain Management Company

**No 3, Lorong Sungai Puloh 7/KU6,**

KAWASAN PERINDUSTRIAN SUNGAI PULOH,  
42100 Klang, Selangor D.E.,Malaysia.

Tel: +603-3292 8686 (Hunting line), 3292 8666, 3292 8777, 3292 8787

Fax: +603-3292 8383

**Website : E Steel Website**

https://mail.google.com/mail/u/0/?ik=abaaefe08a&view=pt&search=all&permmsgid=msg-f:1765398831366431121&simpl=msg-f:1765398831366...  
1/2 5/9/23, 11:04 AM Gmail - Re: Product Enquiry for C1095 / SK5 Blue Temper Shim by Daniel Ancheta



On Tue, May 9, 2023 at 2:14 PM WordPress <[wordpress@esteelsuppliers.com](mailto:wordpress@esteelsuppliers.com)> wrote:

Dear Admin,

Please find the product enquiry, details are given below.

## Product Name : C1095 / SK5 Blue Temper Shim

[Find the product Link](#)

**User Name : Daniel Ancheta**

User Email : [disaac.an@gmail.com](mailto:disaac.an@gmail.com)

User Subject : Enquiry about C1095 / SK5 Blue Temper Shim

User Comments : hola, buen dia, necesito una tira de acero 1095 de 10 metros de largo, 22 mm de ancho y 2 mm de espesor y me gustaria obtener una cotizacion. de antemano gracias.

Product Name : C1095 / SK5 Blue Temper Shim

Product Url : <https://www.esteelsuppliers.com/new/shop/steel-shim-plate/aisi-1095-sk5-spring-strip-shim/>

Thanks for using this plugin..